

산림소유역에서 MUSLE 유출에너지인자 계수값의 적용성 평가

김재훈 · 최형태 · 임홍근

국립산림과학원

Evaluation on MUSLE Runoff Energy Coefficient in Small Forest Watershed

Kim, Jaehoon · Choi, Hyung Tae and Lim, Hong-geun

National Institute of Forest Science.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate coefficient and exponent of runoff energy in MUSLE for small forest watershed, Hwacheon watershed in Gangwon-do. For 15 rainfall events, runoff volume, peak discharge and sediment yield were measured and these data were used to calculate coefficient and exponent of runoff energy. The results of this study showed that $LS \cdot K \cdot C \cdot P$ factors of MUSLE were affected by slope steepness. The coefficient and exponent of runoff energy were validated with coefficient of efficiency of 0.92 and these values were suggested to 0.002 and 0.81 respectively. The comparison of the coefficients and exponents between Hwacheon and other forest watersheds showed that these values would reflect the effect of forest management within watershed.

Key Words : *Rainfall erosivity, Soil erosion, Suspended solid, GIS.*

First author : Kim, Jaehoon, Department of Forest Restoration, National Institute of Forest Science, 57 Hoegiro, dongdaemun-gu, Seoul 02455, Korea,

Tel : +82-2-961-2932, E-mail : jkimkfri@korea.kr

Corresponding author : Choi, Hyung Tae, Department of Forest Restoration, National Institute of Forest Science, 57 Hoegiro, dongdaemun-gu, Seoul 02455, Korea,

Tel : +82-2-961-2643, E-mail : choiht@korea.kr

Received : 20 November, 2015. **Revised** : 14 December, 2015. **Accepted** : 17 December, 2015.

I. 서 론

우리나라의 최근 30년간 연평균 강수일수는 큰 변화가 없지만, 일 강수량 80mm 이상의 경우, 1980년도가 133회, 1990년도는 154회, 2000년대가 158회로 증가추세에 있다(Kim, 2011). 이러한 강우가 산지 사면에 내릴 경우, 산림유역내에는 우적침식이 발생하고 침투되지 못한 강우는 토양의 유실을 가속화시킨다(Jung et al., 2014). Kim et al.(1999)은 개발을 목적으로 지형을 인위적으로 바꾸거나 식생을 제거하는 경우, 토양침식의 가속화로 개발 전에 비해 토양침식이 $10^1 \sim 10^4$ 배 정도 증가한다고 했다.

토사의 유실량을 추정하는 방법으로 미국에서 개발된 범용토양유실공식(Universal Soil Loss Equation, USLE)이 있다(USDA, 1965). 이 공식은 1970년대 판상침식 및 세류침식에 의한 연평균 토양유실을 산정하는데 많이 활용되었다. 하지만, 표준구에서 개발되어 유역단위 적용에 어려움이 있으며, 구곡침식이나 수로침식, 산사태에 의한 침식이나 퇴적 등의 토양유실산정에는 한계점을 보였다(Son, 2001b). 이후, 개정범용토양유실공식(Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE)은 미 서부지역을 포함하는 기후인자수정, 계절적 변화에 대한 토양의 침식성 인자 수정, 지형인자, 사면길이 및 사면경사 수정, 피복관리인자 수정, 방목장, 경작형태에 따른 토양보전인자 수정을 하였다. 국내에서는 각종 재해영향평가서에 RUSLE를 기준으로 제시하고 있다(Im et al., 2012). 하지만 이러한 방법은 우리나라 집중호우 특성상 하나의 강우사상에 대한 토사침식량 산정시 많은 오차를 유발할 수 있으므로(USDA, 1997), 단일강우사상에 의한 토사침식량 산정을 위해 수정범용토양유실공식(Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE)이 개발되었다(Williams, 1975). 이 방법은 유역면적이 1.1ha에서 1,773ha, 평균 경사 및 사면길이가 0.9%-5.9%, 78.6m-173.7m인 미국 Nebraska와

Texas 지역의 47개 유역, 778개의 강우자료를 이용하여 개발되었다(Son, 2001a). MUSLE는 RUSLE에서 사용한 강우에너지 인자의 지수를 유출량과 침투유량으로 적용하는 방법으로 균등유역에서는 총괄인자접근을, 비균등유역에서는 유사추적 기법을 적용하는 것으로 알려져 있다(Kim and Jung, 2004). 또한 이 방법은 토사전달율이 포함되어 있어 이를 고려할 필요가 없다고 하였다(Hann et al., 1994).

