

서울시 한강 수질 예측 시스템 구축방안 연구

서울시 보건환경연구원, 건국대학교*

조수석 · 윤호균 · 하현주 · 이진호 · 양인혜 · 이승구 · 천정완 · 이태호
양진영 · 김지희 · 김진아 · 길혜경 · 이목영 · 정 권 · 류제하* · 윤춘경*

Water Quality Prediction in the Han River Watershed by using an HSPF Model

Aquatic Ecology Team
*College of Environmental Science, Konkuk University**

**Soo-seock Cho, Ho-kyun Yoon, Hyun-ju Ha, Jin-hyo Lee,
In-heai Yang, Seung-koo Lee, Chung-wan Chun, Tae-ho Lee,
Jin-young Yang, Ji-hui Kim, Jin-a Kim, Hye-kyung Kil,
Mok-young Lee, Kweon Jung, Je-ha Ryu* and Chun-gyeong Yoon***

Abstract

This study was carried out to set up a predictive system of water quality in the Han River watershed by using an Hydrological Simulation Program - Fortran(HSPF) model. The HSPF model was built using various data types including topographical data, meteorological data, and hydrological results. The established HSPF model was then verified and calibrated against water quality(DO, temperature, BOD, T-N, T-P) and water flow data obtained from the Ministry of Environment(six sites, 2010~2015). To evaluate the results of validation and calibration of water quality and water flow, the percentage difference was used. The water flow results in all sites were classified as "Very Good" and water quality results were classified as more than "Good". It was confirmed that the simulated data well reflected the observed data, and that the established HSPF model was adequate for simulating watershed characteristics.

Key words : HSPF model, water quality, flow, Han River

서 론

우리나라는 급격한 산업화 및 도시화 등으로 오염원 및 오염물질 배출량이 증가하여 하천 수질은 크게 악화되었으며, 이에 정부는 악화된 하천 수질에 대한 대책으로 「4대강 물관리종합대책(1998~2005)」, 「물관리종합대책(2006)」, 「제1차 물환경관리 기본계획(2006~2015)」 등에 따라 수질오염총량제 및 환경시설 등에 대한 과감한 투자로 수질은 크게 개선되었으며, 지속적으로 개선되는 경향을 보이고 있다(1~3).

한강수계 수질개선의 경우, 특히 팔당상수원의 수질개선을 위해 한강수계의 오염총량관리제도를 도입과 함께 팔당 상수원 주변과 상류유역에 수변구역을 지정하여 오염방지대책을 강화하고, 오폐수배출기준의 강화, 환경기초시설의 확충 등 오염삭감대책을 추진하며, 물이용부담금제도를 도입하여 상수원지역에 대한 지원을 대폭 강화하고 있으며, 한강수계관리위원회를 설치하여 수질행정체계를 개편하는 등 다양한 수질개선정책을 수행하고 있다(4~5).

이러한 정부의 정책에 상응하고자 서울시는 '2020 물환경 종합관리계획' 정책방안으로 "자연과 사람이 공생하는 건전한 물환경 복지도시"를 이루는 것을 비전으로 시행중이며, 이를 달성하기 위해 4가지 관리방향으로 기후변화 적응력 강화, 수생태계 건강성 증진, 유역통합 물환경 관리, 물문화의 발굴 및 확산 등을 설정하여 운영 중이다(6).

서울시의 '물환경 종합관리계획' 비전의 성공을 위해서라면 우선적으로 한강권역의 유역에 대한 과학적이고 신뢰성 있는 분석과 이해가 필요하며, 이를 위해선 유역, 수질분석이 필요하며 나아가 한강권 개발계획에 맞춘 장래수질에 대한 예측과 개발계획에 따른 여러 시나리오 분석을 통해 정확하고 신뢰성 있는 분석이 필요하다.

이에 본 연구에서는 '2020 물환경 종합관리계획'에 맞추어 팔당댐 하류부터 행주대교 이전까지의 한강구간을 대상으로 유역관리를 위한 유역모형(HSPF)의 구축 및 적용방안을 연구하였다.

재료 및 방법

1. 대상 지역

본 연구의 대상지역은 한강수계로 팔당댐 이남부터 행주대교까지 서울시를 관통하는 한강을 대상으로 하였다. 한강유역은 북위 36°30'~38°55', 동경 126°24'~129°02'에 걸쳐 한반도 중앙부에 위치하고 있으며 유역면적은 남한의 약 35%에 해당하는 35,770.0 km²(임진강유역 포함)이고, 유로연장 494 km, 유역 평균폭 75.5 km, 유역형상계수 0.146인 남한 제 1의 하천이다. 이 중 서울특별시 행정 관할 구역인 강동구 하일동에서 강서구 개화동에 이르는 한강의 유로연장은 약 41.0 km이며, 서울시 구간에서는 총 34개의 중소하천이 한강으로 유입하고 있으며, 총배수면적은 1,255.85 km²로써 강북이 383.31 km²이고 강남이 841.54 km²에 이르고 있다(7).

2. 모형의 선정

유역내의 수리 및 수질의 영향을 분석하고 수질관리정책이 수계의 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해서 모형이 필요하다. 이런 모형 선정에 고려되어야 할 부분은 모형을 실행하고 보정(Calibration) 및 검정(Validation)을 거치는데 필요한 입력자료의 양과 형태, 필요로 하는 결과물 등이다. 본 연구의 적용모형은 연구의 목적에 부합하고 가용자료를 효과적으로 활용할 수 있는 모형을 선정하였다.

1) 유역모형(HSPF)

1960년대 초반 스탠포드 유역모형(Stanford Watershed Model)으로 처음 개발된 HSPF(Hydrological Simulation Program - Fortran) 모형은 지속적인 기능 추가 및 개선을 통해서 사용자가 보다 편리하게 사용할 수 있도록 개발되었다. HSPF모형은 농촌지역과 도시지역이 혼재된 복합유역에 적용 가능하며, 광범위한 유기물질 및 무기오염물질에 적용 가능한 특징이 있다(8). 본 연구에서는 Windows 기반으로 발전시킨 WinHSPF(A Interactive Windows Interface to HSPF)

를 사용하였다.

3. 모형의 구축

1) 유역모형(HSPF)의 구축

한강 유역의 특성을 파악하기 위하여 조사된 오염원, 수리수문, 기상, 지형 등의 자료를 유역모형(HSPF)에 연계될 수 있도록 Database화 하였다. 또한 범용 프로그램인 Excel을 이용하여 BASINS(Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Source)과 Win-HSPF의 구축 및 입력을 위한 속성 파일 변경, 단위환산 등의 중간과정을 거친 후 HSPF 모형의 입출력 관리시스템인 WDMUtil을 이용하여 방대한 시계열 자료의 입력, 가공, 분석을 수행하였다.

(1) 유역도 및 하천도

유역도는 ArcView GIS 기반인 BASINS 프로그램에서 환경부에서 제공한 중권역 Shape파일로 Table의 속성을 변경하여 이용하였으며, 하천도의 경우는 국가수자원관리종합정보시스템(9)의 자료를 이용하였다.

(2) 수치고도모델

수치고도모델은 대상지역을 격자로 나누고 각 격자간의 평균 고도값과 각각 격자간의 위상관계를 포함하고 있어, 대상지역의 지형을 표현 할 수 있는 수치자료로, 본 연구에서는 국가공간정보포털(10)에서 제공되는 2013년도 수치지형도(GRS 80) 자료를 이용하여 구축하였다

(3) 소유역 분할

지형자료 입력 후, BASINS에서 Automatic Delineation Utility를 사용하여 소유역을 분할하였다. 소유역의 분할 시 검·보정을 용이하게 하기 위해 수질측정망(11)의 위치 및 HSPF에서 가능한 최대 소유역 수인 50개 미만으로 분할 등을 고려하여 48개의 소유역으로 분할하였다.

