

교방천 복원을 위한 분산형 유지유량 확보 방안 연구 (I): 수량·수질 타당성 검토를 위한 도시 물순환 모형 적용

Study on decentralized options of the in-stream flow for restoring the Gyobang cheon: application of the Urban Volume and Quality (UVQ) model to examine feasibilities in water quantity and quality

신상민¹ · 최고은¹ · 이상은^{2*} · 박희경¹

Shin, Sangmin¹ · Choi, Goeun¹ · Lee, Sangeun^{2*} · Park, Heekyung¹

1 KAIST 건설 및 환경공학과, 2 KAIST 미래도시연구소

(2011년 7월 19일 접수 ; 2011년 10월 6일 수정 , 2011년 10월 11일 채택)

Abstract

This study has a purpose of examining technical feasibility of supplying the in-stream flow for the Gyobang cheon by using treated water from small wastewater treatment facilities as a decentralized option. To do this, the water and contaminant flow in study areas of the Gyobang cheon are defined from the context of the integrated urban water cycle, and analyzed by using the Urban Volume and Quality (UVQ) model. First, the UVQ model was built for the study areas of the Gyobang cheon and calibrated with observation data. Second, the decentralized options of the in-stream flow was explored with consideration of availability of water sources. The UVQ simulation then led to selecting the best option which would meet the criteria of water quantity and quality. It was finally concluded that using water sources out of study areas 1 and 2, adjoining the upper part of the Gyobang cheon, in the decentralized manner can be a feasible option for in-stream flow. It also seems that the UVQ model is useful to understand the water cycle in study areas of the Gyobang cheon.

Key words : Urban water cycle, stream flow depletion, in-stream flow, UVQ, decentralization

주제어 : 도시 물순환, 건천화, 하천유지유량, UVQ, 분산화

1. 서론

과거의 무분별한 도시개발은 물순환을 왜곡시켰고, 그 결과 도시하천의 심각한 건천화, 수생태계 파괴, 수질오염 등의 문제들을 발생시키고 있다 (황병기 외, 2005; 김상욱, 2010; 이주영 외, 2010). 이와 중에, 많은 지자체들은 보다 다양한 환경서비스를 즐기기 위해 과거 복개하였던 많은 도시하천을 복원하는 데에 관심을 갖게 되었으며 (송주일, 2008; 박현찬, 2009), 청계천 사례와 같이 도시 지속가능

성이 크게 향상될 수 있을 것으로 기대하고 있다 (최승담과 오훈성, 2008; 한범수 외, 2008; 김형국과 구분학, 2010). 이러한 배경에 의해, 최근 들어 이기영 외 (2003), 고익환 외 (2007), 김상욱 (2010), 이주영 외 (2010)는 하천 건천화를 해결할 수 있는 유지유량 공급방안을 검토한 바 있다. 주로 제시된 공급방안들은 i) 대형 또는 소규모 하수처리장 방류수 이용, ii) 우수 재이용, iii) 상수 및 지하수 이용, iv) 하천 유량 저류를 위한 횡단구조물 설치 등이 대표적이다. 그러나 검토된 여러 가지 공급방안들은 특정 지역의

* Corresponding author Tel:+82-42-350-7231, Fax:+82-42-350-3610, E-mail: peregian78@gmail.com(Lee, S.)

단편적인 물공급에 치중하거나 단기적인 유량확보 대책에 초점을 맞추는 경향이 있다(김상욱, 2010). 원칙적으로 도시하천을 포괄한 전체적인 도시 수자원의 순환을 고려하여 건천화 문제를 근원적으로 해결하는 시도가 바람직함은 물론이다(김현준 외, 2004; 이주영 외, 2010).

본 연구 대상지인 창원시 교방천 또한 비슷한 여건에 처해있는 실정이다. 고밀도 거주지를 통과하기 때문에 오랜 기간 복개되어 있었으며 최근 복원사업이 계획중에 있다. 하지만 그동안 불투수 지역의 증가, 도시 오염물질 유입 등의 원인에 의해 건천화와 수질오염 문제가 심각한 것으로 조사되었다. 복원에 필요한 유지유량 확보는, 아직 확실히 결정하지 못하였으나, 잠정적으로 약 12 km 밖에 떨어진 덕동동 대형 하수처리장의 방류수를 송수관을 통해 교방천 상류에 공급하는 안을 검토하고 있다(마산시, 2010). 그러나 대형 하수처리장 방류수를 대규모로 이송하려 할 경우 i) 상당한 관로 공사비가 예상되고, ii) 상시적인 원거리 공급에 많은 전력이 필요하며, iii) 송수관로의 길이가 길어 2차 오염의 가능성이 제기된다. 게다가 iv) 해당 하수처리장이 제대로 가동되지 않을 경우 유지용수 공급이 중단되거나 높은 오염물질을 포함한 하·폐수가 직접 방류될 수 있다는 우려가 있다(박노석 외, 2011). 이러한 상황에서 저자들은 교방천 인근에 다수의 소규모 하수처리장을 건설한 뒤 유지유량을 분산화시키려는 대안이 더 타당한 것으로 판단하였다. 이 대안을 활용하면 i) 소규모 하수처리장이 유역내에 설치되고 기존의 관로를 사용할 수 있으므로 추가적인 관로 공사비를 줄일 수 있고, ii) 송수관로 단축으로 인한 전력 소모를 줄일 수 있으며 iii) 2차 오염의 가능성 또한 저감할 수 있을 것으로 기대된다. 게다가 iv) 소규모 하수처리장 한 곳에서 수처리 및 유량확보에 문제가 발생할 경우라도 다른 하수처리장에서 용수 공급에 필요한 대처가 가능하기 때문에 보다 유연한 대안이라고 판단된다.

