



확률 강우에 따른 홍수 전후의 소유역 오염부하량 배출특성 연구

A Study on the Discharge Characteristics of Pollutant Loads in Small Watershed According to the Probability Rainfall

김필식* · 김선주**† · 심재훈***

Kim, Phil Sik · Kim, Sun Joo · Shim, Jae Hoon

ABSTRACT

The objective of this paper is to study the discharge characteristics of pollutant loads in small watershed according to probability rainfall using the Hydrologic Simulation Program-Fortran (WinHSPF). The subwatershed of Gosam reservoir watershed in Gyeonggi province was simulated and the probability rainfall of study area was estimated by recurrence interval and duration. The probability rainfalls are 156.5, 205.9 and 277.4 mm for 6 hrs, 12 hrs and 24 hrs in 10 year frequency, and each probability rainfalls is distributed by Huff's 4th quantiles method and applied to HSPF. The pollutant loads were high for initial rainfall. The concentrations of TN, TP and BOD were high as rainfall duration is shorter and rainfall intensity is higher.

Keywords: WinHSPF; probability rainfall; huff's 4th quantiles method; pollutant loads; rainfall intensity

1. 서 론

수질오염에 의한 각종 문제가 국내에서 발생한 1980년대 이후 효율적인 수질관리를 위한 다양한 연구와 수질관련 법들이 시행되고 있다. 오염원에 대한 농도규제 방식에서 탈피하여 1990년대 말부터 도입된 오염총량관리제는 수계 전체의 환경용량을 감안한 목표수질을 설정하고 허용 가능한 오염총량을 해당 배수구역에 할당하는 등 수계 전체를 대상으로 보다 근원적이고 광범위한 수질 관리 정책으로 평가되고 있으나, 개별 배수구역에서 배출되는 오염부하량을 정확히 산정하여 목표수질을 설정해야 함에도 불구하고 수계 오염원에 대한 체계적인 조사 자료의 축적이 미흡한 상태이며, 지형 및 강우특성에 따른 오염물질 배출형태에 대한 이해가 부족한 실정이다.

오염물질의 배출은 오염원의 형태뿐만 아니라 개별 오염원의 발생형태에 따라 수역으로 유입되는 물질량이 달라지며, 강우의 영향에 의한 시기별 배출량의 변화가 크다. 따라서 정확한

오염물질 배출량을 산정하기 위해서는 오염원마다 발생형태를 구분하고 오염물질이 수역으로 유입되는 동안의 제거 및 변화량 등을 면밀하게 고려해야 한다. 특히 오염물질에 가장 큰 영향을 미치는 강우에 대해 빈도, 강도, 지속 시간 등 강우 형태에 따른 오염물질 배출 특성 등을 종합적으로 고려해야 유역으로 배출되는 오염물질량을 정확히 산정할 수 있다.

우리나라의 경우 김범철 등 (1997)이 강우시 소양강의 소유역으로부터 비점오염원의 유출특성을 분석하였고, 김상민 등 (2004)은 농촌소유역의 오염부하 추정을 위하여 HSPF모형의 보정과 검정을 실시하였고, 여중현 등 (2005)이 각 토지이용별로 배출되는 비점원 오염부하의 특성을 비교하였으며, 장재호 등 (2006)이 BASINS/HSPF를 이용하여 용담댐 유역의 오염부하량을 산정하였으며, 이길성 등 (2007)은 HSPF모형을 이용하여 안양천 유역의 물순환 및 BOD 부하량을 분석하였으며, 이혜숙 등 (2007)이 HSPF를 적용하여 용담댐 유역의 오염부하량을 정량적으로 산정하였다.

이러한 유역을 관리하는 모형으로는 수문순환을 고려한 결정론적 모형인 ANSWERS (Beasley et al., 1981), SWRRB (Williams et al., 1985), AGNPS (Young et al., 1986), SWAT (Arnold et al., 1998), HSPF (Johanson et al., 1984) 등이 각각의 목적에 따라 이용되고 있으며, 이는 유역 오염총량관리의 적용을 위한 필수적인 요소이다. 최근에는 SWAT과 HSPF 등의 유역관리 모형이 많이 연구되고 있는데, SWAT의 경우

* 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 연구교수
 ** 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 교수
 *** 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 박사과정
 † Corresponding author Tel.: +82-2-450-3753
 Fax:
 E-mail: sunjoo@konkuk.ac.kr

2010년 9월 17일 투고
 2010년 11월 9일 심사완료
 2010년 11월 9일 게재확정

김지훈 등 (1998)이 복하천 상류지역에 적용하여 그 가능성을 검토하였으며, 이길성 등 (2006)은 도시하천 상류유역의 하천 유시유량을 산정한 바 있고, 박종윤 등 (2008)은 농촌소유역에서 다양한 공간입력자료의 해상도가 SWAT 모형의 수문-수질 모의결과에 미치는 영향을 분석한 바 있고, 이용준 등 (2008)은 SWAT 모형을 이용하여 미래수문환경에 따른 유역 수문-수질 변화를 분석한 바 있다. HSPF를 이용한 연구로는 김상민 등 (2004)이 농촌 소유역에 적용하여 매개변수를 검토하였으며, 전지홍 등 (2005)은 논으로 부터의 오염원을 분석하기위해 HSPF-paddy를 개발한 바 있다.

본 연구에서는 자연계 비점오염원을 대상으로 강우 형태에 따른 홍수 전후의 유역오염도 분석을 실시하였다. 경기도 안성시 고삼저수지 상류의 소유역을 대상으로 유출량과 오염부하량을 실측하여 유역관리모형인 BASINS/WinHSPF 모형의 적용성을 검토한 후, 강도, 지속기간, 빈도별로 분석한 대상지구의 확률 강우량을 모델에 적용하여 소유역의 강우형태에 따른 오염부하량 배출특성을 연구하였다.

