

ORIGINAL ARTICLE

산림 소유역에서 강우-유출에 따른 부유토사 발생 특성 분석

김재훈 · 최형태* · 임흥근

국립산림과학원 산림복원연구과

Analysis of Suspended Solid Generation with Rainfall-Runoff Events in a Small Forest Watershed

Jae-Hoon Kim, Hyung-Tae Choi*, Hong-Geun Lim

Department of Forest Restoration, Korea Forest Research Institute, Seoul 02455, Korea

Abstract

This study was carried out to investigate the characteristics of suspended solid concentration in small forest watershed, Hwacheon, Gangwondo. For five rainfall events from July 2013 to August 2013, rainfall, discharge, and suspended solid load has been measured. The results showed that the first flush effect was observed for suspended solid in each rainfall event, sediment rating curve was obtained with $y = 30.029x^{1.573}$ at rising limb and $y = 12.902x^{1.8827}$ at falling limb, and EMC (event mean concentration) of suspended solid was calculated to 9.4 mg/L. EMC was compared to the values from the watershed that has various land use types and EMC from forest watershed was much lower than that from the crop, paddy or low covered forest watershed.

Key words : Suspended solid, First flush effect, Sediment rating curve, Event mean concentration (EMC), Small forest watershed

1. 서론

우리나라 산림수자원은 전 국토의 64%를 차지하는 산림유역으로부터 공급되며, 우리나라 수자원 총량인 1,297억 m³ 중 64%인 830억 m³ 가 산림에서 시작된다. 산림유역내의 강수는 수관차단, 증발, 증산, 토양침투의 형태를 거쳐 계류수로 나가며, 태풍 또는 집중호우 시의 강우는 산림지표면 및 산림계류에서 토양유실을 유발하며 계류수와 함께 하류로 이동하여 탁수를 발생시킨다.

계류수에서 부유토사는 하천 환경적 측면에서 물의 화학성을 바꾸고, 수온 및 탁도를 상승 시켜 하천에 서식

하는 어류 생태계 및 수질에 매우 중요한 영향을 미친다 (Ryan, 1991). 강우에 따른 탁수의 영향으로는 소양강 유역의 경우, 상류 고랭지 밭 무무에 따라 하류 계류수의 탁수 발생이 변화되어 고랭지 밭이 탁수의 주된 원인이 된다(Lee, 2008). 하천 치수적 측면에서 소류사량과 부유사량을 이용한 총유사량의 추정은 하천유역 내 수리구조물의 설계 및 유지관리, 하천개수 및 하도의 안정, 홍수터 관리, 저수지의 설계 및 운영 등 수자원 개발 및 관리를 위한 하천계획에 필요한 기본적 요소 중의 하나로 판단된다(Yu et al., 1990). 또한 수질오염총량관리제도가 시행됨에 따라 오염부하량을 지속적으로 모니터링하고

Received 12 October, 2015; Revised 30 November, 2015;

Accepted 3 December, 2015

*Corresponding author: Hyung-Tae Choi, Department of Forest Restoration, Korea Forest Research Institute, Seoul 02455, Korea
Phone: +82-2-961-2643
E-mail: choiht@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이들 모니터링 결과의 신뢰성이 중요함과 동시에(Jung, 2014), 다른 형태의 토지이용과 강우조건에 따라 비점오염부하 자료의 장기적인 축적이 필요하다(Shin, 2007).

부유토사 채수 방법으로는 실트 팬스를 이용하여 측정하는 방법이 있으나(Kim et al., 2012), 단위 강우사상 별로 시료를 채취 하는데 많은 비용과 시간이 소요되고, 저유량 시에는 부유물질이 거의 없어 측정하기 어렵기 때문에 산지 소하천에서는 탁도와 부유물질의 상관관계를 이용하여 상관관계를 도출하거나(Kim et al., 2004), 자동물시료채취기를 이용하는 방법 등이 사용된다(Jun et al., 2007).

강우사상에 따른 비점오염의 부하는 수질에 가장 중요한 영향을 미치며 강우사상에 따른 평균농도, 즉 유량 가중평균농도(EMC, event mean concentration)로 평가하는 것이 적절한데, 이 유량가중평균농도는 강우사상당 산정되어 강우로 인해 발생하는 수자원의 바탕수질을 직접 평가할 수 있다는 측면에서 유용하다(Kim et al., 2003). 또한, 1) 변화가 심한 자료를 간략하게 보여 주거나, 2) 해석상 오류를 범할 수 있는 자료를 활용자의 취사선택을 위해 보다 더 유용한 형태로 나타낼 수 있으며, 3) 서로 다른 유역과 강우 사상에 대한 비교 및 평가와, 4) 발생빈도 개념을 도입한 특정 강우-유출사상의 오염물질 농도를 해석을 가능하게 하는 장점을 가지고 있다.

