도시 소하천, 대전 탄동천, 수질개선 대안 수립을 위한 QUAL2K 수질모델 구축과 제외지 인공습지공법 적용 효율 평가

Application of QUAL2K Model for Daejeon Tandongcheon, A Small Urban Stream and Evaluation of Terrace Land Constructed Wetland

윤진호 · 서동일*[†]

Zhenhao Yin · Dongil Seo*[†]

충남대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Chungnam National University

(2013년 1월 28일 접수, 2013년 2월 28일 채택)

Abstract : The Tandong-cheon stream is a 7.4 km long small urban stream that passes through Daeduk Science Town in Daejeon Korea. Despite the stream has great potential as an educational and recreational site due to its central location in the science town and science museums nearby, environmental aspect especially for water quality has not been evaluated properly. Through field survey, major pollution sources of the stream were identified and effect of water quality improvement alternatives were evaluated using a QUAL2K water quality model for the stream. The study indicated that controlling major pollution sources of the stream alone may not be sufficient for reaching the water quality target. Therefore, additional pollution control methods are necessary. We applied the developed model to evaluate the effects of a constructed wetland on the terrace land, and analyzed whether the water quality target can be met at the outlet of the stream. It is expected that this study would provide a good reference for environmentally sound management of small urban streams in Korea.

Key Words : Tandong-cheon, Small Urban Stream, Constructed Wetland, QUAL2K, Daeduk Science Town, Water Quality Improvement

요약 : 도시의 하천은 주민의 생활공간의 일부로서 환경적인 지속성을 위해 자연 친환경적으로 관리함이 바람직하나 현재 홍수예방, 또는 조경공사에 가까운 하천정비만 되어 왔으며 하천의 수질보전 및 관리를 위한 지속가능한 수질관리 방안의 수립이 필요한 상황이다. 탄동천은 대전시 유성구 추목동을 기점으로 갑천으로 유입되는 지방 2급 하천이다. 상류에는 군부대, 중류는 주거단지, 하류는 국가주요 연구단지, 그리고 국가적인 규모의 문화시설이 공존하는 지역으로 소규모하천의 자연 친화적 관리에 매우 좋은 예가 될 수 있을 것으로 전망된다. 본 연구는 탄동천에 대한 수질조사를 진행하고 전면적인 진단을 해 보았다. 그 결과 상류의 하수처리장 방류수와 신성교 부근의 관거유출수가 주요오염원으로 발견되었다. 탄동천 수질개선을 위해서는 이러한 오염원들에 대한 관리가 필수이며 그 대책으로 하수처리장 고도처리시설 도입과 하수처리장과 신성교 부근의 하천둔치에 인공습지를 설계하여 수질개선을 제안하였으며 1차원 수질모델인 QUAL2K를 이용하여 상술한 방안에 대한 수질개선 효과를 예측해 보았다. 모의결과 특히 T-P의 경우 0.05 mg/L 이하로 개선되는 것으로 모의되어 하천의 부영양화 방지에도 뚜렷한 효과가 있을 것으로 판단된다. 개선된 탄동천 수변공간은 인근 주민들에게 쾌적한 환경을 제공할 수 있으며 성공적인 수질관리 사례는 여타 하천관리의 설계, 시공에 큰 도움이 될 것이다.

주제어 : 탄동천, 소하천, 대덕과학특구, 인공습지설계, QUAL2K, 수질개선

1. 서론

우리나라 하천은 정부의 하천 사업 시행에 따라 꾸준히 정비되어 2010년 현재 국가하천 96.1%, 지방하천 78.6%의 제방이 정비된 것으로 나타나고 있으며 이를 위해 연간 약 1.4조의 예산이¹⁾(Table 1) 소요되는 것으로 알려져 있다. 그러나 국토해양부가 추진하는 도시하천정비사업은 방재차원의 시공이 우선시되고 있으며 하천에 도달한 유량의 신속한 배제를 위한 하도의 준설, 직선화 및 제방의 보강 등이 강조되면서, 하천내의 식생 또는 제외지의 환경적 역할에 대한 고려가 상대적으로 부족한 경향을 나타내고 있다. 이러한 사업경향은 결과적으로 하천의 체류시간이 감소되었고, 식물피복이 감소하여 하천의 자연정화능력이 저하되고 경관을 저해하는 등 일련의 부작용을 초래할 수 있다. 한편 환경

