

소규모 도시 하천 유역의 수질 특성 연구

곽재원* / 정종태** / 김형수*** / 안경수****

Characteristics Analysis of Water Quality for A Small Stream in Urban Watershed

Kwak, Jae Won* / Jung, Jong Tae** / Kim, Hung Soo*** / Ahn, Kyoung Soo****

요약 : 본 연구는 도심지 유역인 경기도 부천 여월동 단지 내 도시하천의 수질 특성을 분석하고 평가하고자 한다. 해당 유역의 하천은 차집관로에 의한 생활하수와 평시 흐름의 차단으로 인하여 매우 적은 유량만이 흐르고 있고, 각종 하수와 오염원의 유입으로 수질 오염 및 악취 발생 등의 문제를 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 수질 현황을 파악하고 수질 개선책을 제시하기 위하여 수질 모니터링을 시행하였으며, 해당 유역의 특성과 조사 결과를 이용하여 QUAL2E 모형을 통한 수질 모델링을 구축하고, 이를 이용해 수질특성과 향후 미래 수질을 검토하였다. 검토 결과 주거지역내 소하천의 경우 오염원의 유입에 따라서 수질이 크게 변화하며 비점오염원에 대해서도 불안요소를 포함하고 있는 것으로 나타났다. 본 연구 대상지역의 경우 유지유량 공급과 오염원의 차단이 중요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 아파트 단지, 도시하천, QUAL2E 모형, 수질

Abstract : This study analyzed and assessed the water quality of a small urban stream in the apartment complex of Yewol-Dong, Buchun-Si at Korea. The flows in the stream due to the interceptions of sewage and normal flow are usually low and the water quality and offensive odor problems by inflows of the sewage and other pollutants are occurred in the study area. Therefore we intended to monitor and identify the water quality conditions. Based on this, we simulated water quality using QUAL2E model and investigated water quality characteristics for the future. As the results, we found that the water quality depended on the inflows of point and non-point sources and so it is important to maintain instream flow for improvement of water quality problem and to intercept point and non-point sources in this study area.

Keywords : Apartment complex, Urban small stream, QUAL2E model, Water Quality

1. 서론

최근 도시에 건설되는 주거 지역은 해당 구역 내에 인공 소하천을 만들거나 기존의 소하천을 재정비하여 지역의 쾌적성과 주민의 휴식처를 제공하고자 하고 있다. 또한, 근래에 들어서 자연형

하천공법의 개발과 적용이 부각됨에 따라 공간 계획을 통한 자연 친화적 하천공법을 접목하는 시도가 여러 하천을 대상으로 이루어지고 있다. 그러나, 대부분의 경우 외형적인 복원만 이루어졌으며 수질과 생태적인 측면에서의 복원은 아직까지 미비한 실정으로 이를 해결하기 위한 연구가

+ Corresponding author : firstsword@naver.com
* 정희원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 석사과정
** 정희원 · 시립인천전문대학교 환경화학과 정교수
*** 비희원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 부교수
**** 정희원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 정교수

계속 진행되고 있다. 국내에서는 인천 남동유수지와 승기천을 연계하여 환경개선안을 고려한 바 있으며(김기형과 함창학, 2007), 박의정 등(2005)은 봉황천에 대해서 자연형 하천 정비공사 시공 전·후에 대하여 모니터링을 수행하여 그 영향을 분석하였다. 장철희 등(2006)은 도시화에 따른 하천의 수문수질 영향을 알아보기 위하여 판교 시험유역에 대한 조사와 분석을 수행한 바 있다. 또한, 장주형 등(2007)은 온천천의 유지용수를 방류하였을 때 이에 따른 영향을 분석한 바 있다.

하천의 친환경 정비에 따른 영향을 조사하기 위해 본 연구에서는 경기도 부천시 여월동의 아파트 단지 내에 있는 베르네천에 대해 2006년부터 2007년에 걸쳐서 모니터링을 수행하였으며 효과적인 하천관리를 위한 하천 수질과 유량 등의 하천 특성을 관측하였다. 이를 토대로 도시 소하천에 대한 수질 분석과 QUAL2E 모형을 이용한 수질 모델링을 수행하여 수질 현황을 모의하였다. 추가적으로 수질 조사결과와 수질 모델링 결과를 이용하여 향후 수질 현황을 예측하였으며 이를 이용해 도시 소하천의 수질 개선 방안을 모색하였다.

2. 적용 대상 유역

2.1 대상 유역 현황

본 연구의 적용 대상 유역은 경기도 부천시의 여월동 일대의 유역이다. 해당 하천은 경기도 부천시 오정구 여월동 및 작동 일원 부지를 포함하는 하천으로서 북쪽으로 한강(국가하천)이 흐르고 있다. 해당 하천은 동경 126°47'5.4"~ 126°49'28.8" , 북위 37°29'33"~ 37°31'55.2" 사이에 위치하고 있으며 부천시 원미구 춘의동에서 발원하여 부천 시내의 시가지를 관류하여 서북쪽으로 유하하다가 동부간선 수로로 유입한다. 행정구역상으로 보면 경기도 부천시 원미구 춘의동을 비롯한 2개의 구와 6개 동이 속해있다. 베르네천 유역은 부천시의 중앙부에 위치하고 있으며 동부와 남부

에 성주산, 원미산, 춘의봉등의 해발고도 200m 내외의 산지가 있고 북서부에는 굴포천이 위치한 지형으로 전체적으로 남동부가 높고 북서부가 낮은 형상을 띄고 있다. 해당 유역의 면적은 18.12 km², 유로연장은 4.84 km 이며 전체적인 유역은 현재 주거단지의 개발이 이루어지고 있는 전형적인 도시 주거 지역의 모습을 하고 있다.

부천시의 총 넓이는 53.4 km² 로서 대지 16.3 km², 농경지 9.3 km², 임야 9.2 km² 등으로 구성되어 있다. 연구 대상 지구는 전체 671,871 m² 로서 농경지 498,800 m², 임야 91,000 m², 기타 61,000 m² 등으로 주로 농경지가 토지이용현황의 대다수를 차지하고 있다(통계연보, 부천시, 2004).

