BASINS/HSPF 모형을 활용한 비점오염부하의 정량적 평가

이재운* · 권현각 · 이윤정 · 윤종수 · 한건연¹⁾ · 천세억

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹⁾경북대학교 토목공학과
(2012년 4월 23일 접수; 2012년 6월 4일 수정; 2012년 7월 24일 채택)

Quantitative Estimation of Nonpoint Source Load by BASINS/HSPF

Jae-Woon Lee*, Hun-Gak Kwon, Youn-Jeong Yi, Jong-Su Yoon, Kun-Yeun Han¹⁾,
Se-Uk Cheon

*Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research,
Goryeong 717-873, Korea*

¹⁾*School of Architectural & Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea*
(Manuscript received 23 April, 2012; revised 4 June, 2012; accepted 24 July, 2012)

Abstract

Loading of NPS pollutant was valued through simulation by using BASINS/HSPF model which can simulate runoff volume in rainfall by time. For the verification of the model, it was analyzed the scatter diagram of the simulation value and measure value of water quality and runoff volume in Dongcheon estuary. Using the built model, a study on the time-variant characteristics of runoff and water quality was simulated by being classified into four cases. The result showed the simulation value was nearly same as that of the measured runoff. In the result of fit level test for measured value and simulated value, correlation of runoff volume was computed high by average 0.86 and in the water quality items, fit level of simulation and measurements was high by BOD 0.82, T-N 0.85 and T-P 0.79.

Key Words : NPS, BASINS/HSPF, Delivery pollutant load

1. 서론

유역의 수질을 적절히 관리하기 위해서는 유역 내에 분포하는 비점오염원 발생량의 공간적 시간적 분포를 우선적으로 파악함과 아울러 수역으로 유출되는 오염 발생량을 규명하는 것이 대단히 중요하다. 공공 수역의 수질관리를 위해서는 토지이용과 지역특성을 고려한 비점오염원 부하량의 합리적인 조사가 필요하다(권, 2011).

비점오염물질의 유출량 및 거동규명을 위해서는 강우 시에 현지에서 유량과 수질을 실측해야 가장 정확한 자료를 얻을 수 있다. 그러나 강우시의 실측은 작업여건이 힘들고 많은 경비와 인력이 필요하기 때문에 비효율적이므로 수회의 실측자료로부터 강우유출 모형을 검·보정하여 모의결과를 활용하는 것이 효율적이다. 이러한 강우유출모형을 이용하면 기후나 토지이용 혹은 유역 관리 상태와 같은 모형의 변수를 변화시킴으로써 향후 발생 될 수 있는 결과를 모의 할 수 있다(김, 2007). 이러한 모형의 경우 많은 연구자들이 강우, 유출량 및 수질을 예측하기 위해 모형을 이용하지만 검증되지 않은 모형의 사용과 측정 자료의 오차로 인해 상당한 부분의 신뢰성이 결여되고 있다(Jewell과 Adrian, 1981). 강우유출모형은 대상유역에

*Corresponding author : Jae-Woon Lee, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea
Phone: +82-54-950-9713
E-mail: leejaew@korea.kr

일괄적으로 적용할 수 있는 모델이란 없으며, 유역으로부터 실측된 자료를 기초로 만들어져야 한다(Jewell과 Adrian, 1982).

유역에서 유입되는 오염부하량 산정에는 원단위법이나 회귀식과 같은 단순한 방법에서부터 모형을 활용한 수문학적 과정과 오염물질의 이동과정을 수식으로 표현하여 오염물질의 배출량을 추정하는 방법 등이 있다. 이러한 방법들 중 모형의 경우 미국 농무성에서 개발한 SWAT, 미국 환경청에서 개발한 HSPF가 주로 활용되고 있으며, 유역의 특성과 모의 목적에 따라 유역모형을 선택하여 사용하고 있다(송, 2009). 유역모형의 특징은 시간별, 일별로 수계내의 유량, 수질 모의를 수행할 수 있어 수계내의 유황에 따른 오염부하량 산정에 용이하다(최, 2010).

