도시화에 따른 하천 수문·수질 변동 영향 평가를 위한 판교 시험유역의 운영

An operation of Pangyo experimental catchment to assess the variation of stream hydrology and water quality by urbanization

장철희*, 김현준**, 김철겸***, 노성진****
Cheolhee Jang, Hyeonjun Kim, Chulgyum Kim, Seongjin Noh

요 지

도시화는 수문학적으로 산림이나 농경지와 같은 투수지역을 건물, 도로 등의 불투수지역으로 변화시키는 것이며, 이로 인하여 홍수파의 도달시간이 줄어들고 첨두유량이 증가하는 등의 수문변화를 수반하게 된다. 도로나 건물 등이 대부분을 차지하고 있는 도시지역에서는 지표면이나 식생으로부터 대기중으로 방출되는 증발산량이 농촌이나 산림지역보다 상대적으로 적으며, 강우시 토양중의 침투량과 지표면의 저류량도 도시지역에서는 매우 적게 나타난다.

본 연구에서는 도시화로 인하여 대규모의 토지이용 변화가 예상되는 신도시 개발예정지구인 판교 운중천 유역을 시험유역으로 선정하여 장기적인 수문/수질 모니터링을 수행하고 있으며, 향후 판교 시험유역에서 계측된 자료와 유역수문모형을 활용하여 개발 전후의 홍수 및 장기유출 특성을 분석하여 도시화가 하천의 수문 및 수질에 미치는 영향을 정량적으로 비교 분석하고자 한다.

이를 위해 2004년과 2005년에 시험유역내의 운중천과 금토천에 매송2교, 삼평교, 판교교, 운중저수지, 저수지 용수로, 내동교 등 총 6개의 수위관측소와, 매송2교와 내동교의 2개 우량관측소를 설치하여 실시간 계측을 수행하고 있으며, 인근의 기존에 운영되고 있던 탄천 본류의 성남과 궁내 수위관측소와 운중천의 낙생 우량관측소 자료를 활용하여 유역 수문자료를 수집하고 있다.

수집된 자료를 이용하여 장단기 유출분석을 수행한 결과, 택지개발공사가 시작되기 전인 현재로서는 택지개발 대상지구인 운중천 유역이나 비대상지구인 금토천 유역, 그리고 하류의 운중천 본류 유역 모두 강우시나 무강우시 비슷한 유출 특성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 향후 도시화가 점차적으로 진행됨에 따라서 이러한 유출 특성의 변화 양상을 파악해 나간다면, 도시화에 따른 유출 특성의 변화는 물론 수질 변화에 대해서도 정성적, 정량적인 규명이 가능할 것으로 생각된다.

핵심용어 : 도시화, 신도시, 판교, 장기유출, 수문계측

1. 서론

본 연구의 목적은 도시화로 인하여 대규모의 토지이용 변화가 예상되는 신도시 개발예정지구를 시험유역으로 선정하여 장기적인 수문/수질 모니터링을 실시하고, 시험유역에서 계측된 자료와 유역수문모형을 활용하여 개발전후의 홍수 및 유출특성을 분석하며 도시화가 하천의 수문 및 수질에 미치는 영향을 정량적으로 비교분석 함으로써 효율적인 저감 대책의 수립에 활용하고자 함이다.

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

신도시 개발 전후의 수문순환을 평가하는 방법 중의 하나는 개발예정지에 대한 장·단기의 수문/수질 관측을 통하여 개발 전과 개발 후의 유출특성과 수질부하를 정량적으로 비교하는 것이다. 본 연구에서는 도시화로 인하여 대규모의 토지이용 변화가 예상되는 신도시 개발예정지구인 판교 시험유역을 선정하여 장기적인 수문/수질 모니터링을 실시하고자 한다. 또한, 판교 시험유역에서 계측된 자료와 유역수문모형을 활용하여 개발전후의 홍수 및 유출특성을 분석하고 도시화가 하천의 수문 및 수질에 미치는 영향을 정량적으로 비교분석 함으로써 효율적인 저감 대책의 수립에 활용할 계획이다.

