

연구논문

## 원격수위계측기를 이용한 강우유출 분석에 관한 연구

함광준 · 김준현\* · 이건호 · 최지용 · 정의호

강원도보건환경연구원, 강원대학교 지구환경공학부\*

(2004년 8월 12일 접수, 2004년 12월 1일 승인)

### The Study on the Analysis of Stormwater Runoff Using RMS (Remote Monitoring System)

**Kwang-Jun Ham · Joon-Hyun Kim\* · Geon-Ho Yi · Ji-Yong Choi · Ui-Ho Jeong**

Gangwon Institute of Health & Environment, Kangwon National University\*

(Manuscript received 12 August 2004; accepted 1 December 2004)

### Abstract

The purpose of this study is to understand the quantitative change of water resources using RMS(Remote Monitoring System) which takes real time data with high reliability.

Also, the characteristic of stormwater runoff was understood by the application of the above system for three streams (Jiam, Yulmun, and Gongji stream) in Chuncheon City. The detailed results of these studies are as follows;

RMS(Remote Monitoring System) was constructed by the combination of the automatic water-level meter, which measures water-level of streams at all times, and the wireless communication system sending real-time data from the meter. This system is used to evaluate the stormwater runoff in watersheds and the quantitative changes of streams. It is possible to overcome the limit of field investigations needed, which takes a lot of manpower and time, and it is very efficient to provide the reliable flowrate data. Also, it can be applied to the disaster prevention system for flood because the change of flowrate in stream is monitored at real-time.

For 3 streams with different watershed characteristics, correlation equations induced from the relation analysis results. In terms of the relation between water-level and flowrate, flowrate was increased rapidly as the water-level rises in case of small watershed and steep slope.

The application results of the proposed system for 3 streams (Jiam, Yulmun, Gongji) in

Chuncheon city are as follows; The remote monitoring system was very useful for acquisition of the flow rate in stream that are basic data to understand pollutants runoff in watershed.

In case of no-rainy day, the runoff ratio for pollutant loading rate was the highest level in Yulmun stream(BOD:2.3%, TN:20.2%, TP:1.2%). So, it shows the management of pollution source is needed such as rehabilitation of sewer line. Runoff ratio of total phosphorus by rainfall in Gongji watershed was increased about 19 times than no-rainy day, which is estimated as the influence of sewer overflow.

Key words : RMS(Remote Monitoring System), stormwater runoff, pollutant loading rate

## I. 서 론

수자원은 공기와 함께 인간이 생활하는데 있어 매우 중요한 필수 요소이다. 이러한 사실은 고대 인류의 4대 문명이 수자원을 쉽게 얻을 수 있는 공간, 즉 하천을 중심으로 발달하였다는 사실이 이를 증명해 준다. 그러나, 전세계적으로 산업의 고도성장과 생활수준의 향상은 과거에 비해 더욱 많은 수자원을 요구하고 있는 반면 기상변화 및 무분별한 개발로 인한 수자원의 양적 감소와 환경오염에 의한 수자원의 질적 악화가 급속히 진행되어 수자원 보전을 위한 적절한 관리가 절실히 요구되고 있다.

21세기의 용수 수요는 연중 균일한 수량과 수질의 물을 필요로 하고 있으며 수자원의 계절적 변화가 심한 우리나라의 현실에서는 양과 질의 균형적인 관리가 시급하다. 그러나, 현재 우리나라의 수자원 관리는 두 개 이상의 부처에서 이원화되어 관리가 되고 있어 양과 질의 통합된 개념으로 접근하기에 매우 어려운 실정이다. 또한 수량관리의 경우 중앙정부에 의해 주로 관리되고 있으며, 지방자치단체가 관리하는 지방 1급·2급 하천에서는 강우-유출모형조차 수립되어 있지 않은 실정이다. 또한, 정부의 수질관리 정책이 배출수를 적정한 수준으로 낮추어 배출하는「수처리기술 위주기준(Technology-Based Standard)」관리개념에서 유역의 수질환경기준을 설정하고 이를 충족시키는 한도 내에서 오염물의 배출을 허용한다

는 「수질환경기준위주(Water Quality-Based Standard)」의 수질관리개념 즉, 『오염총량관리제』로 변경되었다.

