

신도시 물순환망 구축시 수질기준 설정 기법 소개



김 호 열

한국건설기술연구원 수자원환경본부 건설환경
연구실 전임연구원
kimhy@kict.re.kr



안 창 혁

한국건설기술연구원 수자원환경본부 건설환경
연구실 연구원
chahn@kict.re.kr

근본적인 배경이 있다. 또한, 도시환경의 질적 개선, Blue-Networking 및 도시환경생태계의 지속가능성을 위하여 기존의 수해방지, 수자원 확보 기능과 더불어 Ecological Network와 유기적으로 연계되는 물순환체계의 구축에 관한 연구가 필요하다고 판단되며, 이용목적별 목표수질, 용수원 선정 및 수질 관리방안을 연구·개발하는데 주요 목적이 있다.

연구대상지역은 최근 진행되고 있는 H지구이며, 조성목적은 “서민주거 안정과 부동산 투기 억제를 위한 부동산 제도 개혁방안(2005.8.31)”에 따른 신주거벨트의 자연친화적인 물순환체계 구축을 위한 프로젝트이다. 본 연구에서는 물순환시스템 조성을 목적으로 유지용수의 순환과 수질관리 측면에서 H지구의 M하천을 대상으로 case study를 실시하였으며 주요 고려인자는 다음과 같다.

- 유지용수원의 선정 및 비교
- 목표수질의 선정
- 수원별 부영양화 발생 체류시간의 결정
- 물순환체계의 수리 분석(유속, 체류시간 등)
- 수질모의를 통한 예측

1. 서론

최근 도시의 물순환체계 구축에 대한 관심이 높아지면서, 보다 나은 질적 가치를 위하여 환경, 생태, 경제적 여건 등을 증진시키기 위한 물순환망 구성을 전개하고 있다. 물은 기본적인 용수차원으로서의 가치 이상으로 도시내에서 어메니티의 증진과 친환경을 이루는 핵심 요소로 그 중요성이 점점 커지고 있다. 때문에 현재 조성된 1기신도시를 시작으로 2기신도시, 혁신도시에서 물순환체계의 구축은 환경, 생태, 경관적으로 필요조건이 되었다.

본 학술기사를 통해 소개하고자 하는 내용은 신도시내 물순환시스템 구축 시 하천, 저류지, 실개울 등의 시설물을 생태적 관점에서 효율적으로 활용하여 생물다양성 증진과 도심 친수공간 확보를 꾀한다는

2. 수질기준 설정

H지구 물순환체계는 계획 당시 본류인 M하천과

저류지가 분리되어 있었으나, 수변공간의 확대와 자연형태의 우수저류를 위해, On-side 형태의 저류지 및 호수공원이 계획되어졌다. 자연형 친수공간과 생태공간의 공존이라는 목적에 부합시키기 위해 “상수원 수질조사자료”, “호소 수질환경기준”, “하천 수질환경기준”, “부영양화 기준치”, “위락시설 및 친수성 수질기준”, “기존 인공호수공원의 목표수질” 등을 종합 검토하여 수질관리 항목 및 목표를 설정하였다.

2.1 목표수질

우리나라에서는 호수의 경우 수역별 목표수질을 6단계로 구분하고 있으며, 상수원수로 사용할 수 있는 한계수질을 Ⅲ급수로 정하고 있다. 호소의 부영양화 및 수질환경대책으로 부영양화와 직접적인 관련이 있는 수질지표의 기준을 표 1과 같이 설정하고 있다.

