

# 산지소유역의 토사유출률에 영향을 미치는 인자

## Effect Factors about Sediment Delivery Ratio in the Small Mountain Watershed

신승숙\*, 박상덕\*\*, 이규송\*\*\*, 김용민\*\*\*\*, 심재현\*\*\*\*\*

Seung Sook Shin, Sang Deog Park, Kyu Song Lee, Young Min Kim, Jae Hyun Shim

### 요 지

산지사면에서의 토양침식량은 실제 유역을 빠져나가는 토사유출량과 같지 않다. 이는 토사가 이동하는 과정에서 지형적인 요인 등에 의해 퇴적되거나, 가중되는 유수에 의해 더 많은 토양이 침식될 수 있기 때문이다. 토사유출률(SDR)은 유역의 크기뿐만 아니라 지형, 기후, 토양, 식생피복, 토지이용도 등에 관계된다. 본 연구에서는 기후 특성인 강우크기에 따른 토사유출률의 변화를 분석하고자 하였다. 산불 이후 5년 동안 산지 소유역의 시험유역을 운영하여 유출 및 토사유출량을 실측하여 자료를 구축하였고, 이 유역에 산지지역의 토양침식 모형인 SEMMA를 적용하여 토양침식량을 산정하고 유역출구로 이송한 실제 토사유출량과 비교하였다. 5년 동안 SDR은 전반적으로 감소하고, 강우량, 강우강도, 강우에너지와 같은 강우사상의 크기에 따라 증가한다. SDR은 2001년에서 2002년까지 대부분 1.0 이상이고, 2005년에는 1.0을 초과하지 않으며, 강우특성 뿐만 아니라 식생피복, 산불시간경과 등의 인자에 의존한다.

**핵심용어** : 토사유출률, 강우사상, 토사유출량, SEMMA, 토양침식량

### 1. 서 론

토사유출량을 산정하기 위한 방법들 중에 토양의 침식량을 산정하는 방법인 PSIAC, RUSLE, SEMMA와 같은 토양침식 모형은 유역에서의 유출 과정에 의한 추가적인 토양침식이나 퇴적에 대해 고려하지 않는다. 사면에서의 토양침식량과 유역에서의 토사유출량은 지형적인 특성, 강우 특성 등에 따라 많은 차이를 보인다. 그러나 사면에서의 토양침식량만을 정량적으로 산정하는 것은 지표의 토양침식 용이성을 상대적으로 평가하는 방법이 될 수는 있으나, 유역을 기준으로 평가하는데 있어서 한계를 갖는다. 유역을 통해 빠져나가는 토사유출량을 정량적으로 산정하는 것은 하천으로 유입되는 토사량, 하천에 퇴적되는 토사량 등을 산정하는데 있어서 중요한 자원이 되고, 유역 단위로 토사재해 위험도를 평가하는데 기본 자료가 된다. 그러므로 토양침식 모형을 가지고 유역의 토사유출량을 산정하기 위해 토사유출률(SDR)을 고려해야만 한다. 본 연구에서는 산불 이후 5년 동안 유출 및 토사유출량을 실측하기 위해 운영한 소유역을 대상으로, 우리나라에 산지사

\* 정회원·강릉대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : cewsook@hanmail.net

\*\* 정회원·강릉대학교 토목공학과 교수·E-mail : sdpark@kangnung.ac.kr

\*\*\* 정회원·강릉대학교 생물학과 부교수·E-mail : leeks84@kangnung.ac.kr

\*\*\*\* 정회원·충주시청 지역개발과·E-mail : bu1171@hanmail.net

\*\*\*\*\* 정회원·국립방재연구소 토목연구관·E-mail : shim1001@nema.go.kr

면을 대상으로 개발된 토양침식예측모형인 SEMMA를 이 유역에 적용하여 토양침식량을 산정한다. 강우사상에 따른 소유역 밖으로 이송된 실제 토사유출량과 비교하여 토사유출량의 결과를 비교하고자 한다. 토사유출률은 강우사상의 크기에 따라 달라지므로 강우량, 강우강도, 총강우에너지, 강우에너지계수 등과의 관계를 해석하고, 다른 인자들과 토사유출률과의 관계 또한 분석하고자 한다.

