

주암댐 유역 비점오염부하량 우심지역 평가를 통한 오염물질 저감시설 최적 설치지점 선정 연구

Assessment of Apprehensive Area of Non-Point Source Pollution Using Watershed Model Application in Juam Dam Watershed

이혜숙[†] · 최광순 · 정선아 · 이승재*

Hye-Suk Yi[†] · Kwang soon Choi · Suna Chong · Seung-Jae Lee*

한국수자원공사 K-water 연구원 · *한국수자원공사 댐·유역관리처

K-water, K-water Institute

*K-water, Dam & Watershed Maintenance Department

(Received September 24, 2015; Revised October 6, 2015; Accepted October 13, 2015)

Abstract : This study analyzes potentially hazardous sub-watersheds from non-point source pollution areas using an HSPF model. The watershed of the Juam dam reservoir was divided into 29 sub-watersheds, and the flow, BOD, TN and TP concentration for the Juam dam watershed were evaluated from 2009 to 2012 using a watershed model, with a warming period from 2009 to 2010. The results of the watershed model agreed well with the flow and water quality field measurements. The calculated average non-point source loadings were BOD of 8.8 and 9.1 kg/day/km² in 2011 and 2012, respectively; TN of 9.7 and 10.1 kg/day/km² in 2011 and 2012, respectively; and TP of 0.30 and 0.33 kg/day/km² in 2011 and 2012, respectively. The non-point source loading of the Bonghwa stream watershed was calculated, and predominantly assessed upstream of the Boseong river. Additionally, the Miryeok, Jangpyeong, Yuleo, Guam, Seokgyo, Mundeok, Incheon, and Bongnae stream watersheds, with extensive agricultural areas, were assessed to be potentially hazardous areas in terms of non-point source management. In this study, HSPF model was applied in order to aid in the selection of non-point source reduction facilities for the Juam dam watershed, where they were evaluated as to whether they would be applicable for non-point source management.

Key Words : Juam Dam Watershed, HSPF Model, Non-Point Source, Non-Point Source Reduction, Watershed Management

요약 : 본 연구는 주암댐 유역을 대상으로 구축된 HSPF 결과를 활용하여 각 소유역별 비점오염원 부하량을 산정하여 비교함으로써 비점오염저감시설 우선 설치 대상지점을 평가하였으며 2011~2012년 BOD, TN, TP를 대상으로 모델 재현성을 검토된 결과를 활용하였다. 소유역별 비점오염부하량을 산정하여 비점오염저감시설 우선 설치 대상지점을 평가한 결과, BOD의 경우에는 2011년 평균 8.8 kg/day/km², 2012년 평균 9.1 kg/day/km², TN은 2011년 평균 9.7 kg/day/km², 2012년 평균 10.1 kg/day/km², TP는 2011년 평균 0.30 kg/day/km², 2012년 평균 0.33 kg/day/km²으로 산정되었고, 보성강 상류에 위치한 소유역에서 상대적으로 높은 부하량이 유출되는 것으로 분석되었다. 특히, 봉화천 유역이 가장 우선순위가 높게 평가되었으며 미력천, 장평천, 울어천, 구암천, 석교천, 문덕천, 인천천, 봉내천 등의 순서로 평가되었으며 대체적으로 농업지역의 비율이 큰 소유역의 우선순위가 높은 것을 확인할 수 있었다.

주제어 : 주암댐유역, HSPF모델, 비점오염원, 비점오염저감, 유역관리

1. 서론

우리나라는 수질오염총량관리제를 통해 목표수질을 달성할 수 있도록 오염부하량을 할당하고 있으며 환경부에서는 대상물질, 지점, 목표수질기준을 설정하여 관리하고 있다. 이와 같은 제도는 저수기에 수질이 악화되는 일반적인 수질특성을 고려한 것이므로 강우시 비점오염원에 의한 영향을 고려하기에는 한계가 있다. 많은 연구에 의하면 수계 수질오염에 비점오염원이 큰 비중을 차지하고 있다고 판단하고 있으며 상수원으로 사용되는 수체의 경우 부영양화, 조류발생의 주요인이 되고 있는 비점오염원의 발생지역에 저감시설의 점진적인 확충이 필요한 실정이다.¹⁻³⁾

환경부에서는 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼(2008, 2014)을 발간하여 비점오염부하량 저감을 위

하여 대상 지역의 토지이용특성, 유역특성 등을 고려하여 가장 적합한 위치에 저감시설을 설치하도록 기준을 마련하고 있다. 이에 현지 실정에 맞는 비점오염물질 처리시설과 설치 가능지역에 대한 객관적인 조사에 따른 시설 설치가 뒷받침되어야 한다. 비점오염물질은 강우시 우수와 함께 유출되어 정량적인 실측이 쉽지 않고, 기상, 지질, 지형 및 토양 특성에 영향을 받는 특징을 가지고 있다.⁴⁻⁶⁾ 이와 같은 특성으로 인해 비점오염대책 우선지역을 선정하고 평가하는 방법으로 GIS (Geographical Information System)를 이용한 토양유실량 추정방법, 비점오염원 모델방법, AHP (Analytic Hierarchy Process) 의사결정에 의한 오염영향 지수 산출을 이용한 정성분석방법 등이 있다.⁷⁻¹⁰⁾ 최근, 비점오염부하량 정량화에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며 위성영상을 활용하여 주암댐 유역 비점오염부하량 산정방