도시 내 수자원은 항상 시공간적으로 연결되어 상호 영향을 미친다(김현준 외, 2004). 따라서 연구 대상지역에서 집수가능한 하수량 산정시, 그 기술적 타당성은 대상지역내의 물순환 통합해석을 통해 분석되는 것이 바람직하다. 아울러 소규모 하수처리장을 분산하여 설치할 경우 발생하는 편익과 비용에 대하여 덕동동 하수처리장으로부터 유지용수를 공급하는 대안과 비교함으로써 분산형 유지용수 공급방안의 경제적 타당성 또한 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다. 본 연구는 교방천 연구대상지역의 물순환 통합해석을 통해 소규모 하수처리장을 분산화하여 설치하는 방안에 대한 기술적 타당성에 특별한 관심을 갖는다. 분산형 유지유량 확보방안에 대한 경제성 검토는 별도의 논문을 통해서 논의하였다. 기술적 타당성을 검토하기 위해

본 연구에서는 교방천 연구대상지역에 대한 물순환 해석모형을 구축 및 보정하고 대상지역내 물과 오염물질의 순환 흐름을 해석하고자 한다. 그리고 교방천 연구대상지역에서 유지유량에 기여할 수 있는 수원(water source)에 따라 4개의 대안을 구성하여 교방천에 공급 가능한 유지유량 및 수질을 검토하였다.

2. 연구 방법

앞서 제시한 연구목적을 달성하기 위해, 교방천 연구대상지역에서의 분산형 유지유량 확보방안에 대한 수량 및 수질 타당성 검토는 Fig.1과 같은 절차로 분석된다.

2.1 교방천 연구대상지역 정의

본 연구에서 물순환 해석을 위해 검토된 교방천 연구대상지역은 우수 및 하수관망도를 바탕으로 교방천 인근에서 집수할 수 있고, 추가적인 관로 설치비와 송수를 위한 에너지 비용을 줄일 수 있는 구역들을 조사하였다. 교방천 인근 지역 중에서 검토된 행정구역은 교방동, 교원동, 상남동, 성호동, 추산동, 오동동 일대로 약 5 km²의 면적을 가지며 이중 약 0.6 km²을 본 연구에서의 교방천 연구대상지역으로 선정하였다(Fig.2). 선정된 연구대상지역의 하수도는 분류

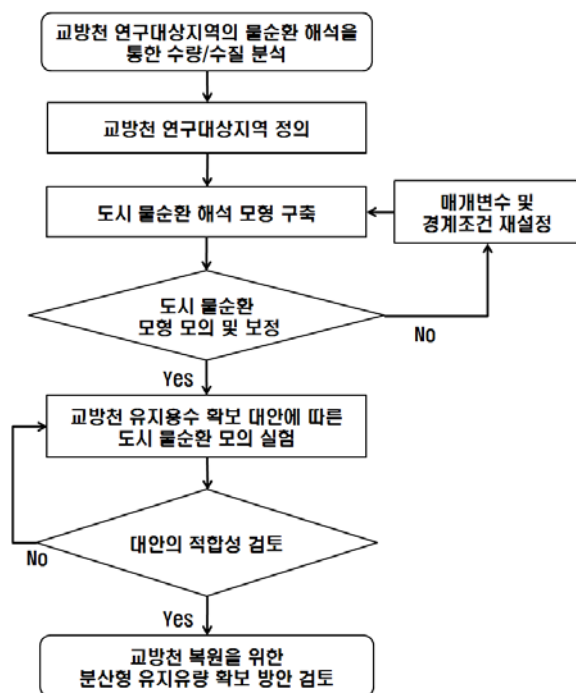


Figure 1. 분산형 유지유량확보 가능성 검토 절차



Figure 2. 교방천 연구대상지역

식 관거로 설치되어 있어 강우에 의해 발생된 빗물은 우수관을 통해 교방천으로 방류되며, 대상지역에서 발생한 하수는 덕동동 대형 하수처리장으로 유입되어 처리되어 진다. 연구대상지역에 공급되는 상수는 낙동강을 수원으로 사용되고 있다.