(4) 토지이용도

환경공간정보서비스(12)에서 제공하는 토지피복 분류자료를 이용하여 분할된 소유역에 대한 각각의 토지이용정보를 입력하였다. 입력된 자료는

HSPF 모형에 적절하도록 재분류하였고, 도시, 논, 밭, 산지, 나지, 습지, 저수지, 초지 등을 BASINS내에 입력하여 HSPF에 반영하였다.

(5) 기상자료

기상자료는 2005년 01월 부터 2015년 12월까지 서울, 수원, 동두천 기상대의 시간자료(13)를 이용하였으며, 입력자료는 강수량, 기온, 풍속, 일사량, 이슬점온도, 전운량 값 등 7개 항목이다.

(6) 점오염원

하천 수질오염에 영향을 미치는 오염부하량을 정량적으로 산정하기 위해 우선적으로 점오염원 자료가 필요하며, 본 연구에 입력된 점오염원의 자료는 서울시 및 구리, 남양주시 등 한강 및 한강 지류에 직간접적으로 방류되는 하수처리장을 대상으로 2009~2015년 오염원조사 자료(14)를 이용하였으며, 항목은 방류유량, BOD, TN, TP 농도 등을 입력자료로 사용하였으며, 각 하천 및 처리장의 질소/인의 형태별 비율을 고려하여 NO₃-N, NH₃-N, ORG-N, ORG-P, BOD, PO⁴-P로 구분하여 입력하였다.

4. 모형의 검보정

1) 모형의 검보정 지점

구축된 유역(HSPF)모형은 수질오염총량제도에 서 유량/수질측정지점인 왕숙 A, 한강 G, 탄천 A, 중랑 A, 한강 H, 한강 I에 대하여 유량 및 수질에 대한 검보정을 진행하였다(그림 1). 모형의 모의 기간은 2007년 1월 1일부터 2015년 12월 31일로 2007년부터 2009년까지는 모형의 안정화기간, 2010년부터~2012년은 검정 기간, 2013~ 2015년까지를 보정 기간으로 설정하였다. 검보정 대상 항목은 Flow, DO, 수온, BOD, T-N, T-P 이며, 7~8일 간격으로 모니터링된 총량측정망 실측치 자료를 기준으로 일단위로 실시하였다.

2) 모형의 검보정 - 유량

유역 유출량 보정은 대상유역 내에는 국가유량 측정망 자료를 이용하여 보정하였으며, 모형의 보정은 단순시행착오법을 이용하였다. 이는 모형의

다양한 변수를 변화시켜 상관계수 및 결정계수 등의 최적점을 찾는 방법으로 반복 횟수가 충분할 경우 전체 근사 최적점에 도달이 가능한 방법이지만, 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다(15). 모형의 보정 결과는 US EPA에서 제안한 상대오차(% Difference) 방법을 이용하여 평가하였으며, 상대오차 산정에 대한 식은 아래 식(1)과 같다(16).

$$\%Diff. = \left(\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i \right) / \sum_{i=1}^n O_i \times 100 \quad \text{식(1)}$$

여기서 O_i 는 실측값, P_i 는 모의값, n 은 자료의 개수를 의미한다. 한편, 현재까지 HSPF 모형의

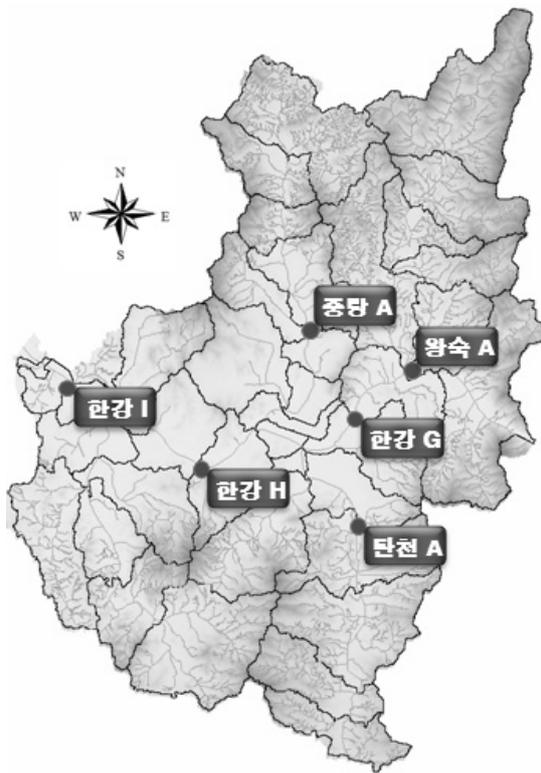


Fig. 1. The sites of calibration and validation.

적용사례 및 연구자료를 바탕으로 일반적인 모형 효율의 범위와 신뢰구간을 표 1과 같이 나타내었다(17).

HSPF 유량에 관련된 매개변수의 민감도 분석을 수행한 결과, 비교적 큰 영향을 미치는 인자로는 PERLND 모듈 PWAT-PARM1, 2 Block의 LZSN, INFILT, KVAR, AGWRC와 PWAT-PARM3 Block의 UZSN, INTFW, IRC 등임을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 PWAT-PARM1, 2 Block의 INFILT, KVAR, AGWRC의 세 인자만 사용하였다(표 2).

3) 모형의 검보정 - 수질

수질의 보정 및 검증시 실측값에 대한 모의 결과의 적절성을 평가하기 위해서 BASINS/HSPF Training Lecture 15번(13)의 "Watershed Model Calibration and Validation: Issues and Procedures"에 수록되어 있는 수질항목별 % difference 신뢰구간(표 3)과 모든 관측지점에서 수질항목별 실측값과 모의값 농도 비율의 평균 및 범위(표 4)를 이용하였다.

HSPF 모형에서 수질을 보정할 때 수온, DO를 먼저 보정한 후 BOD, T-N, T-P에 대하여 보정을 수행하였다. 표 5~7은 본 연구에서 총 5개의 수질 항목 보정시 사용된 매개변수들을 정리한 결과이다.

수온에 영향을 미치는 주요변수로는 PERLND, IMPLND Section의 PSTEMP module과 IWATGAS module, REACHES Section 내 HICHTH module의 KATRAD, KCOND, KEVAP, CFSAEX가 일반적으로 가장 중요한 매개변수이다. 그 중 CFSAEX는 하천에 도달하는 실질적인 태양복사에너지의 양을 결정하는 역할을 하기 때문에 비교적 민감도가 큰 것으로 나타났다.

