



HSPF를 이용한 임하호 유역 유사량 모의

Simulation of Sediment Yield from Imha Watershed Using HSPF

전지홍^{*,†}

Jeon, Ji Hong

ABSTRACT

Sediment yields from Imha watershed were simulated during 1993-2008 using Hydrologic Simulation Program-Fortran (HSPF). Using observed daily stream flow for 2004-2008 and hourly suspended solid concentration for three events during 2006, HSPF was calibrated and validated at the sites of Imha and Youngyang for stream flow and Dongchun and Jangpachun for sediment yield. The calibration and validation results represented high model efficiency for simulating daily stream flow and hourly suspended solid. The determination coefficients of calibration and validation were 0.90 and 0.81 for daily stream flow, and 0.91 and 0.86 for monthly stream flow, respectively. Based on model tolerances for calibration and validation of stream flow, HSPF performance for simulating stream flow represented 'very good'. The determination coefficients of calibration and validation were 0.94-0.96 and 0.95 for hourly sediment yields, respectively. The average yearly sediment yield during 1993-2008 was 122,290 ton/year and most of sediment yield (77 % of total yield) were generated from June to August. The calibrated HSPF simulated well the movement of water and eroded soil within Imha watershed.

Keywords: HSPF; sediment yield; suspended solid; calibration; validation

1. 서 론

임하호는 1993년 4대강 유역 종합개발계획의 일환으로 조성된 다목적 댐으로 저수량 5억 9500 만톤으로 국내 호수 가운데 8번째로 큰 저수지이다. 지역적으로 안동다목적댐과 인접하게 위치하고 있음에도 불구하고, 큰 강우이후의 고탁수는 안동호에 비해 임하호에서 특히 문제시 되었다. 고탁수는 생태계 변화를 초래하며 임하댐과 같이 식수원으로 사용할 경우 정수 처리에 있어 추가적인 문제를 초래하기 때문에 임하호의 고탁수 문제해결에 대한 필요성이 대두되었으며, 2007년 8월 23일부로 수질환경보전법 제54조에 의거하여 임하호는 소양호, 도암호, 광주광역시와 함께 우리나라 최초의 비점오염원관리지역으로 지정됨으로써 지자체의 장은 비점오염물질 저감 시행계획을 수립하여 환경부장관의 승인을 받아 계획을 시행하여야 한다.

유역내에서의 다양한 탁수저감대책이 호내 수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 유역에서의 정확한 토양유실량 예측이 매우 중요한 과정이다. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)는 토양유실을 예측할 수 있는 간단하면서도 널리 적용되는 방법으로 우리나라에서도 많이 사용되고 있다 (Park et al., 2008; Kim et al., 2009). RUSLE가 연평균 개념의 토양유실량을 예측하는 반면 일별 모의가 가능한 동적 모델인 SWAT은 토양유실을 예측하는데 우리나라에서도 널리 사용되는 모델이다 (Park et al., 2008). Choi et al. (2009)은 토양유실예측 모델인 WEPP (Water Erosion Prediction Project)을 흥천군 자운리 농경지에 적용함으로써 WEPP을 소개한 바 있다. 그러나, RUSLE는 연단위의 토양유실량 예측모델이기 때문에 모델의 검·보정과정을 거치기가 어렵다. 또한 널리 사용되고 있는 SWAT (Soil and Water Assessment Tool)모델도 일단위 모의 모델이기 때문에 강우시 시간별로 측정된 급변하는 부유물질의 농도를 이용하여 어떻게 모델을 보정하느냐는 신중하게 고려해야할 문제이기도 하다. Park et al. (2007)와 Ye et al. (2009)은 각각 임하호유역과 대청호유역을 대상으로 월별 비강우시 측정된 부유물질의 농도를 이용하여 토양유실량을 보정한바 있으나, 강우시 대부분이 유입되는 토양유실량을 고려할 때 모델에 의해 산정된 토양유실량의 신뢰성은 낮을 것으로 판

* 안동대학교 환경공학과

† Corresponding author Tel.: +82-54-820-5093

Fax: +82-54-820-5093

E-mail: jhjeon@andong.ac.kr

2010년 9월 15일 투고

2010년 9월 30일 심사완료

2010년 10월 18일 게재확정

단된다. 최근들어서는 국립환경과학원에서는 강우시와 비강우시를 포함한 8일간격의 수질모니터링을 수행하고 있어 이를 이용하여 SWAT모델을 보정 (Jang et al., 2010)함으로써 비강우시 월별 1회 측정된 자료를 이용한 모델의 보정보다는 신뢰성이 높을 것으로 판단되나 큰 강우시 시간별 급변하는 토양유실량의 모의 능력에 대한 검증과정이 있어야만 하며, 이는 SWAT을 이용한 토양유실을 포함한 비점오염부하량을 예측하기 위해서는 풀어야만 하는 숙제임에는 틀림이 없다. HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran)는 SWAT 모델과 함께 비교적 사용빈도가 높으며 시간별 모의가 가능하다는 장점을 가지고 있다. Jeon et al. (2010a; 2010b; 2006)은 보청A유역을 대상으로 유량 및 영양물질을 HSPF-PEST를 연계 적용하여 자동보정한 후 소유역 유달을 추정공식을 개발한 바 있으며, 새만금 유역을 대상으로 영양물질을 일별, 시간별 보정을 수행한바 있다.