부유토사에 관한 연구는 탁수저감을 목적으로 고령지 밭이나 농경지, 산림을 포함한 유역을 대상으로 연구되어 왔다(Kim et al., 2003; Kim et al., 2004; Yang, 2006; Won et al., 2009; Jung et al., 2009; Ham et al., 2006). 하지만 산림소유역에 대해서는 접근성 등의 영향으로 그 연구가 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 강우에 따른 부유토사 발생 특성, 유출량과 부유토사량 관계, 토지이용별 부유토사의 유량가중평균농도 비교를 통해 산림유역의 부유토사 발생 특성을 밝히고, 산림의 부유토사 원천능력에 대한 기초자료를 제공하는데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지

연구대상지는 강원도 화천군 사내면 광덕리에 위치한 산림 소유역으로 위도 $38^{\circ} 03' 17.32''$ N, 경도 $127^{\circ} 27' 09.16''$ E 에 위치해 있다. 유역면적은 45 ha로 표고는 650~940 m이며, 평균경사가 23.1%이다. 이 지역의 평년강수량은 1,347 mm, 평년기온은 11.1°C 이며, 모암은 화성암으로 토성은 사질양토이다. 이 지역의 식생은 5영급의 천연림으로 참나무와 낙엽송이 주요 수종을 이루고 있다. 연구대상지의 위치는 Fig. 1과 같다.

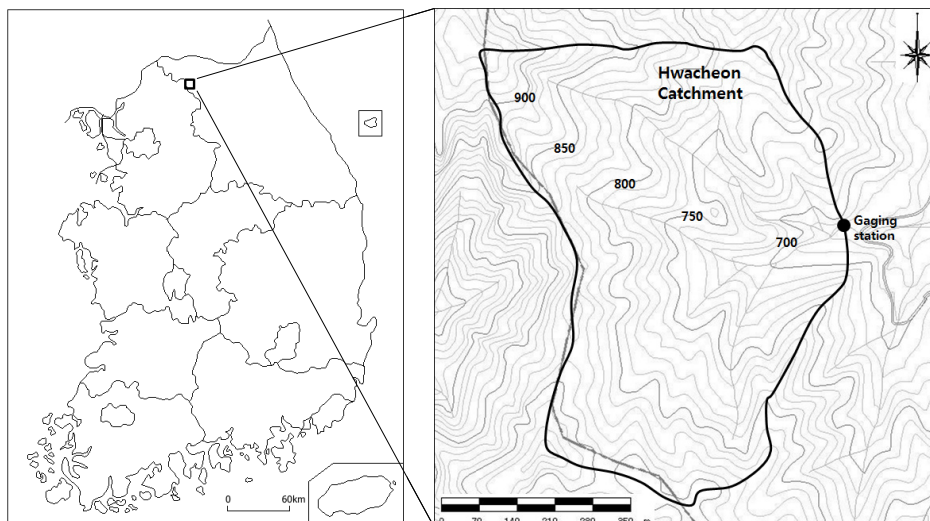


Fig. 1. The location of the experimental watershed.

2.2. 강우 및 부유토사 농도 조사방법

산림소유역의 부유토사 발생 특성을 밝히기 위해 강우량, 유출량, 부유토사농도를 측정하였다. 강우량은 전도형 자기 우량계를 이용하여 10분 단위로 측정하였으며, 유출량은 조사지점에 설치된 유량관측용 삼각웨어에서 부자식 수위계를 이용하여 월류수심을 10분 단위로 연속 측정하여 산정하였다. 부유토사 농도는 계류수질시료 자동채수기(ISCO Sampler)를 이용하여 15분 동안 5 mm 이상의 강우가 발생했을 때 채수를 시작하여 1회당 800 mL 의 시료를 1시간 간격으로 24시간 동안 수집한 후, 실내로 가져와 수질오염공정시험법에 따라 분석하여 시계열에 따른 부유토사의 농도를 계산하였다. 부유토사 농도 분석을 위한 시료 채취는 2013년 7월 1일부터 8월 31일 사이에 총 5회의 단위 강우사상에 대하여 실시하였다(Table 1).

강우 사상별로 초기세척효과(first flush effect)는 누적유량/총유량과 누적부하량/총부하량의 관계곡선(M-V 곡선)을 이용하여 계산하였으며, 그 식은 다음 식 (1)과 같다(Kwak et al., 2012).

$$M=V^b \tag{1}$$

여기서, M은 누적부하량/총부하량(%), V는 누적유량/총유량(%), b는 지수이다. 식 (1)에서 지수 b가 1보다 작으면 M-V 곡선의 모양이 볼록한 형태가 되어 강우 초기에 부유토사가 많이 유출된다는 것을 의미하며, b 값이 1보다 크면, M-V 곡선의 모양은 오목한 형태가 되어 강우 후기에 부유토사가 많이 유출된다는 것을 의미한다(Eum, 2004). 유량과 부유토사 농도의 상호관계는 수문

곡선에서 유량의 증수부와 감수부로 나누어 유량의 증감에 따라 부유토사 농도 변화를 멱함수 관계식으로 나타냈다.

각 강우사상에 대한 부유토사 농도는 강우지속시간과 유량 등에 영향을 받기 때문에, 강우 사상에 따른 평균농도는 유량기중평균농도(EMC)로 산정되며, 그 식은 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$EMC = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} \tag{2}$$

여기서, EMC는 강우사상에 대한 부유토사의 유량기중평균농도(mg/L), Q_i 는 관측시간 t에서의 유출량(m³/hr), C_i 는 부유토사 농도(mg/L)이다.