DO와 BOD 관련 매개변수로는 RCHRES

Table 1. General calibration and validation targets or tolerances for HSPF application(Donigian, 2000)

%Diff.	Very Good	Good	Fair	Poor
Water flow	< 10	10~15	15~25	-

Table 2. Parameter values for flow simulation

Parameter	Description	Unit	Model Range	Possible Range	Initial Value	Final Value
INFILT	Index to infiltration capacity	in/hr	0.0001~100.0	0.001~0.5	0.16	0.10~0.27
KVARY	Variable groundwater recession	1/in	0.0~5.0	0.0~5.0	0.0	0.0~0.8
AGWRC	Base groundwater recession	none	0.001~0.999	0.85~0.999	0.98	0.92~0.98

Table 3. General calibration and validation targets or tolerances for HSPF application

Constituent	Very Good	Good	Fair
Hydrology/Flow	< 10	10 ~ 15	15 ~ 25
Sediment	< 20	20 ~ 30	30 ~ 45
Water temperature	< 7	8 ~ 12	13 ~ 18
Water Quality/Nutrients	< 15	15 ~ 25	25 ~ 35
Pesticides/Toxics	< 20	20 ~ 30	30 ~ 40

Table 4. Average and range of simulated/observed concentration ratios

Constituent	Average	Range
Dissolved Oxygen	0.99	0.90 ~ 1.06
Ammonia as N	0.93	0.73 ~ 1.18
Nitrite-Nitrate as N	0.99	0.83 ~ 1.21
Organic Nitrogen	0.91	0.80 ~ 1.20
Total Nitrogen	0.91	0.83 ~ 0.97
Orthophosphate as P	1.33	0.91 ~ 1.90
Organic Phosphorus	1.35	1.18 ~ 1.62
Total Phosphorus	1.40	1.10 ~ 1.82
Total Organic Carbon	0.89	0.71 ~ 1.06

Section에서 OXR module 내의 매개변수가 많이 사용되고 있으며, 일부 NUTRIX module의 매개변수인 CVBO, CVBPC, CVBPN도 사용되고 있다. 표 6는 DO와 BOD 보정시 사용한 매개변수들을 정리한 것이다.

T-N과 T-P 보정을 위해서는 PERLND Section의 PQUAL module에서 수질항목별 초기값 또는 축적을 입력에 대한 부분과 RCHRES Section의 NUTRX module 내에 제시되어 있는 매개변수(표 7)를 조정하여 실측값과 모의값간의 차이를 감소시켰다.

결 과

1. 유량 검보정 결과

왕숙 A의 유량 검보정 결과는 그림 2와 같으며, 상대오차가 각각 6.95, -5.55로 “Very Good” 수준이었으며, R² 또한 0.81, 0.87 수준으로 모의값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

한강 G의 유량 검보정 결과는 그림 3과 같으며, 상대오차가 각각 -8.96, -9.09로 “Very Good” 수준이었으며, R² 또한 0.73, 0.87 수준으로 모의값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

Table 5. Parameter values involved the temperature in HSPF model

Parameter	Definition	Unit	Typical Range	Possible Range
ASLT	The surface layer temperature when the air temperature is 32 degrees F in Pervious land	deg F	0~100	40
BSLT	The slope of the surface layer temperature regression equation in Pervious land	deg F	0.001~0.2	0.3
ULTP1	The smoothing factor in upper layer temperature calculation	-		40
AWTF	The surface water temperature, when the air teperature is 32 degrees F in Impervious land	deg F	0~100	40
BWTF	Tthe slope of the surface water temperature regression equation in Impervious land	deg F	0.001~2	0.1
KATRAD	The longwave radiation coefficient	-	1~20	9.5
KCOND	The conduction-convection heat transport coefficient	-	1~20	6.12
KEVAP	The evaporation coefficient	-	1~10	2.24
CFSAEX	The correction factor for solar radiation	-	0.001~2	0.95

탄천 A의 유량 검보정 결과는 그림 4와 같으며, 상대오차가 각각 5.04, -2.36으로 “Very Good” 수준이었으며, R² 또한 0.92, 0.84 수준으로 모의값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

중랑 A의 유량 검보정 결과는 그림 5와 같으며, 상대오차가 각각 4.53, 0.92로 “Very Good” 수준이었으며, R² 또한 0.93, 0.97 수준으로 모의값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

한강 H의 유량 검보정 결과는 그림 6와 같으며, 상대오차가 각각 -6.68, -1.73으로 “Very Good” 수준이었으며, R² 또한 0.99, 0.97 수준으로 모의값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

한강 I의 유량 검보정 결과는 그림 7와 같으며, 상대오차가 각각 -5.76, -3.05로 “Very Good” 수준이었으며, R² 또한 1.00, 0.92 수준으로 모의값이 실측값을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

Table 6. Parameter values involved the DO and the BOD in HSPF model

Parameter	Definition	Unit	Typical range	Lee (2005)	Han (2007)	Jang (2006)	Shin (2008)
KBOD20	BOD decay rate at 20°C	1/hr	0.001 ~0.14	0.001 ~0.01	0.002 ~0.004	0.011 ~0.015	0.001 ~0.014
KODSET	Rate of BOD settling	ft/hr	> 0		0.0001 ~0.027	0.018 ~0.033	0.017 ~0.028
REAK	Reaeration coefficient	1/hr	-		0.2 ~0.726	0.48	0.2 ~0.7
TCBOD	Temperature correction coefficient for BOD decay	-	-	1.047			
BRBOD	Base release rate of BOD materials	mg/m ²	> 0.0001				0.001 ~5.001
BODOX	Dissolved oxygen	mg/L		19.8			
BOD	Biochemical oxygen demand			1.5			
CVBO	Conversion from milligrams biomass to milligrams oxygen	mg/mg	1.0 ~5.0		1.63 ~2.00		1.00 ~3.00
CVBPC	Conversion from biomass expressed as phosphorus to carbon	moles /mol	50 ~200		80 ~180		56 ~196
CVBPN	Conversion from biomass expressed as phosphorus to nitrogen	moles /mol			16 ~35		16~46

Table 7. Parameter values involved the T-N and the T-P in HSPF model.

Parameter	Definition	Unit	Typical range	Leee (2005)	Han (2007)	Jang (2006)	Shin (2008)
KNO320	Denitrification rate of nitrate	1/hr	0.0001 ~	0.001 ~0.5	0.001 ~0.045	0.001	0.001 ~0.045
KTAM20	Oxidation rate of total ammonia	1/hr	0.0001 ~	0.001 ~10.05	0.015 ~0.05	0.025	0.001 ~0.055
KNO220	Oxidation rate of nitrites	1/hr	0.0001 ~		0.002 ~0.05	0.012	0.002 ~0.052
TCNIT	Temperature coefficient for the nitrogen oxidation rate	-		1.07 ~2	1.00 ~1.07		
TCDEN	Temperature coefficient for the denitrification rate	-			1.04		
DENOXT	Oxygen concentration threshold above which denitrification ceases	mg/L			1.00 ~5.00		
KDSAM	Ammonium desorption factor	1/day	0 ~none				
KIMNI	Nitrate immobilization factor	1/day	0 ~none				
TAM	Initial concentrations of total ammonia	mg/L	-	0.1			
PO4	Initial concentrations of total ortho-phosphorus	mg/L	-				
BROPO41	The benthic release rate of ortho-phosphate under aerobic conditions	mg/m ² /hr					
BROPO42	The benthic release rate of ortho-phosphate under anaerobic conditions	mg/m ² /hr					