본 연구에서는 HSPF를 이용하여 임하호유역을 대상으로 국립환경과학원에서 측정된 8일간격 1일 1회의 모니터링자료와 Kim et al. (2006)에서 수행한 강우시 시별 자료를 이용하여 HSPF의 유사량을 보정하여 HSPF의 유사량 모의 적용성과 임하호 유역에서의 유사특성을 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지역

연구대상지역은 임하호유역으로 선정하였다. 임하호유역의 주요 지천인 반변천과 용전천이 흐르고 있으며, 유역북측에서 흐르는 반변천은 유로연장이 98.1 km로서 북쪽 태백산맥을 분수령으로 표고 1,219 m인 일월산을 수원으로 하고 유역 남측을 흐르는 용전천은 표고 807 m인 구암산과 모포산 및 주왕산을 수원으로 하며 청송읍을 지나 후평리 지점에서 반변천과 합류한다.

유역내의 모니터링 시설은 Fig. 1과 같다. 유역내에 수자원공사에서 운영하고 있는 강우량 측정소는 총 6지점이며, 강우량 이외의 기상자료는 유역외의 기상청에서 운영하고 있는 안동기상대 1개 지점이 있다. 유출량 측정은 영양과 청송 2개의 지점을 측정하고 있으며 임하호 총유입량을 호내 수위변화에 의해 예측하고 있다. 수질측정지점은 흰색점 (영양지점)의 국립환경연구원에서 8일간격으로 측정중인 지점이며, 회색점의 위쪽에 위치한 장파천지점과 아래쪽에 위치한 동천지점은 2006년 강우시 시간별로 수질을 측정할 지점이다.

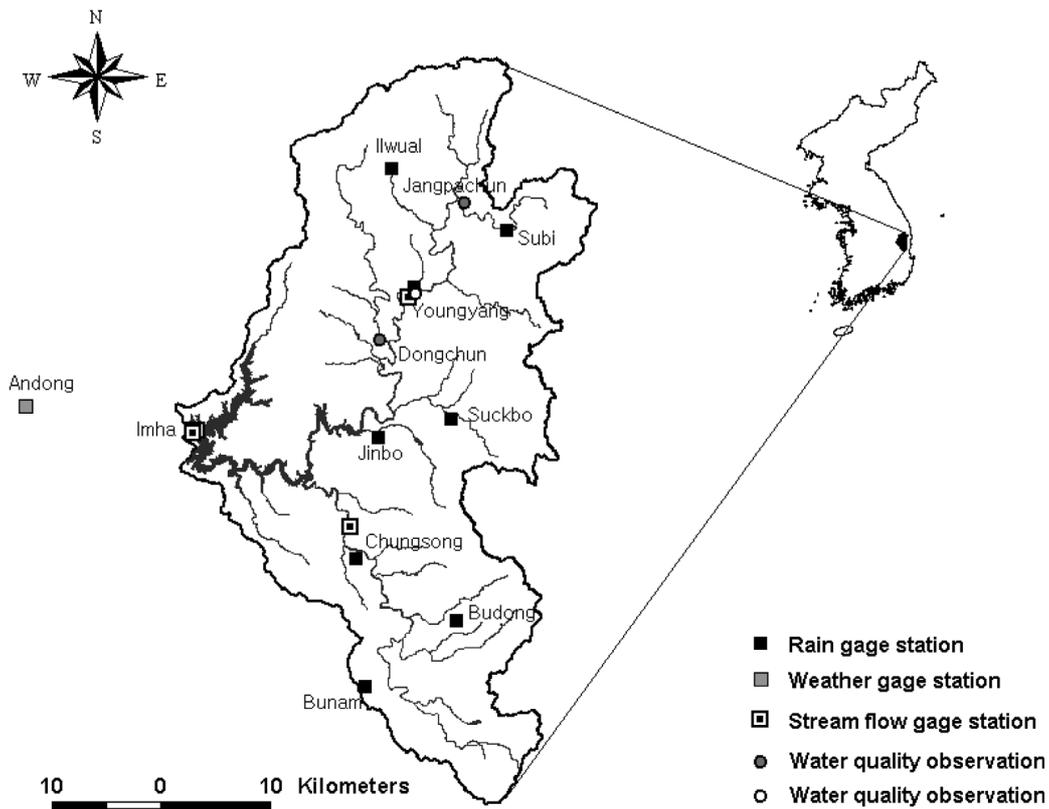


Fig. 1 Study area

2. 입력자료 및 모델 구축

HSPF 입력파일은 BASINS (Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Source Pollution)을 이용하여 생성하였다. BASINS는 미환경부에서 TMDL (Total Maximum Daily Load)을 위해 개발된 통합유역관리 시스템으로 SWAT이나 HSPF모델을 GIS를 이용하여 구축할 수 있도록 개발되었다. BASINS는 다양한 GIS파일을 사용하는데 30 m 격자크기의 수치고도모델 (Digital Elevation Model; DEM)과 중분류 토지 피복도는 환경부로부터 지원받았다. 유역도와 하천도, 기상청 위치도 등을 포함한 기타 GIS파일은 건교부에서 제공하는 자료를 활용하였다. 시별 강우량은 수자원공사에서 운영하는 6개의 강우측정소의 자료를 이용하였으며, 시별 온도, 운량, 풍속, 일사량, 이슬점 온도는 기상청의 안동기상대에서 측정된 자료를 이용하였다. HSPF는 기상자료를 WDM (Weather Data Management)파일형태로 사용하기 때문에 위의 시별 기상자료를 WDM파일 형태로 만들었으며, 증발량과 증발산량은

WDMUtil프로그램을 이용하여 시별 자료로 생성하였다. 유역내의 영양과 청송지점의 유출량은 국기수자원관리 종합정보시스템 (WAMIS)에서 다운받아 사용할 수 있는데, 청송지점의 경우에는 이상치의 값들이 있어 사용할 수 없었다. 임하호내 유입유량은 수자원공사 홈페이지에서 다운받았다. 수질자료는 크게 국립환경과학원에서 측정하는 8일 간격으로 측정된 자료와 Kim et al. (2006)이 측정한 2006년 강우시 수질자료를 이용하였으며 Table 1과 같다.