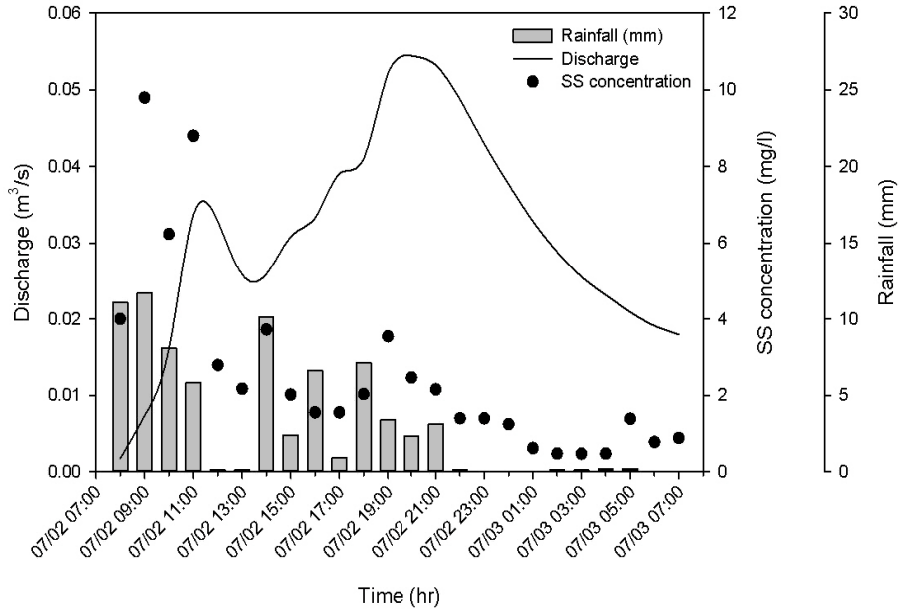
3. 결과 및 고찰

3.1. 강우에 따른 부유토사 발생 특성

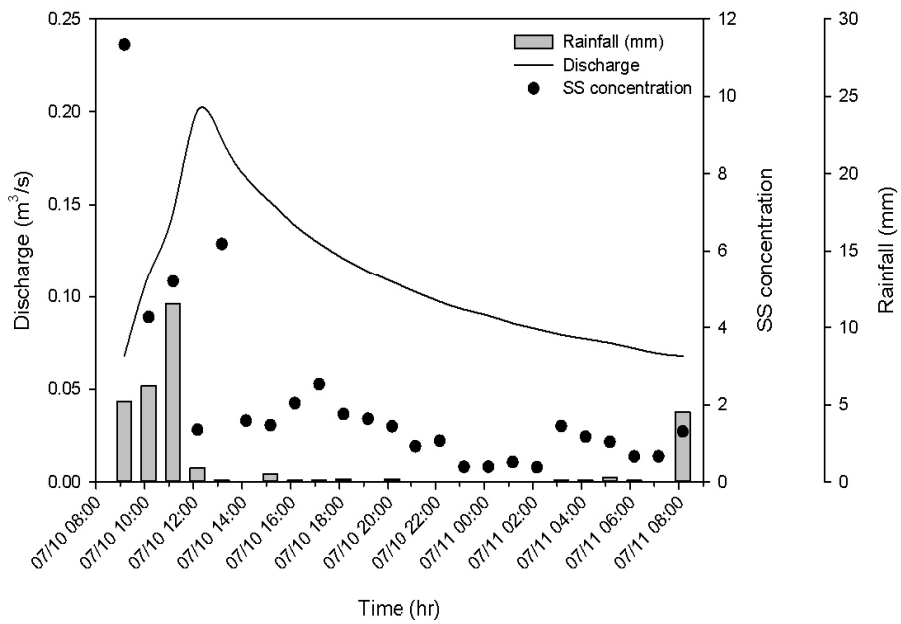
2013년 7월 1일부터 8월 31일 사이에 총 5회의 강우사상이 있었으며, 강우사상에 따른 시간별 강우량 및 유출량과 부유토사 농도는 Fig. 2에 나타냈다. 2013년 7월 2일 단위 강우-유출사상 특성은 강우 초기 두 시간 이내에 가장 높은 부유토사 농도를 나타내었으며, 이후 침투 유량이 두 번 나타나는 동안에도 강우 초기보다 낮았고 유량 감소와 함께 부유토사 농도도 감소하였다. 7월 10일 및 7월 18일에 발생한 단위 강우사상은 강우 초기에 부유토사 농도가 제일 높게 나타났으며, 강우 증가 및 유량의 증가에 따라 점진적으로 증가하다가 유량 감소와 함께 낮아지는 경향을 나타내었다. 7월 28일 단위 강우

Table 1. Sampled rainfall-runoff at the experimental watershed in 2013

Event date	Total rainfall (mm)	Max. rain. intensity (mm/hr)	Total discharge (m ³ /s)	Peak discharge (m ³ /s)	Antecedent dry days (days)
7/02 - 7/03	73.5	11.7	0.75	0.05	11
7/10 - 7/11	30.1	11.5	2.63	0.20	0
7/18 - 7/19	22.4	16.3	1.83	0.14	0
7/28 - 7/29	90.0	28.0	5.50	0.77	3
8/29 - 8/30	58.0	25.0	2.01	0.45	5