[†] Corresponding author E-mail: yihs@kwater.or.kr Tel: 042-870-7454 Fax: 042-870-7499

법, 모델을 활용하여 비점오염원 저감에 따른 하천 및 저수지 수질변화를 평가하는 방법, 유량가중농도를 활용하여 토지이용에 따른 토사 및 영양염류의 유출특성 분석하였으며, 낙동강수계 고랭지밭의 BOD, TN, TP의 부하원단위를 제시하는 연구가 진행된 바 있다.^{5,11-13)}

본 연구에서는 광역상수원으로 활용되는 주암댐 저수지 및 동북댐 저수지가 위치하고 있는 주암댐 전체 유역을 대상으로 HSPF 유역모델을 구축하여 적용성을 평가하였으며 각 소유역별 비점오염부하량을 산정하여 비교함으로써 비점오염원저감시설 최적 설치지점을 선정하고 평가하기 위한 자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상지역

주암댐 유역은 보성강 수계에 위치하고 있으며 전체 유역면적은 약 1,010 km²로 담양군, 보성군, 장흥군, 화순군 및 순천시에 걸쳐 위치하고 있다. 유역내에는 주암댐 저수지와 상류의 동북댐 저수지 및 보성강댐 저수지가 위치하고 있다. 주암댐 저수지는 섬진강 제 1지류인 보성강 중류에 위치한 인공호로 1992년에 건설되었으며 저수위 85 m, 저수량 4.6억 ton이고, 주요 유입하천은 보성강, 동북천 및 송광천으로 지방2급 하천 48개소가 있다. 주암댐 유역의 토지피복현황은 논 92.87 km², 밭 67.85 km², 대지 20.02 km², 임야 728.45 km², 목장 3.89 km², 기타 96.9 km²로 대부분이 임야가 차지하고 있으며 논, 밭의 농업지역이 많이 분포하고 있다.

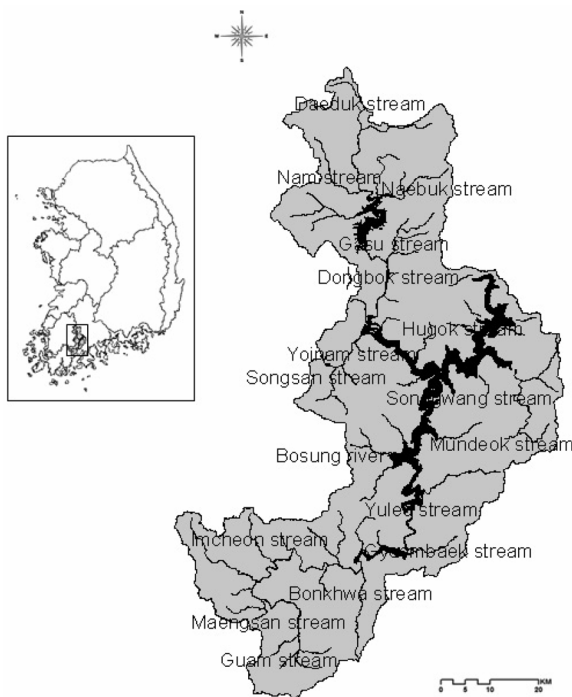


Fig. 1. The study area and main streams.

2.2. 적용 모델 개요

HSPF (Hydrological Simulation Program - Fortran) 유역모델은 1960년대 초 스탠포드 유역모형(Stanford Watershed Model)으로 처음 개발되어 1970년대 수질 기작이 1980년대 전후처리 소프트웨어가 추가 되었으며, 전세계적으로 유역관리를 위해 많이 사용되고 있다. 미국 TMDL을 위해 개발된 BASINS를 통해 지형분석 및 방대한 기상자료 관리 등이 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 윈도우 기반의 Win-HSPF로 발전되었다. 적용 모델은 투수지역의 수문 및 수질을 모의하는 PERLND, 불투수지역의 수문 및 수질을 모의하는 IMPLND, 수체 내의 수리 및 수질을 모의하는 RCHRES로 구성되어 있으며, 각 모듈은 물의 흐름과 관계된 부분, 토사유출 및 영양염류 등 수질과 관계되는 부분으로 구분되어 있다.

유역의 투수층과 불투수층의 수문, 수리 모의에 영향을 주는 요소는 강수, 식물 등에 의한 차단, 지표저류, 증발산, 침투, 지표수 유출, 중간 유출 및 지하수 유출 등이 있다. 각 요소들은 토지피복, 토양, 선행강우 조건 등에 의해 시간에 따라 변화한다. 수체 내 수리 모의는 흐름을 한 방향으로 보며 한 부분의 유입과 여러 방향의 유출 부분으로 구성되어 있으며, 수체의 깊이에 대한 수표면적과 저류되는 수량과의 관계는 변하지 않는다는 가정을 기초로 하고 있다. 수질 모의는 불투수 및 투수층의 오염물질의 축적 및 세정에 의하여 지표 유출, 중간 유출, 지하수 유출이 하천으로 유입되며 토사와 흡착된 오염물질, 용존 오염물질로 구분되어 하천에서 반응하게 된다. 수질 모의항목은 수온, SS, DO, BOD, NO₃-N, NO₂-N, NH₃-N, Organic-N, PO₄-P, Organic-P, Chlorophyll-a 등이 있다.³⁾

