

연구논문

유역모형을 이용한 금강상류 유역의 유사이송율 산정

김태근* · 김민주**

청주대학교 환경공학과*, 청주대학교 대학원 환경공학과**
(2013년 10월 22일 접수, 2013년 11월 19일 승인)

Estimation of Sediment Delivery Ratio in Upper Geum River Basin Using Watershed Model

Kim Tae Geun* · Kim Min Joo**

Department of Environmental Engineering, Cheongju University, Chungbuk, 360-764, Korea*
Department of Environmental Engineering, Graduate school, Cheongju University, Chungbuk, 360-764, Korea**
(Manuscript received 22 October 2013; accepted 19 November 2013)

Abstract

Soil erosion and sediment delivery ratio(SDR) were estimated by using HSPF model in 3 tributaries of upper stream of Geum river-basin. Meteorological data and other input data were constructed from 2006 to 2011 year by the HSPF model. Flow and suspended solid results were relatively matched with the measurement data through the calibration and validation of the model. Soil erosion was proportional to the amount of rainfall and the area of watershed based on the results of model calibration and validation. SDR in Moojunamdea stream was the highest and one in Cho stream was the lowest. This was effected by the geographical characteristic. SDR was 17.6% Moojunamdea stream, 9.1% Cho stream and 13.2 % Bocheong stream. As the SDR was effected by watershed area and shape factor in this study area.

Keywords : soil erosion, sediment delivery ratio, HSPF model

I. 서론

우리나라는 몬순기후대에 속해 있어 하절기에 집중호우가 발생하고 이에 따라 토사 유실량이 급증하여 주변 수계의 탁도를 증가시킬 뿐만 아니라 토사입자에 부착된 오염물질이 함께 유입되어 수계의 수질과 수생태계에 악영향을 미치고 있다. 우리나라는 국

토의 67%가 급한 경사지이고, 토양을 형성하고 있는 대부분의 암석이 침식을 받기 쉬운 화강암 및 화강편마암으로 되어 있으며, 토양 조직의 발달이 미약하기 때문에 흩이 지니는 힘이 약해 강우시 토양유실이 심한 편이다. 또한 지하로 스며드는 물이 적은 반면 지표면으로 흐르는 물이 많아 강우시 지표 유출수와 함

계 많은 양의 토사가 유실되고 있다(박윤식 등, 2000). 효과적인 유역관리를 위해서는 유역내에서 유실되는 토사량도 중요하지만 이보다 수체에 도달하는 유사량의 관리가 더 중요하며, 이를 위해서는 유사이송율을 파악하는 것이 선행되어야 한다.

이러한 이유로 유역관리를 위해 유역 내에서 발생하는 토양유실량 및 유사량을 정량화하는 연구가 활발히 진행되고 있는데, 시·공간적으로 변화하는 토양유실량 및 유사량을 정확하게 측정하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 대부분 이를 모의할 수 있는 모형을 이용하여 산정하고 있다(정진권 등, 2008). 김원준 등(2011)은 수정토양유실공식을 이용해 토양유실에 가장 큰 영향이 되는 강수량을 모의하고 경사도, 경작물, 강수량의 변화에 따른 토양유실량을 비교·분석하였고, 곽동욱 등(2006)은 하천의 특성과 유역면적을 고려하여 상류, 중류, 하류유역을 구분한 후 각 유역별로 토양침식인자, 지형인자, 식생피복인자 그리고 토양침식량을 상호 비교한 결과 상류유역의 단위토양침식량이 하류유역보다 높은 결과를 도출하였다. 손경호 등(2006)은 SWAT 모형과 HSPF 모형을 용담댐 유역에 적용하여 유사량을 비교·분석한 결과 HSPF 모형이 SWAT 모형보다 부유사량이 크게 모의된 결과를 얻었으며, 전지홍(2010)은 HSPF 모형으로 임하호 유역의 유사량을

정량화 하였다. 김활곤 등(1996)은 내성천 유역을 대상으로 비유사유출량과 유역의 형상계수 등 지형적인 특성인자와 다중회귀분석을 통해 관계식을 유도 하였다. 이근상 등(2002)은 GIS를 기반으로 보성강 유역의 비퇴사량 실측치와 RUSLE 모형의 모의치를 비교하여 모형의 지형인자를 해상도에 따라 평가함으로써 토양침식량의 정확도를 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다. Ashok Mishra 등(2001)은 HSPF 모형을 이용하여 습윤 아열대 지역의 유출량 및 토양유실량을 산정하여 이와 비슷한 기후 지역에서의 유역을 관리하는 방안을 제시하였고, Vigiak 등(2012)은 공간적 변수인 경사도에 따른 유사이송율을 정의하는 네 가지 지표를 평가하였다.