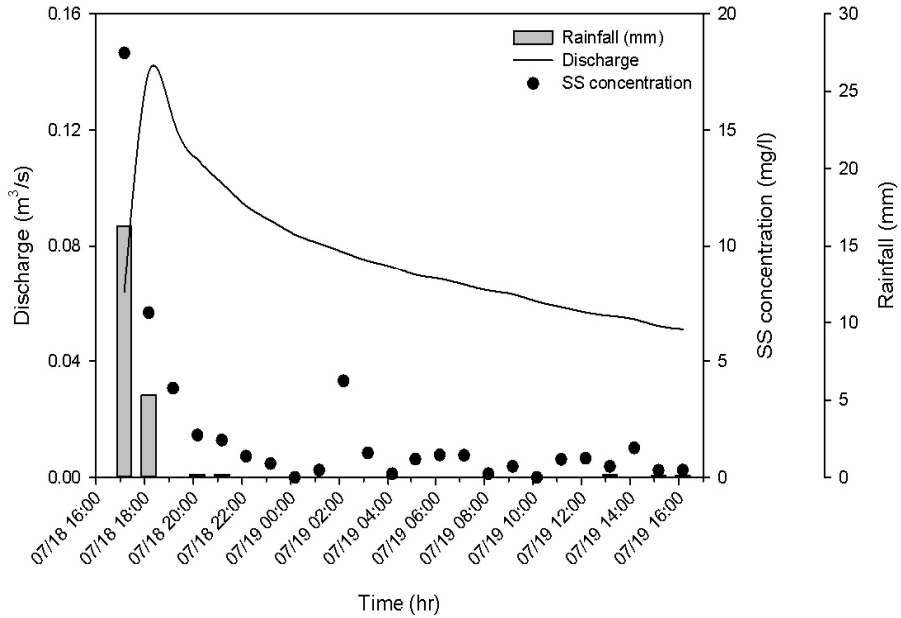


(a) July 2 - July 3 in 2013

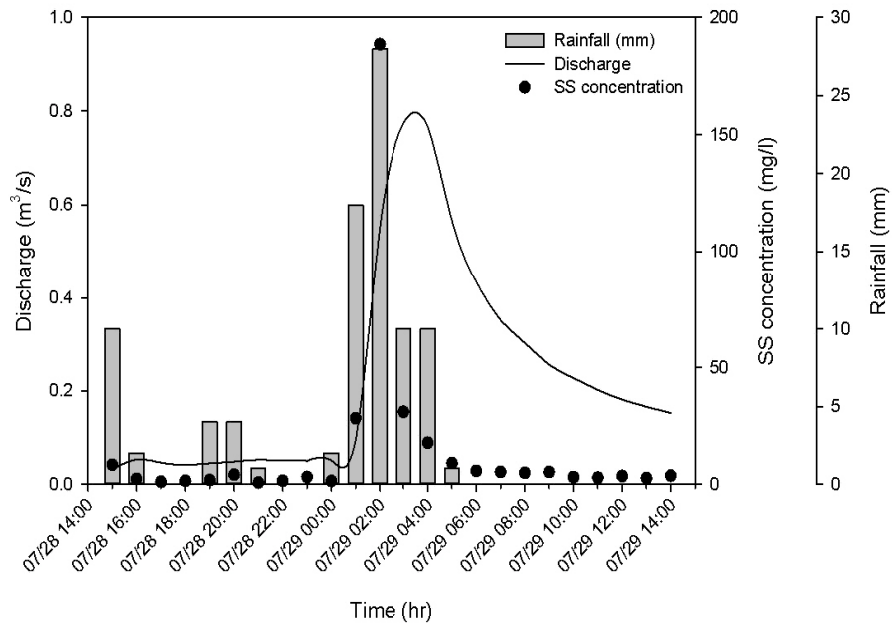


(b) July 10 - July 11 in 2013

Fig. 2. SS concentration changes on 5 sampled rainfall-runoff events in the experimental watershed from July to August in 2013. (a) rainfall-runoff event in July 2 - July 3 in 2013, (b) rainfall-runoff event in July 10 - July 11 in 2013, (c) rainfall-runoff event in July 18 - July 19 in 2013, (d) rainfall-runoff event in July 28 - July 29 in 2013, (e) rainfall-runoff event in August 29 - August 30 in 2013.

