

청계천 유역 갈수량 측정 및 분석

Measurement and Analysis of Low Flow in the Cheonggecheon Watershed

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

Seong Jin Noh, Hyeon Jun Kim, Cheol Hee Jang, Dong Pil Kim, Il Pyo Hong

요 지

도시 유역의 물순환 특성을 종합적으로 이해하기 위해서는 갈수량 자료의 구축이 필수적이다. 하지만 지금까지의 연구는 주로 치수분야에 한정되어 대부분의 자료 또한 홍수기에 대해서만 자료가 구축되어 있으며 상대적으로 갈수기에 대한 자료와 관련 연구는 부족한 편이다. 본 연구에서는 청계천 유역의 기존 수문자료를 이용하여 유역의 유출 특성을 분석하고 갈수량을 측정하여 청계천 유역의 물순환 특성을 파악하기 위한 기초자료를 구축하였다. 청계천은 서울의 서북쪽에 위치한 인왕산과 북한산의 남쪽 기슭, 남산의 북쪽 기슭에서 시작하여 서에서 동으로 종로, 세운상가, 동대문 등 서울의 도심부를 흐르는 유로연장 13.75 km, 유역면적 50.96 km²의 도시하천으로 중랑천의 제1지류인 지방2급 하천이며, 정릉천, 성북천을 제1지류, 월곡천을 제2지류로 포함한다. 청계천은 도시화로 인해 1950년대부터 1970년대까지 점차 복개되었다가 2003년 7월부터 5.9 km의 분류구간에 대한 복원공사가 진행 중이다. 청계천은 홍수기 이후 유량이 급격히 줄어 11월 이후에는 다음 홍수기까지 강바닥이 완전히 들어나는 일종의 간헐천으로 홍수기를 제외한 시기의 자료는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 유역내 8개의 모니터링 지점을 선정하여 2003년 9월 이후, 월 2회 이상 갈수량 자료를 현장 측정·분석하였다. 청계천 유역은 복원공사 완공 후에는 유역의 물순환 특성이 대폭 바뀔 것이 예상되는 지역으로 본 연구에서 구축된 갈수량 자료는 청계천 유역의 물순환계 변화를 분석하고 건전한 물순환 체계의 유지·관리를 위한 기본 자료가 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 도시 유역, 청계천 유역, 갈수량, 유출 분석

1. 서론

도시 유역의 물순환 특성을 종합적으로 이해하기 위해서는 갈수량 자료의 구축이 필수적이다. 하지만 지금까지 도시하천 유역에 대한 연구는 주로 치수분야에 한정되어 대부분의 자료 또한 홍수기에 대해서만 자료가 구축되어 있으며 상대적으로 갈수기에 대한 자료와 관련 연구는 부족한 편이며, 최근에 들어서 도시유역의 갈수량 현장 측정을 통해 비홍수기의 수문특성 파악하려는 연구가 진행되고 있다 (서울시정개발연구원, 2003). 본 연구에서는 기존 수문자료 중 유역내 2개 지점의 수위관측소 자료를 보정하고 이로부터 유출량을 계산하여 유역의 유출 특성을 분석하였으며, 유역내 각 지점의 갈수량을 측정하여 청계천 유역의 물순환 특성을 파악하기 위한 기초자료를 구축하였다 (김현준 등, 2004).

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : sjnoh@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : hjkim@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : chjang@kict.re.kr
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : dpkim@kict.re.kr
***** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : iphong@kict.re.kr

2. 유역 특성 및 수문 관측 시설 현황

2.1 유역 특성

청계천은 서울의 서북쪽에 위치한 인왕산과 북한산의 남쪽 기슭, 남산의 북쪽 기슭에서 시작하여 서에서 동으로 서울의 도심부를 흐르는 유로연장 13.75 km, 유역면적 50.96 km²의 도시하천이다. 지천으로 성북천과 정릉천을 포함하고 있으며 하상경사는 1/310~1/510 정도이다 (서울특별시, 2003). 유역의 평균고도는 El. 70.1 m이며, 유역의 평균 경사는 7% 정도이다. 토양은 사질토 1.0%, 암석 4.0%, 미사질양토 25.3%, 미사질식양토 33.0%, 식양질토 35.9%, 식토 0.9%로 대부분이 양토 (loam)로 이루어져 있으며, 토지이용은 산림지역이 23.2%, 도시지역이 75.9%를 차지하고 있다. 유역내 행정구역은 강북구, 동대문구, 성동구, 성북구, 종로구, 중구의 총 6개구 86개동이고 유역내 인구는 120만명에 달한다 (서울특별시, 2003).