2.2 도시 물순환 모형 구축 및 보정

도시 물순환 해석모형으로써 Commonwealth Science & Industrial Research Organisation (CSIRO)의 Urban Water Program을 통해 개발된 Urban Volume and Quality (UVQ) 모형 Ver. 2.5.36을 사용하였다. UVQ 모형은 도시수자원 통합관리를 위한 의사지원도구으로써, 도시내의 수자원 간의 상호영향을 고려하여 도시 물순환 및 오염 수치 분석이 가능한 집중 매개변수 모형 (lumped parameter model)이다. 기존에 물순환 해석을 위해 MUSIC, SWAT, Mike-SHE 등을 포함한 많은 수치 모형들이 개발되었다. 그러나 대부분의 모형들은 도시내의 지하수 등과 같은 자연형 수자원과 상수 및 중수 등의 인공형 수자원의 상호작용을 동시에 고려하는 데에는 한계가 있다 (Mitchell and Diaper, 2005). UVQ 모형은 이러한 도시 물순환의 전체적인 관점에서, 자연형 수자원과 인공형 수자원을 통합적으로 해석할 수 있도록 효과적인 알고리즘을 제공한다 (Mitchell and Diaper, 2005; 2006; Goran et al., 2009; Sandra et al., 2011). 게다가 도심지의 수자원 분석시 도시공간을 *Study area* scale, *Neighbourhood*

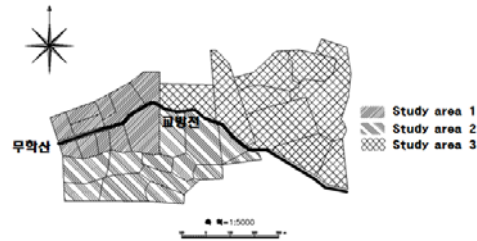


Figure 3. 교방천 연구대상지역의 Study area 선정

scale, *Land block* scale로 분류하여 분석의 복잡성을 줄여주고 자료 요구수준을 낮추는 장점이 있다 (Ruedi et al., 2005; Sandra et al., 2011). 여기서, *Land block*은 건물, 마당, 정원 등을 포함하며 분석의 기초 공간단위를 제공한다. *Neighbourhood*는 *Land block* 외에도 도로, 공원 등을 포함하며, 주택지역, 공장지역, 상업지역 등과 같이 토지이용방식에 따라 분류된다. *Study area*는 가정, 상업, 공공장소 등 성질이 다른 *Neighbourhood*들을 총칭하는 공간 개념이다.

교방천 연구대상지역의 *Study area*는 하수 관망도를 분석하여 총 3개 지역으로 구분하였으며 (Fig. 3), 이는 추후 하수 집수가 용이한 지점에 소규모 하수처리장을 설치하기 위함이다. 각 *Study area*의 *Neighbourhood*들은 대부분 주거지역으로 이루어져 있으며, 학교와 같은 공공장소도 일부 포함되어 있다.

UVQ 모형의 매개변수를 결정하기 위해서는 기상자료, 지형공간자료, 물사용 패턴자료, 수질정보자료 등이 요구된다. 기상자료는 기상연보를 통해 2000년 1월 1일부터 2009년 12월 31일까지의 일단위 강우, 증발량, 평균기온을 참고하였다 (기상청, 각 년도). 지형공간자료는 토지이용방식과 투수면과 불투수면의 구분, 그리고 각각의 면적 등이 포함되며 창원시 도시재생과로부터 확보된 교방천 연구대상지역의 CAD 도면과 위성사진을 참고로 하여 Table 1과 같이 구분하였다.

물사용 패턴자료와 수질정보자료는 교방천 연구대상지

Table 1. 각 Study area별 지형공간자료 정보

항목	Neighbourhood		Land block		투수 면적 (m ²)	불투수 면적 (m ²)
	갯수	면적(m ²)	갯수	면적(m ²)		
Study area 1	11	96,252	584	78,112	3,380	92,872
Study area 2	13	265,402	856	224,869	17,289	248,113
Study area 3	9	249,630	1,465	175,382	16,456	233,174

주: 투수면적은 각 Study area내의 도로, 지붕, 마당 등의 면적들을, 불투수면적은 각 Study area의 공원 (Open Space), 정원 등의 면적들을 합산한 것임