본 연구는 금강상류 유역의 주요 지류를 대상으로 EPA에서 개발한 유역모형인 HSPF(Hydrological Simulation Program-Fortran)를 이용하여 지류별 토양유실량 및 유사이송율을 산정하고, 유사이송율과 지형인자의 상관성을 평가하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지역

본 연구에서는 금강상류에 위치한 금강 1차 지류 중 유역면적이 넓은 무주남대천, 초강, 보청천을 연

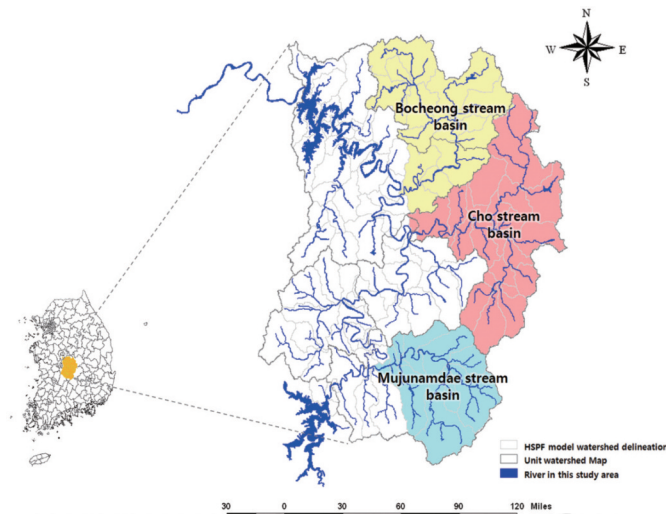


Figure 1. Location of the study area

구대상 수계로 선정하였다.

금강유역조사 기본현황조사 보고서(건설교통부, 2006)에 수록된 하천별 기본 현황을 보면 무주남대천은 전라북도 무주군을 주 유역으로 하고 있으며, 유역면적은 452.9 km²이고, 초강은 충청북도 영동군과 경상북도 상주시를 유역내에 포함하고 있으며, 유역면적은 646.1 km²이다. 충청북도 보은군과 옥천군을 주 유역으로 하고 있는 보청천의 유역면적은 540.3 km²이다.

2. 적용 모형

HSPF 모형은 강우로 인한 오염물질의 유출과정을 하천 내에서의 수리학적 현상, 퇴적물, 화학물질의 상호작용과 결합시켜 모의할 수 있는 유출모형과 수질모형이 결합된 통합유역모형이다.

HSPF는 Time-Series를 기본으로 하여 자료에 직접적으로 접근하기 때문에 방대한 파일을 입력하고 수정하는데 편리하며, 모형이 상대적으로 단일화되어 있기 때문에 조작이 간단하고, 시스템은 Top-Down Programming 기술에 의해 개발되어 있어 모형을 수정하거나 새로운 모듈을 추가하는데 상대적으로 용이하다. 또한 광범위한 유역조건에 적용이 가능하고, 모형을 효과적으로 사용할 수 있도록 HSPFEXP, ANNIE, WDMutil, METCMP, IOWDM 등과 같은 보조프로그램이 개발되어 있다. HSPF는 일반적인 오염물질 및 독성유기물질을 모의할 수 있고 강우, 온도, 일사량 및 토지이용, 토양특성 등과 관련한 시계열 형태의 입력 자료를 요구하며, 모래, 실트, 점토 등의 유사를 모의할 수 있다.

3. 모형의 구축 및 유량 · 유사량의 보정 · 검증

본 연구에서는 HSPF 모형을 미국 환경청에서 개발한 통합유역관리시스템인 BASINS를 이용하여 입

력파일을 생성하였다. 먼저 30 m 격자 크기의 수치 고도모형(DEM)을 이용하여 하천망을 생성한 후 유역의 최종 출구지점을 outlet으로 지정하여 분할하고, 모형내 Landuse and Soil Definition Utility를 이용하여 분할된 소유역에 대한 각각의 토지이용 정보를 추출하였으며, 환경부에서 제작한 23개 중분류 토지피복도를 5개 항목으로 재분류하여 입력하였다. 또한 모형에 입력한 기상자료는 2006년부터 2011년까지 금산, 추풍령, 보은, 대전기상관측소에서 관측한 자료로서 평균기온, 강수량, 이슬점온도, 풍속, 일사량, 운량, 증발산량 등을 WDM 파일로 구축하였다.