따라서, 기존의 수질관리 위주의 연구에서 수자원의 양적인 관리에 대한 연구의 병행이 불가피하게 되었으며, 이에 본 연구에서는 대상 하천에 구축한 원격수위계측시스템을 이용하여 하천 유량을 상시 측정하여 하천의 강우유출과 오염물질유출 특성을 파악함으로써 하천의 수량과 수질을 통합적으로 관리할 수 있는 방법을 제시하고, 각 대상 유역별 강우유출 특성을 분석하였다.

## II. 연구 내용 및 방법

자동으로 수위를 연속 측정할 수 있는 '자동수위계측기'와 실시간으로 계측자료를 전송할 수 있는 '원격계측시스템'을 연계·구축하여 각 유역의 하천 수위를 실시간으로 계측할 수 있는 "원격수위계측시스템"을 개발하였다. 이 시스템을 이용하여 각기 다른 유역특성(산림·농경·도심지역)을 갖고 있는 3개 하천을 대상으로 강우량, 수위변동, 유량 등을 조사하여 수위·유량곡선, 유황 등 유역별 강우유출 특성을 파악하였다. 또한, 하천의 유량조사와 수질조사를 병행하여 유역의 오염물질 유출부하량을 산정하였으며, 각 유역의 오염물질 발생부하량과 비교하여 유역내 오염물질 유출을 분석하였다.

## 1. 원격 수위 계측 시스템 구축

본 연구에서는 각기 다른 유역특성(산림·농경·도심지역)을 갖고 있는 3개 하천을 대상으로 ‘원격수위계측시스템’을 구축하여 각 하천 수위를 실시간으로 계측하였다.

### 1) 시스템 구성

시스템은 크게 3개 부분에 6개 장비로 이루어져 있다. 첫째로, 하천의 수위를 측정하는 수위측정부가 있으며, 이 부분은 하천수위를 측정하는 수위계와 측정된 자료를 임시 저장하는 데이터로거로 구성되어 있다. 둘째로, 측정된 자료를 관리시스템으로 전송하는 자료 전송부가 있으며, 이 부분은 수위측정부에서 측정된 수위자료를 자료수집기로 전송해 주는 계측단말기, 통신이 어려운 지형 및 통신망을 고려하여 계측단말기와 자료수집기 사이에서 자료를 중계해 주는 자료중계기, 그리고 계측단말기와 자료중계기로부터 전송되어 온 자료를 관리시스템으로 전송하는 자료수집기로 구성되어 있다. 셋째로, 자료수집기로부터 전송되어 온 자료를 저장하고 관리하는 관리시스템 부분이 있다. 이 부분은 자료를 저장하는 데이터베이스와 수위변동 및 기기의 이상 유무를 파악하는 응용프로그램으로 구성되어 있다. 이상에서 살펴본 시스템의 구성도는 아래 그림 1과 같다.

### 2) 시스템 구축 대상 지역 선정

하천 유역의 특성에 따른 유출특성을 파악하기 위하여 도심지역, 농경지역, 산림지역으로 구분하여 해당되는 3개 유역을 선정하여 시스템을 구축

하였다. 시스템 구축 대상 지역은 춘천시 내의 유역들 중 도심·농경·산림지역에 가장 적합한 유역을 선정하였으며, 도심지역은 공지천 유역, 농경지역은 울문천 유역, 산림지역은 지암천 유역을 선정하여 시스템을 구축하였다(그림 2). 본 연구의 대상유역인 지암천, 울문천, 공지천의 유역면적은 표 1에 나타난 바와 같이 각각 14.03km<sup>2</sup>, 29.86km<sup>2</sup>, 55.24km<sup>2</sup>, 하천길이는 지암천이 5.374km, 울문천이 9.0km, 공지천이 9.765km로 조사되었다. 그리고, 하천의 경사율은 산림지역에 위치한 지암천이 14.9%로 가장 급경사를 나타내었으며, 공지천은 2.3%로 경사가 완만한 것으로 조사되었다.