2.3. 자료수집

주암댐 유역의 HSPF 구축을 위해서는 기상자료, 하천도, DEM (Digital Elevation, Model), 토지피복도, 환경기초시설 등 오염원자료, 유량과 수질의 모니터링 지점 및 측정자료가 필요하다. 기상자료는 강수량, 기온, 이슬점온도, 운량, 일사량, 풍속, 증발산량 등 7개 항목의 시간단위 관측값이 필요하며, 티센망도에 따라 해당 소유역에 순천과 장흥, 광주 기상대 지점의 2009년 1월 1일부터 2012년 12월 31일까지 시간위자료를 K-water의 통합수질예측대응시스템인 SURIAN (Supercom based River Analysis Network)를 활용하여 수집하였다. 토지피복도는 환경부에서 운영중인 공간정보 서비스(Environmental Geographic Information System; EGIS)에서 제공하는 2008년 기준 중분류 토지피복도를 이용하였고, ArcView의 Shape file을 사용하여 토지피복에 대한 도형자료와 Database 입력파일을 중첩시켜 유역별 모형자료를 구축하였다. 점오염부하량 자료는 국립환경과학원에서 제2단계 수질오염총량제의 기본계획을 평가하기 위해 수집한 2012년 오염원조사(환경부, 2014) 자료로부터 부하량을 산정하였다. 유출량 및 수질의 보정 및 검증은 환경부의 8일 간격으로 연 30회 이상 측정된 오염총량관리 단위

유역 말단의 수질자료를 이용하였으며, 수질 항목은 BOD, TN, TP를 대상으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모델구축

HSPF 모델을 적용하기 위하여 필요한 입력자료는 지형 자료, 토지피복도, 토양도 및 기상자료로 구분할 수 있다. 주암댐 유역의 30 m × 30 m DEM으로부터 Flow Direction 과 Flow Accumulation을 계산하여 하천망을 생성시킨 후, 하천도 및 유역도, 수질측정지점을 고려하여 29개 소유역으로 구분하였다. 공간적으로 변화하는 유역내 수문현상 및 수질 모의에 필요한 입력자료 구축을 위해 DEM, 하천도 및 유역도를 사용하여 각 소유역별 면적, 경사도, 유역의 평균

Table 1. The area and landuse ratio of each sub-watershed in Juam dam watershed

No.	Landuse (%)							Area
	Agricultural land	Barren land	Forest land	Pasture	Urban	Water	Wetland	
1	32.7	0.2	58.9	2.7	3.3	1.4	0.8	75.5
2	32.5	1.4	56.3	6.0	2.1	1.3	0.4	36.4
3	28.1	1.6	61.5	4.4	1.6	1.4	1.4	39.6
4	23.3	0.5	66.2	5.2	2.2	1.8	0.8	44.5
5	34.9	2.2	51.9	1.7	8.2	0.6	0.5	38.5
6	33.3	1.9	51.7	3.3	4.9	4.1	0.8	19.7
7	28.7	0.3	62.5	0.3	1.5	6.4	0.3	12.7
8	24.8	0.3	69.1	1.6	1.5	1.8	0.9	24.4
9	26.5	0.3	61.5	7.5	2.3	1.0	0.9	30.7
10	23.9	0.9	67.2	2.7	1.5	1.8	1.9	43.0
11	21.4	0.5	66.8	7.9	1.8	0.7	0.9	38.6
12	24.6	0.1	63.9	7.2	1.4	0.5	2.4	17.7
13	13.7	0.5	66.0	8.0	1.6	1.8	8.4	22.4
14	7.3	0.9	72.5	3.4	0.7	9.7	5.5	18.2
15	14.4	0.2	79.1	3.2	1.6	1.1	0.3	90.8
16	13.2	0.6	79.1	2.4	1.6	2.2	1.0	45.8
17	16.1	0.2	73.4	5.8	1.8	2.1	0.5	32.4
18	5.2	0.2	68.8	5.7	0.6	18.4	1.0	23.1
19	12.3	0.4	81.5	2.5	1.6	0.8	0.8	38.7
20	20.4	0.6	68.9	4.8	2.5	1.4	1.4	32.3
21	14.2	0.4	79.8	2.8	1.4	0.7	0.7	52.8
22	17.7	0.3	72.6	3.7	3.0	1.1	1.6	24.2
23	9.8	0.5	82.9	1.7	1.1	1.5	2.6	20.8
24	6.4	0.5	79.3	1.2	0.8	9.2	2.6	49.6
25	20.8	1.0	70.3	5.8	1.6	0.0	0.4	44.7
26	13.9	0.6	78.8	4.2	1.4	0.5	0.5	24.3
27	18.1	0.3	62.1	2.0	2.0	10.1	5.4	7.6
28	7.2	1.1	75.4	2.2	1.0	12.2	0.9	38.3
29	4.5	1.7	80.4	1.4	0.1	10.9	1.0	22.7