HSPF모형의 보정 및 검증은 유량 및 유사량 순으로 이루어졌다. 보정 및 검증에 사용한 관측자료는 유량의 경우 금강 본류와 지류에 있는 수위관측소 자료이며, 유사량은 실측한 유사량 자료가 없어 금강물 환경연구소에서 8일 간격으로 총량단위유역 말단에서 측정된 부유물질 농도를 이용하였다. 유량의 보정은 2008~2010년으로 이루어졌고, 보정에서 결정된 매개변수를 그대로 사용하여 2007년의 유량에 대한 검증을 실시하였다. 유량의 보정 및 검증의 정확도는 결정계수(R²)를 계산한 후 Donigian(2000)이 제안한 Table 1의 기준을 이용하여 판단하였다. 유사량의 보정기간은 2009~2011년으로 하였으며, 보정에서 결정된 매개변수를 그대로 사용하여 2008년의 유사량으로 검증하였다. 유사량의 보정 및 검증의 정확도는 % difference를 계산한 후 Table 1에 제시되어 있는 기준을 이용하여 판단하였다.

III. 연구결과

1. 유량 및 부유물질 보정-검증 결과

(1) 유량의 보정 및 검증 결과

본 연구에서 유량의 보정과 검증에 사용한 자료는

Table 1. General calibration and validation targets or tolerances for HSPF application

		Very good	Good	Fair	Poor
Water flow	R ²	> 0.8	0.7 ~ 0.8	0.7 ~ 0.6	< 0.6
Sediment	% difference	< 20	20 ~ 30	30 ~ 45	-

Source : Donigian(2000)

Table 2. Results of calibration and validation for daily stream flow

		R^2	Performance
Sutong gaging station	Calibration	0.82	Very good
	Validation	0.78	Good
Songcheon gaging station	Calibration	0.82	Very good
	Validation	0.82	Very good
Cheongsung gaging station	Calibration	0.83	Very good
	Validation	0.83	Very good

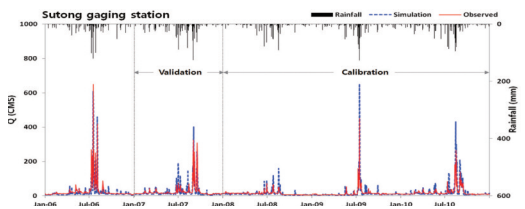


Figure 2. Hydrological calibration and validation at the site of Sutong

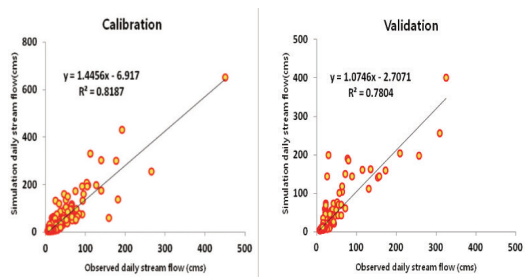


Figure 3. Scatter plot between simulated and observed stream flow at the site of Sutong

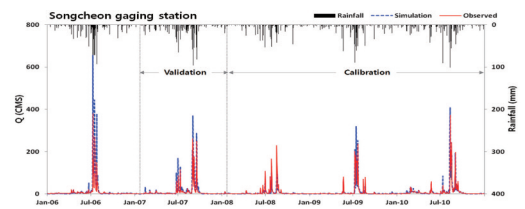


Figure 4. Hydrological calibration and validation at the site of Songcheon

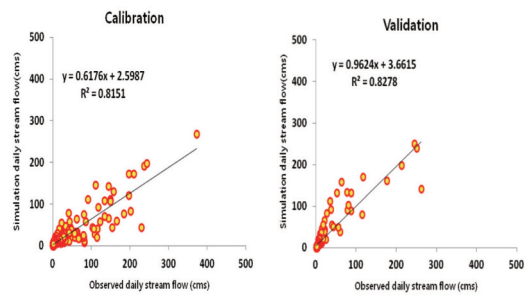


Figure 5. Scatter plot between simulated and observed stream flow at the site of Songcheon

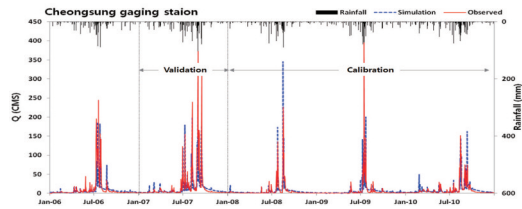


Figure 6. Hydrological calibration and validation at the site of Cheongsung

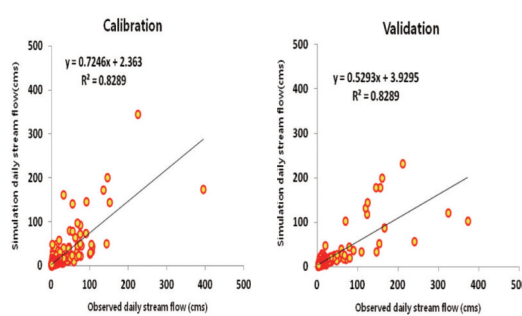


Figure 7. Scatter plot between simulated and observed stream flow at the site of Cheongsung