Table 2. 물사용 패턴에 대한 적용치

구분	적용치
1인 1일 급수량 (ℓ pcd)*	394 ℓ pcd
비가정용수 물사용량 (ℓ pcd)**	38.0 ℓ pcd
누수율 (%)*	27.8 %
용도별 물사용 비율***	20% (취사용수), 29% (욕실용수), 28% (화장실용수), 23% (세탁용수)

* 환경부 (2010) 참고; ** 이두진 외 (2009) 참고; *** 김화수 외 (2008) 참고

Table 3. 수질정보자료에 대한 적용치

구분	BOD 적용 수질
가정용수 오염부하량	▶ 56.0 g/인·일 (가정잡배수 오염부하량 + 분뇨오염 부하량)* ▶ 20.5 g/인·일 (취사용수), 10.8 g/인·일 (욕실용수), 20.0 g/인·일 (화장실용수), 4.7 g/인·일 (세탁용수)**
유출수 수질	▶ 도로: 14.02 mg/L*** ▶ 지붕 및 마당: 9.69 mg/L****

* 대한주택공사 (2005)를 참고하였으며, 가정잡배수 오염부하량 36.0 g/인·일과 분뇨오염 부하량 원단위 20.0 g/인·일을 적용; ** 국가환경정보센터의 환경용어사전에서 “가정하수 원단위”의 예시를 참고하여 가정잡배수 오염부하량에 용도별 오염부하량 비율을 적용하였으며, 화장실 용수는 분뇨오염부하량을 적용; *** 환경부 (2006)와 고성훈 외 (2009)를 참고하여 평균치 적용; **** 황병기 (2006) 자료를 참고

역에 한정된 구체적인 자료 확보가 어려워 문헌 및 통계자료를 통해 각각 Table 2와 3과 같이 적용하였다. 교방천 연구대상지역에 거주하고 있는 인구수 또는 세대수는 물사용량 및 하수발생량에 주요한 영향을 미치는데, 정확한 자료를 확보할 수 없었다. 이에, 창원시에서 측정한 번지별 물사용량 자료를 바탕으로 인구수를 역추정하여 보정하였다. UVQ 모형의 시뮬레이션을 통한 물사용량과 측정자료를 비교하였을 때 결정계수 (R^2) 값이 0.95 이상으로 매우 잘 일치하는 것으로 분석되었으며, 이때의 인구수도 약 30,000 명으로 해당 지역의 면적과 인구밀도를 고려할 때 적절한 것으로 판단되었다. 수질항목은 하천수질에 있어서 주요 기준이 되며 자료 확보가 비교적 용이한 BOD에 한정하였다. 또한 자체적으로 현장측정 (2011년 06월 10일에 시행)한 결과 및 타 도시하천의 통계자료를 감안하여 보정하였다. 또한 지붕의 초기유출의 수질은 일반 지붕 유출 수질의 2배로 가정하였다 (Mitchell and Diaper, 2005; Sandra et al., 2011). UVQ 모형의 시뮬레이션 결과 BOD가 약 9.9 mg/L로 산정되었으며 금년 6월에 현장 측정된 7.02 mg/L 보다 약간 높게 산정되었다. 그러나 시기적인 편차를 고려하고, 다소 양호한 수질상태를 보이는 인근 창원천의 연중 평균 BOD값이 8.0 mg/L (물환경정보시스템 웹사이트) 인

점을 고려할 때 수질 보정은 적절히 이루어진 것으로 사료된다.

Fig.2와 같이, 선정된 Study area들은 교방천 외에도 근처에 회원천을 끼고 있으며, 마산만과 인접하고 있다. 해당 Study area에서 발생하는 유출수가 모두 교방천으로만 방류되는 것으로 보기는 힘들기 때문에 교방천 유량에 기여하는 정도는 선형적인 계수를 이용하여 추정하기로 하였다. 현재 교방천의 유량은 주로 Study area에서 발생하는 우수 (유출량)에 의해 유량이 확보되고 있으므로 UVQ 모형 시뮬레이션을 통해 산정된 우수량을 교방천 연평균 유량 (주)경진엔지니어링, 2010)과 비교하여 기여도를 산정하였다. 그 결과 교방천 연구대상지역에서 발생하는 우수가 교방천 유량에 기여하는 정도는 약 45%로 분석되었으며 이 값을 이용하여 모형을 보정하였다.