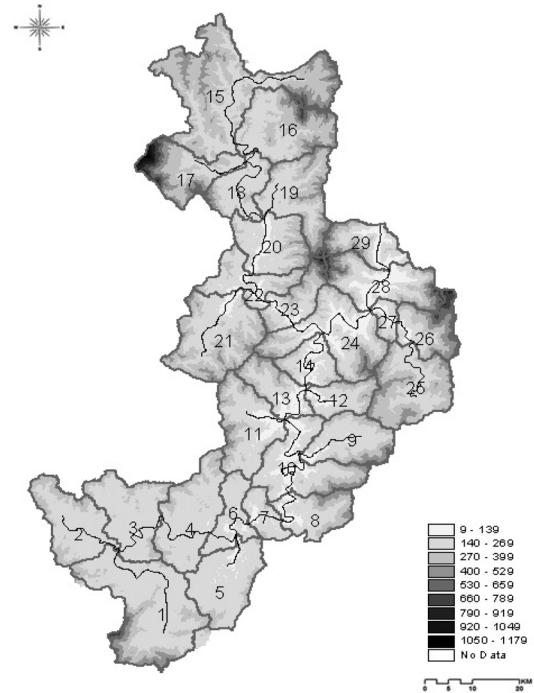


Fig. 2. The 29 sub-watersheds for HSPF application in Juam dam watershed.

길이 등 지형특성을 추출하였으며 유역내 침투 및 유출을 모의할 수 있도록 구축하였다. 기상자료와 점오염원부하량은 WinHSPF 자료관리 프로그램인 WDMUtil을 활용하여 소유역별 wdm 파일로 생성하였다.

3.2. 모델의 적용성 평가

HSPF 모형의 적용성 평가를 위해 2009~2010년을 안정화 기간으로 설정하고, 2011~2012년 기간을 대상으로 보정 및 검증용을 실시하였다. 모형의 보정은 모형의 초기조건과 매개변수를 유역의 조건에 맞도록 일치시키는 과정으로 계산된 값과 측정된 값이 가장 잘 일치할 때의 매개변수 값을 추정하는 것이다.^{2,14-16)} 본 연구에서는 모형의 재현성을 평가하기 위하여 Donigian이 제안한 % difference를 산정하였으며 실측치와 모의치가 일치할수록 0에 가까운 값을 나타낸다.¹³⁾

수질오염총량지점인 동북 A 지점에 대한 유출량 적용성 평가 결과, 보정기간인 2012년도에는 % difference값이 4.02, 검증기간인 2011년도에는 6.60으로 나타나 모델이 실측유출량을 잘 재현하는 것으로 판단되었다. 수질 적용성 평가는 BOD, TN, TP를 대상으로 수행하였으며 BOD의 경우, 보정기간에는 10.93, 검증기간에는 10.49로 비교적 모델이 실측값을 잘 모의하는 것으로 나타났으며 TN의 경우에는 보정기간에는 10.22, 검증기간에는 5.62였으며 TP의 경우에는 보정 및 검증기간 각각 13.33과 1.48로 나타나 영양염류의 모델 편차가 다소 높은 것으로 나타났으나 모델이 실측값을 대체적으로 잘 재현하는 것으로 판단되었다. 주암댐 유역의 유량 및 수질관측지점, 강우시 자료의 부족 등 한계점

이 있어 강우시 정밀한 측정자료가 뒷받침 된다면 더욱 정확도 높은 모델구축이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

Table 2. General calibration and validation tolerances for model application

Criteria	Very good	Good	Fair	Poor
% difference	< 10	10~15	15~25	-

Table 3. Statistical analysis of calibration and validation for flow and water qualities

Items	Observation mean	Simulation mean	% Difference	Performance	
Flow (m ³ /s)	2.47	2.37	4.02	Very good	
Calibration (2012)	BOD (mg/L)	1.33	10.93	Good	
	TN (mg/L)	1.28	10.22	Good	
	TP (mg/L)	0.023	0.026	13.33	Good
Validation (2011)	Flow (m ³ /s)	1.15	1.23	6.60	Very good
	BOD (mg/L)	1.36	1.21	10.49	Good
	TN (mg/L)	1.25	1.12	5.62	Very good
TP (mg/L)	0.023	0.023	1.48	Very good	

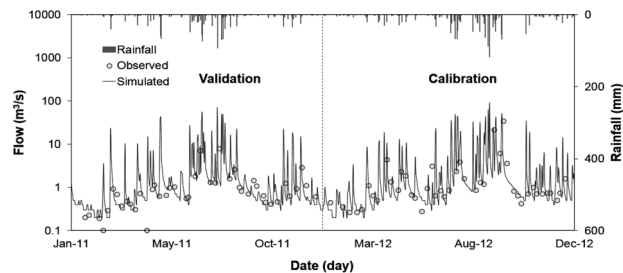


Fig. 3. Comparison of the observed and simulated daily flow on Dongbok A.

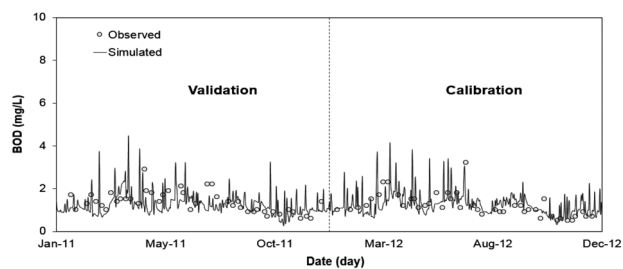


Fig. 4. Comparison of the observed and simulated daily BOD on Dongbok A.

