

기술자료

유역의 불투수성에 따른 강우유출특성 비교

함광준 · 김준현* · 허범녕 · 최지용 · 김영진

강원도보건환경연구원, 강원대학교 지구환경공학부*

(2006년 1월 3일 접수, 2006년 3월 9일 승인)

The Watershed Imperviousness Impact for the characteristic of stormwater runoff

Ham, Kwang-Jun · Kim, Joon-Hyun* · Huh, Beom-Nyung · Choi, Ji-Yong · Kim, Yeong-Jin

Gangwon Institute of Health & Environment, Kangwon National University*

(Manuscript received 3 January 2006; accepted 9 March 2006)

Abstract

The purpose of this study is to understand imperviousness impact for the characteristics of stormwater runoff and water temperature. The land-use map was used to estimate the watershed imperviousness(percent of impermeable area) and the RMS(Remote Monitoring System) was used to evaluate the stormwater runoff of watershed. This study was investigated for two streams(Jiam and Gongji) in Chunchon City. The detailed results of these studies are as follows; The imperviousness(%) of two watersheds(Jiam and Gongji) estimated by spatial analysis which is main function of GIS were 0.24% and 24.16%. So, Gongji watershed as urban area was about 100 times than jiam watershed as forest area. In case of rainfall of low intensity, stormwater runoff flowrate in higher imperviousness area(Gongji) was more than it in forest area(jiam). Also, The time to peak flowrate(Tp) was short in Gongji stream and the water temperature difference between Gongji and Jiam stream was about 4.4°C in summer.

Key words : Imperviousness, stormwater runoff, water temperature, GIS

1. 서론

산업의 고도성장과 생활수준의 향상으로 과거에 비해 더 많은 양질의 수자원이 요구되고 있는 반면

기후변화 및 무분별한 개발로 인하여 수자원은 양적 인 감소와 질적인 악화가 급속히 진행되고 있는 실정이다. 따라서 수질관리 정책도 수계에 영향을 주는 점오염원의 배출수 관리에서 점·비점오염원의 질과

양을 통합하여 관리하는 유역관리체제로 전환되고 있다.

이와 같이 비점오염원이 중요한 수질관리 요소로 대두되면서 도시유역에서는 유역 내 개발의 흔적을 의미하는 불투수성에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한, 수질관리는 유역 내 개발계획이나 토지이용계획을 체계적으로 관리함으로써 큰 성과를 얻을 수 있으며, 토지의 이용과 개발에 대한 관리는 결국 유역의 불투수성 지역에 대한 정확한 평가와 관리, 그리고 불투수성이 환경에 미치는 영향에 대한 면밀한 분석을 통해서만 가능할 것이다.

그리고 하천에 유입되는 비점오염원의 대부분은 강우유출에 의해 이루어지고 있어 유역별 강우유출 특성에 대한 평가는 비점오염원 관리에 매우 중요하며, 하천의 수량과 수질을 관리함에 있어서 반드시 선행되어야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 춘천시의 하천 유역별 불투수성을 산정한 결과 유역 내 불투수성 정도의 차가 매우 큰 도시 유역과 산림 유역을 선정하여 각 유역별 강우유출 특성과 하천의 수리·수문 특성을 평가한 후 불투수성과의 관계분석을 통하여 불투수성이 유역의 유출특성과 하천 수온에 미치는 영향을 파악하였다.

II. 연구 내용 및 방법

본 연구는 불투수성을 평가하기 위한 유역별 토지이용현황조사와 강우에 따른 유역별 유출특성에 관한 연구로 구성되어 있다. 유역별 토지이용현황조사는 행정구역별로 구성되어있는 토지이용 현황을 지리정보시스템(GIS)의 공간분석(Spatial Analysis)을 이용하여 각 유역별로 재구성하여 평가하였다. 유역별 강우유출 특성에 관한 연구는 2003년부터 해당 하천에 설치하여 운영하고 있는 “원격수위계측시스

템”을 이용하여 강우에 따른 하천 수위변화와 유량 변동 등을 조사하여 각 유역별 유출특성을 평가하였다. 세부적인 연구내용 및 방법은 아래와 같다.

1. 대상 유역 선정

본 연구에서는 유역의 불투수성 정도의 차이가 매우 심할 것으로 예측되는 도심지역과 산림지역 중 각각 1개 유역을 선정하여 불투수성에 따른 유역별 강우유출특성에 대하여 연구하였다. 따라서 도심지역은 인구밀집지역인 춘천시 도심을 관류하는 공지천 유역을 선정하였으며, 산림지역은 인위적인 개발이 이루어지지 않고 인구, 가축, 농경지 등의 영향을 거의 받지 않는 지암천 유역을 선정하여 조사하였다.