## 2. 토사유출률(SDR)

시험유역에 대한 토양침식모형에 의한 산정된 토사유출량의 결과는 실제 토사유출량과 같지 않을 수 있다. 왜냐하면 사면에서의 침식된 토양은 유역 출구에 도달하는 과정에서 퇴적되거나, 또는 구곡이나 수로에서의 유수의 힘에 의해 추가적인 침식이 발생하기 때문이다. 이러한 과정을 설명하기 위해 주어진 유역에 대한 총 토사유출량을 산정하기 위해 토사유출률(sediment delivery ratio)을 산정해야 한다. 토사유출률이란 전체유역에서의 총 토양침식량에 대한 유역 밖으로 빠져나가는 토사유출량에 대한 비로서 정의한다(Walling 1983, Richards 1993).

$$SDR = \frac{SY}{E} \quad (1)$$

여기서, SDR은 토사유출률이고, SY는 토사유출량, E는 전체 토양침식량이다. 사면에 대한 토양침식 예측 모형은 세류와 세류간 침식으로부터의 토양침식량만을 추정한다. 그러나 식 (1)에서의 전체 토양침식량은 세류와 세류간 침식뿐만 아니라 구곡과 수로로부터의 침식을 포함한다. 그러나 실질적으로 토양침식 모형에 있어서, 구곡이나, 수로로부터의 침식되는 토사량을 산정하기는 어렵다. 이러한 모형을 개발하는데 있어서 기준이 되는 사면면적의 크기나 시험구조장치에 한계가 있기 때문이다. 유역 전체의 토양침식량에 대한 유역을 빠져나가는 토사유출량의 비로 토사유출률을 정의한다면, 토사유출률의 최대값은 1.0이 된다. 그러나 실제의 경우 세류 및 세류간의 토양침식량에 대한 유역에서의 토사유출량의 비로 토사유출률이 산정되어 1.0보다 큰 경우도 발생한다. 분명한 것은 토사유출률은 유역이 커짐에 따라, 지표식생이 많음에 따라 감소하고, 강우가 커짐에 따라 증가하며, 토성에 따라 다른 결과를 보인다.

## 3. SEMMA 모형의 적용

### 3.1 대상 시험유역

산불지역의 시험유역은 산불로 인하여 급변하는 지표 환경에 따른 강우유출 및 토사유출 특성 변화의 정량적인 평가를 위하여 2000년 4월에 산불이 발생한 사천면 산지를 대상으로 2001년도에 선정하여 2005년 현재까지 운영하고 있으며, 시험유역의 위치 및 지형 특성은 표 1과 같다. 시험유역은 산불발생 후 벌목을 실시한 후 조립이나 토사유출방지대책을 시행한 지역으로 이 과정에서 발생하는 인위적인 지표교란으로 인하여 단순히 산불만 발생한 산지의 지표상태와는 크게 다르다. 따라서 산불뿐만 아니라 인위적인 지표교란 지역에서 경과 년 수에 따른 토사유출 특성의 변화를 파악하고자 하는 시험유역이다(국립방재연구소 2001~2004). 그림 1은 시험유역도이고, 그림 2는 연구기간동의 강우에너지에 따른 토사유출량의 결과를 나타낸 것이다.

표 1. 시험유역의 위치 및 지형특성

산불 발생 년도	위 치	수계명	유역면적 (ha)	해발고도 (EL. m)	유역폭 (m)	유역길이 (m)	유출방향
2000	강릉시 사천면 노동리 산 142번지	사천천	0.8526	180 ~ 215	50 ~ 90	124	동향