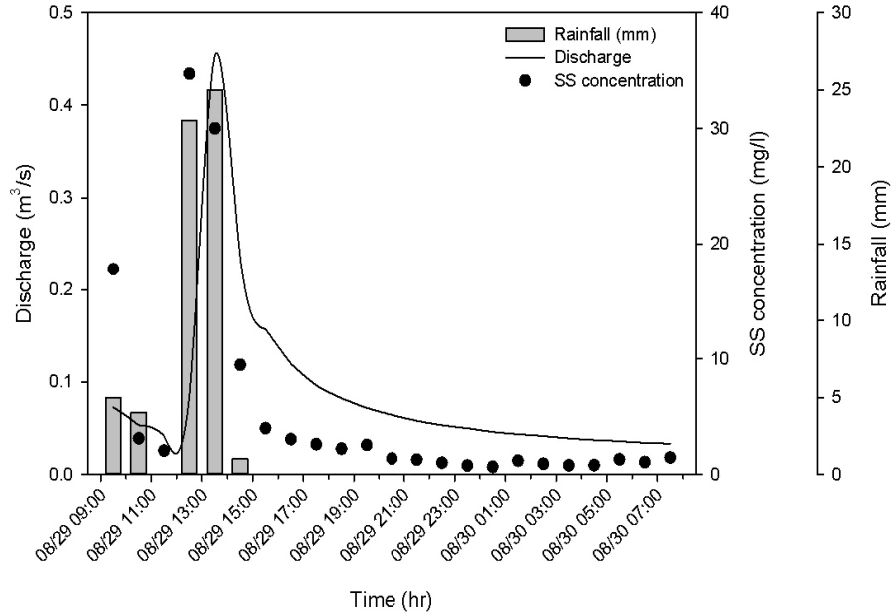


(c) July 18 - July 19 in 2013



(d) July 28 - July 29 in 2013

Fig. 2. Continued.



(e) August 29 - August 30 in 2013

Fig. 2. Continued.

사상은 초기 강우에 부유토사 농도가 상승했다가 이후 낮아졌다. 하지만, 7월 29일 01시부터 04시까지 68 mm의 강우가 발생했으며, 7월 29일 02시에 최고 강우 강도(28 mm/hr)와 함께 가장 높은 부유토사 농도가 측정되었다. 8월 29일의 부유토사농도는 강우 초기에 발생한 최대강우강도 시기에 침투농도를 나타냈다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 5개 강우-유출사상에 대해 강우 특성과 부유토사 농도의 시계열적 변화를 분석한 결과, 침투부유토사농도와 최고강우강도의 시간차가 발생하였다. 7월 2일과 8월 29일 강우사상은 Table 1에서 보는 바와 같이 무강우일수가 각각 11일, 5일로 나타나 초기강우가 토양습윤에 영향을 미친 후 그 다음 강우에서 침투부유토사농도를 나타냈다. 7월 10과 7월 18일 강우사상은 무강우일수가 0일로, 강우 시작과 동시에 침투부유토사농도를 나타냈다. 7월 28일 강우의 경우는 무강우일수가 3일이지만 최대강우강도까지 토양이 습윤된 상태로 유지되다가 최대강우강도에서 침투부유토사농도를 보였다.

강우에 의한 부유토사 농도의 초기세척 효과를 분석

하기 위해 누적유량/총유량과 누적부하량/총부하량의 관계곡선(M-V 곡선)을 활용하였으며 그 결과는 Fig.3에 나타났다. 5개 강우사상 모두 1:1 직선 위에 위치해 있어 강우초기세척효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 부유토사의 농도가 강우 초기에 초기세척효과를 보이고 있다는 연구결과와 일치했다(Kim et al., 2003; Park et al., 2005; Jung et al., 2009). Kwak et al.(2012)은 총강우량이 50mm 이상의 경우 초기세척효과가 있었고, 적은 강우에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않다고 했으나, 본 연구대상지에서는 총강우량이 22 mm 이상에서 초기세척효과가 뚜렷하였다.

또한, 총강수량과 강우강도가 높을수록 부유토사의 농도도 높았는데, 이는 경기도 양주에 위치한 산림 소유역에서 계류수의 부유토사 농도를 관측한 Jung et al.(2007)의 연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 한편, Yang(2006)은 곡성천을 대상으로 유출수와 함께 배출되는 비점오염물질을 평가하기 위해 유출특성을 조사한 결과, 강우강도가 증가함에 따라 오염물질발생도 전반적으로 증가하는 경향을 보였으며, 계류부의 부유토사,

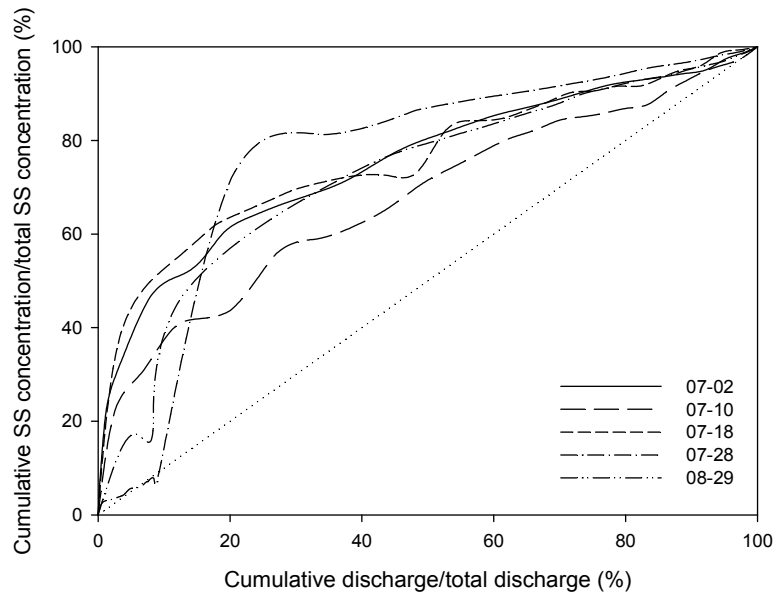


Fig. 3. Typical M-V curves showing the first flush effect of SS concentration on 5 sampled rainfall-runoff events in the experimental watershed.

