

# 실측자료를 이용한 하천의 수위변화 분석 - 강원도를 사례로 -

배선학<sup>1\*</sup>

## Analysis of Peak Flow Changes Using the Measured Data

Sun-Hak BAE<sup>1\*</sup>

### 요 약

본 연구의 목적은 실측된 강우자료와 하천수위자료를 이용하여, 강우와 수위의 관계를 유역권 단위로 분석하는 것이다. 2010년 9월 9~12일 발생한 강우를 대상으로, 강원도 전역에 설치되어 있는 자동기상관측장비에서 관측된 강우자료와 강원도 내 주요하천에 설치되어 운영 중인 수위계로부터 측정된 수위자료를 활용하였다. 연구 결과 유역권별로 그리고 동일한 유역권 내에서도 지류별로 강우와 수위변화 사이에는 차이를 보였다. 이러한 결과는 향후 일정 규모 이상의 유역권을 대상으로 한 방재 계획과 강우-유출 모형을 수립하는데 있어서 도움이 될 것으로 기대된다.

주요어 : 강원도, 하천수위, 침투유량, 지리정보시스템, 유역권, 자동기상관측장비

### ABSTRACT

This study is to analyze the relationship between rainfall and water level using the measured data. During the rainfall event from September 9 to September 12, 2010, the rainfall and water level data were measured from automatic weather systems and automatic water level measurement systems which have been installed throughout Gangwon province. The result showed that the relationship between rainfall and peak flow change was different by basin and tributary. It is expected that this study will help to build a plan for preventing disasters and rainfall-runoff models for the river basins in Gangwon province.

---

2011년 1월 24일 접수 Received on January 24, 2011 / 2011년 3월 21일 수정 Revised on March 21, 2011 /  
2011년 6월 7일 심사완료 Accepted on June 7, 2011

1 강원대학교 지리교육과 Department of Geography Education, Kangwon National University

\* 연락처 E-Mail : gis119@kangwon.ac.kr

**KEYWORDS** : Gangwon Province, River Stage, Peak Flow, GIS, Basin, Automatic Weather System

## 서 론

### 1. 연구배경 및 목적

하천은 인간에서 수자원과 삶의 터전 등을 제공하는 매우 중요한 요소다. 그러나 다른 한편으로는 여름철 우리나라의 대표적인 재해 요인이다. 즉, 적당한 강우와 그로 인하여 유지되는 하천 시스템은 인간에게 매우 유용하지만, 일정 수준을 넘어서는 강우는 재해로 나타난다. 방재의 관점에서 볼 때 수해는 크게 발생을 예측하는 부분과 수해가 발생하였을 때의 대응하는 부분으로 구분할 수 있다.

방재의 관점에서 수행된 강우 관련 연구를 살펴보면 강우-유출 모형에 의한 유량 예측 연구가 대부분을 차지한다(이연길 등 2003; 이정규와 김형준, 2004; 오명진 등, 2006; 최현과 이상진, 2006). 박기범 등(2006)이 실측 자료를 이용한 연구를 수행하였으나 이 또한 기존의 모형을 보완하기 위해 제한적으로 활용되었다.

이와 같이 강우-유출에 관한 선행 연구는 대부분 경험식에 의한 모형에만 의존하고 있다. 그러나 박기범 등(2006)의 연구에 의하면 경험식에 의해 도출된 값은 첨두유량 도달 시간에 있어서 실측값과 차이를 보였으며, 실험하천에서는 홍수 시 유량이 변하더라도 도달시간은 일정하게 나타나는 등 일정부분 오류가 발생하였다. 따라서 강우-유출 모형의 신뢰도를 높이기 위해서는 경험식을 뒷받침할 수 있는 충분한 실측 자료가 필요하지만, 규모가 큰 국가하천을 제외한다면, 경험식을 위한 실측값을 확보하는 일은 쉽지 않았다.

다행히 최근 계측기술과 통신기술의 발달로 강우와 수위 등을 실시간으로 측정하고 확인할 수 있는 무인 계측시스템의 도입이 확대되면서 상황은 바뀌고 있다. 특히 강원도의 경우 방재의 목적으로 강원도 주요하천에 모두 98개(2010년 현재)의 수위계를 설치하여 운

영 중에 있으며, 지점에 따라 차이는 있지만 2010년 현재 약 2~4년의 자료가 데이터베이스로 축적되었다. 그리고 지금 이 시간에도 측정된 수위 데이터가 지속적으로 데이터베이스에 저장되고 있다. 그리고 기상청의 자동기상관측장비인 AWS(Automatic Weather System)는 강원도 전역에 99개가 설치되어 운영 중이다. 비록 단기간의 자료로 기상과 기후 현상에 대한 분석을 수행하기에는 제한이 있을 수 있지만, 지금부터라도 중·장기적 분석을 위한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 경험식에 의한 강우-유출 모형을 보완하기 위한 방안으로서 실측된 강우와 수위데이터의 활용 가능성에 관한 기초연구이다. 이를 위해 실측된 강우와 수위값을 이용하여 유역권 단위의 강우-유출 관계를 기초적인 단계에서 분석하고자 하였다.

### 2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 수문학적 프로세서가 적용되는 모델에 실측 자료를 직접 적용하여 분석을 수행하지는 않았다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 경험식을 보완하기 위한 하나의 방법론으로서 실측자료의 활용 가능성을 제시하고자 하였다.

따라서 실측된 강우와 수위자료를 이용하여 수계 단위로 하천의 상류에서 하류까지의 수위변화를 시계열적으로 분석하고, 하천별로 급격한 수위변화를 발생시키는 시점의 누적강우량을 조사하여 그 특징을 분석하였다. 먼저 강우가 발생하였을 때 하천의 상류에서부터 하류지점까지 수위가 어떻게 변화하는가를 시계열분석하기 위해서 수위측정 지점의 첨두유량 발생 시간을 조사하였다. 현재 강원도 내에 설치되어 있는 수위계에는 유속을 측정할 수 있는 기능이 없으므로 절대유량은 측정되지 않는다. 다만, 수위가 가장 높은 시점은 유량도 가장 많은 시점이므로 10분 단위로 관측된 수위데이터를 이용하여 첨두유량 발생시

점을 조사하였다. 수위계 설치지점별로 하폭, 제방의 높이, 유속 등이 서로 다르기 때문에 계측된 수위데이터의 측정치를 그대로 비교할 수는 없다. 따라서 지점별로 계측된 수위데이터를 비교하기 위해 실측 자료를 표준화할 필요가 있다. 본 연구에서는 계측된 값을 Z-Score로 표준화하여 지점별 침투유량을 상호 비교하였다. 그림 1은 실측된 수위 값(mm)을 그대로 그래프로 표현한 것이고, 그림 2는 실측값을 Z-Score로 변환하여 그래프로 표현한 것이다. 비교 결과 실측값을 Z-Score로 표준화하였을 때 지점별 상대적인 비교가 가능하므로, 본 연구에서는 지점별 수위변화 값은 모두 Z-Score로 변환하여 적용하였다.