최근 조성되는 인공호수는 친수공간 조성이라는 목적에 부합시키기 위해, 앞서 설명한 수질기준 등을 검토하여 수질환경기준 상의 Ⅲ급수 정도를 유지할 수 있도록 목표수질로 설정하여 적용하고 있다. 또한, 목표수질의 특징은 일반적인 유기물질의 제어보다는 부영양화 발생방지에 초점을 두고 있다. 표 1을 참고하면 대체적으로 Ⅲ급수 이내의 목표

표 1. 호소수질환경기준(환경부, 2006년 12월 개정)

수질항목	수질등급						
	I a	I b	II	III	IV	V	VI
pH	6.5 ~ 8.5	6.5 ~ 8.5	6.5 ~ 8.5	6.5 ~ 8.5	6.5 ~ 8.5	6.5 ~ 8.5	-
COD _{Mn} (mg/L)	2 이하	3 이하	4 이하	5 이하	8 이하	10 이하	10 초과
SS (mg/L)	1 이하	5 이하	5 이하	15 이하	15 이하	* ¹⁾	-
DO (mg/L)	7.5 이상	5.0 이상	5.0 이상	5.0 이상	2.0 이상	2.0 이상	2.0 미만
T-P (mg/L)	0.01 이하	0.02 이하	0.03 이하	0.05 이하	0.10 이하	0.15 이하	0.15 초과
T-N (mg/L)	0.2 이하	0.3 이하	0.4 이하	0.6 이하	1.0 이하	1.0 이하	1.5 초과
Chl- α (mg/L)	5 이하	9 이하	14 이하	20 이하	35 이하	70 이하	70 초과
총대장균군 (MPN/100mL)	50 이하	500 이하	1,000 이하	5,000 이하	-	-	-
분원성대장균군 (MPN/100mL)	10 이하	100 이하	200 이하	1,000 이하	-	-	-

¹⁾ 쓰레기 등이 떠있지 아니할 것

표수질을 설정하지만, 부영양화 즉, 조류의 bloom 과 관련이 깊은 항목인 T-P의 경우 Ⅱ급수 수준인 0.03 mg/L 이하로 설정하는 경우가 많다. 또한 사람들의 접근이 높은 친수공간은 시각적으로 녹조현상이 발생하지 않을 정도인 Chl- α 농도가 14 mg/m³ 이하가 유지되도록 목표수질을 설정하고 있다.

2.2 저류지 조류배양 실험

조류배양실험의 가장 큰 목적은 대상하천의 부영양화 정도를 미리 예측하여 적절한 유지용수를 결정하는데 있다. 특히 H지구 물순환시스템에서 제시된 주요 유지용수 후보를 중심으로 검토하였으며, 측정방법은 조류배양을 통하여 생물학적 검증을 실시하였다. 일반적인 물순환시스템 구축 시 인위적으로 유지용수가 조절되어 수체의 안정성이 결여될 가능성이 높고, 외부로부터 유입되는 오염물질 및 내부에서 축적되는 침전물의 용출로 인해 폐쇄적인 순환과정을 통해 영양염류가 축적될 확률이 높다. 따라서 지속적인 수질관리가 시행되지 않으면 부영양화에 의한 조류수화 현상의 발생이 불가피하다.

실험결과, 개발대상지 원수인 M하천을 유지용수로 사용한 결과 조류의 성장속도가 장기간 선형으로 증가함을 알 수 있으며, 이는 초기에 다량의 총

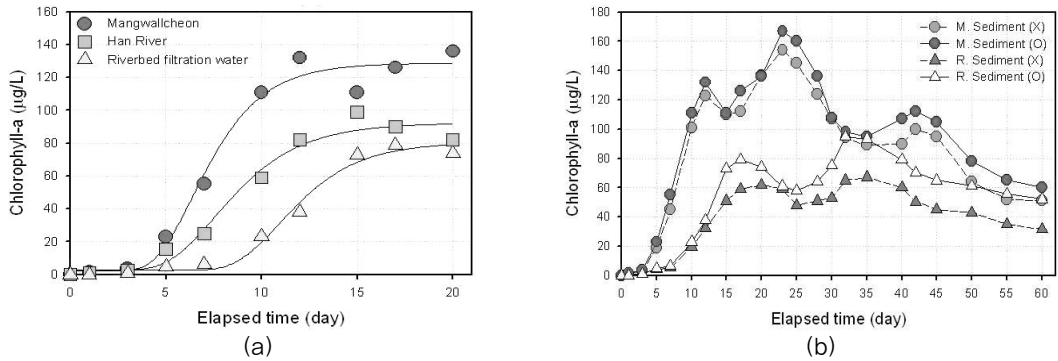


그림 1. 조류배양실험을 통한 부영양화 체류시간 산정 결과(a) 및 주요 수원의 실험결과 비교(b)