본 연구의 대상유역인 지암천, 공지천의 유역면적은 Table 1에 나타난 바와 같이 각각 14.04km², 55.24km², 하천길이는 지암천이 5.374km, 공지천이 9.765km로 조사되었다. 그리고 하천의 경사율은 산림지역에 위치한 지암천이 14.9%로 급경사를 나타내었으며, 공지천은 2.3%로 경사가 완만한 것으로 조사되었다.

2. 유역별 토지이용현황 조사

각 유역별 토지이용현황을 파악하기 위하여 토지이용도와 유역도를 이용하여 공간분석을 실시하였다. 공간분석은 상용 프로그램인 GEOMania 2.5와 ArcView GIS 3.2를 이용하였으며 분석에 사용된 공간데이터와 속성데이터는 다음과 같다.

1) 공간 데이터

본 연구를 위한 공간 데이터는 총 5개로 구성되어 있다(Table 2). 춘천시 데이터는 춘천시의 경계를 나타내는 Polygon 자료이고, 동리 데이터는 읍·면·동과 리의 경계를 나타내는 Polygon 자료이다. 유역 수계망은 하천 수계망도의 Line 자료이고, 유역도는

Table 1. Area of each watershed and length, slope of each stream

Watershed	Area(km ²)	Length(km)	Altitude of upstream(m)	Altitude of downstream(m)	Difference of altitude(m)	Slope(%)
Jiam stream	14.04	5.374	1,000	200	800	14.9
Gongji stream	55.24	9.765	300	72.5	227.5	2.3

Table 2. Spatial data used in this study

Spatial data	Description
춘천시	Chuncheon city Layer(Polygon)
동/리	Dong/Ri Layer(Polygon)
유역수계망	River Layer(Line)
유역도	Basin Layer(Polygon)
토지이용도	Land use Layer(Polygon)

Table 3. Attribute data used in this study

Spatial data	Attribute data
춘천시	Shape, 행정코드, 시군구, Area
동/리	Shape, 행정코드, 시군구, 읍면동, 리, Area
유역수계망	Shape, Entity, Color
유역도	Shape, 배수구역명, Area
토지이용도	Shape, Recno, Gubun

유역을 구분하는 Polygon 자료이다. 토지이용도는 춘천시 전체의 토지이용현황을 나타내는 Polygon 자료이다.

2) 속성 데이터

본 연구에 사용된 공간데이터들은 여러 개의 속성 데이터로 구성되어있으며, 각 공간데이터별 속성 데이터를 살펴보면 Table 3과 같다. 모든 공간데이터들은 Polygon, Line, Point 등의 공간데이터 형태를

알 수 있는 “Shape” 속성데이터가 포함되어 있으며, 춘천시, 동리, 유역도와 같이 Polygon의 형태인 공간데이터들은 면적을 산정할 수 있는 “Area”라는 속성데이터를 포함하고 있다. 본 연구에서 가장 중요하게 이용된 토지이용도는 “Recno”와 “Gubun”이라는 속성데이터로 구성되어 있는데 “Recno”는 각 Polygon의 번호이며, “Gubun”은 각 Polygon별 토지이용형태(논, 밭, 대지, 임야 등)를 나타내고 있다.

3) 유역별 토지이용도 제작

본 연구에서는 유역별 토지이용자료를 필요로 하기 때문에 토지이용도와 유역도를 이용하여 유역별로 토지이용현황을 평가하였다. 토지이용현황을 유역별로 평가하기 위해서는 우선 토지이용도와 유역도를 중첩하여서 각 유역별로 토지이용현황을 추출해야만 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 지리정보시스템(GIS)의 한 기능인 레이어 중첩기능을 활용하여 두개의 공간데이터를 중첩하여 새로운 공간데이터(Itsct_Landuse)를 생성하였으며, 생성된 공간데이터(Itsct_Landuse)를 이용하여 각 유역의 토지이용형태별 면적을 산출하였다. Fig. 1은 지금까지 설명한 바와 같이 공간데이터들을 중첩하여 유역별 토지이용현황을 추출한 공간데이터와 속성데이터로서 공