2.3 교방천 유지유량 확보 대안에 따른 UVQ 모의실험

교방천 유지유량 공급에 기여할 수 있는 다양한 수원을 검토하였으며, 대안을 Table 4와 같이 정의하였다. 교방천 연구대상지역에서 발생하는 우수를 집수하여 처리하려면, 새로운 우수관을 설치하거나 정비하는 데에 상당한 건설비용이 따르기 때문에 대안에서 제외하기로 하였다 (우수는 현

Table 4. 교방천 유지용수 확보 대안 정의

구분	하천유지유량의 구성
대안 1	▶ 무학산에서의 유출수 + 교방천 연구대상지역에서 발생하는 유출수
대안 2	▶ 무학산에서의 유출수 + 교방천 연구대상지역에서 발생하는 유출수 + Study area 1의 하수처리장 방류수
대안 3	▶ 무학산에서의 유출수 + 교방천 연구대상지역에서 발생하는 유출수 + Study area 1의 하수처리장 방류수 + Study area 2의 하수처리장 방류수
대안 4	▶ 무학산에서의 유출수 + 교방천 연구대상지역에서 발생하는 유출수 + Study area 1의 하수처리장 방류수 + Study area 2의 하수처리장 방류수 + Study area 3의 하수처리장 방류수

Table 5. 대안별 확보가능한 평균 하수발생량

	대안 1 (Status quo)	대안 2 (Study area 1)	대안 3 (Study area 1, 2)	대안 4 (Study area 1,2,3)
하수 발생량 (m ³ /일)	-	1,219	6,329	8,647

제와 같이 하천에 직접 유출되는 것으로 가정). 교방천 상류에 위치하고 있는 무학산의 강우 유출도 동일하게 지속될 것으로 가정하였다. 단, 무학산에서의 유출량 자료를 확보할 수 없어, 합리식을 이용하여 무학산 유출면적을 추정하고 2000년 1월부터 2009년 12월 강우자료를 바탕으로 시계열 유출량을 산정하였다.

2.4 대안의 적합성 분석

각 대안의 적합성을 검토하기 위해 예측치들을 교방천 유지유량 및 수질 목표치와 비교하였다. 현재 교방천 복원사업을 계획하고 있는 (주)삼안과 (주)화성엔지니어링(2011)에서는 하천 경관을 고려한 유지유량, 갈수유량, 하천 생태계의 영향 등을 종합하여, 최소한 6,000 m³/일(5~6 cm 수준의 수심)의 유지유량이 확보되어야 한다고 평가하였다. 따라서 본 연구에서의 유지유량 목표치를 6,000 m³/일로 선정하였다. 수질 목표치는 (주)경진엔지니어링(2010)의 “교방천 생태하천 복원사업 기본계획 보고서”에서 제시된 BOD 5 mg/L 이하로 설정되었다.

3. 결과 및 검토

3.1 대안별 유지용수 확보량 산정 결과 및 검토

Table 5는 각 대안별로 확보가능한 하수량을 나타낸 것으로, 대안 3과 4는 발생하는 하수량만으로도 교방천 유지유량 6,000 m³/일을 만족하는 것으로 분석되었다. 이는 대안 3과 4에 공통적으로 포함되어 있는 Study area 2에서의 물사용 인구가 교방천 연구지역단위 내 총인구의 60.7%

를 이루고 있어, 다른 Study area에 비해 상대적으로 많은 인구가 물을 사용하고 있기 때문이다. 게다가 대안 3과 4의 Study area 1과 2는 목표로 하는 교방천 복원 구간내에 비교적 상류에 위치하기 때문에 각 대안에서 확보되는 유지용수를 교방천 상류에 공급하는데 있어서 기술적·경제적으로 큰 어려움이 따르지 않을 것으로 판단된다.

선정된 대안들을 유지용수로 공급하였을 경우 2000년에서 2009년까지의 교방천 흐름 유량은 Fig.4와 같은 시계열 자료를 보일 것으로 산정되었다 (Fig.4에 제시된 교방천 유량은 현재 우수관로를 통해 유입되는 우수량과 이용가능한 모든 하수발생량의 합으로 산정되었다. 따라서 교방천 하류 지점의 유량이 각 대안별로 어떻게 달라지는지를 나타내다고 말할 수 있다). 현 상태를 의미하는, 대안 1은 건전화된 하천의 특징을 잘 드러내고 있다. 즉, 강우가 발생할 경우를 제외하고는 하천에 거의 흐름이 발생되지 않는다. 대안 2는 여름철 홍수기를 제외하고는 유량이 크게 저조한 것으로 분석되었다. 또한 대부분의 경우 갈수량은 만족하나, 하천 경관상의 기준을 달성할 수 없음을 알 수 있다. 갈수기인 11월에서 3월까지 우수 유출량이 거의 발생하지 않는 경우가 반복되고 있기 때문에 원활한 하천 흐름을 보장하기 위해서는 유지유량 6,000 m³/일을 안정적으로 공급할 수 있는 대안이 요구되며, 따라서 대안 3이 적절한 것을 확인할 수 있다. 대안 4의 경우 약 2,300 m³/일의 추가 확보가 가능하지만, 소규모하수처리장의 설치 및 운영에 따른 비용문제와 홍수기 과다 유량 문제로 인해 불필요한 것으로 사료된다.