분한 영양염류(N, P)가 공급되어 성장속도에 큰 제한인자가 없기 때문에 추정된다. 따라서 수질정화공정을 거치지 않은 상태로 M하천 원수나 기타 다른 높은 영양염이 포함된 용수를 사용 시에는 단기간에 조류의 성장속도 및 농도가 급증하여 호소수 목표수질을 월등히 초과하는 결과를 얻었다. 체류시간은 기준치 농도인 Chl- α 14 mg/m³를 초과하는 시점으로 산정하였으며 수원에 따라 상이한 결과가 나타나(M하천 4.5일, 한강원수 6일, 하상여과수 약 9일) 향후 수질모의 결과와 비교 후 의사결정을 가능하게 하였다.

상기 결과를 분석하면 M하천, 한강원수, 하상여과수 사이의 물리적, 화학적, 생물학적 특성 등이 다르기 때문에 각각 조류의 성장속도가 상이하게 관측되었으며, 부영양상태인 M하천 지표수에서 조류가 급성장함을 확인할 수 있었다. 그러므로 M하천 원수와 같은 고농도의 용수를 직접 호수공원 유지용수로 활용 시에는 부영양화 현상을 사전에 예방하기 위해 수리학적 체류시간을 짧게 유지해야 한다. 그리고 때에 따라서는 수질정화공정을 도입하여 영양염류와 초기 조류농도를 제한하여 조류의 성장속도 지연을 통해 수체의 부영양화를 예방할 필요성이 있다.

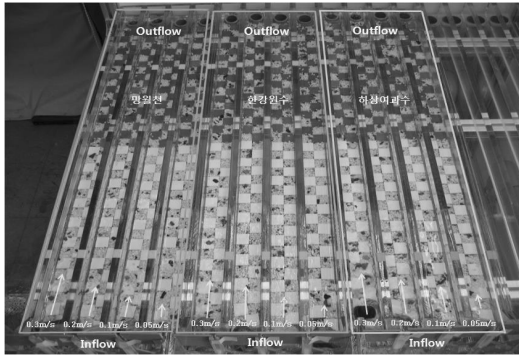
2.3 실개울 유속실험

친수공간에서의 부착조류는 주로 수심이 낮은 실

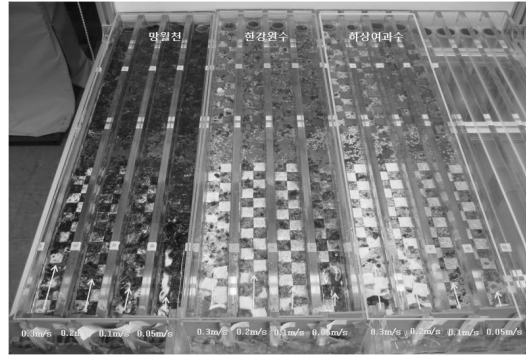
개천 및 인공수로에서 눈에 띄게 발생하며 운동 및 여가생활을 찾는 시민들에게 미관상 악영향을 줄 수 있으며, 대량 발생된 조류는 이취미를 발생시킨다. 또한 수질적 측면에서는 대량 발생된 조류가 사멸하여 농축된 scum 형태로 부상하게 되면 수체내 유기물 증가와 함께 수질이 악화될 가능성이 높다.

하천 생태계에서 부착조류는 주요한 1차 생산자로서 먹이사슬의 기반을 이루며, 하천 생태계의 구조와 기능을 파악하는 척도의 하나로서 사용되어왔다. 관련 연구는 80년대 초반 이후 꾸준히 연구되어 왔으며, 전체 연구의 절반 이상이 다양한 부착재질을 활용하여 여러가지 정량적인 실험적 접근을 시도하였다(주 등, 1997; Biggs, 1988; Millie and Lowe, 1983 등).

