

## 만경강유역에서의 HSPF 모형의 보정

### Calibration of HSPF Model from Mangyeong River Watershed

정 재 운\*                      장 정 렬\*\*                      정 지 연\*\*\*                      최 강 원\*\*\*\*

Jung, Jae Woon · Jang, Jeong Ryeol · Jung, Ji Yeon · Choi, Kang Won

임 병 진\*\*\*\*\*                      김 상 돈\*\*\*\*\*                      김 갑 순\*\*\*\*\*                      윤 광 식\*\*\*\*\*

Lim, Byung Jin · Kim, Sang Don · Kim, Kap Soon · Yoon, Kwang Sik

### Abstract

The HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) model was applied to Mangyeong river watershed to examine its applicability through calibration using monitoring data. For the model application, digital maps were constructed for watershed boundary, land-use, Digital Elevation Model of Mangyeong river watershed using BASINS (Better Assessment Science for Intergrating point and Nonpoint Sources) program. The observed runoff was 1976.4mm while the simulated runoff was 1913.4mm from 2007 to 2008. The model results showed that the simulated runoff was in a good agreement with the observed data and indicated reasonable applicability of the model. In terms of water quality, trends of the observed value were in a good agreement with simulated value despite its model performance lower than expected. However, its reliability and performance were with the expectation considering complexity of the watershed, pollutant sources and land use intermixed in the watershed. Overall, we identified application of HSPF model as reliable evidence by model performance.

\*국립환경과학원 영산강물환경연구소 연구원 (sustainwater@korea.kr)                      키워드 : HSPF, BASINS, discharge, water quality  
\*\*한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원 (wgjang@ekr.or.kr)  
\*\*\*한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원 (stoplotus@ekr.or.kr)  
\*\*\*\*한국농어촌공사 농어촌연구원 수석연구원 (kwchoi@ekr.or.kr)  
\*\*\*\*\*국립환경과학원 영산강물환경연구소 영산강물환경연구소장 (limbj@me.go.kr)  
\*\*\*\*\*국립환경과학원 영산강물환경연구소 연구사 (mmksd@me.go.kr)  
\*\*\*\*\*국립환경과학원 영산강물환경연구소 연구사 (rkqtns@me.go.kr)  
\*\*\*\*\*Corresponding author, 전남대학교 지역바이오시스템공학과 (ksyoons@jnu.ac.kr)

## I. 서론

우리나라는 1970년대부터 대단위 간척사업을 통해 간척농지와 배후 농경지의 농업용수 확보를 목적으로 유역의 최말단인 하구 또는 해면을 체절하고 해수를 담수화하는 하구담수호를 조성하기 시작하였으며, 이미 금강호, 영산호, 삼교호, 아산호 등이 건설되어 주요 수자원으로 활용되고 있다(권 등, 1990). 새만금호 역시 2006년 방조제 완공후 다양한 목적으로 활용될 예정이다. 하지만 새만금호를 비롯한 이와 유사한 하구담수호의 경우 지리적 특성상 집수유역의 최 말단에 위치해 있어 각종 오염물질들이 유입되고 있는 실정이다. 특히, 최근 들어 급속한 인구증가와 도시발달, 산업의 고도화에 따라 오염물질 배출량이 증가하여 유역으로부터의 유입량 증가로 인해 하구, 연안 등의 수질악화가 가속화 되고 있는 실정이며, 실제로 1996년 시화호 수질오염이 사회적 문제로 부각되면서 하구담수호의 수질오염에 대한 국민들의 관심이 매우 커졌다(윤과 함, 2000). 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 하구담수호 상류유역으로부터의 유입되는 유량 및 수질에 대한 정량적 연구가 필요하다. 특히, 본 연구의 대상유역인 만경강 유역은 새만금 상류유역으로 도시, 산업, 농경 및 축산 지역 등의 점 및 비점오염원이 산재되어 있고 상류에 댐 등의 대형 저수 시설이 부족하기 때문에 갈수기 수량 부족으로 인한 수질악화가 우려되는 유역으로(이와 박, 2008), 향후 조성될 새만금 담수호 수질에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다(이 등, 2005).