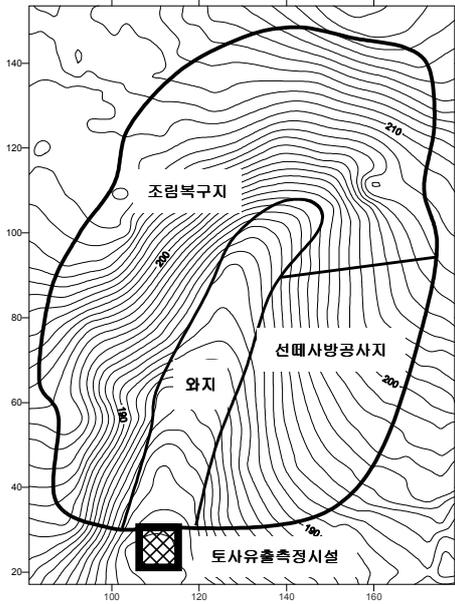


그림 1. 시험유역도

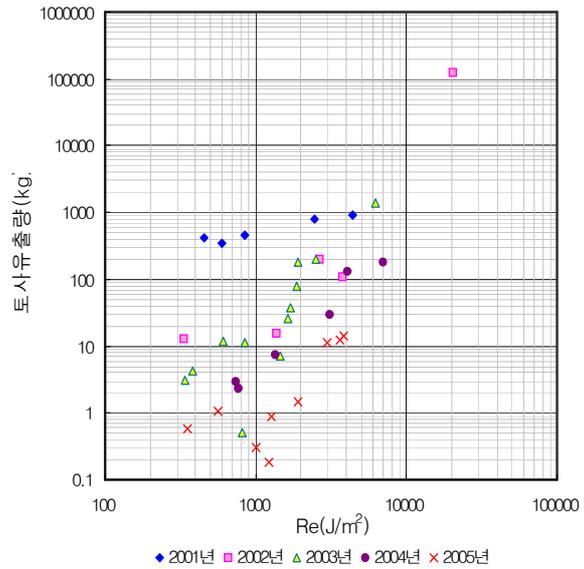


그림 2. 강우사상에 따른 토사유출량

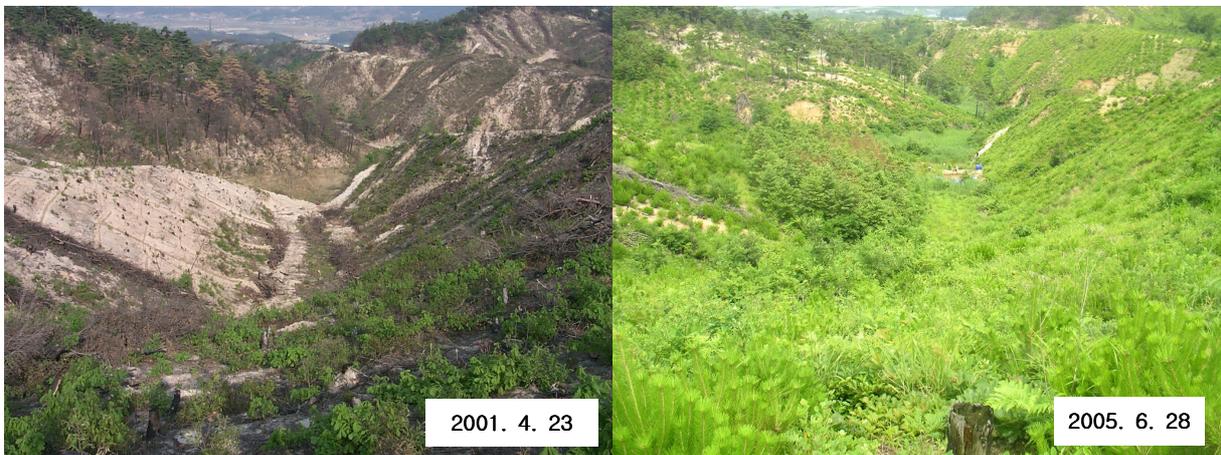


사진 1. 시간경과에 따른 시험유역의 식생회복

### 3.2 SEMMA 모형

우리나라 산지사면의 토양침식 예측 모형인 SEMMA(The Soil Erosion Model for the Mountain Area)는 토양침식에 영향을 미치는 주요인자인 강우인자, 지표인자, 토양인자, 지형인자들과 상관분석 및 다중회귀분석을 통한 경험식이다(국립방재연구소 2004, 2005). SEMMA의 선정된 인자로는 강우인자는 강우에너지와 30분 강우강도의 곱인 강우에너지지수( $R$ ), 지표인자