조성될 신도시 물순환시스템의 제원중 하나인 실개울 등의 인공수로를 재현하기 위해 실험수로를 제작하였으며 기본구조는 폭 0.05 m, 길이 1.0 m로서 총 16조로 구성되어 있다. 전단의 유량조절소에서 1차적으로 수위 조절이 가능하며, 이어지는 직각삼각웨어에서 각각 다른 유량 및 유속을 설정할 수 있도록 되어 있다. 한가지 시료 당 총 4개의 다른 유속 조건을 구현 할 수 있으며, 유동식 직각삼각웨어로 각 수로의 유량 및 유속을 조절한 후 수리환경을 조성하였다. 그리고 H지구의 유지용수, 실개울 등 하천구간의 유속, 수심, 하상조건을 총괄 검토하여 유지용수 후보인 3가지의 시료(M하천, 한강원수, 하상여과수)를 사용하여 각기 다른 물리



(a)



(b)

그림 2. 실개울 유속실험의 초기조건(a)과 각기 다른 유속 및 재질에서 배양 25일 후의 결과(b)

적 조건으로 실험 셋팅을 한 후 결과를 도출하였다. 본 실험에서 관찰된 조류는 남조류인 *Phormidium* sp. 단일종으로서 M하천 현장의 sediment에 우점하고 있었으며, 실험용으로 seeding 후에 단독 우점하여 성장하였다. 최근 박 등(2006)의 연구에 따르면 사상성 부착조류(녹조류)의 성장은 0.10 m/s에서 가장 높게 나타나며 이상의 유속 조건에서 탈리되는 결과를 얻었다. 특히 영양염이 풍부한 상태에서는 사상성 부착조류의 성장이 매우 활발하여 그 결과 발달된 조체의 무게로 인해 0.15 m/s 조건에서 탈리가 일어났다. 이러한 결론은 유속이 부착조류의 성장과 사멸에 모두 적용되는 제한인자로 작용하였다는 결과를 도출 할 수 있다. 일반적으로 유속은 부착조류의 성장에 비례한다고 알려져 있으나, 이는 조류의 종별 특성에 따라 상이하며 부착성 규조류와 달리 사상성 부착조류의 경우는 빠른 유속이 성장에 오히려 제한 인자로 작용할 것이다. 결론적으로 현장조류를 사용한 실험적 결론은 H지구의 M하천 현장은 사상성 부착조류가 우점하고 있으며 인공수로 설계유속을 0.2 m/s 이상으로 조절할 필요가 있다.

2.4 수질모델링을 통한 장래 수질예측

하천에 대한 수질변화를 예측하기 위해서는 유역 내 각 하천 및 지류에 대한 유량 및 하천수에 대한

여 조사·분석 등이 선행되어야 하며, 본 과업에서는 하천수질, 하천유량, 오염원 조사를 실시하여 환경정책기본법 제 10조 2항 “하천수질기준”에 명시된 생활환경기준 항목중 BOD, T-N, T-P를 예측 항목으로 선정하여 분석하였다.

수질예측을 위해서는 하천수질에 영향을 미치는 주요 메커니즘을 규명하고 이를 컴퓨터를 이용하여 정량화하고 단순화하는 수질예측모형을 이용한다. 많은 수질모델이 제시되고 있지만 본 연구에서는 미국 환경청(USEPA)의 대표적인 1차원 정상상태 하천수질모델인 QUAL2K를 사용하였다. QUAL2K는 기존 QUAL2E에서의 기본 기능의 대부분을 활용하면서 추가적인 기능을 개선하였으며, 부착조류, 탈질화 과정, SOD 등의 영향이 큰 하천에서의 어려움, QUAL2E의 MS-DOS창에서 모의과정의 불편함을 엑셀로 이전하여 사용자의 편의성 등을 개선하였다.

H지구 M하천의 유지용수 활용을 위하여 주요 수원인 한강원수와 하상여과수를 대상으로 수질모의를 실시하여 목표수질과 연간 수질변화를 비교하여 권고수질을 도출하였다. 특히 모의결과 물순환시스템의 총 체류시간은 7일로 산정되어 앞서 제시한 조류배양실험의 수원별 부영양화 체류시간과 비교할 때, 하상여과수가 가장 적합한 것으로 나타났다.