3. 연구접근방법

HSPF 모델의 보정은 유출량과 유사량의 순으로 이루어졌다. 유출량의 경우에는 2004~2008년을 대상으로 임하호유입량에 대하여 보정이 이루어졌고, 보정에서 결정된 유출매개변수를 그대로 사용하여 유역상류의 영양지점에 대하여 동일한 기간동안의 유출량에 대한 검증과정을 실시하였다. 모델의 검·보정의 정확도는 결정계수 (R^2)과 Nash-Sutcliffe coefficient (NS)를 식 (1)과 식 (2)에 의해 계산한 후 Donigian (2000)이 제안한 유출량 검·보정 평가 기준을 이용하여 판단하였다 (Table 2).

Table 1 Summary of hourly observed data during 2006

No.	Dates	Rainfall (mm)	SS concentration (mg/L)	
			Dongchun	Jangpachun
1	6~7 May	40	6~140	1~38
2	9~11 July	150	20~434	2~3,173
3	15~17 July	250	17~902	25~2,950
4	26~30 July	110	2~175	4~50

Table 2 General calibration/validation target or tolerances for HSPF application (Donigian, 2002)

		very good	good	fair	poor
Daily	R^2	>0.8	0.7~0.8	0.7~0.6	<0.6
Monthly	R^2	>0.85	0.75~0.85	0.65~0.75	<0.65

Table 3 Description and ranges of HSPF parameters

Parameter	Description	Ranges					
		Upland	Forest	Pasture	Barren	Urban	
Water budget	LZSN	Lower zone nominal soil moisture storage	4.1-20.3	3.8-18.8	4.1-20.3	3.8-18.8	-
	INFILT	Infiltration capacity of the soil	2.0-13.0	1.4-9.2	2.0-13.6	2.5-23.4	-
	UZSN	Upper zone nominal soil moisture storage	0.2-4.1	0.2-5.1	0.2-4.1	0.1-3.0	-
	NSUR	Manning's n coefficient	0.03-0.3	0.04-0.5	0.03-0.3	0.02-0.3	0.01-0.1
	AGWRC	Groundwater recession rate	0.833-0.999				
	IRC	Interflow recession parameter	0.3-0.85				
	INTFW	Interflow inflow parameter	1.0-10.0				
	DEEPFR	Fraction of GW inflow to deep recharge	0.0-0.5				
Sediment	BASETP	Fraction of ET from baseflow	0.0-0.05				
	KRER	Detachment coefficient of soil	0.0-none				
	JRER	Detachment exponent of soil	none-none				
	KSER	Coefficient for transport of detached sediment	0.0-none				
	JSER	Exponent for transport of detached sediment	none-none				
	JGER	Coefficient for scour of the matrix soil	0.0-none				
	JGER	Exponent for scour of the matrix soil	none-none				

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (1)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{O} - O_i)^2} \quad (2)$$

여기서, P_i 와 O_i 는 각각 일별 유출량에 대한 예측치와 관측치이며, \bar{O} 는 실측치의 평균값이며, n 은 일 유출량에 대한 총 개수이다.

유수량은 시별로 측정된 장파천과 동천지점에 대하여 보정을 한 후, 8일 간격의 영양지점에 대하여 검증을 실시하였다. 실측치와 예측치의 1:1 분산도와 1차 직선 회귀식의 결정계수를 이용하여 유수량모의 검보정 정도를 판단하였다. 2000~2008년 동안의 연간 유수량과 월별 유수량에 대한 통계값을 산정하여 임하호유역에서의 유수특성을 파악하였다. 보정인자에 대한 범위는 유출량의 경우에는 USEPA (2000)에서 제시하는 토지이용별 범위를 사용하였으며, 유수량의 경우에는 사용자메뉴얼 (Bicknell et al., 2004)에서 제시하는 범위를 사용하였으며 그 값은 Table 3과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 유출량 검·보정

유출량 검·보정 결과는 Table 4와 Fig. 2~5와 같다. 일별

Table 4 Statistical analysis of calibration and validation for daily stream flow

	Daily			Monthly		
	R ²	NS	Performance	R ²	NS	Performance
Calibration	0.90	0.90	very good	0.96	0.95	very good
Validation	0.81	0.78	very good	0.91	0.86	very good