MUSLE은 산림소유역의 경우, 지형특성인자, 토양침식인자, 식생피복인자, 토양보전대책인자를 하나의 값으로 나타낼 수 있으므로, 유출량과 침투유량의 계수 및 지수에 영향을 받을 수 있다. 국외 산림유역의 경우, 계수값이 Arekhi et al.(2011)은 0.0004, Epifanio et al.(1991)은 0.0012로 나타났다. 국내 산림유역의 경우, Won and Lee(2012)는 4개의 산림소유역을 대상으로 유출량과 침투유량의 계수 및 지수를 각각 5.33, 0.91로 나타냈고, Jung et al.(2014)은 산지소유역을 대상으로 Williams(1975)의 계수 및 지수값을 그대로 적용하여 토사유출량을 산정했다. 하지만 기존 연구들이 방해받지 않은 산림에 적용된 사례는 거의 없으며 그 연구 또한 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 산림소유역을 대상으로 산지소유역에 적합한 MUSLE 유출에너지 인자의 계수 및 지수를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지 및 관측자료

1) 연구대상지

연구대상지는 강원도 화천군 사내면 광덕리 소재에 위치한 산림 소유역으로 좌표는 북위 38°03' 17.32", 동경 127°27'09.16"이다. 유역면적은 45ha로 표고가 670~930m이며, 평균경사가 27.2%이다. 이 지역의 평년강수량은 1,347.3mm, 평년기온은 11.1°C이며, 모암은 화성암으로 토성은 사질양토이다. 이 지역의 식생은 5영급의 천연림으로

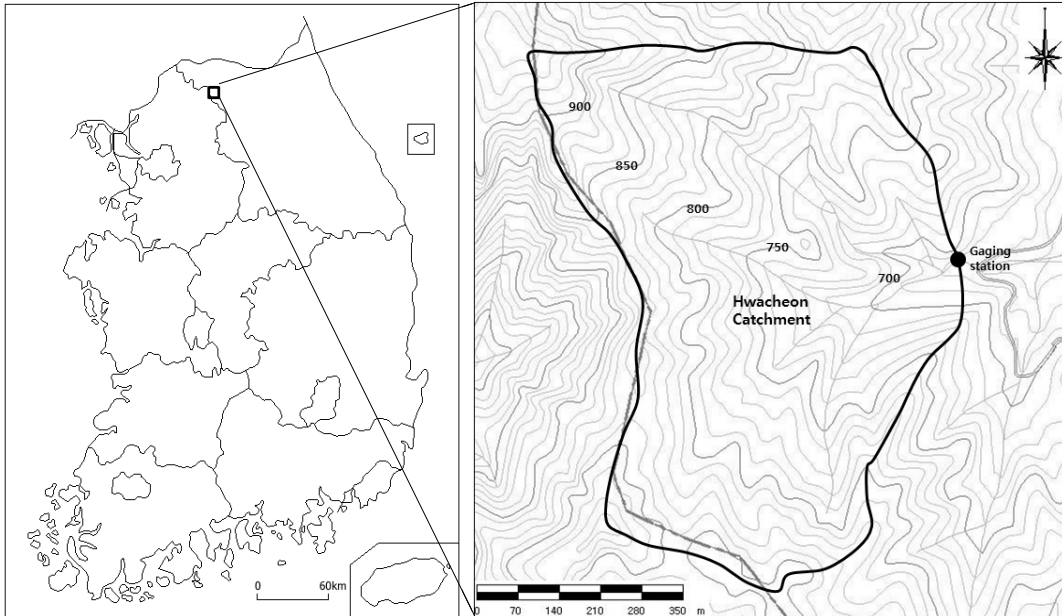


Figure 1. The location of study site.

참나무류와 낙엽송이 주요 수종을 이루고 있다. 연구대상지의 위치는 Figure 1과 같다.