부는 2010년부터 생태하천 복원사업 추진지침을 수립하여 복개하천, 도시하천 및 도랑 등을 개선하는 사업을 전개하고 있으나 이 또한 하천의 오염원이나 수량관리 대책 등과 연계되지 못하고 하천 내부의 관리에만 국한되는 경향을 보이고 있으며 조경사업의 수준에 머무르고 있다는 지적을 받기도 하였다.²⁾ 또한 도시 유역에서 임대형 민자사업³⁾등을 통해 도시의 합류식 하수관거를 분류식으로 전환하는 사업이 꾸준히 전개되어 오고 있으나, 기존 시가지 내의 모든 가구에 대해 사업을 실시할 수 없는 어려움으로 인해 부분적인 성과를 거둘 수밖에 없는 실정이다. 우리나라의 도시 하천에는 여전히 우천 시 합류식 하수관거 내를 흐르는 빗물 또는 분류식 관거 시스템의 오점에 의해 오염물질이 다량 하천으로 유입되고 있으나 이에 대한 정확한 진단 및 평가가 아직도 이루어지지 못한 곳이 다수 존재한다. 하천생태

[†] Corresponding author E-mail: Seodi@cnu.ac.kr Tel: 042-821-6679 Fax: 042-822-5610

Table 1. Trend of national river maintenance cost (e-National indicators)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Total (%)	73.8	76.1	78.4	80.2	81.6	81.9	80.7	79.9	80.3
National rivers	95.2	95.6	96.2	96.3	96.4	96.4	95.1	95.1	96.1
Local 1 st grade rivers	89.7	91.8	91.9	91.9	92.4	-	-	-	-
Local 2 nd grade rivers	71.3	73.7	76.2	78.2	79.3	-	-	-	-
Local rivers	-	-	-	-	-	80.2	79	78.2	78.6
Cost (10 ⁸ won)	9,362	10,990	12,122	11,942	11,687	10,646	11,867	15,915	13,864

Fig. 1. Water quality trend of gab-cheon & Tandong-cheon (2004~2010).

또는 환경의 건강성과는 무관하게 건설된 수중보에 의해 퇴적물들이 축적되어 수질관리에 큰 어려움을 겪는 경우가 상당히 많은 것 또한 사실이다.

Fig. 1은 2004년 이후부터 2010년 사이 대전 갑천⁴⁾ 상류인 가수원교 지점과 하류에 해당하며 대전시 하수처리장 방류수가 혼합되고 난 신구교 지점 및 탄동천⁵⁾의 수질변화를 나타내고 있다. 갑천의 상류는 비교적 깨끗한 편이나 하류로 가면서 진잠천, 유성천, 탄동천, 유등천 등 지류 및 대전시 하수처리장 방류수의 유입으로 인해 급격하게 수질이 악화되는 것을 알 수 있다. 갑천 하류의 BOD와 COD 농도는 각각 4~9 mg/L와 6~9 mg/L 수준을 보이고 있다. 또한 갑천의 T-N 농도는 5~20 mg/L에서 큰 폭으로 변화하고 있으며 T-P의 경우 0.5~1.5 mg/L 수준을 보이며 지속적으로 농도가 증가하는 추세에 있다. 한편 탄동천은 갑천 중류 국립과학관 부근에서 유입되며 상류(가수원교)의 수질 농도와 비교하여 현저하게 높은 수준을 나타내고 있다. 탄동천의 BOD와 COD 농도는 갑천 하류와 유사한 수준을 나타내고 있으며 T-N, T-P 농도는 각각 평균 6 mg/L, 0.5 mg/L의 수준을 보이고 있으며 탄동천은 반드시 관리하여야 하는 주요 오염원으로 평가되고 있다.

