

Research Paper

부하지속곡선을 이용한 삼교천 유역의 오염총량관리제도 시행효과 분석

이은정 · 김태근
청주대학교 환경공학과

Analysis of the Implementation Effect of Total Water Load Management System Using Load Duration Curves in Sapgyo Watershed

Eunjeong Lee · Taegeun Kim

Department of Environment Engineering, Cheong-Ju University

요약: 기타 수계 중 삼교천 유역에 새롭게 수립된 오염총량관리제도의 시행에 따른 효과를 정량화하기 위해 2015년을 기준으로 유역유출모형인 HSPF 모형을 구축한 후, 최종 목표연도인 2030년의 부하량을 입력하여 각 단위유역 말단에 설정된 목표수질 달성여부를 평가하였으며, 미시행지역인 무한천과 삼교천 유역을 포함하여 유량구간별 수질(BOD, T-P)을 예측하였다. 보정 및 검증이 완료된 모형에 2030년의 부하량을 입력하여 재구동한 후, 모의결과로부터 부하지속곡선을 작성함으로써 기준년도 부하량을 입력하여 구동한 모의 수질과 목표연도 부하량을 입력하여 모의한 예측 수질을 유량구간별로 도식화한 결과, 평수량 구간(40~60%)에서 3개의 단위유역 모두 BOD 목표수질에 근접하게 모의되었으며, 목표수질 달성율도 높게 산정되었다. T-P의 경우, 천안A 46%, 곡교A 29%, 남원A 25% 정도의 수질이 개선되는 것으로 예측되었으며, 무한천과 삼교천유역은 중권역 목표기준인 III등급 이내의 수질로 모의되었다. 총량관리 대상 단위유역은 목표수질을 달성하고, 미시행지역은 목표등급을 달성하는 수준의 수질이 삼교호 내로 유입될 것으로 예측됨으로써 총량제 시행에 따른 삼교천 유역의 수질개선효과가 긍정적인 것으로 판단된다.

주요어: 오염총량관리제, 유역모형, 부하지속곡선

Abstract: In order to quantify the effect of the newly established the Total Water Load Management System in Sapgyo watershed, this study predicted the achievement of the target water quality at each unit watershed and the water quality according to the flow section. The HSPF model, which is the watershed runoff model, was constructed and operated based on 2015, and the water quality was predicted by inputting the loads in final target year (2030). The Load Duration Curve (LDC) was created using the simulated results of base year and target year. As a result of plotting water quality by flow conditions, it was simulated to be close to the BOD target with a difference of 0.1 ~ 0.2 mg/L in all three watersheds during the mid-range flow interval (40 ~ 60%). In case of T-P, although the target water

quality was not set, the water quality was improved by Cheonan A 46%, Kokgyo A 29% and Namwon A 25%. The Muhan and Sapgyo river basins meet the target grade of middle-watershed standards. The improvement effect will be positive, as water quality, which achieves the target of Total Load Management System and the target grade of the middle-watershed standards will be expected to flow into the Sapgyo lake.

Keywords : Total Load Management System, Watershed model, Load Duration Curves

I. 서론

충청남도와 환경부는 삽교호 수질 IV등급 달성을 목표로 환경기초시설 확충, 하수관거 정비, 생태하천 복원 등 통합 집중형 수질개선 사업(2012~2019)에 매년 막대한 예산을 투입하여 관리하였으나, 삽교호로 유입되는 주요하천의 BOD와 T-P는 하천생활환경기준의 III등급~V등급수준이며, 삽교호 내의 TOC와 T-P의 경우, IV~V등급으로 삽교천 중권역의 목표등급인 III등급을 초과하고 있다. 이에 따라 삽교호의 수질개선을 도모하면서, 지속적인 지역개발이 가능하도록 하기 위하여 천안천, 곡교천, 남원천 유역을 포함하고 있는 천안시, 아산시, 당진시 등 3개의 지역에 대하여 수질오염물질 총량관리지역을 지정(환경부고시 제2016-242호)하였으며, 2019년 1월 1일부터 시행중이다(Chungcheongnam-do 2018).

오염총량관리제도란 단위유역에 설정된 목표수질을 만족하기 위한 배출부하량을 산정하여 오염원 그룹별, 오염물질의 배출총량을 할당하고, 이를 준수하도록 하는 제도이다(환경부, 2011). 2019년 기준, 전국 134개 지자체에서 시행되고 있으며, 낙동강, 금강, 영산강-섬진강 수계는 3단계(2016~2020) 계획이 시행중에 있고, 한강유역의 경우, 경기도, 서울특별시, 인천광역시의 27개 시군에 대하여 1단계(2013~2020) 계획이 시행중이고, 강원도와 충청북도는 2021년부터 시행하고자 준비 중에 있다. 기타수계로는 진위천유역의 8개 지자체(2012~2020)와 삽교천 유역의 3개 시군(2019~2030)에서 시행 중이다(<http://tmdlms.nier.go.kr/>).

삽교천 유역의 수질관리방안에 대한 선행연구를 보면, 박상현 등은 삽교천 유역에 오염총량관리제의 시행에 대비하고 유역현황자료를 구축하기 위하여 주

요 하천을 대상으로 유량 및 수질의 시·공간적 특성을 분석하였으며(Park et al. 2013), 김영일 등은 삽교호 수계는 하천유량이 적은 반면, 인구, 축산 및 산업시설 등이 많아 삽교천 및 곡교천 등에 수질오염이 가중되기 때문에 기존의 수질정책과 차별화 된 “충남형 유역관리방안”의 추진을 도모하였다(Kim et al. 2015). 박재영 등은 삽교호로 유입되는 하천에서 강우 시 유량과 수질 모니터링 결과를 이용하여 비점오염부하량의 기여율을 정량화하여 비점저감대책 수립의 중요성을 제기하였으며(Park et al. 2001), 이영신 등은 삽교천 유역 내 주요 하천의 강우 시 BOD, T-N, T-P에 대한 유달율과 배출특성을 조사한 바 있다(Lee et al. 2014).