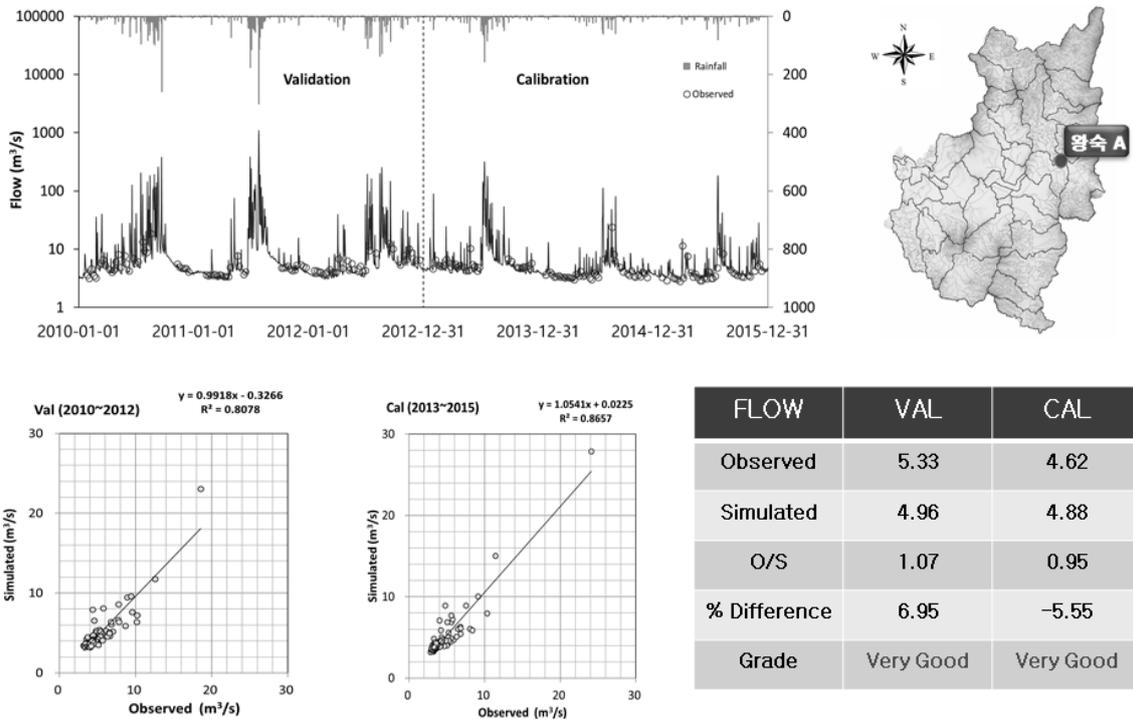


Fig. 2. Calibration and validation of flow for Wangsuk A.

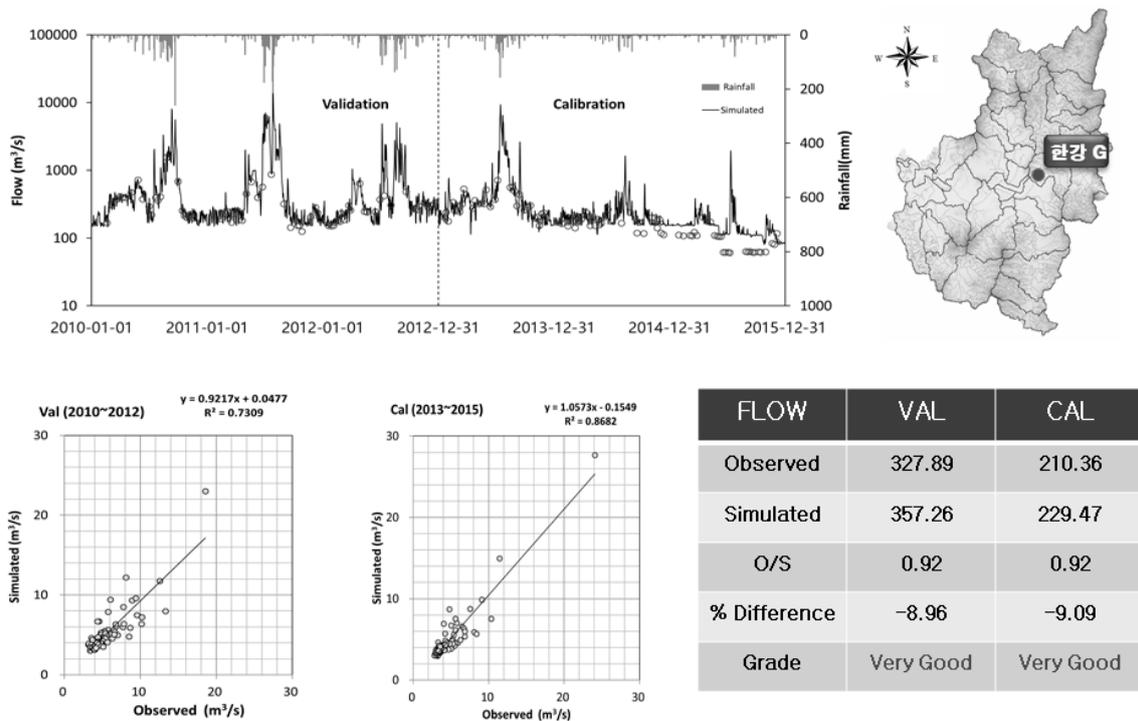


Fig. 3. Calibration and validation of flow for Han River G.

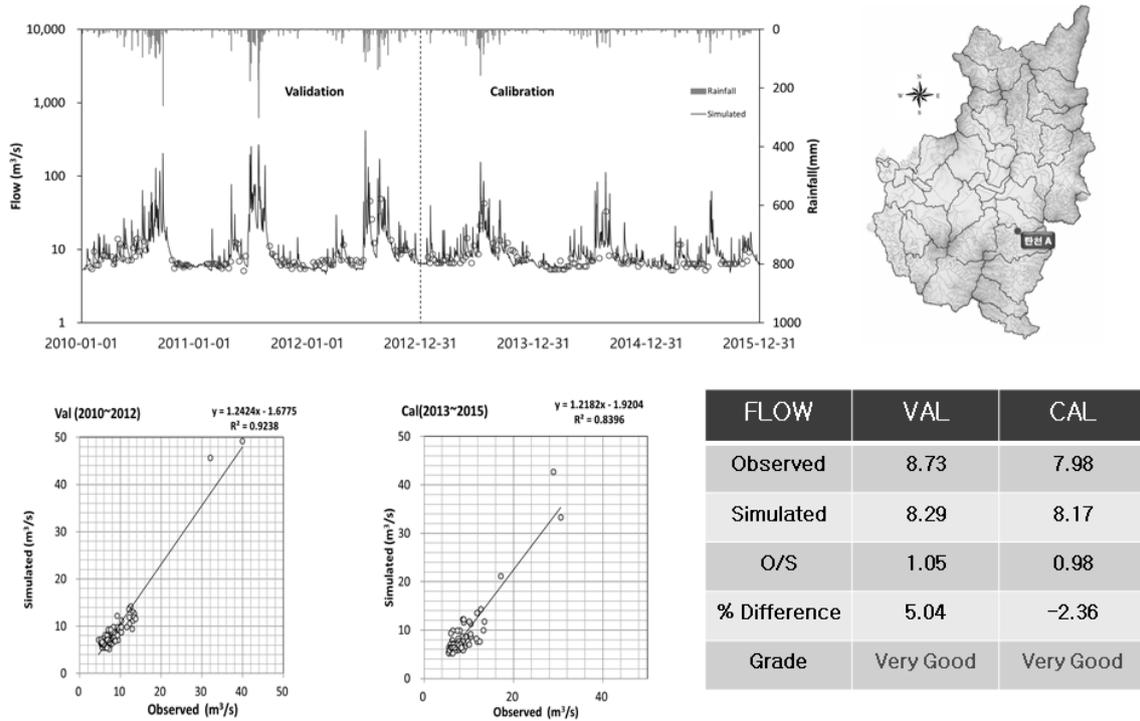


Fig. 4. Calibration and validation of flow for Tanchun A.