2) 강우 - 유사 관측

산림소유역의 토사유출 발생특성을 밝히기 위해 강우량, 유출량, 부유토사농도를 측정하였다. 강우량은 전도형 자기 우량계를 이용하여 10분 단위로 측정하였으며, 유출량은 조사지점에 설치된 유량관측용 삼각위어에서 부자식 수위계를 이용하여 월류수심을 10분 단위로 연속 측정하여 산정하였다. 토사의 농도는 계류수질 시료 자동채수기(ISCO Sampler)를 이용하여 15분 동안 5mm 이상의 강우가 발생했을 때 채수를 시작하여 1회당 800ml의 시료를 1시간 간격으로 24시간 동안 수집한 후, 실내로 가져와 수질오염공정시험법에 따라 분석하여 시계열에 따른 부유토사의 농도를 계산하였다. 강우, 유출량, 토사 농도는 2013년 7월 1일부터 2015년 10월 31일 사이에 총 15회의 단위 강우사상에 대하여 분석하였다. 2013년 7월 1일부터 2014년

9월 15일 사이의 11개 단위강우사상은 모형의 입력자료로 활용하였으며, 2015년 7월 1일부터 10월 31일 사이의 4개 단위강우사상은 모형을 검증하는데 사용하였다.

2. 적용모형 및 검증방법

1) MUSLE 모형 및 인자

MUSLE는 RUSLE의 강우침식인자 대신 총 유출량, 침투유량 인자로 토사유출을 예측하며 다음의 식과 같다(Williams, 1975).

$$A = 11.8 (Q \cdot Q_p)^{0.56} LS \cdot K \cdot C \cdot P \quad (\text{식 1})$$

여기서, A 는 토사유출량(tonnes), Q 는 유출량(m^3), Q_p 는 침투유량(m^3/s), LS 는 지형특성인자(무차원), K 는 토양침식인자(무차원), C 는 식생피복인자(무차원), P 는 토양보전대책인자(무차원)이다. MUSLE의 각 입력인자값들은 각종 문헌에서 제시한 방법을 사용하였다.

유출량 및 침투유량은 2013년 7월 1일부터

10월 31일 사이에 총 15회의 단위 강우사상에 대해 채수지점에서 강우-유량 관계식을 이용하여 강우지속시간 동안 유출량 및 침투유량을 계산하였다.

지형특성인자의 경우, 사면길이 인자인 L 과 사면경사 인자인 S 로 구분된다. L 은 다음과 같다.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13m} \right)^m \quad (\text{식 2})$$

여기서, λ 는 사면을 투영했을 때 수평길이 (m), m 은 다양한 경사-사면 지수로 $\beta/(1+\beta)$ (Foster et al., 1977), β 는 $(\sin\theta/0.0896)/(3.0(\sin\theta)^{0.8}+0.56)$ 이다. 사면경사 인자인 S 는 McCool et al.(1989)이 제시한 방법을 이용하였다. 사면길이가 15ft(4.57m)를 기준으로 크게 두 가지 식으로 나뉘며, McCool et al.(1987)이 제안한 식은 다음과 같다. 사면길이가 15ft(4.57m) 이상인 경우,

$$S = 10.8\sin\theta + 0.03 \quad (\text{slope} \leq 9\%) \quad (\text{식 3})$$

$$S = 16.8\sin\theta - 0.50 \quad (\text{slope} > 9\%) \quad (\text{식 4})$$

사면길이가 15ft(4.57m) 미만인 경우,

$$S = 3.0(\sin\theta)^{0.8} + 0.03 \quad (\text{식 5})$$

여기서, 식 3, 4, 5의 θ 는 사면의 경사(°)이다. 지형특성인자 산출을 위해 해상도 30m의 DEM을 활용하여 GIS에서 분석하였다.

토양침식인자는 강우와 유출에 의한 침식능에 저항하는 인자로 USDA(1978)는 미국 55개 중서부 농경지 자료를 바탕으로 자갈, 모래, 극세사, 진흙, 유기물 함량 등에 따라 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$K = \frac{2.1 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1.14} + 3.25 (s - 2) + 2.5 (p - 3)}{100} \quad (\text{식 6})$$

여기서, OM 은 유기물함량(%), M 은 (실트와 극세사의 백분율) \times (100-점토의 백분율), s 는 토양구조코드, p 는 투수도 등급이다. 한국수자원학회는 전국의 토양통별 K 값을 추정된 자료를 제공하고 있다.