3개 지류의 말단 또는 지류 합류점과 인접한 금강본류의 수위관측소 자료인데, 무주남대천은 현재 운영되고 있는 수위관측소의 관측자료가 매년 생산되지 않아 금강 본류에 위치한 수통수위관측소 자료를 이용하였고, 초강은 송천수위관측소, 보청천유역은 청성수위관측소를 선정하여 유량을 보정하였다. 유량의 보정 및 검증 결과는 Table 2와 같이 수통수위관측소가 “Good”이고 나머지 지점은 모두 “Very good”으로 평가되었다.

(2) 부유물질의 보정 및 검증 결과

본 연구에서 부유물질의 보정과 검증에 사용한 자료는 대상 하천과 가장 인접한 총량단위유역 말단에서 금강물환경연구소가 2008~2011년도에 8일 간격

Table 3. Results of calibration and validation for sediment

		% difference	Performance
Geumbon C	Calibration	13.76	Very good
	Validation	1.81	Very good
Chogang A	Calibration	20.65	Good
	Validation	7.89	Very good
Bocheong A	Calibration	23.39	good
	Validation	12.44	Very good

으로 측정된 자료로서, 무주남대천은 금본C, 초강은 초강A, 보청천은 보청A 지점의 부유물질 농도를 이

용하였다. 보정은 2009~2011년도를 대상으로 실시하였고, 2008년 부유물질 자료를 기준으로 검증을 실시하였다. 부유물질의 보정 및 검증 결과는 Table 3과 같이 “Very good~Good”으로 평가되어 모의치가 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

2. 토양유실량 산정

보정과 검증이 완료된 HSPF 모형으로 2006년부터 2011년까지 하천의 연도별 토양유실량을 산정한 결과 유역면적과 강수량의 크기에 따라 토양유실량

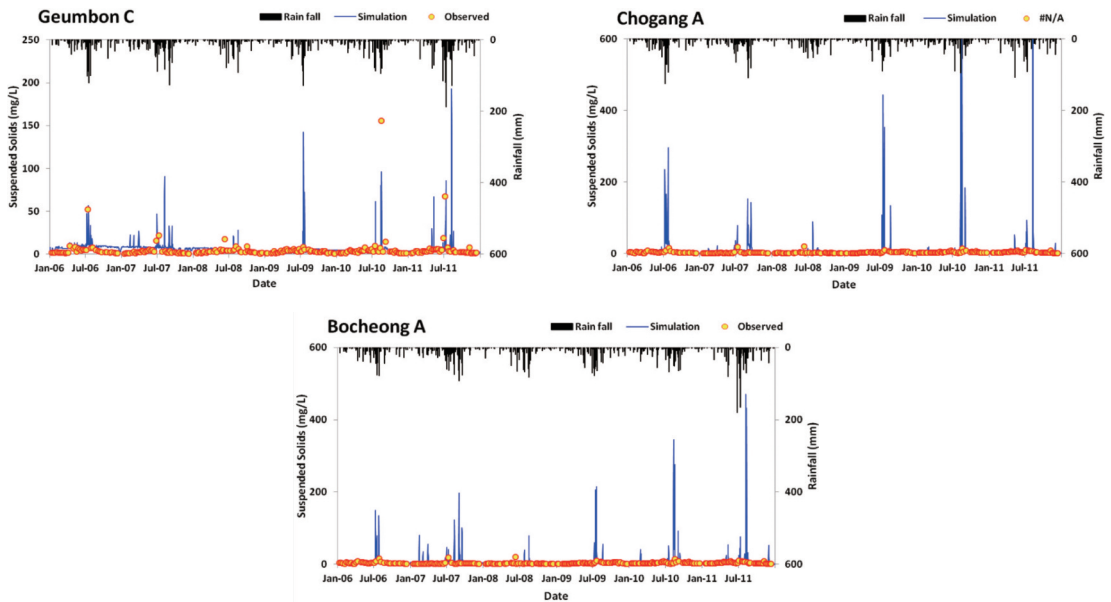


Figure 8. Suspended solid calibration and validation

Table 4. Annual soil loss during the simulation period (2006~2011)