2.2 수문 관측 시설 현황

청계천 유역내 수위 관측소는 2개소로 청계천과 정릉천 하류부인 제2마장교와 용두교에 각각 설치되어 있으며 우량 및 기상 관측시설은 기상청에서 관리하고 있는 서울 측후소 및 6개의 자동기상관측소 (AWS; Automatic Weather System)와 각 지자체 (구청 6개소, 동사무소 2개소) 및 빗물펌프장 (2개소) 등 12개소의 우량 및 기상 관측소가 있다.

3. 기존 수문 자료 분석

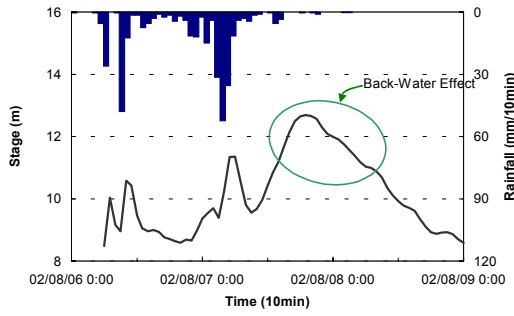
3.1 수위 자료 분석

제2마장교와 용두교에 설치된 수위관측소는 음파식으로 수위를 측정하며 자료가 전용회선에 의해 전송되어 서울시 재해방재센터 홈페이지 (<http://119.seoul.go.kr/index.html>)에서 실시간 수위값을 확인할 수 있다. 그러나 현재 설치된 시설은 홍수방재의 목적을 우선적으로 고려하여 설치되어 그림 1에서 보듯이 각 지점마다 일정 수위 이하는 측정할 수 없으므로 수위 자료의 보완이 요구된다. 자료 분석 및 현장 확인결과 제2마장교는 약 8.36 m, 용두교는 약 12.89 m 이상의 수위 자료만 사용가능한 것으로 나타났다. 한편, 제2마장교는 청계천 하류에 위치하여 중랑천 및 한강 본류 수위의 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다. 그림 2(a)에서 2002년 8월 6일 ~ 9일의 수위변화 양상을 살펴보면 2002년 8월 7일 12:00 이후 강우가 없음에도 수위가 급격히 상승하였음을 알 수 있으며 이는 그림 2(b)의 한강대교의 수위변화에 의한 배수효과 (Backwater effect)와 관련이 있는 것으로 보인다. 제2마장교와 용두교의 자동관측에 의한 수위 자료중 수위계 측정가능점 이하와 비강우시 이상치를 제거하고 홍수기의 수위값중 실측값과 관측값의 차이가 큰 경우 실측값을 이용하여 수위를 보정하였다. 2001년 ~ 2002년까지 2년간의 용두교 지점의 수위를 보정전과 보정후로 나누어 도시하면 각각 그림 3, 그림 4와 같으며, 갈수기의 유량자료 수집이 요구됨을 알 수 있다.

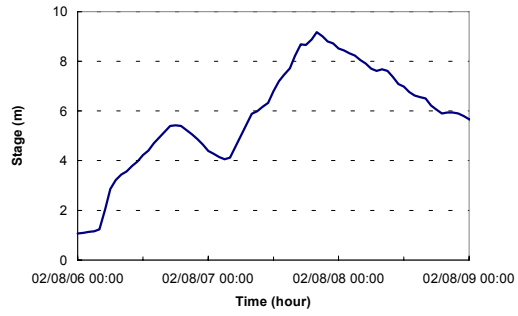


(a) 제2마장교 (전경) (b) 제2마장교 (근경) (c) 용두교 (전경) (d) 용두교 (근경)