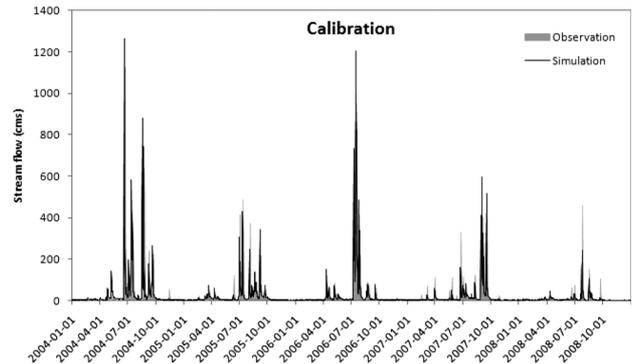


Fig. 2 Hydrological calibration at the site of inflow to Imha Dam

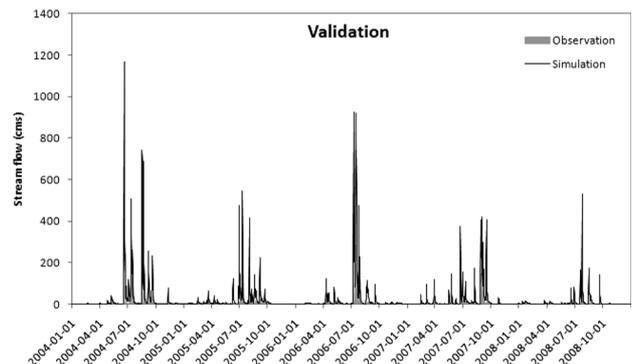
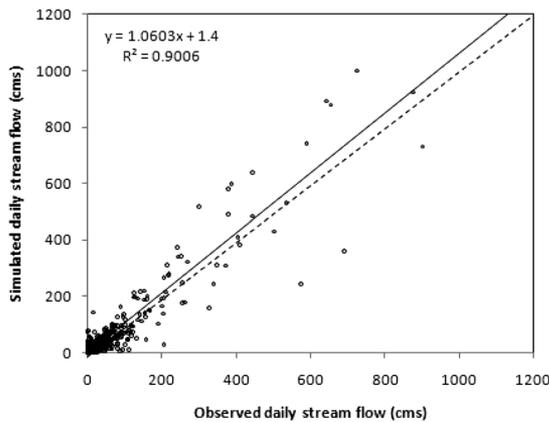
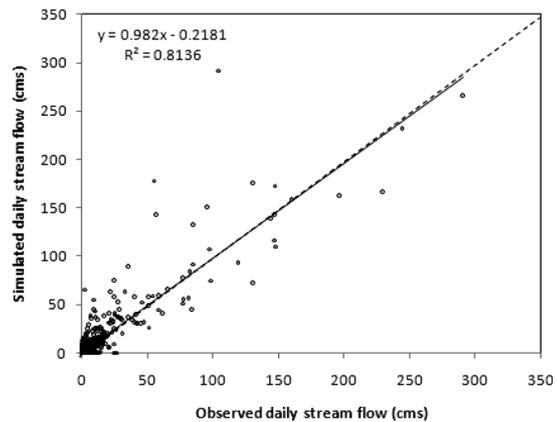