2.2 대상 하천의 특성

주요한 수질 모의 대상인 베르네천 유역과 하천은 Fig. 1과 같다. 주변지역은 주거지와 구릉지로 둘러싸인 형상을 하고 있으며, 현재는 주변지역의 개발이 완료되어 있는 상태로서 주거지 및 상업지역으로 둘러싸인 전형적인 도시 소하천의 모습을 하고 있다. 베르네천 유역의 특성제원은 Table 1에 나타내었다(부천시, 1997).

2.3 대상 하천의 수질 특성 조사

유역의 수용하천은 하구를 지나서 굴포천과 합류한 후 동부간선수로를 통하여 한강으로 유입된다. 베르네천 총 4.84 km 구간중에서 복개된 구간은 2.75 km 이다. 특히 복개구간의 주변 지역은 주거지역이 위치하고 있다.

부천시는 광역상수도 구역으로서 까치울 정수장과 도당배수지를 통하여 상수도를 공급받고 있다 (475,000 톤/일). 따라서, 해당 하천 유역을 비롯한 부천시 지역 내에는 상수원 취수장이나 상수도 보호구역이 존재하고 있지 않다. 하수처리장은 굴포천에 위치한 굴포천 하수처리장(750,000 톤/일) 이 있으나 해당 하천 유역의 하수를 처리하고 있지는 않다.



Fig. 1. 베르네천 유역



Fig. 2. 유량측정 위치도

Table 1. 베르네천 유역특성 제원

명칭	기점	종점	유로연장	유역면적	복개길이
베르네천	원미구 춘의동	오정구 오정동	4.84 km	18.12 km ²	2.27 km
	유황	갈수량 (Q_{355})	저수량 (Q_{275})	평수량 (Q_{185})	풍수량 (Q_{95})
		0.014 cms	0.033 cms	0.073 cms	0.156 cms

Table 2. 유량조사 결과 단위(mg/L)

지점	평균수질 (W-8 지점)		
	춘하계	추계	동계
pH	7.49	7.45	7.16
BOD	10.0	13.0	10.0
DO	8.7	8.0	12.0
COD	68	93	90
SS	48	45	44
T-N	10.1	9.7	10.4
T-P	0.69	0.7	1.1

3. 자료수집 및 분석

3.1 수질특성 조사

유역의 실제 하천 특성과 수질 정도를 조사하기 위하여 유량과 수질측정을 실시하였다. 강우가 내리지 않는 시점에서 하천 내의 8개소에 대하여 하계, 추계, 동계별로 1일 24시간 측정을 2회씩 수행하였다.

조사 시에는 임의 시료 채취법으로 각 6 회씩 채취하였으며 모든 수질분석은 환경오염공정시험법이나 Standard Methods에 준하여 실시되었다. 수질측정은 하천 각 지점의 수질 조사항목인 수온, 유량, pH, Alk, DO, BOD, CODcr, SS, TKN, NO_2-N , NO_3-N , T-N, T-P, 대장균수, CL^- , ABS, Phenol, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr^{6+} 의 항목을 측정하였다. 수온, 용존산소 및 pH는 현장에서 측정하였으며, 나머지 항목은 시료를 ice box에 담

아 실험실로 운반한 다음 즉시 분석하거나 또는 냉장고에 보관하면서 분석하였다. 즉시 분석을 실시하지 않은 경우에는 적절한 전처리를 실시하여 분석 항목의 농도가 변하지 않도록 조치를 취한 다음 분석하였으므로 시료 운반 및 보관에 의한 실험오차의 보정은 실시하지 않았다.

Table 2에 나타난 조사결과는 조사된 계절별 자료의 평균값이다. 조사결과를 살펴보면 주요한 수질 지표인 BOD는 9~14 mgO_2/l 정도로 높게 나타났으며 DO의 경우 평균적으로 8 mgO_2/l 정도의 값을 나타내었으나 동계에는 12 mgO_2/l 정도인 것으로 나타났다. 하천의 BOD 농도가 높은 것은 도시 지역으로부터 각종 생활 오수 및 공장 폐수가 유입되어 생물학적으로 분해되기 어려운 유기물이 유입되거나 BOD로 분해되지 않는 질소유기물의 유입이 큰 것으로 추정된다.

질소농도의 경우 10 mgN/l 정도를 나타내고

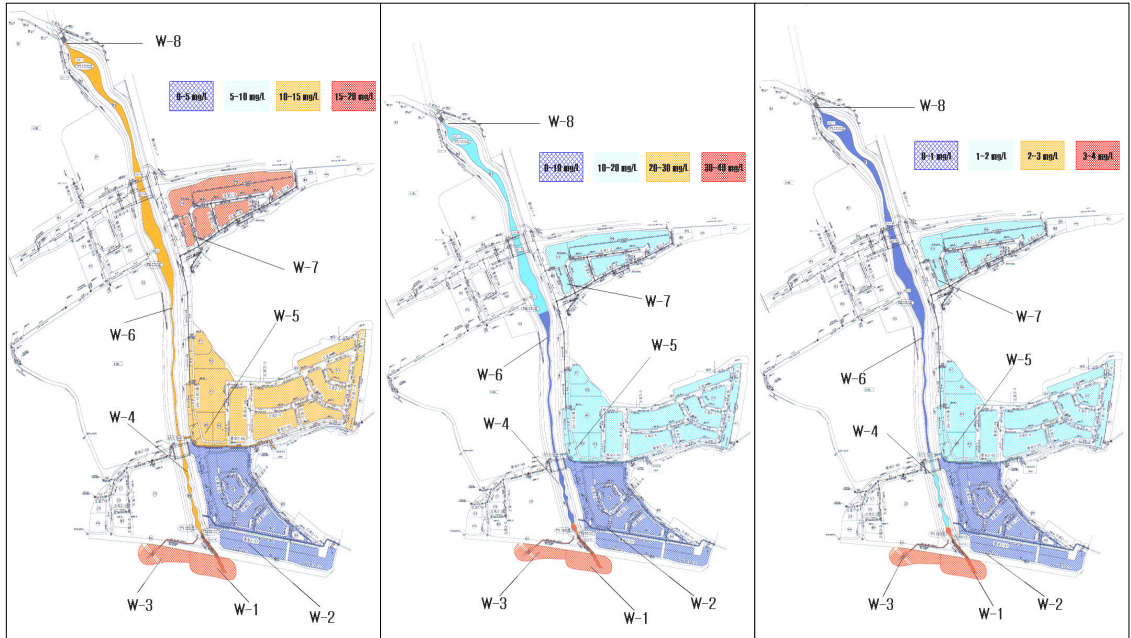


Fig. 3. BOD, T-N, T-P 현황 분석도

있는 것으로 판단되며, 인의 경우는 0.6~1.4 mgP/l 이었다. 이는 도시생활 하수에 포함된 분해가 빠른 다량의 유기물과 세제 등의 영향으로 판단되며 실제로 ABS 등의 수질 오염 물질도 검출되었다.