생물적·화학적 산소요구량, 총 인이 초기 강우의 영향을 크게 받는다고 하여 본 연구결과와 동일한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

3.2. 유출량의 증수기 및 감수기에 따른 부유토사 발생 특성

각 강우-유출사상별로 채수시점의 부유토사 농도와 유출량을 이용하여 그 시점의 부유토사량을 산정한 후, 유출량에 따른 부유토사량의 변화를 분석하였다.

부유토사 농도와 유출량의 관계는 자료 측정을 이용한 경험적 관계식을 이용하여 모델링 하며, 가장 일반적인 유출량-유사량 곡선은 멱함수 형태로 나타낸다 (Asselman, 2000). 유출량의 증감에 따른 부유토사량의 변화는 부유토사 농도의 초기세척효과 및 여러 가지 이유로 인해 유출량이 증가할 때와 감소할 때에 서로 다른 경향을 보인다(Gellis, 2013). 따라서 본 연구에서는 각 강우-유출사상의 수문곡선에서 유출량의 증수기 및 감수기로 구분하여 유출량에 따른 부유토사 농도의 관계식을 도출하였으며, 그 결과는 Fig. 4 및 Fig. 5와 식 (3) 및 (4)와 같다.

$$\text{수문곡선 증수기: } y = 30.029x^{1.573} \quad (R^2 = 0.7159) \quad (3)$$

$$\text{수문곡선 감수기: } y = 12.902x^{1.8827} \quad (R^2 = 0.8258) \quad (4)$$

여기서, x 는 유출량(m^3/s)이고 y 는 부유토사량(g/s)이다.

Fig. 4와 Fig. 5에서 대부분의 유출량은 $1 m^3/s$ 내에서 부유토사량의 증가, 감소 경향을 보이고 있다. 추정식의 기울기는 증수기가 감수기 보다 약 2.3배 높은 것으로 나타나, 증수기에서 유출량증가에 따른 부유토사의 양이 빠른 속도로 증가하다가 침투유출 이후에는 상대적으로 느린 속도로 감소하는 것으로 보여, 부유토사량이 증수기와 감수기에서 이력현상을 나타내는 것으로 판단된다(Walling, 1977; Glysson, 1987; Williams, 1989; Asselman, 2000; Kim et al., 2004; Gellis, 2013). 산지 소하천에서 유출량-탁도 관계를 연구한 Kim et al.(2004)의 연구결과는 유출량의 침투가 탁도의 침투보다 먼저 나타나는 반시계방향의 이력곡선을 보인다. 하지만 본 연구대상지에서는 부유토사 농도의 침투가 유출량의 침투 보다 선행하다가 유출량의 침투 이후

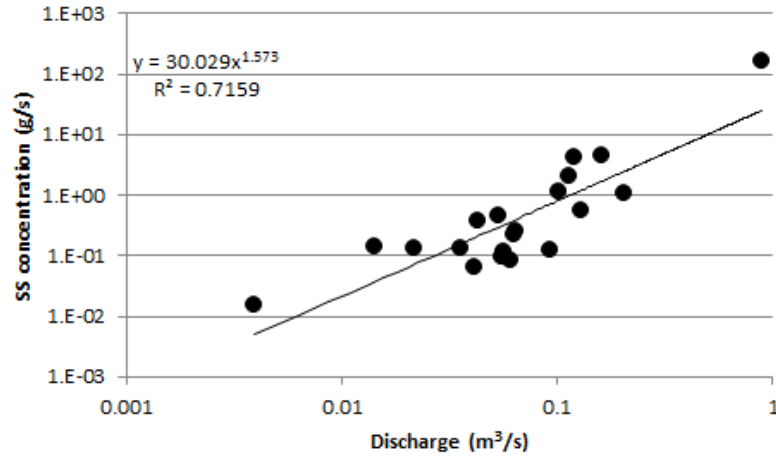


Fig. 4. Sediment rating curve in the rising limbs of hydrographs for 5 sampled rainfall-runoff events.

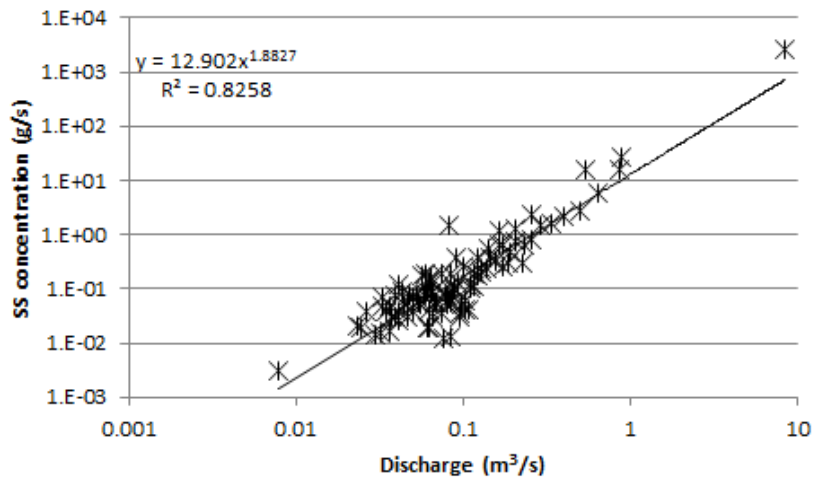


Fig. 5. Sediment rating curve in the falling limbs of hydrographs of 5 sampled rainfall-runoff events.

