

Research Paper

HSPF 모델을 이용한 낙동강유역의 유역단위별 비점오염부하량 산정

권광우 · 최경식

신라대학교 에너지환경공학과

A Study of Nonpoint Source Pollutants Loads in Each Watershed of Nakdong River Basin with HSPF

Kwangwoo Kwon · Kyoung-sik Choi

Department of Energy-Environmental Engineering, Silla University

요약 : 낙동강 전 권역을 209개 유역으로 나누고 각 유역에서 배출되는 비점오염부하 기여율을 산정하기 위해 HSPF모델을 2012년 2013년을 기준으로 보정 및 검증 실시하였다. 유량의 경우 보정한 결과 R2가 0.71~0.93, 검증은 0.71~0.79로 비교적 양호한 값으로 산정되었다. 수질의 경우는 % difference로 검·보정을 실시하였는데 보정의 경우 DO는 0.4~9.7 %, BOD는 0.5~30.2 % difference, TN은 낙남 C 및 황강 B를 제외 하고는 1.9~28.6 % difference로 나타났고 검증은 DO 0.2~13.7%, BOD는 1.3~23%, TN은 황강 B를 제외한 0.5~24.3%로 비교적 잘 모의 되었다. 그러나 TP는 농도가 다른 항목에 비해 미량이기 때문에 차이의 범위가 크게 나타났는데 보정의 경우 0.8~55.3 % difference이고 검증에서도 같은 결과를 얻었다. 209개 유역별 BOD 연간 누적부하량을 산정한 결과 RCH 123(경상남도 의령군), RCH 121(경상남도 진주시), RCH 92(대구광역시 달성군) 가 높은 것으로 나타났다. 그러나 영양염류에 대한 유역별 연간 누적부하량의 결과들은 BOD 연간 누적부하량 순위와 일치하지 않는 것으로 나타났다. 본류에 위치한 산림, 습지, 농지 등이 많은 유역들이 상대적으로 산림지역이나 습지가 많은 댐 상류지역의 유역들 보다 BOD 비점오염 부하량이 높은 것으로 나타났다. 토지형질을 비롯한 유역 특성들을 나타내는 다른 인자들이 비점오염 부하량과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

주요어 : 비점오염부하량, HSPF모델, 유역, 토지형질

Abstract : In order to estimate the non-point pollution loads from each watersheds among 209 watersheds, the calibration and validation of HSPF model were carried out based on 2012 in 2013 years. In the case of flow rate, R2 of calibration and validation were 0.71~0.93 and 0.71~0.79, which were relatively good values. With the respect to calibration of water quality, % differences between measured and simulated values were 0.4 ~ 9.7 of DO, BOD 0.5 ~ 30.2% and TN 1.9~28.6% except

First Author: Kwangwoo Kwon, Department of Environment Engineering, Sasang-gu 700 Baekyang Daero, Busan, Korea, Tel: +82-51-999-5942, E-mail: kkwoo2698@naver.com

Corresponding-Author: Kyoung-sik Choi, Department of Environment Engineering, Sasang-gu 700 Baekyang Daero, Busan, Korea, Tel: +82-51-999-5256, E-mail: kschoi@silla.ac.kr

Received: 9 January, 2017. Revised: 31 January, 2017. Accepted: 1 February, 2017.

for Hwhangkang B site. In case of validation, DO was 0.2 ~ 13.7%, BOD 1.3~23% and TN 0.5~24.3% excluding Hwhangkang B. However, since the concentration of TP was very small compared with other items, the range of difference was large as 0.8~55.3%. level. As the result of calculating annual accumulative BOD loads for each watershed, it was found that RCH 123 (Uryeong, Gyeongsangnamdo), RCH 121 (Jinju, Gyeongsangnamdo) and RCH 92 (Daegu) were the high ranked. The unit watersheds including various landuse type such as forest and agricultural sites in mainstream areas have a higher BOD nonpoint pollution load than those in dam regions. However, the results of the annual cumulative loading of the basins for nutrients did not appear to be consistent with the BOD annual cumulative loading ranks. Other factors that represent watershed characteristics such as landslope and soiltypes, including landuse pattern, have been found to be closely related to nonpoint pollutant loads

Keywords : Nonpoint source load, HSPF, watershed, landuse

I. 서론

하수처리장 등 환경기초시설이 확충되면서 수계로 유입되는 점오염원의 관리는 강화되고 있으며 또한 비점오염원의 관리도 강화되고 있으나 비점오염원의 경우 수계로 유입되는 비중이 계속해서 증가하고 있다. 비점오염원의 효율적인 수질관리를 위해서는 토지이용 및 지역특성을 고려하고 비점오염 부하량의 현장조사, 비점오염물질 저감기술 및 비점오염원 관리정책 개발 등이 필요한 것으로 나타났다(Lee et al. 2004). 2004년 비점오염관리종합대책 수립 초기에는 Best Management Practices (BMP)를 이용한 개선 방안들이 제시 되었으나 최근에는 빗물유출수의 표면유출을 저감하고 지하수 충전율을 높여 물 순환 개선과 오염저감이 동시에 가능한 Low Impact Development (LID)기법들을 연구개발하고 있다. LID 공법은 토지이용을 통해 빗물유출을 저감시키고 비점오염물질 또한 저감시키므로 물 순환과 비점오염원 관리를 동시에 이룰 수 있다는 장점으로 적극적인 연구가 시작되었다(MOE 2009). 비점오염물질 저감을 위한 공법들이 개발되고 있는데 이러한 공법들을 위한 위치선정이나 규모 등을 결정하는데 있어 비점오염모델을 이용하는 연구도 연계되어 진행되고 있다(Kang & Lee 2016).