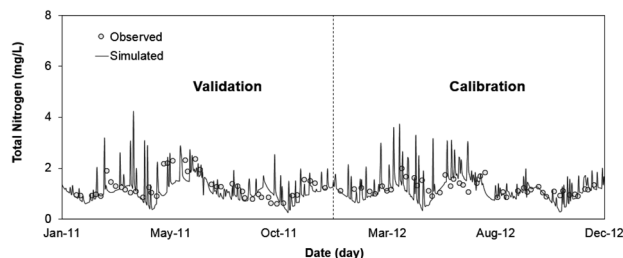


Fig. 5. Comparison of the observed and simulated daily TN on Dongbok A.

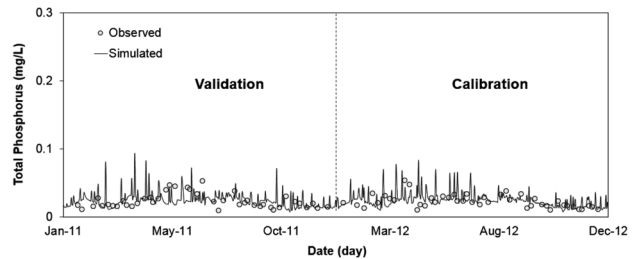


Fig. 6. Comparison of the observed and simulated daily TP on Dongbok A.

3.3. 단위면적당 비점오염부하량 산정

주암댐 유역의 HSPF모델 결과를 활용하여 29개 소유역별 비점오염부하량을 산정하기 위하여 재현성이 확인된 모델에서 점오염원의 영향을 제외한 후 모델을 구동시킨 결과를 활용하였다. 각 소유역별 유출부하량에서 상류 유역의 부하량을 제외하였으며 상대비교를 가능하도록 단위면적당 BOD, TN, TP 비점오염부하량 산정하였다.

BOD의 경우에는 2011년 평균 8.8 kg/day/km² (5.9~12.3 kg/day/km²), 2012년 평균 9.1 kg/day/km² (6.8~11.8 kg/day/km²)로 산정되었다. TN의 경우에는 2011년 평균 10.1 kg/day/km² (4.5~15.9 kg/day/km²), 2012년 평균 10.4 kg/day/km² (5.3~15.5 kg/day/km²)였으며 TP의 경우에는 2011년 평균 0.30 kg/day/km² (0.13~0.40 kg/day/km²), 2012년 평균 0.33 kg/day/km² (0.14~0.40 kg/day/km²)으로 산정되었다. 년도별 단위면적당 비점오염원부하량 범위가 유사하였으나 2011년도 편차가 다소 높게 나타났다. 2011년도에 비해 2012년도의 비점오염부하량이 다소 낮게 산정되었으며 BOD, TN, TP 모두 주암댐 유역 상류에 위치하는 보성강댐 소유역에서 상대적으로 높은 비점오염원 부하량이 유출되는 것으로 분석되었으며 특히, TN에서 가장 뚜렷하게 나타났다. 2009년 위성자료를 활용하여 주암댐 유역의 비점부하량을 평가한 연구결과에 따르면, 단위면적당 BOD 유출부하량은 평균 13.7 kg/day/km² 및 범위 7.1 kg/day/km²~26.7kg/day/

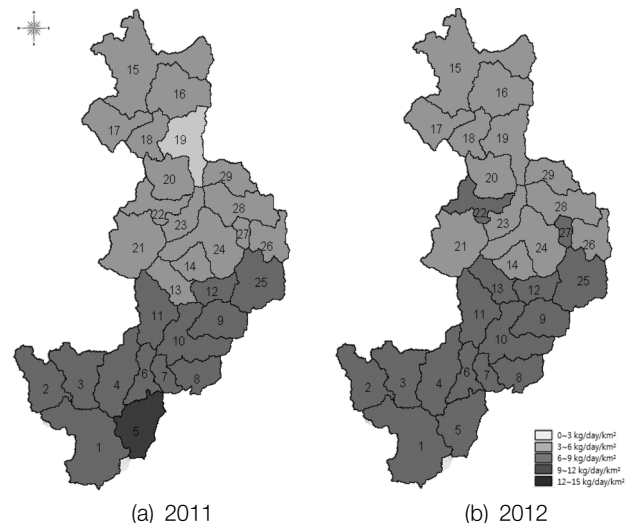


Fig. 7. BOD non-point source loading of unit watershed area.

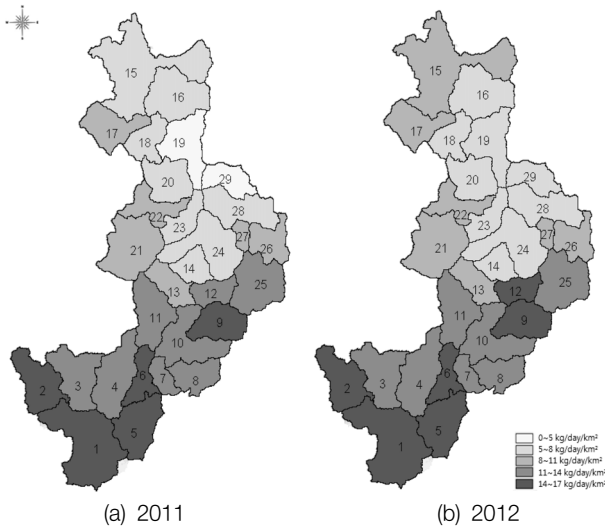


Fig. 8. TN non-point source loading of unit watershed area.