본 연구에서는 판교 신도시 개발에 따른 유역에서의 홍수 및 유출변화, 그리고 수질 영향의 정량적 규명을 궁극적 목적으로 두고 지속적인 수문,수질 모니터링을 수행하였으며, 현재까지의 수문계측 현황과 관측된 수문 자료의 분석결과를 제시하고자 한다.

2. 시험유역 특성

판교시험유역은 한강의 제1지류인 탄천의 제2지류인 운중천이 위치하고 있으며, 북으로 운중천의 지류인 금토천이 위치한 유역이다. 동 지역은 2001년 수도권 지역의 계획적인 신도시 조성을 통한 만성적인 주택난 해소와 강남의 대체도시 조성을 목적으로 개발에 착수하게 되었다. 개발예정지구는 937.6 ha이며, 지구내 운중천과 금토천이 흐르고 있고, 좌우측에는 임상이 양호한 청계산이 위치하고 있으며, 논과 밭은 전체 면적의 37% 정도를 차지하고 있으나 대부분 화훼나 채소재배를 위한 비닐하우스로 이용되고 있다. 시험유역의 면적은 금토천 유역이 9.84㎢, 운중천 유역이 13.26㎢으로 총 23.1㎢의 면적에 해당하는 지역이다. 경위도상으로 볼 때 동경 127°1′17″~127°11′22″ , 북위 37°19′54″~37°23′23″에 해당된다. 인구수는 7만 5,885명, 인구밀도는 235명/㎢, 가구수는 2만4,190 가구 (2002년 기준)에 해당한다 (성남시 통계연보, 2002). 그림 1은 판교시험유역의 DEM, 하천 및 유역현황을 나타낸 것이다.

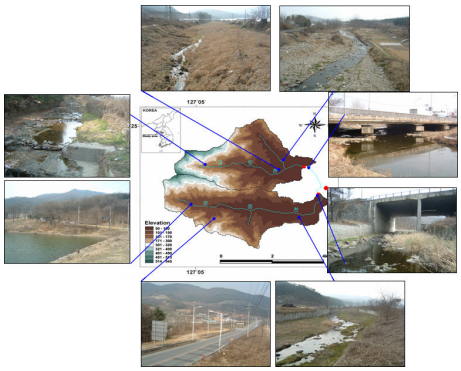

그림 1. 판교 시험유역 현황

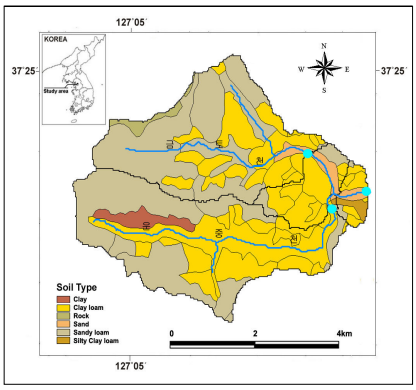

그림 2. 판교 토양특성

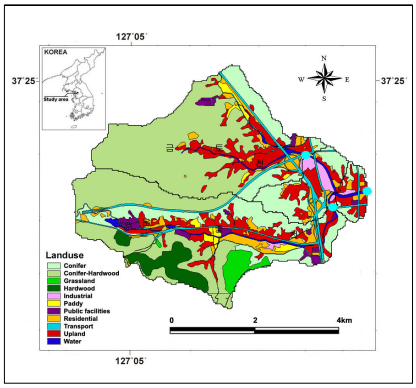

그림 3. 판교 토지이용현황

판교시험유역의 토양특성을 토성 (Soil texture)별로 살펴보면 먼저 북쪽의 금토천 유역의 경우 사질양토 (Sandy loam) 62.4%, 식양질토 (Clay loam) 32.7%, 암석 (Rock) 3.0%, 사토 (Sand) 1.9%로 이루어져 있으며, 본류구간인 운중천 유역의 경우 사질양토 (Sandy loam) 47.6%, 식양질토 (Clay loam) 47.2%, 식토 (Clay) 5.2%로 두 유역을 합쳐서 대부분이 사질양토 (Sandy loam)로 구성되어 있고, 또한 신도시개발예정지구인 운중천 유역의 하천을 따라 대부분 식양질토 (Clay loam)로 구성되어 있음을 알 수 있다. 그림 2에서 보는 바와 같이 대부분의 사질양토 (Sandy loam)는 유역경계의 가장자리인 산지분포지역에 위치하며, 하천구역 및 하류의 평탄지역은 식양질토 (Clay loam)로 구성되어 있음을 알 수 있다. 그림 2는 판교시험유역의 토양분포를 보여주고 있다.

