

유역의 크기에 따른 산불지역 토사유출률

Sediment Delivery Ratio in the Burnt Mountain Areas according to Watershed Size

신승숙*, 박상덕**, 채국석***, 송범호****, 이철규*****

Seung Sook Shin, Sang Deog Park, Kuk Sheok Chae, Bum Ho Song, Cheol Kyu Lee

요 지

유역 전체의 토양침식량에 대한 토사유출량의 비로 정의되는 토사유출률은 유역의 크기가 커지면 토사가 유출되는 과정에서 퇴적되거나, 저류될 수 있는 지형적인 요인이 많아지게 되어 상대적으로 감소한다. 우리나라 산불지역의 유역에 대량의 토사유출을 제어하기 위해 설치된 여러개의 사방댐을 활용하여 강우사상별 댐 저류지에 퇴적되는 토사량 측정하였다. 실측된 토사유출량과 산지사면을 대상으로 개발된 토양침식 모형인 SEMMA에 의해 예측된 토양침식량과를 비교하여 유역크기에 따른 토사유출률의 관계를 분석하였다. SEMMA는 강우에 의한 토양입자의 분리현상과 지표유출에 의한 세류와 세류간 침식에 의해 발생하는 토양침식량을 산정하지만, 구곡이나, 유역의 수로에서의 침식은 고려하지 않는다. 보편적으로 토사유출률은 1.0을 넘지 않으나, 본 연구에서는 토사유출률이 대부분 1.0을 넘는 결과를 보여 산불 지역의 유역에서는 수로발달과 수로확장에 의한 침식이 심각했다. 토사유출률이 산지 유역이 커짐에 따라 감소하는 경향은 세계의 다른 유역에서의 조사된 결과와 비슷한 결과를 보였으나, 수치적인 차이가 크을 알 수 있었다. 또한 토사유출률은 강우사상의 크기에 상관성이 있음이 확인되었다.

핵심용어 : 토사유출률, 유역크기, 토사유출량, SEMMA, 토양침식량

1. 서 론

산불피해 지역에 큰 규모의 강우가 여러 차례 발생하면 유역으로부터 대량의 토사가 하천으로 유입되고, 대규모의 홍수재해와 함께 토사재해가 발생한다. 따라서 산지사면에서의 토양침식량을 산정하는 방법을 개발하는 것뿐만 아니라 유역을 빠져나가는 토사유출량을 평가하는 기술 개발이 필요하다. 유역의 크기가 커지면 토사가 유출되는 과정에서 퇴적되거나, 저류될 수 있는 지형적인 요인이 많아지게 되어 토사유출률(sediment delivery ratio)이 상대적으로 감소한다. 기존 많은 연구자들에 의해 유역의 크기와 토사유출률의 관계에 대한 연구가 이루어졌으나, 우리나라 산지유역을 대상으로 연구된 경우는 거의 없다. 본 연구에서는 규모가 다른 유역의 사방댐을 활용하여 강우사상별 퇴적된 토사를 측정하여 얻은 토사유출량과 토양침식모형인 SEMMA를 이용하여 얻은 토양침식량과를 비교하여 토사유출률을 산정하고, 유역 크기별 강우사상의 규모별로 토사유출률의 변화를 파악하고, 기존에 연구된 토사유출률과 비교 분석하고자 한다.

* 정회원·강릉대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : cewsook@hanmail.net
** 정회원·강릉대학교 토목공학과 교수·E-mail : sdpark@kangnung.ac.kr
*** 정회원·강릉대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : ddong79th@naver.com
**** 정회원·범아건설(주) 대표이사·E-mail : song@beuma.co.kr
***** 정회원·국립방재연구소 토목연구사·E-mail : powerful@nema.go.kr

2. 유역면적과 토사유출률

산지사면에서의 토양침식량을 산정하는 방법과 유역을 빠져나가는 토사유출량을 평가하는 기술을 개발하는 것은 다량의 토양침식과 토사유출이 발생할 것으로 판단되는 지역을 정량적으로 평가하는데 중요하다. 유역 전체의 토양침식량에 대한 토사유출량의 비인 토사유출률(SDR)은 유역의 크기와 관계가 있음을 발견했다. 토사유출률을 추정하는데 널리 사용되는 방법은 경험적인 토사유출률-면적의 역함수의 관계식으로 다음 식 (1)과 같다.