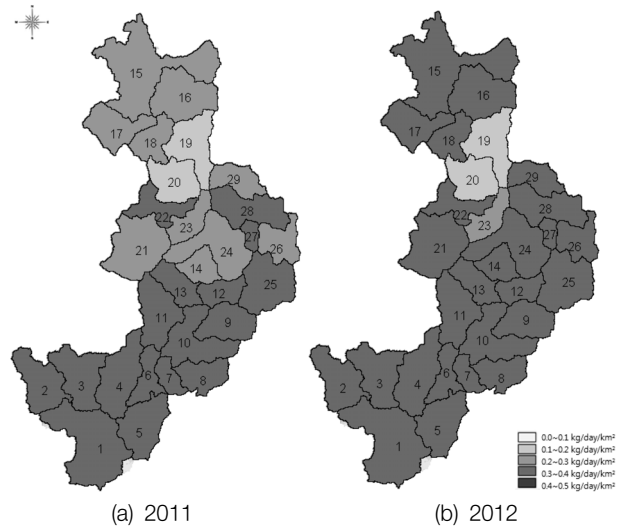


Fig. 9. TP non-point source loading of unit watershed area.

Table 4. The non-point source pollutants loadings of sub-watersheds in Juam dam watershed

Sub-watershed No.	BOD (kg/day/km ²)			TN (kg/day/km ²)			TP (kg/day/km ²)		
	2011	2012	Avg.	2011	2012	Avg.	2011	2012	Avg.
1	11.3	10.8	11.05	14.5	14.2	14.35	0.37	0.37	0.37
2	11.8	11.4	11.60	15.9	15.5	15.70	0.39	0.38	0.39
3	10.9	10.5	10.70	13.9	13.6	13.75	0.36	0.36	0.36
4	10.1	9.7	9.90	12.2	12.0	12.10	0.34	0.34	0.34
5	12.3	11.8	12.05	15.9	15.5	15.70	0.40	0.40	0.40
6	12.0	11.4	11.70	15.6	15.2	15.40	0.40	0.40	0.40
7	10.1	9.7	9.90	12.3	11.9	12.10	0.36	0.36	0.36
8	9.7	9.3	9.50	11.4	11.2	11.30	0.33	0.33	0.33
9	10.8	11.3	11.05	14.4	15.0	14.70	0.36	0.39	0.38
10	9.6	10.1	9.85	12.0	12.5	12.25	0.34	0.36	0.35
11	10.0	10.5	10.25	12.8	13.4	13.10	0.34	0.37	0.36
12	10.3	10.8	10.55	13.5	14.1	13.80	0.35	0.37	0.36
13	8.7	9.3	9.00	10.2	10.6	10.40	0.31	0.34	0.33
14	7.0	7.5	7.25	6.5	6.9	6.70	0.30	0.33	0.32
15	7.3	8.3	7.80	7.4	8.5	7.95	0.26	0.31	0.28
16	7.0	8.0	7.50	6.9	7.9	7.40	0.26	0.31	0.28
17	7.9	9.0	8.45	8.7	9.9	9.30	0.28	0.33	0.31
18	6.4	7.3	6.85	5.5	6.3	5.90	0.30	0.36	0.33
19	5.9	7.0	6.45	4.5	5.3	4.90	0.13	0.14	0.14
20	7.3	8.6	7.95	6.6	7.7	7.15	0.15	0.17	0.16
21	7.9	8.5	8.20	8.5	8.9	8.70	0.29	0.31	0.30
22	8.8	9.3	9.05	10.1	10.6	10.35	0.31	0.34	0.33
23	7.0	7.5	7.25	6.6	6.9	6.75	0.27	0.29	0.28
24	6.5	6.9	6.70	5.2	5.6	5.40	0.28	0.31	0.30
25	9.6	10.2	9.90	12.0	12.6	12.30	0.33	0.36	0.35
26	8.2	8.7	8.45	8.9	9.4	9.15	0.29	0.32	0.31
27	8.6	9.1	8.85	9.6	10.0	9.80	0.34	0.37	0.36
28	6.9	7.4	7.15	6.1	6.4	6.25	0.31	0.33	0.32
29	6.3	6.8	6.55	5.0	5.3	5.15	0.29	0.31	0.30
Min.	5.9	6.8	6.35	4.5	5.3	4.90	0.13	0.14	0.14
Max.	12.3	11.8	12.05	15.9	15.5	15.70	0.40	0.40	0.40
Average	8.8	9.1	8.95	10.1	10.4	9.90	0.30	0.33	0.32

km²를 나타내었고, TN의 경우 평균 5.2 kg/day/km² 및 범위 3.6 kg/day/km²~9.3 kg/day/km², TP의 경우에는 평균 0.24 kg/day/km² 및 범위 0.13 kg/day/km²~0.39 kg/day/km²를 나타낸바 있으며 본 연구와 마찬가지로 보성강 상류에서는 높은 값을 나타내었고, 동북천 유역에서 대체적으로 낮은 값을 나타내었다.⁸⁾