또한, 토지이용현황을 살펴보면 금토천의 경우 산림지역이 73.9% (침엽수 13.1%, 혼합림 60.8%)로 대부분을 차지하며, 수역 1.4%, 논 1.7%, 밭 13.8%, 주거지 및 도로, 공공기관, 산업시설을 포함한 도시지역이 9.2%

로 나타났다. 운중천의 경우 산림지역이 69.1% (침엽수 18.9%, 활엽수 8.8%, 혼합림 41.4%)로 금토천과 마찬가지로 대부분 산림지역이 차지하였다. 이 외에 수역 1.7%, 논 1.8%, 밭 12.2%, 도시지역이 15.2%로 조사되었다. 신도시 개발이전의 판교시험유역은 운중천과 금토천 유역 모두 대부분 산림인접지역으로 식생피복율이 높으며 자연이 잘 보존된 지역들이라 할 수 있다. 그림 3은 판교시험유역의 토지이용 현황을 나타낸 것이다.

3. 판교 시험유역의 운영

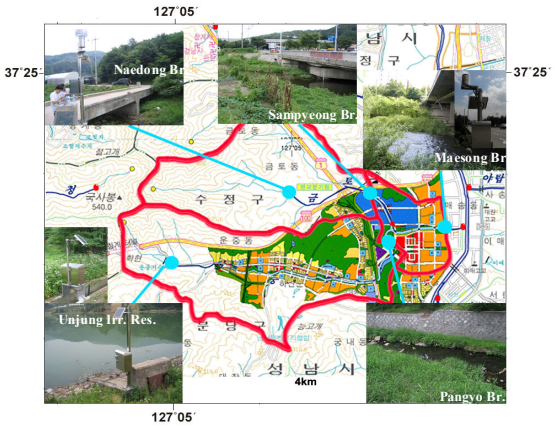

그림 4. 판교 시험유역 수문계측망

2004년 8월 초, 판교시험유역에는 인근 탄천 본류의 성남 ('84), 궁내 ('02) 수위관측소와 운중천의 낙생 ('62) 우량관측소가 있을 뿐, 수문계측을 위한 수위 및 우량 관측소가 미비하였다. 따라서 한국건설기술연구원에서는 2004년 6월과 7월 중에 판교신도시 건설사업의 시행주체인 성남시, 한국토지공사의 협조를 받아 2004년 8월 16일부터 수문계측을 목적으로 운중천 하류 판교교 지점, 금토천 하류 삼평교 지점, 그리고 두 하천이 합류하는 운중천 본류의 매송2교 지점 등 총 3곳에 수위계를 설치하고, 한 개의 강우계를 매송2교 지점에 설치하여, 8월 16일부터 운영을 시작하여 10분 단위로 관측을 하고 있으며(그림 4), 또한, 2005년 5월에는 운중천 상류의 운중저수지의 저수위 및 관개용수공급량을 계측하기 위하여 수위계를 설치하였고, 금토천 상류의 내동교에 수위계 및 우량계를 추가로 설치하였다(그림 4 참조).

판교시험유역의 수문관측망은 한국건설기술연구원에서 판교신도시 개발이 완료된 이후까지 장기적으로 관측할 계획이며, 향후 지속적으로 하천수위, 지하수위, 침투시설, 저류지 등과 같은 관측망을 추가적으로 확대운영 할 계획에 있다. 또한 관측된 모든 자료는 홈페이지(http://www.kict.re.kr/wed/kict-cat/index.html)를 통해 실시간으로 제공하고 있다 (김현준, 2004). 향후 지속적인 수문관측과 고품질의 자료 확보를 위해 관측 지점을 점차적으로 확충할 계획이다. 그림 4는 신설된 각 수문관측소의 위치를 나타낸 것이다.