$$SDR = \alpha A^\beta \quad (1)$$

여기서, A는 유역면적이고 α 와 β 는 경험적인 변수이다(Maner, 1958 : Roehl, 1962). 멱지수 β 는 유역 토사이송의 과정에 관한 주요 물리적 정보를 포함하며, 강우량과 유출관계의 결합과 연계된다. 토사측정에 있어서 기본인 통계적 회귀분석에서 멱지수 β 는 주로 $-0.01 \sim -0.25$ 의 범위에 있음을 보였다(Walling, 1983, Richards, 1993). 유역 크기를 기준으로 하는 토사유출률은 이것의 단순함 때문에 널리 사용된다.

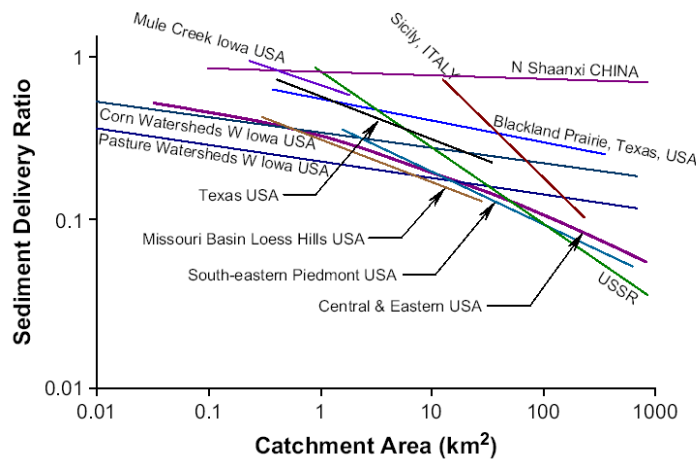


그림 1. 토사유출률과 유역면적과의 관계(Walling(1983), Ferro and Minacapilli(1995))

3. 산불지역 시험유역

산불 발생 후 4년이 경과한 지역을 대상으로 사방댐을 끼고 있는 5개의 시험유역을 선정하여 강우사상별로 댐 저류지에 퇴적되는 토사량을 계측하였다. 유역별 토양, 지표식생의 특성을 직접 조사하였고, 1/5000의 수치지도를 활용하여 지형인자를 간접적으로 산정하였다. 표 1은 시험유역의 지형적인 특성을 나타낸 것이고, 그림 2와 3은 각각의 유역별 강우에너지에 따른 토사유출량의 관계이다. 그리고 그림 4와 5는 유역의 식생유형 분포도이다.

표 1. 산불지역 시험유역의 특성

시험유역명	연곡상류	구라미1	구라미2	구라미3	사천와지
유역면적(ha)	4.285	3.389	17.455	10.480	4.179
해발고도(m)	202 ~ 155	185 ~ 135	190 ~ 120	224 ~ 55	190 ~ 120
유역폭(m)	240	12	340	146	220
유역길이(m)	220	325	625	705	202
유역경사(°)	12.06	7.02	6.39	13.48	19.11