식생피복인자는 농경이나 토양관리 기법에 따른 침식의 영향으로 식생이 성장하기 전, 나대지와 같은 경우는 높고, 산림지역의 경우에는 상대적으로 낮다. 토양보전대책인자는 토양보전대책이 있는 상·하 방향 경사지로부터의 토양보전대책에 대한 토양유실의 비율을 나타내는 것으로 경작종류에 따라 구분된다.

2) 모형 검증방법

실측 자료 및 기존 문헌을 이용하여 인자를 결정된 후, 유출량과 침투유량에 관계된 계수 및 지수를 결정하였다. 식 1에서 $LS \times K \times C \times P$ 는 하나의 상수값으로 결정되며, 이를 좌변으로 옮겨 종속변수로, 우변의 Q , Q_p 를 독립변수로 만드는 Won and Lee(2012) 제시한 형태로 나타냈다(식 7).

$$\frac{A}{LSKCP} = \alpha (Q \cdot Q_p)^\beta \quad (\text{식 7})$$

$$\log_{10} \left(\frac{A}{LSKCP} \right) = \log_{10} \alpha + \beta \log_{10} (Q \cdot Q_p) \quad (\text{식 8})$$

여기서 α , β 는 유출량, 침투유량에 대한 계수 및 지수이다. 총 11개의 단위강우사상에 대해 식 7의 형태로 만들어 계수 및 지수를 결정하였다.

3) 자료 비교 방법

결정된 계수와 지수의 검증은 4개의 단위강우사상을 이용하였으며 검증방법은 Nash and Sutcliffe (1989)가 제시한 다음의 식을 이용하였다.

$$CE = 1 - \frac{\Sigma (X_{est} - X_{obs})^2}{\Sigma (X_{obs} - X_{mean})^2} \quad (\text{식 9})$$

여기서, CE 는 효율성 계수, X_{est} 는 식(8)에 의한 예측값, X_{obs} 는 관측값, X_{mean} 는 관측값의 평균을 나타내며, 효율성 계수가 1.0에 가까울수록 예측값과 관측값이 가까운 것을 의미한다.

III. 결과 및 고찰

1. MUSLE 입력인자 분석

유량과 유출량에 대한 식 6의 계수 및 지수를 결정하기 위해 총 11개 단위강우사상을 이용했으며, Table 1에 정리하였다.

Im et al.(2012)은 토사유출을 유발하는 임계 강우사상에 대한 국내의 보편적으로 제안된 기준이 없다고 했다. 미국의 경우, USDA(1997)에서 4,000 개소의 강우자료를 이용하여 토사침식에 영향을 미치는 강우량을 조사하였다. 무강우 기간의 기준은 6시간이며 12.7mm 이상의 강우를 RUSLE의 강우침식인자로 사용하였다. Table 1에서 미국 기준을 적용했을 때, 각 강우사상은 모두 12.7mm 이상으로 나타나 본 연구에 사용되었다. GIS를 이용하여 유역 내 각 격자별 $LS \cdot K \cdot C \cdot P$ 를 계산하였으며 그 결과는

Figure 2와 같다.

지형특성인자의 경우, DEM 해상도가 30m이므로 경사도에 따라 식 2와 식 3을 이용하여 GIS에서 분석했다. L 및 S 인자는 사면의 경사와 비슷한 경향을 보였으며, 경사의 범위는 최소 3.7%에서 최대 48.4%이고, 평균경사는 27.2%이다. 산림유역으로 인해, 경사도가 9%이하인 셀은 거의 없었으며, 대부분 경사가 높았다. K 인자의 경우, 전국 토양통별 값을 이용하였다. 연구대상지 위치에서의 토양통은 농업과학원에 제공하는 토양환경정보시스템에서 SmF2 삼각으로 확인하였으며, 이 토양의 특성으로는 자갈, 모래, 극세사, 이토, 점토의 입경분포가 각각 11.4, 56.3, 3.5, 30.0, 10.2%로 나타나 있다. 이러한 정보를 바탕으로 최종적으로 0.26의 값을 채택하였다. C 인자의 경우, 산림지역에 대한 값은 문헌에 따라 다소 차이가 있었다. Im et al.(2012)은 산림의 밀도에 따라 0.001, 0.003, 0.009의 값을 인용하였고, Shin(1999)은 0.1, Yang et al.(2003)은 0.01-0.001로 각 피복 특성에 따라 값을 제시하였다. 본 연구대상지 유역이 산림이고 소밀도가 밀하다는 점을 고려하여 0.001을 채택

Table 1. Measured discharge, peak discharge and sediment yield with date.