도시의 하천은 주민의 생활공간의 일부로서 환경적인 지속성을 위해 자연 친화적으로 관리되는 것이 바람직하나 우

리나라 대부분의 하천은 심각한 부영양화 현상을 나타내고 있다. 환경부는 2010년 1월부터 총인 농도를 하천 생활환경 기준에 포함시켰으며 0.1 mg/L를 II급수(또는 약간 좋음)의 기준으로 발표하고 주요 수계에 방류되는 하수처리장의 총인 방류기준을 0.2 mg/L로 대폭 강화한 바 있다. 본 연구에서는 대전의 탄동천을 대상으로 조사를 진행하여 수질 문제 및 원인을 파악하고 현장의 여건을 고려하여 수질개선방안을 제안하였으며 1차원 정상상태 수질모델 QUAL2K를 이용하여 개선 전, 후의 수질을 비교하여 개선효과를 분석해 보았다. 이러한 과학적인 접근 방법을 통하여 자연친화 및 인간친화형 도시하천 수질관리 방안을 수립하고 갑천의 수질개선에 이바지 할 뿐 아니라 향후 도시 소하천 관리의 성공사례로 발전시키는데 도움이 되고자 이 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

2.1. 탄동천

탄동천은 대전광역시 금정산 발원지로 하여 자운동, 장동, 신성동, 구성동 등 대덕연구단지의 관류하고 국립과학관 부근에서 갑천으로 유입하는 길이가 약 7.4 km인 지방

Fig. 2. Location of the study area, Tandong-cheon, Deajeon, Korea.

2등급의 도시형 소규모 하천이다. 대전의 탄동천 유역에는 군부대, 대규모 주거단지, 국가주요 연구단지, 그리고 국가적인 규모의 문화시설이 공존하는 지역으로서 토지이용 형태가 비교적 단순하여 수질관리 방법의 시범적인 시행이 가능할 것으로 예상되는 매우 좋은 여건을 갖추고 있다고 판단된다.

2.2. 수질조사 결과

본 연구에서는 2009년 8월~10월 사이에 집중적으로 진행된 현장조사결과를 이용하여 수질모델을 구축하고 수질관리 대안을 수립하고자 하였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 2009년 8월~10월 사이 탄동천의 상류 자운1교부터 약 800 m 간격으로 말단의 매봉교까지의 본류 9개 지점 및 자운동 하수처리장 방류수(STP), 신성동 우측 합류식 관거 유출수(CSO), 추목천(Trib.1), 호박골천(Trib.2) 등 유입수의 유량 및 수질에 대하여 총 5차례의 현장조사를 진행하였다. 조사기간 중

탄동천의 평균 유량은 약 $0.35 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이었으며 상류의 수질은 대체적으로 양호한 편이나 자운동 하수처리장 방류수의 유입으로 인하여 BOD 5 mg/L , T-N 8 mg/L , T-P 0.8 mg/L 수준으로 수질이 급격히 악화되었으나 하류로 흘러 내려가면서 점차적으로 개선되는 현상을 나타낸다. 탄동천의 중류에 해당하는 신성교 부근에서는 합류식 하수 관거 유출수의 영향으로 다소 수질이 악화되는 경향을 나타내고 있으며 최하류인 매봉교 지점에서 BOD 3.5 mg/L , T-N 7.0 mg/L , T-P 0.40 mg/L 수준으로 다소 개선되어 갑천에 유입되고 있다.

Fig. 4는 실측에 의한 탄동천 유입수질 부하량을 분석한 결과를 나타내고 있으며 BOD, COD, T-N 및 T-P에 대하여 상류에 위치한 하수처리장 방류수와 중류의 신성교 부근 관거유출수가 전체 부하량의 72~83% 및 11~20%를 각각 차지하는 것으로 산정되었으며 기타 유입수들은 합하여 10% 미만의 부하량을 차지하는 것으로 분석되었다. 따라서 탄

Fig. 3. Field survey results of water quality of the study area

Fig. 4. Composition of pollutant loads to Tandong-cheon from its basin.

동천의 수질관리를 위해서는 하수처리장의 방류수질을 개선하는 것이 절대적으로 필요하며 신성교 부근의 오염관거에 대한 대책을 수립하는 것 또한 필수적이다.

2.3. 인공습지

현장 조사결과 탄동천 유역은 식생이 잘 발달되어 있으며 비교적 짧은 유하거리 임에도 수질개선이 눈에 띄게 이루어지는 것은 이러한 식생들의 자정작용에 의한 가능성이 큰 것으로 추정되어 탄동천의 이러한 이점들을 활용할 수 있는 인공습지 공법에 대하여 조사를 진행 하였다.