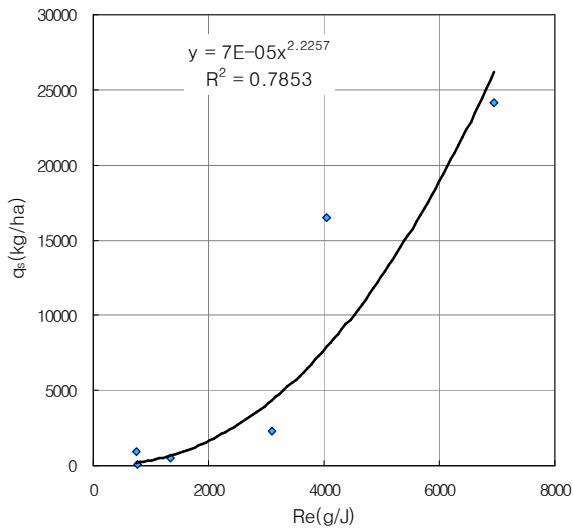


그림 2. 구리미1 유역에서의 강우에너지와 토사유출량

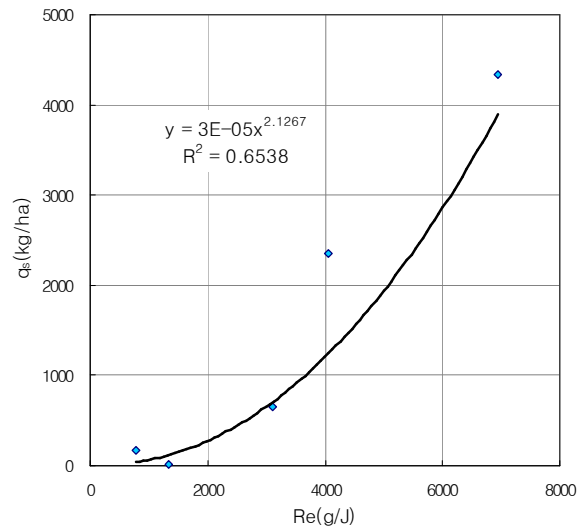


그림 3. 구리미3 유역에서의 강우에너지와 토사유출량

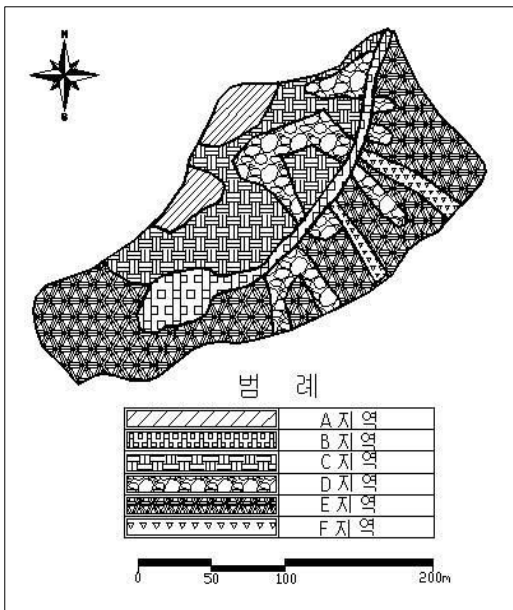


그림 4. 구리미1 유역에서의 식생유형별 분포도

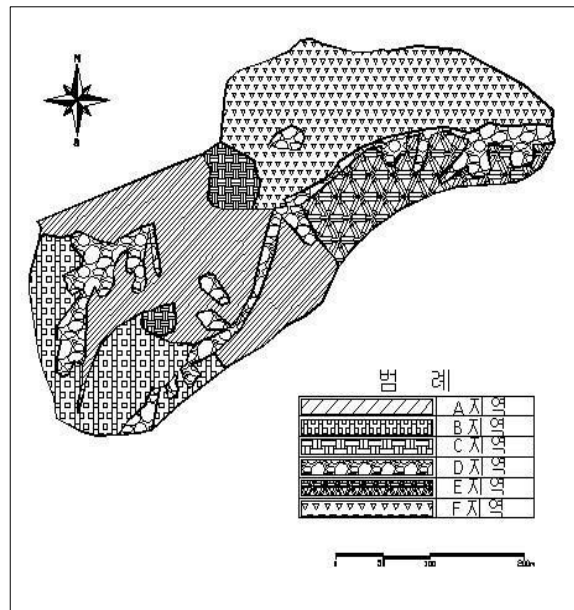


그림 5. 구리미3 유역에서의 식생유형별 분포도

4. SEMMA 모형적용

동해안 산불지역인 고성, 양양, 강릉, 삼척을 대상으로 2001년부터 2005년까지 49개의 소규모 조사구를 설치하였고, 강우사상에 따른 유출 및 토양침식량 측정 및 토양침식에 영향을 미치는 인자인 식생, 토양, 지형인자 등을 매년마다 조사하였다. 2004년도에 처음으로 산지사면의 토양침식 예측 모형인 SEMMA(The Soil Erosion Model for the Mountain Area)를 제시하였고, 실제 산지유역에 대해 안효윤(2005)이 적용한 바 있다. 이 모형의 기본식은 다음 (2)과 같이 토양침식에 관한 함수로 표현한다.

