

관측자료에 의한 청계천 유역의 물수지 분석

Water balance analysis in the Cheonggyecheon watershed by observation data

김현준 *, 김동필 **, 정일문 ***, 홍일표 ****, 장철희 *****, 노성진 *****

Hyeon Jun Kim, Dong Phil Kim, Il Moon Jung, Il Pyo Hong, Cheol Hee Jang, Sung Jin Noh

요 지

도시화친인 청계천 유역의 물순환 해석을 위한 기초자료로 강우량, 유출량, 상하수도량, 지하수이용량, 지하수위 변화에 의한 유역 저류량 등의 관측자료를 이용하여 연간 물수지 분석을 수행하였다. 청계천 유역의 물순환 구조는 자연계 유출과 인공계 배수의 구조를 지니고 있으며, 이들의 수문성분을 규명하기 위해서는 각각의 수문성분들의 관측 및 해석이 필요하며, 각 수문성분들의 물수지 분석을 통하여 정량적인 합의를 결과를 가지적으로 확보함이 매우 중요하다. 신뢰도와 정확성에 근거한 관측자료를 이용한 물수지 분석은 수문성분들의 총체적 표현이라 할 수 있는 모형(model)의 중요 입력자료이며, 모형의 모의 분석결과를 검증할 수 있는 중요한 기준이 된다. 청계천 유역에 기 설치된 수문모니터링 자료로 물수지 분석을 수행하는 데는 많은 제약과 한계성이 따르므로, 지속적인 수문관측 및 모니터링이 수행된다면 복원 이후 장래의 건전한 물순환 대책 수립에 기여 할 것이다.

핵심용어 : 청계천 유역, 관측자료, 물수지 분석, 수문모니터링, 건전한 물순환 대책

1. 서 론

경제의 발전 및 급속한 산업화에 따른 도시화의 진행으로 도시지역의 물순환 체계는 많은 변화를 가져왔다. 현재 도시하천 유역은 기저유출이 감소하고 홍수량이 증대하였으며, 수질의 악화, 생태계 및 기후의 변화 등을 가져왔다. 이로 인하여 유역의 급격한 변화가 정상적인 물순환계의 문제를 가중시키는 영향을 초래하였다. 문제의 해결책을 찾아내기 위해서는 유역의 물순환계를 전체적인 관점에서 정량적으로 생각할 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

도시하천 유역의 물순환 구조는 매우 복잡한 체계 즉, 자연계 유출과 인공계 배수의 구조를 지니고 있다. 이들의 수문성분을 규명하기 위해서는 강우, 증발산, 토양수분, 인위적 배수구조의 변화, 기후변화, 유출 등과 관련된 각각의 수문성분들의 관측 및 해석이 필요하며, 각 수문성분들의 물수지 분석을 통하여 정량적인 합의 결과를 가지적으로 확보함이 필요하다 할 수 있다.

청계천 유역은 지난해(2003년 7월)부터 복원화가 추진되고 있는 대표 도시하천 유역으로 도시재활성화 및 경제활성화, 삶의 환경 개선 등의 요구조건을 충족시키기 위한 사업이 진행되어 가고 있는 곳이며, 물과 관련된 제반요소들이 확보되어야 할 것은 자명한 일이다. 따라서, 거시적인 관점에서 유역의 물순환 과정을 규명하고 이에 대한 문제점을 찾아내고, 세부적으로 하나하나씩 해결해 나간다면 복원 이후 건전한 물순환 대책 수립에 기여 할 수 있을 것이다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · Email : hjkim@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · Email : dpkim@kict.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · Email : imchung@kict.re.kr

**** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · Email : iphong@kict.re.kr

***** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · Email : chjang@kict.re.kr

***** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · Email : sjnoh@kict.re.kr

2. 물수지 분석

2.1 대상유역

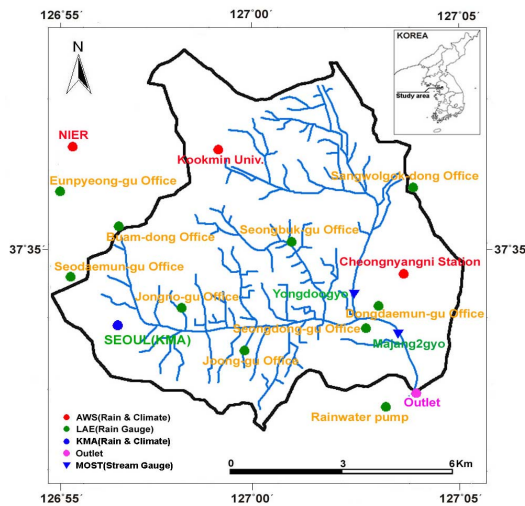


그림 1. 청계천 유역도

청계천은 중랑천의 제1지류인 지방2급 하천이며 유역의 서북쪽인 인왕산(EL.339.2m)과 북한산(EL.342.4m) 기슭에서 발원하여 동남쪽으로 유하하여 흐르는 도시하천으로 무교동, 광고, 장교, 수표교 등을 지나 방산동, 청평화시장 등을 관류하여 좌안으로 성북천 및 정릉천과 차례로 합류하면서 유하하여 중랑천의 우안측으로 유입되는 유역면적 50.96km², 유로연장 13.75km의 도시하천이다. 유역내의 행정구역은 강북구, 동대문구, 성동구, 성북구, 종로구, 중구의 총 6개구 86개동에 달하며, 지천으로 성북천과 정릉천을 포함하는 청계천의 하상경사는 1/310~1/510 정도이다. 청계천유역의 토지이용 현황을 살펴보면 산림지역이 23.2%(침엽수 17.7%, 혼합림 2.7%, 기타임야지 2.8%)를 차지하며, 도시지역이 75.9%(주거지 42.6%, 상업지 9.4%, 교통시설 12.3%, 공공시설물 11.6%)로 대부분이 주거지역이며, 이 외에 나대지가 0.5%, 하천 0.5%, 미세한 초지 등으로 나타났다

2.2 관측자료 분석

도시하천 유역의 물수지 분석을 위한 자료로 유입량 자료에는 강우(P_{pre}), 상수공급량(Q_{supply}) 및 지하수 이용량(Q_{gws})이며, 유출량 자료에는 하천유출량(Q_{stream}), 하수량(Q_{sewage}), 증발산량(E_{evt}) 및 지하수위 변화에 의한 유역 저류량(ΔS)으로, 다음과 같이 식 (1)을 이용하여 물수지를 계산하였다.

$$P_{pre} + Q_{supply} + Q_{gws} = Q_{stream} + Q_{sewage} + E_{evt} + \Delta S \quad \text{식 (1)}$$

관측자료의 분석은 자료의 정확도 및 수집된 기간의 동일조건을 만족하기 위하여 기준년을 2002년도로 설정하였으며(일부는 2001년 및 2003년 자료 인용), 수집된 자료의 정리를 통하여 다음과 같이 분석을 수행하였다.

먼저 유역의 유입량자료인 강우량자료는 서울기상청, 유역내외의 구청, 동사무소, 빗물펌프장의 우량자료를 수집하여 정리 하였다. 자료의 관리 및 결측 유무를 확인하고 신뢰성을 검토한 결과를 바탕으로 최종적으로 서울기상청의 자료를 선택하여 분석하였다. 상수공급량 자료의 수집은 2개 관점에서 접근하여 분석하였다. 첫 번째는 청계천 유역에 상수공급을 관할하는 중부, 동부 및 성북 수도사업소의 총공급량(2003년)을 수집하였으며(왕십리동은 성북 수도사업소만 공급 받음, 1인1일 상수평균사용량 적용), 두 번째로는 청계천 유역에 거주하는 총인구를 조사하여 1인1일 상수평균사용량을 적용하여 분석하였으며, 본 논문에서는 전자를 택하였다. 지하수 이용량자료는 지하수조사연보의 문헌을 참고로 하여 자료를 분석하였다.