II. HSPF

1. 개요

HSPF 모형은 유역에서 발생하는 유출수의 양과 질을 모의하기 위해 설계된 종합적 (comprehensive), 개념적 (conceptual), 연속적 (continuous) 유역 모의 모형으로 1966년 개발된 스탠포드 유역 모형 (stanford watershed model)에 기원을 두고 있다. 현재의 HSPF 모형은 1980년 미국 환경청에서 개발한 것으로 기존의 HSP (Hydrocomp Simulation Programming), ARM (Agricultural Runoff Management), NPS (Non Point Source), SERATRA (SEDiment and RADionuclides TRANsport) 모형들에서 수행되는 다양한 모의 모듈 (module)을 새롭게 수정하여 보완한 프로그램이다.

2. 구성

HSPF 모형의 구조는 Fig. 1 과 같다. Run Interpreter는 입력자료인 UCI(Users Contro Input)를 읽고 해석하여 프로그램의 실행순서를 결정하여, Operations Supervisor는 Run Interpreter에 의해 제공되는 정보를 바탕으로 Operating Module을 실행한다. Operating Module은 유출과 오염부하량 등을 실제로 모의하는 Application Module과 이를 구동하기 위해 지원되는 Utility Module로 구성되어 있다. Service Subprograms는 시계열자료의 입출력을 담당한다. TSGET (Get Time Series)와 TSPUT (Put Time Series)는 오직 시계열자료의 처리와 저

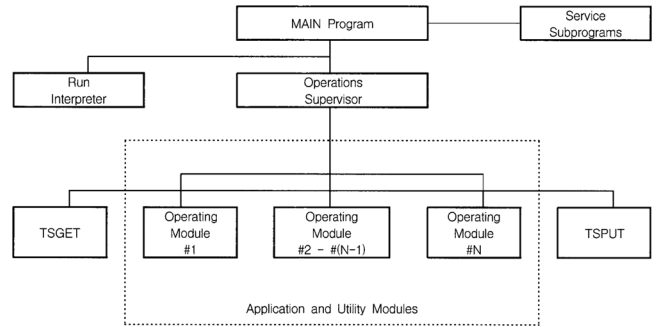


Fig. 1 Overview of HSPF (Bicknell et al., 2001)

장에 연관된 모듈로서 TSGET는 모형에 필요한 기상자료를 불러들여 실행한 결과를 사용자가 지정한 기간간격으로 TSSPUT에 입력하는 역할을 하고 있다.

HSPF 모형의 유출, 수질 모의 등 핵심부분은 Application Module로, 투수지형 (pervious land)에 대한 PERLND 모듈, 불투수지형 (impervious land)에 대한 IMPLND 모듈, 하천이나 호소구간에 대한 RCHRES 모듈로 구성된다. 각각의 모듈은 다시 수량, 수질, 토사유출 등을 모의하기 위한 항목별로 구성 되어 있다.

3. HSPF 모형의 입력 및 출력

HSPF 모형의 수량·수질 해석을 위한 기본 입력자료로는 기상자료 (강수량, 온도, 풍속, 증발량, 일사량, 이슬점 온도, 운량), 수치지표고자료(Digital Elevation Model, DEM), 토지이용도가 필요하다. 이중 기상자료는 입출력 시스템 도구인 WDMUtil을 사용하여, DEM과 토지이용도는 BASINS (Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources; US EPA, 2001)와 ArcView를 이용하여 모형에 구축된다.

HSPF 모형은 투수지역 (pervious land), 불투수지역 (impervious land), 하천 및 저수지에서 발생하는 차단, 토양 수분, 지표면 유출, 중간 유출, 기저 유출, 적설심, 함수비, 융설, 증발, 증발산, 지하수 함양, 용존 산소, BOD, 온도, 농약, 대장균, 유사 추적, 하도 추적, 저수지 추적, pH, 암모니아, 유기 질소, 인산염, 유기 인, 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤 등을 모의할 수 있으며, 모의되는 계산 시간 간격은 1분부터 1일까지 가능하다.

HSPF 모형은 일반적으로 토지이용 변화, 저수지 운영, 점오염 및 비점오염원 처리 대안 등을 평가하기 위해 사용되고 있다 (Bicknell et al, 2001).