교방천 유지유량 기준을 만족하는 대안 3은 Study area 1과 2에 각각 소규모 하수처리장을 설치하여 유지용수를

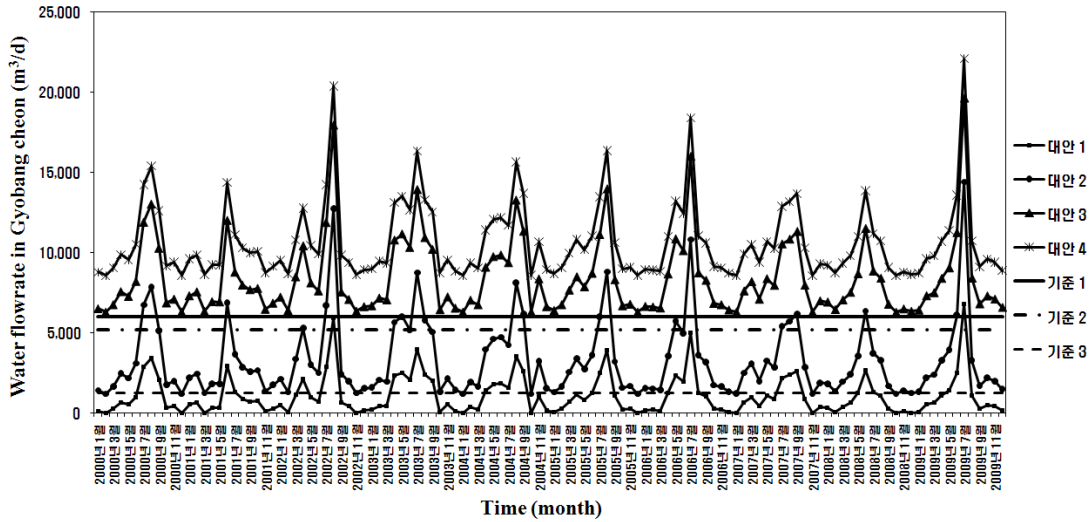


Figure 4. 대안별 교방천 흐름 유량에 대한 시계열 분석 결과

주: 기준 1은 교방천 유지유량 6,000 m³/일; 기준 2는 경관을 고려한 교방천 유지유량 5,184 m³/일;
기준 3은 교방천 갈수유량 1,296 m³/일로 각각 설정됨

Table 6. 각 Study area에 대한 하수의 수질 예측 결과

	Study area 1	Study area 2	Study area 3
BOD (mg/L)	160.30	148.30	142.10

Table 7. 대안 3의 소규모 하수처리장 처리효율 및 교방천 수질 예측 결과

	대안 3	처리효율 (%)
BOD (mg/L)	4.49	97

분산형으로 공급하는 방안이다. 도심지내 소규모 하수처리장 설치의 공간적 제약이 따르기 때문에 공급량과 부지면적에 대해 보다 엄밀하게 검토할 필요가 있다. 대안 3을 이용할 경우 Study area 1에서 발생하는 하수량은 약 1,219 m³/일이고, Study area 2에서 발생하는 하수량은 약 5,110 m³/일이다. 특정 소규모 하수처리시설 설계시공업체 ((주) Econity)와의 인터뷰를 통해 확보한 하수처리장 설치 면적 자료를 참고하면, MBR 고도처리공법을 적용한 하수처리장의 경우 처리용량당 부지면적이 약 0.5 m²이 소요된다. 이는, 대안 3에서 설치하는 소규모 하수처리장의 설계와 처리공법 등에 따라 다소 차이가 있겠지만, Study area 1과 2에서 발생하는 하수량을 처리하는데 있어서 소규모 하수처리장을 설치하기에는 부지면적 확보가 곤란할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 각 처리장이 약 500~1,000 m³/일 수준의 용량을 갖도록 보다 분산 설치하

는 방안을 검토할 필요가 있다. 추가적으로, 해당 Study area의 우수 유출량은 평수기와 갈수기에는 교방천 흐름 유량에 크게 기여하지 않으나 여름철 홍수기에는 상당한 부담을 발생하고 있다. 따라서 도시하천의 치수 문제를 고려할 때 설치될 소규모 하수처리장은 방류량 조절에 대해 매우 주의가 필요하다고 하겠다.