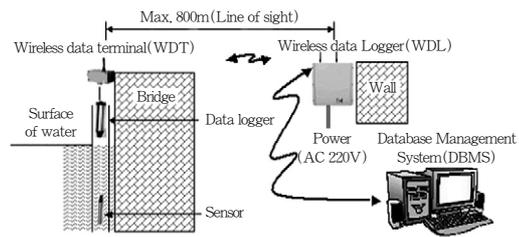


그림 1. 무선원격수위계측시스템의 구성도

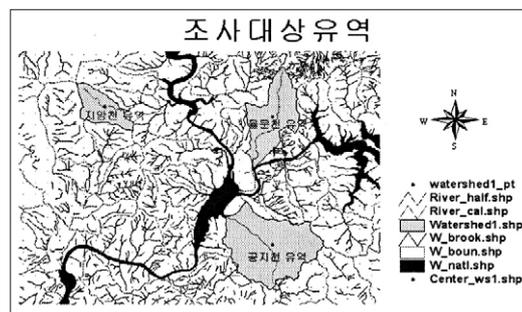


그림 2. 조사 대상 유역

표 1. 수계별 유역현황

유역명	유역면적(km <sup>2</sup> )	하천길이(km)	상류 표고(m)	하류 표고(m)	표고차(m)	경사(%)
지암천	14.04	5.374	1,000	200	800	14.9
울문천	29.86	9,000	660	83	577	6.4
공지천	55.24	9.765	300	72.5	227.5	2.3

## 2. 유량 및 수질 조사

3개 유역을 대상으로 원격수위계측시스템을 구축하여 수위를 측정함과 더불어 정기적인 현장조사를 통해 각 하천의 유량을 측정하고 시료를 채수하여 수질조사를 병행하였다. 조사는 강우유출 특성을 파악하기 위하여 강우빈도가 높은 2003년 6월에서 8월까지 3개월간 조사하였다.

### 1) 현장조사

현장조사 및 시료채수는 정기조사와 수시조사로 나누어 총 14회 실시하였으며, 정기조사는 매월 2회 실시하였고, 수시조사는 강우에 의해 하천 유량이 변동할 때 수시로 조사하였다. 유량측정을 위한 유속을 측정하고 하폭 및 수심을 측정하여 하상단면도를 제작하였다. 유속은 자력식 유속계(Flomat-2000)를 이용하여 측정하였다. 현장에서 측정해야 하는 수질측정항목인 수온, pH, DO, 전기전도도 등은 현장측정하였다. 또한, 강우량 조사는 춘천 기상대의 자료를 활용하였다.

### 2) 수질분석

오염물질 유출량을 파악하기 위하여 각 하천의 수질을 분석하였다. 수질분석은 BOD, COD, TOC, DOC, SS, 총인, 총질소, 암모니아, 질산성질소, 염소이온, 황산이온 등 15항목을 분석하였다. 분석은 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 유역별 유출 특성 분석

원격수위계측시스템에 의해 상시 측정된 하천 수위자료와 정기·수시로 측정된 하천 유량자료를 이용하여 각 하천의 수위·유량 곡선을 제작하고 시간별 하천 유량을 산정하였다. 또한, 각 유역의 시간별 강우량 자료를 이용하여 강우강도와

유역 특성에 따른 하천 유량 변화도 파악하였다.

#### 1) 유역별 수위 변동 분석

원격수위계측기에 의해 1시간 간격의 3개월간 측정된 총 2208개의 수위자료를 활용하여 각 하천별 수위변동그래프를 제작하여, 유역에 내린 강우에 의해 하천 수위가 어떻게 변동하는지를 분석하였다.

공지천의 수위는 최소 8cm에서 최고 2m 81cm까지 변동하는 것으로 조사되었고, 수위변동은 유역에 내린 강우량에 따라 상승과 하강을 반복하는 것으로 나타났다(그림 3). 특히 2003년 8월 23일 5시부터 8월 25일 2시까지 약 45시간 동안 234.5mm의 집중호우가 내림에 따라 수위는 45cm에서 2m 81cm로 45시간 만에 약 2m 36cm가 증가하였다.

울문천의 수위는 최소 56cm에서 최고 2m 91cm까지 변동하는 것으로 조사되었으며, 공지천과 마찬가지로 수위변동은 강우에 지배를 받는 것으로 조사되었다(그림 4). 특히 2003년 8월 19일 14시부터 8월 20일 12시까지 약 22시간 동안 180.0mm의 집중호우가 내림에 따라 수위는 68cm에서 2m 91cm로 22시간만에 약 2m 23cm가 증가하였다.

지암천의 수위는 최소 30cm에서 최고 1m 78cm까지 변동하는 것으로 조사되었다(그림 5). 특히 2003년 8월 7일 1시부터 8월 7일 7시까지 약 7시간 동안 67.5mm의 집중호우가 내림에 따라 수위는 71cm에서 1m 78cm로 7시간만에 약 1m 7cm가 증가하였다. 따라서, 3개 하천의 수위변동은 강우량에 지배적인 영향을 받는 것으로 확인되었다.