본 연구에서는 기타 수계 중 삽교천유역에 새롭게 수립된 오염총량관리제 시행에 따른 효과를 정량화하기 위하여 총량관리 기본계획의 기준년도인 2015년을 기준으로 유역유출모형인 HSPF 모형을 구축한 후, 최종 목표년도인 2030년의 부하량을 재입력하여 구동한 결과를 부하지속곡선으로 유도함으로써 각 단위유역의 말단지점에서 BOD 목표수질 달성여부를 평가하였으며, 미시행지역인 무한천과 삽교천 유역을 포함하여 유량구간별 BOD와 T-P의 수질변화를 예측하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상유역 및 범위

삽교천 중권역은 충청남도의 중북부지역에 위치하고 있으며, 충청남도 6개의 시·군 및 세종특별자치시에 걸쳐 유역을 형성하고 있다. 세종시, 천안시, 아산시에 위치한 곡교천유역, 홍성군, 청양군, 예산군을 포

Table 1. Brief overview of TMDLs in study area

Watershed	Area (km ²)	Target BOD (mg/L)	Allocation Loads (kg/day)	
			Point	Non-point
Cheonan-A	78.8	5.5	3,884.0	1,332.4
Gokgyo-A	307.8	7.4	3,730.9	4,599.6
Namwon-A	105.8	3.4	382.8	2,507.2

함한 무한천 유역, 예산군을 포함하는 삽교천유역, 삽교호로 직접 유입되는 남원천 등 크게 4개로 구분할 수 있다. 총 유역면적은 1,668 km²이며, 2014년 기준 인구는 959,701명으로 금강대권역 내 21개 중권역 중 4번째로 인구가 많은 것으로 조사되었고, 소와 돼지는 각각 114,923 마리와 596,300 마리가 사육되고 있으며, 1일 산업폐수발생량은 약 533,582 m³이다. 또한 유역의 토지이용 현황은 산지와 농경지가 약 79%, 대지가 11%를 차지하고 있으며, 처리용량이 큰 하수처리장으로는 합덕(3,500 m³/day), 도고(5,200 m³/day),

아산(63,000 m³/day), 천안(180,000 m³/day), 송악(1,500 m³/day), 예산(22,000 m³/day) 등이 있다 (Geum river management committee 2016).

금강 대권역 물환경관리계획에서 계획된 삽교천중권역의 대표지점은 삽교호1지점이고, 하천의 주요 지점은 곡교천2지점이며, 중권역 목표기준은 III등급으로 보통수준으로 설정되어 있다.

또한 오염총량관리제도가 삽교천 유역에 수립되면서 총량관리 대상지역으로 설정된 유역은 천안천, 곡교천, 남원천 유역으로 총량관리단위유역 천안A, 곡

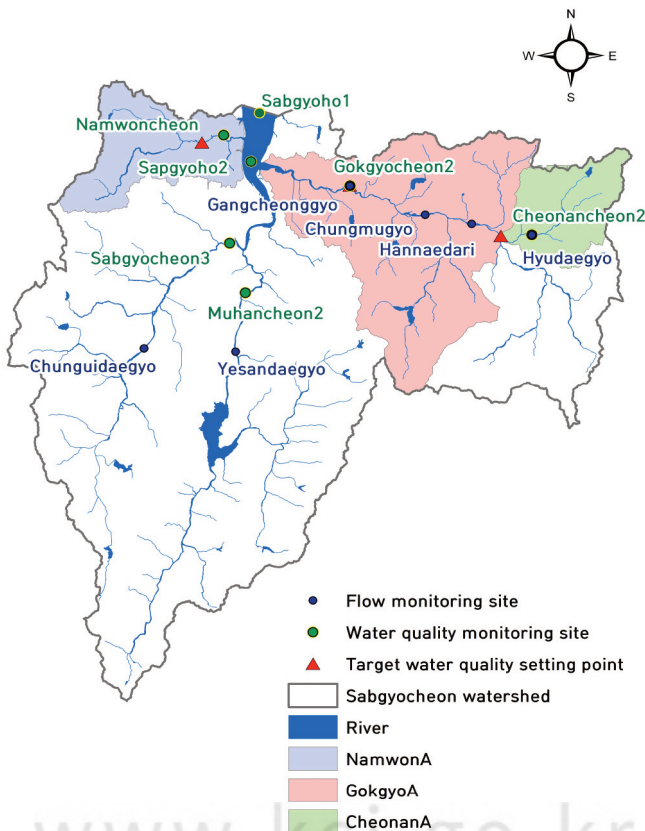


Figure 1. Study area.

교A, 남원A 등 3개이며, 충청남도 천안시, 아산시, 당진시가 포함된다. 관리대상물질은 생물화학적산소요구량인 BOD5이며, 총량계획기간은 2019년 1월 1일부터 2030년 12월 31일까지이다.

2. 하천 수질 현황

삽교호로 유입되는 주요 하천의 수질 현황을 분석하기 위하여 2014년부터 2018년까지 총 5개년간의 BOD와 T-P의 평균수질을 조사하였다. 최근 5개년 동안의 BOD 평균수질은 천안천 8.4 mg/L, 곡교천 8.0 mg/L, 남원천 3.8 mg/L, 무한천 3.4 mg/L, 삽교천 3.6 mg/L로 조사되었고, T-P의 경우, 천안천 0.476 mg/L, 곡교천 0.353 mg/L, 남원천 0.160 mg/L, 무한천 0.071mg/L, 삽교천 0.201mg/L로 나타났다. 남원천, 무한천, 삽교천은 하천생활환경기준 III등급(BOD 5.0 mg/L이하, T-P 0.2mg/L이하)을 만족하는 것으로 관측되었으며, 천안시와 아산시 등 도심의 생활하수가 많이 발생하는 지역을 통과하는 천안천과 곡교천은 IV등급(BOD 8mg/L이하, T-P 0.3mg/L이하) 이상의 수질로 관측되어 하천 생활환경기준 III등급~V등급 수준의 수질이 삽교호로 유입되고 있는 것으로 조사되었다.

3. HSPF 모형의 구축

HSPF (Hydrological Simulation Program - Fortran) 모형은 강우로 인한 비점오염물질의 유출과정을 하천 내에서의 수리학적 현상, 퇴적물, 화학물질의 상호작용과 결합시켜 모의할 수 있는 유역유출모형이다(U.S.EPA 2001)

HSPF 모형은 GIS 기반으로 방대한 자료를 관리하고 다양한 모형들을 지원해주는 통합관리시스템인 BASINS를 이용하여 구축하였다. 먼저 DEM으로부터 Flow Direction과 Flow Accumulation을 계산하여 하천망을 생성시킨 후 유역의 출구지점을 outlet으로 지정하여 분할하였으며, 토지피복도는 Urban or Built-up land, Wetland, Agricultural land, Forest Land, Pasture Land, Barren Land, Water 등 7개 항목으로 분류한 후 모형 내 Landuse and

Soil Definition Utility를 이용하여 분할된 소유역에 대한 각각의 토지이용 정보를 추출하였다.

또한 기상자료는 강수량, 기온, 이슬점온도, 운량, 일사량, 풍속 등 6개 항목의 시간단위 관측값을 입력한 후 WDM utility 내의 Disaggregate Functions 중 Evapotranspiration을 활용하여 증발산량을 생성하였다.

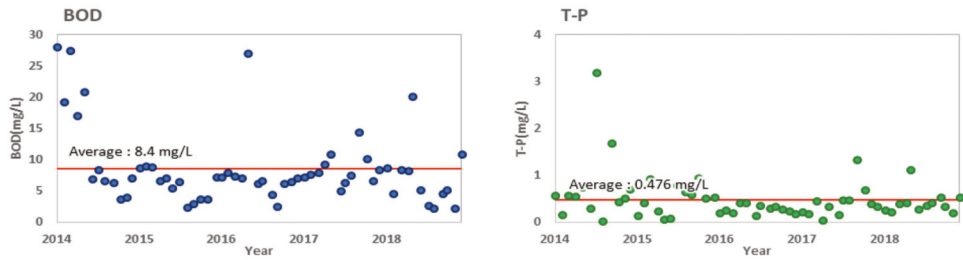
점오염부하량 자료는 2015년을 기준으로 부하량을 산정하여 입력하였으며, 일평균 방류량이 500 m³이 상인 하·폐수처리시설은 일별 방류량과 방류수질(BOD, SS, T-N, T-P) 자료를 수집하여 입력하였다(Ministry of Environment 2017).