3.2 오염부하량에 따른 수질현황

해당 하천에 대해서 모니터링을 통해서 측정된 수질현황에 대해 Fig. 3과 같이 현황도로 분석하였다. BOD 현황의 경우 0~20 mg/L 농도를 4단계로 나누어 표현하였는데 W-1, W-3, W-7 지역이 1년 평균 15~20 mg/L로 유지되고 있어 유역 중 가장 오염이 심한 것으로 나타났다. BOD 현황은 상류지역을 포함한 전 구간에 걸쳐 10~15 mg/L의 BOD 수질을 유지하고 있었다.

T-N의 경우에는 0~40 mg/L의 농도를 4단계로 나누었는데 W-1과 W-3 지점이 1년 평균 30~40 mg/L를 유지하여 가장 심한 오염을 나타냈고, W-5와 W-7 지점이 1년 평균 10~20 mg/L의 수질을 유지하였다. 해당 하천 본류에 있

어서는 W-2 지역의 유량으로 희석작용이 생김으로써 W-6 지점의 증류부까지 0~10 mg/L의 수질을 유지하였고 이후 W-8 지점에 이르기까지 10~20 mg/L의 수질을 유지하였다.

T-P의 경우에는 0~4 mg/L 농도를 4단계로 나누었다. 역시 W-1과 W-3 지점이 3~4 mg/L로 유역에서 가장 높은 농도를 나타냈으며 W-2가 0~1 mg/L로 가장 깨끗한 수질을 나타냈다.

위의 내용을 종합해 볼 때 해당 하천 상류의 W-1과 W-3 지점이 BOD, T-N, T-P 항목 모두에서 가장 오염이 심각하였으며 상류지역인 W-2 지점이 가장 양호한 수질을 보이는 것으로 판단된다. 이후 위의 두 지류가 합류되어 하류쪽으로 유하하는 것으로 판단된다.

4. 수질 모의 및 개선방안

4.1 사용 모형 및 입력 자료

특정 하천의 수질관리계획 수립을 위해서는 유역의 오염부하량 파악, 수리적 및 계절 인자의 파

악, 반응계수의 추정, 하천 수질예측 및 미래 하천의 수질모델링 등이 필요하며 이러한 수질모델링을 수행하기 위하여 대상하천의 특성과 목적, 모형의 특성을 고려한 적절한 모형이 선정되어야 한다.

상기와 같은 사항을 종합적으로 고려할 때 본 연구에서는 QUAL2E 모형이 적당하다고 판단되었다. 특히, QUAL2E 모형은 전국주요하천 기초 조사를 비롯한 국내의 여러 조사 및 연구에서 수질모델로 선정되기도 하였다. 이에 본 연구에서는 QUAL2E 모형을 이용하여 해당수계의 반응을 예측하고 유량에 따른 수질오염을 예측하여 수질개선을 위한 수질관리 자료로서 이용하도록 한다.

모형의 입력 자료로는 추계, 동계, 하계에 걸친 총 6회의 현장 모니터링 자료를 이용하였으며 각 계절별 수질 측정치의 평균을 이용하였다. 하천의 각 지점별 수질자료를 살펴보면, 하류로 진행함에 따라서 BOD나 DO의 농도가 무작위하게 변하는 것을 알 수 있다. 이는 하천의 길이가 상대적으로 짧기 때문에 하천의 자정작용보다는 유입되는 오염물질의 영향에 따라서 수질이 변화하는 것으로 생각된다.

4.2 민감도 분석

QUAL2E 모형의 입력 매개변수를 결정하기 위한 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석과

정 중에서 필요한 평균값은 각각 매개변수의 범위 중에서 중간 값을 사용하였다. 매개변수를 증가시키에 따라서 각각의 수질항목에 미치는 영향을 계산하여 아래의 Table 3과 같이 백분율로 표시하였다.

해당 하천 유역의 경우 K_1 , K_3 가 BOD에 큰 영향을 주고, DO에는 상대적으로 영향이 낮은 것으로 판단되며, β_2 는 질소계열 수질요소에 영향을 미치는 것으로 보인다. 또한, β_1 , β_3 , σ_2 , σ_3 , σ_4 는 BOD, DO, 질소, 인 계열의 수질요소에 매우 낮은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

일반적인 하천에 비해서 매개변수에 의한 민감도가 매우 낮은 것을 알 수 있는데 이는 해당 하천의 유하구간 자체가 짧고 유량도 상대적으로 작기 때문에 자정 작용이나 기타 수질반응이 작게 일어나기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 수리학적 매개변수의 추정

일반적으로 QUAL2E 모형은 수계 내에서의 유속 및 수심의 시간적인 변화를 이용하여 오염물질의 확산이나 이송에 대한 계산을 수행한다. 따라서 하천수계의 수질계산에 앞서 흐름에 대한 계산이 선행되어야 한다. 유속과 유량계수는 수질 성분의 이송과 확산계수 및 재폭기 정도를 결정하는 매개변수로서, QUAL2E 모형은 하천을 정상상태로 가정하여 수리학적 수치를 $(\Delta Q / \Delta t)_{element} =$

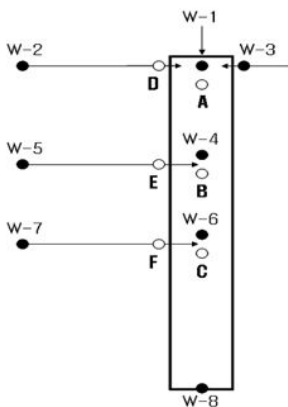


Fig. 4. QUAL2E 모식도

Table 3. 수질항목별 매개변수 민감도(백분율)