유역으로부터 유출되는 유량 및 수질에 대한 정량적 산정 방법은 크게 모니터링을 통한

방법과 유역모델링을 이용하는 방법이 있다. 모니터링은 신뢰할 수 있는 자료를 획득할 수 있어 유량 및 수질 정량화에 가장 좋은 방법이다. 하지만 이를 지속적으로 관측하는 것은 인력, 비용 및 시간 등의 한계점이 있어, 최근 유량 및 수질을 정량적으로 산정할 수 있고 수질 평가 및 예측을 위한 방법으로 유역모델이 점차 확대 적용되고 있다(이 등, 2007).

유역모델에는 ANSWERS (Areal, Non-point Source Watershed Environment Response Simulation), SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins), HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran), AGNPS (Agricultural Non-point Source), SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 등이 있으며, 이 중 HSPF는 장기간에 걸쳐 크고 작은 규모와 농촌지역과 도시지역이 혼재된 복잡한 유역에서 수량과 수질예측을 위해 미국 연방환경청에서 개발한 유역모델이다. HSPF의 국내 적용사례는 다양한 연구자들에 의해 수행되었다. 윤 등(2007)은 소양강댐 유역의 오염부하량 산정을 위하여 HSPF를 적용한 바 있으며, Chun 등(2001), 김과 박(2004), 장 등(2006), 정 등(2007)은 각각 낙동강 유역, 발안유역, 용담댐 유역, 화성유역의 유량 및 하천의 수질을 모의하기위해 HSPF의 적용성을 검토한 바 있다. 하지만 아직까지 만경강 유역에 대한 실측 유량 및 수질자료를 이용하여 HSPF 모형의 적용성에 대한 연구는 매우 부족하다. 따라서 본 연구에서는 만경강 유역의 2007부터 2008년의 유량 및 수질 실측자료를 이용하여 HSPF 모형의 적용성을 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상유역

본 연구의 조사지구는 새만금 유역내 소유역인 만경강 유역이며, 만경강 유역면적은 127,180ha로 전체 새만금유역의 52.5%를 차지한다. 만경강 유역은 완주군, 전주시를 포함하며, 익산시, 김제시를 일부 포함하고 있다. Fig. 1은 만경강유역도와 유량 및 수질측정지점을 나타내고 있다.

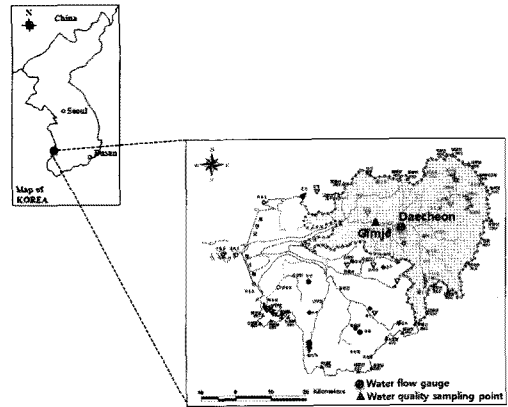


Fig. 1. Location and Monitoring Points for Mangyeong River Watershed

### 2. HSPF 모형의 소개

HSPF 모델은 TMDL의 효과적인 지원을 위하여 USEPA에서 개발하였으며, 농촌과 도시가 혼재된 지역에 대한 수역과 하천에 이르기까지의 수문과정 및 오염물질의 거동을 모의할 수 있다(장 등, 2006). HSPF 모델은 유역의 수학적 표현과 기상자료의 준비, 수리학적 Time series의 인자의 평가, 보정과 검증절차이며 Time series는 미국 환경청(EPA)에서 개발한 WDM (Watershed Data Management)라고 불리는 독립형 자료관리 프로그램을 통해서 입력되며 이 인자들은 UCI (User's Control Input) 파일을 통해 HSPF에 제공되어 진다(장 등, 2006).