3.4. 비점오염저감시설 설치지점 평가

주암댐 유역의 비점오염저감시설 설치지점을 선정하기 위하여 29개 소유역별 단위면적당 BOD, TN, TP 비점오염원 유출부하량을 비교하였으며 비점오염원 부하량이 높은 곳을 저감시설 우선 설치대상 지점으로 선정하였다. 2011년과 2012년도의 단위면적당 비점오염부하량 산정 결과의 평균치를 활용하였으며 BOD, TN, TP 각각 소유역별 우선순위가 높은 10위 이내의 지점을 추출하여 각 수질항목 모두

Table 5. The assessment results of apprehensive non-point source pollutants sub-watersheds in Juam dam watershed

Rank	Sub-watershed	Main stream	Non-point sources loading (kg/day/km ²)			Landuse (%)	
			No.	BOD	TN	TP	Agriculture
1	Bonghwa stream	5	12.05	15.70	0.40	34.9	51.9
2	Mireok stream	6	11.70	15.40	0.40	33.3	51.7
3	Jangpeong stream	2	11.60	15.70	0.39	32.5	56.3
4	Yuleo stream	9	11.05	14.70	0.38	26.5	61.5
5	Guam stream, Seokgyo stream	1	11.05	14.35	0.37	32.7	58.9
6	Mundeok stream	12	10.55	13.80	0.36	13.7	66.0
7	Imcheon stream, Myeongdong stream	3	10.70	13.60	0.36	28.1	61.5
8	Boknae stream, Yujeong stream	11	10.25	13.40	0.36	21.4	63.9

우선순위가 높은 지점을 비점오염저감시설 우선 설치 대상 지점으로 평가하였다. 29개 소유역 중에서 8개 소유역이 비점오염저감시설 우선 설치대상지점으로 평가되었다. 봉화천 유역이 BOD 12.5 kg/day/km², TN 15.70 kg/day/km², TP 0.40 kg/day/km²으로 우선순위가 가장 높게 평가되었으며 농업지역 비율이 34.9%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었다. 다음으로 미력천, 장평천, 울어천, 구암천, 석교천, 문덕천, 인천천, 봉내천 등의 순서로 평가되었다. 각 소유역별 대표적인 토지피복인 농업지역과 산림지역 비율을 추출하여 비교한 결과, 대체적으로 농업지역 비율이 높은 소유역에서 우선순위가 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 보성강 상류 주요 하천 유역이 비점오염 발생 우려가 높은 우심지역으로 선정되어 비점오염저감시설 대책들이 마련되어 우선 설치되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

우리나라는 수질오염총량관리제를 통해 목표수질을 달성할 수 있도록 오염부하량을 할당하고 있으나 강우시 비점오염원에 의한 영향을 고려하기에는 한계가 있다. 많은 연구에 의하면 수계 수질오염에 비점오염원이 큰 비중을 차지하고 있다고 판단하고 있으며 상수원으로 사용되는 수체의 경우 부영양화, 조류발생의 주요인이 되고 있는 비점오염원의 발생지역에 저감시설의 점진적인 확충이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 광역상수원으로 활용되는 주암댐 저수지와 동복댐 저수지가 위치하고 있는 주암댐 전체 유역을 대상으로 HSPF 유역모델을 구축하여 적용성을 평가한 후, 각 소유역별 비점오염부하량을 산정하여 비교함으로써 비점오염원 저감시설 설치를 위한 지점을 선정하기 위한 평가 자료로 활용하고자 하였다. 주암댐 유역의 HSPF 구축을 위해서 지형자료, 토지피복도, 토양도 및 기상자료를 활용하여 29개 소유역으로 구분한 후, 환경부의 8일 간격으로 측정된 2011~2012년 BOD, TN, TP를 대상으로 모델 재현성을 검토하였다. 모델이 실측유량 및 수질을 대체적으로 잘 재현하는 것으로 판단되었으나 강우시 정밀한 측정자료가 뒷받침 된다면 더욱 정확도 높은 모델구축이 이루어질 수 있을 것으로 판단되었다.

주암댐 유역의 소유역별 비점오염부하량을 산정하여 비점오염저감시설 우선 설치 대상지점을 평가하였으며 BOD의 경우에는 2011년 평균 8.8 kg/day/km² (5.9~12.3 kg/day/km²), 2012년 평균 9.1 kg/day/km² (6.8~11.8 kg/day/km²), TN의 경우에는 2011년 평균 10.1 kg/day/km² (4.5~15.9 kg/day/km²), 2012년 평균 10.4 kg/day/km² (5.3~15.5 kg/day/km²), TP의 경우에는 2011년 평균 0.30 kg/day/km² (0.13~0.40 kg/day/km²), 2012년 평균 0.33 kg/day/km² (0.14~0.40 kg/day/km²)으로 산정되었다. BOD, TN, TP 모두 보성강댐 저수지 상류에 위치한 소유역에서 상대적으로 높은 부하량이 유출되는 것으로 분석되었다. 봉화천 유역이 가장 우선순위