3.2 대안 3의 교방천 수질 예측 결과 및 검토

Table 6은 각 Study area에서 발생하는 하수의 수질을 예측한 결과이다. 소규모 하수처리장에 유입되는 하수의 수질은 일반적으로 하수처리장에서 계획하는 유입수 수질 (BOD 150 mg/L ~ 180 mg/L)과 비슷한 결과를 보였다 (대한주택공사, 2005; 2007a; 2007b). 또한 Table 7은 교방천 유지유량 기준을 만족하는 대안 3이 교방천 수질기준 5 mg/L의 BOD를 만족시키는데 필요한 소규모 하수처

리장의 처리효율과 그 때의 교방천 수질을 예측한 결과이다. Table 7의 결과는 “환경정책기본법 시행령 제2조” 관련 별표 1에 명시된 하천 생활환경기준의 ‘보통 (III)’에 해당하는 수질이며, 상수원수 3급, 수산용수 2급, 공업용수 1급 수질이다. 이는 BOD를 약 95%이상 제거할 수 있는 소규모 하수처리장을 설치하여 처리수를 교방천에 방류할 경우, ‘약간 나쁨(IV)’에 해당하는 현재의 교방천 수질 (BOD 7.02 mg/L)을 한 단계 개선시킬 수 있는 것을 의미한다.

4. 결 론

기존의 도시하천에 대한 이·치수 위주의 패러다임이 여가 및 생태적 서비스를 즐기고자하는 패러다임으로 변하면서 도시하천 복원에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에, 도시하천 건전화 문제를 해결하는 방안이 다양하게 검토되고 있으나 단편적인 물공급에 치중하는 등 근원적으로 해결되지 못하고 있다. 이 문제의 상당부분은 도시 물순환 왜곡에 의해 발생된 건전화 문제를 도시하천을 포괄하는 전체적인 도시 수자원 순환 관점에서 검토되지 못하는 데 기인한 것으로 저자들은 판단하였다. 따라서 본 연구는 건전화 문제가 심각한 교방천을 대상으로 도시 물순환 관점에서 유지유량 확보방안을 고찰하였다. 또한 유지용수 공급방안으로 도시 물환경 변화에 유연하게 대응 할 수 있도록 소규모 하수처리장을 분산 설치하는 것을 검토하였다. 이를 위해 교방천 연구대상지역에 대한 물순환 해석모형을 구축하고 유지용수 공급을 위한 대안들을 마련하여 각 대안별 확보가능수량 및 수질을 분석하였다. 본 연구에서 사용된 물순환 해석 모형인 UVQ는 교방천 대상지역내 지하수와 같은 자연형 수자원과 소규모 하수처리장의 처리수와 같은 인프라인 수자원에 대한 통합해석이 가능하여 교방천 연구대상지역의 물순환을 해석하는데 있어 그 유용성을 확인할 수 있었다. 또한 시계열 해석이 가능하여 시간에 따른 물흐름 패턴을 분석함으로써 시기별로 각각의 대안을 검토할 수 있었다. 그 결과, 교방천 유지유량 목표치와 수질 기준에 만족하는 대안은 연구대상지역내의 Study area 1과 2에 BOD를 약 95%이상 제거할 수 있는 소규모 하수처리장을 분산 설치한 뒤 처리수를 교방천에 방류하는 대안 3이 적절한 것으로 분석되었다. 대안 4의 경우도 유지유량확보가 가능하였으나, 소규모 하수처리장의 설치 및 운영에 따른 비용문제와 홍수기 과다 유량 문제로 인해 불필요한 것으로 사료되었다.

일반적으로 도시하천은 홍수기, 평수기, 갈수기에 따라 유출량의 차이가 발생하여 하천 유량이 크게 달라진다. 교

방천의 경우도 본 연구결과를 통해 확인 할 수 있었다. 따라서 소규모 하수처리장은 유출량이 많은 여름철의 경우 방류량을 조절할 필요가 있으며, 아울러 잉여 유지용수는 도시내의 다른 기능수로 사용되는 방안이 검토될 수 있을 것이다. 이는 도시 물순환성을 회복하는데 크게 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 연구대상지역의 유지유량 확보에 대한 부담을 줄이기 위한 방안으로 교방천의 수리학적 특성을 고려한 대안이 검토된다면 더욱 효과적이고 안정적으로 유지용수 공급이 가능할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년 첨단도시개발사업 (과제번호:07 도시재생 B04)에 의해 지원받은 것으로써, 이에 감사를 드립니다. 아울러 연구 진행에 있어 도움을 많이 준 창원시 도시재생과와 UVQ 소프트웨어를 제공해준 CSIRO에도 감사드립니다.