4. HSPF 모형의 보정 및 검증

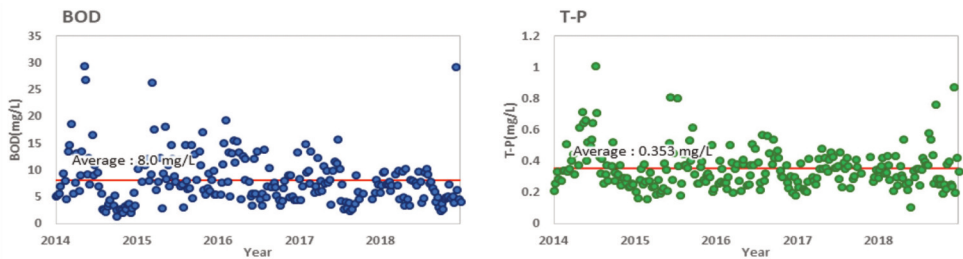
본 연구 대상유역에서 유량을 보정 및 검증하기 위하여 천안천에 위치한 휴대교수위관측소, 천안천 유입 후 곡교천 중상류 지점에 위치한 한내다리수위관측소, 삽교천 중류에 위치한 충의대교수위관측소 등 총 3개의 수위관측소의 관측자료와 비교하였다.

수질의 경우, 환경부 수질측정망 자료와 충청남도 수질측정망 자료로부터 수온, DO, BOD, TOC, T-N, T-P, Chl-a 등 7개 항목을 대상으로 보정 및 검증을 수행하였으며, 본 연구의 결과는 오염총량관리 대상물질로 지정된 BOD와 추가로 T-P를 함께 제시하였다. 삽교호유역의 총량제 시행에 따라 천안천3 지점과 남원천1지점이 국가측정망으로 생성되어 2018년 7월부터 관측을 시작하였으나 모형 구축 시 부하량 입력 등 기준년도가 2015년이기 때문에 보정년도 2015년, 검증년도 2014년으로 지정하였으며, 보정지점은 국가측정망의 경우 천안천2, 곡교천2, 삽교천3, 무한천2 등 4개 지점과 충청남도 측정지점인 남원천지점을 포함하여 총 5개 지점에 대하여 보정 및 검증을 수행하였다.

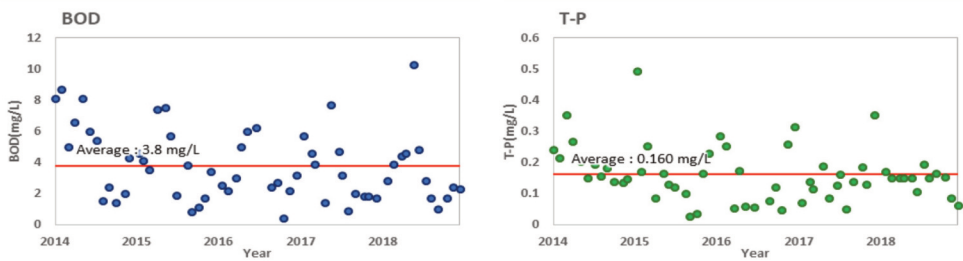
유량의 보정과 검증 결과에 대한 적정성을 평가하기 위하여 결정계수(R²)를 산정한 후 Donigan(2000)이 제안한 Table 1의 기준을 근거로 판단하였다. 수질의 경우 실측값에 대한 모의 결과의 적정성을 평가하기 위해서 BASINS/HSPF Training Lecture에 수록되어 있는 수질항목별 % difference 신뢰구간과 수질항목별 실측값과 모의값 농도 비율의 평균과 범위,



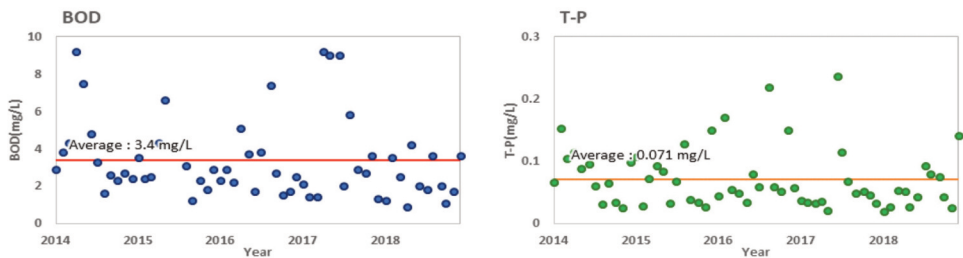
(a) Cheonancheon-2



(b) Gokgyocheon-2



(c) Namwoncheon



(d) Muhancheon-2



(e) Sapgyocheon-3

Figure 2. Current status of water quality (2014~2018).

Table 2. General calibration/validation target or tolerance for HSPF application

Criteria	Verygood	Good	Fair	Poor
R ²	> 0.8	0.8~0.7	0.7~0.6	< 0.6

Table 3. % difference value range for Model performance

Constituent	VeryGood	Good	Fair
Water Quality	< 15	15~25	25~35

RMSE (Root Mean Square Error)를 산정하여 실측 값에 대한 수질 보정 및 검증 결과의 적정성을 평가하였다.

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right)^{1/2} \times 100 \quad (1)$$

P_i: predicted values, *O_i*: observed values

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 보정 및 검증 결과

유량의 보정 및 검증 결과, 먼저 천안천의 휴대교 수위관측소의 경우, 보정 및 검증년도의 R²값이 각각 0.87, 0.86으로 모의치가 관측치를 비교적 잘 반영하는 것으로 평가되었으며, 곡교천에 위치한 한내다리 수위관측소를 보면, 2014년 12월 8일부터 2015년 1월 12일까지 약 1개월 이상의 결측치가 있었지만, R² 값은 보정 0.80, 검증 0.82로 양호하게 모의된 것으로 판단된다. 삼교천에 위치한 충의대교수위관측소는 R²값이 보정 0.78, 검증 0.95로 산정되었는데 보정년도보다 검증년도인 2014년의 여름철 많은 강수로 인해 침투유량을 반영하는데 있어 R²값이 더 높게