매개변수 \ 항목	DO	BOD	NO2	NO3	T-P
K_1 (1/day)	2.4	50.8	0.0	0.0	0.0
K_3 (1/day)	0.0	46.7	0.0	0.0	0.0
β_3 (1/day)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
β_1 (1/day)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
β_2 (1/day)	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0
σ_4 (1/day)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
σ_3 (1/day)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
σ_2 (1/day)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

$\Delta Q_{element}^t$ 의 식을 이용하여 나타내며, 각 element의 수리학적 특성을 다음과 같이 나타내게 된다.

$$D = a Q^b, \quad V = \alpha Q^\beta$$

여기서, D는 수심(m), Q는 유량(m^3/s), V는 유속(m/s)이며, a, b, α , β 는 수위-유량곡선에서 결정된 경험적인 상수로서 위 회귀식의 기울기 및 y 절편에서 유량계수를 구할 수 있으며 이를 수리학적 매개변수로 사용한다(Fig. 5).

4.4 수질 매개변수의 추정

해당 하천에서 민감도가 큰 것으로 나타난 수질 매개변수로는 탈산소 계수와 산소 소모율 계수등이 있다. 탈산소 계수는 용존산소 소비에 대한 지표로서 미생물과 같은 생물체에 의한 유기물 제거에 필요한 산소의 소비량을 나타낸다. 탈산소 계수는 생물학적 산화에 의한 산소이용율과 유기물질 분해시 유기물질 농도의 향으로 표시되며 채취 시료의 BOD를 지속적으로 측정하여 생물학적 산화에 의한 유기물질 소모율로서 산정할 수 있다.

하상퇴적물 산소 소모율 계수(SOD)의 경우에는 수계 바닥에 쌓인 저질토 내 물질의 생물학, 화학적 작용에 의해 수중의 용존 산소가 소모되는 비율에 대한 매개변수이다. 하천 저질의 산소 소모량은 주로 하부 저류지에서 침전된 유기물질의 분해와 저서 생물의 호흡과 산화에 따라서 발생하게 된다. 주요한 영향 변수는 수온과 수중 DO 그

리고 유속 및 저서 생물의 특성에 따른다.

본 연구에서 수질 매개변수를 추정할 때에는 하천 하상의 특성과 형상을 고려하여 적정 매개변수를 추정하여 사용하였다(U.S. Environmental Protection Agency, 1987).

4.5 매개변수의 보정

민감도 분석을 토대로 시행착오법을 사용하여 QUAL2E 모형의 수질 매개변수를 추정하였다. 가장 민감한 매개변수를 우선적으로 추정하였으며 선정된 매개변수가 다른 수질 요소에도 영향을 주는 경우에는 기 선정된 매개변수를 최소 영향을 받도록 재추정하였다. 다음의 Table 4는 수질 매개변수의 보정 결과를 나타낸다. 단, 해당 하천 구간에 대해서 민감도가 없는 변수는 추정을 할 필요가 없기 때문에 해당 매개변수 범위의 중간값을 일반값으로서 사용하였으며, 실질적으로 수질 예측에 사용된 하계의 매개변수 값을 나타내었다.

Table 4. 수질 매개변수 추정

매개변수	수질요소	결과
K_1	BOD	0.05
K_3	DO	0.02
SOD	O_2	0.5
σ_4	ORG-N	0.05
β_1	NO_3	0.55
β_2	NO_2	0.01
β_3	NH_3	0.21
β_4	DIS-P	0.52

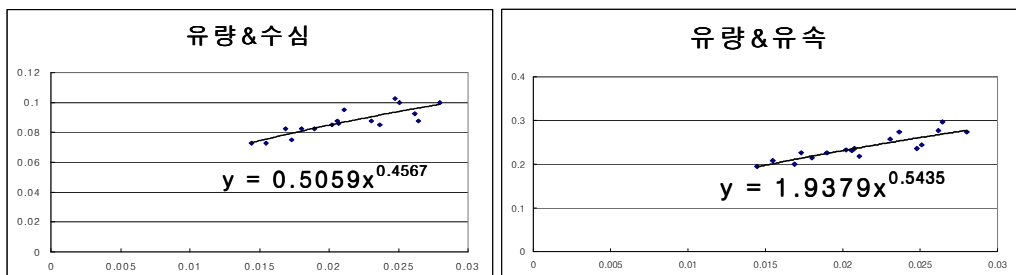


Fig. 5. 하천 단면에서의 수리학적 매개변수

4.6 수질모의 결과

4.6.1 추계 및 동계 모의 결과

Fig. 6과 같이 추계의 하천 수질 모의 결과를 살펴보면, BOD와 DO 의 경우 하천내의 수질반응보다는 외부에서 유입되는 하천수의 수질에 따라서 수질이 악화되거나 향상되는 것을 알 수 있다. 이는 하천 구간이 상대적으로 유량도 적고 유하거리가 짧기 때문에 수질 반응이나 자정 작용 등이 상대적으로 매우 적기 때문인 것으로 생각된다.

또한, 유하부 중류 구간에 대하여 BOD 외 각 수질 항목이 모의 및 실측치 간에 큰 차이가 발생하는 현상을 보였다. 각 계절별 수질 매개변수의 변동을 감안하여도 물리적으로 불가능한 값이 나타나났으며, 이는 암거 및 기타 유입수 외에 또다른 추가적인 오염원의 유입이 있는 것으로 판단된다. 이러한 이상적인 오염원의 유입을 판단하기 위하여 하천 구간에 접합된 모든 암거와 하수관 및 저니질에 대하여 표본 조사를 실행하여야 하며, 그 조사 결과를 바탕으로 하수관 및 암거와 공사 구간에 대한 역추적 등의 방법을 이용하여 조사하여야 하기 때문에 이상적인 오염원의 원인 조사를 수행하지는 못하였다.