Fig. 3 Hydrological validation at the site of Youngyang



(a) Calibration



(b) Validation

Fig. 4 Scatter plot between simulated and observed daily stream flow

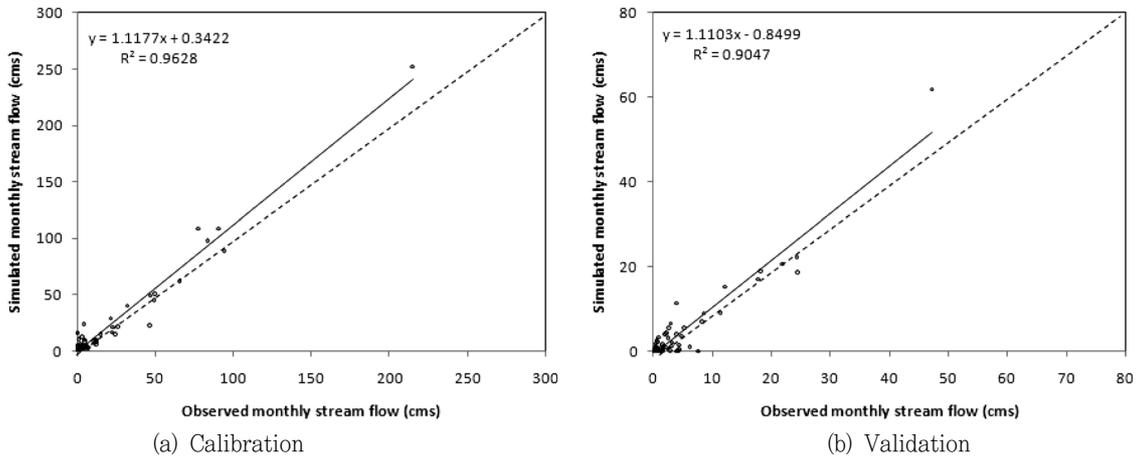


Fig. 5 Scatter plot between simulated and observed monthly stream flow

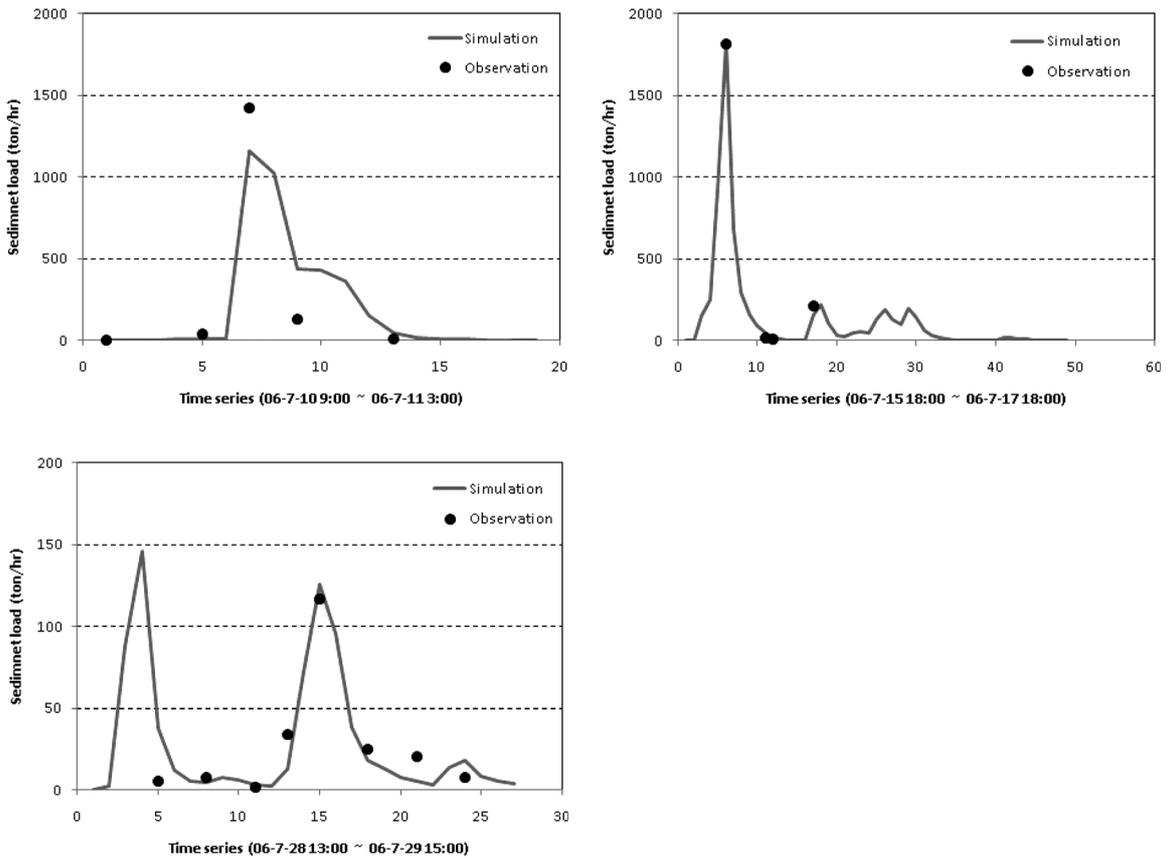


Fig. 6 Calibration for the simulation of hourly sediment load at Dongchun site

보정 및 검증 결과 결정계수가 각각 0.90, 0.81로 나타났으며, 월별 결과는 각각 0.96, 0.91로 나타나 일별과 월별, 보정 및 검증 결과 모두 모델의 검·보정 정도가 매우 좋음 (very good) 인 것으로 나타나 HSPF 모형은 임하호의 유출량을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

2. 유사량 검·보정결과

강우 시 시간당 유사량 부하율에 대한 동천지점과 장파천지점의 보정결과는 Fig. 6~7과 같다. 동천지점의 경우 2006년 7월 10일 강우사상에 있어서 실측치와 예측치가 다소 차이를

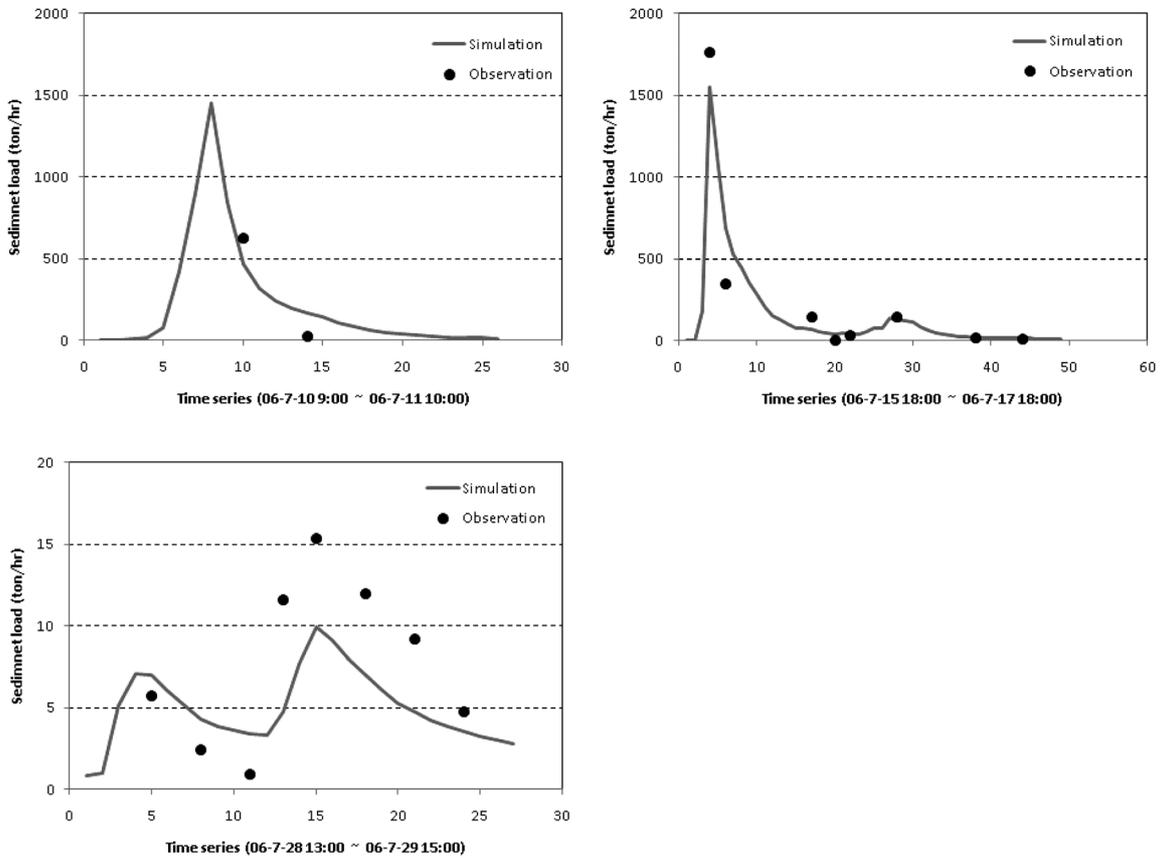


Fig. 7 Calibration for the simulation of hourly sediment load at Jangpachun site

나타내었으나, 2006년 7월 15일 강우와 2006년 7월 28일 강우사상에 대한 유사량 모의는 실측치와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 장파천지점의 경우에는 2006년 7월 10일과 2006년 7월 16일 강우사상에 대한 유사량 모의는 예측치와 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 2006년 7월 28일 강우사상에 대해서는 첫 피크에서는 모의치가 실측치보다 크게 모의되었고, 두 번째 피크에서는 모의치가 실측치보다 작게 모의되는 것으로 나타났다. 전반적으로 동천지점과 장파천지점 모두 HSPF에 의해서 유사량을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

시간별 보정된 HSPF의 유사량 모의 결과, 동천지점의 경우 결정계수 0.96, 장파천지점의 경우 0.94로 각각 높게 나타났으며, 분산도에서도 1:1선에 밀집해 있는 것으로 나타나 전반적으로 HSPF의 유사량 보정이 적절하게 이루어진 것으로 판단된다.