### 3. 수문조사

만경강 유역의 유량산정은 해수의 영향이 없고 제수문이 없는 Fig. 1과 같이 대천지점의 유량자료를 이용하여 모델 보정에 활용하였다. 실측 유량자료를 산정하기 위해서는 하천에서 수위와 유황별 유량을 측정하여 개발된 수위-유량관계식이 필요하다. 현재 영산강 홍수 통제소와 한국농어촌공사 기술본부에서는 새만금유역의 주요지점에서 수위와 유량을 측정하고 있으며 본 연구에서는 한국농어촌공사의 수위-유량관계식을 이용하였고 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Rating Curve for Daecheon Station

Year	Daecheon	
	Rating Curves	Range of Application
2007	$Q = 1.856H^{4.8668}$	$2.36 \geq H$
	$Q = 25.093H^2 + 114.86H - 323.45$	$2.36 < H$
2008	$Q = 71.1H^2 - 139.82H - 66.622$	$2.50 \geq H$
	$Q = 6.356H^{3.5473}$	$2.50 < H$

\* Source: Model Study on Water Quality for Saemangeum Water Area(Rural Research Institute, 2009)

Table 2. Point Source of Mangyeong River Watershed

Human Population (person)	Korean Beef Cattle (Head)	Milk Cow (Head)	Pig (Head)	Chicken (Head)	Etc. (Head)	Industrial waste water (m <sup>3</sup> /day)
1,041,317	21,478	5,880	403,715	6,520,980	152,327	13,724

4. 수질조사

본 연구의 수질조사 지점은 유량 측정지점과 약 10km 하류에 위치한 김제지점이다. 김제지점은 국립환경과학원 금강물환경연구소의 8일간 수질측정지점이며, 본 연구에서는 국립환경과학원 금강물환경연구소의 8일간 수질측정자료를 협조받아 모델보정에 활용하였다. 수질은 수온, DO, BOD, T-N, T-P를 대상으로 조사하였다.

5. 오염원조사

만경강 유역의 오염원 및 토지이용현황은 각각 Table 2와 Table 3과 같다. 축종별 사육두수는 한우가 21,478두, 젓소가 5,880두, 돼지 5,880두, 닭이 6,520,980두, 기타 152,327두로 조사되었다. 토지이용의 경우 밭이, 12,656ha, 논이 33,124ha, 산림 58,500ha, 시가지지역이 14,400ha, 기타 8,500ha로 조사되었다.

6. 입력 자료 구축

HSPF 모델을 만경강에 적용하기 위해서는

기상자료, 오염원 자료 등이 필요하다. 특히, 기상자료(강수량, 최대·최소 기온, 풍속, 이슬점, 일사량, 운량 등)는 WDM 파일형태로 1시간 간격으로 입력되어야 하며 본 연구에 적용하기 위한 기상자료는 전주 기상대의 1시간 간격 자료를 제공받아 사용하였다. 수집된 기상자료를 HSPF 모형의 입력형태에 맞게 단위를 환산한 후, WDM 프로그램을 이용하여 HSPF 기상 DB를 완성한다. 지형자료는 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)를 이용하여 구축하였다. BASINS는 USEPA에서 TMDL의 효율적인 운영을 위해 유역과 점오염원 및 비점오염원을 종합하고 방대한 GIS자료와 오염원자료에 쉽게 접근할 수 있도록 개발된 유역관리 시스템이다(장 등, 2006). BASINS에서 제공하는 Utility tool을 이용하여 대상유역의 GIS 자료를 Fig 2와 같이 구축하였다. 수치고도모델(DEM)과 하천도는 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr/>)의 자료를 활용하였고, 토지이용도는 환경부에서 제공한 자료를 이용하였다.