본 연구에서는 유역에서의 강우 시 유출량을 해석할 수 있는 BASINS/HSPF 모형을 활용하여 소규모 대상유역에서의 비점오염원 부하량을 산정해 보았다. 모형의 검 · 보정을 위해 유역에 속한 하천 말단에서 강우 시 시간별 유량 및 수질 모니터링을 실시하였고, 실측자료를 적용하여 모형의 신뢰도를 향상 시켰다. 이러한 연구 결과를 통해 유역에 대해 비점오염원 관리를 위한 비점오염원별 정량적 평가 시 기초자료로서 활용 될 것으로 판단된다.

2. 자료 및 방법

2.1. 조사 대상 유역

연구 대상 유역은 상주시가 포함된 동천유역으로 낙동강 대권역중, 병성천 중권역에 속하며, 면적은 107.88 km²이다. 동천은 병성천의 주요 지류로서 병성천 유역의 상단에 위치하고 있으며, 병성천 합류 전 동천 말단 지점에서 모니터링을 수행 하였다. 동천 유역의 조사지점에 대한 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 동천 유역의 경우 토지피복분류군이 다양하고, 해당 유역 내에 하수종말처리장과 같은 점오염원이 존재하지 않아 본 연구에서와 같이 비점오염원에 대한 영향을 분석하기에 적합한 유역이다. 모형의 검 · 보정을 수행하기 위해 병성천 유입 전 동천 말단지점에서 강우 및 비강우시 유량 및 수질에 대한 현장 조사를 실시하였다.

유역의 특성으로는 산림과 농경지가 각각 42.49%,

49.69%로 비슷한 비율을 나타내고 있다. 또한 하류부에 상주의 외곽부분이 포함되고 교통지역이나, 주거, 공업지역 등도 다른 유역에 비해 다소 높은 수치를 나타내고 있다. 지류로 외서천이 합류하고 있는 것으로 나타났다. Table 1은 동천유역의 토지이용 현황을 나타낸 것이다. 산지와 농경지의 비율이 가장 많았고, 또한 주거지역 교통지역의 분포가 잘 나타나고 있어, 지목의 분포가 가장 적합한 것으로 보인다.

Fig. 1. Basins of this study.

Table 1. Land cover in watershed of Dongchun

Level-2 land cover	Area(%)
Residential area	2.93
Industrial area	0.11
Commercial area	0.04
Traffic area	1.10
Public facilities area	0.05
Rice paddy	35.09
Dry field	9.92
Greenhouse area	0.11
Orchard	4.34
Others	0.23
Broad-leaved forest	11.70
Coniferous forest	14.10
Mixed stand forest	15.50
Natural grassland	0.10
Other grassland	1.09
Interior wetland	0.65
Other bare ground	0.95
Interior water	1.99

2.2. 강우 시 모니터링

강우 시 실시된 현장 모니터링은 기상청의 일기예보에 따라 조사대상지점에서 강우 시작 전부터 종류 시까지 1시간 간격으로 유량 및 수질 측정을 실시하였다. 동천의 경우 평상시 유량이 1.5~2.0 m³/sec 정도로 적어, 현장 조사 시 유량측정을 위해 유속계는 소하천에서 주로 활용되는 VALEPORT사의 Model-002 (Flow Meter Wading set)를 사용하였다. 수질분석은 현장에서 측정되는 항목은 YSI를 사용하였고, BOD, T-N, T-P 항목의 경우 실험실로 옮겨 ‘수질오염공정시험법(환경부, 2007)’에 따라 분석을 실시하였다.

2.3. HSPF 모형 이론

HSPF(Hydrological Simulation Program-Fortran)는 준분포형 장기 유출모델로서 미국 환경청(U.S. Environmental Protection Agency, USEPA)에서 1950년대에 개발된 SWM(Stanford Watershed Model)에 1970년대에 수질처리모듈이 추가되고 1980년대에 전·후처리 소프트웨어, 알고리즘 강화, 그리고 WDM(Watershed Data Management)의 기능이 USGS와 EPA에 의해 추가, 개발된 유역모형이다.