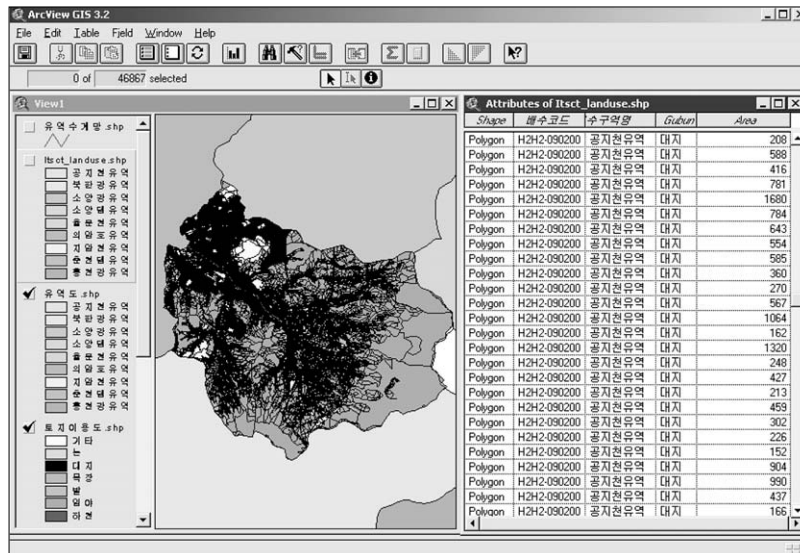


Fig. 1. Spatial analysis using maps of land use and watershed

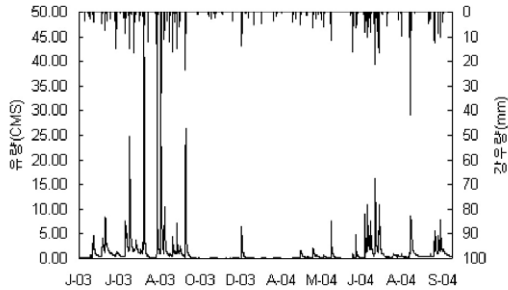


Fig. 2. Flowrate variation of Jiam stream

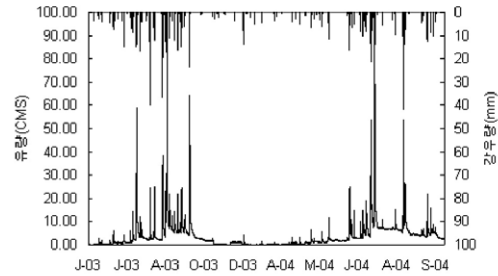


Fig. 3. Flowrate variation of Gongji stream

지천 유역을 대상으로 분석한 결과이다.

3. 유역별 강우유출량 조사

각 유역을 대상으로 구축된 원격수위계측시스템을 이용하여 수위를 측정함과 더불어 정기적인 현장 조사를 통해 각 하천의 유량을 측정하고 시료를 채수하여 수질조사를 병행하였다. 하천 수위변동조사는 2003년 6월부터 계속 실시간으로 조사되었으며, 현장조사도 같은 기간동안 월 1회 이상 실시하였다.

1) 하천수위 및 유량변동조사

본 연구의 기초 자료가 되는 하천별 수위변동조사는 운영중인 원격수위계측기의 1시간 간격의 수위데이터를 이용하였으며, 공지천과 지암천 각각 11,712개(2003년 6월~2004년 9월)의 수위데이터를 이용하여 분석·평가하였다.

하천별 유량변동조사는 현장조사에서 측정된 하천 유량자료와 원격수위계측기의 수위자료를 이용하여 수위·유량 관계식을 유도한 후 이 관계식을 이용하여 시간별 유량변동을 평가하였다. 강우에 따른 하천별 유량변동 조사 결과는 Fig. 2 and 3과 같다.

2) 현장조사

현장조사 및 시료채취는 정기조사와 수시조사로 나누어 실시하였으며, 정기조사는 매월 1회 실시하였고, 수시조사는 강우에 의해 하천 유량이 급격히 변동할 때 수시로 조사하였다. 유량측정을 위한 유속을 측정하고 하폭 및 수심을 측정하여 하상단면도를 제작하였다. 유속은 자력식 유속계(Flomat-2000)