Table 3. Land Use of Mangyeong River Watershed

(Unit: ha)

Upland	Paddy	Forest	Urban	Etc
12,656	33,124	58,500	14,400	8,500

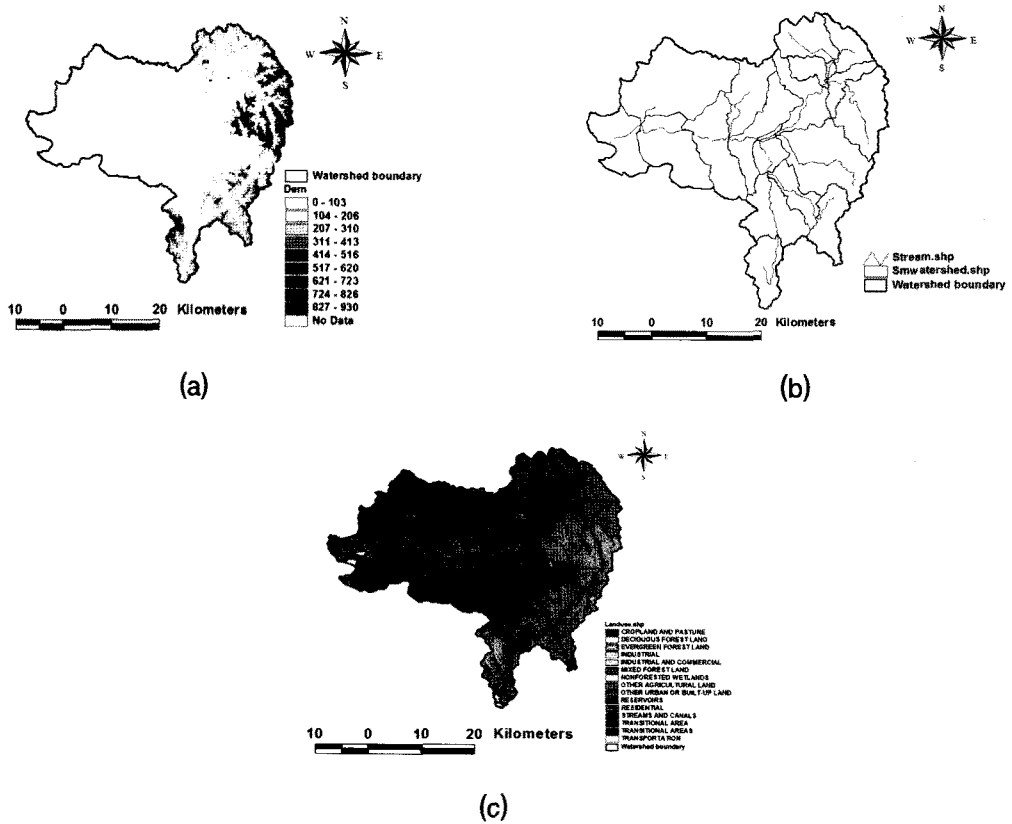


Fig. 2. DEM, Delineation and Land Use Map of Mangyeong River Watershed

### 7. HSPF 보정방법

HSPF 모델의 유량보정지점은 대천지점이며, 보정기간은 2007년~2008년, 수질보정은 수온, DO, BOD, T-N, T-P를 대상으로 실시하였다. 모형의 보정을 위한 기법으로는 단순시행 착오법을 사용하였고, 모형의 추정 오차를 평가하기 위해 결정계수(Coefficient of Determination,  $R^2$ )를 사용하였으며 목적 함수로 RMSE (Root Mean Square Error) 와 NS (Nash Sutcliffe Coefficient)를 사용하였다. 결정계수는 0.0~1.0의 범위의 값을 가지면, 1.0에 가까울수록 모의치가 실측치의 경

향을 잘 반영하지만, 결정계수의 경우 단지 무작위 오차만을 평가하는 것으로서 오차의 정도를 나타내지 못한다. 따라서 오차의 정도를 나타내기 위해 일반적으로 RMSE, NS 등을 사용한다. 만약 실측치와 모의치가 일치한다면, RMSE는 0, NS는 1을 나타낸다. NS의 경우 그 값이 0과 1.0사이에 있으면, 모의치를 사용하는 것이 실측치의 평균을 이용하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있으며, 계산된 NS가 0보다 작으면 모형의 예측결과가 나쁘거나 실측자료가 일관성이 없음을 의미한다(Nash and Sutcliffe, 1970).