인공습지(constructed wetland)는 자연 상태의 습지가 가지고 있는 정화능력을 인위적으로 향상시켜 수질정화의 목적으로 이용하는 습지를 말한다. 인공습지는 하수처리장 방류수의 후처리, 비점오염물질의 관리 또는 생태하천의 관리 등에 다양하게 사용될 수 있다. Kent⁶⁾는 미국의 경우 과거 자연습지가 1850~1977년 기간 동안 북미습지의 75%가 사라졌으며 1977년 제정된 Clean Water Act에 의해 그 중요성이 다시 강조되고 있다고 보고한 바 있다. 인공습지를 이용한 오염물질 제거 기술을 체계적으로 정리한 학자는 Kedloc and Knight^{7,8)}이다. 이들은 인공습지의 기능, 효과, 기작 및 사례 분석 등을 통해서 인공습지 공법이 오염물질의 제거에 효과적으로 적용될 수 있다는 것을 역설한 바 있다. Reddy and DeLaune⁹⁾는 인공습지의 기작과 응용방법에 대해서 자세하게 설명하고 있다. 한편 우리나라에서 윤춘경 등¹⁰⁻¹⁶⁾은 농촌하수처리장 방류수질을 개선하기 위한 방법으로서 인공습지를 활용하는 방법에 대한 다양한 연구를 발표한 바 있다. 고대현 등¹⁷⁾은 인공습지의 영양물질 제거 기작을 고찰하고 질소 제거의 주된 기작은 인공습지 내 뿌리에서의 질산화/탈질에 의하여, 인 제거는 인공습지 내 여재 등의 기층(substrate)에서의 흡착에 의한 것으로 추정된 바 있

다. 그러나 최돈혁 등¹⁸⁾은 시화호의 인공습지에서 시간이 흐름에 따라 오염물질의 제거 효율이 저하되는 것을 관찰하고 그 원인은 과도한 유기물 생산에 의한 습지의 혐기성 환경과 이에 따른 습지 하류부에서 용출된 인 및 대량 증식한 식물플랑크톤이 균등하지 못한 물 흐름에 의해 식생대를 거치지 않고 유출되었기 때문으로 추정한 바 있다.

인공습지는 소요면적이 크다는 단점이 있으며 따라서 도시의 하천에 적용하기는 무리라는 의견이 있을 수 있으나 하수처리시설만으로는 만족할 만한 자연수질의 수준에 접근하기 어려운 현실에서 대안을 찾아보는 것은 의미가 있다고 본다. 다행히 우리나라의 하천에는 둔치라는 공간이 있으며 대부분 사용되지 않는 공간 또는 인공습지로서 변경이 가능한 경우가 많은 것으로 판단된다. 인공습지의 합리적인 설계는 하수처리장 방류수 등 점오염원 뿐만 아니라 강우 시 탄동천 주변 우수관거를 통해 유입되는 비점오염원 저감에도 뚜렷한 효과가 있을 것으로 사료된다.

3. 연구결과 및 고찰

환경부는 2012년부터 상수원 보호구역 및 4대강 상류 지역의 처리 용량이 500 t 이상인 공공하수 처리시설은 방류수 수질기준을 BOD 5.0 mg/L 이하, COD 20.0 mg/L 이하, T-P 0.2 mg/L 이하로 강화하는 내용의 하수도법 시행규칙 개정안을 입법예고 한 바 있다.

본 연구에서는 탄동천의 하수처리장 방류수질이 위에 기술한 바와 같이 BOD 5.0 mg/L, T-N 2.0 mg/L, 및 T-P 0.2 mg/L 이하로 개선되고 신성교 부근 관거에 대한 재정비를 통하여 관거 유출수가 대전시 하수처리장으로 이송되어 탄동천으로 직접 유입되지 않는다는 가정 하에, 갑천에 유입

되는 탄동천 최하류 매봉교 지점의 수질이 하천 수질기준을 약간 좋음(II 등급, BOD 3 mg/L 및 T-P 0.1 mg/L)의 수준을 만족하기 위한 적용 가능한 수질개선 방안을 선정하기 위해 수질 모델 QUAL2K 모델을 이용하여 평가를 실시하였다. 그러나 T-P의 경우 및 하천 수질기준의 약간 좋음(II 급수) 기준인 0.10 mg/L는 하천의 부영양화를 일으키는 데에 충분한 정도의 수질인 것으로 판단되어 목표 수질을 하천의 부영양화 한계 농도인 0.05 mg/L¹⁹⁾ 수준으로 설정하였다.