$$Q_s = f(Ra, C, So, T, M, etc) \quad (2)$$

여기서, Q_s 는 단위 면적당 토사유출량(g/m^2)이고, Ra 는 강우인자(Rainfall factor) C 는 지표인자(Cover factor), So 는 토양인자(Soil factor), T 는 지형인자(Topography factor), M 은 사면관리인자(Management factor)를 나타낸다. 토양침식에 영향을 미치는 주요인자인 강우인자, 지표인자, 토양인자, 지형인자들과 상관분석 및 다중회귀분석을 통해 SEMMA를 정교화 하였다(국립방재연구소 2005). 다중회귀 모형식의 선정된 인자로는 강우인자는 강우에너지와 30분 강우강도의 곱인 강우에너지지수(RI), 지표인자는 지하부를 고려한 식생피복도지수(I_{vcr})이다. 그리고 지형인자로는 경사(S)만을 고려하고, 토양인자로는 토심(Sd)과 평균입경(Dm)을 고려하여 다음 (3)과 같은 토양침식 회귀모형식을 제시한다.

$$q_s = 6.062 RI^{0.630} Ivcr^{-1.526} S^{-0.069} Sd^{-0.533} Dm^{-0.054} \quad (3)$$

토양침식 모형식(3)을 가지고 토양침식량을 예측한 결과와 댐의 저류지에 퇴적된 실측 토사량과의 관계를 나타낸 것이 그림 6과 7이다.

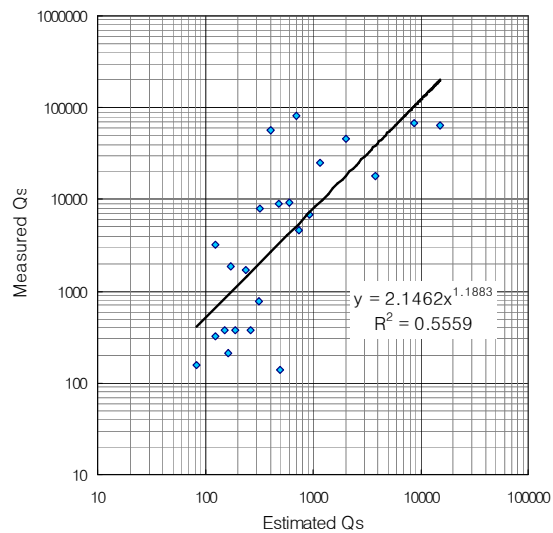
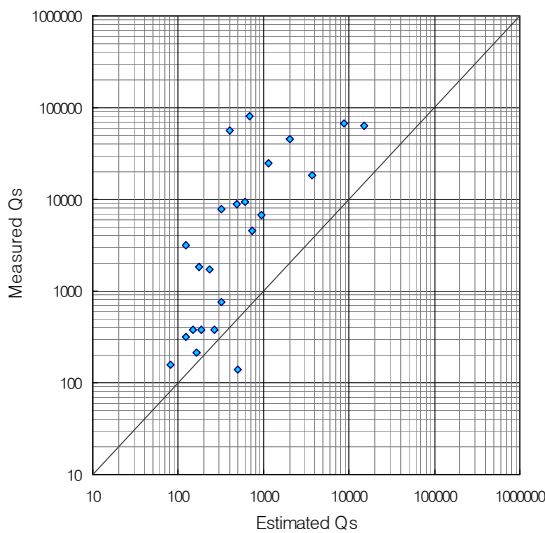