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 유출량 보정

HSPF 모형의 유량보정은 모의유량과 실측 유량과의 비교를 통해서 실시하였다. 보정에 사용된 매개변수는 LZSN, INFILT, AGWRC, UZSN, DEEPER, INTFW, IRC 등이며, 이러한 매개변수들을 이용하여 시행착오법을 통하여 매개변수를 조절하여 보정하였다. Green 등(2006)은 R<sup>2</sup>가 0.5이상이고 NS가 0.4이상, Ramanarayanan 등(1997)과 Santhi 등

(2001)은 R<sup>2</sup>가 0.6이상이고 NS가 0.5이상이면 모형이 자연현상을 잘 모의한다고 제안하였다. 따라서 본 연구에서는 만경강유역의 유량 모의시 R<sup>2</sup>이 0.6이상 NS가 0.5 이상이 될 때까지 매개변수를 조절하여 유량을 보정하였다. 유량에 대한 매개변수의 보정결과와 타 연구에서 사용된 매개변수를 비교한 결과는 Table 4와 같다.

유출량의 실측치와 모의치의 일별 비교 결과는 Fig. 3과 같다. 보정기간 동안 전반적으로 모의치가 실측치의 경향을 잘 반영하는 것으로 나타났으며, 실측 및 모의 유량값도 각각 1976.4mm와 1913.4mm로 비교적 모의치가

Table 4. Comparison of HSPF Parameter Values for Hydrologic Simulation

Parameter	Definition	Model Range	Final Calibrated Value	Ko et al. (2007)	Jang et al. (2006)	Im et al. (2003)	Engelmann et al. (2002)	Moore et al. (1988)
LZSN	Lower Zone Nominal Soil Moisture Storage (Unit: inches)	2.0~15.0	0.2~0.5	1~4.5	5.8	4.3~5.8	5	4.9
INFILT	Index to Infiltration Capacity (inches/hr)	0.001~0.50	0.16	0.01~0.16	0.38	0.047~0.075	0.04	0.004~0.02
KVARY	Ariable Groundwater Recession (1/inches)	0.0~5.0	1.5	-	-	-	-	-
AGWRC	Base Groundwater Recession	0.85~0.999	0.98	0.98	0.85~0.97	0.88~0.91	0.99	0.98
DEEPFR	Fraction of GW Inflow to Deep Recharge	0.0~0.50	0.02	0.1	0.08	0.05~0.45	0.18	-
UZSN	Upper Zone Nominal Soil Moisture Storage (inches)	0.05~2.0	1.128	0.7~1.128	0.4~1.5	0.35~1.0	0.7	0.2
INTFW	Interflow Inflow Parameter (inches)	1.0~10.0	1.75	0.75	1.9~5.5	1.0~1.7	0.5	1
IRC	Interflow Recession Parameter (none)	0.3~0.85	0.5	0.5	0.4~0.8	0.3~0.5	0.5	0.6