를 이용하여 측정하였다. 현장에서 측정해야하는 수질측정항목인 수온, pH, DO, 전기전도도 등은 현장에서 측정하였으며, 특히 불투수성과 수온과의 관계를 면밀히 분석하기 위하여 기온과 수온은 ASTM 규격에 부합하는 표준 온도계를 이용하여 계절별로 교정·확인한 온도계를 이용하여 측정하였다. 또한, 강우량 조사는 춘천 기상대의 자료를 활용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유역별 불투수성 평가

유역별 불투수성은 유역 내 도로, 주차장, 인도 등 물의 침투율이 낮은 지표들의 합을 의미한다. 즉, 전체 유역에 대한 불투수지역의 비율로 나타낼 수 있으며, 녹지를 제외한 면적의 백분율로도 표현할 수 있다. 우선 유역별 토지이용현황을 조사한 결과는 Fig. 4 and 5와 같으며, 공지천 유역의 경우 개발지역에 해당하는 대지의 면적이 전체 유역면적의 13.26%를 차지하였으며, 도로와 주차장 등의 면적이 포함되어 있는 기타용도 지역의 면적도 10.95%로 조사되었다. 지암천 유역의 경우에는 녹지에 해당하는 임야의 면적이 전체 유역면적의 98.18%를 차지하여 전형적인 녹지지역의 형태를 보여주고 있다. 또한 개발지역에 해당하는 대지의 면적은 0.05%에 불과하였다.

앞에서 살펴본 토지이용현황을 근거로 각 유역별 불투수성을 평가하였으며, 평가한 결과는 Table 4와 같다. 본 연구에서는 대상유역의 토지이용현황을 이용하여 전체 유역 대비 유역의 녹지지역 즉, 임야, 하

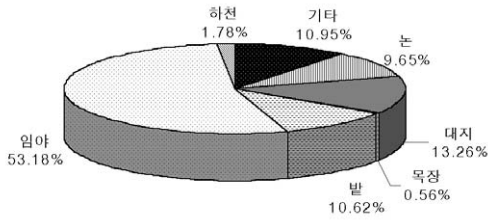


Fig. 4. Distribution of land use in Gongji watershed

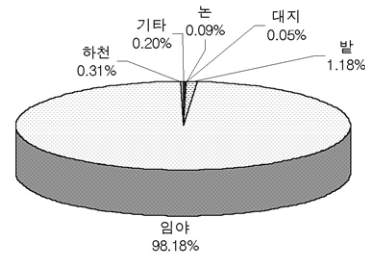


Fig. 5. Distribution of land use in Jiam watershed

Table 4. Imperviousness by each watershed

Watershed	Area(m ²)	Area of forest(m ²)	Impervious area(m ²)	Imperviousness(%)
Gongji stream	55,235,223	41,889,868	13,345,355	24.16
Jiam stream	14,035,025	14,001,112	33,913	0.24

천, 논, 밭, 목장 등의 면적을 제외한 지역의 백분율로 유역의 불투수성을 평가하였다. 각 유역별 불투수성을 살펴보면, 공지천 유역이 24.16%이고 지암천 유역이 0.24%로 도심지역이며 개발지역인 공지천 유역의 불투수성이 녹지지역이며 비개발지역인 지암천 유역의 불투수성의 100배에 해당하는 것으로 조사되었다.

2. 불투수성과 단위유역면적당 유출유량

유역의 유출량을 단위유역면적당 시간당 유량 (m³/sec/km²/hr) 즉, 비유량(이하 비유량)으로 표시하면 일반적으로 유역면적이 증가할수록 비유량은 감소하는 경향이 있다. 그러나 본 연구에 의하면 유역의 불투수성 정도의 차가 심할 경우 비유량은 유역의 불투수성의 영향을 받는 것으로 조사되었다 (Table 5). 2mm/hr 이하의 강우강도로 비가 내릴

경우에 불투수성의 차이가 100배 이상 차이가 나는 공지천과 지암천 유역의 비유량을 비교한 결과 유역면적이 큰 공지천 유역의 비유량은 0.010m³/sec/km²/hr이었고, 불투수성도 낮고 유역면적도 작은 지암천 유역의 비유량은 0.004m³/sec/km²/hr로 현저히 적게 나타났다. 강우강도가 2~3mm/hr인 경우에도 지암천 유역의 비유량이 적게 나타났다. 그러나 강우강도가 5mm/hr이상인 경우에는 유역면적이 큰 공지천 유역의 비유량이 지암천 유역보다 적게 조사되었다. 따라서 강우강도가 3mm/hr 이하로 적은 양의 비가 내릴 경우에는 유역면적의 크기에 상관없이 불투수성이 높은 공지천 유역이 녹지로 구성되어 불투수성이 낮은 지암천 유역에 비해 현저하게 많은 양의 강우유출을 발생하고 있는 것으로 나타났으며, 강우강도가 높은 집중호우의 경우에는 지표의 투수성에 관계없이 유역면적에 따른 유출특성을 나타내는 것으로 조사되었다.