다음으로 수위계 설치지점들 중 측정지점에서 유역권을 설정하였을 때, 해당 유역권 내에 대표 강우를 측정할 수 있는 AWS가 존재하는 경우에 한하여 강우와 수위의 관계를 비교하였다. 특히 지점별로 수위가 급격히 증가하기 시작하는 시점의 누적강우량을 조사하고, 최고수위의 변화와 유역면적, 유로연장, 유로경사 등과의 연관성을 분석하였다.

연구의 공간적 범위는 강원도 내의 주요 하천 수계 중 한탄강, 인북천, 홍천강, 섬강, 주천강, 남한강(동강), 양양남대천 등 7개 수역을 대상으로 하였다(그림 3). 연구지역 선정 기준은 수위계가 일정한 간격을 두고 하천 분류에 연속적으로 설치되어 있는 하천을 대상으로 하였으며, 대상 하천이 강원도 전역에

고르게 분포하도록 하였다. 단 인위적으로 수위 조절이 가능한 댐의 영향을 받는 지역은 제외하였다. 시간적 범위는 2010년 7~9월 사이에 강원도에서 발생한 강우량을 조사한 결과 9월 9~12일에 발생한 강우가 연구수행에 적절하였으므로, 이 기간에 측정된 수위와 강우량 데이터를 분석 대상으로 하였다. 9~12일 사이에 발생한 강우는 일정한 시차를 두고 2차에 걸쳐 집중호우를 유발하였기 때문에, 상대적으로 강우와 수위변화의 관계를 파악하는데 적합하다.

### 하천구간별 최고수위 발생시간 분석

하천 상류의 수위변화가 하천 하류에 언제, 얼마나 영향을 주는가는 방재에 있어서 매우 중요한 문제이다. 현재 주요하천에 설치되어 있는 자동수위경보시스템도 하천 상류의 수위변화가 하천하류에 영향을 준다는 전제에서 운영되고 있다. 그렇다면 유사한 강우 환경에서 하천별 수위변화가 동일한 경향을 보이는가에 대한 문제와 동일 수계에서도 강우 특징에 따른 수위의 변화 경향을 파악하는 것은 매우 중요하다. 이를 위해 본 연구에서는 대상 하천의 분류를 따라 실측된 수위데이터를 이용하여 수위측정지점에서의 최고수위(침투유량)의 유형과 발생 시간을 분석하였다.