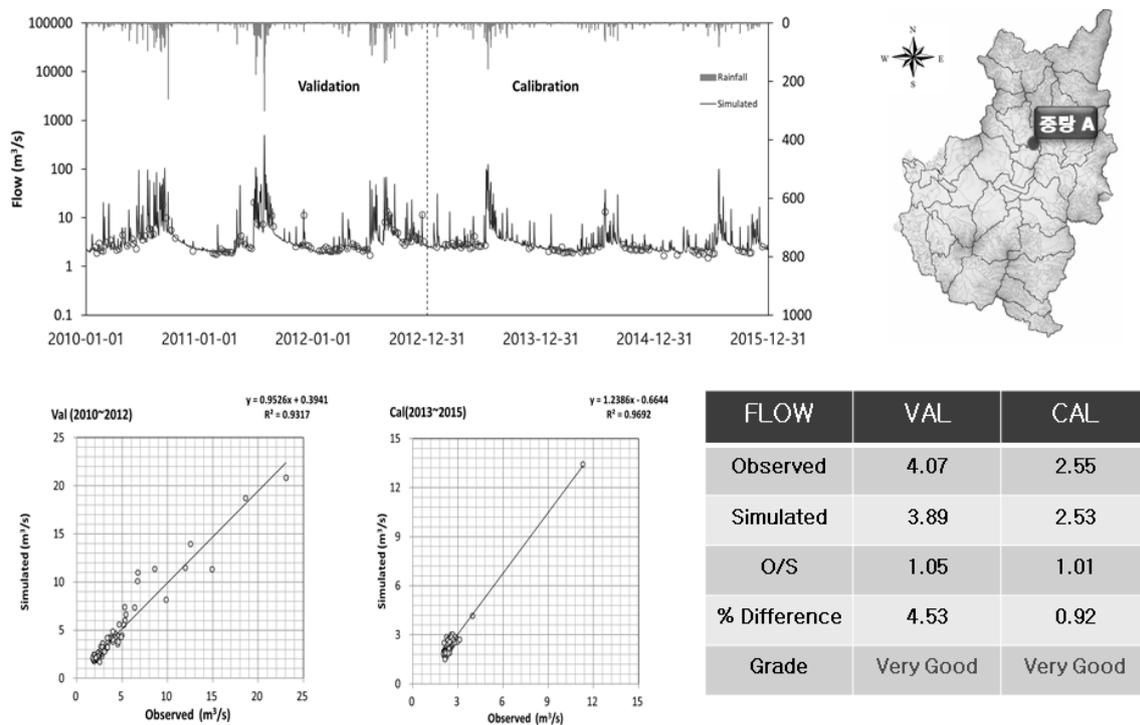


Fig. 5. Calibration and validation of flow for Jungrang A.

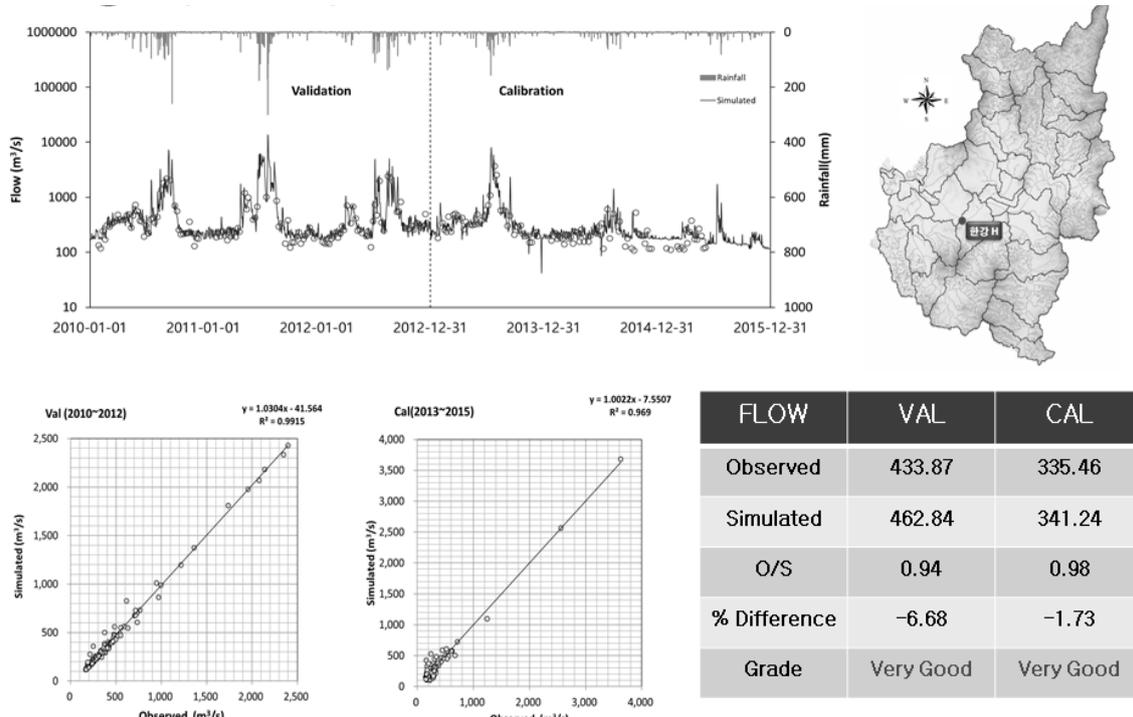


Fig. 6. Calibration and validation of flow for Han river H.

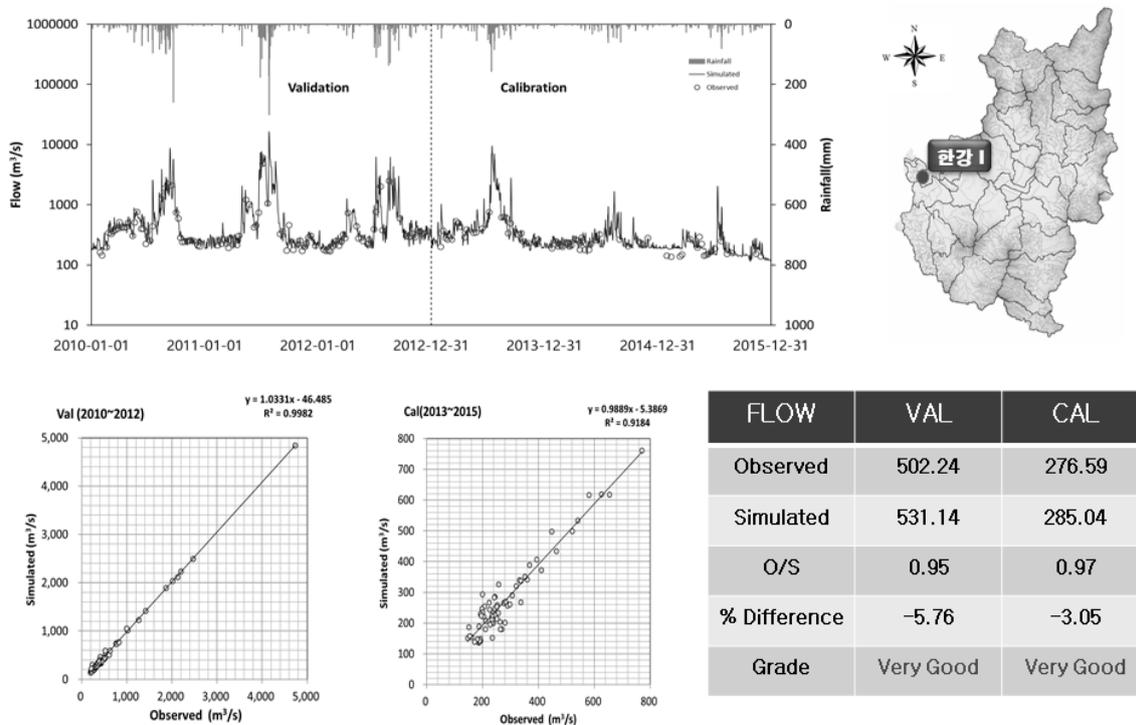


Fig. 7. Calibration and validation of flow for Han river I.