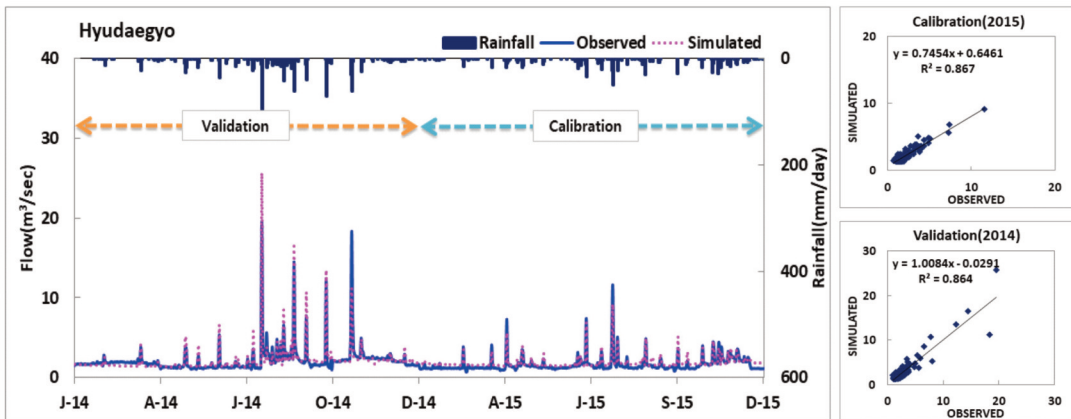


Figure 3. Calibration and Validation results of Flow in Hyudaegyo.

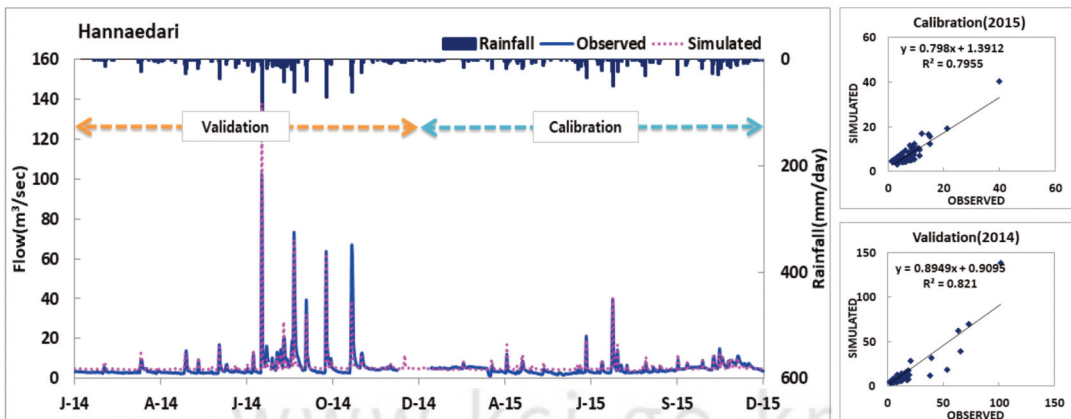


Figure 4. Calibration and Validation results of Flow in Hannaedari.

산정된 것으로 판단된다.

무한천에 위치한 예산대교 수위관측소는 결측치가 많아 생략하였고, 곡교천 중하류에 위치한 충무교,

강청대교수위관측소는 배수위(backwater)의 영향으로 유량이 너무 크게 관측되어 제외하였다.

수질의 보정 및 검증결과는 BOD와 T-P의 두 항

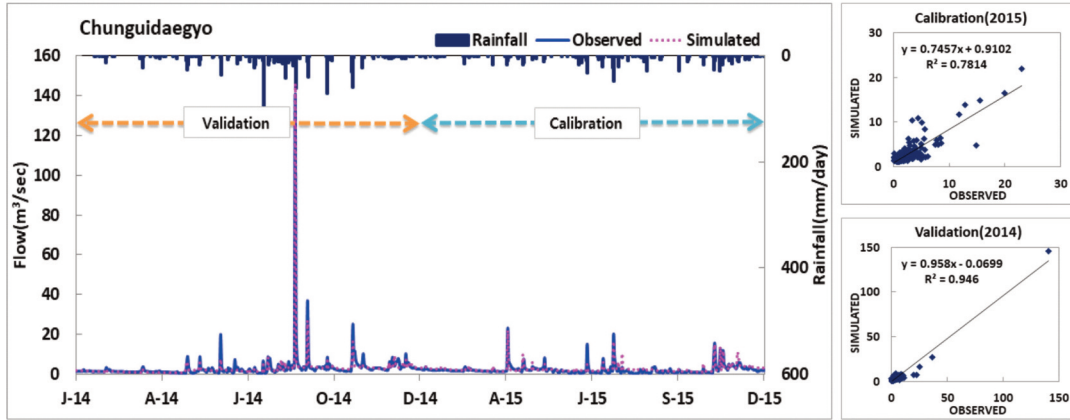
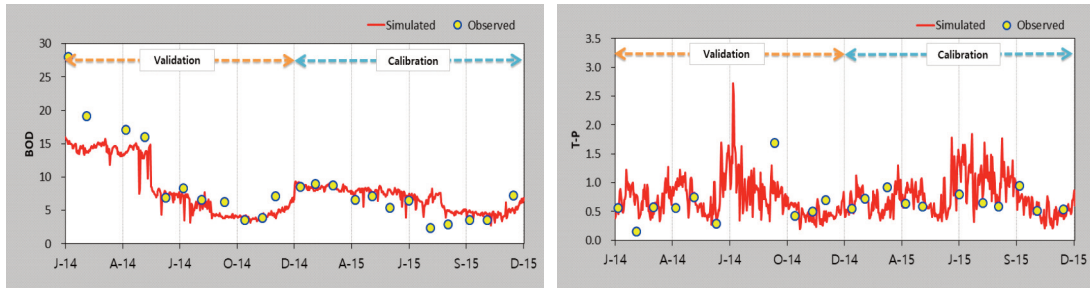


Figure 5. Calibration and Validation results of Flow in Chunguidaeyo.

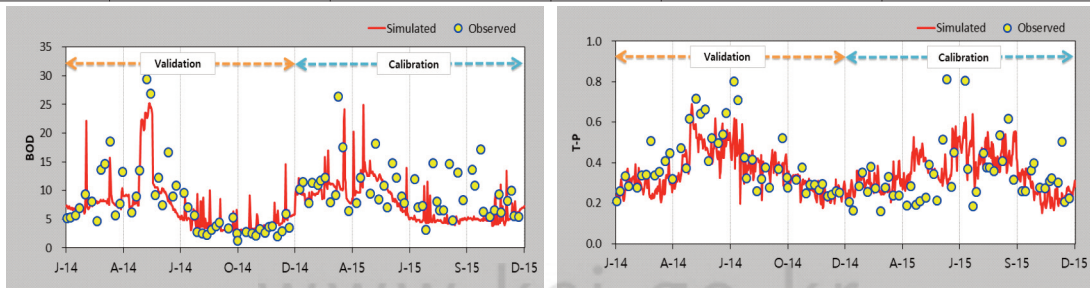
Table 4. Calibration and Validation results of BOD and T-P(2014~2015)

BOD	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE	T-P	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE
Value	9.4	9.2	9.56	1.13	Value	0.636	0.674	1.98	0.12
criteria	0.98 (0.71~1.06)		very good		criteria	1.06 (0.71~1.06)		very good	