Table 5. Runoff flowrate per unit area by each watershed

Rainfall intensity (mm/hr)	Flowrate per unit area(m ³ /sec/km ² /hr)			
	Gongji stream		Jiam stream	
	Average	Median	Average	Median
≤2	0.010	0.009	0.004	0.002
2 ~ 3	0.038	0.024	0.020	0.016
3 ~ 5	0.035	0.022	0.032	0.030
5 ~ 7	0.043	0.038	0.063	0.056
7 <	0.162	0.151	0.209	0.186

3. 불투수성과 침투유량 도달시간

강우에 따른 유역별 수문특성을 파악하기 위하여 하천의 침투유량(Q_p)과 침투유량 도달시간(Q_t)을 산정하였다. 산정된 결과를 이용하여 각 유역별 침투유량과 도달시간과의 관계분석을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 6 and 7에 각각 제시하였다. 관계분석은 우기시(2003년 6월~8월) 강우사상에 따라 침투유량

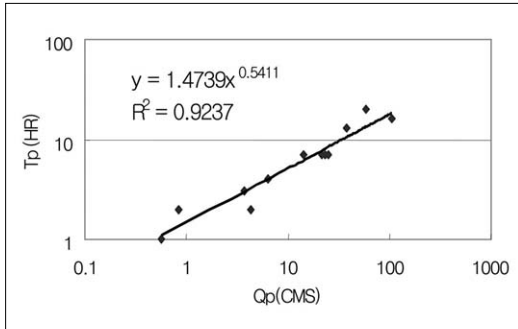


Fig. 6. Relation of peak flowrate(Qp) and time to peak(Tp) in Gongji stream

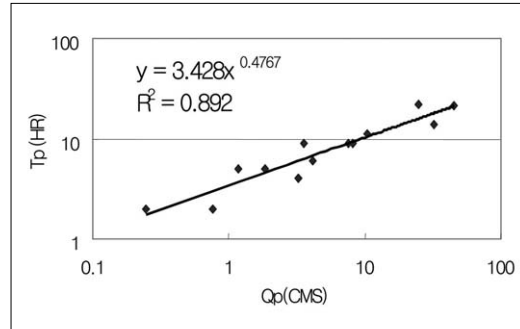


Fig. 7. Relation of peak flowrate(Qp) and time to peak(Tp) in Jiam stream

이 발생한 경우들을 선택하여 회귀분석을 실시하였다. 분석결과 공지천은 결정계수(R²)가 0.9237, 지암천은 결정계수(R²)가 0.8920으로 밀접한 상관관계를 나타내었으며, 각 하천별 첨두유량과 도달시간의 관계식도 도출하였다. 관계식에 따르면, 첨두유량 10CMS(m³/sec)가 발생하는데 소요되는 공지천의 도달시간은 약 5시간이며, 지암천의 도달시간은 약 10시간으로 공지천의 첨두유량 발생시간이 지암천에 비해 절반의 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 따라서 불투수성이 높은 공지천 유역에서 첨두유량 발생 시간이 빠르게 나타나는 것으로 보아 첨두유량 도달 시간은 유역의 불투수성에 영향을 받는 것으로 판단된다.

4. 불투수성과 하천의 수온 상승

불투수성의 지표는 열을 흡수하거나 반사하게 된다. 또한, 불투수성 지역은 태양의 복사에너지를 상쇄할 수 있는 그늘을 제공할 수 있는 나무도 적게 분포하므로 여름철 불투수성 지역은 녹지지역에 비해 국부적으로 대기 및 지상온도가 높으며, 상류 하천이

나 수심이 낮은 하천의 경우 수온은 국부적인 대기온도에 의해 크게 영향을 받을 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 불투수성 지역을 관류하는 공지천과 녹지지역을 흐르는 지암천의 평균 수온을 비교하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다. 공지천 유역과 지암천 유역의 년평균 기온 차는 1℃에 불과하나 수온 차는 3.7℃를 나타냈으며, 특히 여름철(7월~8월)의 경우 4.4℃의 수온차를 나타내는 것으로 조사되어 불투수성이 하천의 수온상승에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

최근 들어 유역의 지표피복형태에 따른 강우 유출 특성이나 환경변화에 대한 관심이 대두되고 있으며 불투수성을 유역의 환경 실태를 평가하는 지표로 이용하는 경향이 나타나고 있다. 본 연구에서는 토지이용도를 활용하여 유역별 불투수성을 산정하고, 원격수위계측기를 활용한 유역별 강우유출 특성을 평가하여, 불투수성과 강우유출 특성을 비교하였다. 또한, 불투수성 정도에 따른 하천의 수온 차이도 확인하였다. 본 연구의 세부적인 결과는 다음과 같다.