2. 수질 검보정 결과

수질보정은 8일 간격으로 연 30회 이상 측정된 수질오염총량관리 단위유역 말단의 수질자료를 이용하였으며, 수질 검보정은 유량에 대한 검보정을 완료한 후 수온, DO, BOD, T-N, T-P 항목에 대하여 검보정을 시행하였으며, 수질 검보정에 사용한 매개변수의 범위 및 적용 값은 표 8에 나타내

었다. 수질 항목의 검·보정 결과는 그림 8~그림 13과 같다.

수질 검보정 결과 각 지점별로 상대오차에 대한 등급이 'Good'~'Very Good' 수준으로 나타나 실측값에 대한 모의값의 반영이 잘 모의된 것으로 판단된다.

Table 8. Parameter values for water quality simulation

Parameter(Units)	Definition	Range
KEVAP	The evaporation coefficient	1.0~10.0
REAK(hr ⁻¹)	Empirical constant for reaeration equation	0.01~1.0
KBOD20(hr ⁻¹)	BOD decay rate at 20°C	0.0~none
KODSET(ft/hr)	BOD settling rate	0.0~none
BENOD	Benthic oxygen demand at 20°C(mg/m ² ·day)	0.0~none
EXPOD	Exponential factor to benthic oxygen demand function	0.1~none
KTAM20	Nitrification rate of NH ₄ at 20°C	0.001~none
KNO220	Nitrification rate of NO ₂ at 20°C	0.001~none
KNO320	Denitrification rate at 20°C	0.001~none
MALGR	Temperature corrected maximum algal growth rate(/hr)	0.008~0.3
ALR20	Algal respiration rate(/hr)	0.0~none
PHYSET	Phytoplankton settling rate(ft/hr)	0.001~0.55
MBAL	Maximum benthic algae density(mg/m ²)	0.0~none

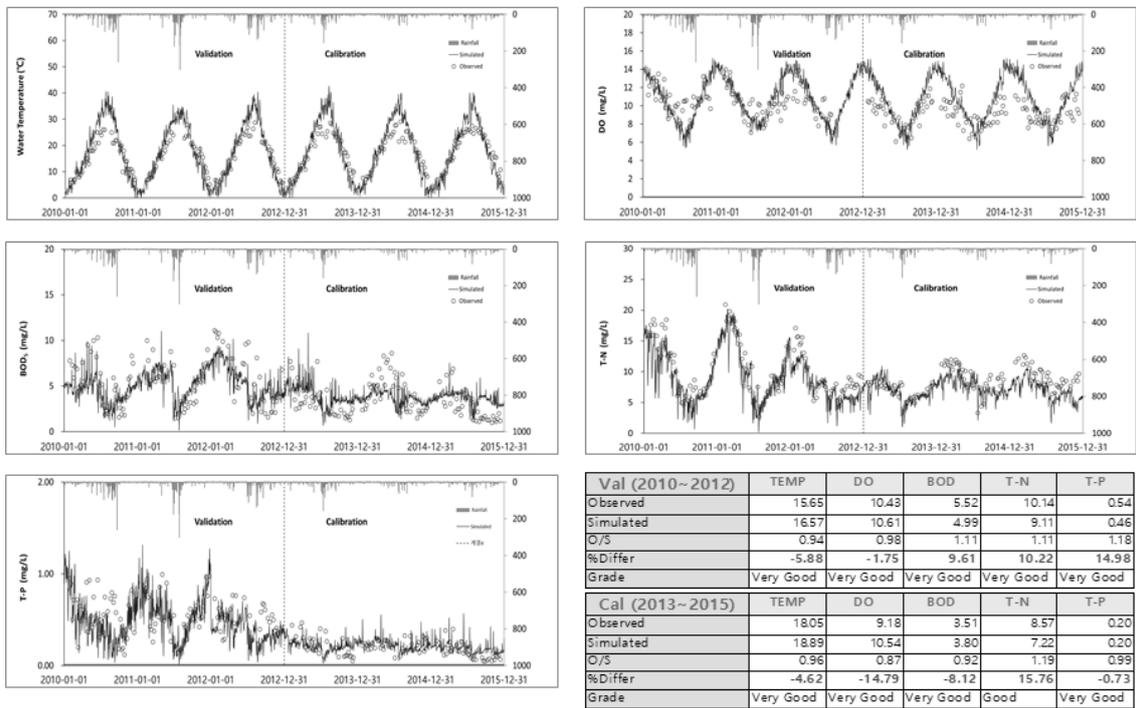


Fig. 8. Calibration and validation of water quality for Wangsuk A.

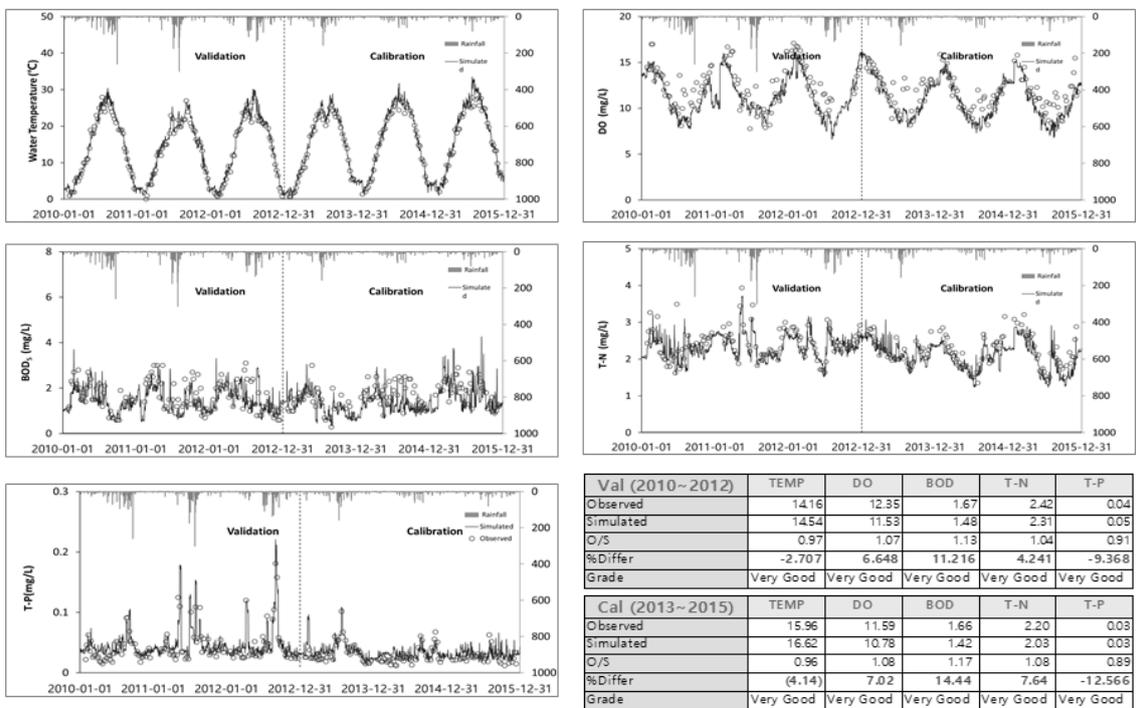


Fig. 9. Calibration and validation of water quality for Han river G.