III. 대상유역

강우에 따른 오염부하량 배출특성을 연구하기 위해 경기도 안

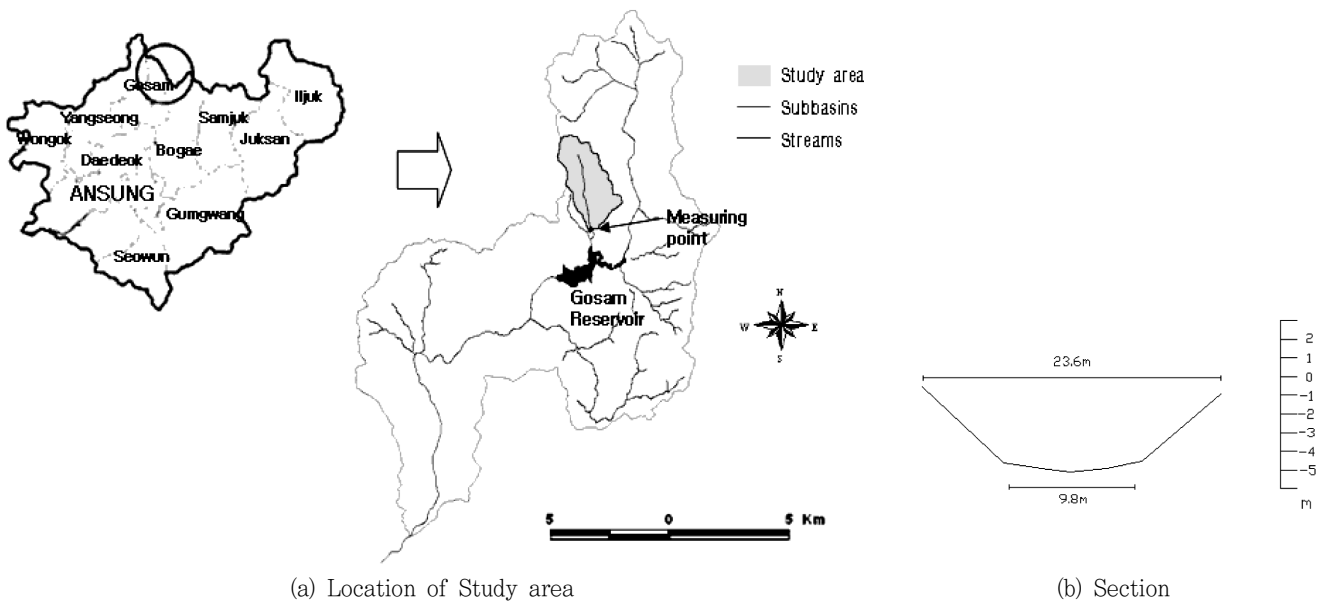


Fig. 2 Study area

Table 1 Landuse of study area (Ministry of Environment, 1998)

Landuse	Paddy	Upland	Barren	Forest	Pasture	Water	Built-up and road	Total
Area(ha)	63.8	27.4	94.5	368.9	19.2	8.2	9.9	591.9

성시 고삼저수지 상류유역에 토지이용이 단순하고 유량 및 수질 조사가 용이한 소유역을 연구 대상으로 선정하였다.

고삼저수지는 인근 농업지구의 주 수원공이며, 낚시터로 유명하였으나 근 5년간 지속적인 수질 악화로 유역관리가 시급한 것으로 평가되고 있다. 대상지역은 경기도 안성시 고삼면 쌍지리에 위치한 EL. 326 m의 경수산에서 발원하여 고삼저수지로 유입되는 지류를 포함한 유역으로 동경 127° 06', 북위 36° 54'에 위치하고 있다. 유역의 대부분이 임야와 논, 나지로 이루어져 있으며, 주거지 및 축사 등의 인위적인 토지이용현황 상태가 적어 자연계 오염부하량 측정을 위한 적지 조건을 갖추었다. 소유역의 면적은 591.8 ha, 하천길이 3.41 km, 유역 경사 0.591 m/m, 하천 경사는 0.042 m/m로 조사되었다. Fig. 2(a)는 대상유역을 (b)는 하천의 측점을 측량한 하천단면을 나타낸 것이다.

IV. 모형의 구축

1. 자료 구성

지형자료는 GIS와의 연계를 통해 WinHSPF 입력자료의 처리가 가능한 BASINS를 이용하여 구축하였다. 공간입력 자료

중 가장 기본이 되는 DEM자료를 NGIS (National Geographic Information System)의 1/5,000의 수치지도로부터 구축한 30 m 간격의 DEM을 사용하였고, 동일한 수치지도로부터 지형관련 레이어인 7111 (주곡선), 7114 (계곡선), 7217 (표고점), 7311 (삼각점)을 추출한 하천도를 사용하였다. 토지 이용도는 2004년에 환경부에서 제작된 1:25,000 중분류 토지 이용도를 이용하였다.

수문자료는 모형 적용을 위해서 기상자료를 WDMUtil (Hummel, P., Kittle, J.Jr., Gray, M., 2001)을 통해 입력하였다. 강우자료를 포함한 기온 및 풍속 등의 기상자료를 시간별로 입력하였다. 시자료 및 기상관측이 누락된 항목에 대해서는 일평균 및 월평균을 적용하였다. 오염부하량에 큰 영향을 미치는 강수 자료는 고삼저수지 인근에 있는 원삼강우관측소 자료를 이용하였으며, 풍속, 일사, 기온, 전운량, 이슬점 온도는 관할 관측소인 수원 기상관측소의 자료를 이용하였고, 유량 실측자료는 국가수자원관리 종합정보시스템의 자료를 이용하였다.

2. 매개변수 보정 및 검정

매개변수는 시장우량에 의해 모의한 값과 다수의 실측자료와 비교하여 시행착오 방법을 통해 단기 유출을 중점으로 보정하였으며, 모형의 검증은 RMSE와 RE를 사용하였다. 홍수 전후의 오염부하량을 분석하는 것이 목적으로, 2004년부터 2006년까지 실측된 평수와 홍수자료를 이용하였으며, 모형의 보정은 유출량, TN, TP, BOD 순서로 진행하였다. 수질에 대해서는 투수지형에서의 일반적인 수질 항목들을 모의하는 PQUAL

모듈과 수체내에서의 BOD, 영양염류 등의 항목들을 모의하는 OXRX, SEDMNT, NUTRX 모듈내의 주요 매개변수들, 그리고 HSPF 모형의 총질소 부하량에 비교적 큰 영향을 주는 인자인 KDNI와 각 층별 KPLNM 등과, 총인 부하량에 비교적 큰 영향을 주는 인자인 KIMP, KMP, XFLX, K1, PUPT 등의 매개변수들을 통해 모형을 보정하였다.

보정결과에 따른 모형의 적합성과 상관성을 판단하기 위한 목적함수로는 결정계수 (R^2)와 평균제곱근오차 (Root Mean Square Error, RMSE)를 사용하였으며, 모형의 효율성 검증은 Nash and Sutcliffe (1970)가 제안한 모형 효율성계수 (Model Efficient, ME)를 사용하였다.

RMSE와 ME는 다음 식으로 계산한다.

$$SE = \left\{ \left[\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2 \right] / N \right\}^{0.5}$$

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}$$

여기서, P 는 모의값, O 는 관측값, \bar{O} 는 관측값의 평균, $i=1, 2, \dots, N$, 이때 N 은 총 모의기간이다.

3. 확률 강우량 산정

대상지구에 WinHSPF를 모의한 후 강우에 따른 홍수 전후의 오염물질 배출 특성을 분석하기 위해 여러 가지 강우형태를 산정하여 적용시켰다. WinHSPF의 기상자료를 다루는 WDMUtil의 최소단위가 시단위인 것과 최근 3년간의 강우형태를 고려하여 지속기간은 6시간, 12시간, 24시간으로 하였다.