HSPF는 투수층(PERLND)과 불투수층(IMPLND)

으로 구분하여 의되며 모의한 결과인 유출량과 비점오염원이 하천모듈(RCHRES)로 입력되어서 수질을 모의하게 되는 알고리즘으로 구성되어 있으며, 각각의 모듈에서는 유출량, 토사유출, DO, 수온, BOD, NO₃, NH₄, Organic N, PO₄, Organic P, 영양염류, Plankton 등을 모의한다. 그리고 일반적으로 토지이용도의 변화 저수지 유무, 점오염원과 비점오염원 처리방법, 흐름전환의 효과를 평가하기 위해 사용되어져 왔다. 또한 WDM Utility는 통계적 분석과 도식화를 위해 자료의 전처리와 후처리를 제공한다. HSPF는 유역의 수문과 수질을 모의하는데 있어서 강우량, 기온, 일사량, 풍속, 증발량, 운량, 이슬점 온도 등의 시계열 자료가 사용된다. 이 자료들이 Table 2의 형태로 WDM 파일에 저장되고 이렇게 저장된 파일은 BASINS에서 구축된 지형자료와 함께 HSPF의 입력 값이 된다.

HSPF에는 기본적으로 3개의 Application 모듈과 5개의 Utility 모듈로 이루어져 있다. Application 모듈에는 Table 3에 나타난 것처럼 투수층(PERLND), 불투수층(IMPLND), 하천(RCHRES)으로 나뉘어져 있고 각각의 모듈에는 다수의 모의 항목이 포함되어 있으며, 서로 독립적인 동시에 상호작용하며 모의를 수행한다. 그리고 Table 4에 나타난 5개의 Utility 모듈은

Table 2. Weather data(WDM) for HSPF

Parameter	DSN	Parameter Type	Unit	Method
PREC	1	hourly precipitation	in/hr	observed
EVAP	2	daily evaporation	in	computed
ATEM	3	hourly air temperature	deg F	disaggregated
WIND	4	hourly windspeed	mph	disaggregated
SOLR	5	hourly solar radiation	ly/hr	disaggregated
PEVT	6	hourly potential evapotranspiration	in/hr	disaggregated
DEWP	7	hourly dewpoint temperature	deg F	disaggregated
CLOU	8	hourly cloud cover	tenth	disaggregated

Table 3. HSPF Application Module

PERLND	IMPLND	RCHRES
Water budget	Snow	Hydraulics behavior
Snow accumulation & melt	Water	Water temperature
Sediment production & removal	Solids	Inorganic sediment behaviors
Nitrogen & Phosphorous behavior	Quality	Chemical behaviors
Pesticide behavior		BOD & DO balances
Tracer chemical movement		Inorganic Nitrogen & Phosphorus balances
		Plankton population
		pH, Carbon, alkalinity

Table 4. HSPF Utility Module

COPY	PLTGEN	DISPLY	DURANL	GENER	MUTSIN
Data transfer	Plot data	Tabulate, Summarize	Duration analysis	Transform, Combine time series data	Input sequential time series data

사용자가 직접 구축한 TSS(Time Series Store)와 WDM (Watershed Data Management) 파일 내에 시계열 정보를 접근, 분석, 조작을 쉽게 한다. 이러한 시간별 강우, 일별 증발량과 같은 시계열 자료는 Application 모듈과 유역특성분석에 사용된다(USEPA, 1996).