비점오염원의 유출은 점오염원과 달리 강우와 밀접히 관계되어 비점오염원의 약 80%가 우기인 5~9월 사이에 유출되며 나머지시기에 약 20%가 유출되

며 기후, 지형, 토양 및 토지이용 등 지역적 특성과 유역의 형상에 따라 변화되므로 파악하기가 매우 힘들다(Lee et al. 2013). 비점오염물질의 유출량 및 거동규명을 위해서는 강우 시 유량과 수질을 실측해야 정확한 자료를 얻을 수 있지만 강우 시 실측은 많은 인력이 필요하고 작업여건에 제한 상황들이 많아 유역관리모형을 이용하는 것이 타당하다(Lee et al. 2012). 유역모형연구에 서는 비점오염원의 정확한 규명을 위해 오염원 분포와 하천 상태 등을 고려하여 비점오염 부하량을 예측할 수 있는 유역모형을 선정하고 비점오염 유출량 및 거동규명에 대한 정량적인 해석이 반드시 이루어져야 한다(Gong et al. 2010). 비점오염원관리 및 오염물질의 정성 및 정량적 해석을 위해 유역모형 연구가 수반되어야 하는데 유역모형의 불확실성을 줄이기 위해 반드시 실측자료를 검 · 보정하고 모의결과를 활용하는 것이 타당하다.

낙동강유역은 급속한 도시화 및 공업화로 토지이용의 고밀도가 이루어지고 있어 비점오염원 유출량의 비율이 증가하고 있는 실정이며 비점오염 발생량의 공간적 시간적 분포를 파악하는 것과 정성 및 정량적 오염발생량을 규명하는 것이 매우 중요하다(kwon 2011). 본 연구에서는 낙동강 권역의 비점오염 부하량 산정을 위해서 도시지역과 비도시지역에 적합하고 유역오염원관리기법 평가에 탁월한 HSPF 모델을 선정하여 구동하였다. 낙동강 전 권역을 209개 유역으로 나누고 HSPF 모델을 이용하여 유역단

위에서 배출되는 비점오염부하 기여율을 산정하여 유역단위별 비점오염관리를 위한 자료로 활용하고자 연구하였다.

II. 연구방법

1. 유역자료 구축

낙동강 전 구역을 Figure 1과 같이 안동댐, 임하댐, 영천댐, 남강댐, 밀양댐, 낙동강 본류 등 7개 권역으로 구분하였다. 강우시 댐 상류 유역에서 발생한 오염물질이 댐으로 유입된 후 침전 등에 의해 제거되므로 댐 방류구에서 유입된 오염물질의 농도보다 매우 낮은 농도로 방류되는 특성 때문에 댐 중심으로 권역을 설정하였다. 또한 강우 종료 후에는 댐 유입수의 오염물질 농도는 낮지만 이전 강우시 유입된 오염물질이 밀도류에 의해 댐에서 탁수로 방류될 수도 있어 하류하천에서 모의는 매우 큰 편차를 보이게 된다. 따라서 본 연구에서는 댐 방류 지점들을 본류 및 지류의 최상류점으로 지정하여 실제 방류량 및 방류수질을 입력함으로써 낙동강 본류에서의 모의 정확도를 최대로 향상시키기 위해 낙동강 전 구역을 7개 권역으로 구분하여 구축하였다. 7개 권역을 기준으로 한 낙동강 전 구역에 대한 표준유역도 226개를 HSPF 모델의 유역 최대값인 209개로 재설정하여 모형을 구축하였다. BASINS를 이용하여 DEM으로부터 Flow Direction과 Flow Accumulation을 계산하

여 하천망을 생성시킨 후 국가 표준유역도 226개를 기준으로 outlet으로 지정하고 분할하여 총 209개의 소유역으로 설정하였다.

2. HSPF모델 입력자료 구축

유역을 설정한 이후 HSPF 모델 입력 자료를 위해서 지형자료, 토지피복, 토양도 및 기상자료, 그리고 점오염원 자료가 필요하다. 토양도는 전국 개량토양도를 사용하였으며 토지피복자료는 환경부에서 운영 중인 공간정보서비스(Environmental Geographic Information System; EGIS)에서 제공하는 2007년 기준 중분류 토지피복도를 이용하였고, ArcView의 Shape파일을 사용하여 토지피복에 대한 도형자료와 Database 입력파일을 중첩시켜 유역별 모형자료를 구축하였다(Figure 2).

유역모형에 입력되는 기상자료는 강수량, 기온, 이슬점온도, 운량, 일사량, 풍속, 증발산량 등 7개 항목으로 낙동강 본류 유역의 경우 안동, 대구 등 11개의 관측소에서 관측한 2006년 1월 1일 ~ 2013년 12월 31일까지의 시간단위자료를 기상청으로부터 제공받아 입력하였다.