최고 수위에 도달하는 유출은 직접유출에 해당하는 부분이므로 강우요소와의 비교에서도 유효강우량에 대한 분석이 선행되어야 한

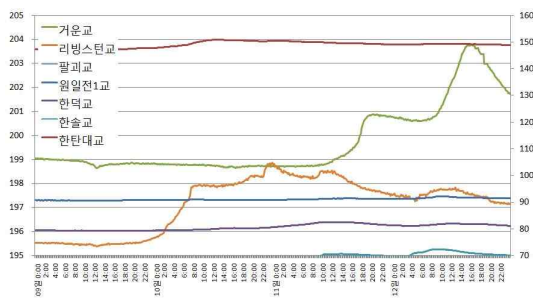


FIGURE 1. 수위데이터 실측값

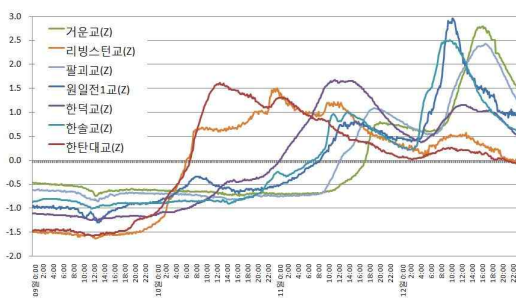


FIGURE 2. 수위데이터 Z-Score

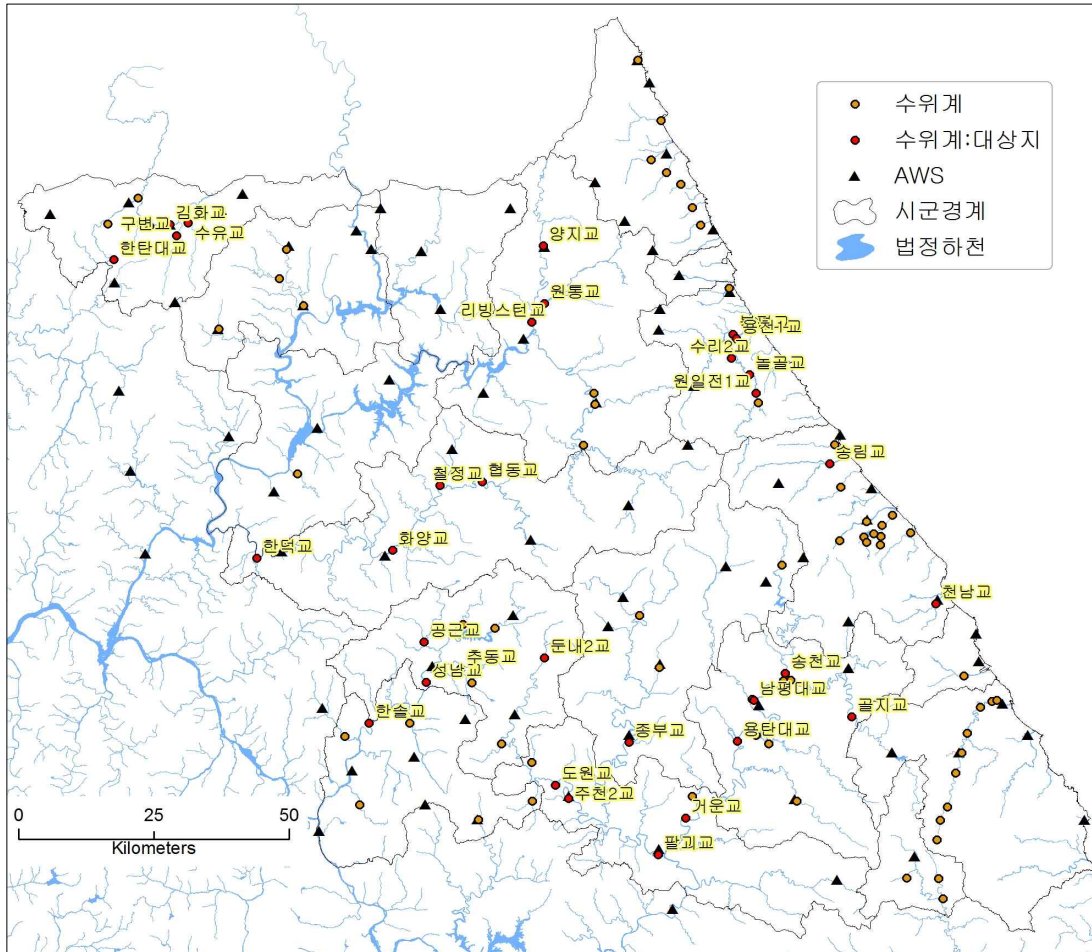


FIGURE 3. 연구대상지역의 수위계와 AWS 설치지점

다. 그러나 본 연구에서는 연구지역의 공간적 범위 등으로 인하여 실질적인 유효강우량 산정에 한계가 있으므로, 수위가 급격히 증가하기 시작하는 시점의 강수량을 대체 값으로 사용하였다.

먼저 2010년 9월 9~12일에 발생한 강우로 인한 수위변화를 하천 단위로 분석하였다. 한탄강 수계에서는 김화교, 삼합교, 한탄대교에서 측정된 수위를 분석하였다. 그 결과 측정지점의 최하류인 한탄대교의 수위는 주로 한탄강의 본류인 삼합교에 의하여 결정되었다. 지류인 김화남대천의 수위는 본류의 수위와

연동하지 않음으로서 상대적으로 본류에 미치는 영향은 낮음을 알 수 있었다. 본류에 해당하는 삼합교의 최고수위와 한탄대교의 최고수위의 시차는 약 80분이었다. 두 지점간의 유로거리가 약 21.4km이므로 최고수위의 이동을 속도로 계산하면 약 16km/h이다. 그러나 최고수위 도달 약 12시간 후에 발생한 2차 최고수위에서는 시차는 약 110분으로 속도는 약 12km/h였다. 이러한 결과만으로 볼 때 하천 수위가 높을수록 최고수위의 도달 속도는 더욱 빨라진다고 볼 수 있다. 그 외 김화남대천의 지류로서 서로 인접하고 있는 와수천(구변

교)과 사곡천(수유교)의 수위 변화는 일치하지만, 김화남대천의 수위변화와는 부분적으로만 일치하였다. 이는 김화남대천의 수위변화가 DMZ와 북한지역의 강우에 영향을 받는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 향후 김화남대천을 포함한 한탄강의 수위 변화 예측을 위해서는 북한 지역에 대한 조사도 포함될 필요가 있다. 한탄강 유역원에서의 강우 특성을 살펴보면 김화(김화남대천)와 정연(한탄강 본류)에 설치된 AWS에서 측정된 강우는 그 양과 유형에 있어서 대체적으로 일치하였으며, 총 강우량은 오히려 김화가 20mm 정도 더 많았다(그림 4).

인북천 수계에서는 양지교와 원통교, 리빙스톤교에서 측정된 수위를 분석하였다. 측정지점의 최하류인 리빙스톤교의 수위는 전체적인 경향에서는 본류인 양지교와 시간과 간격을 일정하게 유지하면서 연동하고 있었으며, 지류인 원통교의 영향도 일부 반영되고 있었다. 수위측정지점을 기준으로 측정된 유역면적에 있어서도 양지교가 438km<sup>2</sup>이고 원통교가 300km<sup>2</sup>였다. 본류에 해당하는 양지교의 최고수위와 리빙스톤교의 최고수위 시차는 약 90분이었다. 두 지점간의 유로거리가 약 24km이므로 최고수위의 이동을 속도로 계산하면 약 16 km/h이다. 그러나 최고수위 도달 후 약 36시간 후에 발생한 2차 최고수위에서는 시차는 약 150분으로 속도는 약 10km/h였다(그림 5).

홍천강 수계에서는 협동교, 철정교, 화양교, 한덕교에서 측정된 수위를 분석하였다. 측정지점의 최하류인 한덕교와 상류인 화양교, 철정교, 협동교의 수위변화를 살펴보면 초기 유량 증가단계에서는 시차가 발생하지만, 그 이후 단계에서는 시차를 뚜렷하게 발견할 수 없다(그림 6). 그 이유는 AWS로 측정된 강우량에서 유추할 수 있는데, 최고수위 발생 시점에 하류지역인 두촌의 강우량이 상류인 홍천의 강우량보다 약 60mm 많았기 때문에 상대적으로 상류와 하류의 최고수위가 일정한 시차를 보이지 않고 동시에 나타나게 된 것으로

생각된다.

섬강 수계에서는 공근교, 추동교, 성남교, 한솔교에서 측정된 수위를 분석하였다. 섬강 수계는 전체적으로 상류와 하류의 최고수위 변화 연계성을 찾기 어려웠다. 상류의 추동교를 제외하고 대부분 같은 시간에 최고수위에 도달하였다(그림 7). 수위계 설치지점과 연계하여 분석할 수 있는 AWS 설치지점이 존재하지 않기 때문에 홍천강의 경우처럼 강우에 의한 영향을 직접적으로 분석할 수는 없었으나, 섬강 수계 역시 하류지역에 강우가 집중함으로서 이러한 현상이 발생한 것으로 추측된다. 또한 섬강 수계의 경우 유역권이 남서방향의 둥근 형태를 하고 있고, 대상지역이 하천의 상류에 해당하는 지역이므로 본류에 합류하는 지류들의 영향이 크게 작용한 결과일 수도 있다.

주천강 수계에서는 둔내2교, 도원교, 주천2교와 평창강 본류에 해당하는 팔괴교에서 측정된 수위를 분석하였다. 최상류인 둔내2교를 제외한 도원교와 주천2교, 팔괴교는 일정한 시차를 두고 수위변화를 보였으며, 하천의 수위가 높을수록(유량이 많을수록) 상류와 하류의 수위변화 시간이 짧았다. 거리상으로 10km 떨어져 있는 도원교와 주천2교의 최고수위 발생시간은 11일 최고수위에서는 50분(12.8km/h), 12일 최고수위에서는 30분(21.4km/h)의 시차를 보였다(그림 8).