Area(km ²)		2006	2007	2008	2009	2010	2011	Average	
Mujunamdae stream	452.87	Rainfall (mm/yr)	1,350.4	1,586.1	902.2	1,128.6	1,403.7	1,798.5	1,361.6
		Soil loss (ton/yr)	117,329.3	142,705.5	104,378.6	113,784.5	122,188.8	222,501.4	137,148.0
		Soil loss per unit area (ton/km ² · yr)	259.1	315.1	230.5	251.3	269.8	491.3	302.8
Cho stream	646.05	Rainfall (mm/yr)	1,273.1	1,311.0	818.5	1,010.7	1,260.4	1,401.8	1,179.3
		Soil loss (ton/yr)	272,202.3	331,439.6	210,378.2	256,734.0	323,949.0	441,906.0	306,101.5
		Soil loss per unit area (ton/km ² · yr)	421.3	513.0	325.6	397.4	501.4	684.0	473.8
Bocheong stream	540.30	Rainfall (mm/yr)	1,196.2	1,532.1	961.9	1,112.2	1,262.9	1,810.7	1,312.7
		Soil loss (ton/yr)	208,994.6	243,621.2	146,947.0	198,942.5	259,045.2	367,494.5	237,507.5
		Soil loss per unit area (ton/km ² · yr)	386.8	450.9	272.0	368.2	479.4	680.2	439.6

이 비례하는 것으로 나타났다. Table 4의 토양유실량을 하천별로 비교해 보면 유역면적이 가장 넓은 초강의 토양유실량이 가장 많이 발생하였고, 유역면적이 가장 작은 무주남대천의 토양유실량이 제일 적은 결과를 얻었으며, 토양유실량은 그림 9와 같이 유역면적의 크기에 비례하는 것으로 나타났다.

또한 연도별 토양유실량과 강수량을 비교해 보면 Figure 10과 같이 토양유실량은 해당 년도의 강수량

에 따라 차이를 보여 강수량이 가장 많았던 2011년의 토양유실량이 가장 크고, 강수량이 가장 적었던 2008년에 토양유실량도 제일 적었다. 연구대상 지류의 월별 평균 토양유실량을 도시한 결과는 Figure 11과 같으며, 강수량이 집중된 7~9월 사이에 대부분의 토양유실이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 단위면적당 연간 토양유실량을 크기 순으로 보면 초강 473.8 톤/km², 보청천 439.6 톤/km², 무주남대천 302.8 톤/km²이었다.

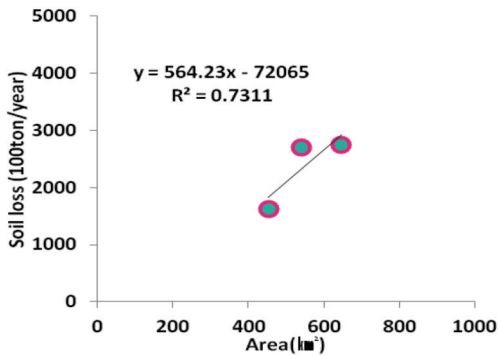


Figure 9. Relationship between area and soil loss

3. 유사량 산정

유사량은 임의의 지점에서 관측된 유출량과 유사 농도를 곱하여 산정할 수 있으며, 본 연구에서는 보정과 검증이 완료된 HSPF 모형을 이용하여 3개 하천의 하구부에서 2006년부터 2011년까지의 일별 유량과 부유물질 농도를 곱하여 일별 유사량을 구한 후 Table 5에 연도별 유사량을 정리하였다.