Application 모듈 중에 PERLND 모듈은 투수지역에서 발생하는 수리와 수질을 모의하는데 이는 HSPF에서 가장 많은 부분을 차지한다. 먼저 투수지역의 구성요소에는 강수(rainfall and snow), 차단(interception), 저류(depression storage), 증발산(evapotranspiration), 지표수유출(surface runoff), 기저유출(interflow), 지하수 유출(groundwater flow) 등이 있으며 시간에 따른 각각의 요소들의 변화는 토지이용, 토양의 피복상태, 강우조건 등에 따른다. 기본적인 물수지 방정식은 아래 식과 같다.

$$P + SWI + GWI = ET + SWO + GWO + \Delta S \quad (1)$$

여기서, P는 강수량, SWI는 지표수 유입, SWO는 지표수 유출, GWI는 지하수 유입, GWO는 지하수 유출, ET는 증발산량, ΔS 는 저류량의 변화를 나타낸다. IMPLND 모듈은 침투가 발생하지 않거나 아주 적은 도시지역의 수리와 수질을 모의한다. 그러나 발생하는 유출, 유사, 그리고 오염물질들은 침투지역이나 하천수로 또는 저수지의 측면 경사를 통해서 제거되기도 한다. RCHRES 모듈은 PERLND와 IMPLND에 의해서 모의된 유출량과 수질요소들을 하천수로와 저수지를 통과할 때 발생하는 현상을 모의한다. 수체 내에서의 물수지 기본 방정식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$VOL - VOLS = IVOL + PRSUPY - VOLEV - ROVOL \quad (2)$$

여기서, VOL은 최종유량, VOLS는 최초유량, IVOL은 유입량, PRSUPY는 강수량, VOLEV는 증발량, ROVOL은 유출량을 나타낸다.

$$RELBOB = (BRBOD(1) + BRBOD(2) \cdot \exp(-EXPREL \cdot DOX)) \cdot SCRFAC \quad (3)$$

$$BODOX = (KBOD_{20}(TCBOD^{TW-20})) \cdot BOD \quad (4)$$

여기서, RELBOD는 침전바닥으로부터의 BOD($\text{mg}/\text{m}^2/\text{interval}$), EXPREL은 exponential factor, DOX는 용존산소농도(mg/L), SCRFAC는 평균유속에 따른 scouring factor, BODOX는 BOD 분해에 필요한 산소량($\text{mg}/\text{L}/\text{interval}$), $KBOD_{20}$ 는 20°C 에서의 BOD분해율($1/\text{interval}$), TCBOD는 온도보정계수(default값으로 1.075)를 나타낸다.

$$DODEMD = 3.22 \cdot TAMNIT + 1.11 \cdot NO_2 \Rightarrow T \quad (5)$$

$$DENNO_3 = KNO_3 \cdot TCDEN^{TW-20} \cdot NO_3 \quad (6)$$

$$SNUT(J) = DNUT \cdot ADPM(J) \quad (7)$$

여기서, DODEMD는 질산화로 인한 DO의 손실($\text{mg O}_2/\text{L}/\text{interval}$), TAMNIT는 NH_3 산화량($\text{mg N}/\text{L}/\text{interval}$), $DENNO_3$ 은 탈질화된 NO_3 량, 20°C 에서 NO_3 탈질화계수($1/\text{interval}$), TCDEN은 온도보정계수를 나타낸다(USEPA, 1996).

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질 및 유량 모니터링 결과

동천말단 지점에서 강우 시 수질 및 유량에 대한 현장 모니터링을 2010년, 2011년에 실시하였다. 2010년 모니터링의 경우 Sampling 간격을 1시간 간격으로 측

정하지 못하여 2011년 모니터링 결과와는 차이를 보였다. 2011년 모니터링은 강우 시작 전부터 1시간 간격으로 유량 및 수질 모니터링을 실시하였으며, Case별 결과치의 평균치를 정리하여 Table 5에 나타내었고, Case별 전체 분석 data를 Fig. 2에 도시하였다.

유량측정 및 수질 샘플링의 시작점을 T1로 표기하였고, 이후 측정되는 횟수(n)에 따라 T(n)로 표기하였다. 2010년의 경우 그 간격이 2시간 정도로 수행되었으나 현장상황에 따라 일부 지연되기도 하였다. 2011년의 경우 조사결과의 신뢰도 향상을 위해 1시간 간격으로 등배 하여 모니터링을 수행하여 T1 ~ T24까지 조사되었다.