다음은 유역의 유출량자료인 하천유출량을 분석하였다. 관측된 수위자료의 보정을 거쳐 수위-유량 관계식(서울특별시, 2003)을 이용하여 유량으로 환산하였다. 각 지점별 3개년간('00~'02)의 평균 유출률은 제2마장교와 용두교 지점에서 각각 47%, 36%이었으나, 각 지점의 수위 관측소에서 측정하지 못하는 수위 구간이 있으므로 실제 유출률은 이보다 클 것으로 판단된다. 계산된 유출고는 대부분 강우시 5시간 이내에 기록된 수위값 만으로 구해졌으므로 유출의 성격을 대부분 직접유출로 볼 수 있다. 이로부터 청계천 유역은 적어도 연간 50%이상의 직접유출이 발생한다는 것을 간접적으로 추론할 수 있다. 따라서 위와 같은 분석을 근간으로 하여 청계천 유역 출구의 유출고는 제2마장교 대비 유역출구 유역면적비를 적용하여, 2002년의 연간 유출고를 606mm로 산정

하였다. 청계천 유역에서 발생하는 하수는 모두 중랑하수처리장으로 유입된다. 청계천 좌안의 차집관거에 차집되는 하수량의 일부는 중랑하수처리장(제1처리장)으로, 일부 월류된 하수는 중랑하수처리장(제3처리장)에 유입된다. 청계천 우안의 차집관거에 차집되는 하수량은 하천을 횡단하여 청계천 좌안의 하수관거 라인에 유입된다(그림 2 참조). 따라서, 하수량의 분석은 제1처리장의 하수유입량 총량과 제3처리장으로 흘러들어간 하수량은 현장유량측정에 의하여 하수량을 산정하여 분석하였다.

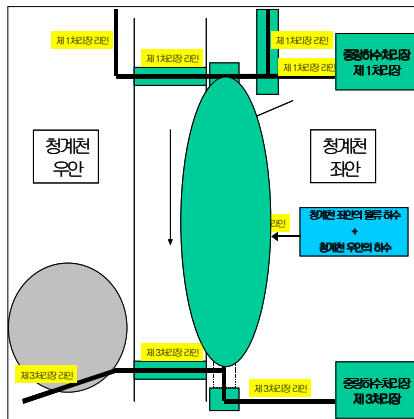


그림 2. 차집관로 현황도

변화량을 청계천 유역면적으로 나누어 청계천 유역의 수위변화량을 구한 결과 연간 159mm의 체적감소가 일어난 것으로 분석되었다.



그림 3. 하수관거에서의 하수량 측정

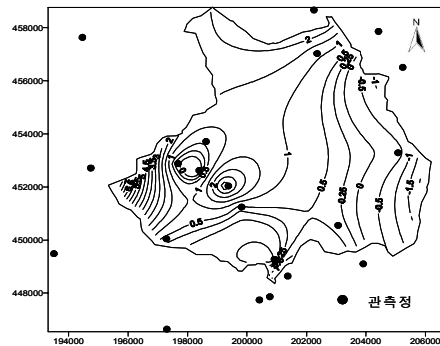


그림 4. 청계천 유역의 지하수위 변화 (2002. 12. 31)