#### 2) 강우강도와 수위변동의 관계 분석

하천의 수위변동은 주로 강우량에 의해 변동하지만, 수위변동의 폭은 시간당 내린 비의 양인 강우강도에 의해 변동하는 것이 지배적이다. 따라

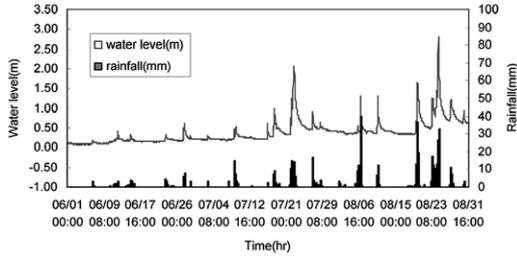


그림 3. 공지천의 수위변동(2003년 6월~8월)

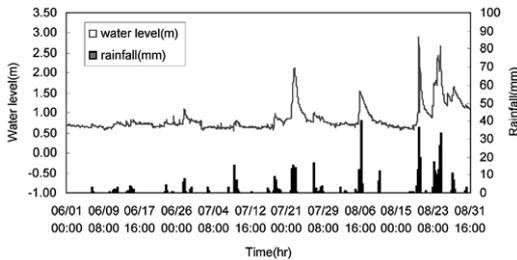


그림 4. 울문천의 수위변동(2003년 6월~8월)

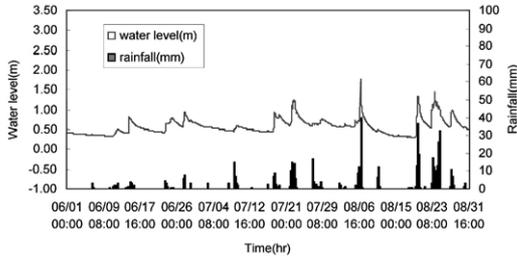


그림 5. 지암천의 수위변동(2003년 6월~8월)

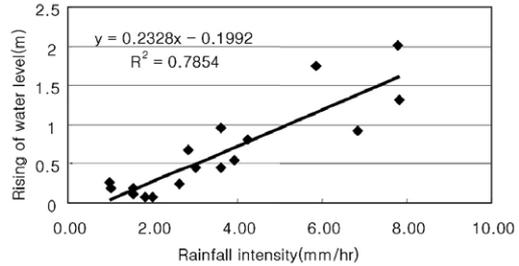


그림 6. 강우강도와 수위상승과의 관계(공지천)

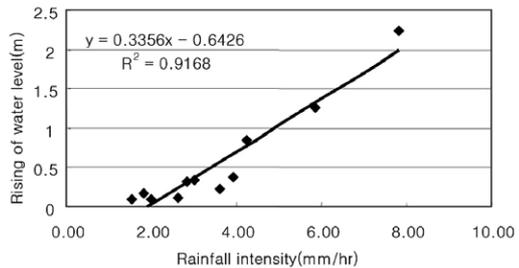


그림 7. 강우강도와 수위상승과의 관계(울문천)

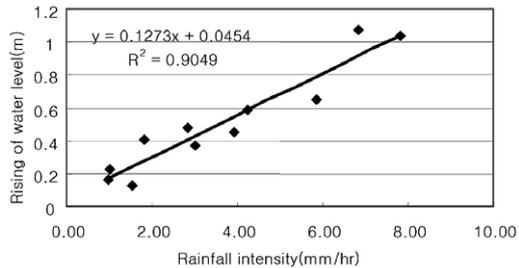


그림 8. 강우강도와 수위상승과의 관계(지암천)

서, 각 하천별 강우강도와 수위상승 폭과의 관계를 분석하기 위하여 공지천은 18회, 울문천은 12회, 지암천은 11회의 강우기간 동안 연속강우시간과 그 시간 동안의 강우량을 이용하여 강우강도를 구하고 그 기간에 최저 수위와 최고 수위의 차를 이용하여 수위상승 폭을 산정하여 각 유역의 강우강도와 각 하천의 수위상승 폭의 관계를 분석하였다. 관계분석을 위해 각 하천별로 강우강도와 수위상승과의 회귀분석을 실시한 결과 공지천은 결정계수( $R^2$ )가 0.7854(그림 6), 울문천은 0.9168(그림 7), 지암천은 0.9049(그림 8)로 강우강

도와 수위상승과는 매우 밀접한 상관성이 있는 것으로 조사되었다.