빈도별 강우는 10년, 20년 빈도의 강우를 산정 하였으며, 강우 분포는 Huff 분포 (Huff, F. A., 1964)를 이용하였으며, 각 분위별 초과확률 50 %에 해당하는 누가 강우량을 산정하였다 (건설교통부, 2000). 자료의 결측치는 관할 관측소인 수원관측소의 자료를 사용하였으며, Table 2는 최근 3년간 강우를 분석한 각 분위별 발생빈도 비율을 나타낸 것이다.

Table 2 Rainfall frequency of Wonsam observatory (2004 ~ 2006)

Duration	1st quarter	2nd quarter	3rd quarter	4th quarter
0 ~ 6hr	24 %	34 %	30 %	12 %
6 ~ 12hr	15 %	44 %	22 %	19 %
12 ~ 24hr	22 %	28 %	28 %	22 %

V. 결과 및 고찰

1. 모형의 보정 및 검증

가. 매개변수

모의한 유출량의 보정은 침투유량과 지체시간에 대하여 민감한 변수부터 수정하였다. 수리수문에 관련한 20여개의 매개변수 중 LZSN, INFILT, AGWRC, UZSN DEEPFR, LZFTP, INTFW, IRC 등이 단기 유출에 대한 민감도가 높은 것으로 분석되었다.

HSPF 모형의 총 질소와 총 인에 대한 보정은 총질소와 총인 부하량에 대하여 변위가 큰 변수부터 수정하였다. 총 질소에 대한 모형의 보정·검정 결과 총질소 부하량에 비교적 큰 영향을 주는 인자는 KDNI와 각 층별 KPLNM 등으로 분석되었으며, 총 인에 대한 모형의 보정·검정 결과 총인 부하량에 비교적 큰 영향을 주는 인자는 KIMP, KMP, XFIX, KI, PUPT 등으로 분석되었다. 다음의 Table 4에 총질소와 총인에 대한 매개변수 보정결과를 나타내었다.

나. 유출

WinHSPF 모형의 유출량에 대한 보정은 총유출량과 침투유량에 대하여 변위가 큰 변수부터 시행 착오법을 이용하여 수정하였다. 2004 ~ 2005년 자료에 대하여 모형을 보정하였으며, 수치의 초기값과 연속성을 고려하여 2006년을 검정기간으로 하였다. 유출량에 대한 보정결과 RMSE (Root Mean Square Error)는 0.89 CMS, RE (Relative Error)는 0.25로 나타났으며, 검정결과 RMSE는 1.34 CMS, RE는 0.28로 분석되었다.

다. 오염부하량

영양물질에 대한 모형의 보정과 검정은 총질소와 총인에 대하여 유출과 동일한 자료기간에 대해 실시하였다. Fig. 4는 BOD와 TN, TP에 대한 검보정 결과를 나타낸 것이다. 수질보정에

Table 3 Parameters for hydrology simulation

Parameter	Definition (units)	Initial value	Calibration
LZSN	Lower zone nominal storage (in)	4 ~ 6.5	4.0
INFILT	Soil infiltration capacity index (in/hr)	0.16	0.08 ~ 0.1
AGWRC	Groundwater recession coefficient (day ⁻¹)	0.98	0.98
UZSN	Upper zone nominal storage (in)	1.128	1.1
DEEPFR	Fraction of groundwater inflow to deep recharge	0.1	0.2
LZETP	Lower zone ET parameter (none)	0.1	0.2
INTFW	Interflow inflow parameter (none)	0.75	0.1 ~ 0.4
IRC	Interflow recession parameter (day ⁻¹)	0.5	0.3 ~ 0.5

Table 4 Parameters for water quality simulation

Parameter	Definition (units)	Initial value	Calibration
KBOD20	Unit BOD decay rate at 20°C (1/hr)	0.004	0.0035
KODSET	BOD setting rate (ft/hr)	0.027	0.07
SUPSAT	The maximum allowable dissolved oxygen supersaturation (none)	1.15	1.32
TCDEN	Temperature correction coefficient for nitrification (none)	1.04	1.04
KDNI	Denitrification of NO ₃ (1/day)	0.0/0.0/0.0 ^a	10/5/3 ^a
KPLNM (surface)	Plant uptake parameters for surface layer(/day)	0.3-0.5	0.35-0.55
KPLNM (upperlayer)	Plant uptake parameters for upper layer (/day)	0.3-0.5	0.35-0.60
KPLNM (underlayer)	Plant uptake parameters for lower layer (/day)	0.0-0.2	0.10-0.20
KIMP	Phosphate immobilization (/day)	8.0/1.5/0.1/0.0 ^b	10.0/2.0/0.1/0.0 ^b
KMP	Organic P mineralization (/day)	0.0009/0.00005/0.00006/0.0 ^b	0.0007/0.00003/0.00005/0.0 ^b
XFIX	Freundlich isotherm foxed phosphorus	20/12/8/9 ^b	25/15/10/12 ^b
K1	Freundlich isotherm coefficient	5/5/4/4 ^b	5/5/5/6 ^b
PUPT	Monthly plant uptake parameters for Phosphorus	0.01-0.15	0.01-0.15

a,b: surface, upperlayer, underlayer

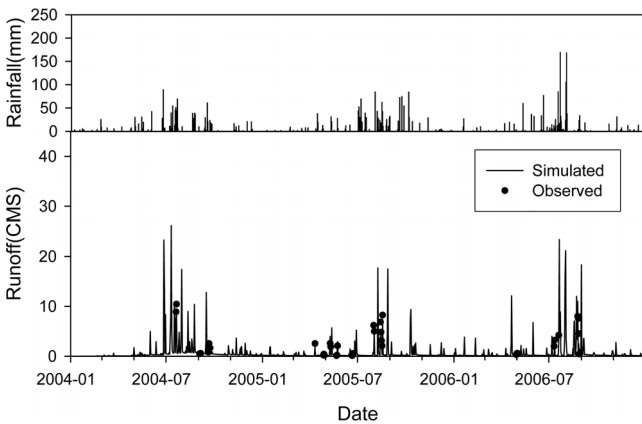


Fig. 3 Observed and simulated stream flow (2004~2006)

사용된 매개변수 중 KBOD20과 KODSET이 BOD에 중요한 변수로 작용하였으며, TN과 TP는 KDNI, KPLNM, KIMP, KMP, XFIX, KI, PUPT 등이 중요한 매개변수로 작용하였다.