3.1. 하천수질 예측을 위한 QUAL2K 수질 모델의 수립

하천이나 호수의 수질관리를 위한 대안의 설정이나 특정 사안이 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수질 모델이 널리 사용된다. 수질 모델링은 수체 내부에 일어나는 복잡한 물리, 화학 및 생물학적인 기작들을 수식으로 요약하여 표현함으로써 수질관리를 위한 의사결정에 필요한 자료를 생성하는 기술을 의미한다. 최근의 컴퓨터 기술의 발달로 수질 모델링의 적용대상 범위가 크게 증가하고 복잡한 계산도 시간을 크게 단축하면서 자연현상을 더욱 자세하게 모델링할 수 있게 되었다²⁰⁾. 미국 환경부²¹⁾에서 개발된 QUAL2E²²⁾는 대표적인 하천수질 모델이었으나 최근 미국 환경부는 이를 개선한 QUAL2K²³⁾ 모델을 공식적으로 지원하고 있다. QUAL2K는 기존의 QUAL2E 모델의 기능에 부착성 식물의 영향 및 탈질 등의 반응 기작을 개선하고 소구간의 구분에 유연성을 대폭 강조한 Excel을 기본으로 사용하는 모델이다. Table 2는 QUAL2K 모델에서 고려된 수질변수의 종류를 나타내고 있으며 수체 내의 수질변수들은 용해, 가수분해, 산화, 질산화, 탈질화, 광합성, 사멸, 호흡, 재포기, 침강 등의 물리화학 및 생물학적 과정을 통해 변화를 거듭하게 된다. 본 연구에서는 BOD (Fast reacting CBOD), T-N (Organic nitrogen, Ammonia nitrogen, Nitrate nitrogen), T-P (Organic phosphorus, Inorganic phosphorus) 등 수질변수를 포함하여

Table 2. QUAL2K model state variable

Variable		
Conductivity	Ammonia nitrogen	Pathogen
Inorganic suspended solids	Nitrate nitrogen	Alkalinity
Dissolved oxygen	Organic phosphorus	Total inorganic carbon
Slowly reacting CBOD	Inorganic phosphorus	Bottom algae biomass
Fast reacting CBOD	Phytoplankton	Bottom algae nitrogen
Organic nitrogen	Detritus	Bottom algae phosphorus

수질예측에 사용하였다. QUAL2K의 지배방정식 및 상세한 내용은 Chapra²³⁾에서 찾아볼 수 있다.

3.2. 모델의 구축 및 보정

연구대상지역은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 모의구간은 유입지천, 오염원 및 수로의 특성 등을 고려하여 수리학적 특성 및 길이가 비슷한 본류 13개 구간과 지류 2개 구간, 총 15개 구간으로 구분하였으며 하천의 하폭, 구간 길이, 하상고, 하천의 경사도 등 지형자료는 탄동천 하천기본계획 횡단면도 CAD파일을 이용하여 구축하였다. 2009년 8월 1일

Table 3. QUAL2K model water column rates

Parameter	Value	Units	Symbol
Fast CBOD	Temp correction	1.047	θ_{nc}
	Oxidation	0.02	/d
	Temp correction	1.07	θ_{na}
T-N	Hydrolysis	0.03	/d
	Nitrification	0.05	/d
	Denitrification	1	/d
	Temp correction	1.07	θ_{np}
T-P	Hydrolysis	0.06	/d
			K_{np}

Fig. 5. Stream network development for QUAL2K application.

Fig. 6. QUAL2K Model calibration results of the study area.

Fig. 7. Effect of water quality improvement by Scenario-1 and Scenario-2.

현장조사 자료 및 기상자료 등을 이용하여 QUAL2K 모델을 구축하고 Fig. 6에 나타난 바와 같이 BOD, T-N, T-P 등 항목에 대해 수질 보정을 실시하였다.

3.3. 탄동천 수질개선 효과 분석

탄동천의 수질개선 효과를 분석하기 위해서는 다음과 같은 시나리오를 설정하여 분석하였다.