(a) Cheonancheon-2

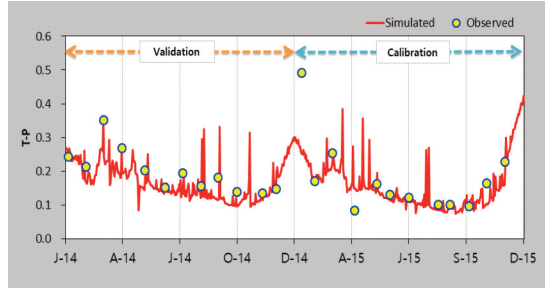
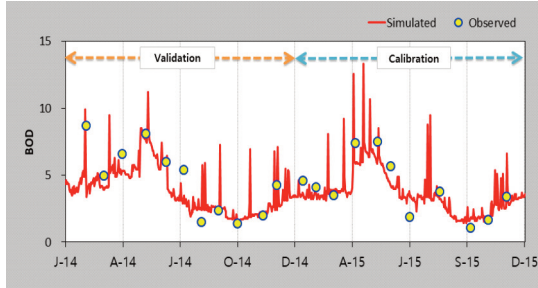
BOD	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE	T-P	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE
Value	8.7	8.3	10.27	1.59	Value	0.367	0.350	3.90	0.06
criteria	0.95 (0.71~1.06)		very good		criteria	0.96 (0.71~1.06)		very good	



(b) Gokgyocheon-2

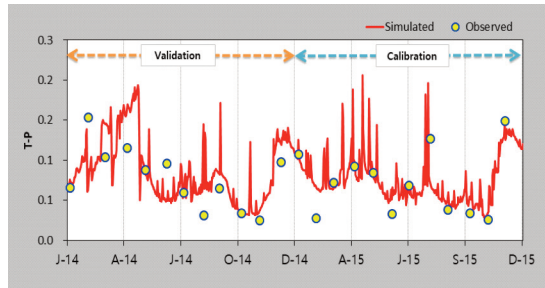
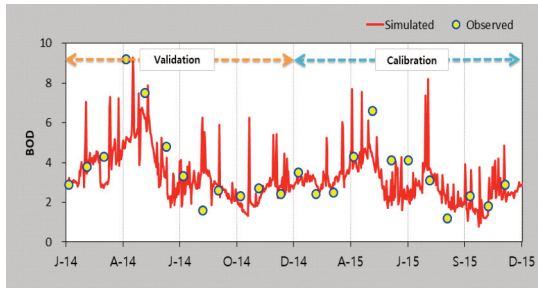
Table 4. Continued

BOD	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE	T-P	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE
Value	4.4	4.3	13.03	0.44	Value	0.181	0.174	5.66	0.01
criteria	0.98 (0.71~1.06)		very good		criteria	0.96 (0.71~1.06)		-	



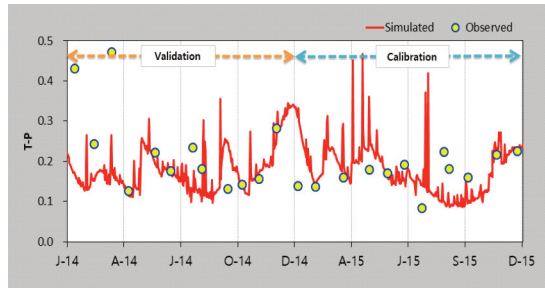
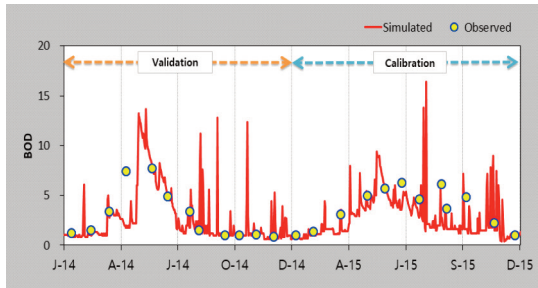
(c) Namwoncheon

BOD	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE	T-P	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE
Value	3.6	3.1	12.70	0.37	Value	0.075	0.077	3.47	0.01
criteria	0.86 (0.71~1.06)		very good		criteria	1.03 (0.71~1.06)		very good	



(d) Muhancheon-2

BOD	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE	T-P	meanOBS	meanSIM	%diff	RMSE
Value	3.3	2.8	18.66	0.41	Value	0.203	0.189	11.87	0.03
criteria	0.84 (0.71~1.06)		very good		criteria	0.93 (0.71~1.06)		very good	



(e) Sapgyocheon-3

목만을 제시하였는데, 5개의 수질측정지점에서 모두 %difference값이 15% 이하로 “Very good”으로 판정되었으며, RMSE는 0.06~1.59의 범위로 산정되었다. 또한 실측값과 모의값의 평균값에 대한 농도 비율을 보면, BOD와 T-P 모두 신뢰범위 내의 값으로

산정되었다. 높은 값으로 관측된 수질을 재현하기에 한계가 있었지만 복잡한 수질 메커니즘과 다양한 유역의 공간적인 특성을 고려할 때 전반적으로 적절히 모의된 것으로 판단된다.

2. 총량제 시행에 따른 수질 변화

삼교호수계에 오염총량관리제 시행에 따른 수질 변화를 알아보려고 2015년을 기준으로 보정 및 검증이 완료된 모형에 2030년의 목표연도 부하량을 입력하고 다른 조건들은 동일하게 하여 재구동하였다.

2030년 부하량은 “기타수계(삼교천중권역) 수질오염총량제 목표수질 설정 연구(Ministry of Environment 2017)”에서 조사된 삭감 및 개발계획이 포함된 부하량을 입력하였으며, 환경기초시설의 경우, 삼교호 유역은 방류수수질기준 적용 기준 II지역과 III지역이 혼재되어 있어 II지역에 해당하는 BOD 5.0 mg/L, T-P 0.3 mg/L 방류수 수질기준을 적용하였다. 천안하수종말처리장의 경우, 삭감계획으로 조사된 BOD 4.0 mg/L, T-P 0.3 mg/L의 방류수 수질강화 계획을 적용하였다.

Table 5는 2015년 부하량과 2030년 부하량을 정리한 것으로 모형입력 시에는 점오염원으로 분류된 부하량만을 입력하였다.

본 연구대상 지역인 천안A, 곡교A, 남원A, 무한천, 삼교천 등 5개의 각 말단지점에서 보정 및 검증이 완료된 2014~2015년, 2개년의 모의결과와 2030년 부하량을 입력하여 재구동하여 얻은 예측결과를 부하지속곡선으로 도식화하여 유량구간별 수질 분포를 제시하였다. 부하지속곡선 작성 시, 목표수질과 유량을 이용한 허용부하곡선을 먼저 도식화하는데, 천안A, 곡교A, 남원A는 총량계획에서 설정한 BOD 목표수

질을 적용하였고, 무한천과 삼교천은 삼교천 중권역 목표등급인 III등급의 기준수질 5.0 mg/L를 활용하였다. T-P의 경우 5개 지점 모두 삼교천 중권역의 목표등급인 0.2 mg/L를 적용하였다.