TP의 경우 실측값과 모델 예측값의 상관분석 결과 R² 값은 평균 0.96을 나타내어 실측값을 잘 모의하는 것으로 나타났으나, TN과 BOD의 R² 평균값은 각각 0.75, 0.74로 실측값과 모델 예측값의 상관성에서 다소 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 모델 효율계수 ME (Model Efficient)값 또한 BOD, TN, TP 각각 0.70, 0.66, 0.85로 나타나 모델이 실측유량을 잘 모의하는 것으로 판단되지만 TP에 비하여 BOD와 TN의 경우 모델의 효율성도 다소 낮게 나타났다. 이는 실측에 대한 자료의 부족과 보정 시 초기값을 임의로 시작한 것에 대한 영향으로 판단된다. Table 5는 오염부하량에 대한 실측과 모의치를 비교한 통계학적 결과이다.

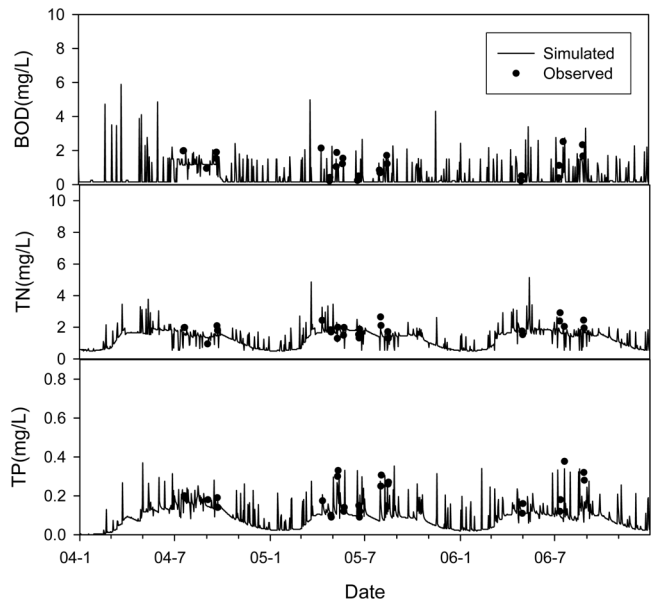


Fig. 4 Observed and simulated concentration (2004~2006)

Table 5 Calibration and validation of model

Classification	Calibration (2004~2005)		Validation (2006)	
	RE	RMSE (CMS)	RE	RMSE (CMS)
BOD	0.30	0.70	0.32	0.72
TN	0.28	0.78	0.31	0.78
TP	0.27	0.09	0.29	0.09

Table 6은 수질모의에 따른 BOD, T-N, T-P 보정 및 검증 결과를 정리 한 것으로 R²가 각각 0.75, 0.74, 0.96, RMSE가 2.59, 4.34, 0.83 tons/yr, ME는 0.70, 0.66, 0.85로 분석되었다.