동강 수계에서는 골지교, 송천교, 남평대교, 용탄대교, 거운교에서 측정된 수위를 분석하였다. 상류에 해당하는 골지교, 송천교에서는 수위변동이 심하게 나타나다가 하류로 갈수록 안정적인 수위변동을 보였다. 최상류에 해당하는 골지교와 댐으로 인하여 인위적으로 수위가 조절되고 있는 송천교를 제외한 남평대교와 용탄대교, 거운교는 각각 110분과 250분의 시차를 두고 최고수위에 도달하였으며, 수위가 낮을수록 시간차는 크게 났다(그림 9).

양양남대천 수계에서는 원일전1교, 놀골교, 수리2교, 용천1교에서 측정된 수위를 분석하

였다. 양양남대천 역시 하천의 수위가 높을수록 최고수위 발생 시간차가 작았다. 최고수위 발생시간을 측정지점별로 분석한 결과 11일에는 최상류인 원일전1교에서 놀골교 사이는 4.9km를 90분(3.3km/h)의 시차를 두고 최고수위에 도달하였고, 놀골교에서 수리2교 구간 8.2km에서는 80분(6.2km/h)의 시차를 두고 최고수위에 도달하였다. 그리고 수리2교에서 용천1교 구간 5.7km에서는 90분(3.8km/h)의 시차 보였다. 12일에는 최상류인 원일전1교에서

놀골교 사이는 4.9km를 40분(7.4km/h)의 시차를 두고 최고수위에 도달하였고, 놀골교에서 수리2교 구간 8.2km에서는 10분(49.2km/h)의 시차를 두고 최고수위에 도달하였다. 그리고 수리2교에서 용천1교 구간 5.7km에서는 40분(8.6km/h)의 시차 보였다. 특이한 점은 놀골교와 수리2교 구간의 최고수위 발생시간이 매우 짧다는 것이다(그림 10). 양양남대천의 조사대상 수계에는 AWS가 설치되어 있지 않아 강우자료와의 비교는 이루어지지 않았다.