학술/기술기사

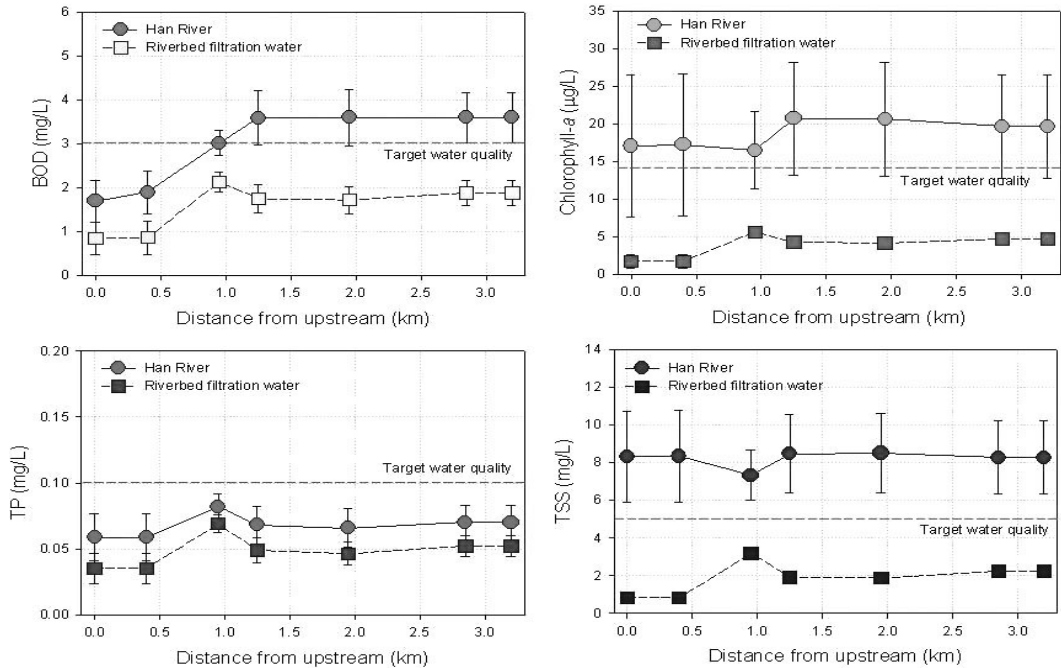


그림 3. H지구 물순환시스템의 목표수질과 공간적 수질변화 예측 결과

3. 결론

신도시 내 건전한 물순환망을 구축하기 위한 최적의 유지용수 확보와 수질관리방안을 제시하기 위해 단계적 실험 및 시뮬레이션을 실시하였다. 조류 배양실험, 실개울 유속실험, 수질모의를 통하여 합

리적인 수질관리 방안을 도출한 결과, 유지용수는 하상여과수의 부영양화 발생 체류시간이 9일로 적당하며 수질모의를 통하여 적절함을 검증하였다. 또한, 유수지 구간에서는 부착조류를 기준으로 적정 유속을 검토하였으며 유속 0.2 m/s로 설계시 효율적인 친수공간 조성이 가능함을 검증하였다. 🌊

참고문헌

1. Mita Ghosh, Jai P. Gaur (1998). Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities. *Aquatic Botany*, Vol. 60, pp. 1-10.
2. Prakash Raj Kannel, S. Lee, Y-S. Lee (2007). Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River (2007). Nepal, *Ecological modeling*, Vol. 202, pp. 503-517.
3. Baik Ho Kim, Soon Jin Heang, Young Ok Kim et al. (2007). Effects of biological control agents on nuisance cyanobacterial and diatom blooms in freshwater systems. *Microbes Environ.*, Vol. 22, No. 1, pp. 52-58.

4. 박구성, 황순진, 김호섭, 공동수, 신재기 (2006). 하수처리수를 이용한 인공수로에서 사상성 부착조류의 성장에 영향을 미치는 요인들. *Korean J. Limnol.*, Vol. 39, No. 1, pp. 100-109.
5. 환경부 (2006). 물순환 이용체계 개선에 관한 연구.