국립환경과학원에서 측정중인 8일 간격 측정자료에 의한 일별 유사량에 대한 검증결과는 Fig. 8과 9와 같다. 8일 간격 1일 1회 측정된 실측 유사량에 대한 모델 검증결과 높은 결정계수 (0.95)와 1에 가까운 기울기를 나타내었으나, 2004~2006년까지 비교적 큰 강우에 대한 시료채취가 이루어지지 않은 것

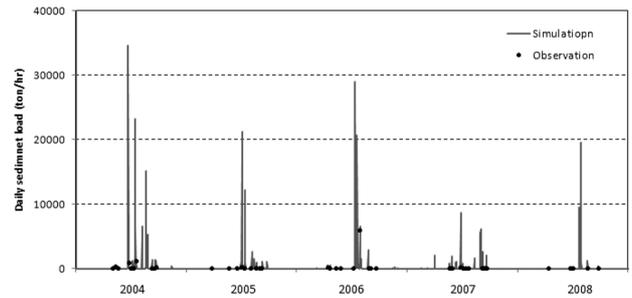
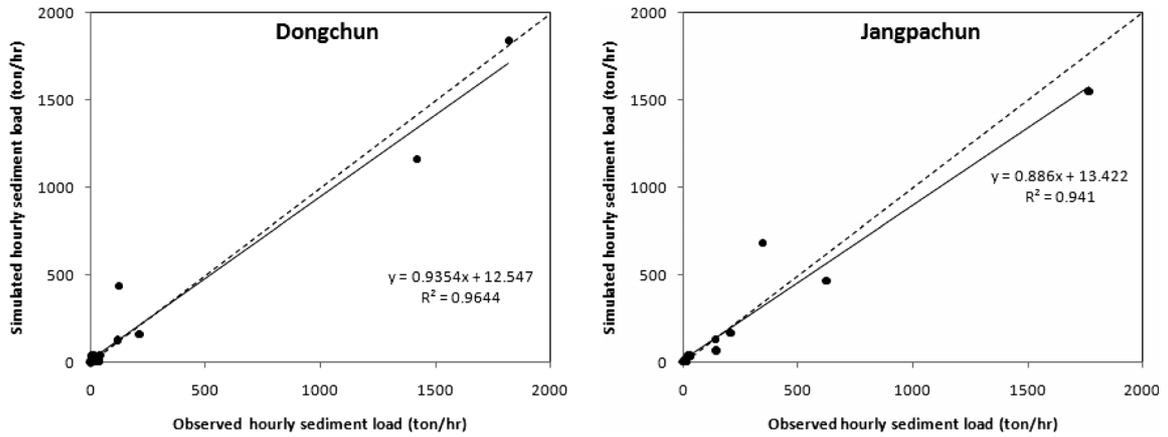


Fig. 8 Validation result of daily sediment load

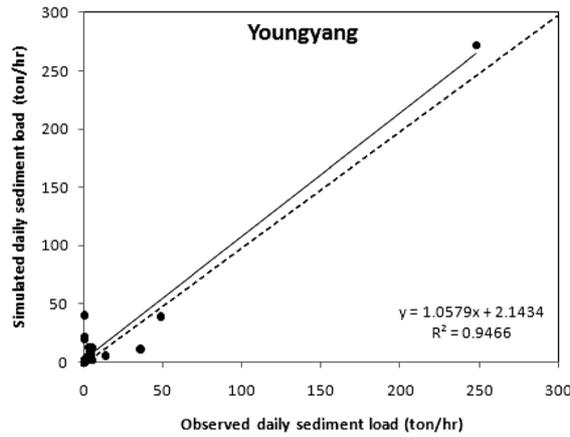
으로 나타나 보정의 정도에 대한 평가가 이루어지기에는 자료의 한계성을 가지고 있었다.

3. 임하호유역 유사량

1993년~2008년 동안 HSPF에 의해 모의된 연간 임하호로 유입되는 유사량은 Fig. 10과 같으며 통계분석결과는 Table 5와 같다. 모의기간동안 연평균 유사량은 122,290 톤인 것으로 나타났으며, 1994년에 가장 작은 유사량 (20,328 톤), 2003년에 가장 많은 유사량 (307,720 톤)을 나타내었다. 표준편차는



(a) Calibration



(b) Validation

Fig. 9 Calibration and validation results by model calibration using hourly monitoring data

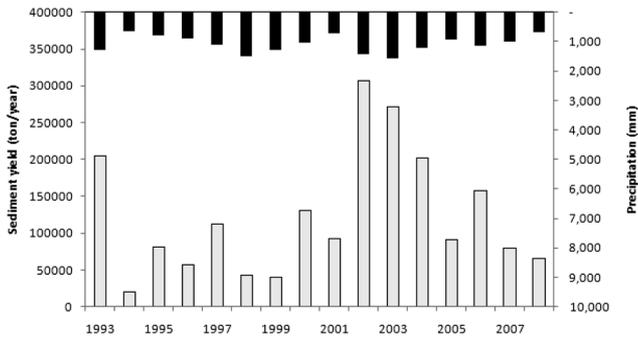


Fig. 10 Yearly sediment yield from Imha watershed

Table 5 Statistical analysis of yearly sediment yield from Imha Watershed

	Mean	Median	Min.	Max.	Std. deviation
Yearly sediment yield	122,290	91,680	20,328	307,720	84,551