총량제에서 목표수질을 설정하기 위한 보정 수질은 75% 확률수질로서 저수기 기준이지만 목표수질 달성여부를 판별할 때는 산술평균 수질로 평가하고 있기 때문에 본 연구에서는 유량이 고려된 부하지속곡선의 평수량구간(중양값 50%확률) 평균수질이 목표수질을 달성하는지 평가하였으며, 총 730개(2개년)의 예측수질 중 허용부하곡선보다 아래쪽에 위치하고 있는 목표수질을 달성하고 있는 수질의 개수를 산정하여 달성율을 함께 제시하였다.

먼저 천안A 단위유역의 그림을 보면, BOD와 T-P 모두 타 유역보다 수질이 많이 개선되는 것으로 나타났다. 이는 모형 구축 시 일단위로 입력한 천안하수종말처리장의 평균 방류수질(2014~2015년)은 BOD 5.3 mg/L, T-P 0.634 mg/L이고, 2030년 예측부하량을 입력할 때는 삭감계획에서 제시된 BOD 4.0 mg/L, T-P 0.300 mg/L의 방류수 수질강화 계획을 적용하여 그 결과로 인한 영향으로 판단된다. 평수기 구간의 BOD 수질을 보면, 9.2 mg/L에서 5.7 mg/L로 감소하는 것으로 예측되어 목표수질인 5.5 mg/L를 약 0.2 mg/L 정도 상회하는 것으로 나타났지만, 모든 유량구간에 대한 목표수질 달성율은 약 66.3%로 산정되었다. T-P의 경우, 평수기 구간에서

Table 5. Discharge loads of BOD and T-P

Unit-watershed		2015 (kg/day)			2030 (kg/day)		
		PS	NPS	Total	PS	NPS	Total
Cheonan-A	BOD	3,936.6	1,284.7	5,221.4	3,438.7	1,332.5	4,771.2
	T-P	192.9	51.0	243.9	156.8	52.0	208.8
Gokgyo-A	BOD	4,802.2	3,561.3	8,363.5	3,623.8	3,681.2	7,304.9
	T-P	293.0	258.7	551.7	234.2	262.3	496.5
Namwon-A	BOD	438.2	2,109.4	2,547.6	431.9	2,137.2	2,569.1
	T-P	19.6	164.0	183.6	18.2	164.9	183.1
Muhancheon	BOD	1,365.5	5,274.0	6,639.5	1,290.4	5,276.3	6,566.8
	T-P	81.0	327.6	408.7	78.1	327.7	405.8
Sapgyocheon	BOD	2,249.5	8,817.7	11,067.2	2,197.4	8,845.3	11,042.6
	T-P	102.2	563.0	665.2	100.5	563.5	664.1

0.710 mg/L에서 0.384 mg/L로 예측되어 약 46% 정도 수질이 개선되는 것으로 모의되었으며, 타 유량 구간에서도 46% 이상의 수질이 개선되는 것으로 나타났는데, 이는 천안하수종말처리장의 실제 평균수질보다 약 50% 이상 감소한 계획 수질이 입력되어 이에 따른 영향이 큰 것으로 판단된다.

곡교A 단위유역의 경우, BOD 목표수질 달성여부를 판별하고자 평수기 구간의 수질을 보면, 8.6 mg/L에서 7.5 mg/L로 개선되어 목표수질인 7.4 mg/L와 약 0.1 mg/L의 근소한 차이를 보였으며, 목표수질 달성율은 77.3%(564/730)로 높게 예측되었다. BOD의 유량구간별 수질개선효과는 5~13% 정도로 나타났으며, T-P를 보면 각각 홍수기 18%, 풍수기 22%, 평수기 27%, 저수기 28%, 갈수기 33%로 BOD보다 더 많은 양이 개선되는 것으로 나타났다.

이는 곡교A 단위유역 내 위치한 3개의 산업단지폐수 처리시설 방류수질을 보면, BOD 수질은 평균 0.5~1.6 mg/L, T-P는 0.058~0.928 mg/L이고, 아산하수종말처리장의 평균 방류수질은 BOD 3.0 mg/L, T-P 0.148 mg/L로 BOD의 경우, 현재 방류수질이 2030년의 방류 계획 수질 5.0 mg/L 보다 낮은 수준으로 방류되고 있어 이에 대한 영향으로 판단된다. 또한 금강 대권역 물환경관리계획에서 계획된 삼교천중권역의 하천 주요 지점은 곡교천2지점으로 곡교A와 동일지점이기 때문에 III등급의 기준수질로 T-P 목표수질 달성율을 평가한 결과, 11.2%(82/730)로 낮게 산정되었으며, 0.221~0.277 mg/L의 분포로 IV 등급 수준의 수질로 예측되었다.

남원A 단위유역의 그림을 보면, BOD와 T-P 모두 홍수기 구간에서 갈수기 구간으로 갈수록 수질 개선

Table 6. Water quality by flow conditions in Cheonan-A

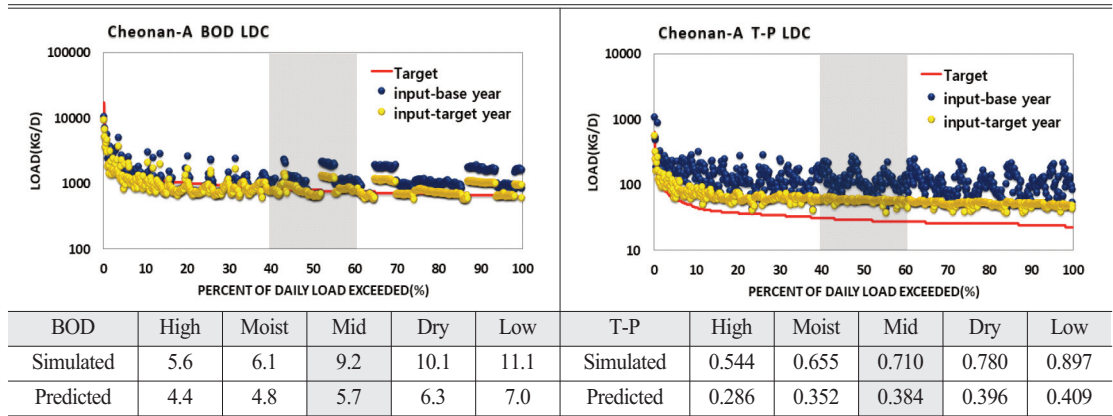
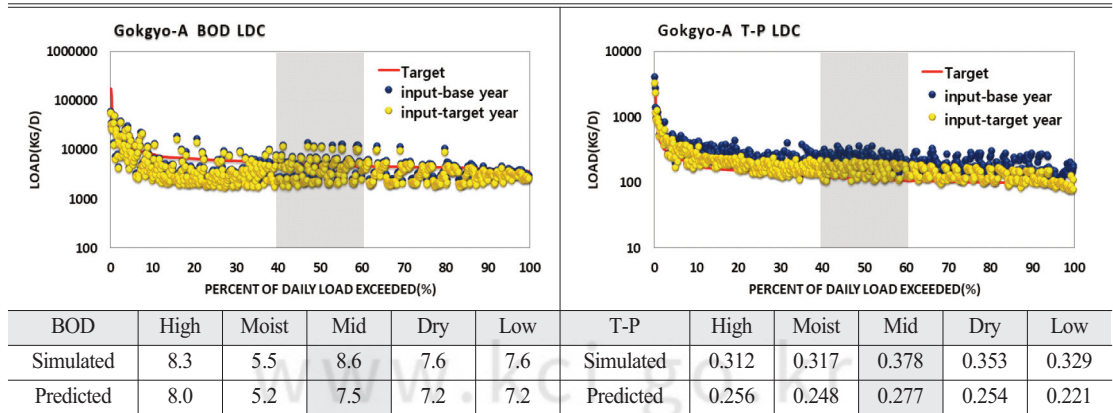