는 지하부를 고려한 식생피복도지수( $I_{vcr}$ ), 토양인자는 토양구조지수( $Sf$ ), 지형인자는 지형인자지수( $LS$ )이다. 이러한 인자들로 구성된 토양침식 회귀모형식은 다음 식 (2)와 같다.

$$q_s = 5.05 RI^{0.597} I_{vcr}^{-1.494} Sf^{0.430} LS^{-1.105} \quad (2)$$

위의 SEMMA 모형식을 가지고 유역에서의 토양침식량을 산정한 결과와 실제 강우에 의해 유역을 빠져나가는 토사유출량과의 결과를 비교한 것이 그림 3과 4이다.

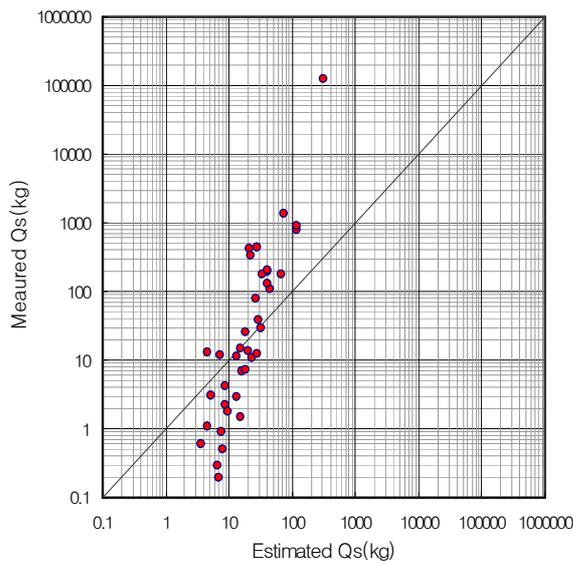


그림 3. 예측토양침식량과 실측토사유출량의 비교

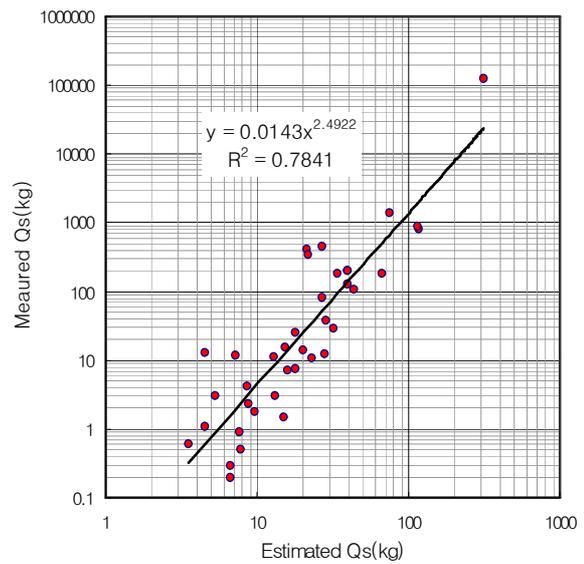


그림 4. 예측토양침식량과 실측토사유출량의 상관관계

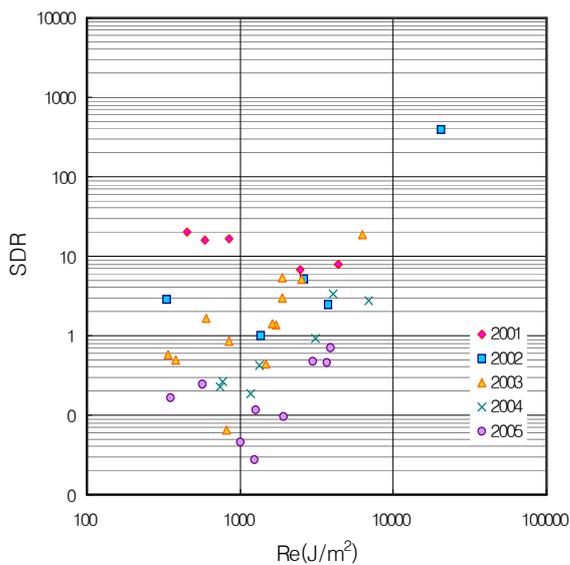


그림 5. 강우에너지(Re)에 따른 토사유출률(SDR)