84,551톤이었으며, 연간 유사량은 그 변화폭이 매우 높은 것

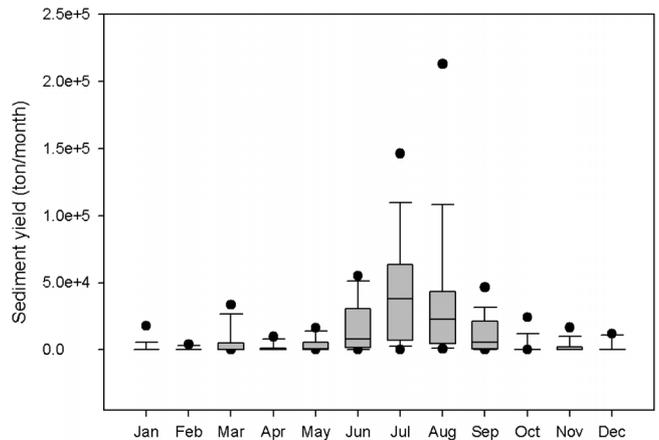


Fig. 11 Monthly sediment yield from Imha watershed

으로 나타내었다.

모의기간 동안의 임하호 유역에서 유출되는 월별 유사량은 Fig. 11과 Table 6과 같다. 7월달이 가장 많은 유사량 (34 %)

Table 6 Monthly sediment yield and statistical analysis (unit: ton/month)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1993	602.4	3,888	1,042	802	16,200	36,960	56,880	62,640	24,960	24	173	34
1994	7.2	2.4	259	12	830	2,664	8,856	7,632	74	10	0	0
1995	0	0	23,856	1,169	57	1,418	13,056	40,560	466	403	0	0
1996	12	0	20,232	41	74	27,840	6,072	1,500	31	14	938	398
1997	2.4	19.2	52.8	216	13,128	6,960	70,320	5,040	31	7	6,960	10,248
1998	4.8	2,448	38.4	12	223	3,144	7,488	27,600	1,030	1,620	7	0
1999	0	0	5,280	19	1,963	30,960	154	502	406	24	266	0
2000	0	0	9.6	862	24	28,560	44,640	36,000	18,288	5	2,275	0
2001	4.8	170.4	1,157	237	14	49,200	6,888	1,514	8,376	24,240	5	89
2002	17,688	0	38.4	7,056	8,496	26	30,960	212,880	22,224	6,672	0	247
2003	0	136.8	33,360	9,672	6,504	8,712	94,320	44,160	46,560	4.8	16,464	12,024
2004	0	2.4	2.4	170	569	55,200	66,000	63,360	14,208	0	2,400	5
2005	0	0	4.8	106	9.6	7,824	54,480	21,768	6,936	12	94	0
2006	0	2.4	216	3,576	986	2	146,160	6,048	859	34	605	2
2007	0	187.2	3,432	134	3,048	18,408	3,336	23,880	24,000	72	2,952	2
2008	98.4	0	40.8	103	82	1,608	54,720	4,488	4,320	22	0	0
Avg	1,151	429	5,564	1,512	3,263	17,468	41,521	34,973	10,798	2,073	2,071	1,441
Med	1	2	238	193	700	8,268	37,800	22,824	5,628	23	220	2
Min		-	2	12	10	2	154	502	31	-	-	-
Max	17,688	3,888	33,360	9,672	16,200	55,200	146,160	212,880	46,560	24,240	16,464	12,024
Std	4,412	1,103	10,451	2,858	5,126	18,343	40,436	51,980	13,343	6,144	4,257	3,800

을 나타내었으며, 다음이 8월 (29 %), 6월 (14 %) 순으로 나타났다. 8월의 경우에는 평균 유사량은 7월보다 낮았으나 표준 편차는 가장 높은 것으로 나타났다. 6월에서 8월사이의 유사량은 93,962톤으로 연간유사량의 77 %를 차지하고 있어 대부분의 유사량은 6월에서 8월 동안 발생하는 것으로 나타났다.

4. 보정된 매계변수

본 연구에서 도출된 유출량 및 토양유실량 관련 매계변수 값은 Table 7과 같다. 유출량의 경우에는 토지이용별 범위가 선행연구에 의해 제시되어 있어 그 범위내에서 보정할 수 있으나 토양유실량의 경우에는 토지이용별 토양유실관련 보정인자의 범위는 제시되어 있지 않아 토지이용별 토양유실특성을 반영하지 못한 점이 본 논문의 한계점이다. HSPF는 실측자료를 이용하여 유역말단 하천에서의 연간 유사량과 보정은 할 수 있으나, 토지이용별 토양에서의 토양유실량은 보정할 수 없기 때문에 토지이용별 토양유실특성을 잘 반영할 수 있는 RUSLE의 결과값을 상호보완적으로 이용한다면 토지이용별 토양유실특성을 잘 반영할 수 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 예상되며, 이와 관련된 연구는 추후 수행할 계획이다.

Table 7 Optimized values of calibrated HSPF parameters

Parameter		Upland	Forest	Pasture	Barren	Urban
Water budget	LZSN (mm)	117	89	1429	70	
	INFILT (mm/hr)	1.98	1.25	0.62	2.32	
	KVARY (1/mm)	0.019	0.019	0.019	0.019	
	AGWRC (1/day)	0.90	0.90	0.90	0.90	
	UZSN (mm)	2.90	2.51	3.40	12.70	
	NSUR	0.050	0.394	0.251	0.270	0.05
	INTFW	1.997	1.997	1.997	1.997	
	IRC (1/day)	0.399	0.399	0.399	0.399	
	DEEPPFR	0.451	0.451	0.451	0.451	
BASETP	0.019	0.019	0.019	0.019		
Sediment	KRER	0.3 ~ 1.0				
	JRER	0.3 ~ 2.0				
	KSER	0.1 ~ 0.5				
	JSER	1.81 ~ 2.1				
	KGER	0 ~ 7.13×10 ⁻⁷				
	JGER	1.5 ~ 2.0				

IV. 결 론

본 연구에서는 임하호유역을 대상으로하여 영양지점과 임하

호유입지명에서의 일별유출량과 영양지점과 장지침지점의 강우 시 일주기조사에 의한 수질자료와 8일간격 일별 측정된 반변A 지점의 수질자료를 이용하여 유출량은 2004-2008년, 유사량은 2006년의 강우사상을 대상으로 모델을 검·보정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 유출량 보정결과 일별 결정계수 및 모델효율은 각각 0.90, 0.90이었으며 월별 값은 각각 0.96, 0.95인 것으로 나타나, 모델보정정도는 일별 월별 모두 매우 좋음 (Very good)인 것으로 나타났다.