가 높게 평가되었으며 미력천, 장평천, 울어천, 구암천, 석교천, 문덕천, 인천천, 봉내천 등의 순서로 평가되었다. 각 소유역별 대표적인 토지피복인 농업지역과 산림지역 비율을 비교한 결과, 대체적으로 농업지역 비율이 높은 소유역의 우선순위가 높은 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 주암댐 유역을 대상으로 구축된 HSPF 결과를 활용하여 각 소유역별 비점오염원 부하량을 산정하여 비교함으로써 비점오염저감시설 우선 설치 대상지점을 평가하였으며 주암댐 유역관리 계획 수립을 위한 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 향후에는 본 연구의 소유역별 비점오염부하량 산정 방법 뿐만 아니라 저감시설 설치대상 지점 인근 수체의 수질 변동성, 비점오염 저감시설에 의한 수질개선효과 등을 고려한 종합적인 설치 대상지점 선정 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 환경부 환경기초조사사업 “광역상수원 비점오염저감시설 종류 및 설치 가능지역 현황조사” 및 K-water “3개 수계 유역모형 구축 및 4개 댐 수리수질 모형 구축 조사 연구”에 의해 수행되었습니다.

KSEE

References

1. Choi, J. W., Kang, M. J., Ryu, J. C., Kim, D. I., Lim, K. J. and Shin, D. S., “Assessing the Action Plans in the Control Area (Soyang Reservoir) of Non-point Source Pollution,” *J. Environ. Sci. Int.*, **23**(5), 839~852(2014).
2. Kang, K. C., Kim, J. S. and Won, C. H., “A Study of the Dynamic Characteristics of Water Quality for the Selection of Non-point Sources Management Area in Dongjin-River Basin,” *J. Korean Soc. Environ. Technol.*, **14**(5), 332~342 (2013).
3. Lee, S. H., Ni-Mesister, W., Toll, D., Nigro, J., Gutierrez-Magness, A. L. and Engman, T., “Assessing the hydrologic performance of the EPA’s nonpoint source water quality assessment decision support tool using North American Land Data Assimilation System (NLDAS) products,” *J. Hydrol.*, **387**, 212~220(2010).
4. Ribarova, I., Ninov, P. and Cooper, D., “Modeling nutrient pollution during a first flood event using HSPF software: Iskar River case study,” *Bulgaria, Ecol. Modelling*, **211**, 241~246(2008).
5. Shrestha, S., Babel, M. S., Gupta, A. D. and Kazama, F., “Evaluation of annualized nonpoint source model for a watershed in the Siwalik Hills of Nepal,” *Environ. Modelling & Software*, **21**(7), 961~975(2006).
6. You, Y. Y., Jin, W. B., Xiong, Q. X., Xue, L., Ai, T. C. and Lia, B. L., “Simulation and Validation of Non-point Source

- Nitrogen and Phosphorus Loads under Different Land Uses in Sihu Basin, Hubei Province, China,” *Procedia Environ. Sci.*, **13**, 1781~1797(2012).
7. Kim, S. S., Kim, J. S., Bang, K. Y., Gwon, E. M. and Chung, W. J., “The Estimation of th Unit Load and Characteristics of Non-Point Source Discharge According to RainFall in Kyongan Watershed,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **24**(11), 2019~2027(2002).
 8. Lee, G. S. and Kim, T. K., “Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads of Juam-Dam Basin Based on the Classification of Satellite Imagery,” *J. Korean Assoc. Geographic Information Studies*, **15**(3), 1~12(2012).
 9. Lee, J. C., Park, H. L., Lim, B. J., Lee, C. H., Lee, S. W. and Lee, Y. W., “A Study on the Selection of Non-point Pollution Management Regions with High Priority Order in the Yeongsan River Basin,” *Korean J. Limnol.*, **45**(4), 347~355(2012).
 10. Shin, C. M., Choi, J. Y. and Park, C. H., “Characteristics of Non-Point Pollution Discharge with Land Use in Urban Area,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **26**(7), 729~735(2004).
 11. Joo, J. H., Jung, Y. S., Yang, J. E, Ok, Y. S., Oh, S. E., Yoo, K. Y. and Yang, S. C., “Assessment of pollutant loads from alpine agricultural practices in Nakdong river basin,” *Korean J. Environ. Agric.*, **26**(3), 233~238(2007).
 12. Yur, J. H. and Kim, G. H., “Comparison of discharge characteristics of NPS pollutant loads from urban, agricultural and forestry watersheds,” *J. Korean Soc. Water Qual.*, **21**(2), 184~189(2005).
 13. Donigian, A. S., “HSPF Training Workshop Handbook and CD, Lecture #19, Calibration and Verification Issues, Slide #L19-22,” EPA Headquarters, Washington Information Center, Presented and prepared for U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology(2000).
 14. Kim, T. G., “Assessment of Watershed Characteristics for Apprehensive Area of Non-point Source Pollution Using Load Duration Curve,” *J. Korean Soc. Environ. Technol.*, **15**(1), 1~11(2014).
 15. Yi, H. S., Jeong, S. A., Park, S. Y. and Lee, Y. S., “Modeling Study of Turbid Water in the Stratified Reservoir using linkage of HSPF and CE-QUAL-W2,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **30**(1), 69~78(2008).
 16. Bicknel, B. R., Imhoff, J. C., Kittle, J. L., Donigian, A. S. and Johanson, R. C., “Hydrological Simulation Program-FORTRAN User’s Manual for Release 12, U.S. Environmental Protection agency,” Environmental Research Laboratory, Athens, GA(1993).