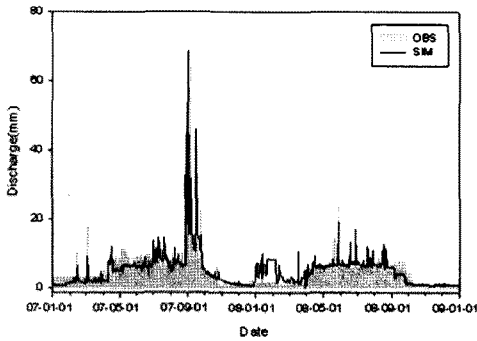


Fig. 3. Comparison of the Observed and Simulated Discharge

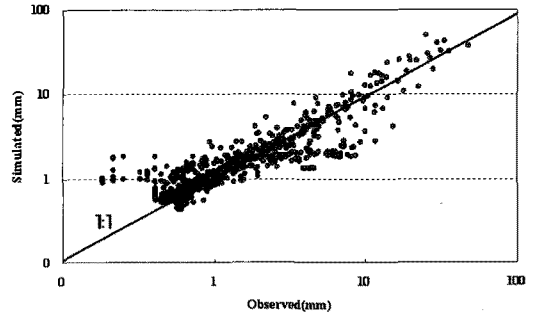


Fig. 4. Scatterplots of the Observed and Simulated Discharge

실측치와 유사한 값을 보였다. Fig. 4는 실측 유량과 모의 유량의 산포도를 나타낸 것이다. 비교적 분포의 흩어진 폭이 비교적 좁게 나타나 모의치가 실측치와 유사하다는 사실을 다시 한번 확인하였다. 한편, 모형의 효율지표를 평가한 결과 RMSE,  $R^2$ , NS는 각각 2.98mm/day, 0.81, 0.78로 모의치가 실측치의 경향을 잘 반영하는 것으로 나타났다<Table 5>.

## 2. 수질 보정

수질보정은 유량보정과 동일한 기간에 실시하였다. 장 등(2006)에 의하면 온도에 비교적 큰 영향을 주는 인자는 ELEV와 KEVAP 등이며, DO와 BOD의 경우는 KBOD20과 KODSET 및 REAK가 큰 영향을 미친다고 발표한바 있으며, 본 연구에서도 이러한 매개변수를 조정하여 온도, DO, BOD를 보정하였다. T-N과 T-P는 Rivarova 등(2008)이 사용한 KNO320,

KTAM20, KNO220, TCNIT, TCDEN, DENOXT, MALGR 등의 매개변수를 이용하여 보정하였다<Table 6>.

모의된 수질결과를 살펴보면 비교적 모의치가 실측치의 경향을 잘 반영하는 것으로 나타났다<Fig. 5>. 하지만 Table 7과 같이 통계적 변량은 수온을 제외한 나머지 수질항목에서 낮게 평가되지만, 유역 내 복잡한 토지이용 및 점오염원을 고려할 때 허용할 수 있는 범위내에서 수질을 모의한 것으로 판단된다. 향후, 이러한 점을 보완하기 위해서는 오염원자료의 보다 정밀한 조사를 통해 매개변수를 지속적으로 보정 및 검증하는 작업이 필요할 것으로 판단된다.

## IV. 요약 및 결론

본 연구는 만경강 유역의 2007년부터 2008년 유량과 수질 실측자료를 이용하여 HSPF 모형의

Table 5. Observed and Simulated Discharge for Calibration Period

Year	Discharge (mm)		RMSE (mm/day)	NS	$R^2$
	Observed	Simulated			
2007~2008	1976.4	1913.4	2.98	0.78	0.81

Table 6. Comparison of HSPF Parameter Values Water Quality Simulation

Parameter	Definition	Model Range	Final Calibrated Value	Ribarov et al. (2008)	Jang et al (2006)
ELEV	Mean RCHRES Elevation	0~30,000	1,074	-	180~423
KEVAP	Evaporation Coefficient	1~10	2.24	-	2.24~4.24
KODSET	Rate of BOD Settling	0~	0.011	-	0.027~0.439
REAK	Reaeration Coefficient	1.0E-30~	0.2	-	0~2
KBOD20	BOD decay rate (1/H)	1.0E-30~	0.001	0.1	-
KNO320	Denitrification Rate of Nitrate	9.9E-04~	0.002	0.05	-
KTAM20	Oxidation Rate of Total Ammonia	9.9E-04~	0.015	0.05	-
KNO220	Oxidation Rate of Nitrites	9.9E-04~	0.002	0.05	-
TCNIT	Temperature Coefficient for the Nitrogen Oxidation Rate	1~2	1.07	1.07	-
TCDEN	Temperature Coefficient for the Denitrification Rate	1~2	1.04	1.07	-
DENOXT	Oxygen Concentration Threshold Above Which Denitrification Ceases	0~	5	2	-
MALGR	Maximal Algal Growth Rate for Phytoplankton	9.9E-04	0.08	0.3	-