첫째, 상류하수처리장의 방류수가 2012년부터 실시하는 방류수 기준 BOD 5 mg/L, T-N 2.0 mg/L 및 T-P 0.2 mg/L를 만족시킨다고 가정하는 경우를 시나리오-1로 보고, 둘째, 하수처리장의 방류수질을 개선 및 중류의 하수관거를 정비하는 경우를 시나리오-2로 가정하여 수질예측을 실시하였다. 그러나 Fig. 7에 나타난 바와 같이 탄동천 하류의 수질은 시나리오-1은 BOD 2.53 mg/L, T-N 3.22 mg/L, T-P 0.136 mg/L의 수준을 나타내는 것으로 예측되었으며 시나리오-2는 BOD 2.02 mg/L, T-N 2.68 mg/L, T-P 0.062 mg/L로 하천 및 호소 부영양화의 주요 원인인 T-P는 만족할 만한 수질결과가 나타나지 않음에 따라 추가의 수질관리 대안이 필요하다는 것을 시사하고 있다. 시나리오-3은 시나리오-

2에 추가적으로 인공습지 공법을 적용하여 수질개선 효과를 분석해보았다.

3.3.1. 탄동천의 인공습지

탄동천의 수질을 개선하기 위해서는 하수처리장 방류수를 인공습지 공법 등을 적용할 수 있으나 이를 위한 부지의 마련이 어려운 실정이다. 그러나 탄동천의 양안에는 둔치가 발달 또는 조성되어 있으며, 본 지역에서는 이를 활용하는 방법을 평가해 보고자 한다. 인공습지의 공법은 다양하게 존재하나 탄동천의 둔치에는 비용이 가장 경제적이고 관리가 용이한 지표형 흐름(Surface Flow Type)으로 설치하는 것이 적절한 것으로 판단된다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 하수처리장 방류수는 탄동천의 하천둔치에 설치된 인공습지를 거쳐 수질개선 후 천천히 하천으로 방류 된다.

3.3.2. 처리효율계산

Kadlec and Knight^{7,8)}는 인공습지의 수질개선효과를 분석하기 위하여 초기 농도, 목표농도 및 처리유량을 이용하여 인공습지의 설계 시 필요한 면적을 산정할 수 있는 추정관계식을 제안하였다.

Fig. 8. Conceptual drawings of wetland system in terrace land of study area.

Table 4. Effluent water quality scenarios

	Pollutant	Inflow [m ³ /d]	Improvement plan	Needed wetland area [km ²]	BOD [mg/L]	T-N [mg/L]	T-P [mg/L]
Before	STP	9,000	-	-	8.25	15.42	2.28
	CSO	3,000	-	-	6.5	7.7	0.93
Scenario-1	STP	-	Advanced treatment	-	5.0	2.0	0.20
After	Scenario-2	STP +CSO	Advanced treatment + Sewer rehabilitation	-	5.0	2.0	0.20
	Scenario-3	STP +CSO	Advanced treatment + Sewer rehabilitation +Wetland system	0.135	2.5	1.2	0.12

Table 5. Water quality predictions for scenarios at the target

Down stream station	BOD [mg/L]	T-N [mg/L]	T-P [mg/L]
Before	3,2	5,70	0,511
After	Scenario-1	2,53	3,22
	Scenario-2	2,02	2,68
	Scenario-3	1,40	2,36
			0,135
			0,062
			0,046

Fig. 9. Water quality prediction results of Scenario-3.

$$A = - \left(\frac{365Q}{k} \right) \ln \left(\frac{C_e - C^*}{C_0 - C^*} \right)$$

A : 필요한 면적 (m²) k : 지표흐름형 상수
C_e : 목표농도(mg/L) BOD₅ : 35
C₀ : 초기농도(mg/L) T-N : 22
C* : 배경농도(mg/L) T-P : 12
Q : 유량(m³/d)

인공습지는 탄동천 둔치 전체구간에 설치할 수 있으며 활용 가능한 둔치 면적은 약 0.135 km²이다. Kadlec and Knight 관계식을 이용하여 하수처리장 방류수의 BOD, T-N, T-P개선 농도를 계산하고 QUAL2K 수질모델을 이용하여 탄동천의 전반적인 수질개선 효과를 분석하였다.