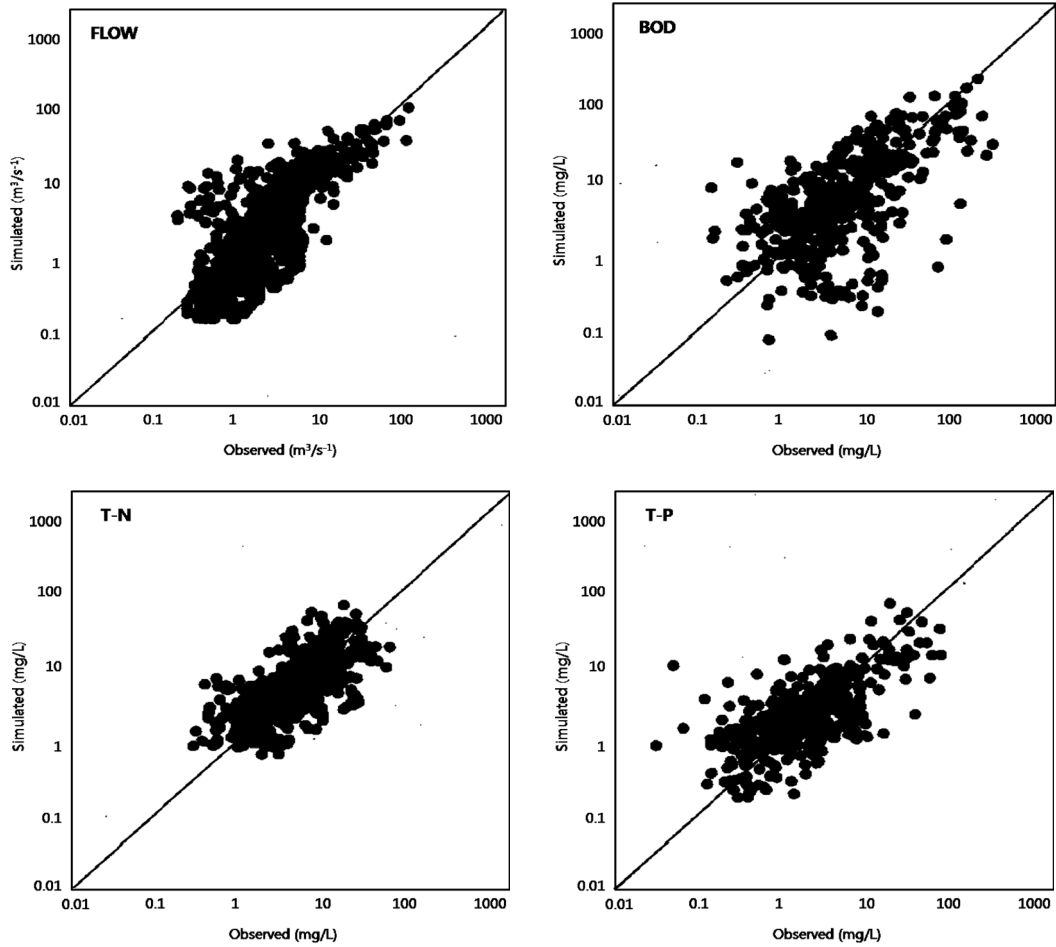


Fig. 5 Scatter plots of observed simulated data

Table 6 Verification results of efficiency for the model

Year	R ²			RMSE (tons/yr)			ME		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
2004	0.93	0.62	0.97	4.01	3.60	0.88	0.71	0.63	0.82
2005	0.70	0.72	0.95	3.58	5.04	0.72	0.68	0.61	0.84
2006	0.63	0.89	0.95	0.19	4.37	0.89	0.72	0.74	0.89
Mean	0.75	0.74	0.96	2.59	4.34	0.83	0.70	0.66	0.85

Table 7 Probability rainfall of study area

Recurrence interval	6 hr	12 hr	24 hr
10 yr	156.5 mm	205.9 mm	277.4 mm
20 yr	183.0 mm	235.7 mm	318.6 mm

2. 모형의 적용

가. 확률 강우량

대상지구의 지속시간별 확률강우의 결과는 Table 7과 같으며, Huff 분포에 따른 지속시간별 누가호우비율은 Fig. 6와 같다. 대상지구의 최근 3년간 (2004~2006년) 강우 패턴 분석 결과, 강우지속시간 6, 12, 24시간 모두 2분위에서 발생빈도가 가장 높은 것으로 나타나 발생확률 50 %의 Huff 2분위를 채택하여 모형에 적용하였다.

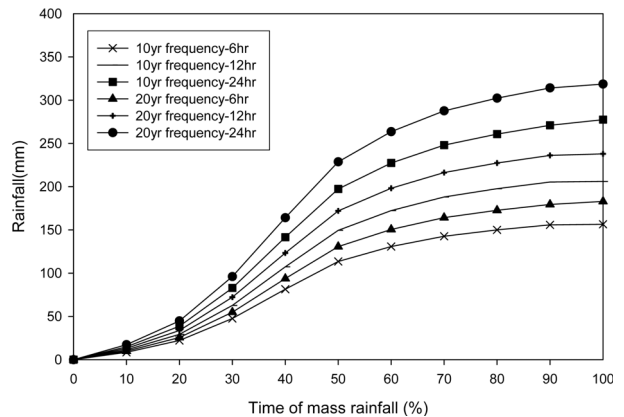


Fig. 6 Huff's nondimensional cumulative Curve (2quarter)

나. 강우 형태에 따른 오염부하량 배출 특성

대상지구에 적용된 WinHSPF에 산정된 지속시간별 확률강우를 적용하여 강우형태별 홍수전후의 오염부하량을 분석하였다. 분포조건은 선행강우가 있는 15일 후이며, 시기는 봄이 끝나가는 5월로 하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 Huff분포에 따른 지속시간별 확률강우에 따른 오염부하량을 나타낸 것이다.

연구 대상 지역의 토지이용은 임야와 경작지가 주를 이루는 지역으로 경작지의 경우 시비에 의한 영향이 많으므로 강우 초기에 영양물질 농도가 높아지는 것으로 분석되었다. TN과 TP, BOD의 농도 변화는 강우강도 변화와 비슷한 경향으로 나타났다. 전체적으로 BOD의 경우 강우가 변화함에 따라 가장 민감

한 변화를 보였는데, 이는 대상지구의 60 % 이상이 임야인 관계로 강우유출과 영양물질질의 관리미흡으로 강우강도에 민감하게 반응한 것으로 판단된다.

TN과 TP는 BOD에 비해 강우와 유출변화에 민감하지 않았으나, 초기 강우강도에 따라 많은 양의 오염부하량이 배출되었다. TN과 TP의 경우 지속시간이 짧고 강우강도가 클수록 초기에 높은 값을 나타냈다. 지속시간별 평균 오염부하량을 살펴보면, 지속시간이 짧을수록 모두 높게 나타났으며, 강우강도가 클수록 높게 나타났다. 이는 지속시간이 길수록 확률 강우량이 높아 총 유출량이 높아지기 때문으로 판단된다.