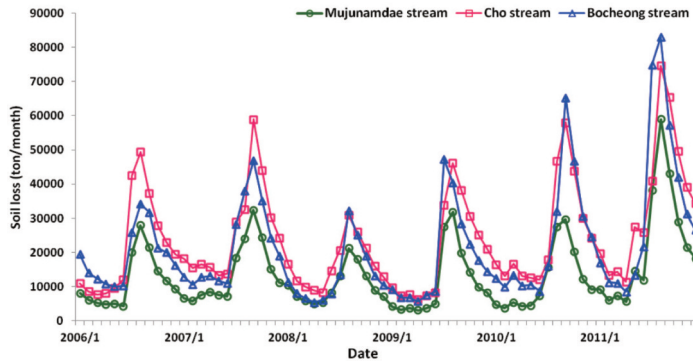


Figure 10. Annual rainfall and soil loss

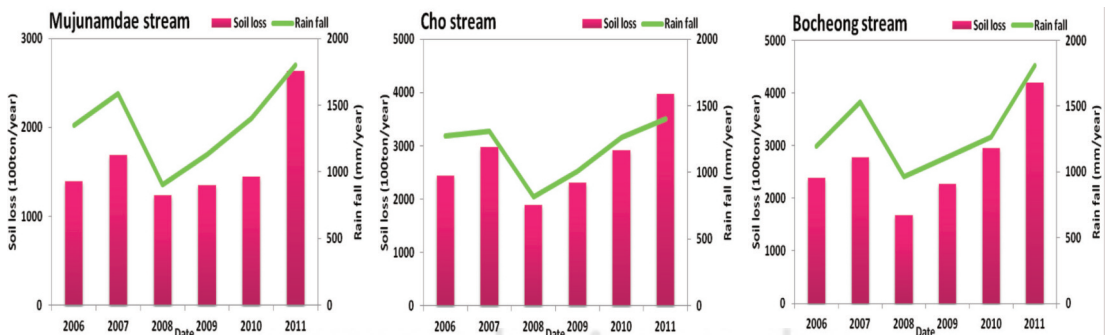


Figure 11. Monthly soil loss at each stream

Table 5. Annual sediment yield during the simulation period (2006~2011)

	Area(km ²)		2006	2007	2008	2009	2010	2011	Average
Mujunamdae stream	452.87	Rainfall (mm/yr)	1,350.4	1,586.1	902.2	1,128.6	1,403.7	1,798.5	1,361.6
		SS (ton/yr)	19,646.0	29,057.3	14,370.0	19,006.1	27,853.9	33,434.8	23,894.7
Cho stream	646.05	Rainfall (mm/yr)	1,273.1	1,311.0	818.5	1,010.7	1,260.4	1,401.8	1,179.3
		SS (ton/yr)	25,325.3	32,687.4	17,669.0	21,781.3	30,829.2	39,952.3	28,040.7
Bocheong stream	540.30	Rainfall (mm/yr)	1,196.2	1,532.1	961.9	1,112.2	1,262.9	1,810.7	1,312.7
		SS (ton/yr)	26,527.4	36,614.9	21,192.7	28,663.2	32,181.3	38,343.6	30,587.2

2006년부터 2011년까지의 연평균 유사량을 비교해 보면 3개 하천 모두 강수량이 가장 많았던 2011년에 제일 크고, 강수량이 적었던 2008년의 유사량이 제일 적게 산정되었다. 6년간의 평균 유사량은 무주남대천 23,894.7톤, 초강 28,040.7톤, 보청천 30,587.2톤으로 대상하천중 보청천의 유사량이 가장 크게 산정되었다.

4. 유사이송율 산정

유역내에서 유실된 총 토사량중 유역의 출구에 도달하는 유사량의 비를 해당 하천의 유사이송율(Sediment Delivery Ratio, SDR)이라 하며, 유사이송율은 유역의 크기 및 형상, 강우 패턴, 직접유출량, 침투유량, 토지이용도, 작물, 경사, 토양입자 등과 같은 유역 내 물리적 인자의 영향을 받는다(박윤식 등, 2007b). 이러한 자연요소를 고려하는 이송율을 식으로 정의한다는 것은 거의 불가능하므로 몇 가지 인자

를 고려한 경험식이 선행연구에 의해 개발되었다. 경험식의 대부분은 $SDR = \alpha A^\beta$ [A: 유역의 평균면적(km²), α, β : 상수]와 같이 유사이송율과 유역면적의 함수로 표현되는데(Vanoni, 1975; Boyce, 1975; USDA, 1972), 이 식들은 매년 강수량이 변하여도 유사이송율이 항상 같은 값으로 산정되어 정확도와 신빙성이 낮기 때문에 보다 정확한 유사이송율을 산정하기 위해서는 유량과 유사량을 동시에 모의할 수 있는 모형을 사용하여야 한다.

본 연구에서 2006~2011년 까지의 평균 유사이송율은 무주남대천 17.6%, 초강 9.1%, 보청천 13.2%로서 무주남대천의 유사이송율이 가장 높고, 초강이 가장 낮게 산정되었다.