HSPF 모델의 점오염원 입력 자료는 전국오염원조사 자료로부터 부하량을 산정하였으며, 오폐수발생량과 배출 부하량 자료를 점오염부하량 입력 자료로 사용하였다. 또한 일평균 방류량이 500 m³ 이상인

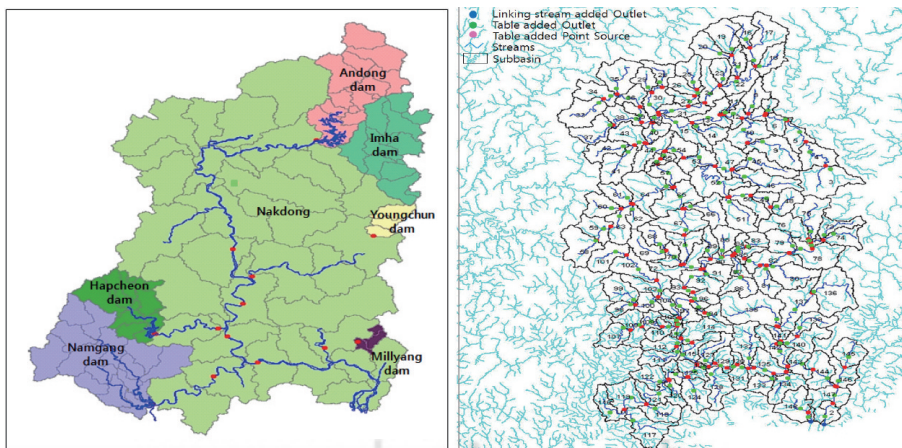


Figure 1. Division of watershed based on major dams and mainstream

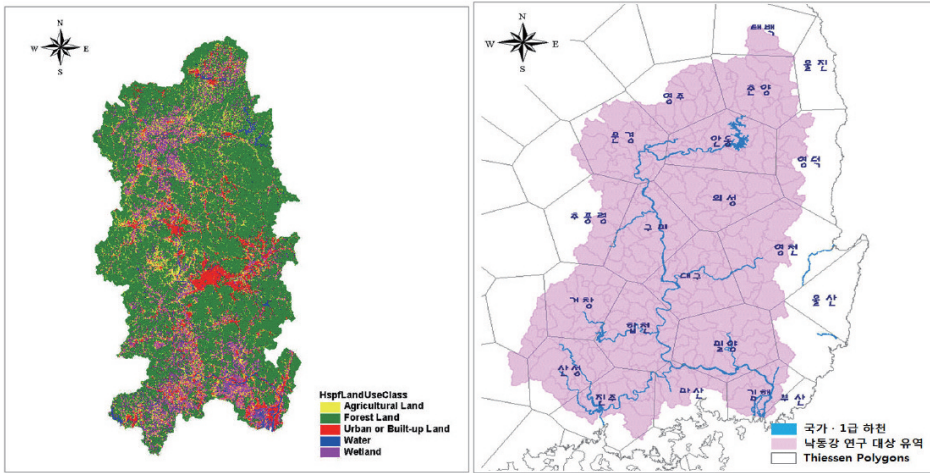


Figure 2. Landuse map and meteorological stations

대형하수종말처리시설 및 폐수종말처리시설에 대해서 일별 방류량과 방류수질(DO, BOD, TN, TP) 자료를 입력하였으며, 모형 입력에 필요한 Org-N, NH₃, NO₃, Org-P, PO₄ 환경부 하천측정망 수질자료로부터 질소와 인의 형태별 비율을 산정하여 입력하였다.

III. 연구 결과

1. 모델 검 · 보정 결과

2012년 유량 및 수질 자료를 가지고 보정을 그리

고 2013년 자료로 HSPF 모델의 검증을 실시하였는데 모의값과 실측값 간의 산점도 분석을 유량은 결정계수 R² 값과 수질결과는 % difference로 나타내었다. 결정계수(R²)는 (Donigan 2000)이 제시한 일반적인 모델효율의 범위와 신뢰 구간에 따라 R² 값이 0.8 이상은 Very good, 0.8~0.7구간은 Good, 0.7~0.6구간은 Fair, 그리고 0.6 미만일 경우는 Poor로 표시하였다. % difference의 경우 10% 미만일 경우 Very good, 10~15%구간은 Good, 15~25% 구간은 Fair, 그리고 25% 이상일 경우는 Poor로 설정하였다.