### 3) 유역별 수위·유량 곡선

원격수위계측기를 이용하여 하천의 수위변화를 매시간 측정하고 이와 병행하여 하천의 유속을 측정하여 하천 유량을 산정하였다. 하천유량 산정을 위하여 하천의 하상단면도를 제작하고 강우에 의해 수위가 변동될 때마다 하천의 유속을 측정하여 수위변동에 따른 하천 유량을 산정하였다. 이렇게 산정된 하천 유량 자료를 가지고 기

측정된 하천 수위 자료와 회귀분석을 실시하여 하천의 수위·유량 관계식을 유도하였다.

각 하천별 수위·유량 관계식을 살펴보면, 우선 공지천의 경우 결정계수(R<sup>2</sup>) 0.9639인 다음과 같은 수위·유량 관계식을 얻을 수 있었다(그림 9). 즉, 위의 관계식에 의하면 하천의 수위가 1m인 경우 하천 유량은 18.7m<sup>3</sup>/sec인 것을 알 수 있다.

$$Y = 18.733 X^{2.1575}$$

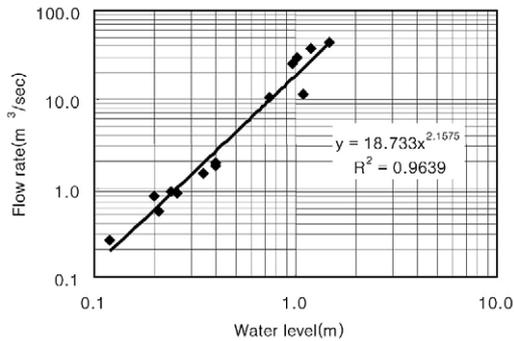


그림 9. 수위·유량 곡선(공지천)

울문천의 경우 결정계수(R<sup>2</sup>) 0.9711인 다음과 같은 수위·유량 관계식을 얻을 수 있었다(그림 10). 즉, 위의 관계식에 의하면 하천의 수위가 1m인 경우 하천 유량은 2.5m<sup>3</sup>/sec인 것을 알 수 있다.

$$Y = 2.4705 X^{4.5662}$$

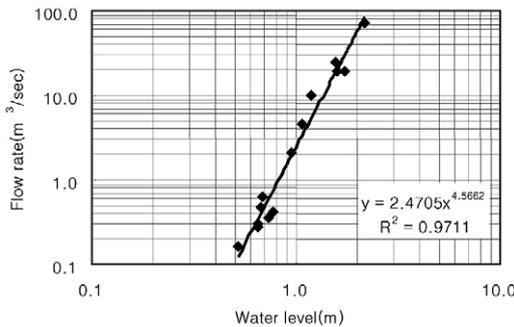


그림 10. 수위·유량 곡선(울문천)

지암천은 결정계수(R<sup>2</sup>) 0.9677인 다음과 같은 수위·유량 관계식을 얻을 수 있었다(그림 11). 즉, 위의 관계식에 의하면 하천의 수위가 1m인

경우 하천 유량은 16.7m<sup>3</sup>/sec인 것을 알 수 있다.

$$Y = 16.708 X^{5.8015}$$

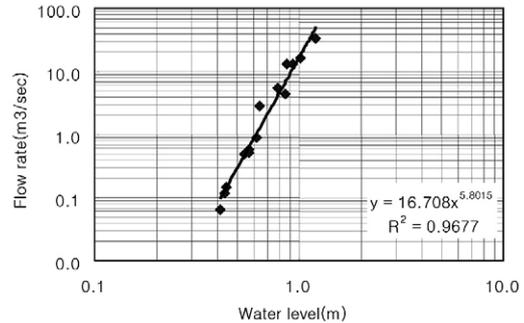


그림 11. 수위·유량 곡선(지암천)

또한, 앞에서 유도한 수위·유량식을 이용하여 각 하천별 3개월(2003년 6월~8월)간의 유황곡선을 그릴 수 있었다. 그리고, 각 유황곡선을 이용하여 아래 표 2와 같이 3개월간의 갈수기, 저수기, 평수기, 풍수기의 유량을 도출할 수 있었다. 여기서 말하는 갈수기는 조사기간 3개월간의 유량 중 3Percentile에 해당하는 유량을 말하며, 저수기는 25Percentile, 평수기는 50Percentile, 풍수기는 74Percentile에 해당하는 유량을 말한다. 한편, 유역면적이 가장 큰 공지천의 갈수기(3Percentile) 유량이 울문천의 유량보다 작게 나타났는데 이는 하수관로에 의한 우수 차집으로 하천의 유량이 감소한 데 기인한 것으로 판단된다. 따라서, 하천의 수질을 위해 잘 정비된 하수관로는 하천 수질 개선에는 도움이 되지만, 하천유지수량을 유지하는 데는 별도의 대책이 요구된다.