4. 판교 시험유역 수문자료 분석

판교 시험유역에는 2004년 6월과 7월에 설치된 운중천과 금토천의 매송2교, 삼평교, 판교교 3개 수위관측소와 2005년 5월에 설치된 운중저수지, 용수로 및 내동교 3개 수위관측소의 총 6개의 수위관측소가 신설되었으며, 매송2교 및 내동교의 2개 우량관측소가 있다. 본 연구에서는 2005년 5월에 신설된 운중저수지 및 내동교의 관측데이터가 아직 안정화 되지 않은 관계로 기존 삼평교, 판교교, 매송2교 관측소의 2004년 8월부터 2006년 3월까지의 관측데이터를 수문분석 자료로 사용하였다.

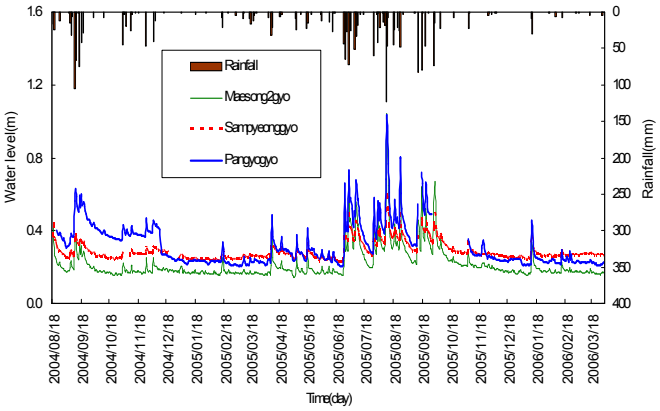

그림 5. 판교시험유역의 일별 수위 및 강우량

판교시험유역에 대한 수문관측 자료는 관측이 개시된 2004년 9월 1일부터 2006년 3월 31일까지의 자료를 이용하여 분석하였다. 2005년 1년 동안의 총 강우량은 1,694 mm로서 같은 기간 동안 낙생 지점의 1,576 mm, 성남지점의 1,402 mm 및 기상청 서울 지점의 1,474 mm, 수원 지점의 1,531 mm보다 높은 관측치를 나타내었다. 또한, 판교교

지점의 수위는 최소 0.20 m에서 최대 1.04 m (평균 0.62 m)를 나타내었으며, 삼평교 지점은 최소 0.22 m에서 최대 0.61 m (평균 0.42 m), 매송2교 지점은 최소 0.15 m에서 최대 1.05 m (평균 0.60 m)를 기록하였다.

또한, 본 연구에서는 2005년 3월부터 판교시험유역의 3개 수위관측소(매송교, 판교교, 삼평교)에 대한 수위-유량관계(Stage-discharge relationship)를 구하기 위하여 갈수기 및 홍수기에 대한 유량측정 및 하천단면 측량을 실시하였다. 3개 지점 모두 하천단면이 크지 않고, 유속이 크지 않아 대부분 도섭법에 의해 측정하였으며, 2005년 8월의 큰 호우에 대해서만 부자에 의해 측정하였다. 총 16회에 걸쳐 유량측정을 수행하였으며, 이러한 측정성과를 근거로 수위-유량관계곡선식이 개발되었다. 3개 지점에서 관계곡선식의 상관계수는 0.982~0.991로서 높게 나타나 각 지점에서의 수위로부터 유량으로의 환산에 활용이 가능할 것으로 판단되었다. 유량측정 성과에 의한 수위-유량관계 곡선식은 다음의 그림 6, 그림 7, 그림 8과 같다.

판교 시험유역의 운영을 단기간이 아닌 장기적으로 본다면 강우, 기상, 유출량, 수질 등의 자료와 더불어 지하수 자료의 축적이 매우 중요할 것이다. 따라서 본 연구에서는 지하수위 모니터링 계획을 위해 판교신도시 개발계획 기본조사보고서(한국토지공사, 2004)의 총 178개 시추자료를 토대로 현재의 지하수위 분포도를 작성하였으며, 향후 이 자료를 토대로 장기적인 지하수위 모니터링을 실시할 계획이다. 그림 10은 지표면 고도 값으로 환산한 각 시추공별 지하수위를 공간내삽하여 구축한 지하수위 분포도이다. 그림 10에서 보는바와 같이 각 주요 하천을 따라 낮은 지하수위가 형성됨이 확인되었다. 그림 10에서 보는바와 같이 판교시험유역의 주요 하천인 운중천과 금토천을 따라 지표에서부터 1.0m ~ 9.05m의 낮은 지하수위가 분포하고 있으며, 유역내의 경사지에서는 12.0m ~ 22.4m까지의 비교적 깊은 지