Table 7. Water quality by flow conditions in Gokgyo-A



효과가 크게 나타났으며, 평수기 구간의 BOD 수질을 보면 4.3 mg/L에서 3.3 mg/L로 감소하여 목표수질 3.4 mg/L를 달성하는 것으로 모의되었으며, 목표수

질 달성을 또한 78.9%로 높게 산정되었다. T-P의 경우 평수기 수질이 0.173 mg/L에서 0.129 mg/L로 약 25% 정도 개선되는 것으로 나타났으며, 저수기 구간

Table 8. Water quality by flow conditions in Namwon-A

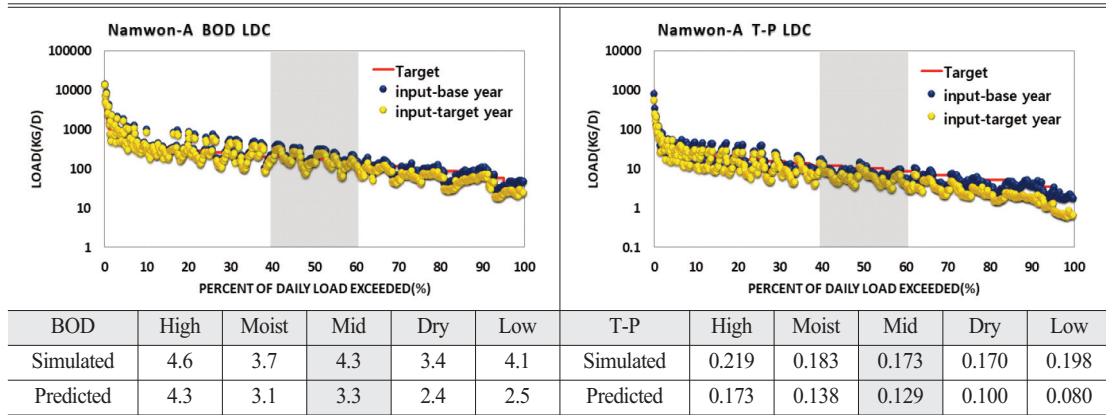


Table 9. Water quality by flow conditions in Muhancheon-2

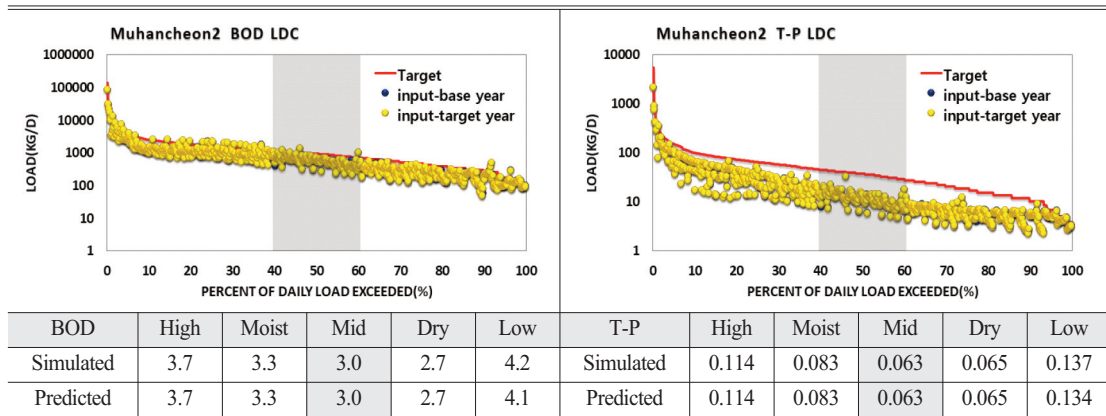
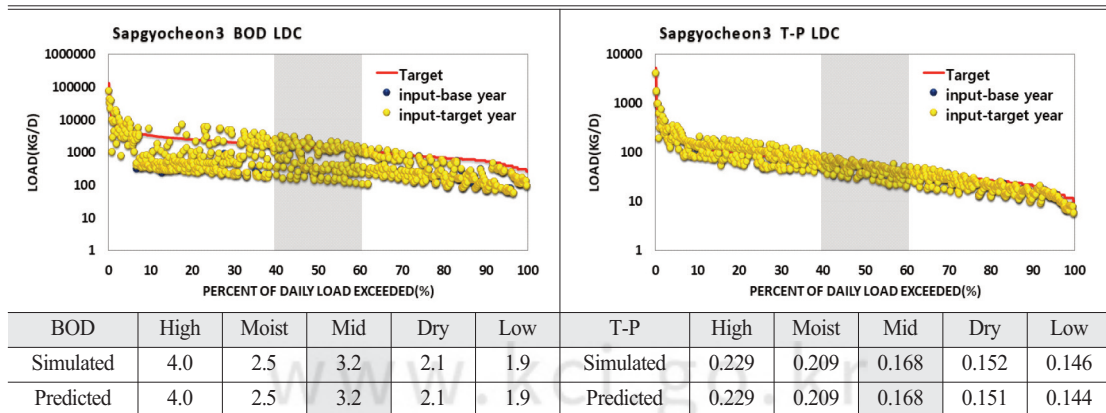


Table 10. Water quality by flow conditions in Sapyocheon-3



은 약 41%, 갈수기 구간은 약 60% 정도가 개선되는 것으로 모의되어 저·갈수시의 수질개선효과가 더 크게 분석되었다.

총량관리 대상지역이 아닌 무한천, 삼교천 유역의 경우, 삭감계획이 조사되지 않아 부하량 변화가 거의 없기 때문에 유량구간별 수질 변화 또한 거의 없는 것으로 분석되었다. 평수기 구간의 수질을 보면 무한천 유역은 BOD 3.0 mg/L, T-P 0.063 mg/L였으며, 삼교천 유역은 BOD 3.2 mg/L, T-P 0.168 mg/L로 중권역 목표기준인 III등급 이내의 수질을 보였고, 목표수질 달성을 또한 BOD와 T-P 모두 70% 이상으로 높게 산정되었다.