유량 검 · 보정을 위해 HSPF 모델 구축시 구분한

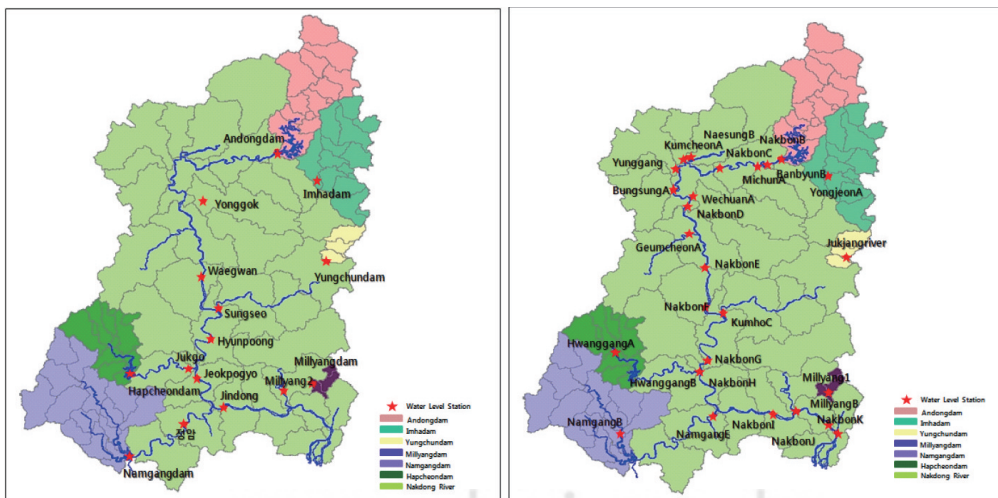


Figure 3. Calibration and Validation sites for flow and water quality in each watersheds

7개의 권역 중 6개의 댐상류 권역들의 각 댐 유입량을 일별로 수집하여 이용하였으며, 낙동강 본류 유역은 주요 지류 5개 지점과 본류 4개 지점 등 총 9개의 수위관측소의 관측 자료를 이용하여 총 15개 지점에 대하여 검·보정을 실시하였다(Figure 3).

수질 보정·검증은 낙동강 물환경연구소에서 8일 간격으로 연 30회 이상 측정된 오염총량관리 단위유역 말단의 수질자료를 이용하였으며, 보정항목으로는 DO, BOD, T-N, T-P, 등 4개 항목으로 설정하였다. 수질보정지점은 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐 유역은 각각 낙본B, 반변A, 황강A, 남강B의 총량관리 단위유역 말단지점으로 하였으며, 영천댐 유역은 환경부 수질측정지점인 죽장천 지점, 밀양댐 유역은 댐측정 지점인 밀양댐1지점을 선정하였다. 낙동강 본류 유역은 총량관리 단위유역 말단지점 중 Figure 3과 같이 지류 12개, 본류 8개 지점을 선정하여 보정 및 검증을 수행하여 총 26개 지점을 대상으로 실시하였다.

유량의 경우 보정한 결과 R^2 가 0.71~0.93으로 나타나서 비교적 잘 모의된 것으로 판단된다. 그러나 안동댐 유역의 경우 R^2 가 0.41로 나타났는데 이는 2012년의 일유량 관측자료가 강우사상을 반영하지

못하는 이상한 값들로 추정되는 관측값들이 많아 불확도를 증가시킨 것으로 판단된다. 검증의 경우도 R^2 값이 0.71~0.79로 비교적 양호한 편이나 안동댐 및 합천댐의 경우 결정계수 R^2 0.57, 0.54로 타 유역에 비해 잘 안 맞는 것으로 나타났다. 안동댐의 경우는 보정 때와 같은 이유라고 생각되지만 합천댐의 경우는 집중 강우시기인 여름철에 time lag가 훨씬 더 길게 예측된 것이 R^2 값을 떨어뜨리는 원인으로 파악된다.

수질의 경우 총 26개 지점 중 낙동강 본류 유역의 수질 보정을 위해 선정한 지점은 총 20개 지점으로서 지류 11개 지점과 본류9개 지점에서의 DO, BOD, T-N, T-P, 4개 수질항목에 대하여 보정하였다. 연간 평균 부하량을 사용하여 측정값 대 모의값 비교를 % difference로 표시하였다. 보정의 경우 DO는 0.4~9.7%의 차이를 나타냈으며, BOD는 0.5~30.2%의 차이를 보였다. TN의 경우는 낙본 C 및 황강 B를 제외 하고는 1.9~28.6% difference가 나타났는데 낙본 C는 2012년 1월 ~ 2012년 3월까지의 관측값에 비해 낮게 모의된 것이 영향을 미쳐 21.1% difference를 보였으며 황강 B는 경향은 비슷하지만 전반적으로 낮게 모의되었기 때문에 63.5%

Table 1. Results of calibration and validation of flow

Area	Calibration				Validation			
	R^2		% Difference		R^2		% Difference	
Yonggok	0.71	Good	5.76	Very Good	0.71	Good	10.02	Good
Waegwan	0.71	Good	3.39	Very Good	0.72	Good	18.04	Fair
Sungseo	0.92	Very Good	18.34	Fair	0.79	Good	83.21	Poor
Hyunpoong	0.81	Very Good	13.75	Good	0.71	Good	75.03	Poor
Jukgo	0.93	Very Good	4.68	Very Good	0.71	Good	10.37	Good
Jeokpogyo	0.89	Very Good	9.81	Very Good	0.71	Good	19.08	Fair
Jeongam	0.89	Very Good	33.61	Poor	0.71	Good	3.54	Very Good
Jindong	0.72	Good	12.67	Good	0.74	Good	13.31	Good
Millyang	0.77	Good	1.31	Very Good	0.76	Good	8.95	Very Good
Andongdam	0.41	Poor	30.69	Poor	0.57	Poor	22.36	Fair
Imhadam	0.71	Good	3.57	Very Good	0.74	Good	53.55	Poor
Youngchundam	0.77	Good	32.17	Poor	0.71	Good	46.71	Poor
Hapcheondam	0.84	Very Good	14.16	Good	0.54	Poor	43.36	Poor
Namgangdam	0.91	Very Good	9.16	Very Good	0.74	Good	7.30	Very Good
Millyangdam	0.77	Good	28.32	Poor	0.71	Good	3.08	Very Good