2. 유출량 검증결과는 일별 결정계수 및 모델효율은 각각 0.81, 0.78이었으며, 월별 값은 각각 0.91, 0.86인 것으로 나타나 검증 또한 모델검증정도가 '매우 좋음'인 것으로 나타나 보정된 HSPF는 임하호유역에서의 수문현상을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

3. HSPF의 3개의 강우사상에 대한 시간별 보정결과 동천지점과 장지천지점의 결정계수는 각각 0.96, 0.94인 것으로 나타났으며, 환경부 8일간격 측정자료에 의한 보정결과 결정계수는 0.95인 것으로 나타나 제한된 실측자료내에서 HSPF는 토양유실특성을 적절히 반영하는 것으로 나타났다.

4. 임하호 유역에서의 16년 평균 (1993-2008년) 연간 총 유사량은 122,290 톤이며, 전체부하량의 약 77 %가 6월~8월 사이에 유입되는 것으로 나타났으며 7월에 가장 많은 유사량이 발생하는 것으로 모의되었다.

HSPF의 수문관련 보정인자의 경우에는 토지이용별로 그 범위가 제시되어 있어 토지이용별 유출특성을 잘 반영할 수 있다. 그러나 토양유실 관련 보정인자는 아직까지는 토지이용별 범위가 제시되어 있지 않아 검·보정을 통한 측정지점에서의 유사량 산정은 가능하나 토지이용별 토양유실특성 분석은 아직 어려운 실정이다. 실측자료에 의해 보정된 HSPF와 RUSLE를 연계적용함으로써, 토지이용별 토양유실특성을 반영할 수 있는 HSPF의 추가 보정 방법론에 대한 추가연구가 필요하다.

REFERENCES

- Bicknell, B. R., J. C. Imhoff, J. L. Kittle, Jr., T. H. Jobs, and A. S. Donigian, Jr., 2004. HSPF Version 12 User's Manual. AQUA TERRA Consultants Mountain View, California, USA.
- Choi, J., G. Hyun, J. W. Lee, D. S. Shin, K. S. Kim, Y. Park, J. Kim, and K. J. Lim, 2009. Evaluation of sediment yield prediction and estimation of soil yield under various slope scenarios at Jawon-ri using WEPP Watershed Model. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(3): 441-451 (in Korean).
- Donigian A. S., 2002. Watershed Model Calibration and Validation: The HSPF Experience, National TMDL Science and Policy Specialty Conference 2002. Water Environment Federation, Phoenix, Arizona
- Jang, W. S., Y. Park, J. Kim, N. Kim, J. Choi, Y. S. Ok, J. E. Yang, and K. J. Lim, 2010. Development of the SWAT DWDM for accurate estimation of soil erosion from an agricultural field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(1): 79-88 (in Korean).
- Jeon, J. H., C. G. Yoon, J. H. Ham, and K. W. Jung, 2006. Evaluation of BASINS/WinHSPF applicability for pollutant loading estimation for a Korean watershed. *Water Science & Technology* 53(1): 25-32.
- Jeon, J. H., D. Choi, K. J. Lim, and T. D. Kim, 2010a. Automatic Calibration of Stream Flow and Nutrients Loads Using HSPF-PEST at the Bochung A Watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(5): 77-86 (in Korean).
- Jeon, J. H., D. Choi, K. J. Lim, and T. D. Kim, 2010b. Estimating Nutrients Delivery Ratios at the Subwatershed Scale : A Case Study at the Bochung-A Watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(5): 27-35 (in Korean).
- Kim, J. H., K. T. Kim, and H. J. Lee, 2009. Analysis of Korea soil loss and hazard zone. *The Journal of GIS Association of Korea* 17(3): 261-268 (in Korean).
- Kim, T. D., D. Choi, T. H. Lee, T. W. Seo, S. H. Bae, S. Jung, S. H. Ryu, J. Choi, and K. J. Lim, 2006. Analyzing the effect of BMPs for controlling soil erosion at Imha watershed. Imha Dam Basin Commission, Andong, Korea (in Korean).
- Park, Y., J. Kim, S. Heo, N. Kim, J. Ahn, J. Park, K. S. Kim, and K. J. Lim, 2008. Comparison of soil loss estimation using SWAT and SATEEC. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(1): 3-12 (in Korean).
- Park, Y., J. Kim, J. Park, J. H. Jeon, T. Kim, J. Choi, J. Ahn, K. S. Kim, and K. J. Lim, 2007. Evaluation of SWAT applicability to simulation of sediment behaviors at the Imha-Dam watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality* 23(4): 467-473 (in Korean).

12. USEPA. 2000. BASINS Technical Note 6: Estimating Hydrology and Hydraulic Parameters for HSPF. EPA-823-R00-012. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, USA.
13. Ye, L., S. W. Chung, H. S. Lee, S. W. Yoon, and H. Y. Jeong, 2009. Sensivity analysis of climate factors on runoff and soil losses in Daecheong Reservoir watershed using SWAT. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(1): 7-17 (in Korean).