2.3 적용결과

이상과 같이 각 요소별 분석을 통하여 종합한 결과는 표 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 각 물순환 구성요소별 연간 유출고(mm)를 산정한 결과 유역유출량이 유역유입량보다 적게 나타났다. 이것은 각 요소별 불확실성, 자료의 제약 및 한계성을 고려한다면, 비교적 정량적인 값을 도출하였다고 할 수 있다. 도시하천 유역의 물순환은 인공계의 유입과 유출이 자연계의 유입과 유출보다 상대적인 우위의 양을 보이고 있다. 그러므로 도시화가 매우 발달된 유역에서의 정확한 물순환 과정을 파악하기 위해서는 모든 요소의 정밀관측 및 분석이 필요하다. 특히, 인공계 유입과 유출을 대표하는 상하수량의 정확한 분석이 필요하다. 현재, 도시하천 유역의 배수체계는 행정구역단위로 이루어져 있어 물순환 과정을 분석하기 위한 유역단위와의 불일치와 상수공급지역과 하수차집지역의 불일치 문제를 정확한 양을 산정하는데 큰 장애 요인이 된다. 앞으로 물순환 구성요소들의 정밀조사를 통하여 각 요소의 불확실성을 개선시켜 나간다면 유역의 물순환 과정을 보다 더 정밀하게 해석할 수 있을 것이다.

표 1. 청계천 유역 연간 물수지 분석결과

요 소	유출고(mm/yr)	자료년	비 고
유입량 총계	5,058		
강우량	1,388	2002년	· 서울기상청 자료 인용
상수공급량	3,575	2003년	· 상수도 사업소(중부, 성북) 총공급량 적용 · 왕십리지역은 동부사업소에서 공급받음 (1인1일 상수평균사용량(365ℓ) 적용)
지하수이용량	95	2001년	· 지하수 조사연보(2002년) 인용
유출량 총계	4,870		
하천유출량	606	2002년	· 홍수량 측정결과(제2마장교)만 적용 (유역면적비 적용, 제2마장교×1.03)
하수량	4,192	2003년	· 중랑천 하수처리장 유입량 자료 · 하수관거 실측 하수량
유역저류량	(-)159	2002년	· 서울시 지하수 관측망(2002년) 참조
증발산량	231	2002년	· 일강우량 10mm 미만

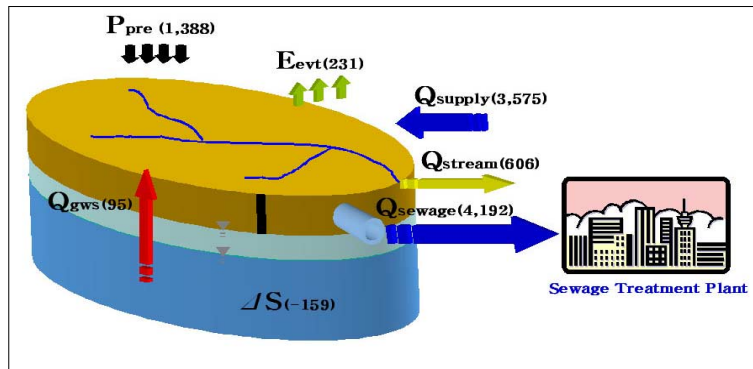


그림 5. 청계천 유역 연간 물수지도(2002년 기준)

3. 결 론

도시하천 유역은 자연과 인공적인 요소의 이중적 구조를 가지고 끊임없이 물순환을 반복한다. 현재의 가용한 관측자료를 이용하여 청계천 유역의 물순환 체계를 분석하였으나, 관련자료의 미흡과 한계성으로 단기간의 분석결과만을 얻는데 만족하였다. 각 물순환 요소별 지속적인 수문 모니터링이 체계적으로 이루어진다면 청계천 유역의 물순환 과정을 보다 더 정밀하게 해석할 수 있을 것이며, 복원 이후 건전한 물순환 대책 수립에 기여할 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프런티어개발연구사업인 수자원의지속적확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 6-1-1)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 서울특별시, 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구(4차년도 보고서), 2003. 9
2. 서울특별시, 상수도사업소 운영자료, 2003년
3. 중랑천하수처리사업소, 하수유입량 자료, (1998년~2003년)
4. 한국건설기술연구원, 청계천 유역 물순환 해석 국제심포지움, 2004. 3