하천의 동계 모의 결과를 보면, 전체적인 모의 형상은 추계와 같으며, 추계의 결과와 같이 모의치와 실측치간 차이가 높게 나타났다. 따라서, 하계에서 유입되던 오염원이 지속적으로 유입되는 것으로 판단된다. Fig. 6, 7에서와 같이 모의치와 실측치가 일치하지 않는 구간이 보인다. 현장 조사시 추계 및 동계 측정 시기에 많은 토사가 유입되었으며 이러한 다른 오염원의 유입이 이상치를 유발한 것으로 보여진다.

4.6.2 하계 모의결과

그림 8을 살펴보면, 하천의 하계 모의 결과는 추계 및 동계의 수질 모의 결과보다 실측치와 거의 비슷한 형상을 나타내었다. 특히, 추계와 동계 측정시에 수질항목이 모의값과 실측치에 큰 차이를 보이던 BOD, 총 인 등의 경우 거의 비슷한 값을 나타내는 현상을 보였다.

실제 측정시에 관측되던 이상 토사의 유입이 추계 및 동계 수질-유량 측정 시와는 달리 관측되지 않았다. QUAL2E 모형에 의한 추정결과도 모의치와 실측치가 비슷한 수치를 나타내었으므로 이상 오염원의 유입은 하계 측정 시에 사라진 것으로 판단된다.

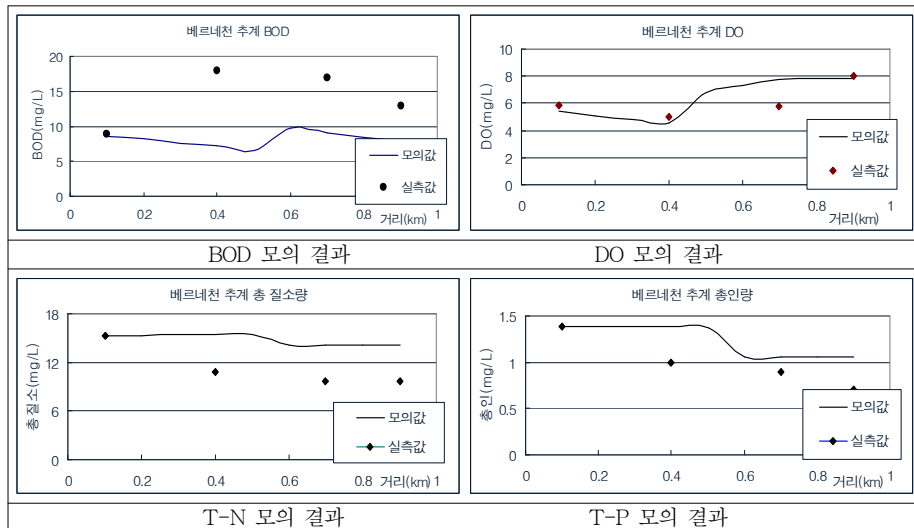


Fig. 6. 하천의 추계 수질항목

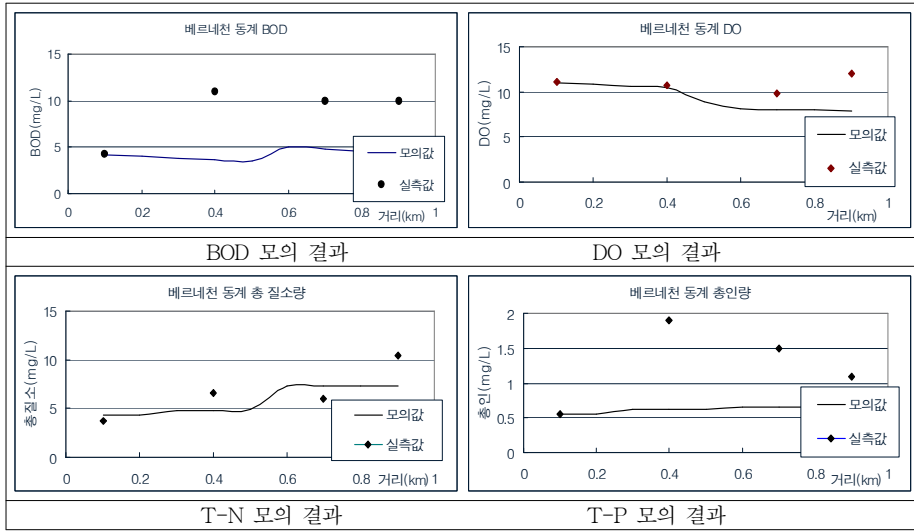


Fig. 7. 하천의 동계 수질항목

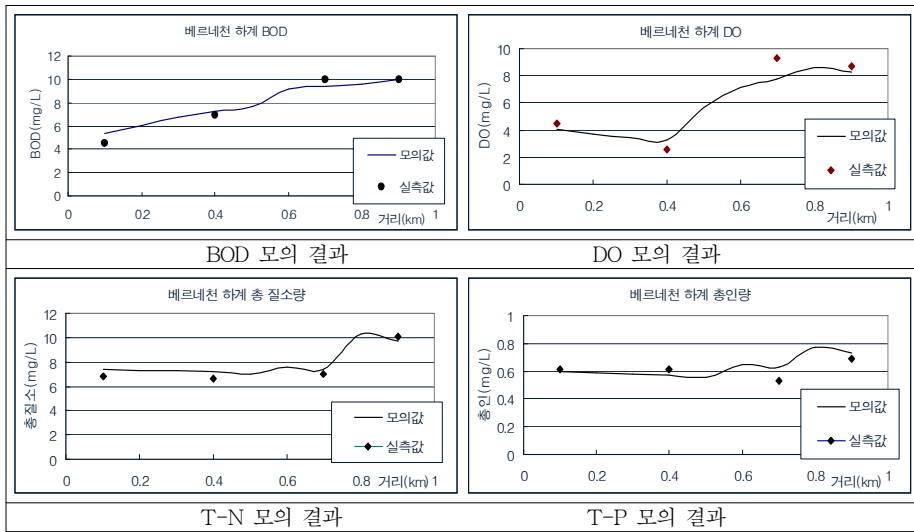


Fig. 8. 하천의 하계 수질항목

추정 오염원은 현장 조사원의 조사내용에 따라서 지하철 공사구간의 토사가 유입되면서 토사에 함유된 오염원이 유입된 것으로 생각되나 정확한 조사가 이루어지지 않아서 오염원을 특정 지을수는 없었다. 따라서, 수질 예측시에는 하계의 수질모의를 정상상태로 판단하고 이를 기준으로 수행하였다. 이상 오염원이 사라진 것으로 인하여 수질 지표는 추계와 동계보다 오히려 양호한 수질을 나타

내었으나 아직도 미흡한 수질을 나타내고 있다.