그림 1. 수위관측소 현장 사진



(a) 제2마장교



(b) 한강대교

그림 2. 한강으로부터의 배수효과로 인한 제2마장교 지점 수문곡선 변화양상

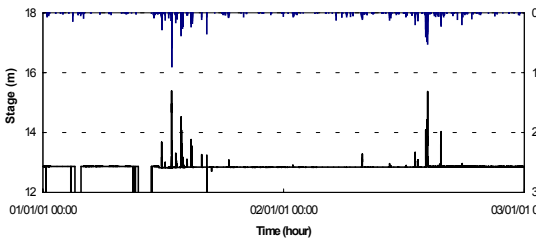


그림 3. 용두교 수위 (보정전)

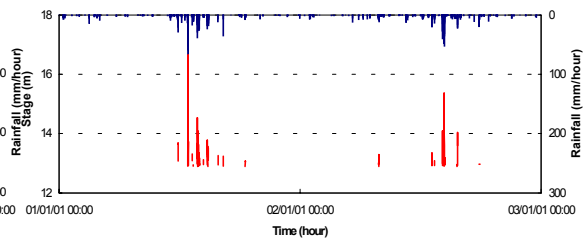
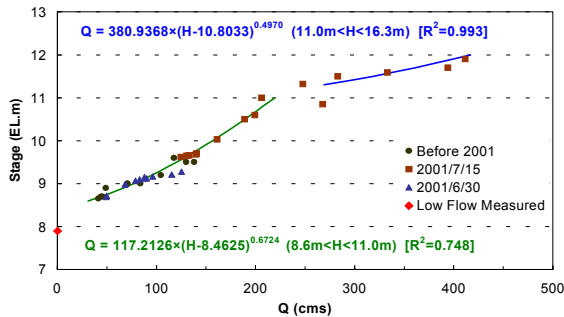


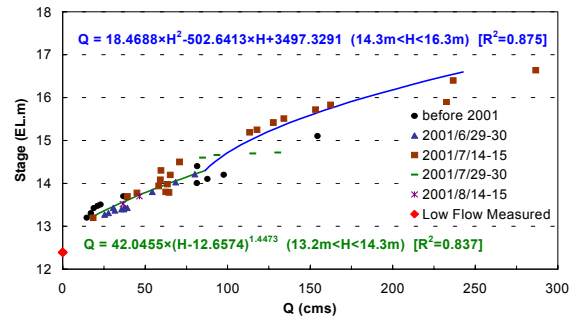
그림 4. 용두교 수위 (보정후)

3.2 유출 자료 분석

보정된 수위를 기존의 수위-유량 관계식 (서울특별시, 2003)을 사용하여 유량으로 환산하였으며, 제2마장교와 용두교 지점의 수위-유량 관계를 도시하면 그림 5(a), 그림 5(b)와 같다. 그림에서 수위-유량 관계식은 저수위와 고수위로 나누어져 있는데 이는 제2마장교와 용두교 지점의 하천단면이 복단면이기 때문에 판단된다. 저수위시 식의 적용이 가능한 수위는 제2마장교와 용두교 지점에서 각각 8.6 m와 13.2 m이며 향후 지속적인 갈수량 자료 구축을 통해 저수위시의 수위-유량 관계식을 보완할 수 있을 것이다.



(a) 제2마장교 지점



(b) 용두교 지점

그림 5. 수위-유량 관계 곡선

수위로부터 환산된 유량을 각 지점의 유역 면적 (제2마장교 : 49.27 km^2 , 용두교 : 18.95 km^2)으로 나누어 유출심 (Runoff depth)으로 나타내면 그림 6과 같다. 표 1에서 각 지점별 유출율은 제2마장교와 용두교 지점에서 각각 47%, 36%이다. 각 지점의 수위 관측소에서 측정하지 못하는 수위 구간이 있으므로 실제 유출율은 이보다 클 것으로 판단된다. 계산된 유출심이 대부분 강우시 5시간 이내에 기록된 수위값 만으로 구해졌으므로 유출의 성격을 대부분 직접유출로 볼 수 있다. 이로부터 청계천 유역에서 연간 50%이상의 직접유

출이 발생한다는 것을 간접적으로 추론할 수 있다. 일반적으로 유역면적이 넓어질수록 유출율이 낮아지는 것으로 알려져 있지만 유역면적이 더 넓은 제2마장교 지점의 값이 용두교보다 높게 나타났다. 이는 용두교 지점 관측소의 수위계가 제2마장교에 비해 지면보다 더 높게 설치되어 측정하지 못하는 영역이 더 많고 저수시의 유량 환산이 부정확한 점도 고려되어야 한다.