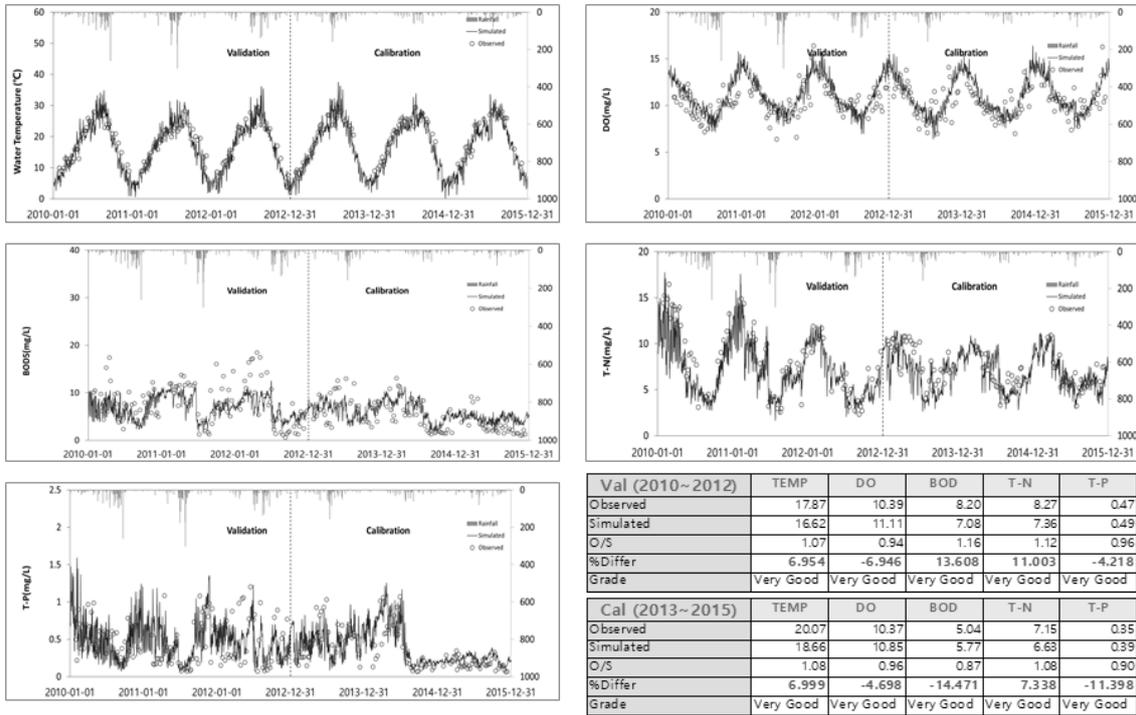


Fig. 10. Calibration and validation of water quality for Tanchun A.

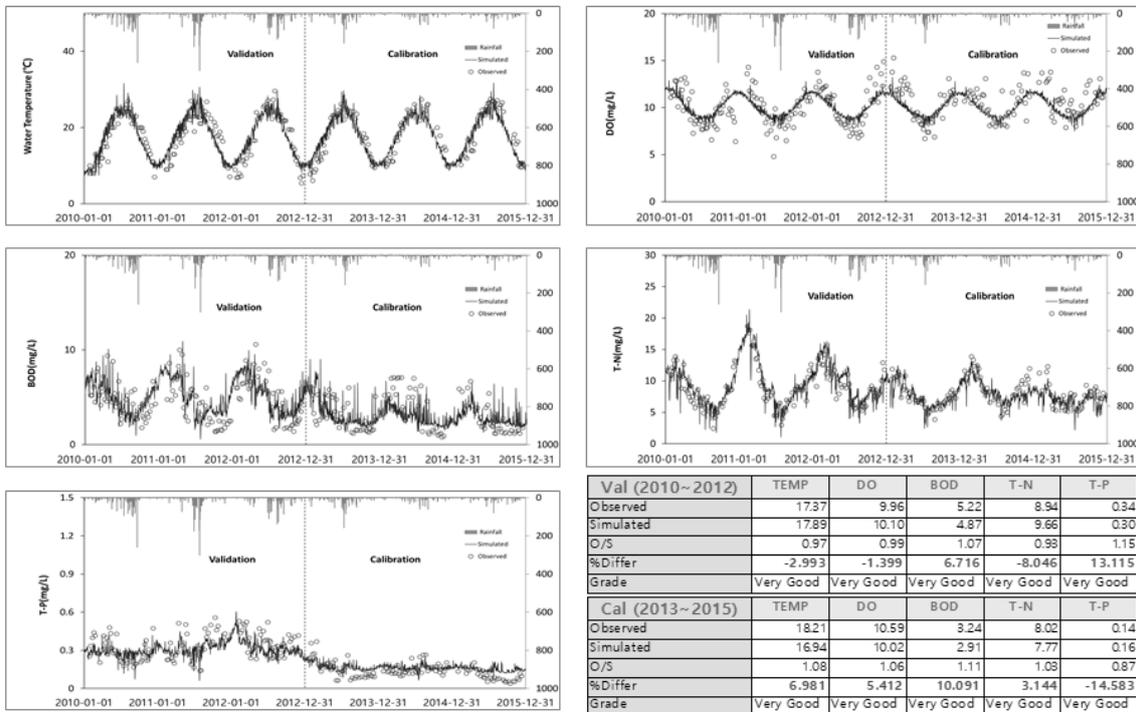


Fig. 11. Calibration and validation of water quality for Jungrang A.

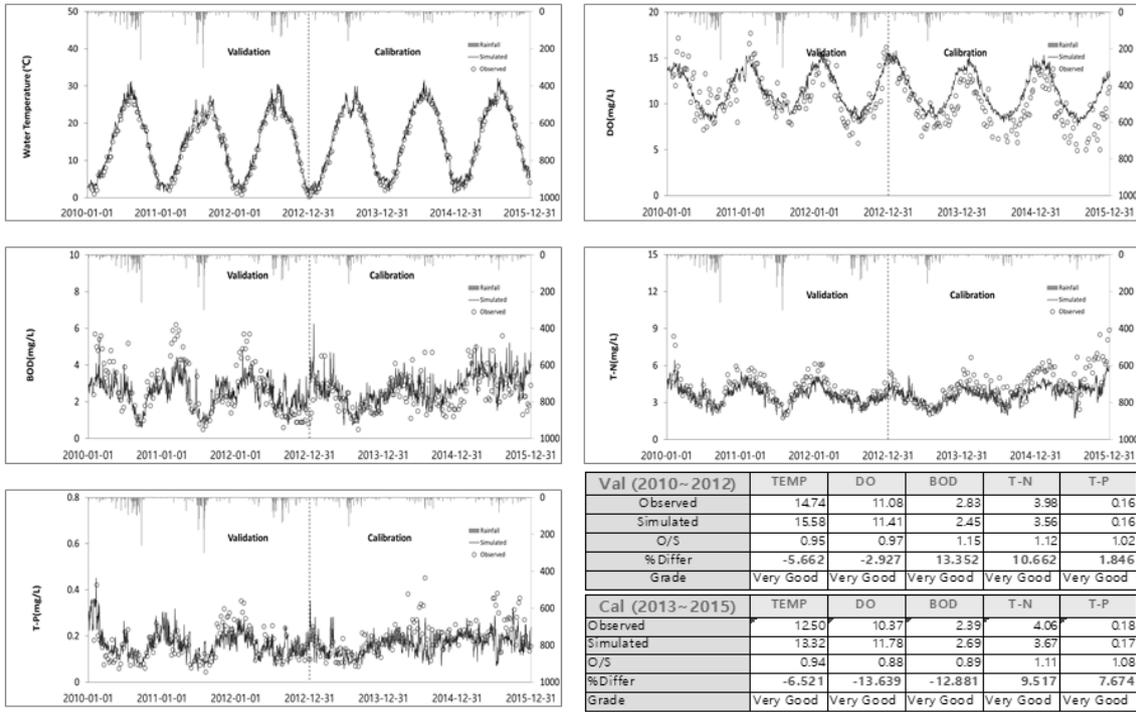


Fig. 12. Calibration and validation of water quality for Han river H.