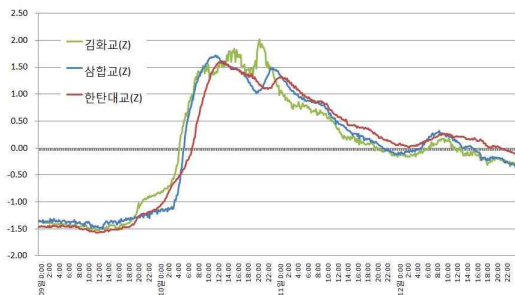


FIGURE 4. 한탄강 수위변화



FIGURE 5. 인북천 수위변화

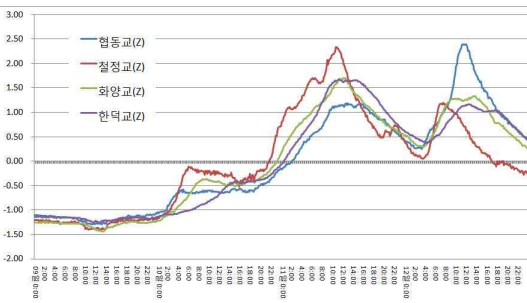


FIGURE 6. 홍천강 수위변화

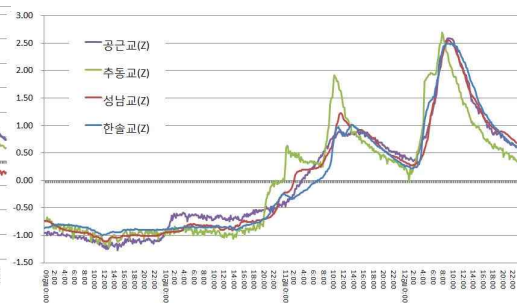


FIGURE 7. 섬강 수위변화

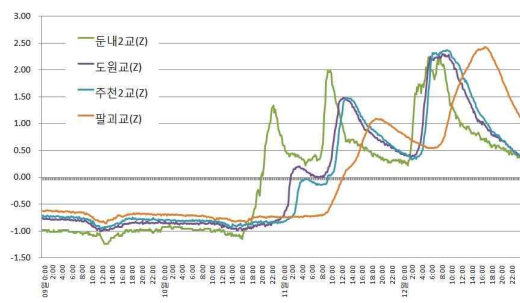


FIGURE 8. 주천강 수위변화

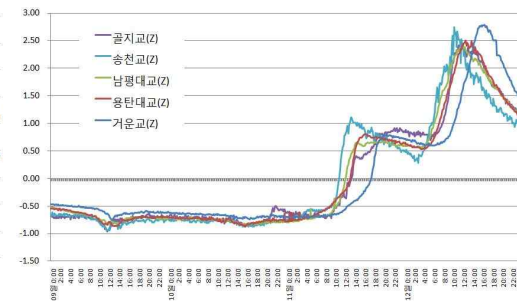


FIGURE 9. 동강 수위변화

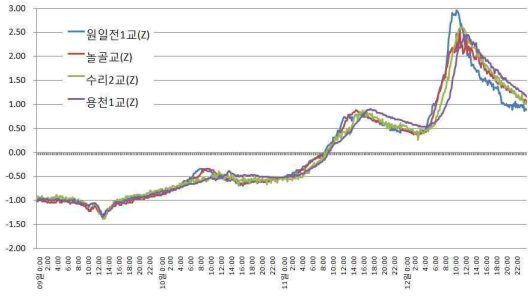


FIGURE 10. 양양남대천 수위변화

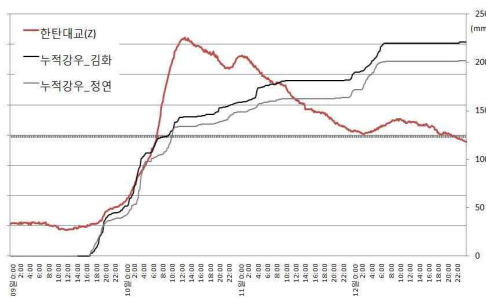


FIGURE 11. 한탄강 수위변화와 강우량

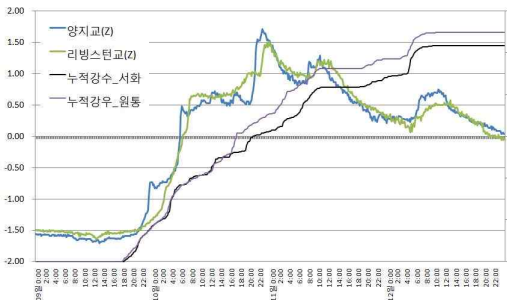


FIGURE 12. 인북천 수위변화와 강우량

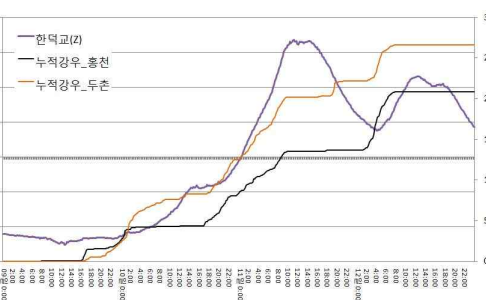


FIGURE 13. 흥천강 수위변화와 강우량

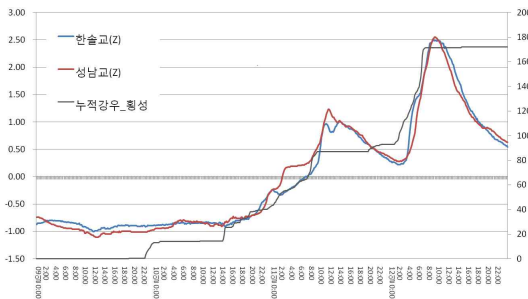


FIGURE 14. 섬강 수위변화와 강우량

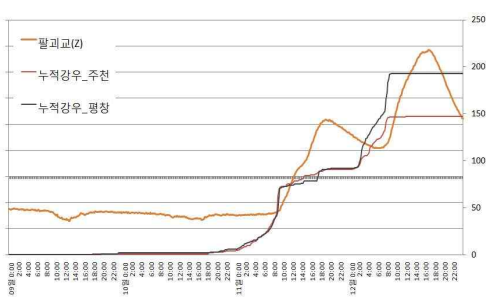


FIGURE 15. 평창강 수위변화와 강우량

하천별로 최고수위 발생시간을 비교한 결과 공통적인 특징은 유량이 많을수록 지점 간 최고수위 발생시간이 급격하게 짧아진다는 점이다. 이는 하천의 수위가 높을수록 하류지역이 수해에 대비할 시간이 짧아짐을 의미하는 것으로, 향후 방재 계획의 수립에 있어서 고려할 필요가 있다. 또한, 하천별로 그리고 동일 하천에서도 지류별로 최고수위 발생시간에 있어서 차이를 보이고 있었다.

### 강우와 수위변화의 관계 분석

특정 지역에서 일정 수준의 강우가 발생하였을 때 하천의 수위에 얼마만큼 영향을 주는가는 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 실측된 강우와 수위 자료를 이용하여 수계별로 강우와 수위의 관계를 분석하였다. 먼저 수계별로 하천의 수위에 영향을 주는 누적 강우량과 강우강도를 조사하였고, 다음으로 강

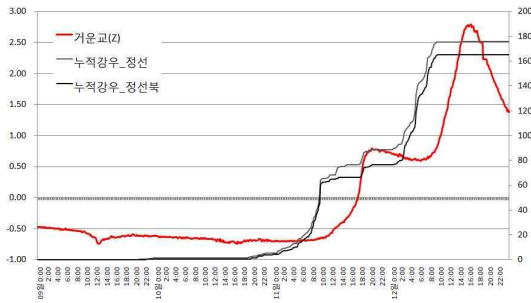


FIGURE 16. 동강 수위변화와 강우량

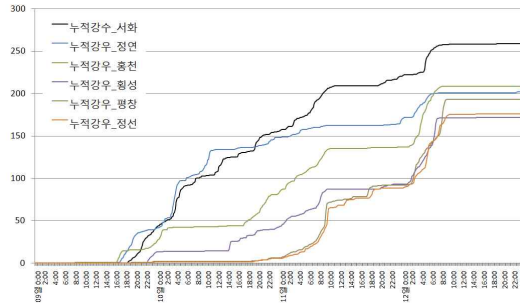


FIGURE 17. 대상지역의 강우량 비교

우 종료 시점과 수위가 감소하기 시작한 시점의 시차를 조사하였다. 수위 데이터는 수계별로 가장 하류에 해당하는 수위측정 지점의 데이터를 활용하였으며, 강우 데이터는 수위측정 지점을 유역권으로 할 때 그 유역원의 중앙에 위치하고 있는 기상관측지점의 데이터를 활용하였다. 9월 9~12일 사이에는 두 번에 걸쳐 강우가 발생하였다. 강원북부와 중부 지역에서는 첫 강우의 양이 많았고, 강원남부 지역에서는 두 번째 강우량이 더 많았다. 첫 강우와 두 번째 강우 사이에는 지역에 따라 6~16시간 정도의 시차가 발생하였다. 하천의 수위에 영향을 주기 시작한 강우량과 강우강도에 대한 조사는 원칙적으로 2차 강우가 시작된 시점에서부터 1차 강우가 종료되고 난 후 하천의 수위가 감소하다가 2차 강우가 발생하면서 수위가 다시 상승하기 시작하는 시점까지로 제한하였다. 그러나 강원북부지역에 해당하는 한탄강과 인북천에서는 2차 강우가 상대적으로 미약하고, 1차 강우 초기부터 집중호우가 발생하였으므로 1차 강우가 발생하기 시작한 시점과 수위가 급격하게 상승하기 시작한 시점을 대상으로 하였다.

분석 결과를 한탄강(한탄대교)은 정연 기상관측소 기준으로 9월 9일 16시 30분에 1차 강우가 시작되었으며, 한탄대교 지점에서는 9월 18시부터 수위가 급격히 상승하기 시작하였다. 수위가 급격하게 변화하기 시작하기까지는 약 1시간 30분이 걸렸다. 수위 상승 시점의 누적 강우량은 14mm였으며, 시간당 9.3

mm의 강우강도를 보였다. 1차 강우로 인하여 최고수위에 도달한 시간은 10일 12시 10분이었으며, 1차 강우가 멈춘 시간은 10일 11시 20으로 강우가 종료된 시점에서 약 50분 후에 수위가 감소하기 시작하였다(그림 11).

인북천(리빙스틴교)은 서화 기상관측소를 기준으로 9월 18시에 1차 강우가 시작되었으며, 리빙스틴교 지점에서는 9월 20시부터 수위가 급격하게 상승하기 시작하였다. 강우가 시작되고 수위변화까지는 약 2시간이 소요되었다. 수위 상승 시점의 누적 강우량은 10.5mm였으며, 시간당 5.3mm의 강우강도를 보였다. 강우강도는 다른 지역에 비하여 상대적으로 낮지만 강우의 지속 시간이 길다는 것이 이 지역의 특징이다. 1차 강우로 인하여 최고수위에 도달한 시간은 10일 23시 50분이었지만, 1차 강우가 종료된 시점은 11일 10시 40분으로 최고수위 도달 시간이 강우가 멈춘 시간보다 약 11시간 빠른 시점에 발생하였다는 것이 특이한 점이다. 이는 강우 측정지점인 서화와 원통에서 측정되지 않은 국지적 집중호우가 발생하였을 수도 있음을 의미한다(그림 12).