Table 5 및 Fig. 2의 경우 조사 기간에 따라 4개의 Case로 구분하여 나타내었으며, Case별 강우량의 영향에 따라 발생 형태의 차이를 보여 주었다. Case 3의 경우 강우량이 타 Case에 비해 현저히 많았으며, 그에 따라 유량이 증가하였고, 타 물질에 비해 유기오염물질의 유입이 많았음을 수질 분석결과의 비교를 통해 알 수 있다. 또한 Case 1과 Case 3의 경우 유사한 시기에 조사가 진행되었으나, 강우량은 현저히 다르게 조사 되었고, 그에 따라 유기오염물질의 지표로 활용되는 BOD 농도의 차이가 크게 발생함을 확인 하였다. 하지만 영양염류의 경우 10배 이상의 강우량의 차이에도 불구하고 T-N, T-P 농도의 차이는 크게 나타나

Table 5. Summary of various events in Dongchun

	Date	Total rainfall (mm)	Flow (m ³ /sec)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
Case 1	2010.06.25	11.4	0.98	1.44	1.482	0.247
Case 2	2010.07.16	25.1	0.57	1.68	2.620	0.219
Case 3	2011.06.23	137.5	3.27	4.06	2.308	0.266
Case 4	2011.07.26	15.8	0.24	1.65	2.324	0.071

※Flow, BOD, T-N, T-P : Average of analysis results.

※ Case 1 : T1(10/06/25 11:00) ~ T8(10/06/25 22:00), Case 2 : T1(10/07/16 14:00) ~ T11(10/07/16 24:00), Case 3 : T1(11/06/23 15:00) ~ T24(11/06/24 14:00), Case 4 : T1(11/07/26 13:00) ~ T24(11/07/27 12:00)

Fig. 2. Water quality variation of monitoring results.

지 않았다. 영양염류의 경우 하천주변 경작지에서의 시비로 인해 축적되어 있던 물질들이 하천으로의 유입되어 발생하는 것으로 조사되었으며, Case 1과 Case 3의 경우 작물 재배 시기가 유사하여 유입되는 농도 차이가 크게 나타나지 않은 것으로 사료된다.

3.2. BASINS/HSPF 모의

3.2.1. 유역자료 구축

유역의 유출특성을 규정할 수 있는 유역자료로 유역에 대한 표고자료, 토지피복도, 토양도자료로 정리할 수 있다. 표고 및 토지피복도는 환경지리정보에서 취득한 자료를 이용하였고, 그 외에 필요한 자료에 대한 출처는 다음과 같다. 토양도의 경우 농업과학기술원에서 발행하는 개략 토양도를 이용하여 분석하였다. 모형의 유역 자료로써 우선 DEM은 유역 추출에 이용된다. 하도 레이어와 함께 DEM은 유역을 몇 개의 수문학적으로 연결된 소유역으로 나누는데 이용될 수 있다. 이러한 레이어는 하도의 위치를 예측하는데 이용된다. 또한, 하도 레이어는 모형 HSPF의 입력 및 출력에 이용된다. 입력 자료로 하도 레이어가 흐름의 위치를 예측하는데 사용될 수 있다. DEM은 흐름의 위치를 정확하게 예측할 수 없는 이유 때문이다. 하도 레이어를 입력하는 것은 수문학적인 분할 및 소유역 경계를 만드는 것을 향상시킬 수 있을 것이다.

토양 레이어와 함께 토지 이용 레이어는 토지 이용/토양 범주 조합을 결정하고 파낸 유역에 대한 분포와 소유역을 결정하는데 이용될 것이다. HSPF은 각각의 토지이용 현황에 따라 투수율을 결정하고 이에 따라 투수 매개변수와 불투수 매개변수를 결정한다. 따라서 모델링을 위한 지형자료로써, 수치표고모델(DEM), 환경지리정보에서 제공된 중분류 토지이용도를 이용하였다. 본 연구에 사용된 대상유역인 동천유역에 대한 DEM, 토지이용도는 Fig. 3, Fig. 4와 같다.

