

산지 소유역의 소류사 모니터링 및 유출 특성 분석

서준표*, 이기환*, 이창우*, 우충식*, 유송*

*국립산림과학원 산불·산사태연구과

e-mail:seojunpyo@korea.kr

A Study on the Characteristics of Bedload Monitoring and Discharge in Forested Watersheds

Jun-Pyo Seo*, Ki-Hwan Lee*, Chang-Woo Lee*, Choong-Shik Woo*, Song Eu*,

*Div. of Forest fire and Landslide, National Institute of Forest Science

요약

본 연구는 하이드로폰을 이용한 소류사 모니터링 연구로 산불, 산사태 피해 유역에서 소류사 이벤트가 발생하는 강우 특성을 분석하였다. 산불, 산사태와 같은 산림훼손이 소류사 이동의 강우 임계값에 미치는 영향을 분석하고, 유출량 산정을 통하여 유출 특성을 분석하였다. 산림유역에서 소류사 유출 특성에 대한 정량적인 분석을 통하여 국내 산림훼손지 관리 및 2차 피해방지를 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 관련 분야의 연구 및 산업계 등 기술개발 증진이 기대된다.

1. 서론

최근 기후변화로 인한 자연재해가 빈번히 발생하고 있으며, 발생빈도뿐만 아니라 재해의 종류도 증가하고 있기 때문에 이에 대한 예방 등 재해관리가 중요하다(G. O'Brien et al., 2006).

우리나라 국토의 약 63%를 차지하는 산지에서는 산불, 산사태와 같은 산림재해가 발생하면 녹화 및 하류 피해방지를 위해서 사방댐 설치와 같은 사방사업을 실시하고 있다. 효과적인 사방사업의 설계, 시공을 위해서는 대상 유역의 유출가능 토사량을 예측하는 등 관련 정보를 파악하는 것이 중요하다.

산지에서 유출되는 토사는 이송 형태에 따라 소류사, 부유사, 세류사로 구분되고 사력의 이동은 부유보다 소류력에 의존한다. 산지토사재해의 대표 형태인 토석류도 소류의 형태이기 때문에 소류사 모니터링을 통하여 특성을 분석하는 것은 사방댐 설계의 기초자료로써 중요하다.

소류사 운송과 관련된 연구는 100년 이상 계속됐음에도 불구하고 산지계곡과 같은 급경사지에서는 여전히 한계가 있다(Daizo and Jonathan, 2017). 소류사 측정에는 직접적인 방법과 간접적인 방법이 있다. 직접 유사량을 측정하는 방법은 정확도가 높지만 인력, 시간, 비용이 많이 소요되고 위험한 단점

이 있다. 반면, 간접적인 방법은 몇 가지 수문 자료를 유사량 산정공식에 활용하는 방법으로 인력, 시간, 비용이 적게 소요되지만 정확도가 떨어진다.

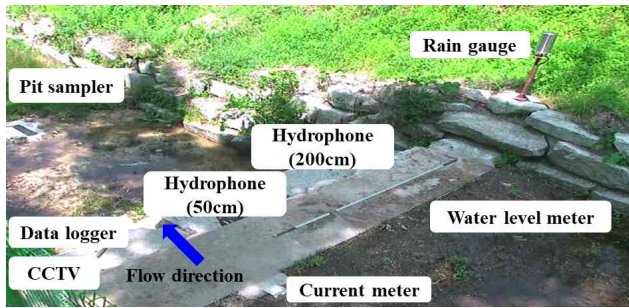
음향센서를 이용한 하이드로폰 장비는 산지계곡의 소류사 유출량 변화를 연속적으로 측정하므로 홍수 시 유출 발생 시점을 비교적 정확하게 파악할 수 있는 장점이 있다(Uchida et al., 2018). 또한, 유사량적인 측면뿐만 아니라 유역특성에 따른 토사유출량의 변화와 강우사상에 따른 토사유출 메커니즘 등을 이해할 수 있는 중요한 데이터를 수집할 수 있다.