참고문헌

- 고익환 외 (2007) 자연·사회환경 개선을 위한 하천유지유량 산정 방안 보고서, 건설교통부
- 고성훈, Sheeraz Amed Memon, 이창희 (2009) 경안천지역의 도로 및 주차장에 대한 강우유출수의 특성분석과 원단위 산정, *한국물환경학회지*, 25(5), pp.689-696
- 국가환경정보센터 웹사이트, < <http://www.konetic.or.kr/> >
- 기상청 (각년도) 기상연보
- 김상욱 (2010) 도시하천의 건전화 방지를 위한 물순환 건전화 대책, 국회입법조사처, NARS 현안보고서, 제 101호
- 김현준, 김혜주, 엄향의, 김윤영 (2004) 수자원의 지속적 확보기술 개발 사업 -청계천 복원공사 모니터링 및 물순환 해석-, 한국건설기술연구원, 자연환경계획연구소, 기상연구소, 중앙대학교,
- 김형국, 구분학 (2010) 청계천 복원 후 3년간 식물상 변화, *한국환경복원기술학회지*, 13(6), pp.107-115
- 김희수, 이두진, 김주환, 정관수 (2008) 가정용수의 용도별 사용 원단위 분석, *대한토목학회지*, 28(5B), pp.595-601
- 대한주택공사 (2005) 부산정관 하수종말처리시설공사 기본 및 실시설계 보고서
- 대한주택공사 (2007a) 군포 부곡지구 하수종말처리시설공사 기본 및 실시설계 보고서
- 대한주택공사 (2007b) 남양주 가운지구 하수종말처리시설공사 기본 및 실시설계 보고서

- 마산시 (2010) 최종 방류수를 이용한 생태하천 유지유량 확보계획 타당성 조사 보고서
- 물환경정보시스템 웹사이트 <<http://water.nier.go.kr/index.jsp>>
- 박노석, 채선하, 김정현 (2011) 분산형 용수공급시스템의 소개, *상하수도학회지*, 기술정보, **25**(2), pp.133-138
- 박현찬 (2009) 한강지천의 르네상스: 물을 매개로 한 도시기능의 활성화 방안, 서울시정개발연구원, SDI 정책리포트, 제50호
- 송주일, 이준호, 윤세의 (2008) 도시하천의 복원과 관리를 위한 하천평가기법 개발, *대한토목학회*, **28**(3B), pp.283-296
- 이기영, 김지영 (2003) 경기도내 하천의 건천화 방지에 관한 연구, 경기개발연구원
- 이주영, 김동근, 郢部正博, 한무영 (2010) 도시하천 건천화 방지를 위한 하천 유지유량 확보방안에 관한 사례연구, 경기개발연구원, GRI 연구논총, **12**(1), pp.179-194
- 이두진, 김주환, 김화수 (2009) 비가정용수의 업종별 사용량 원단위 및 통계적 특성 분석, *대한토목학회*, **29**(4B), pp.385-396
- (주)경진엔지니어링 (2010) 교방천 생태하천 복원사업 기본계획 보고서, 마산시
- (주)삼안, (주)화성엔지니어링 (2011) 교방천 생태하천복원사업 실시설계 용역 -유지유량확보방안-
- 최승담, 오훈성 (2008) 청계천 방문이 서울시 관광 이미지에 미치는 영향, *서울도시연구*, **9**(4), pp.41-52
- 한범수, 김희영, 박상훈 (2008) 관광 상품화를 위한 "테마관광벨트" 구축 가능성 탐색 -청계천 테마거리를 중심으로-, 경기대학교 관광융합연구소, 경기관광연구 제 11 호
- 환경부 (2006) 비점오염원관리 업무편람
- 환경부 (2010) 상수도 통계 2009
- 황병기, 이재식 (2005) 홍제천의 건천화 방지 및 유지유량 확보 방안 연구, 상명대학교 공학기술 연구소
- 황병기 (2006) 강우시 도시지역 강우 유출수 오염부하 기원평가, *한국산학기술학회논문지*, **7**(5), pp.930-934
- Goran V., Petra S., Miran V. and Barbara C. C. (2009) Determination of urban groundwater pollution in alluvial aquifer using linked process models considering urban water cycle, *J. Hydrol.*, **377**, pp.261-273
- Mitchell V. G. and Diaper C. (2005) UVQ: A tool for assessing the water and contaminant balance impacts of urban development scenarios, *Water Sci. Technol.*, **52**(12), pp.91-98
- Mitchell V. G. and Diaper, C (2006) Simulating the urban water and contaminant cycle, *Environ. Modell. Softw.*, **21**(1), pp.129-134
- Rueedi J., Cronin A. A., Boon B., Wolf L. and Hoetzi H. (2005) Effect of different water management strategies on water and contaminant fluxes in Doncaster, United Kingdom, *Water Sci. Technol.*, **52**(9), pp.115-123
- Sandra E. M., Oscar E. and Lief W. (2011) Total urban water cycle models in semiarid environments-Quantitative scenario analysis at the area of Sa Luis Potosi, Mexico, *Water Resour. Manage.*, **25**(1), pp.239-263