3.2.2. 모형입력 자료 구축

유출 현상에 가장 크게 영향을 미치는 변수는 강우 자료이다. 본 모의에서는 2010년에서 2011년까지 4회 실시된 모니터링 자료 중 강우량을 입력 자료로 하여 모의를 수행 하였다.

HSPF 모형에 입력되어야 하는 기상자료는 시간별 평균기온, 일별 증발량, 시간별 풍속, 일별 이슬점 온도, 시간별 증발산량, 시간별 평균운량, 시간별 일조량이다. 기상청의 기상자료는 대부분 일별 자료로 시간별 자료가 없지만 WDMUutil에 최고기온, 최저기온, 평균풍속, 평균운량을 입력시켜서 내부의 계산 기능을 이용하여 위의 시간별 자료들을 계산한 후 입력시킨다. 기상관측소의 자료는 상주관측소를 활용하였다. 입력자료 중 강우량의 경우 모니터링 기간에 따라

Fig. 3. DEM delineation for HSPF.

Fig. 4. Land use at Dongchun.

Case를 4개로 구분하여 모형의 입력 자료로 활용하였다. 각각의 Case 별 일간 기상청에서 측정된 강우량 관측 자료에 모니터링 기간 동안 현장에서 실측된 강우량을 입력하여 모의에 활용하였다.

3.2.3. 모형 적용 결과

구축된 HSPF 모형에 시기별로 현장 모니터링 결과를 활용하여, 각각의 조사 시기를 Case 1 ~ Case 4로 구분하여 유역의 유출량 및 수질항목들의 검·보정을 실시하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5의 Case별 시간 간격 T(n)는 Fig. 2에 제시된 결과를 검·보정 자료로 활용하여 동일하다.

Fig. 5를 살펴보면, 항목에 따라 모의치와 실측치의 차이가 크게 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 본 모의가 시간단위 모의를 수행하여, 단기모의의 특성상 농도 변화가 급격히 변화되는 부분에 대해서는 조정이 되지 않았다. 이러한 단점을 보완하기 위해 좀 더 정밀한 현장 조사를 시행하였고, 2011년 모의·실측치를 비교해 보면 모형이 더욱 안정화 된 것을 확인할 수 있다. Case 별 검·보정 결과 모의치와 실측치간 일부 조정이 되지 않는 부분도 있었으나, 전반적으로 모의치가 실측치를 잘 대변하고 있음을 그림을 통해 알 수 있다.

검·보정이 완료된 후 모형 결과치의 적절성을 모의치와 실측치 간의 산점도 분석을 통해 검토 하여 Table 6에 나타내었다. Table 6의 적합도 분석 결과를 살펴보면, 모의치와 실측치의 적합도 평가 결과가 평균 0.73이상으로 높게 산정되었다. 강우량 및 시기가 다른 Case별 적합도 평가 결과의 경우 Case 1의 BOD 항목을 제외한 나머지 모두 0.5이상으로 산정되어 실측치에 대한 모의치의 적합성이 높음을 알 수 있다.

모형결과의 적합도는 높게 판정되었으나, HSPF 모형의 검·보정 및 적합도 평가를 위해 활용된 현장 조

사 결과의 경우 6월, 7월로 국한되어 강우가 주로 발생된 시기의 결과로서, 조사 당시 측정된 유량이 강우의 영향으로 동천의 평상시 기본 유량 이상으로 측정되어 건기에 해당하는 봄이나 겨울철에 구축 모형을 적용하기에는 제한성을 가지고 있다. 동천의 경우 병성천에 속하는 지류로서 평상시 유량이 적어 소하천에 속한다. 또한 강우가 발생하지 않는 가을이나 겨울철의 유량은 평상시 유량보다 1.5 ~ 2배정도 낮아지는 특성을 보여, 강우 시기와 전혀 다른 특성을 나타낸다. 유량이 기준치보다 낮아지는 시기는 유입물질의 농도에 따라 유달부하량이 큰 차이를 보여, 이러한 결과를 모형에 적용하였을 경우 본 연구에서 조사된 적합도와는 다른 양상을 보일 수 있다. 이에 따라 강우시기에 발생하는 비점오염부하량 산정의 신뢰성을 높이기 위해서는, 계절적 특성을 반영할 수 있는 다양한 시기의 현장 조사가 주기적으로 시행되고, 이러한 결과를 바탕으로 모형을 검·보정 할 필요성을 확인 할 수 있다.