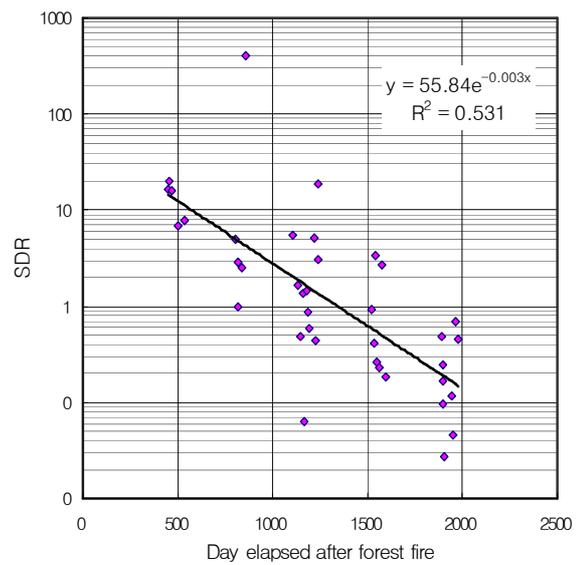


그림 6. 시간경과에 따른 토사유출률 변화

#### 4. 결 론

산불 이후 5년 동안 토사유출량을 실측하기 위해 운영한 소유역을 대상으로, 우리나라에 산지사면의 토양침식예측모형인 SEMMA를 이 유역에 적용하여 토양침식량을 예측하였고 강우사상에 따른 소유역 출구로 이송된 실제 토사유출량과 비교하여 토사유출률의 결과를 얻는다. 토사유출률은 그림 5와 같이 강우사상의 크기에도 관계되지만, 그림 6과 같이 산불 이후 시간경과도 상관관계도 높음을 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 정리하면 다음과 같다.

1. 소유역에 있어서의 토사유출률은 강우량, 강우강도, 강우에너지가 커짐에 따라 증가함을 보였는데, 이는 강우사상이 커짐에 따라, 지표유출과 수로유출량이 증가하고 이는 토사의 유출 경로에 있어서 더 많은 토사를 침식하게 하기 때문이다.
2. 산불 이후 토사유출률은 2001~2002년에는 대부분 1.0이상 이였고, 2005년에는 1.0을 초과하지 않으며, 시간 경과에 따른 산지사면 안정화와 식생지수의 증가에 따라 토사유출률은 감소한다.
3. 유역에서의 토사유출률은 유역면적 뿐만 아니라 유역에 발생하는 강우특성, 지형특성, 식생특성 등의 인자들에 의해 결정되어야 한다.

#### 참 고 문 헌

1. 국립방재연구소(2001). 강원도 산불지역 재해의 저감대책 수립, pp. 143-184.
2. 국립방재연구소(2002). 산불로 가중되는 재해요인 저감방안, pp. 31-63.
3. 국립방재연구소(2003). 산지지역 우수 및 토사유출량 관측 및 저감대책 수립, pp. 5-27.
4. 국립방재연구소(2004). '04년도 산지시험유역 운영을 통한 토사재해 저감효과 분석, pp. 7-16.
5. 국립방재연구소(2005). 산지의 토양침식모형(SEMMA) 실용화 연구, pp. 19-57.
6. 김용민(2006). 산지소유역의 강우사상에 따른 토사유출률의 변화, 강릉대학교 공학석사학위논문
7. Richards, K.(1993) Sediment delivery and the drainage network. in: Beven, K., Kirkby, M. J. (Eds.), Channel Network Hydrology. Wiley, Chichester, pp. 221-254.
8. Walling, D. E.(1983) The sediment delivery problem. Journal of Hydrology 65, pp.209-237.