전체적으로 BOD는 0.15~5.2 mg/L, TN은 0.5~5.7 mg/L,

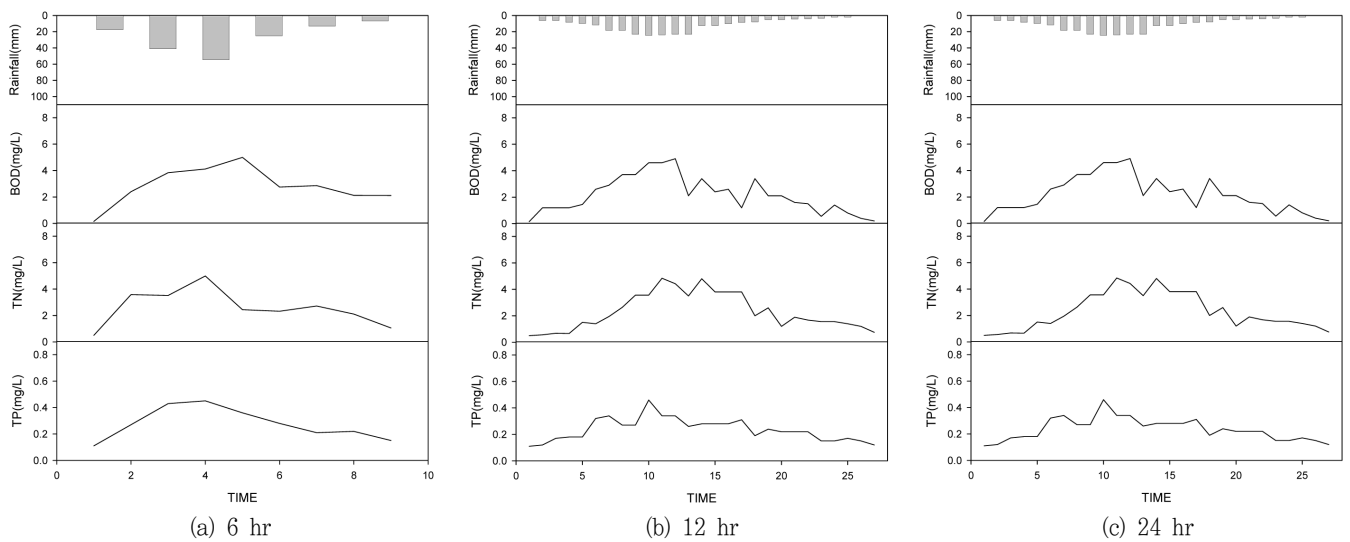


Fig. 7 Density by rainfall duration (10 yr frequency)

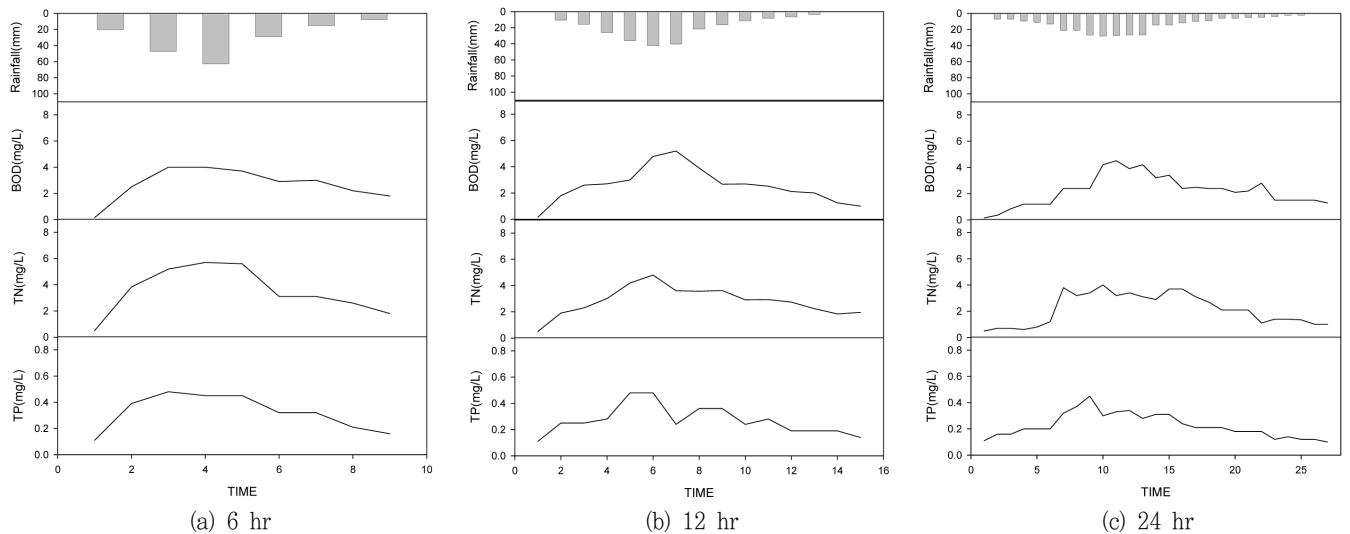


Fig. 8 Density by rainfall duration (20 yr frequency)

Table 8 Average density by rainfall duration (units : mg/L)

Classification	6 hr			12 hr			24 hr		
	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
10 yr frequency	3.50	3.26	0.28	2.69	2.77	0.24	2.38	2.57	0.25
20 yr frequency	3.35	4.42	0.31	3.14	3.05	0.26	2.36	2.94	0.27

TP는 0.11~0.48 mg/L을 나타냈으며, 지속기간별 강우발생시간동안의 평균 오염부하량은 Table 8과 같다. 전체 면적의 62%를 차지하는 임야의 영향이 가장 크나 강우 시 논과 밭의 시비에 의해 높게 올라가는 경향을 보였다. 이는 추후 지속적인 연구를 통하여 유역 면적 대비 원단위로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

VI. 결 론

본 연구는 자연계 비점오염원을 대상으로 강우 형태에 따른 홍수 전후의 오염 부하량 배출 특성을 연구한 것이다. 경기도 안성시 고삼 저수지 상류의 소유역을 대상지구로 하여 유역관리 모형인 WinHSPF를 이용하여 모의하였으며, 여러 가지 형태의 확률 강우량을 산정하여 검보정된 모형에 적용하여 강우 형태에 따른 홍수 전후의 오염부하량 배출특성에 관해 연구하였다. 본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 대상지구에 WinHSPF를 적용하여 보정한 결과, 유출량의 경우 RMSE는 0.89 CMS, RE는 0.25로 나타났으며, 검정결과 RMSE는 1.34 CMS, RE는 0.29로 분석되었다. 수질의 경우 BOD, TN, TP의 보정결과 RMSE와 RE가 각각 0.70, 0.78, 0.09 CMS, 0.36, 0.32, 0.27로 나타났다. 검정결과 RMSE와 RE가 각각 0.72, 0.78, 0.09 CMS, RE는 0.39, 0.35, 0.29로 분석되었다. BOD와 TN의 오차가 큰 이유는 실측에 대한 자료의 부족과 보정 시 초기값을 임의로 시작한 것에 대한 영향으로 판단된다.

2. 대상지구의 지속강우 6시간, 12시간, 24시간에 대해 재현기간 10년, 20년 빈도로 산정하고, 이 값을 Huff 분포법으로 분포시켰다. 10년 빈도의 경우 6, 12, 24시간의 강우는 각각 156.5, 205.9, 277.4 mm로 산정되었으며, 20년 빈도의 경우 183.0, 235.7, 318.6 mm로 산정되었다.