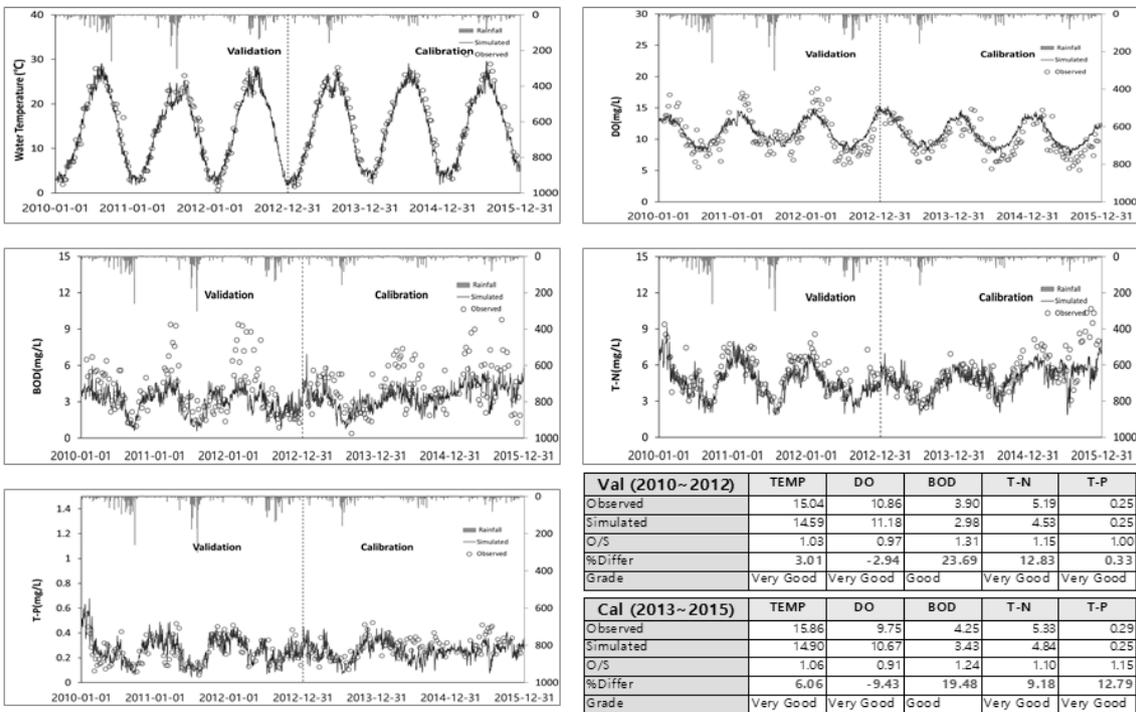


Fig. 13. Calibration and validation of water quality for Han river I.

결 론

본 연구에서는 한강(팔당댐 하류~행주대교)유역을 대상으로 수질 현황 파악과 향후 예측을 위한 방안으로 유역모형을 구축하고 적용성을 검토하였다.

유역모형(HSPF)의 구축을 위해 유역도, 하천도, 수치고도모형, 토지이용도, 기상자료, 점오염원 자료 등을 이용하였으며, Basin 프로그램을 이용하여 총 48개의 소유역으로 구분하여 모형을 구축하였다.

구축된 모형을 이용하여 환경부 수질오염총량 측정망을 대상(왕숙A, 한강G, 탄천A, 중량A, 한강H, 한강I)으로 유량 및 수질 검보정을 실시한 결과 상대오차에 대한 기준으로 모든 항목들에서 'Good~Very Good' 수준으로 나타나 모의값이 실측값을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

따라서, 유역모형(HSPF)의 적용성 검토 결과, 한강유역 같이 대권역 수준에서도 본 모형의 적용이 가능한 것으로 판단되며, 향후 타 모형과의 연계를 통한 모형 적용 방안도 고려해야 할 것으로 판단된다.

또한, 본 연구의 수질 예측 및 시나리오 설정 방향에 기초데이터와 방법론을 제공함으로써 향후 한강 유역의 수질 개선 및 보전 계획 수립시에 본 연구가 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 환경부 : 4대강 물관리종합대책(1998~2005), 2006.
2. 환경부 : 물관리종합대책, 2006.
3. 환경부 : 제1차 물환경관리 기본계획(2006~2015), 2006.
4. 공동수 : 우리나라 수질총량관리 현황 및 전망, 한국수자원학회지, 38(3):14~22, 2005.
5. 서울특별시 : 서울특별시 수질오염총량관리 시행계획, 2013.
6. 서울특별시 : 서울특별시 2020 물환경 종합관리계획, 2015.
7. 서울특별시 : 서울특별시 수질 및 수생태계 보전계획, 2014.
8. 국립환경과학원 : 수질오염총량관리를 위한 유역관리모델 적용방안 연구, 2010.
9. <http://www.wamis.go.kr>
10. <http://www.nsd.go.kr>
11. <http://water.nier.go.kr>
12. <http://egis.me.go.kr>
13. <http://www.kma.go.kr>
14. 환경부 : 전국 오염원 조사 자료(2009~2015)
15. 이승창, 신동철 : 부재 최적화 설계에서 유전자 알고리즘과 시행착오법의 성능비교, 대한건축학회 논문집, 25(10):3~10, 2009.
16. 윤춘경, 신아현, 정광욱, 장재호 : BASINS/WinHSPF를 이용한 남한강 상류 유역의 비점오염원 저감효율평가, 한국물환경학회지, 23(6):951~960, 2007.
17. Donigan, AS : HSPF Training Workshop Handbook and CD, Lecture #19, Calibration and Verification Issues, 2000.
18. US EPA : BASINS/HSPF Training Lecture 15, "Watershed Model Calibration and Validation: Issues and Procedures", 2000.
19. 이해원 : 새만금 사업에 따른 수질변화예측을 위한 3차원 시변화 모델 연구, 이화여자대학교 박사학위논문, 2005.
20. 한정윤, 정광욱, 장재호 : 소양강댐 유역의 오염부하량 산정을 위한 BASINS/WinHSPF 적용, 한국육수학회지, 40(2):201~213, 2007.
21. 장재호, 윤춘경, 정광욱, 전지홍 : BASINS/HSPF를 이용한 용담댐유역의 오염부하량 산정, 한국육수학회지, 39(2):187~197, 2006.
22. 신아현, 정광욱, 장재호 : BASINS/WinHSPF를 이용한 남한강 상류유역의 비점오염원 저감효율평가, 한국물환경학회지, 23(6):951~960, 2007