Date	Q (m ³ /s)	Q _p (m ³ /s)	A (tonnes)
Jul. 02, 2013	3267	0.06	0.007
Jul. 10, 2013	10847	0.22	0.024
Jul. 18, 2013	7726	0.15	0.016
Jul. 28, 2013	21784	0.88	0.433
Aug. 29, 2013	7551	0.42	0.077
Jun. 24, 2014	1034	0.03	0.003
Jul. 03, 2014	1032	0.02	0.002
Jul. 23, 2014	836	0.03	0.001
Jul. 25, 2014	1896	0.10	0.014
Aug. 04, 2014	1085	0.02	0.0004
Sep. 03, 2014	14249	0.34	0.094

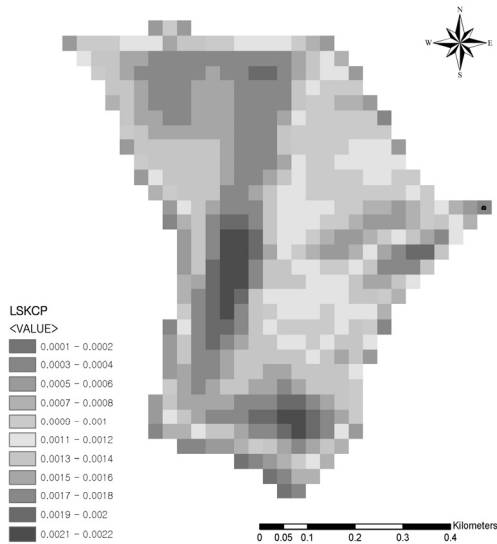


Figure 2. MUSLE factor of $LS \times K \times C \times P$.

하였다. P 인자의 경우, 연구대상지가 산림 유역이고 특별한 토양보전대책이 마련되어 있지 않기 때문에 1.0을 적용하였다. 산림소유역의 경우, K 인자, C 인자, P 인자가 하나의 값으로 되고, L 인자도 사면의 경사(°)에 따라 영향을 받지만 거의 일정한 값을 보인다. 따라서, 각 셀별 $LS \cdot K \cdot C \cdot P$ 의 결과값은 DEM의 고도가 높은 셀 보다는 S 인자에 의해 차이를 나타냈다. 유출량과 침투유량을 제외하면 사면의 경사가 토사침식량에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

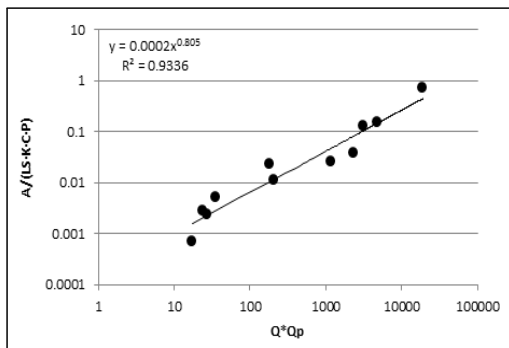


Figure 3. The relationship between $Q^2 \times Q_p$ and $A/(LSKCP)$

2. 유출에너지항의 계수 및 지수값 결정

Figure 2의 결과를 바탕으로 식 7을 유도하여 도식화 했으며, 그 결과는 Figure 3과 같다.

유출량, 침투유량과 침식량/상수의 관계는 결정계수가 0.93으로 높게 나타났다. 유출량 및 침투유량의 계수 및 지수는 각각 0.0002와 0.81로 나타났다. 모형의 계수 및 지수값의 검증을 위해 2015년에 7월 1일부터 10월 31일까지 관측된 4개 강우자료를 이용하여 토사유출량의 실측값과 산정값을 비교하였으며, 그 결과는 Figure 4와 같다.