Table 5는 탄동천의 개선 전 수질모의 결과와 3가지 개선 방안을 적용 시 개선된 수질모의 결과를 탄동천 최하류 매봉교지점에서 보여주고 있다. 수질개선 시나리오-1의 경우 BOD는 21%, T-N은 44%, T-P는 73%의 개선효율을 보였으며 시나리오-2 모의결과 BOD는 37%이상, T-N은 53%, T-P는 88%의 높은 개선효율을 보이며 하천 전체 구간에서 하

천생활환경기준의 약간 좋음(II) 등급의 수질을 유지할 수 있었지만 부영양화방지를 위해서는 T-P농도를 더 개선할 필요가 있는 것으로 평가되었다. 시나리오-3 모의결과 BOD 57%, T-N 65%, T-P 91%의 개선 효율을 보여주었으며 BOD가 2 mg/L, 그리고 T-P의 경우 0.05 mg/L 이하로 개선되어 목표 수질을 달성할 수 있게 된 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 대전의 탄동천을 연구대상지역으로 선정하고 도시 소하천의 수질관리를 위해 수질 및 오염원인을 진단하였다. 설정된 수질목표를 달성하기 위한 평가를 위해 QUAL-2K를 이용한 모델링 기법을 적용하고 하천 둔치를 이용하여 추가적인 수질 개선하는 방법이 하천의 지속가능한 수질개선에 도움이 된다는 것을 보여줄 수 있는지를 평가하기 위해 시행되었다. 현장수질 결과 탄동천의 최하류 매봉교 지점을 기준으로 BOD수준은 3.5 mg/L 이상으로 하천 생활환경기준의 보통(III)수준으로 분석되었으나 T-P는 0.40 mg/L가량으로 수질기준이 나쁨(V)의 수준으로서 하천의 부영양화를 유발하는데에 부정적인 영향을 끼칠 것으로 판단되었다. 탄동천의 수질을 개선하는 대안으로써 첫째는 오염물질 부하량의 80% 이상을 차지하는 하수처리장 방류수질 개선, 둘째는 중류 주거지역 우수관거 및 하수관거에서 발생하는 관거 유출수의 제어를 우선적으로 시행하는 것이 제안되었다. 그러나 위 두 가지 사업으로 T-P농도가 부영양화 유발 조건, 0.05 mg-P/L가 달성되지 않음에 따라 탄동천 하천 둔치의 여유 부지를 이용하여 추가로 지표형 인공습지를 설치하여 수질을 개선하는 안을 비교하였다.

모의결과를 바탕으로 전반적인 수질 개선효과 분석 시 탄동천의 수질은 시나리오-1, 시나리오-2는 하천생활환경기준의 보통(III) 등급에서 약간 좋음(II) 등급으로 개선되며 시나리오-3에서 BOD는 1.30 mg/L로, 하천생활환경기준의 좋음 등급(Ib, 2.0 mg/L)으로 개선되었으며 T-P 또한 좋음 등급(Ib, 0.04 mg/L)에 근접한 0.046 mg/L로 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

인공습지를 적용한 수질개선방안은 개선효과가 크지 않고 많은 면적의 부지를 필요하는 등 단점이 지적되고 있으나 자연친화적인 공법으로써 하수처리장 외의 추가적인 수질관리

를 위해 긍정적인 효과가 있을 것으로 판단된다. 또한 관리 방법에 따라 하천의 생태적 환경 및 경관을 개선하는 효과가 있을 것으로 기대되며 향후 도시형 소하천들의 수질개선 사업에 좋은 참고자료가 될 것으로 기대된다. 본 연구의 계획 수립 및 시행에 따라 개선된 탄동천 수변공간은 인근 주민들에게 쾌적한 환경을 제공할 수 있을 것으로 기대되며 성공적인 수질관리 사례는 여타 하천관리의 설계, 시공에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 대전환경기술개발센터의 지원으로 이루어졌으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