3.2.4. 동천유역 비점오염원 유달부하량 산정

검·보정을 통해 동천유역에 대해 구축된 HSPF를 이용하여 시간별 모의를 통하여 비점오염부하량을 산출하여 Table 7에 나타내었다. Case별 산정된 부하량을 살펴보면, 동천의 경우 평소의 낮은 유량으로 인해 강우량 증가에 따라 유입수가 증가되어 부하량이 높게 산정되는 것으로 조사 되었다. Case 3의 경우 조사 당시 총 강우량이 137.5 mm로서 전년도에 비해 높은 강우가 발생되었다. 이에 따라 부하량이 BOD 26641.2 kg/day, T-N 15028.1 kg/day 및 T-P 1682.5 kg/day로 다른 Case에 비해 높은 유달부하량을 나타내었다. Case 3을 제외한 시기의 비점오염원별 평균 부하량의 경우, BOD 104.9 kg/day, T-N 480.3 kg/day, T-P 26.7 kg/day로 산정되었다. 비점오염원별 부하량을 비교해

Table 6. Correlation of between observed and simulated result

		2010		2011		Ave.
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	
R ²	Flow	0.725	0.915	0.803	0.751	0.80
	BOD	0.476	0.793	0.913	0.755	0.73
	T-N	0.608	0.640	0.869	0.815	0.73
	T-P	0.828	0.869	0.887	0.877	0.87

Fig. 5. Comparison between field measurements and simulated results (2010, a~d) : Case 1, e~h) : Case 2).

Fig. 5. Comparison between field measurements and simulated results
(2011, a~d) : Case 3, e~h) : Case 4, continued).

보면, 특정 항목의 비중이 높지 않고, 강우량 및 형태에 따라 유입되는 물질의 차이로 인해 비점오염원별 부하량이 차이가 남을 알 수 있다. 동천의 경우 하수종말처리장과 같은 점오염원이 존재하지 않아 강우시 발생하는 오염원은 주변 식생 및 경작지에서 유입되는 유입수의 영향을 가장 많이 받았다. 하천 주변이 자연식생으로 이루어져 있으나, 주변의 경작지들에서의 유입량이 많은 것으로 현장 조사 시 확인 되었고, 이러한 결과로 인해 강우 발생에 따라 비점오염원별 부하량이 차이가 크게 발생되었다. 동천과 같은 소규모 하천에서의 오염물질별 부하량의 경우 평소 유지유량이 적어 유입수의 영향을 크게 받는 것으로 조사 되었으며, 본 유역과 같은 소규모 유역에 대한 모형 구축 및 예측이 동반되어야 대규모 유역에서의 적절한 모델링 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 7. Delivered load of NPS at Cases (kg/day)

NPS	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
BOD	115.9	69.5	26641.2	129.5
T-N	111.8	123.3	15028.1	1205.9
T-P	22.3	23.1	1682.5	34.6

4. 결 론

본 연구에서는 유역에서 활용될 수 있는 강우유출 모형인 BASINS/HSPF 모형을 활용하여 낙동강유역에 속하는 동천유역에서의 강우시 비점오염원 부하량을 산정해 보았다. 모형의 신뢰성을 확보하기 위해 현장에서 실측된 유량 및 수질 자료를 활용하여 검 · 보정을 실시하였으며, 검 · 보정이 완료된 후 모의치와 실측치간의 적합도를 산점도 분석을 통해 평가 하였다. 구축된 모형을 통해 동천 유역에서 조사 시기에 따른 Case 별 비점오염원의 부하량을 산정하였다.