Table 2. Results of calibration and validation for water quality parameters

Area	Calibration						Validation					
	BOD (% Difference)		TN (% Difference)		TP (% Difference)		BOD (% Difference)		TN (% Difference)		TP (% Difference)	
GeumcheonA	14.7	Good	21.1	Fair	24.9	Fair	6.8	Very Good	14.8	Good	12.9	Good
Kumho C	20.4	Fair	9.4	Very Good	9.1	Very Good	23.0	Fair	8.3	Very Good	60.3	Poor
Nakbon C	14.7	Good	21.1	Fair	24.9	Fair	6.0	Very Good	7.1	Very Good	29.3	Poor
Nakbon D	11.8	Good	11.1	Good	13.7	Good	8.3	Very Good	0.5	Very Good	14.0	Good
Nakbon E	6.4	Very Good	10.9	Good	7.6	Very Good	14.2	Good	4.1	Very Good	11.8	Good
Nakbon F	24.6	Fair	1.9	Very Good	10.1	Good	14.9	Good	10.6	Good	15.0	Fair
Nakbon G	20.4	Fair	4.5	Very Good	2.2	Very Good	4.2	Very Good	8.3	Very Good	24.1	Fair
Nakbon H	14.1	Good	8.2	Very Good	3.0	Very Good	14.2	Good	5.0	Very Good	15.8	Fair
Nakbon I	14.8	Good	7.4	Very Good	6.9	Very Good	11.8	Good	5.7	Very Good	23.4	Fair
Nakbon J	14.7	Good	5.8	Very Good	1.3	Very Good	19.3	Fair	7.7	Very Good	16.1	Fair
Nakbon K	14.3	Good	1.9	Very Good	6.1	Very Good	12.0	Good	17.1	Fair	18.8	Fair
Namgang E	13.5	Good	14.1	Good	7.8	Very Good	12.8	Good	24.3	Fair	8.6	Very Good
Naesung B	13.7	Good	7.9	Very Good	13.1	Good	7.3	Very Good	5.4	Very Good	13.8	Good
Michun A	13.3	Good	11.4	Good	23.0	Fair	9.9	Very Good	12.9	Good	25.8	Poor
Millyang B	13.2	Good	10.6	Good	4.5	Very Good	14.4	Good	6.6	Very Good	12.5	Good
Bungsung A	30.2	Poor	7.7	Very Good	0.8	Very Good	14.2	Good	4.4	Very Good	0.1	Very Good
YunggangA	14.4	Good	12.1	Good	10.9	Good	2.8	Very Good	9.1	Very Good	9.3	Very Good
Wechuan B	12.3	Good	13.2	Good	24.4	Fair	11.2	Good	9.2	Very Good	12.3	Good
HwanggangB	14.3	Good	63.5	Poor	50.8	Poor	12.0	Good	64.2	Poor	13.7	Good
Hoecheon A	13.7	Good	15.1	Fair	19.0	Fair	8.8	Very Good	12.7	Good	11.5	Good
Nakbon B	11.1	Good	8.4	Very Good	25.0	Poor	20.5	Fair	13.6	Good	10.0	Good
Yongjeon A	14.5	Good	12.5	Good	34.9	Poor	14.6	Good	7.9	Very Good	5.2	Very Good
Jukjangriver	18.6	Fair	14.6	Good	2.4	Very Good	1.3	Very Good	4.8	Very Good	17.4	Fair
HwanggangA	0.5	Very Good	12.6	Good	33.4	Poor	5.8	Very Good	2.5	Very Good	22.6	Fair
Namgang B	3.2	Very Good	14.0	Good	22.2	Fair	1.5	Very Good	2.1	Very Good	3.4	Very Good
Millyangdam	3.6	Very Good	11.7	Good	19.9	Fair	15.5	Fair	5.3	Very Good	12.4	Good

의 차이가 났다. TP의 경우는 다른 수질항목에 비해 0.8~55.3% difference로 훨씬 넓은 범위의 차이를 나타내고 있다. 이는 TP의 농도가 다른 항목에 비해 미량이기 때문에 차이의 범위가 더 많이 나타난다고 설명할 수 있다. 수질 항목에 대한 보정에서는 일반적으로 합리적인 % difference 결과 값을 얻은 것으로 판단되어 2013년도 자료로 검증을 실시하였다. DO의 경우는 0.2~13.7%, BOD는 1.3~23%차이로 비교적 연평균 부하가 잘 맞았으며 TN은 황강 B를 제외한 % difference가 0.5~24.3%으로 비교적 잘 모의 된 것으로 판단되지만 황강 B는 전반적으로 낮게 모의 된 것으로 나타났다. TP의 경우는 보정 때 보다는 % 차이가 훨씬 적게 나타나지만 보정 때와 마

찬가지로 같은 원인으로 해석할 수 있다.