5. 수질 개선방안 및 향후 수질 예측

5.1 하천유지용수 공급

해당 하천의 경우 평시 유량이 매우 적기 때문에 하천의 흐름 등으로 인한 자정작용이나 오염물질의 희석작용 등은 기대하기 어렵다. 또한, 유입

되는 하천수도 오염농도가 높기 때문에 친수 공간으로서의 기능을 기대하기 어렵다. 따라서, 하천의 수질 개선과 친수공간 기능을 만족하기 위하여 하천 유지유량의 방류가 가장 합리적인 대안으로 판단되며 하천 형상과 특성을 고려하여 본 결과 15,000 ton/day 의 하천 유지유량이 적합한 것으로 산정하였다. 하천 주변지역에 가용한 유지용수를 조사한 결과, 까치울 정수장의 정수원수와 한강 원수, 하수처리장의 처리수를 하천 유지용수로 공급 가능한 것으로 나타났다.

5.2 오염원 삭감 부하량 산정

오염물질 삭감량이란 수질환경에 미치는 악영향을 감소시키기 위해서 오염원의 처리를 통하여 오염물질의 부하량을 제거 또는 감소시켜야 하는 양을 의미한다. 현재의 하천에 유하하는 유달 부하량이 목표수질 설정지점의 수질 달성에 미치는 영향을 분석하고 현재 발생하는 발생 부하량과 환경 기준을 달성하기 위한 유달 부하량 차이를 총 삭감 부하량으로 설정하였다. 또한, 삭감된 오염물질 및 삭감량에 대해서 강수기간에는 비점오염원으로 분류되는 토지이용에 대한 배출 부하량이 직접적으로 하천에 유입되므로 비점 오염원 또한

배출 부하량에 포함하여 산정하였다(Table 5).

5.3 모형을 이용한 수질 모의 예측

구축한 QUAL2E 모형을 이용하여 수질을 모의 예측 하여 보았다. 해당 하천에 충분한 유지용수가 공급된다고 가정한 상황에서 각종 유지용수와 오염원의 유입에 따른 미래 수질을 모의하였다.

5.3.1 Case 1 - 한전 방류수 유입 및 비점 오염원 비유입

현재 하천의 주변 오염원은 차집을 위한 하수 관거가 건설되어 있다. 따라서, W-5 와 W-7 지점을 제외한 오염원은 유입되지 않으며 여기에 추가적으로 한전 방류수만 유입된다고 가정하였다. 수질 측면에서 제시한 하천의 유지유량 기준이 약 15,000 ton/day 이므로 기존 하천 유입량을 제외한 14,000 ton/day 를 하천 유지유량으로 방류할 경우 유지용수 선택에 따른 예상 미래 수질은 그림 9와 같다.

유지 용수 방류에 따라서 수질은 유지용수 미 방류시 보다 좋아지는 결과를 나타내며, 방류되는 유지용수의 수질이 좋을수록 하천의 수질은 더 좋아지는 결과를 보였다. 그에 따라서 오염원 삭감

Table 5. 수질등급별 오염물질 총 삭감부하량 (단위: Kg/day)

CASE	유지용수	2등급 기준			3등급 기준		
		BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
I	까치울 정수장	-	-	-	-	-	-
	한강 원수	-	-	-	-	-	-
	하수처리수	102	214	26	56	137	21
II	까치울 정수장	-	-	-	-	-	-
	한강 원수	8.3	-	-	-	-	-
	하수처리수	17	218	27	78	141	22
III	까치울 정수장	-	-	0.15	-	-	-
	한강 원수	-	-	0.31	-	-	-
	하수처리수	-	-	6.2	-	-	1.5
IV	까치울 정수장	-	-	1.54	-	-	-
	한강 원수	-	-	1.70	-	-	-
	하수처리수	20.2	10.3	7.3	-	-	2.6

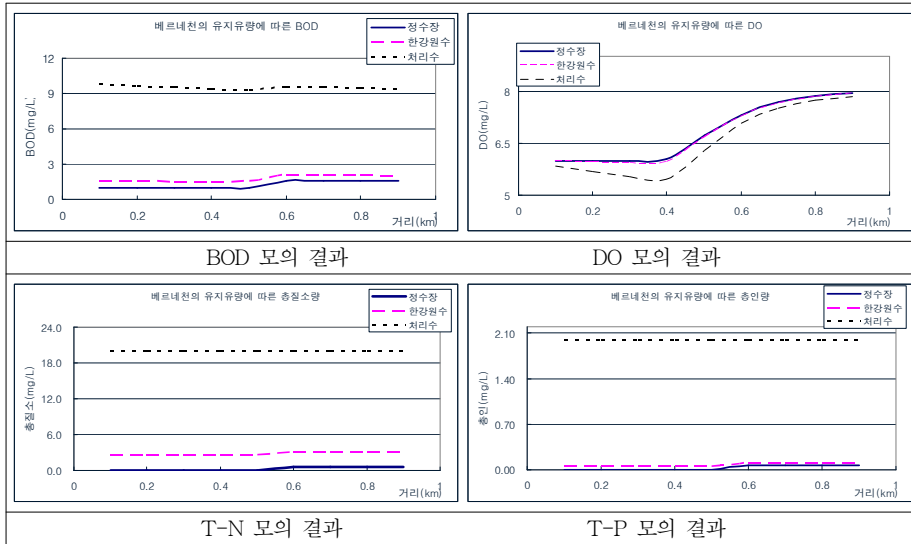


Fig. 9. Case 1 의 베르네천 예상 수질 모의

부하량과 삭감율도 감소함을 알 수 있다. 이는 일반적인 수질 안정을 위한 유지용수 방류에서 나타나는 현상이다.