1) 동천말단에서 강우 시 수질 및 유량에 대한 현장 모니터링을 2010년, 2011년에 실시하였으며, 모니터링 결과 동천과 같은 소규모 하천의 경우 Case별 강우량의 발생정도에 따른 유입수량의 차이가 하천의 유량 및 수질농도 차이에 가장 크게 영향을 미치는 것으

로 조사 되었다.

2) BOD 농도의 경우 조사 시기에 따라 강우량의 차이에 의한 하천으로의 유입수 양에 따라 차이가 발생되었으며, T-N과 T-P와 같은 영양염류의 경우 조사 시기에 따라 시비의 영향을 가장 많이 받는 것으로 조사 되었다.

3) 동천의 경우 병성천에 속하는 지류로서 가을과 겨울 유량이 평상시 유량(0.15 ~ 0.2 m³/sec)의 50 ~ 65%이다. 계절적 영향으로 유량이 기준치보다 낮아 지는 시기는 유입물질의 농도에 따라 유달부하량의 차이가 크게 나타나는 것으로 조사 되었다.

4) 시간단위 단기모의 특성상 농도 변화가 급격히 변화되는 부분에 대해서는 조정이 되지 않았다. 이러한 단점을 보완하기 위해 좀 더 정밀한 현장 조사를 시행하여 모형을 안정화 시켜, 전반적으로 모의치가 실측치를 잘 대변하였다.

5) 모형 결과치의 적절성을 모의치와 실측치 간의 산점도 분석 결과, 모의치와 실측치간의 결정계수가 평균 0.73이상으로 높게 산정되었다. 강우량 및 시기가 다른 Case별 적합도 평가를 수행한 결과의 경우, 결정계수가 0.5이상으로 산정되어 실측치에 대한 모의치의 적합성이 높음을 알 수 있다.

6) BASINS/HSPF 모형을 이용하여 시간별 모의 결과, 동천의 경우 평소의 낮은 유량으로 인해 강우량 증가에 따라 유입수가 증가되어 부하량이 높게 산정되는 것으로 조사 되었다. Case 3의 경우 조사 당시 총 강우량이 130 mm로서 전년도에 비해 높은 강우가 발생되었다. 이에 따라 부하량이 BOD 26641.2 kg/day, T-N 15028.1 kg/day 및 T-P 1682.5 kg/day로 다른 Case에 비해 높은 유달부하량을 나타내었다.

동천과 같은 소규모 하천이 속한 유역에서의 오염물질별 부하량의 경우 평소 유지유량이 적어 유입수의 영향을 크게 받는 것으로 조사 되었으며, 본 유역과 같은 소규모 유역에 대한 모형 구축 및 예측이 동반되어야 대규모 유역에서의 적절한 모델링 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 권현각, 2011, 유역모형과 중분류토지피복을 적용한 비점 오염부하의 정량적 평가, 박사학위논문, 경북대학교.
- 김기윤, 2007, SWAT모형에 의한 밭과 임야에서의 비점 오염원 유출 특성, 석사학위논문, 한밭대학교.
- 송광덕, 2009, BASINS/HSPF와 연계한 유황별 비점유 달부하량 산정방법 개발에 관한 연구, 박사학위논문, 전남대학교.
- 최재훈, 2010, 유역모델(HSPF)을 이용한 댐유역 비점오염 부하량 산정방법의 개선에 관한 연구, 박사학위논문, 충남대학교.
- 환경부, 2007, 수질오염공정시험방법.
- Jewell, T. K., Adrian D. D., 1981, Development of improved stormwater quality models, Journal Environmental Engineering ASCE, 107(E5), 150-157.
- Jewell, T. K., Adrian D. D., 1982, Statistical analysis to derive improved stormwater quality models, Journal Water Pollution, 54(5), 489-499.
- USEPA, 1996, Hydrological Simulation Program-Fortran User's Manual for Release 11.