2. HSPF모델 유역별 부하량 산정

HSPF 모델은 하천의 흐름에 따라 상류 유역으로부터 최종 방류지점 유역의 부하량 값이 누적되어 계산되기 때문에 실제 각 유역별 부하량을 도출해야 할 필요가 있다. HSPF유역단위의 실제 부하량을 산정하기 위해서는 하류유역 부하량에서 상류 유역의 부하량을 차감하여 계산하여 209개 유역들에 대해 연간 누적부하량을 산정하였다.

HSPF 각 유역별 부하량을 산정하기 위해서는 Figure 4과 Figure 5와 같이 하천모식도를 생성하여 하위 유역의 부하량 값에서 상류 유역의 부하량 값을

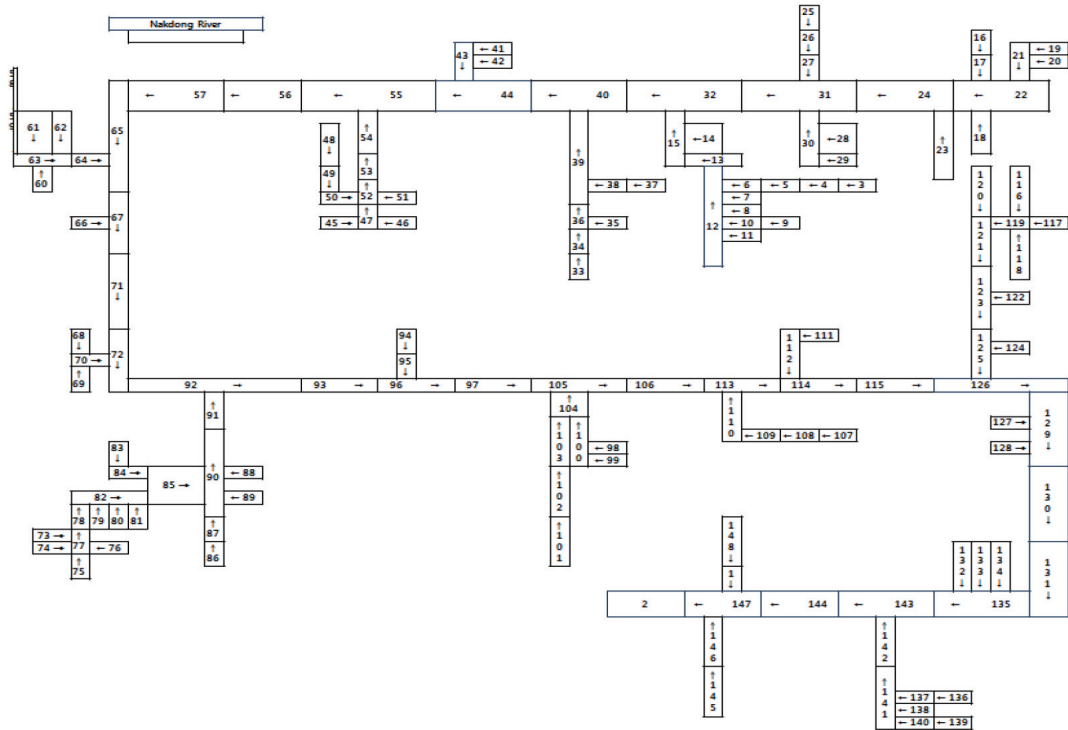


Figure 4. Flow diagram of major stream in Nakdong river

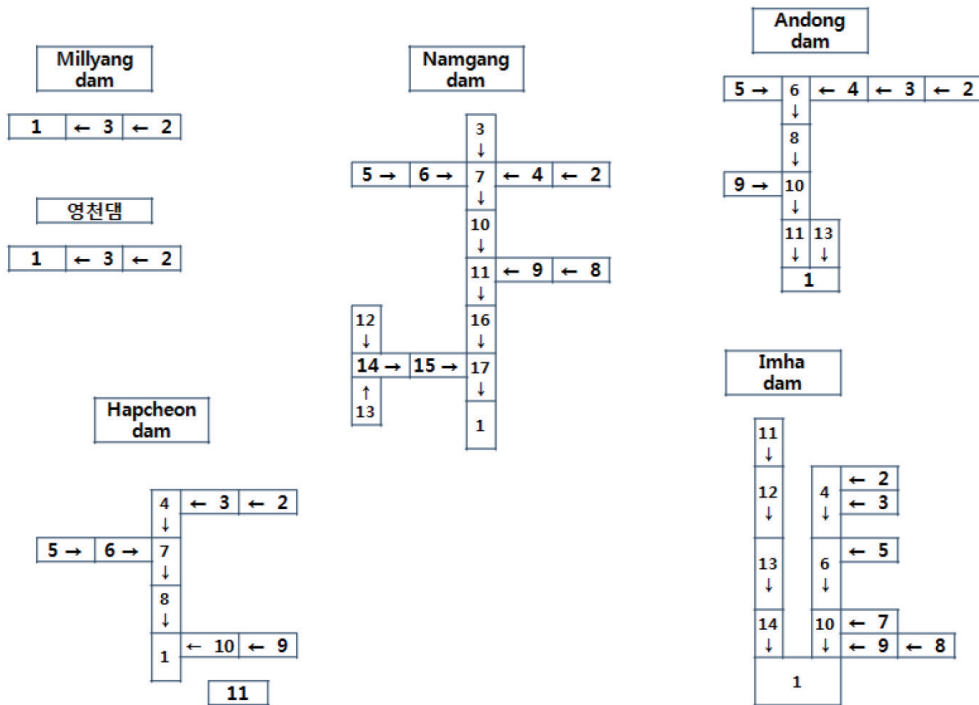


Figure 5. Flow diagrams of dams

Table 3. BOD annual accumulation load and landuse patterns of high ranked watersheds for nonpoint source pollutants discharge (annual accumulation load units of BOD, TN, TP: kg)

Area	Location	BOD (rank)	TN (rank)	TP (rank)	Landuse Description	Ratio (%)
Kyeongnam Uiryeong	RCH123	1,079.2 (1)	1,369.8 (3)	48.5 (7)	Agricultural Land	14.2%
					Forest Land	53.6%
					Urban or Built-up	3.6%
					Water	3.3%
					Wetland	25.3%
Kyeongnam Jinju	RCH121	911.6 (2)	1,381.5 (2)	50.4 (5)	Agricultural Land	14.6%
					Forest Land	61.4%
					Urban or Built-up	2.7%
					Water	3.3%
					Wetland	18.0%
Daegu city Dalseong	RCH092	335.6 (3)	276.3 (13)	14.1 (14)	Agricultural Land	10.9%
					Forest Land	56.7%
					Urban or Built-up	5.2%
					Water	4.6%
					Wetland	22.6%
Kyeongnam Jinju	RCH119	222.5 (4)	704.5 (6)	22.0 (9)	Agricultural Land	18.2%
					Forest Land	58.8%
					Urban or Built-up	3.8%
					Water	2.7%
					Wetland	16.5%
Kyeongnam Jinju	RCH116	219.9 (5)	298.4 (12)	17.2 (11)	Agricultural Land	13.5%
					Forest Land	62.6%
					Urban or Built-up	6.5%
					Water	9.5%
					Wetland	7.9%

차감하는 방식으로 각 유역별 부하량을 산정하였다. 앞서 언급한 방법으로 산정이 완료된 HSPF모델의 유역별 BOD 연간누적부하량 값을 높은 순위 5위까