한편, 표 3과 같이 유역의 단위면적당 유량을

표 2. 하천별 갈수기, 저수기, 평수기, 풍수기 유량 (단위 : m<sup>3</sup>/sec)

Percentile	공지천	울문천	지암천
3%	0.13	0.26	0.02
25%	0.46	0.35	0.14
50%	1.60	0.59	0.52
74%	3.51	1.18	1.37

표 3. 하천별 단위유역면적당 유량  
(단위 :  $10^{-3}m^3/sec \cdot km^2$ )

구분	유역명	공지천	울문천	지암천
	유역면적( $km^2$ )	55,24	29,86	14,04
	25 percentile	8,33	11,72	9,97
	50 percentile	29,00	20,00	37,00
	74 percentile	63,50	39,50	97,60

살펴보면 조사기간의 평수기와 풍수기라고 할 수 있는 50Percentile, 74Percentile의 단위면적당 유량이 지암천이 가장 많고 울문천이 가장 적은 것으로 나타났다. 이는 지암천 유역이 경사가 급하고 물의 저류 및 이용 정도가 작아 유역내 체류시간이 짧기 때문인 것으로 판단되며, 울문천이 가장 적은 이유는 저류능력이 뛰어난 농경지, 특히 논이 하천 주변으로 구성되어 있어서 강우에 의한 유출변동이 가장 적은 것으로 사료된다.

#### 4) 하천별 수위와 유속과의 관계분석

앞에서 살펴본 수위와 유량과의 관계와 병행하여 유역의 특성에 따른 하천 내 물의 흐름을 좀더 자세히 살펴보고자 본 절에서는 수위와 유속과의 관계에 대하여 분석하였다. 분석결과 아래 표 4와 같이 각각의 결정계수와 관계식을 유도할 수 있었으며, 하천의 유역면적이 작고 경사가 급할수록 수위에 따른 유속의 기울기가 커지는 것을 알 수 있었다.

표 4. 하천별 수위와 유속과의 관계

하천명	결정계수( $R^2$ )	수위(H)와 유속(V)의 관계식
공지천	0,9088	$V = 0,7521 \times H - 0,0847$
울문천	0,8658	$V = 1,3857 \times H - 0,8254$
지암천	0,8935	$V = 2,1243 \times H - 0,9984$

또한, 유속의 변화를 비교해 보면 아래 그림 12와 같이 지암천의 유속은 울문천과 공지천의 유속에 비해 작았으나, 유속이 전체 유속의 95percentile 이상 수준으로 올라가면서 갑자기 증

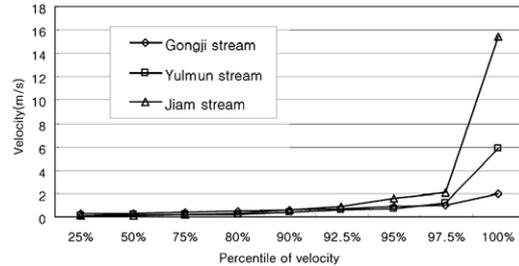


그림 12. 하천별 유속 변화

가하여 최고유속은 공지천의 최고유속의 약 8배에 해당하는 빠른 유속을 나타내고 있다. 그리고, 지암천의 경사율(%)은 14.9%로 공지천(2.3%)의 6.5배에 달하며, 하상계수도 지암천은 31,596.9로 조사되어 공지천(2,148.9)의 14.7배에 달한다. 따라서, 하천의 경사가 급하고 하상계수가 큰 지암천의 유속은 강우에 따른 유출이 증가함에 따라 유속이 급속도로 빨라지는 것을 알 수 있다.

## 2. 오염물질 유출량 분석

본 연구에서는 하천의 유량조사와 병행하여 하천의 수질조사도 실시하였으며, 이를 이용하여 각 하천의 오염물질 유출량을 산정하고, 유량변동에 따른 수질변화 및 오염물질유출량 변화를 파악하였으며, 3개 대상 유역(공지천, 울문천, 지암천)의 오염물질발생량 대비 유출량도 비교 분석하였다.