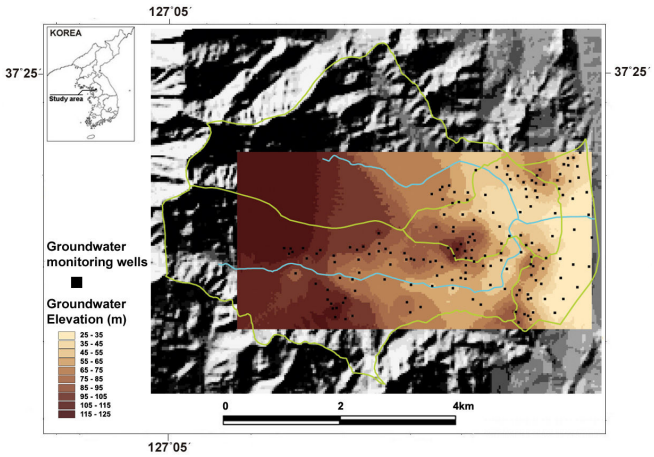

그림 10. 판교시험유역 지하수위 분석

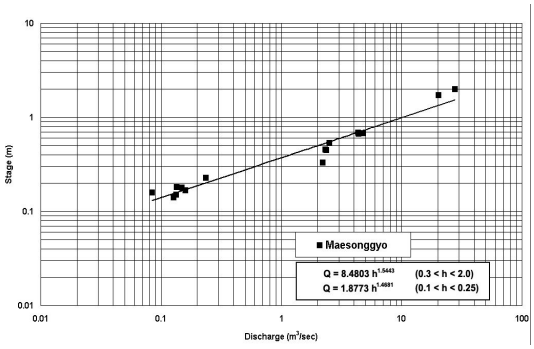

그림 7. 매송교 지점 수위-유량관계

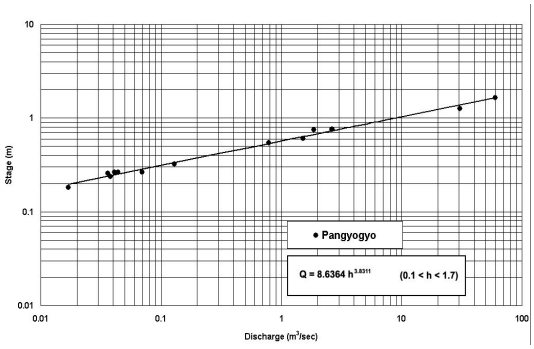

그림 8. 판교교 지점 수위-유량관계

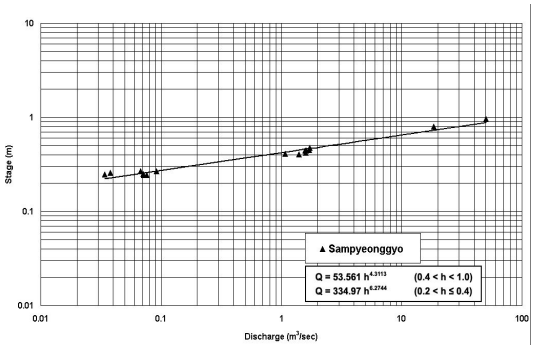

그림 9. 삼평교 지점 수위-유량관계

하수위가 분포하고 있음을 알 수 있었다. 또한 토질시추자료를 살펴보면 표토층이 0.1m ~ 4.9m, 기반암이 1.0m ~ 22m의 범위로 나타났다. 이러한 토양층의 분포는 향후 판교시험유역 물순환 해석의 기초 자료로 활용이 가능할 것이다.