5. 유사이송율에 영향을 미치는 지형인자 검토

본 연구에서는 유사이송율에 영향을 미치는 지형인자를 추출하여 유사이송율과 인자와의 상관성을

Table 6. Soil loss and SDR

		2006	2007	2008	2009	2010	2011	Average
Mujunamdae stream	Rainfall (mm/yr)	1,350.4	1,586.1	902.2	1,128.6	1,403.7	1,798.5	1,361.6
	Suspended Solid(ton/yr)	19,646.0	29,057.3	14,370.0	19,006.1	27,853.9	33,434.8	23,894.7
	Soil loss(ton/yr)	117,329.3	142,705.5	104,378.6	113,784.5	122,188.8	222,501.4	137,148.0
	SDR(%)	16.74	20.36	13.77	16.70	22.80	15.03	17.6
Cho stream	Rainfall (mm/yr)	1,273.1	1,311.0	818.5	1,010.7	1,260.4	1,401.8	1,179.3
	Suspended Solid(ton/yr)	25,325.3	32,687.4	17,669.0	21,781.3	30,829.2	39,952.3	28,040.7
	Soil loss(ton/yr)	272,202.3	331,439.6	210,378.2	256,734.0	323,949.0	441,906.0	306,101.5
	SDR(%)	9.30	9.86	8.40	8.48	9.52	9.04	9.1
Bocheong stream	Rainfall (mm/yr)	1,196.2	1,532.1	961.9	1,112.2	1,262.9	1,810.7	1,312.7
	Suspended Solid(ton/yr)	26,527.4	36,614.9	21,192.7	28,663.2	32,181.3	38,343.6	30,587.2
	Soil loss(ton/yr)	208,994.6	243,621.2	146,947.0	198,942.5	259,045.2	367,494.5	237,507.5
	SDR(%)	12.69	15.03	14.42	14.41	12.42	10.43	13.2

Table 7. Geographic parameters of each watershed

	Area (km ²)	Slope (%)	Drainage density	Shape factor
Mujunamdae stream	452.87	43.31	1.50	1.86
Cho stream	646.05	34.49	2.23	1.04
Bocheong stream	540.30	32.09	3.05	1.27

검토하였다. 지형인자는 유역면적을 포함하여 유역 경사도, 하천밀도 및 형상계수 등 4가지이며, 이 자료는 금강유역조사 기본현황조사 보고서(건설교통부, 2006)를 참고하여 3개 하천에 해당하는 표준유역의 값을 사용하였다.

유역면적은 유역의 평면성 면적을 말하고, 경사도는 DEM의 각 셀에 해당하는 경사를 도단위로 산술 평균하여 계산하며, 하천밀도는 유역면적에 대한 유역내 하천총길이의 비로 정의되어 단위면적당 하천 길이를 의미한다. 또한 유역의 형상계수는 유역면적과 동일한 면적을 가지는 원의 직경에 대한 유역의 주 하천 길이의 비로 정의되어 형상계수가 크면 주 하천의 길이에 비해 폭이 넓은 유역이고, 형상계수가 작으면 가늘고 긴 유역이며, 대상하천별 지형인자를 표 7에 정리하였다.

일반적으로 경사도와 하천밀도 및 형상계수는 값이 클수록 토사의 이동조건이 좋아져 토사가 유역출구로 이동할 수 있는 확률이 높아지기 때문에 유사이송율이 높아지게 된다. 그러나 유역면적이 크면 토사의 이동경로가 길어져 토사가 중간에 퇴적될 확률이 커지기 때문에 유사이송율이 감소하게 된다. 이러한 이유로 연구대상 하천중 무주남대천의 경우 경사도와 형상계수가 가장 큰 반면 유역면적은 제일 작기 때문에 유사이송율이 가장 높았고, 초강은 형상계수

는 가장 작은 반면 유역면적은 가장 크기 때문에 유사이송율이 3개 하천중 제일 낮게 산정된 것으로 판단된다.

3개 하천의 6년간 연평균 유사이송율과 각 지형인자의 상관성을 분석한 결과 Figure 12와 같이 경사도와 형상계수는 양의 상관관계, 유역면적과 하천밀도는 음의 상관관계를 보였으나 논 연구지역에서는 하천밀도의 경우 결정계수가 너무 낮아 신뢰할 수 없는 수준으로 보인다. 각 지형인자와 유사이송율간의 결정계수는 유역면적 0.62, 형상계수 0.46, 경사도 0.14, 하천밀도 0.01 순으로 높아 본 연구지역에서는 유역면적과 형상계수가 유사이송율에 영향이 큰 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 금강 상류의 무주남대천, 초강, 보청천을 대상으로 HSPF 모형을 이용하여 토양유실량과 유사량을 계산하여 유사이송율을 산정하였다. 2006~2011년의 수위관측소와 총량단위유역 말단에서 측정된 자료로부터 모형의 보정과 검증을 실시한 결과 모의치가 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 보정과 검증이 완료된 모형으로부터 토양유실량을 산정한 결과 유역면적과 강수량에 비례하는 결과를 얻었으며, 유사량의 크기는 강수량에는 비례하지만 유역면적과는 비례관계가 성립되지 않았다. 또한 하천의 유사이송율을 산정한 결과 연구기간 동안의 평균 유사이송율은 무주남대천 17.6%, 초강 9.1%, 보청천 13.2%로서 무주남대천의 유사이송율이 가장 높고, 초강이 가장 낮게 산정되었는데 이는 유역의