그러나, 유지용수량이 늘어나도 기존에 합류하는 점오염원의 유입이 있으며 이로 인해서 하도 내에서 수질의 변동이 일어나는 것을 알 수 있다. 따라서, 유지용수의 방류와 더불어서 오염원 유입의 차단이 요구된다.

5.3.2 Case 2 - 한전 방류수 유입 및 비점 오염원 유입

해당 하천은 평상시에는 비점 오염원이 유입되지 않으나 강우 시에는 비점 오염원이 유입되게 된다. 현재 하천의 주변 오염원 차집을 위한 하수관거가 건설되어 있으나, 강우 시에는 차집관거를 월류하거나 하천 법사면을 따라서 비점오염원이 유입되게 되므로 W-5 와 W-7 지점의 오염원과 비점오염원이 동시에 유입된다고 가정하고 수질을 모의하였다. 비점오염원을 제외한 기타 조건은 위의 Case I 과 같으며 하천 유지유량도 동일하게 방류되는 것으로 가정하였다.

5.3.3 Case 3 - 지하철유입수 및 한전유입수 유입

하천 상류부에 위치한 지하철 공사가 완료되면 지하철 구간에서 지하수가 유출된다. 이러한 지하철 유출수는 양호한 수질을 나타내고 있기 때문에 하천의 유지용수로 사용할 수 있다. 따라서, 지하철 공사가 완료된 후에 유출수가 유입된다고 가정하고 미래 수질을 모의하였다. 지하철 유출수의 수질은 현재 유출되지 않아서 정확한 수질을 판단할 수 없다. 따라서, 청계천 지하철공사 발생 지하수 수질기준 [blog.naver.com/Seoulites/10752476]인 BOD 0.5 mg/L 과 T-N 농도가 가장 낮은 3호선 지하수 수질자료(1.1 mg/L), T-P 수질은 하천유지용수 재이용수 수질기준 중 A등급 수질기준인 0.2 mg/L로 설정하여 모의하였다.

5.3.4 Case 4 - 지하철유입수, 한전유입수 유입 과 비점오염원 유입

하천 상류부에 위치한 지하철 공사가 완료되면 지하철 구간에서 지하수가 유출된다. 이러한 지하철 유출수는 양호한 수질을 나타내고 있기 때문에 하천의 유지용수로 사용할 수 있으며 Case 3 에

서 이러한 지하철 유출수를 통하여 하천유지용수를 공급하는 경우에 대한 미래 유출 수질 모의를 수행하였다. Case 3 에서 추가적으로 비점 오염원이 유입될 경우 수질에 있어서 문제가 생길수 있으며 이를 확인하기 위하여 비점오염원 조건을 더하여 미래 유출수질을 모의하였다(Fig. 12).

5.3.5 결과 분석

해당 하천의 유지용수의 공급방안별 오염물질 농도 및 삭감부하량 예측 결과를 살펴보면, 한강 원수를 유지용수로 공급할 경우 목표수질을 유지할 수 있는 것으로 나타났으며, 현재 유입되는 관거 중 W-5 및 W-7 지점만 고려하고 한전과 지하철의 재이용수를 유입시키는 경우에도 하수처리수를 유입용수로 활용하는 방안 외에는 수질을 유지할 수 있는 것으로 판단된다(Table 6).