4개 강우사상에 대해 실측값과 산정값의 효율성을 알아보기 위해, 식 9를 이용하였으며 효율성 계수는 0.92로 나타나 1.0에 매우 근접하였다. 단위강우사상의 숫자가 작았지만 효율성이 높은 것으로 나타나 Figure 4의 결과값인 유출량, 침투유량의 계수 및 지수를 0.0002와 0.81로 선정하였다.

Jung et al.(2014) 및 Kim and Jung(2004)은 MUSLE의 계수 및 지수값을 원래 식인 11.8과 0.56으로 적용하여 토사유출량을 평가하였다. Won and Lee(2012)는 계수 및 지수값을 미국 California 지역에서 계수 및 지수 값을 각각 0.23과 0.70로 소개하였고, 국내 산림소유역에 MUSLE를 적용하여 계수와 지수값을 5.33과 0.91를 제시하였다. 본 연구대상지의 경우, 원래 식의 값과 국내 적용된 사례보다 매우 작게 나

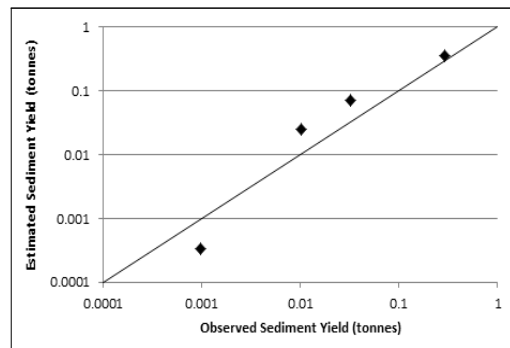


Figure 4. The comparison between observed and estimated sediment yield.

타났다. 미국 사례의 경우는 산림시업이 이루어진 곳이며, 두 개 유역면적 차이가 26ha와 103ha로 컸고, 국내 사례의 경우는 유역 내 산불이나 벌목이 실시되어 유역특성에 인한 차이로 판단된다.

3. 다른 유역의 계수 및 지수값 비교

동일한 유출량과 침투유량에 대해, 계수 및 지수값에 따른 토사유출량의 차이를 파악하기 위해, 토지이용도에 산림이 포함된 국내외 문헌을 통하여 계수 및 지수값을 요약하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

본 연구대상지의 유출량, 침투유량에 대해, Table 2의 계수 및 지수값을 이용하여 토사유출량을 산출하였으며 그 결과는 Figure 5와 같다.

동일한 유출량과 침투유량에 대해 특성이 다른 유역의 계수와 지수를 입력한 결과, Williams(1975)와 Won and Lee(2012)의 토사유출량이 높게 나타났고, Arekhi et al.(2011)의 토사유출량이 낮게 나타났다. Williams(1975)의 경우, 유역 대상지가 미국 대평원지역으로 산림 유역 특성을 반영하기에는 다소 무리가 있으며, 유역 면적도 다양하여 상대적으로 제일 큰 값을 나타

나는 것으로 판단된다. Won and Lee(2012)의 경우, 연구대상지는 4개의 산림소유역으로 첫 번째 유역과 세 번째 유역은 두 번의 산불발생 지역, 두 번째 유역과 네 번째 유역은 벌목 등의 산림시업지역이다. 유역면적이 매우 작아 유역 내 특성에 따라 토사유출이 달라지는 것으로 판단된다. Noor et al.(2012)의 경우, 유역 면적이 넓고 피복의 구성비율은 알 수 없지만, 상류유역은 경작지, 하류유역은 산림으로 구성되어 있어 산림에 의한 토사차단의 효과를 나타내는 것으로 판단된다. Epifanio et al.(1991)은 계수값이 6배의 차이를 보였다. 이는 두 개의 산림 유역에 대해 계수 및 지수가 다른 이유를 유역특성과 유역 침식을 차이로 설명하였다. 실제로, 첫 번째 유역은 1984년 1월부터 1985년 5월까지 26ha의 44%를 개벌하였고, 두 번째 유역은 1984년 7월부터 1985년 5월 까지 103ha의 14%를 개벌하였다. 이러한 산림 시업으로 인해 첫 번째 유역의 계수가 두 번째 유역보다 2배의 차이를 보여, 유역 특성에 따라 계수의 변화로 판단된다. Arekhi et al.(2011)의 경우, 화천 유역과는 2배의 차이를 보였다. 이는 Noor et al.(2012)의 유역면적과 비슷하지만, 산림 면적이 74%이며, 유

Table 2. Land cover, area, coefficient and exponent values at each reference.