이상의 결과를 정리해보면, 총량관리대상물질로 목표수질이 설정된 BOD의 경우, 천안A는 0.2 mg/L, 곡교A는 0.1 mg/L 정도 목표수질보다 높은 값을 보였으며, 남원A는 목표수질보다 0.1 mg/L 낮게 산정되어 3개의 단위유역 모두 목표수질과 근접하게 모의되었고, 목표수질 달성율도 높게 산정되었다. T-P의 경우, 천안A는 0.710 mg/L에서 0.384 mg/L로 약 46% 수질이 개선되는 것으로 모의되었으며, 곡교A는 0.378 mg/L에서 0.277 mg/L로 약 29%, 남원A는 0.173 mg/L에서 0.129 mg/L로 약 25% 수질이 개선되는 것으로 예측되어 남원A를 제외한 천안A와 곡교A는 삼교천 중권역의 목표등급인 III등급(T-P 0.2 mg/L이하)을 초과하지만, 현재 수질과 비교하였을 때 비교적 많이 개선되는 것으로 분석되었다.

무한천과 삼교천의 수질을 보면, BOD의 경우, 모든 유량구간의 평균값이 5.0 mg/L(III등급) 보다 낮은 값으로 모의되었으며, T-P는 삼교천의 홍수기 구간을 제외한 모든 구간에서 0.2 mg/L(III등급) 보다 낮게 분석되었고, 현재의 수질현황과 거의 변화가 없는 것으로 예측되었다.

VI. 결론

본 연구에서는 기타 수계 중 두 번째로 수질오염총량관리제가 수립된 삼교천유역에 대하여 총량제 시행에 따른 수질 개선 효과를 정량화하였다. 먼저 2015년을 기준으로 구축한 HSPF 모형의 보정 및 검증결

과를 보면, 유량과 수질 모두 목적함수를 산정하여 모의값에 대한 신뢰도를 수치화한 결과, 전반적으로 적절히 모의된 것으로 나타났다. 보정 및 검증이 완료된 모형에 최종 목표연도인 2030년의 부하량을 입력하여 재구동한 후, 일단위의 모의값으로부터 유량지속곡선 및 부하지속곡선을 작성하여 기준년도 부하량을 입력하여 구동한 모의 수질과 목표연도 부하량을 입력하여 구동한 예측 수질을 각각 유량구간별로 제시하였다. 각 유량구간별로 평균하여 제시한 수질 중 평수량 구간(40~60%)의 목표연도 예측수질과 천안A, 곡교A, 남원A 등 각 단위유역의 목표수질을 비교한 결과, 천안A와 곡교A는 0.1~0.2 mg/L 정도 높게 모의되었으며, 남원A는 0.1 mg/L 낮게 예측되어 3개의 단위유역 모두 BOD 목표수질과 근접하게 모의되었으며, 목표수질 달성율도 66.3~78.9%로 높게 산정되었다. 또한, 총량관리 대상물질로 지정되어 있지는 않지만, 추가항목으로 T-P를 분석한 결과, 평수량 구간에서 천안A는 0.710 mg/L에서 0.384 mg/L로 약 46% 수질이 개선되는 것으로 모의되었으며, 곡교A는 0.378 mg/L에서 0.277 mg/L로 약 29%, 남원A는 0.173 mg/L에서 0.129 mg/L로 약 25% 수질이 개선되는 것으로 예측되어 남원A를 제외하고, 삼교천 중권역의 목표등급인 III등급(T-P 0.2 mg/L이하)을 초과하지만, 현재 수질과 비교하였을 때 비교적 많이 개선되는 것으로 분석되었다. 총량제 미시행지역인 무한천, 삼교천 유역의 경우, 삭감계획이 조사되지 않아 부하량 변화가 거의 없기 때문에 유량구간별 수질 변화 또한 거의 없는 것으로 분석되었다. 평수기 구간의 수질을 보면 무한천 유역은 BOD 3.0 mg/L, T-P 0.063 mg/L였으며, 삼교천 유역은 BOD 3.2 mg/L, T-P 0.168 mg/L로 중권역 목표기준인 III등급(BOD 5.0 mg/L이하, T-P 0.2 mg/L이하) 이내의 수질을 보였고, 목표수질 달성을 또한 BOD와 T-P 모두 70% 이상으로 높게 산정되었다. 이상의 결과로부터 삼교천 유역 내의 총량관리 대상 유역은 목표수질을 만족할 것으로 모의되었으며, 미시행지역 또한 현재의 목표등급을 만족하는 수준의 수질이 삼교호 내로 유입될 것으로 예측되어 총량제 도입에 의한 삼교호의 수질 개선 효과가 긍정적으로

나타날 것으로 판단된다. 향후, 총량제 미시행지역인 삼교천, 무한천 유역의 삭감계획을 추가로 조사하고, 유역모형의 결과값을 호소모형으로 연계한다면 삼교호 내의 수질변화의 예측이 가능할 것이다.

References

- Chungcheongnam-do. 2018. Basic Plan of Total Water Load Management System in chungcheongnam-do. [Korean Literature]
- Donigian AS. 2000. HSPF Training Workshop Handbook and CD, Lecture #19, Calibration and Verification Issues, Slide #L19-22, EPA Hearters, Washington Information Center, Presented and prepared for U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology.
- Geum river management committee. 2016. Research on Water Environment Management Plan in Geum River Metropolitan Area. [Korean Literature]
- Kim YI, Jeong WH, Yi SJ. 2015. Sapgyo lake Proactive implementation of Chungnam-type watershed management plan is required, ChungNam Report. No 158. [Korean Literature]
- Lee YS, Shin SH, Lee TH. 2014. Estimation and Investigation of the Pollutant Delivery Rate of Sapkyo Reservoir. Journal of the Korean Geoenvironmental Society. 15(4): 29-36. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2017. Setting the water quality target in Total Water Load Management System on Sapgyo-cheon watershed. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2011. Explanation of Total Water Load Management System. [Korean Literature]
- Park SH, Moon EH, Cho BW, Choi JH, Jeong WH, Kim HS, Yi SJ, Kim YI. 2013. Temporal and Spatial Analysis of Flowrate and Water Quality of Major Tributaries for Implementation of TMDL in Sapgyo-reservoir Watershed at Chungcheong nam-do. Journal of Korean Society on Water Environment. 29(1): 107-113. [Korean Literature]
- Park JY, Oh JM, Kim YC. 2001. Runoff Characteristics of Major Pollutants at the Inflow Stream to Lake Sap-Kyo in Rainy Periods, Korean journal of limnology. 34(1): 162-69. [Korean Literature]
- U.S.EPA. 2001. Exercise 14-Modeling Alternative scenarios, BMPs, and TMDLs, BASINS/HSPF Training.
- U.S.EPA. 2001. HSPF User's Manual. [cited 2019 Sep 06]. Available from : <http://tmdlms.nier.go.kr/>