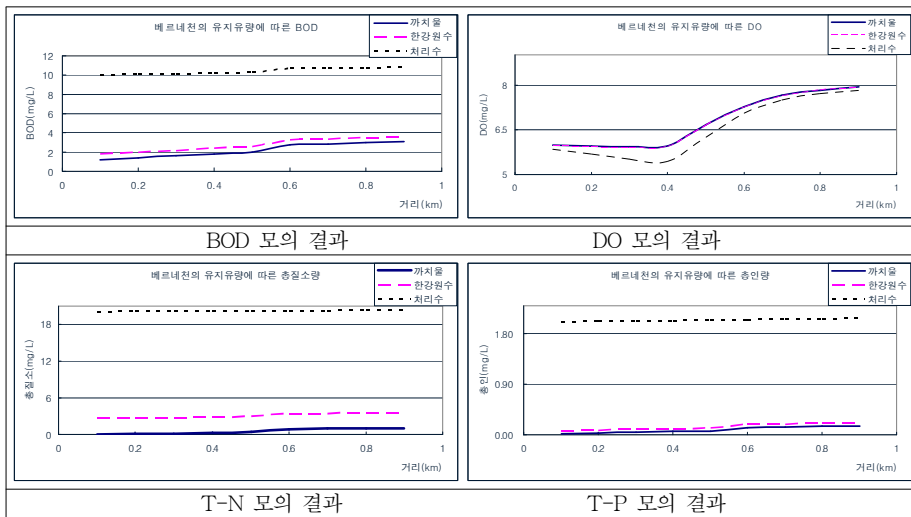


Fig. 10. Case 2 의 하천 예상 수질 모의

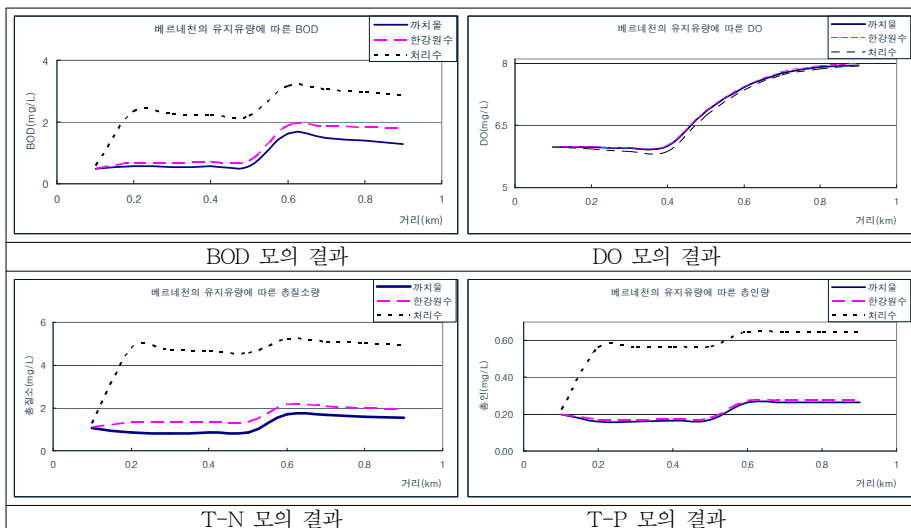


Fig. 11. Case 3 의 하천 예상 수질 모의

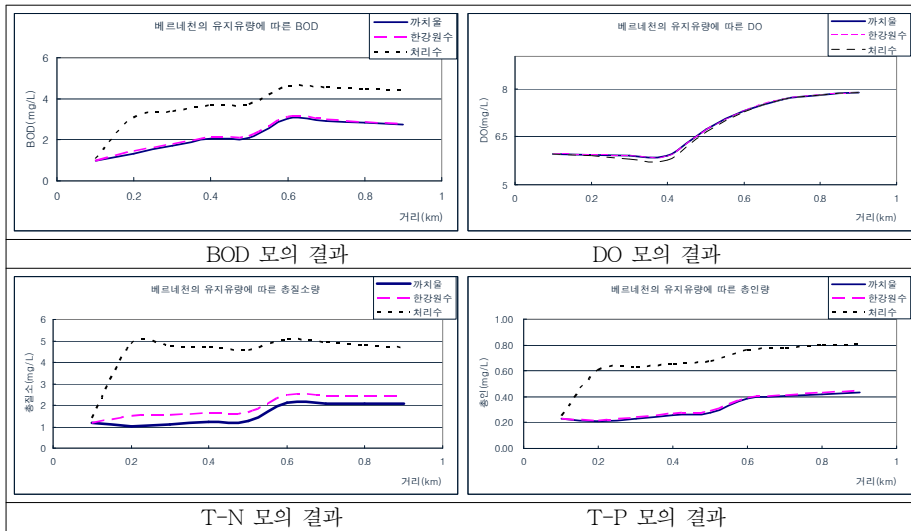


Fig. 12. Case 4 의 하천 예상 수질 모의

Table 6. Case 별 유출부의 미래수질 예측

(단위: ppm)

CASE	유입지류	수 질 농 도			CASE	유입지류	수 질 농 도		
		BOD	T-N	T-P			BOD	T-N	T-P
1	까치울 정수장	1.44	0.74	0.06	2	까치울 정수장	3.00	1.19	0.16
	한강 원수	1.98	3.10	0.11	한강 원수	3.54	3.53	0.20	
	하수처리수	9.61	18.89	1.88	하수처리수	11.08	19.15	1.95	
3	까치울 정수장	1.08	1.53	0.21	4	까치울 정수장	2.65	1.98	0.30
	한강 원수	1.20	2.03	0.22	한강 원수	2.76	2.46	0.31	
	하수처리수	2.83	4.10	0.60	하수처리수	4.31	5.37	0.72	

또한, 비점오염원에 의한 T-P 오염물질의 유입을 철저히 방지할 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 추후에 지하철 공사가 완료된 후 시점을 기준으로 Case 3, 4 의 결과를 분석하면, T-P에 대한 삭감부하량이 그리 높지 않으므로 각종 정화 기술을 응용하여 해당 하천의 수질을 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다(Table 6).

5. 결 론

근래에 들어서 도시 지역의 하천을 자연형 하천과 친수공간으로서 복원하는 사업이 활발히 이루어지고 있다. 그러나, 수질과 생태적인 측면보다는

주로 조경을 비롯한 외형적인 복원이 주로 이루어져서 자연형 하천으로의 복원이 이루어진 이후에도 여러 가지 문제를 내포하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 자연형 하천으로 복원된 도시 소하천에 대하여 수질 조사 및 해석을 실시하고 이를 통하여 수질 개선방안을 도출하여 보았다. 연구의 과정과 결과를 토대로 차후에 여러 도시 소하천에 대해서 적용하고 그 결과를 분석하여 그 적용성과 정확도를 개선하여 나갈 수 있을 것이다.

- 1) 해당 하천의 수질을 모의한 결과 하천 자체적인 수질 특성보다는 오염원의 유입에 따라서 수질이 좌우되는 경향이 크게 나타났다. 유지용수의 공급에 따라서 오염원이 희

석되고 수질이 개선되는 효과는 있었으나 오염원 유입영향이 더 크다. 따라서, 수질 문제를 해결하기 위하여 유지유량의 공급 외에도 근본적인 오염원 차단 대책이 요구된다.

- 2) 도시 소하천의 수질 문제는 낮은 평시유량과 각종 하수의 유입이 원인으로 판단된다. 따라서, 해당 소하천의 수질 정화를 위해서는 유지용수의 공급과 오염원 차단이 중요할 것으로 판단되며 추가적으로 하천 내에 추가적인 정화기술을 도입하여 수질 개선 효과를 재고할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

부천시, 통계연보, 2004-2006
 부천시, 소하천정비 종합 기본계획, pp.59-91, 1997
 김기형, 함창학, “승기천과 연계한 남동유수지의 환경개선방안”, 한국수자원학회 2007 학술발표회 논문집, pp.981-986, 2007
 김종상, “서울시 지하철 역사내 지하수 활용방안에

관한 연구”, 서울시립대 산업대학원 석사학위논문, pp.54-72, 2006

박의정, 김윤환, 이정필, 김철, “봉황천의 자연형 하천공법 시공전후 모니터링”, 한국수자원학회 2007 학술발표회 논문집, pp. 1070-1075, 2007

장주형, 김상단, 성기준, 신현석, “온천천 유지용수 공급에 따른 생태수문환경 변화분석”, 한국환경과학회지 제16권 제8호, pp 973-983, 2007

장철희, 김현준, 김철겸, 노성진, “도시화에 따른 하천 수문,수질 변동 영향 평가를 위한 판교 시험유역의 운영” 한국수자원학회 2006 학술발표회 논문집, pp.1865-1869, 2006

Brown, L. C., and T. O. Barnwell, Jr., The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual. EPA-600/3-87/007. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA. May. 1987.

인터넷 사이트

1. blog.naver.com/Seoulites/10752476