천천히 감소하여 시계방향의 이력곡선을 나타내고 있다. 시계방향의 이력곡선은 산림 소유역을 대상으로 유출량의 증감에 따른 부유토사 농도를 관측한 Jun et al.(2007)의 연구와 일치하고 있다. 이러한 이력곡선의 방향이 다른데 대해, 본 연구대상지의 경우, 부유토사의 발생원이 유역 출구점에 가까운 곳에 있는 것으로 판단되며, 이는 산림습원지의 유출량-탁도 관계에서 부유토사의 공급이 유출경로와 인접한 지점에서 이루어지고 있다고 해석한 Yun(2014)의 연구결과와 일치한다.

3.3. 토지이용형태별 부유토사농도의 상호비교

산림 소유역의 부유토사 EMC 값은 실측을 통해 획득 하였으며, 다른 토지이용형태를 가지는 지역들의 부유토사 EMC 값들은 기존 문헌들을 이용하였다. EMC 값들을 상호 비교한 결과는 Table 2에 나타냈다.

Jung et al.(2009)의 문헌에서, 상류에 위치한 자운천 유역의 EMC 값이 하류에 위치한 내린천 유역의 EMC 값 보다 3배 높아, 고령지 농경지의 객토로 인해 토양침식으로 인한 부유토사 증가의 주된 원인으로 판단했다.

Table 2. The EMCs comparison of suspended solid acquired from several references and this study

Watershed		EMC (mg/L)	References
Name	Land use (%)		
Jawoon Stream (upstream)	C(9.1), F(85.6)	205.2	Jung <i>et al.</i> , 2009
Naerin Stream (downstream)	C(4.4), F(91.2)	69.1	
Kumhack Stream	C(11.1), P(8.4), F(64.5)	210.9	Kim <i>et al.</i> , 2002
Yurim Stream	C(14.6), P(8.3), F(59.2)	219.5	
Youngmun Stream	C(28.8), P(17.9), F(40.7)	260.8	
Kumheo Stream	C(5), F(95)	90.2	
Oenam Stream	C	146.2	Park <i>et al.</i> , 2005
	P 1	25.0	
	P 2	17.5	
	F upstream	9.7	
	F downstream	22.3	
Nogok Watershed	F(100)	5.7	Won <i>et al.</i> , 2009
Kokseong River (upstream)	F(100)	1.7	Yang, 2006
Kokseong River (downstream)	C(8.4), P(12.5), F(71.9)	63.5	
Hwacheon Watershed	F (100)	9.4	This study

where, A: Agricultural area, C: Crops, F: Forest, N/A: Not Available, P: Paddy.

Ham et al.(2006)은 고도가 비슷하지만 고랭지밭 경작지 면적이 상대적으로 많은 자운천 유역의 EMC 값이 산림면적이 상대적으로 많은 내린천 상류 유역의 EMC 값보다 19배 높아, 산림의 오염물질의 완충효과를 기대할 수 없어 탁류발생이 높은 것으로 판단했다. 따라서, 산림 면적 차이가 부유토사농도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Kim et al.(2002)의 문헌에서는, 서로 인접한 금학천, 유림천, 영문천, 금어천 유역을 비교하였다. 토지이용형태가 산림과 경작지로 혼재되어 있지만 산림의 면적이 상대적으로 높은 금어천 유역의 부유토사의 농도가 다른 인접유역보다 2.3배에서 2.9배 낮게 나타났다. Park et al.(2005) 문헌의 외남천 유역에서도 산림으로 구성된 상류유역이 밭 경작지 유역보다 부유토사의 농도가 15배 낮은 것으로 보고되었다.

Yang(2006)의 경우, 동일한 곡성천 유역내에서 산림으로 구성된 상류유역과 산림, 논, 밭, 거주지로 구성된

하류지역으로 나뉘며 부유토사의 농도는 산림유역이 약 37배 낮은 것으로 나타났다. 100% 산림으로 구성된 Won et al.(2009) 문헌의 노곡천 유역과 본 연구 대상지인 화천유역의 경우, 두 유역 모두 부유토사의 농도가 각각 5.7 및 9.4 mg/L로 나타나 산림유역의 농도가 매우 낮은 것으로 나타났다. 따라서, 산림 또는 산림의 면적이 높은 유역의 경우 다른 유역보다 부유토사의 농도가 낮은 것으로 나타나, 부유토사 저감에 있어 산림의 완충효과를 기대할 수 있는 근거 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 2013년 7월에서 8월 사이 강원도 화천군 산림지역의 강우-유출사상별 부유토사 농도를 측정함으로써 강우에 따른 부유토사 발생특성 및 유출량과 부유토사량 관계를 분석하고 토지이용별 부유토사 유출특성을 비교하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

강우에 따른 부유토사 발생특성은 무강우일수가 길수록 초기강우가 토양습윤에 영향을 미쳐 최대 부유토사 농도가 다른 강우사상에 비해 상대적으로 낮았다. 선행 강우가 발생한 경우는 강우 시작과 동시에 최대 부유토사 농도를 보였다. 각 강우사상에 대해 부유토사농도는 초기세척효과가 있는 것으로 나타났다.