KSEE

참고문헌

1. Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, e-National Index, www.index.go.kr(2012).
2. Seo, D. I., Problems in Natural Stream Restoration Project in Korea, *Envitop Magazine*, **2009**(1), 60~62(2009).
3. Korea Ministry of Education, Science and Technology, www.mest.go.kr(2012).
4. Korea Water Information System, water.nier.go.kr/weis(2010).
5. Daejeon Institute of Health Environment(대전시보건환경연구원): www.daejeon.go.kr/organ/health(2010).
6. Kent, D. M., Applied Wetlands Science and Technology, Lewis(1994).
7. Kadlec, R. H. and Knight, R. L., Treatment wetlands, Lewis Publishers, New York(1996).
8. Knight, R. L., "Ancillary benefits and potential problems with the use of wetlands for nonpoint source pollution control (In Olson, R. K. eds., "Created and natural wetlands for controlling nonpoint source pollution"), Boca Raton: C. K. Smoley, pp. 131~150(1993).
9. Reddy, R. M. and DeLaune, R. D., Biogeochemistry of Wetlands Science and Applications, CRC press(2008).
10. Yun, C. K., Kwon, S. K. and Kim, H. J., "Change of Nutrients and Behaviour of Total Coliforms in the Natural Treatment of Wastewater by Subsurface Flow Wetland System," *Kor. J. Environ. Agric.*, **16**(3), 249~254(1997).
11. Yun, C. K., Kwon, S. K. and Kwon, T. Y., "Feasibility Study of Constructed Wetland for the Wastewater Treatment in Rural Area," *J. Kor. Soc. Agric. Eng.*, **40**(3), 83~93(1998).
12. Yun, C. K., Kwon, S. K. and Ham, J. H., "Wetland Performance for Wastewater Treatment in Growing and Winter Seasons" *J. Kor. Soc. Agric. Eng.*, **41**(4), 37~46(1999).
13. Yun, C. K., Kwon, S. K., Ham, J. H. and Noh, J. K., "Study on the Performance of Constructed Wetland System for Sewage Treatment" *J. Kor. Soc. Agric. Eng.*, **42**(4), 96~105(2000).
14. Yun, C. K., Kwon, S. K. and Jeon, J. H., "Study on the Estimation Equation of Effluent Concentration from Constructed Wetland for Domestic Wastewater Treatment" *J. Kor. Soc. Water Environ.*, **16**(4), 491~499(2000).
15. Yun, C. K. and Ham, J. H., "Prediction of Water Quality improvement for Estuarine Reservoir using Wetland-Detention Pond System," *J. Kor. Soc. Agric. Eng.*, **42**(5), 94~102(2000).
16. Yun, C. K., Ham, J. H., Woo, S. H. and Kim, M. H., "Paddy Rice Culture Experiment Using Treated Sewage Effluent From Constructed Wetland," *J. Kor. Soc. Agric. Eng.*, **43**(2), 94~104(2001).
17. Ko, D. H., Chung, Y. C. and Seo, S. C., "Removal Mechanisms for Water Pollutant in Constructed Wetlands," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **32**(4), 379~392(2010).
18. Choi, D. H., Choi, G. S., Kim, D. S., Kim, S. W., Choi, D. H., Hwang, I. S., Lee, Y. K. and Kang, H., "Temporal and Spatial Distributions of Water Quality and Evaluation of Pollutant Removal Efficiency in the Sihwa Constructed Wetland," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **30**(10), 1013~1020(2008).
19. Kim, B. C., Jun, M. S., Chung, K. and Chung, Y. S., Hwang, G. S., "Distribution of Biota and Removal Efficiency of Organic Matter in Natural Wetland," *J. Kor. Soc. Environ. Biol.*, **17**(4), 407~414(1999).
20. Seo, D. I., Yun, J. U. and Lee, J. W., "Comparative Analysis of QUAL2E, QUAL2K and CAP Steady State Water Quality Modeling Results in Downstream Areas of the Geum River, Korea," *J. Kor. Soc. Water, Wastewater*, **22**(1), 121~129(2008).
21. U. S. EPA, Nonpoint sources: Agenda for the Future, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington(1989).
22. Brown, L. C. and Barnwell, T. O., Computer program 2222 documentation for the enhanced stream water quality model QUAL2E, EPA/600/3-85/065, U.S. EPA Environmental Research Laboratory, Athens(1985).
23. Chapra, S. C., Pelletier, G. J. and Tao, H., QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA, USA(2009).