### 1) 유역별 오염물질 발생량 산정

함광준(2003, 27-30)의 연구에서 개발한 오염부하량산정시스템을 이용하여 3개 유역의 오염물질별 발생부하량을 산정하였다. 부하량 산정을 위해서 3개 유역의 유역 레이어를 제작하여 오염부하량산정시스템에 삽입하여 각 유역의 점·비점 오염물질 발생부하량을 산정하였다. 그 결과 아래 표 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 인구밀집 지역이고 유역면적이 가장 큰 공지천 유역의 오

표 5. 유역별 오염물질 발생부하량

(단위 : kg/day)

유역명	총 오염물질 부하량			점오염원 부하량			비점오염원 부하량		
	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
공지천	8984.4	2064.2	312.3	8288.8	1807.5	287.5	695.6	256.6	24.8
울문천	1424.8	415.2	93.4	1295.7	301.3	85.4	129.1	113.9	8.0
지암천	132.8	61.0	13.1	118.2	29.1	11.1	14.6	31.9	2.0

염물질 발생부하량이 가장 크게 나타났고, 인구 밀도도 작고 98.5%가 산림으로 구성되어있는 지암천 유역이 가장 작게 나타났다.

2) 유역별 오염물질 유출량 산정

하천의 유량과 수위를 측정하여 수위·유량 관계식을 구하고 이를 이용하여 각 하천의 유황곡선을 만들어 조사기간 중 각 하천의 갈수기, 저수기, 평수기, 풍수기의 유량을 산정하였다. 이와 더불어 각 하천의 수질을 측정하여 유량에 따른 오염물질 유출량을 산정하였다. 이와같은 연구결과를 이용하여 비강우시와 본 연구기간(3개월: 6월~8월)의 평수유량인 시점의 오염물질유출량을 산정하였으며, 그 결과는 아래 표 6과 같다. 발생부하량과 마찬가지로 공지천 유역의 오염물질 유출량이 가장 많았으며, 지암천 유역이 가장 적었다. 한편, 총인의 비강우시 유출량은 공지천보다 울문천이 많은 것으로 조사되었다.

또한, 강우에 의한 유출량 증가율은 지암천 유역이 가장 큰 것으로 조사되었는데, 실제 지암천의 수질 변화는 공지천의 수질변화량의 1/10 수준인 것으로 볼 때 비강우시의 수질이 매우 깨끗

한 지암천의 경우 하천의 수질 악화가 아닌 유량의 증가에 따른 오염물질 유출량 증가라고 판단된다. 그리고, 공지천의 급격한 총인 유출량 증가는 합류식 하수관로로 구성되어있는 본 유역의 경우 강우에 의한 하수 월류수에 의한 영향이라고 사료된다.

3) 유역별 오염물질 발생량 대비 유출량 비교

앞에서 서술한 각 유역별 오염물질 발생량과 유출량을 비교하여 유역의 오염물질 발생량 대비 유출량은 어느 정도인지 분석하였다. 이와같은 연구는 유역의 오염원에 대한 정확한 관리 측면에서 꼭 필요한 과정이라고 판단된다. 분석결과는 아래 표 7과 같다. 비강우시 오염물질 발생량 대비 유출량 비율은 울문천이 가장 높게 나타났으며, 공지천이 가장 낮은 것으로 조사되었다. 이는 울문천 유역의 경우 하수관로의 미비로 점오염물질이 다량 유출되는 것으로 판단되며, 또한 하천주변이 논이나 밭으로 이루어져 질소와 인과 같은 영양염류가 다량 유출되는 것으로 판단된다. 한편, 공지천 유역의 경우 하수관로의 정비로 비강우시 오염물질의 하천으로 유입이 대부분 차

표 6. 유역별 오염물질 유출량

(단위 : kg/day)

유역명	비강우시 오염물질 유출량			50 percentile <sup>1)</sup> 유량시 오염물질 유출량			오염물질 유출량 증가율(%)		
	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
공지천	51,864	119,309	0.609	239,104	596,195	11,377	361	400	1,768
울문천	33,302	84,018	1.152	102,831	259,448	3,432	209	209	198
지암천	2,797	4,984	0.050	23,022	38,014	0,283	723	662	466

1) 조사기간(2003년 6월~8월) 동안의 50 percentile 유량

표 7. 유역별 오염물질 발생량 대비 유출량 비율

유역명	비강우시 오염물질 발생량 대비 유출량 비율(%)			50 percentile <sup>1)</sup> 유량시 오염물질 발생량 대비 유출량 비율(%)		
	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
공지천	0.58	5.78	0.19	2.66	28.88	3.64
울문천	2.34	20.23	1.23	7.22	62.48	3.67
지암천	2.11	8.18	0.39	17.37	62.35	2.17