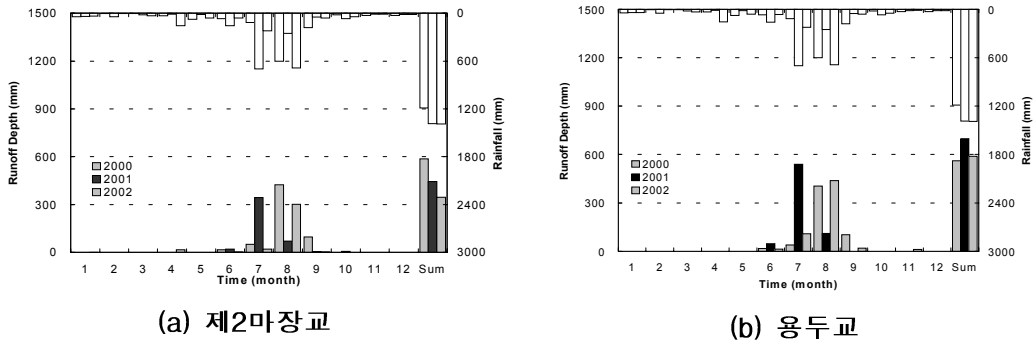


그림 6. 연도별 유출심 비교

표 1. 연도별 유출심 및 유출율(제2마장교, 용두교 지점)

구분		2000	2001	2002	평균
연간 강우량 (mm)		1,187	1,386	1,388	1,320
제2마장교	유출심 (mm)	562	697	588	616
	유출률 (%)	47	50	42	47
용두교	유출심 (mm)	587	445	347	460
	유출률 (%)	50	32	25	36

4. 갈수량 측정

청계천 (제2마장교), 정릉천 (용두교, 성원 APT, 산장APT), 성북천 (보문2교)의 분류와 청계천 상류의 지류 (청운동천, 백운동천, 창덕궁천) 등 유역내 총 8개 지점의 유량을 2003년 9월 이후 지속적으로 측정하고 있다. 각 지점의 위치는 그림 7과 같으며 유량측정 결과는 그림 8과 표 3에 정리하였다. 그림 8(a)에서 제2마장교와 보문2교 지점은 9월 이후 급격히 유량이 감소하여 12월 이후 흐름이 없으며, 용두교 지점은 유량이 감소된 이후 3개월 이상 일정한 흐름이 유지되고 있는데 이는 지하철 6호선 고대역에서 지속적으로 지하수를 하천으로 공급하고 있기 때문이다. 그림 8(b)에서 청계천 상류의 지류는 갈수기에도 적은 양이지만 지속적인 흐름이 유지됨을 알 수 있다. 갈수량 측정 방법은 삼청동천, 백운동천 등 청계천 상류의 지류 (2개 지점)에 대해서는 bucketing을 통해 유량을 측정하고 있으며 나머지 지점에 대해서는 피그미 유속계를 사용해서 측정하고 있다.