5. 요약 및 결론

판교 시험유역에 대한 실시간 수문계측을 위하여 한국건설기술연구원에서는 2004년 6월과 7월 중에 판교신도시 건설사업의 시행주체인 성

남시, 한국토지공사의 협조를 받아 2004년 8월 16일부터 수문계측을 목적으로 운중천 하류 판교교 지점, 금토천 하류 삼평교 지점, 그리고 두 하천이 합류하는 운중천 본류의 매송2교 지점 등 총 3곳에 수위계를 설치하고, 한 개의 강우계를 매송2교 지점에 설치하여, 8월 16일부터 운영을 시작하여 10분 단위로 관측을 하고 있으며, 2005년 5월에는 금토천의 내동교 지점에 수위관측소 및 우량관측소 각 1개소와 운중저수지에 수위관측소 2개소를 추가 설치하여 현재까지 관측을 수행하고 있다. 향후 지속적으로 하천수위, 지하수위, 침투시설, 저류지 등과 같은 관측망을 추가적으로 확대운영 할 계획에 있다. 또한 관측된 모든 자료는 홈페이지를 통해 실시간으로 제공하고 있다. 본 연구에서 수행한 판교시험유역 운영결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 판교시험유역의 각 수위관측소별 종·횡단 측량을 실시하였으며, 수문계측이 시작된 8월 이후부터 2006년 3월 현재까지 관측된 수문자료의 분석을 통하여 일별 수위변화를 살펴본 결과, 2005년 1년 동안의 총 강우량은 1,694 mm로서 같은 기간 동안 낙생 지점의 1,576 mm, 성남지점의 1,402 mm 및 기상청 서울 지점의 1,474 mm, 수원 지점의 1,531 mm보다 높은 관측치를 나타내었다. 또한, 판교교 지점의 수위는 최소 0.20 m에서 최대 1.04 m (평균 0.62 m)를 나타내었으며, 삼평교 지점은 최소 0.22 m에서 최대 0.61 m (평균 0.42 m), 매송2교 지점은 최소 0.15 m에서 최대 1.05 m (평균 0.60 m)를 기록하였다.

2. 2005년 3월부터 판교시험유역의 3개 수위관측소(매송교, 판교교, 삼평교)에 대한 수위-유량관계(Stage-discharge relationship)를 구하기 위하여 총 16회에 걸쳐 유량측정을 수행하였으며, 이러한 측정성과를 근거로 수위-유량 관계곡선식이 개발되었다.

3. 판교 시험유역의 운영을 단기간이 아닌 장기적으로 본다면 강우, 기상, 유출량, 수질 등의 자료와 더불어 지하수 자료의 축적이 매우 중요할 것이다. 따라서 본 연구에서는 지하수위 모니터링 계획을 위해 판교신도시 개발계획 기본조사보고서(한국토지공사, 2004)의 총 178개 시추자료를 토대로 현재의 지하수위 분포도를 작성한 결과, 판교시험유역의 주요 하천인 운중천과 금토천을 따라 지표에서부터 1.0m ~ 9.05m의 낮은 지하수위가 분포하고 있으며, 유역 내의 경사지에서는 12.0m ~ 22.4m까지의 비교적 깊은 지하수위가 분포하고 있음을 알 수 있었다. 또한 토질시추자료를 살펴보면 표토층이 0.1m ~ 4.9m, 기반암이 1.0m ~ 22m의 범위로 나타났다. 이러한 토양층의 분포는 향후 판교시험유역의 물순환 해석의 기초자료로 활용이 가능할 것이다.

향후 지속적인 수문관측과 관측 지점을 확충하여 고품질의 자료를 확보함으로써, 도시화 진행에 따른 유출 특성의 변화를 비교 분석해 나간다면, 도시화에 의한 수문학적 변화 양상을 정량적으로 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 “건강한 물순환체계 구축을 위한 유역진단기법 개발연구” 과제의 연구비지원(과제번호: 건기연 2005-071)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 신도시기획단, 신도시건설 (www.moct.go.kr/mct_hpg/), 2004.
2. 경기개발연구원, 경기도 5개 신도시 하천관리 실태조사, 2003.
3. 경기도, 탄천수계 하천정비 기본계획, 2001.
5. 국토연구원, 성남판교지구 개발구상 공청회, 2003.
7. 성남시, 성남시 하천관리 종합계획, 2000.
8. 한국건설기술연구원, 유출시험유역의 설계, 건기연 90-WR-111-1, p. 243, 1990.
10. 한국건설기술연구원, 건강한 물순환체계 구축을 위한 유역진단기법 개발 연구, 2004.