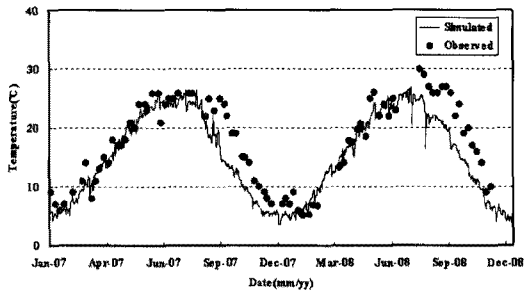
보정을 통하여 그 적용성을 검토하였다. 그 결과 유출량의 경우 모의치와 실측치가 유사한 경향을 나타냈으며, 모형의 효율지표인 결정계수, RMSE, NS가 각각 0.81, 2.98 mm/day, 0.78로 나타나 HSPF 모형은 유출적용성은 뛰어난 것으로

나타났다. 하지만 수질의 경우 모의치가 실측치의 경향을 대체로 잘 반영하였으나, 모형의 효율지표가 유출량에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 향후 정밀한 측정자료 수집 및 모델보정에 관한 추가적인 연구가 수행 될 것으로 판단된다.

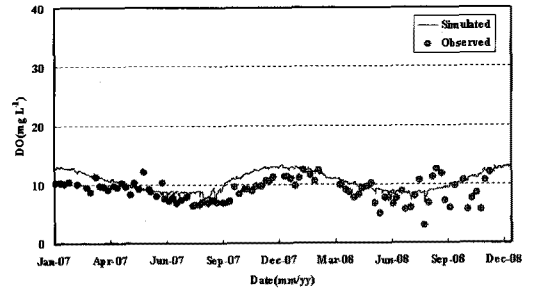
Table 7. Model Performances with Observed and Simulated Value of Water Quality

Water quality	R <sup>2</sup>	RMSE	NS
Temperature	0.85	3.66°C	0.70
DO	0.34	2.15mg/L	-0.85
BOD	0.40	1.37mg/L	0.15
T-N	0.46	2.23mg/L	0.38
T-P	0.46	0.15mg/L	0.25

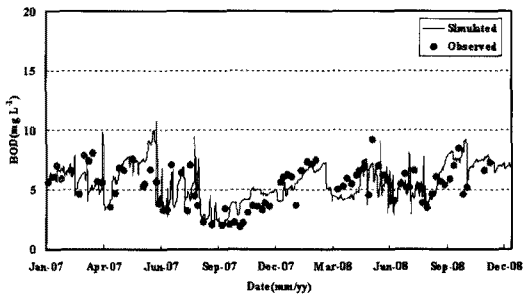




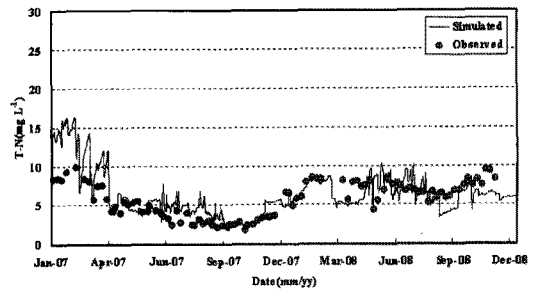
(a) Temperature



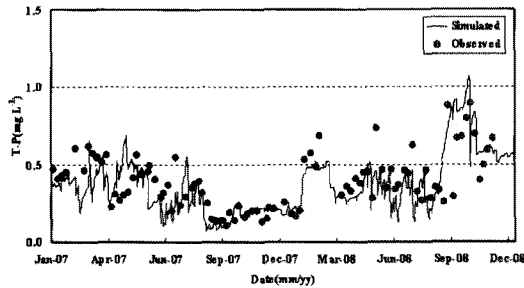
(b) DO



(c) BOD



(d) T-N



(e) T-P

Fig. 5. Comparison of Observed and Simulated Water Qualities

본 연구는 2009년도 농어촌연구원에서 시행한 새만금호 수질예측모델연구의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