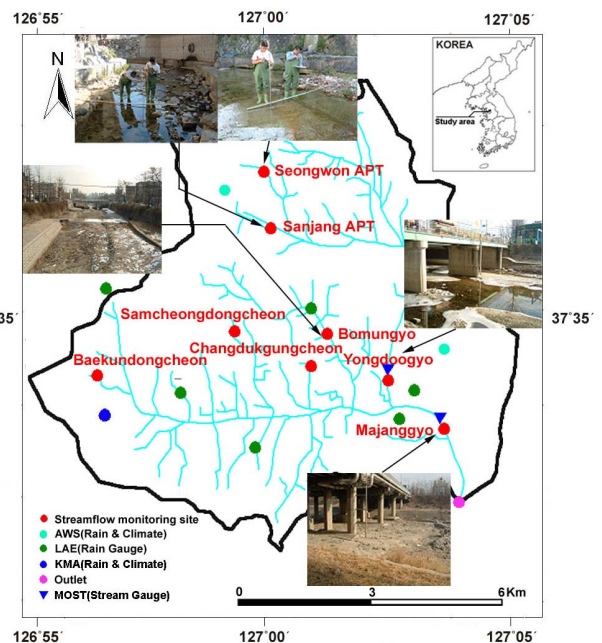
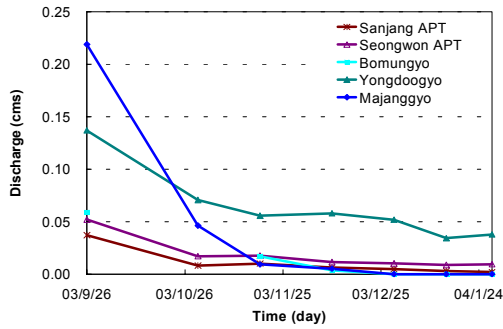
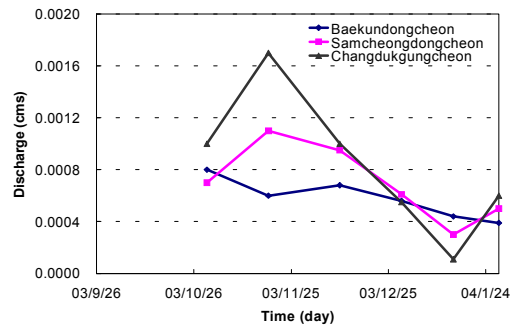


그림 7. 청계천 유역의 갈수량 측정 지점



(a) 청계천, 정릉천, 성북천 본류



(b) 청계천 상류의 지류

그림 8. 갈수량 측정 결과

표 2. 갈수량 측정 결과

날짜	수위 (EL.m)		유량 (m ³ /s)							
	제2마장교	용두교	제2마장교	용두교	성원APT	산장APT	보문2교	창덕궁천	삼청동천	백운동천
03.9.26	·	·	0.219	0.137	0.052	0.037	0.059	·	·	·
03.10.30	7.95	12.39	0.0462	0.0707	0.017	0.0082	·	0.001	0.0007	0.0008
03.11.4	7.93	12.38	·	·	·	·	·	·	·	·
03.11.18	7.86	12.40	0.0092	0.0558	0.0177	0.0101	0.0170	0.0017	0.0011	0.0006
03.12.10	7.85	12.40	0.0052	0.0580	0.0114	0.0064	0.0035	0.0010	0.00095	0.00068
03.12.29	·	12.39	0	0.0519	0.0103	0.0048	0	0.00055	0.00061	0.00056
03.1.14	·	12.39	0	0.0342	0.0088	0.0029	0	0.00011	0.00030	0.00044
03.1.28	·	12.38	0	0.0378	0.0095	0.0020	0	0.00060	0.00050	0.00039

5. 결론

본 연구에서는 기존 수문자료 중 유역내 2개 지점의 수위관측소 자료를 보정하고 이로부터 유출량을 계산하여 유역의 유출 특성을 분석하였으며, 유역내 8개 지점을 선정, 갈수량을 측정하여 청계천 유역의 물순환 특성을 파악하기 위한 기초자료를 구축하였다. 청계천 유역은 복원공사 완공 후에는 유역의 물순환 특성이 대폭 바뀔 것이 예상되는 지역으로 본 연구에서 구축된 갈수량 자료는 청계천 유역의 물순환계 변화를 분석하고 건전한 물순환 체계의 유지·관리를 위한 기본 자료가 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원 (과제번호 6-1-1)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- 김현준, 장철희, 노성진, 김동필, 정일문, 홍일표 (2004). “청계천 유역의 수문 모니터링 및 물순환 해석.” 청계천 유역 물순환 해석 국제 심포지엄 자료집, 한국건설기술연구원, pp. 3-22.
- 서울특별시 (2003). 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구 (4차년도 보고서), 서울특별시.
- 서울시정개발연구원 (2003). 서울시 도시하천의 비홍수기 수리·수문특성 기초조사연구 : 정릉천을 사례로, 시정연 2003-R-14.