국내에서는 대표적 산림훼손인 산불, 산사태 피해 유역과 대표 기반암인 화성암, 변성암, 퇴적암 지역에 각각 시공하여 총 6개의 산림유역에서 하이드로폰을 이용한 모니터링을 수행하고 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 모니터링 장비

국내에는 일본식 하이드로폰을 도입하였다. 하이드로폰, 피트유사계, 수위계, 유속계, 강우량계, CCTV, 탁도계 등을 설치하여 소류사 모니터링 시스템으로 명명하였다(그림 1).



[그림 1] 소류사 모니터링 시스템 센서 구성 및 현장 설치 모습

2.2 하이드로폰과 피트유사계 측정원리

하이드로폰은 사방댐의 월류부를 넘어 유하하는 유출량을 측정하는 것으로 유사들이 설치된 파이프 관에 충돌할 때 발생하는 음파의 충돌 횟수를 펄스 단위로 표출한다.

피트유사계는 중력식 소류사 측정 장비이다. 하이드로폰 인근에 설치하여 소류사가 퇴적될 때의 중량을 자동적으로 측정하여 기록해준다.

2.3 연구대상지 개요

본 연구에서는 산림훼손에 따른 소류사 유출 특성을 분석하고자 하였다. 국내 대표적 산림훼손 유형인 산불, 산사태 피해지와 일반산지에 소류사 모니터링 시스템을 구축하였다. 각 대상지의 세부적인 개황은 표 1과 같다.

[표 1] 연구대상지의 세부 개황

	Site 1	Site 2	Site 3
유역면적	29.3ha	233.7ha	140.9ha
좌표	35° 45' 28" 127° 51' 50"	35° 52' 06" 127° 57' 34"	36° 59' 06" 129° 44' 48"
지역	거창군	김천시	경산시
모암	화성암	화성암	화성암
임상	혼효림	혼효림	혼효림
영급	IV	V	VI
계류 평균경사	16.5° 5.4°-31.1°	18.5° 0.6°-35.2°	14.7° 2.9°-27.6°
훼손연도	2013	2012	-
훼손면적 및 비율	10ha (34.1%)	51.1ha (21.9%)	-
기타	2014년 복구사업	매년 소규모 사면붕괴 발생	-

3. 소류사 유출량 산정 및 유출 특성 분석

3.1 소류사 유출과 강우 특성 분석

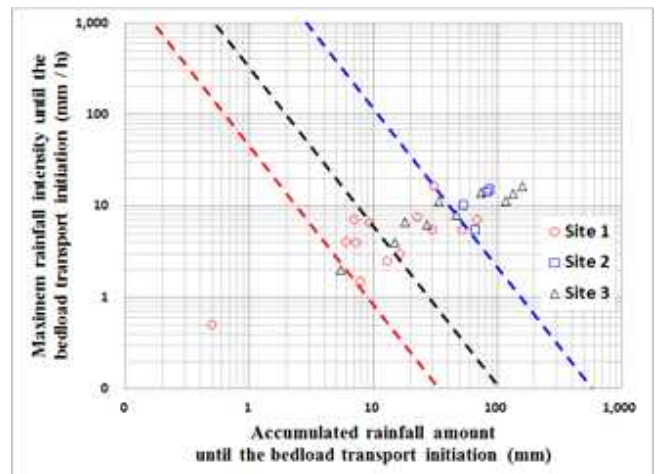
3일·7일 선행강우량, 총강우량, 강우지속시간, 최대강우강도, 평균강우강도 중에서 소류사 유출의 발생과 미발생을 구분할 수 있는 강우 특성을 선정하기 위해 t -테스트를 수행하

였다. 그 결과 총강우량, 강우지속시간, 최대강우강도가 적합하다고 분석되었으며, 최종 분석에는 소류사 유출의 발생과 미발생을 명확하게 구분할 수 있는 총강우량과 최대강우강도를 적용하여 분석하였다.