**참고문헌**

1. 고재영, 장태일, 박승우, 2007, HSPF 모형을 이용한 농촌 유역에서의 대장균 모의, 대한토목학회논문집, 27(3B), pp. 211~388.
2. 권순국, 유명진, 방기웅, 고딕구, 1990, 담수호의 수질예측 및 부영양화 방지에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 10(4), pp. 159~171.
3. 김상민, 박승우, 2004, 농촌 소유역의 오염부하 추정을 위한 HSPF 모형의 보정과 검증, 한국수자원학회 논문집, 37(8), pp. 643~651.
4. 농어촌연구원, 2009, 새만금 수질예측 모델연구.
5. 윤춘경, 함중화, 2000, SWMM과 WASP5 모형을 사용한 하구담수호의 수질예측, 한국환경농학회지, 19(3), pp. 252~258.
6. 이경보, 김종천, 김종구, 이덕배, 박찬원, 김재덕, 2005, 만경강 유역 오염부하량 평가, 한국환경농학회지, 24(2), pp. 83~90.
7. 이해숙, 이용상, 정신아, 박상영, 2007, 용담댐 유역 오염부하량의 정량적 산정을 위한 HSPF 적용, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집, pp. 721~726.
8. 이해원, 박석순, 2008, 비모수 통계기법을 이용한 만경강 유역의 장기간 수질 경향 분석, 한국물환경학회논문집 24(4), pp. 480~487.
9. 임상준, Kevin M. Brannan, Saied Mostaghimi, 조재필, 2003, HSPF와 SWAT 모형을 이용한 산림 유역의 유출 및 유사량 추정, 한국농촌계획학회논문집, 9(4), pp. 59~64.
10. 장재호, 윤춘경, 정광욱, 전지홍, 2006, BASINS/HSPF를 이용한 용담댐 유역의 오염부하량 산정, 한국하천호수학회논문집, 39(2), pp. 187~197.
11. 정광욱, 윤춘경, 장재호, 김형철, 2007, BASINS/HSPF를 이용한 화성유역의 오염부하량의 정량적 평가, 한국농공학회논문집, 49(2), pp. 61~74.
12. Chun, K. C., Chang, R. W., Williams, G. P., Chang, Y. S., Tomasko, D., K. E., LaGory, J. D., Ditmars, Chun, H. D., Lee, B. K., 2001, Water quality issues in the Nakdong River Basin in the Republic of Korea, Environmental Engineering and Policy, Vol.2, No.3, pp. 131~143.
13. Engelmann, C. J. K., Andy D. W., Ann D. C., Bair, E. Scott., 2002, Application of the BASINS database and NPSM model on a small Ohio watershed, Journal of the American Water Resources Association Vol.38, No.1, pp. 289~300.
14. Green, C. H., Tomer, M. D., Di Luzio, M., Arnold, J. G., 2006, Hydrologic evaluation of the soil and water assessment tool for a large tile-drained watershed in Iowa, Transactions of ASABE, Vol.49, No.2, pp. 413~422.
15. Larry, W. M., Harvey, M., Ted Tyree, David, S., Stephen, J. K., 1998, Agricultural Runoff Modeling in a Small West Tennessee Watershed, Journal of Water Pollution Control Federation, Vol.60, No.2, pp. 242~249.
16. Nash J. E., Sutcliffe, J. V., 1970, River flow forecasting through conceptual models, Part I - a discussion of principles, Journal of Hydrology, Vol.10, No.3, pp. 282~290.
17. Ramanarayanan, T. S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Hauck, L. M., McFarland, A. M. S., 1997, Using APEX to Identify Alternative Practices for Animal Waste Management: Part II. Model Application, ASAE Paper pp. 97~2209.
18. Ribarova, N. P., Cooper, D., 2008, Modeling nutrient pollution during a first flood event using HSPF software: Iskar River case study, Bulgaria, Ecological Modelling, Vol.211, pp. 241~246.
19. Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., Srinivasan, R., Hauck, L., 2001, Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources, Journal of the American Water Resources Association Vol.37, No.5, pp. 1169~1188.