1) 조사기간(2003년 6월~8월) 동안의 50 percentile 유량

단되는 것으로 조사되었다. 그런데, 강우에 의해 하천유량이 증가하면서 하천주변에 형성되어있는 하수 차집관로의 월류수가 유입되면서 총인의 경우 비강우시에 비해 유출비가 약 19배정도 증가하는 것으로 나타났다. 지암천 유역의 경우 강우에 의한 50 percentile 수준으로 유량이 증가하면 BOD 유출비는 약 8배정도 증가하는데 이는 앞의 유출량 산정에서 언급하였듯이 하천의 수질 악화가 아닌 유량의 증가로 인한 유출량 증가에 기인한 결과라고 판단된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 수자원의 양적인 변동을 파악함과 동시에 오염물질 유출량 산정에 필요한 신뢰도 높은 실측 자료를 확보할 수 있는 원격수위계측시스템을 구축하였다. 또한, 이 시스템을 춘천시 3개 소하천(지암천, 울문천, 공지천)에 적용하여 강우유출특성을 파악하였으며, 본 연구의 세부적인 결과는 다음과 같다.

1. 하천의 수위를 상시 측정할 수 있는 자동수위계측기와 측정된 데이터를 실시간으로 전송할 수 있는 원격계측시스템을 결합하여 원격수위계측시스템을 구축하였으며, 이 시스템은 유역의 강우유출과 하천의 양적인 평가에 활용되며, 많은 인력과 시간을 필요로 하는 현장조사의 제약성을 극복할 수 있으며, 신뢰도가 높은 유량 자료의 확보라는 측면에서 매우 효과적이다. 또한, 이

시스템은 하천유량변동을 실시간으로 모니터링할 수 있어 수해에 대비하는 방재시스템으로도 활용이 가능하다.

2. 유역특성이 다른 3개 하천을 대상으로 수위(H)와 유량(Q)의 관계를 분석한 결과 다음과 같은 관계식을 유도하였으며, 수위에 따른 유량 변화로 볼 때 유역면적이 작고 경사가 급할수록 수위 상승에 따라 유량이 급격히 증가하는 것을 확인하였다.

- 공지천(유역면적: 55.24km<sup>2</sup>, 경사율: 2.3%):

$$Q = 18.733 \times H^{2.1575}$$

- 울문천(유역면적: 29.86km<sup>2</sup>, 경사율: 6.4%):

$$Q = 2.4705 \times H^{4.5662}$$

- 지암천(유역면적: 14.04km<sup>2</sup>, 경사율: 14.9%):

$$Q = 16.708 \times H^{5.8015}$$

3. 본 연구에서 개발한 원격수위계측시스템의 활용성을 확인하기 위하여 춘천시의 3개 소하천에 적용한 결과 원격수위계측시스템은 유역의 오염물질 유출량을 파악하기 위한 기초자료인 하천유량자료의 획득에 매우 유용하였다.

4. 각 유역별 오염물질 발생량 대비 유출량을 평가한 결과 비강우시 오염물질 발생량 대비 유출량 비율은 울문천이 가장 높은 수준(BOD: 2.3%, TN: 20.2%, TP: 1.2%)으로 하수관로의 정비 등 오염원 관리가 요구되는 것으로 나타났으며, 공지천 유역의 강우에 의한 총인 유출비율은 비강우시에 비해 약 19배 증가하였는데 이는 하수 월류수의 영향인 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- 김영철, 이재수, 2002, 강우시 유역특성에 따른 유출 오염물질 농도곡선의 형상, 대한환경공학회지, 24(4), 633-645.
- 심순보, 김주훈, 임광섭, 오덕근, 2003, GIS를 이용한 홍수범람 분석, 한국지리정보학회지, 6(1), 132-142.
- 심재현, 고영인, 1996, 강우에 의한 유출량 산정모형, 한국지방행정연구원, 7-21.
- 연구방, 장승권, 김주훈, 2003, GIS와 NRCS방법을 이용한 호우형태에 따른 빈도별 유출 분석, 한국지리정보학회지, 6(1), 119-131.
- 한국환경정책평가연구원, 1999, 물자원의 효율적 이용을 위한 유역관리 방안, 8-19.
- 함광준, 2003, 강우유출 및 오염원 해석을 위한 유역관리 모형의 개발, 강원대 환경연구소 연례학술발표회, 27-30.

최종원고채택 04. 12. 06