그림 6. 예측토양침식량과 실측토사유출량 관계 그림 7. 예측토양침식량과 실측토사유출량의 상관관계

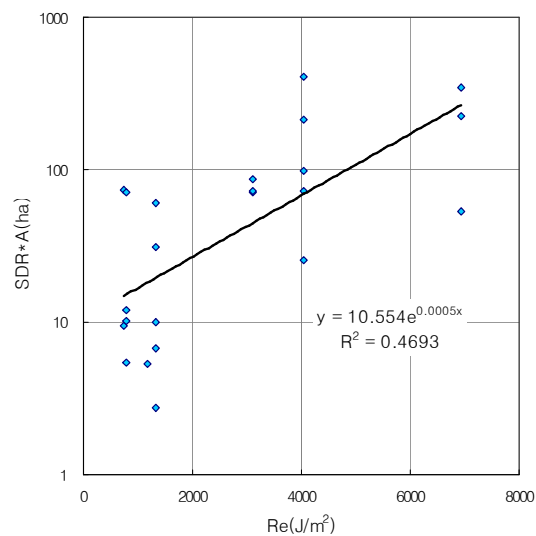
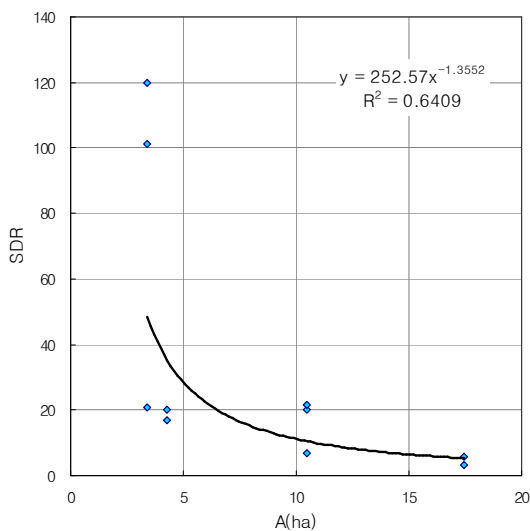


그림 8. 유역크기에 따른 토사유출률($R \geq 200mm$)

그림 9 강우에너지에 따른 면적가중 토사유출률

5. 결 론

유역의 크기가 커지면 토사가 유출되는 과정에서 퇴적되거나, 저류될 수 있는 지형적인 요인이 많아지게 되어 토사유출률(sediment delivery ratio)이 상대적으로 감소한다. 본 연구에서는 산불지역을 대상으로 실측 조사된 토사유출량은 모형에 의해 예측된 토양침식량보다 상대적으로 컸으며, 그림 8에서처럼 유역 면적이 클수록 토사유출률이 상대적으로 감소하는 경향을 보였다. 이러한 연구결과를 기존의 연구자료와 비교분석하여 정리하면 다음과 같다.

1. 유역이 큰 지역에 토양침식 모형을 적용하는데 있어서, 정확한 토양침식 매개변수를 선정하는 과정이 이루어져야 하며, 토양침식량을 제대로 산정할 수 있는 모형이 필요하다.
2. 산불 지역과 같이 외부 요인에 의해 지표식생이나 토양이 교란된 유역에서의 토사유출은 하천 수로발달과 수로확장의 예상보다 더 많은 토양침식이 발생하며, 본 시험유역에의 토사유출률은 세계 다른 지역의 경우에 비해 크며, 대부분 1이상 이었다.
3. 토사유출률은 유역 크기가 증가함에 따라 감소하지만, 강우사상이 커짐에 따라 증가하며, 이들 모두를 고려한 면적 가중 토사유출률과 강우에너지의 관계에서 상관성이 높았다.

참고문헌

1. 국립방재연구소(2004). '04년도 산지시험유역 운영을 통한 토사재해 저감효과 분석.
2. 국립방재연구소(2005). 산지의 토양침식모형(SEMMA) 실용화 연구.
3. 박상덕, 신승숙, 이규송(2005). 산불지역의 유출 및 토양침식 민감도, 한국수자원학회논문집, 제38권 제1호, pp.59-71.
4. 신승숙(2002). 산지유역의 토사유출에 관한 연구, 강릉대학교 공학석사 학위논문.
5. 송범호(2006). 유역의 크기에 따른 산지 소하천의 토사유출률에 관한 연구, 강릉대학교 공학석사 학위논문.
6. 안효윤(2005). 산불지역 시험유역의 토사유출, 강릉대학교 공학석사 학위논문.
7. Maner, S. B.(1958). Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area. Transactions of American Geophysics 39, 669-675.
8. Morgan, R. P. C.(1996). Soil erosion and conservation, 2nd ed, Longman.
9. Richards, K.(1993). Sediment delivery and the drainage network. in: Beven, K., Kirkby, M. J. (Eds.), Channel Network Hydrology. Wiley, Chichester, pp. 221-254.
10. Roehl, J. E.(1962). Sediment source areas and delivery ratios influencing morphological factors. International Association of Hydrological Sciences 59, pp. 202-213.
11. Walling, D. E.(1983). The sediment delivery problem. Journal of Hydrology 65, pp.209-237.