지 Table 3에 나타냈다. BOD 연간누적부하량 이외에 TN 과 TP 연간 누적부하량 순위도 표시하였다.

Table 3 에서와 같이 BOD 연간 누적부하량이 높

Table 4. TN annual accumulation load and landuse patterns of high ranked watersheds for nonpoint source pollutants discharge

Area	Location	TN (kg)	Rank	Landuse Description	Ratio (%)
Busan Sasang-gu	RCH147	9,224.5	1	Agricultural Land	12.7%
				Forest Land	42.2%
				Urban or Built-up	10.3%
				Water	8.4%
				Wetland	26.4%
Kyeongnam Jinju	RCH121	1,381.5	2	Agricultural Land	14.6%
				Forest Land	61.4%
				Urban or Built-up	2.7%
				Water	3.3%
				Wetland	18.0%

Table 4. Continued

Area	Location	TN (kg)	Rank	Landuse Description	Ratio (%)
Kyeongnam Uiryong	RCH123	1,369.8	3	Agricultural Land	14.2%
				Forest Land	53.6%
				Urban or Built-up	3.6%
				Water	3.3%
				Wetland	25.3%
Milyang City	RCH143	959.2	4	Agricultural Land	18.0%
				Forest Land	62.8%
				Urban or Built-up	3.0%
				Water	6.0%
				Wetland	10.1%
Daegu Suseong-gu	RCH091	759.3	5	Agricultural Land	9.6%
				Forest Land	44.3%
				Urban or Built-up	39.0%
				Water	1.7%
				Wetland	5.4%

다고 TN 및 TP 연간누적 부하량이 높은 것은 아니었다. TN 연간 누적부하량에 대한 유역별 순위 및 토지형질에 대하여 Table 4에 표시하였다. TP의 경우는 검·보정시 불확도가 높고 낮은 농도를 나타내기 때문에 정확도를 위해 BOD 및 TN의 연간 누적부하량에 대해서만 나타내었다. 마찬가지로 TN 연간 누적부하량이 높은 유역이 TP 연간 누적부하량도 같이 높은 순위로 나타나지 않는 것을 알 수 있었다.

IV. 결론

유량 검·보정 결과 안동댐 및 합천댐 유역을 제외하고는 (Donigan 2000)이 제시한 R2 계수가 0.7이상을 나타냈으며 수질의 경우는 보정에서 병성A 지점을 제외한 다른 지점들의 BOD, TN 및 TP항목들의 % difference는 대부분 Good 이상이며 검정에서는 TP를 제외한 항목들도 Good 이상으로 모의된 것으로 나타났다. TP의 경우 모의되는 농도가 낮아 실측값과의 비교가 어려운 점이 있다는 것을 알 수 있어 모형을 이용한 TP항목의 예측은 불확도가 높다는 것을 알 수 있었다.