Reference	Land cover	Area		Coefficient	Exponent
		(ha)	(%)		
Arekhi et al. (2011)	Forest Rangeland	41,368	74 16	0.0004	0.56
Epifanio et al. (1991)	Forest	26, 103	100	0.0012	0.93
Noor et al. (2012)	Forest Rangeland	50,000	N/A	0.11	0.76
Williams (1975)	Agricultural area	1.1 ~ 1,772	N/A	11.8	0.56
Won and Lee (2012)	Forest	0.8 ~ 8.8	100	5.33	0.91
This study	Forest	45	100	0.0002	0.81

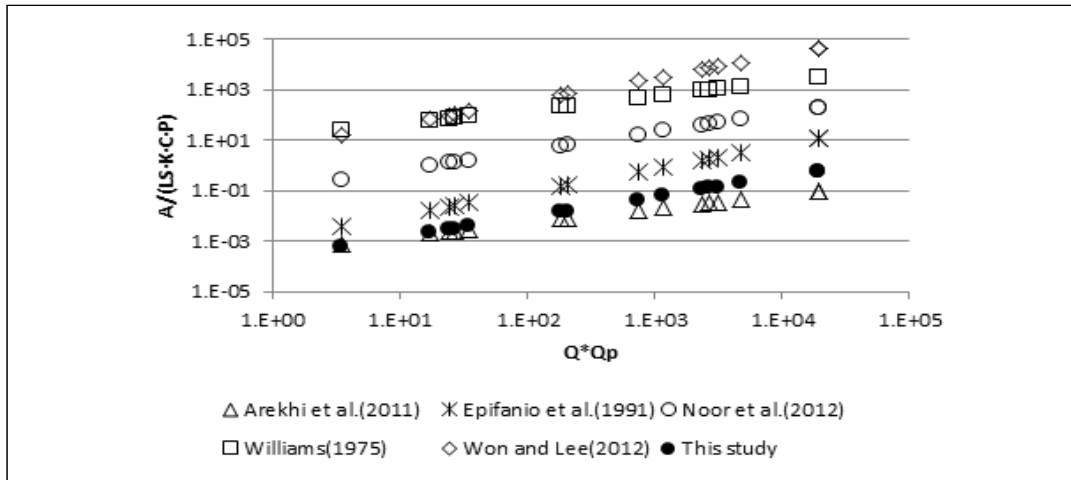


Figure 5. Comparison of coefficient and exponent.

역내 7.8%의 농경지와 나지 비율을 감안할 때 산림에 의한 토사저감효과로 계수의 값이 낮은 것으로 판단된다.

향후, 산지소유역에서 MUSLE의 정확도를 높이기 위해서는 단일강우사상 및 토사침식량에 대한 많은 자료의 수집이 필요하며, 더 많은 유역을 대상으로 집중적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

산림소유역에 있어, MUSLE 적용시 유출에 너지항의 계수 및 지수값의 적용성을 평가하기 위해, 화천유역의 강우, 유출량, 토사량 자료를 이용하였으며 그 결과는 다음과 같다.

산림소유역의 경우, K 인자, C 인자, P 인자가 하나의 값으로 되고, L 인자도 사면의 경사(°)에 따라 일정한 값을 보였다. $LS \cdot K \cdot C \cdot P$ 평가에 있어 유역 내 고도 보다는 사면의 경사에 영향을 받으므로 사면의 경사가 토사침식량에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 실측값을 이용하여 유출량, 침투유량에 대한 계수 및 지수값을 계산하였고, 다른 강우사상을 이용하여 검증한 결과 효율성계수가 0.92로 나타났다. 이러한

분석을 바탕으로, 유출량, 침투유량에 대한 계수는 0.0002, 지수는 0.81로 선정하였다. 계수 및 지수값에 대해 화천 유역과 국내외 문헌을 이용하여 비교한 결과, 산림의 면적이 높거나 시업 후 많은 시간이 경과된 유역에서 2~6배의 차이를 보여 계수값이 산림시업의 영향을 반영하는 것으로 판단된다.