유출량의 증감에 따른 부유토사 관계식은 증수기에서 $y = 30.029x^{1.573}$ 으로 결정계수는 0.7159 였으며, 감수기에서 $y = 12.902x^{1.8827}$ 로 결정계수는 0.8258 로 나타났다. 감수기 보다 증수기에서 상대적으로 빠르게 증가하는 시계방향의 이력곡선을 나타내는 것으로 보아, 부유토사의 공급원이 유출량 측정지점과 가까운 곳에서 발생하는 것으로 판단된다.

토지이용형태와 부유토사의 관계에서는 산림으로 구성되어 있거나 산림의 면적비율이 상대적으로 높은 유역의 부유토사 농도가 다른 토지이용형태를 가지는 다른 유역의 부유토사농도보다 낮은 것으로 나타나, 향후 부유토사 저감대책 수립 시 산림의 완충효과를 기대할 수 있는 근거자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Asselman, N. E. M., 2000, Fitting and interpretation of sediment rating curves, *Journal of Hydrology*, 234, 228-248.
- Eum, J. S., 2004, Runoff characteristics of agriculture nonpoint source pollution for the watershed of upper Soyang River, M.S. Thesis, Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon.
- Gellis, A. C., 2013, Factors influencing storm-generated suspended-sediment concentrations and loads in four basins of contrasting land use, humid-tropical Puerto Rico, *Catena*, 104, 69-57.
- Glysson, D. G., 1987, Sediment transport curves, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 87-218.
- Ham, K. J., Bae, S. H., Kim, J. H., Park, S. B., Kim, S. S., 2006, A basic study on the relationship between the environmental characteristics and turbidity generation in Jaun Watershed, *Journal of Environment Impact Assessment*, 15(4), 259-270.
- Jun, J., Kim, K., Yoo, J., Choi, H. T., Jeong, Y., 2007, Variation of suspended solid concentration, electrical conductivity and pH of stream water in regrowth and rehabilitation forested catchments, *South Korea Journal of Korean Forest Society*, 96(1), 21-28.
- Jung, J. P., 2014, Estimation method of pollution sources and loads for management of Total Maximum Daily Load, Ph.D. dissertation, Department of environmental engineering, Chonbuk National University, Jeonju.
- Jung, S., Jang, C., Kim, J. K., Kim, B., 2009, Characteristics of water quality by storm runoffs from intensive highland agriculture area in the upstream of Han River basin, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 25(1), 102-111.
- Kim, S. S., Kim, J. S., Bang, K. Y., Gwon, E. M., Chung, W. J., 2002, The estimation of the unit load and characteristics of non-point source discharge according to rainfall in Kyongan Watershed, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 24(11), 2019-2027.
- Kim, G., Kim, Y., Lee, D., Jung, H., Yur, J., 2003, Analysis and estimation of EMC loads of rainfall runoff from agricultural-forestry in Korea, *Journal of Koran Society Environmental Engineers*, 25(6), 760-770.
- Kim, S. J., Park, T. Y., Kim, S. M., Jang, J. R., Kim, S. M., 2012, A plot scale experiment to analysis the NPS reduction by silt fence and vegetated ridge for non-irrigated cropland, *Journal of the Korean Society of Agriculture Engineers*, 54(4), 19-27.
- Kim, J. K., Yang, D. Y., Kim, J. Y., Park, J. K., 2004, Suspended sediment yields related to discharge turbidity in small mountainous catchment, *Journal of the Geomorphological Association of Korea*, 11(3), 25-36.
- Kwak, S., Bhatrai, B. D., Kim, E., Lee, C., Lee H., Heo, W., 2012, Characteristics of non-point pollution discharge on stormwater runoff from Lake Doam watershed, *Korean Journal of Limnology*, 45(1), 62-71.
- Lee, J. Y., 2008., A hydrological analysis of current status of turbid water in Soyang River and its mitigation, *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 13(6), 85-92.
- Park, S. C., Oh, C. R., Jin, Y. H., Kim, D. S., 2005,

- Study on runoff characteristics of non-point source in rural area of Seomjin Watershed, *Journal of the Environmental Sciences*, 14(11), 1057-1062.
- Ryan, P. A., 1991, Environmental effects of sediment on New Zealand stream: a review. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 25, 207-221.
- Shin, D., 2007, Basic monitoring concept for revised unit-load on NPS, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 23(4), 429-433.
- Walling, D. E., 1977, Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin, *Water Resources Research*, 13(3), 531-538.
- Williams, G. P., 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers, *Journal of Hydrology*, 111, 89-106.
- Won, C. H., Choi, Y. H., Seo, J. Y., Kim, K. C., Shin, M. H., Choi, J. D., 2009, Determination of EMC and unit loading of rainfall runoff from forestry-crops field, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 25(4), 615-623.
- Yang, H., 2006, Runoff characteristics of non-point source pollutants in storm event-case study on the upstream and downstream of Kokseong River, Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 41(4), 418-434.
- Yu, K. K., Woo, H. S., 1990, Comparative evaluation of some selected sediment transport formulas, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 10(4), 67-75.
- Yun, J. U., 2014, Characteristics of hydrology and suspended sediment transport in the Simjeok Forested Wetland, M.S. Thesis, Department of Forestry, Kangwon National University, Chuncheon.