홍천강(한덕교)은 홍천 기상관측소 기준으로 1차 강우가 종료된 후 약 16시간이 지난 12일 1시 10분에 2차 강우가 시작되었으며, 한덕교 지점에서는 12일 4시 30분부터 감소하던 수위가 다시 상승하기 시작하였다. 수위가 상승으로 전환되기까지는 약 3시간 10분이 걸렸다. 수위 상승 시점의 누적 강우량은



43mm였으며, 시간당 12.93mm의 강우강도를 보였다. 1차 강우로 인하여 최고수위에 도달한 시간은 11일 14시 10분이었으며, 1차 강우가 멈춘 시간은 10일 9시로 강우가 종료된 시점에서 약 5시간 후에 수위가 감소하기 시작하였다. 2차 최고수위에서도 약 5시간의 시차를 두고 수위가 감소하는 현상이 나타났다(그림 13).

섬강(한솔교)은 황성 기상관측소 기준으로 1차 강우가 종료된 후 약 16시간이 지난 12일 1시에 2차 강우가 시작되었으며, 한솔교 지점에서는 12일 2시부터 감소하던 수위가 다시 상승하기 시작하였다. 수위가 상승으로 전환되기까지는 약 1시간이 걸렸다. 수위 상승 시점의 누적 강우량은 10.5mm였으며, 시간당 5.3mm의 강우강도를 보였다. 2차 강우로 인하여 최고수위에 도달한 시간은 12일 8시 50분이었으며, 2차 강우가 멈춘 시간은 12일 6시 50분으로 강우가 종료된 시점에서 약 2시간 후에 수위가 감소하기 시작하였다. 1차 최고수위에서도 약 2시간의 시차를 두고 수위가 감소하는 현상이 나타났다(그림 14).

평창강(팔괴교)은 평창 기상관측소 기준으로 1차 강우가 종료된 후 약 7시간이 지난 12일 1시에 2차 강우가 시작되었으며, 팔괴교 지점에서는 12일 6시 30분부터 감소하던 수위가 다시 상승하기 시작하였다. 수위가 상승으로 전환되기까지는 약 5시간 30분이 걸렸다. 수위 상승 시점의 누적 강우량은 55.5mm였으며, 시간당 10.1mm의 강우강도를 보였다. 2차 강우로 인하여 최고수위에 도달한 시간은 12일 16시 40분이었으며, 2차 강우가 멈춘 시간은 12일 8시 40분으로 강우가 종료된 시점에서 약 8시간 후에 수위가 감소하기 시작하였다(그림 15).

동강(거운교)은 정선 기상관측소 기준으로 1차 강우가 종료된 후 약 6시간이 지난 12일 0시 30분에 2차 강우가 시작되었으며, 거운교 지점에서는 12일 6시부터 감소하던 수위가 다시 상승하기 시작하였다. 수위가 상승으로 전환되기까지는 약 5시간 30분이 걸렸다.

수위 상승 시점의 누적 강우량은 54.5mm였으며, 시간당 9.9mm의 강우강도를 보였다. 2차 강우로 인하여 최고수위에 도달한 시간은 12일 15시 30분이었으며, 2차 강우가 멈춘 시간은 12일 9시 10분으로 강우가 종료된 시점에서 약 5시간 40분 후에 수위가 감소하기 시작하였다(그림 16).

수계별로 수위변화에 영향을 준 강우강도는 시간당 약 10mm였으며 1차 강우량이 많았던 강원북부 지역에서 강우와 수위변화의 시차가 작았다. 특히, 상대적으로 유역권의 규모가 작은 리빙스톤교와 한솔교의 수위변화는 강우에 민감하였다. 강우가 종료된 후 수위가 감소되기 시작하는 시점은 동일 지점에서는 1차와 2차 강우에서 유사하게 나타났으나 하천별로 큰 차이를 보였다.

### 최고수위 발생시간과 유역특성인자 관계 분석

유역권 단위로 강수량의 차이를 AWS에서 측정된 누적강수량으로 비교한 결과 2010년 9월 9~12일 사이에 내린 강우는 위도에 따라 비슷한 유형을 보였다. 가장 북쪽에 해당하는 인북천 유역의 서화와 한탄강 유역의 정선이 시간대별 강수 변화와 그 양에 있어서 유사한 유형을 보여주었으며, 남쪽은 평창강(서강) 유역의 평창과 동강 유역의 정선이 비슷한 유형을 보였다. 그리고 섬강 유역의 황성은 평창과 정선에 가까운 유형을 보였고, 홍천강 유역의 홍천은 북쪽과 남쪽의 중간 정도에 해당하는 유형을 보였다(그림 17). 강우는 강원도 북부에서 시작하여 남부로 진행되었다. 총 강수량에 있어서는 북쪽에서 더 높게 나타났으며, 서화(259mm)를 제외한다면 170~208mm로 약 40mm의 차이를 보였다. 하천의 수위변화 유형을 살펴보면 조사 기간 동안 크게 두 번의 수위 상승이 나타났는데, 북부지역인 한탄강(그림 4)과 인북천(그림 5), 홍천강(그림 6)에서는 첫 번째 수위가 최고수위였으며, 남부인 섬강(그림 7), 평창강(그림 8), 동강(그

림 9)은 두 번째 수위가 최고수위를 보였다. 영동지방의 양양남대천은 강원남부와 비슷한 수위상승 유형을 보였다(그림 10). 시간당 최대 강우량은 21.5~27.5mm로 나타났으며 강원도 서쪽 지역에서 상대적으로 더 높았다. 최대 강우 발생시간은 정연, 서화 등 강원 북부 지역은 9월 10일 새벽이었으며, 강원 중·남부 지역은 12일 새벽이었다. 누적 강우량은 태백산맥의 서쪽 사면에 해당하는 지역에서 높게 나타났다(표 1).

그렇다면 유사한 강우 상황에서 수계별로 최고수위 도달 시간의 차이를 유발한 요인이 있을 것이다. 즉, 유역별로 수위에 영향을 줄 수 있는 인자들 중 최고수위 도달 시간에 영향을 준 인자를 조사하였다. 하천의 수위에 영향을 주는 인자로는 토지피복상태, 하천 길이, 유역 형상, 유역 면적, 유로 경사 등 다양한 요소가 있을 수 있다. 본 연구에서는 하천 유출에 영향을 주는 인자 중 유역특성인자로 유역면적(km<sup>2</sup>), 유로연장(km), 유역형상계수, 유로평균경사와의 관련성을 분석하였다. 이러한 유역 특성인자는 수문특성예측 모형 중 Rodriguez-Iturbe *et al.*(1982)이 제시한 지형기후학적 순간단위유량도(Geomorphoclimatic Instantaneous unit Hydrograph, GCIUH)에서도 사용되고 있다.