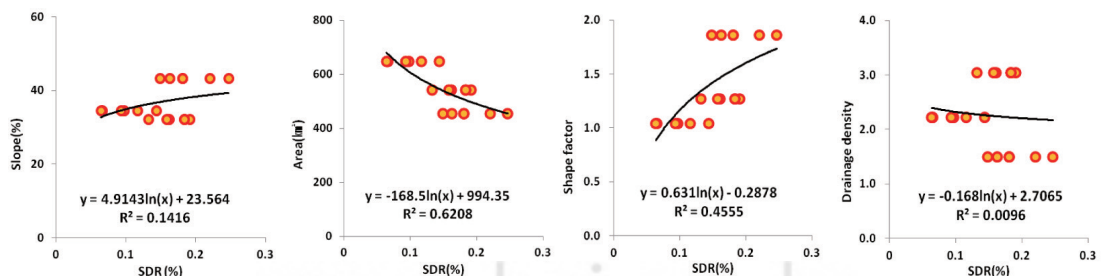


Figure 12. Relationship between SDR and geographic parameters

지형특성에 때문인 것으로 판단된다. 유사이송율에 영향을 미치는 유역의 유역경사, 유역면적, 형상계수 및 하천밀도와 유사이송율의 상관성을 분석한 결과 유역면적과 형상계수의 결정계수가 높아 본 연구지역에서는 유역면적과 형상계수가 유사이송율에 영향이 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2012~2013학년도에 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었습니다.

참고문헌

- 건설교통부, 한국수자원공사, 2006, 금강유역조사 기본현황조사 보고서.
- 곽동욱, 조기성, 2006, 유역특성을 고려한 GIS 기반 토양침식량 평가, 한국측량학회지, 제24권, 제1호, 89-97.
- 김원준, 박범수, 이재혁, 류지철, 장춘화, 김영석, 박화용, 임경재, 2011, 일단위 강우량을 고려한 경사지의 토양유실량 분석, 농업과학연구, 38(4), 739-745.
- 김활곤, 서승덕, 1996, 중소유역의 수문학적 특성이 하천 유사량에 미치는 영향, 한국농공학회지, 38(3), 127-136.
- 박윤식, 김종건, 허성구, 김남원, 안재훈, 박준호, 김기성, 임경재, 2008, SWAT과 SATEEC 모형을 이용한 토양유실량 비교, 한국농공학회논문집, 50(1), 3-12.
- 박윤식, 김종건, 김남원, 김기성, 최중대, 임경재, 2007, SATEEC 시스템을 이용한 면적/경사도에 의한 유달율 산정방법에 따른 유사량 분석, 한국물환경학회지, 23(5), 650-658.
- 손경호, 이혜숙, 김정근, 2006, SWAT과 HSPF 모델을 이용한 용담댐 유역 유출량과 유사량 분석, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2006 추계학술발표회논문집, 738-746.
- 이근상, 장영률, 조기성, 2002, GIS 기반에서 비퇴사량 실측자료를 활용한 토양침식의 정량화에 관한 연구, 한국GIS학회 2002년도 추계 학술대회논문집, 25-34.
- 전지홍, 2010, HSPF를 이용한 임하호 유역 유사량 모의, 한국농공학회논문집, 52(6), 39-48.
- 정진권, 김환기, 2008, SWAT 모형을 이용한 토양유실량 저감효과 모의, 환경영향평가, 17(4), 243-253.
- Ashok Mishra S. Kar and V.P. Singh, 2007, Determination of runoff and sediment yield from a small watershed in sub-humid subtropics using the HSPF model, Wiley InterScience, 3035-3045.
- Boyce, R. C., 1975, Sediment Routing with Sediment Delivery Ratio. In: Present and Prospective Technology for ARS, USDA, Washington, D. C..
- Donigian A. S., 2000, HSPF Training Workshop Handbook and CD, Lecture #19, Calibration and Verification Issues, Slide #L19-22, EPA Headquarters, Washington Information Center, Presented and prepared for U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology.
- USDA, 1972, Sediment Source, Yields, and Delivery Ratios, National Engineering Handbook, Section 3 Sediment.
- Vanoni, V. A., 1975, Sedimentation Engineering, Manual and Report No. 54, American Society of Civil Engineers, New York, N.Y.
- Vigiak O., Borselli L., Nesham L.T.H., McInnes J. and Roberts A.M., 2012, Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio, Geomorphology, 74-88.