3. 검보정된 WinHSPF에 각각의 산정된 강우를 분포시켜 오염부하량을 분석한 결과, 강우 초기에 영양물질 농도가 높아지는 것으로 나타났는데, 이는 임야와 경작지가 주를 이루는 대상지구의 특성 때문으로 판단된다.

4. 대상지구의 TN, TP는 BOD에 비해 강우와 유출변화에 민감하지 않았으나, 초기 강우강도에 따라 많은 양의 오염부하량이 배출 되었다. 지속시간별 평균 오염부하량을 살펴보면, 지

속시간이 짧고 강우강도가 클수록 높게 나타났다. 이는 지속시간이 길수록 확률 강우량이 높아 총 유출량이 높아지기 때문으로 판단된다.

5. 전체적으로 BOD는 0.15~5.2 mg/L, TN은 0.5~5.7 mg/L, TP는 0.11~0.48 mg/L을 나타냈다. 임야, 경작지, 초지의 면적이 80% 이상인 대상지구의 특성을 고려했을 때, 추후 지속적인 연구와 측정이 계속된다면 자연계 오염부하량 측정에 있어 면적대비 원단위로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

이 논문은 2009년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문입니다.

REFERENCES

1. Albek, M., U.B. Ogutveren and E. Alber, 2004. Hydrological modeling of Seydi Suyu watershed (Turkey) with HSPF. *Journal of Hydrology* 285: 260-271.
2. Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams, 1998. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment. Part I : Model Development. *Journal of American Water Resources Association* 34(1): 73-89.
3. Bicknell, B.R., J.C. Imhoff, J.L. Kittle, Jr., T.H. jobses, and A.S. Donigan, Jr., 2001. Hyrdologic Simulation Program - Fortran (HSPF) User's Manual for Version 12, U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, GA.
4. Hummel, P., Kittle, J.Jr., Gray, M, 2001. WDMUtil User's Manual, Water United States Environmental Protection Agency.
5. Jang, J. H., Yoon, C. G., Jung, K. W., Jeon, J. H., 2006. Pollutant Loading Estimate from Yongdam Watershed Using BASINS/HSPF. *Journal of Korean Society of Limnology* 39(2): 187-197 (in Korean).
6. Jeon, Ji-Hong, Yoon, Chun G, Jung, Kwang-Wook, Jang, Jae-Ho, 2005. "HSPF-Paddy Development for Simulating Pollutant Loadings from Paddy Fields", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 47(7): 57-66 (in Korean).
7. Jung, K. W., Yoon, C. G., Jang, J. H., Kim, H. C., 2007. Quantitative Estimation of Pollution Loading from Hwaseong Watershed using BASINS/HSPF. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 49(2): 61-74

- (in Korean).
8. Jung, K. W., Yoon, C. G., Jang, J. H., Han, J. Y., 2005. The evaluation of BASINS/HSPF and WASP5 model in Hwaong watershed and reservoir. *Conference of the Korean Society of Agricultural Engineers* 540-545. Kongju, Kongju National University (in Korean).
 9. Kim, S. M., Seong, C. H., Park, S. W., 2009. Calibration of HSPR Hydrology Parameters Using HSPEXP Model Performance Criteria. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(4): 15-20 (in Korean).
 10. Lee, H. S., Lee, Y. S., Jeong, S. A., Park, S. Y., 2007. Application of HSPF for pollutant loads estimation in Yongdam watershed. *Conference of the Korean Society of Water & Wastewater / Korean Society on Water Quality* 721-726. KINTEX, Kyeonggi-do, KSWW (in Korean).
 11. Lee, K. S., Chung, E. S., Lee, J. S., Hong, W. P., 2007. Analysis of Hydrologic Cycle and BOD Loads Using HSPF in the Anyancheon Watershed. *Journal of the Korea Water Resources Association* 40(8): 585-600 (in Korean).
 12. Lee, Y. J., An, S. R., Kang, B. S., Kim, S. J., 2008. Asserssment of Future Climate and Land Use Change on Hydrology and Stream Water Quality of Anseongcheon Watershed Using SWAT Model(II). *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 28(6B): 665-673 (in Korean).
 13. Lee, Y. J., Park, J. Y., Park, M. J., Kim, S. J., 2008. Asserssment of Future Climate and Land Use Change on Hydrology and Stream Water Quality of Anseongcheon Watershed Using SWAT Model(I). *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 28(6B): 653-663 (in Korean).
 14. Lee, K. S., Chung, E. S., Shin, M. J., Kim, Y. O., 2006. Determination of Instreamflow Requirement for Upstream Urban Watershed Using SWAT Model. *Journal of the Korea Water Resources Association* 39(8): 703-716 (in Korean).
 15. Park, J. Y., Lee, M. S., Park, G. A., Kim, S. J., 2008. Comparative Analysis of SWAT Generated Streamflow and Stream Water Quality Using Different Spatial Resolution Data. *Journal of the Korea Water Resources Association* 41(11): 1079-1094 (in Korean).
 16. Park, M. J., Kwon, H. J., Jeon, J. H., Kim, S. J., 2004. The analysis of Runoff behavior on Land Cover Changes Using HSPF Model. *Conference of the Korean Society of Agricultural Engineers* 90. Chungnam, Chungnam National University (in Korean).
 17. Song, H. W., Lee, H. W., Choi, J. H., Park, S. S., 2009. Application of HSPF Model for Effect Analyses of Watershed Management Plans on Receiving Water Qualities. *Journal of the Korean Society of Environmental Engineers* 31(5): 358-363 (in Korean).
 18. Yur, J. H., Kim, G. H., 2005. Comparison of Discharge Characteristics of NPS Pollutant Loads from Urban, Agricultural and Forestry Watersheds. *Journal of Korean Society on Water Quality* 21(2): 184-189 (in Korean).