최고수위 도달 속도는 수계별로 두 지점을 선정한 후 두 지점 사이의 최고수위 도달 시간차를 계산하여 산출하였다. 수계 단위로 측정 대상 지점 중 한 점은 최종 유출 지점으로 설정하였고, 다른 한 점은 최종 유출 지점을 기준으로 유역권을 설정하였을 때 대략 중간 지점에 위치하고 있는 수위 측정지점을 선정하였다. 연구지역의 최고수위 발생시간과 유

역특성인자와의 관계는 표 2와 같다.

## 1. 유역면적과 최고수위

일반적으로 유역면적이 넓을수록 최고수위에 도달하는 시간은 길다. 본 연구에서의 유역면적은 하류 측정지점에서의 유역면적 값으로 계산하였다. 연구대상지역에서도 유역면적과 최고수위 발생시간을 비교한 결과 유역면적이 클수록 도달시간은 길게 나타났다. 다만 영동지방의 양양남대천은 상대적으로 하천의 규모가 작고 지역적인 특성의 차이 등으로 인하여 영서지방의 하천과는 큰 차이를 보였다. 평균적으로 볼 때 강원남부지역에 해당하는 평창강(팔괴교)과 동강(거운교)은 면적에 비하여 도달시간이 길었다(그림 18).

그러나 수계별로 측정 지점 사이의 거리가 일정하지 않으므로, 수계별로 비교하기 위해서 두 지점 사이의 거리를 최고수위 도달 시간으로 나누어 수위 측정 구간의 속도(km/h)를 비교하였다. 구간 단위 최고 속도는 홍천강(화양교-한덕교) 구간이 21.7km/h로 가장 빨랐으며, 속도가 가장 낮은 구간은 4.3km/h인 양양남대천을 제외하면 9.3km/h인 섬강(성남교-한솔교) 구간이었다. 수계별로 최고수위 도달 속도를 계산한 결과 유역면적과 속도는 관련성이 낮은 것으로 나타났다(그림 19). 유역면적 보다는 지역적인 특성과 강우 특성 등 기타 요인에 의한 영향이 더 큰 것으로 생각된다.

## 2. 유역형상계수와 최고수위

유역의 형상계수는 유역의 면적을 그 유역 내의 본류 길이의 제곱값으로 나눈 것으로 유

TABLE 1. AWS 지점별 시간당 최대강우량과 누적강우량

AWS지점	정연 (한탄강)	서화 (인북천)	홍천 (홍천강)	횡성 (섬강)	평창 (평창강)	정선 (동강)
최대강우량(mm)	26.0	21.5	24.0	27.5	24.5	22.5
최대강우발생시간	10일 4시	10일 4시	12일 4시	12일 7시	11일 9시	12일 5시
누적강우량(mm)	202	259	208	172	193	176

TABLE 2. 최고수위 도달시간과 유역특성인자

하천명	수위 측정 지점	최고수위 도달시간	시차 (분)	거리 (km)	속도 (km/h)	유역길이 (km)	면적 (km <sup>2</sup> )	면적비율 (%)	형상계수	고도 (m)	고도차 (m)	평균 경사 (°)
한탄강	삼합교	10일10시50분	0	0	-	-	-	-	-	190	-	-
	한탄대교	10일12시10분	80	21.4	16.1	-	-	-	-	142	48	2.2
인북천	양지교	10일22시20분	0	0	-	52.6	438	49	0.16	283	-	-
	리빙스턴교	10일23시50분	90	24.1	16.0	76.7	896	100	0.15	200	83	3.4
홍천강	화양교	11일11시50분	0	0	-	73.6	874	64	0.16	130	-	-
	한덕교	11일14시10분	140	50.6	21.7	124.2	1363	100	0.09	53	77	1.5
섬강	성남교	11일11시20분	0	0	-	30.8	630	61	0.66	100	-	-
	한솔교	11일13시30분	130	20.1	9.3	50.9	1033	100	0.40	29	71	3.5
주천강	도원교	11일12시10분	0	0	-	60.4	466	85	0.13	280	-	-
	주천2교	11일13시00분	50	10.7	12.8	71.2	549	100	0.11	250	30	2.8
평창강	중부교	11일13시20분	0	0	-	76.5	741	42	0.13	295	-	-
	팔괴교	11일18시50분	330	68.6	12.5	145.1	1764	100	0.08	200	95	1.4
동강	남평대교	11일14시00분	0	0	-	84.0	966	43	0.14	340	-	-
	거운교	11일20시00분	360	75.1	12.5	159.1	2268	100	0.09	220	120	1.6
양양남대천	원일전1교	11일13시00분	0	0	-	30.0	134	85	0.15	105	-	-
	놀골교	11일14시30분	90	4.9	3.3	34.9	157	87	0.13	72	33	6.7
	수리2교	11일15시50분	80	8.2	6.2	43.1	182	92	0.10	32	40	4.9
	용천1교	11일17시20분	90	5.7	3.8	48.8	197	100	0.08	11	21	3.7

역의 형상을 수치로 나타낸 값이다. 일반적으로 동일한 강우 조건에서 유역 출구에서의 유출량과 시간적 변화는 유역형상에 따라 차이를 보인다. 유역 형상이 수계를 기준으로 가로방향의 타원형이거나 원형일 경우가 세로방향의 타원형일 때 침투유량에 도달하는 시간이 짧다. 유역형상계수는 정사각형 유역의 경우 '1' 이고 원형유역은 '0.79' 이며, 대부분의 자연하천 유역의 경우는 '0.5' 보다 작다. 그리고 유역이 길고 폭이 좁을수록 그 값은 작다. 연구결과 최고수위 도달 속도와 형상계수 사이에는 연관성이 없었다(그림 20). 하천들은 곡류 정도가 유역형상계수에 영향을 주기 때문에 남한강상류(동강)과 같이 곡류가 심한 하천이 대부분을 이루는 강원도의 경우는 유역형상계수 값으로 최고수위 발생시간을 추정하는 것은 한계가 있다.