향후, 산지소유역에서 MUSLE의 정확도를 향상을 위해서는 더 많은 유역에 대해 강우사상 및 토사량 자료의 획득이 필요할 것으로 판단된다.

References

- Arekhi, S. · Shabani, A. and Rostamizad, G. 2011. Application of the modified universal soil loss equation (MUSLE) in prediction of sediment yield(Case study: Kengir Watershed, Iran). Arabian Journal of Geosciences. 5(6): 1-9.
- Epifanio, C. R. · Singer, M. J. and Huang, X. 1991. Hydrologic Impacts of Oak Harvesting and Evaluation of the Modified Universal Soil Loss Equation. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-126: 221-224.

- Foster, G. R. · Meyer, L. D. and Onstad, C. A. 1977. A Runoff Erosivity Factor and Variable Slope Length Exponents for Soil Loss Estimates. *Trans. ASAE* 20: 683-387.
- Hann, C. T. · Barfield, B. J. and Hayes, J. C. 1994. *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments*. Academic Press Inc. San Diego, California.
- Im SS · Kim MS · Kim JH and Paik KR. 2012. Comparison of RUSLE and LISEM for the Evaluation of Spatial Distribution of Simulated Sediment Yield. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 12(5): 199-206. (in Korean with English summary)
- Jung YG · Lee SW · Lee KH · Park KY and Lee HH. 2014. Application of RUSLE and MUSLE for Prediction of Soil Loss in Small Mountainous Basin. *Journal Of Korean Forest Society*. 103(1): 98-104. (in Korean with English summary)
- Kim CW · Woo HS and Sonu JH. 1999. Estimation of Rainfall Erosivity in USLE. *Journal of Korea Water Resources Association*. 32(4): 457-467. (in Korean with English summary)
- Kim JH and Jung SK. 2004. Estimation of Runoff Energy Factor for MUSLE using Topographical Data. *Korean Society of Civil Engineers*. 24(2B): 95-102. (in Korean with English summary)
- Kim GI. 2011. A Study on the Trends of Torrential Rainfall Events in Korea. M.S. Thesis, Yonsei University. (in Korean with English summary)
- McCool, D. K. · Brown, L. C. · Foster, G. R. · Mutchler, C. K. and Meyer, L. D. 1987. Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE* 30: 1387-1396.
- McCool, D. K. · Foster, G. R. · Mutchler, C. K. and Meyer, L.D. 1989. Revised Slope Length Factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE* 32: 1571-1576.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. 1989. River Flow Forecasting Through Conceptual Models, Part-1: A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290.
- Noor, H. · Fazli, S. and Alibakhshi, S. M. 2012. Prediction of storm-related sediment-associated contaminant loads in a watershed scale. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 12(3): 183-189.
- Shin KJ. 1999. The Soil Loss Analysis using GIS in Watershed. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Kangwon National University. (in Korean with English summary)
- Son KI. 2001a. Applicability Examination of the MUSLE Sediment Yield Prediction Equations in Korea. *Journal of Korea Water Resources Association*. 34(3): 209-216. (in Korean with English summary)
- Son KI. 2001b. Applicability Examination of the RUSLE Sediment Yield Prediction Equations in Korea. *Journal of Korea Water Resources Association*. 34(3): 199-207. (in Korean with English summary)
- USDA, 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook Number 537.
- USDA, 1965. *Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains-Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation*. Agriculture Handbook Number 282.
- USDA, 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook Number 703.

- Williams, J. R. 1975. Sediment Routing for Agricultural Watersheds. *Water Resources Bulletin*. 11: 965-974.
- Won JY and Lee JS. 2012. An Improvement on Estimation of Runoff Factor Equation for Mountain Area in MUSLE. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 12(5): 207-214. (in Korean with English summary)
- Yang, D. · Kanae, S. · Oki, T. · Koike, T. and Musiake, K. 2003. Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological Processes*. 17(14): 2913-2928.