HSPF 모델을 이용한 유역별 비점오염부하를 산정한 결과 산림지역과 습지 및 농업지역이 많은 본류에

위치한 유역들이 상대적으로 산림지역이나 습지가 많은 댐 상류지역의 유역들 보다는 비점오염 유출이 많은 것으로 나타났다. 209개 유역별 BOD 연간 누적부하량을 산정한 결과 부하량 유출 값이 높은 순위는 RCH 123(경상남도 의령군), RCH 121(경상남도 진주시), RCH 92(대구광역시 달성군), RCH 119(경상남도 진주시), RCH 116(경상남도 진주시)순인 것으로 나타났다. TN의 연간 누적부하량 순위를 보면 RCH 147(부산 사상구)이 가장 높으며 RCH 121(경남의령), RCH 123(진주), RCH 143(밀양), 그리고 RCH 91(대구 수성구) 순으로 나타났다. BOD 및 TN 연간 누적부하가 제일 높은 각 5개 유역들의 경우 다 본류에 위치한 것이 특징이며 유출 특성을 분석하기 위하여 유역단위의 토지형질을 비교하였는데 각 유역단위의 토지형질 구성항목 중 가장 높은 비율을 차지하고 있는 형질은 산림 지역으로 상위 각 5개 유역들은 평균 40% 이상을 점유하고 있는 것으로 파악되었다. 대구 수성구를 제외한 토지형질 순위는 습지, 농지, 수역, 시가화 건조지역 순으로 비점오염 부하량 유출 상위 유역들에 대한 토지형질은 비슷한 점유율을 갖는 것으로 Table 3과 Table 4와 같이 나타났다. 일반적으로 불투수층이 많은 시가화 건조지역의 비점오염배출이 더 많을 것으로 예상되었지만 오히

려 산림지역의 비율이 높은 유역들에서 비점오염 부하량이 높은 결과가 나타났다. 또한 댐상류 지역보다는 본류지역 유역들이 비점오염 부하량 순위가 다 높은 것으로 나타났다. 이는 단지 토지형질에만 영향을 받는다고 해석하기 보다는 유역의 특성을 반영하는 다른 인자들이 영향을 미치는 것으로 판단된다. 유역의 경사장, 토양성상, 지리적 위치 등 유역 특징을 나타내는 다른 인자들이 비점오염 부하량과 밀접한 관계가 있다는 것을 확인한 연구 결과라 하겠다.

사 사

본 연구는 2014~2016 낙동강유역환경청의 낙동강수계 환경기초조사사업으로 지원받은 과제입니다.

References

- Donigian AS. 2000. HSPF Training Workshop Handbook and CD. Lecture #19. Calibration and Verification Issues. Slide #L19-22.
- EPA Headquarters, Washington Information Center. 10-14 January 2000. Presented and prepared for U.S.EPA. Office of Water. Office of Science and Technology, Washington, D.C.
- Hwagm BH, Kim DI, Yoon YS, Han KY. 2010. Non-point Source Quantification Analysis Using SWAT in Nakdong River Watershed. Korea Water Resources Association. 43(4): 367-381. [Korean Literature]
- Joo JH, Jung YS, Yang JE, Ok YS, Oh SG, Yoo KY, Yang SC. 2007. Assessment of Pollutant Loads from Alpine Agricultural Practices in Nakdong River Basin. Korean Journal of Environmental Agriculture. 26(3): 233-234. [Korean Literature]
- Kang TU, Lee SJ. 2016. A Simulation Method for Reduction Facilities of Natural Type for Non-Point Pollution by SWMM. Journal of Korean Soc. Hazard Mitig. 16(2): 123-131. [Korean Literature]
- Kwon HG. 2011. Quantitative Assessment of Nonpoint Source Load by Applying Watershed Model and Level-2 and Land Cover Map. Ph. D deissertation University of Yungpook National.
- Lee JW, Kwon HG, Yi YJ, Cheon SU. 2013. The Calculation of NPS Load per Unit Area in Orchard to the Nakdong River Basin. Journal of Environmental Impact Assessment. 22(6): 6557-568. [Korean Literature]
- Lee JW, Kwon HG, Yi YJ, Yoon JS, Han KY, Cheon SU. 2012. Quantitative Estimation of Nonpoint Source Load by BASINS/HSPF. Journal of the Environmental Sciences. 21(8): 965-975. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2004. Evaluation of the Facilities Designed to Reduce Non Point Source Pollution.
- Ministry of Environment. 2009. Application of LID technologies to natural nonpoint source control.
- Ministry of Environment. 2010. A study of watershed model management for TMDL.
- Yu JJ, Lee CG, Kim MS, Yun YS, Kwon HG, Song JK, Lee SY, Shin CK. 2006. Statiatical Analysis of Longterm Water Quality Trend in Nakdong River Basin(1989-2005). Nakdong River Environment Research Centers. pp5-6. [Korean Literature]