Site 1(산불피해지), Site 3(일반산지), Site 2(사면붕괴 및 벌채지) 순으로 소류사 유출 발생의 강우 조건이 낮게 나타났다. 산불피해 유역에서는 가장 낮은 강우조건에서도 소류사 유출이 발생하는 것으로 분석되었다. 또한, Site 2는 Site 3보다 더 높은 강우 조건에서 소류사 유출이 발생하여 소규모 사면붕괴 및 벌채로 인한 유역의 훼손 영향은 적었던 것으로 판단된다.

소류사 유출이 시작되는 임계 강우 특성을 분석한 결과 Site 1에서는 누적강우량 8mm, 최대강우강도 1.5mm/h, Site 2에서는 누적강우량 67.1mm, 최대강우강도 5.5mm/h, Site 3에서는 누적강우량 15.0mm, 최대강우강도 4.0mm/h일 때 소류사 유출이 시작되었다. 산불로 피해를 입은 유역에서는 낮은 강우조건에서도 소류사 유출이 시작된 것으로 나타났다.

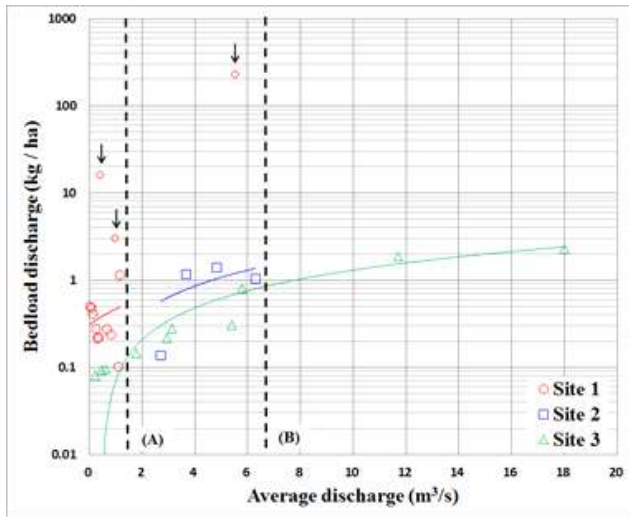
특히, 산불 피해지의 임계 강우의 연도별 변화 분석결과 산불피해 3년차까지 소류사 유출의 임계 강우값에 영향을 미친 것으로 판단된다. 5년차에는 산불 피해 후 조림 등 복구를 실시하고 시간이 경과함에 따라 식생이 성장하여 산불 피해의 영향이 줄어든 것으로 판단된다.



[그림 2] 산림훼손 유역의 소류사 유출이 시작되는 임계 강우 특성

3.2 소류사 유출량 산정 및 유출 특성 분석

동일한 유량에서 Site 1(산불피해지), Site 2(사면붕괴 및 벌채지), Site 3(일반산지) 순으로 소류사 유출량이 많은 것으로 분석되었다(그림 3). 일반산지인 Site 3에서는 전체 유량 범위에서 소류사 유출이 발생하였고 유량의 많고 적음에 따른 유출량 차이는 Site 1, 2 보다 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 산림이 훼손된 유역에서는 유출량이 많기 때문에 2차 피해 방지를 위한 신속한 복구 공법 적용이 필요한 것으로 사료된다.



[그림 3] 산림훼손 구역의 평균유량과 소류사 유출량

참고문헌

- [1] O'Brien, G., O'Keefe, P., Rose, J. and Wisner, B. "Climate change and disaster management", Disasters, Vol. 30, No. 1, pp. 64-80, 2006년.
- [2] Daizo, T. and Jonathan. B. L. "Gravel-Bed Rivers: Process and Disasters", Wiley-Blackwell, p.832, 2017.
- [3] Uchida, T., Sakurai, W., Iuchi, T., Izumiyama, H., Borgatti, L., Marcato, G. and Pasuto, A. "Effects of episodic sediment supply on bedload transport rate in mountain rivers. Detecting debris flow activity using continuous monitoring", Geomorphology, Vol. 306, No. 1, pp. 198-209, 2018년.
- [4] J. P. Seo, "Analysis on the Characteristics of Sediment Discharge in Forested Watersheds using the Acoustic Sensor and Pit Sampler", Ph.D. Dissertation, Yeungnam University, p.203, 2019.