### 3. 유로경사와 최고수위

경사가 급하면 그만큼 유속이 빠를 수밖에 없다. 즉, 최고수위 도달 시간도 짧아질 것이다. 본 연구에서는 이를 확인하기 위해 평균경사를 구하였다. 평균경사는 두 관측지점의 표고차를 두 지점 간의 수평거리로 나눈 값이다. 분석 결과 연구지역에서 평균경사가 가장 큰 지역은 양양남대천(원일전1교-용천1교) 구간이었으며, 섬강(성남교-한솔교) 구간, 인북천(양지교-리빙스턴교) 구간, 주천강(도원교-주천2교) 구간 순이었다. 유역권 단위로 보았을 때 유로경사와 최고수위도달 사이에는 관련성을 찾기 어려웠으며(그림 21), 이러한 원인에 관한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다. 수위관측지점이 연속적으로 분포하고 있는 양양남대천만을 대상으로 하였을 때도 경사가 최고수위도달 시간에 영향을 주지는 않았다.

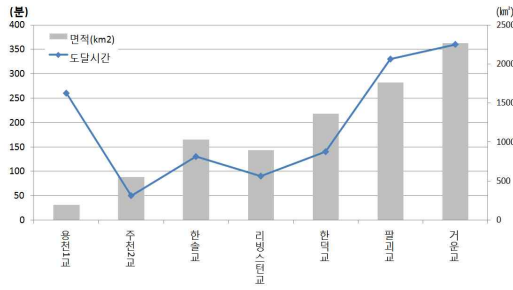


FIGURE 18. 유역면적과 최고수위도달 시간

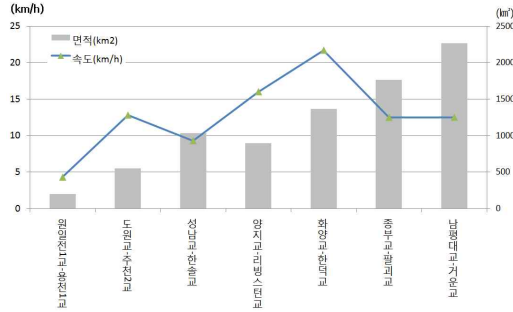


FIGURE 19. 유역면적과 구간별 최고수위도달 속도

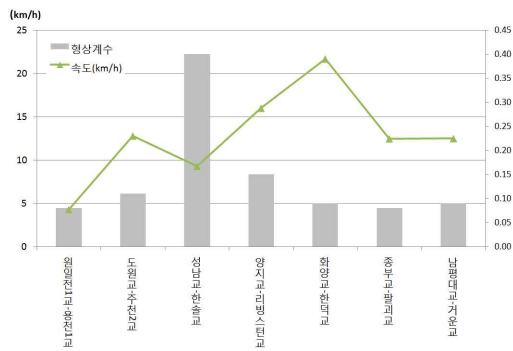


FIGURE 20. 형상계수와 최고수위도달 속도

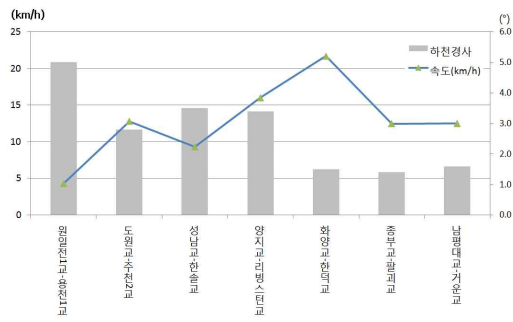


FIGURE 21. 구간별 평균경사와 최고수위도달 속도

### 결론

본 연구에서는 강원도 내에 산재하여 운영되고 있는 기상관측장비와 수위계측장비에서 측정된 데이터를 이용하여 강원도 주요하천을 대상으로 상류에서 하류 방향으로 최고수위 변화 양상을 분석하고, 수계별로 수위가 급격하게 증가하기 시작하는 시점의 누적 강우량에 대한 분석을 시도하였다.

강우와 최고수위의 관계에서는 유량이 많을수록 지점 간 최고수위 발생시간이 급격하게 짧아졌다. 이는 하천의 수위가 높을수록 하류 지역이 수해에 대비할 시간이 짧아짐을 의미하는 것으로, 향후 방재 계획의 수립에 있어서 고려할 필요가 있다.

또한, 하천별로 그리고 동일 하천에서도 지

류별로 최고수위 발생시간에 있어서 차이를 보이고 있었다. 이는 토양의 수분함유 정도와 토지피복 상태, 경사도, 하천의 곡류 정도, 강우강도, 국지적 집중호우 등 다양한 요인에 의하여 복합적으로 나타나는 결과일 것이다. 그러므로 특정 하천의 특정 시점에서의 하천 수위 변화를 다른 하천 뿐만 아니라 그 하천 자체에 대해서도 일반화 시키는 것은 위험하다. 즉, 지금까지 소규모 유역권을 대상으로 수행된 강우-유출 모형을 일정규모 이상의 하천에 적용할 경우 추가적인 요인 분석이 필요하다.

본 연구는 강우와 수위라는 두 가지 실측자료를 이용하여 강원도 주요 하천의 수위변동 특성을 분석한 연구이다. 그러나 단일 시기의 자료만을 활용하여 분석하였는데 한계가 있다. 객관적이고 신뢰도 있는 결과 도출을 위

해서는 중·장기적인 데이터 확보를 위한 시스템 구축이 필요하다. 현재 강우와 수위의 측정지점에 대한 조정과 함께 유효강수량의 계산 등 추가적인 분석이 필요하다. 그리고 하천의 수위와 함께 유속이 측정된다면 유량 계산이 가능하므로 강우와 수해와의 상관성 분석의 신뢰도를 더욱 높일 수 있을 것이다.

**KAGIS**

## 참고 문헌

- 박기범, 고진석, 지흥기. 2006. 도달시간 산정 방법에 따른 홍수유출특성 변화에 관한 연구. 한국지리정보학회지 9(1):34-45.
- 오명진, 양인태, 박병수. 2006. GIS를 이용한 돌발홍수의 한계유량과 유역특성인자의 적합도 분석. 한국지형공간정보학회지 14(3): 87-95.
- 이정규, 김형준. 2004. 퍼지-신경망을 이용한 침투유량 예측에 관한 연구. 대한토목학회논문집. 24(3B):209-219.
- 이연길, 박성천, 이관수. 2003. 지리정보시스템을 이용한 소하천유역의 홍수유출 해석. 한국지리정보학회지 6(1):24-36.
- 최현, 이상진. 2006. 지형학적순간단위도를 이용한 미계측 소유역의 한계유출량 산정 검증. 한국GIS학회지 14(1):15-27.
- Rodriguez-Iturbe I., M. Gonzalez-Sanabria, and R.L. Bras. 1982. A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. Water Resources Research 18(4):877-886.
- <http://www.kma.go.kr>(기상청) **KAGIS**