1. 유역별 불투수성은 전체유역에 대한 불투수지역의 비율로 나타낼 수 있으며, 본 연구에서는 대상 유역에 대한 녹지지역 즉, 임야, 하천, 논, 밭, 목장 등의 면적을 제외한 지역의 백분율로 유역의 불투수성을 평가하였다. 공지천 유역의 불투수성은 24.16%이고 지암천 유역은 0.24%로 도심지역인 공지천 유

Table 6. Temperature and water temperature by each stream

Item	Gongji stream		Jiam stream	
	Temp.	Water temp.	Temp.	Water temp.
Annual average	22.4°C	19.2°C	21.4°C	15.5°C
Average of summer (Jul.~Aug.)	26.4°C	22.3°C	24.5°C	17.9°C

역의 불투수성은 녹지지역인 지암천 유역의 불투수성의 100배에 해당하는 것으로 조사되었다.

2. 유역의 유출량을 단위유역면적당 시간당 유량 ($m^3/sec/km^2/hr$)으로 평가하면 일반적으로 유역면적이 증가할수록 단위유역면적당 침투유량은 감소하는 경향이 있다. 그러나 본 연구에서 조사한 결과 강우강도 $2mm/hr$ 이하의 강우사상의 경우 불투수성이 100배 크고 유역면적도 넓은 공지천 유역의 단위유역면적당 유출유량은 $0.009m^3/sec/km^2/hr$ 이었고, 불투수성과 유역면적이 모두 작은 지암천 유역은 $0.002m^3/sec/km^2/hr$ 로 현저히 적게 나타났다. 따라서, 낮은 강우강도의 강우사상인 경우 유역면적의 크기에 상관없이 불투수성이 높은 유역에서 많은 양의 강우가 유출되는 것을 알 수 있었다.

3. 하천별 침투유량(Q_p)과 침투유량 도달시간(Q_t)과의 관계분석을 실시하여 결정계수(R^2) 0.9237, 0.8920의 밀접한 상관관계를 나타내는 관계식을 얻었으며, 이 관계식 따라 침투유량 $10CMS(m^3/sec)$ 에 대한 도달시간을 산정한 결과 공지천은 약 5시간이며, 지암천은 약 10시간으로 불투수성 유역의 유출시간이 녹지지역의 1/2 수준임을 나타내어 침투유량 도달시간은 유역의 불투수성에 영향을 받는 것으로 조사되었다.

4. 불투수성 지역을 관류하는 공지천과 녹지지역을 흐르는 지암천의 평균 수온을 비교한 결과 공지천과 지암천은 여름철에 $4.4^\circ C$ 의 수온차를 나타내어 불투수성이 하천의 수온상승에도 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

참고문헌

- 심재현, 고영인, 1996, 강우에 의한 유출량 산정모형, 한국지방행정연구원, 7-21.
- 함광준, 2004, 강우유출 및 오염원 관리 시스템의 개발 및 적용, 박사학위논문, 강원대학교, 140-157.
- 환경부, 2003, 유역관리기법, 3-7.
- Galli, J., 1991, Thermal Impacts Associated With Urbanization and Stormwater Management Best Management Practices, Metropolitan Washington Council of Governments. Maryland Department of Environment. Washington, D.C. 188.
- Honer et al., 1996, Watershed Determinates of Ecosystem Functioning, Effects of Watershed Development and Management on Aquatic Ecosystems, Roesner, L.A., ed., Snowbird Utah. August 4-9, 1996. Engineering Foundation.
- Schueler, T., 1994, The Importance of Imperviousness, Watershed Protection Techniques, 1, 100-111.
- Simmons, D and R. Reynolds., 1982, Effects of Urbanization on Baseflow of Selected South-Shore Streams, Long Island, NY., Water Resources Bulletin. 797-805.