

일단위 강우량을 고려한 경사지의 토양유실량 분석

김원준¹ · 박범수¹ · 이재혁¹ · 류지철¹ · 장춘화¹ · 김영석² · 박화용³ · 임경재^{1*}

¹강원대학교 지역건설공학과, ²한국건설기술연구원, ³포스코건설 물환경사업본부

Analysis of soil loss on sloping land considering daily rainfall

Won-Jun Kim¹, Bum-Soo Park¹, Jae-Hyeok Lee¹, Jichul Ryu¹, Chun Hwa Jang¹, Youngsug Kim², Hwa Yong Park³,
Kyoung Jae Lim^{1*}

¹Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

²Construction Environment Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

³Water&Environment Division, POSCO E&C, Incheon 190-1, Korea

Received on 9 November 2011, revised on 23 November 2011, accepted on 18 December 2011

Abstract : The MUSLE was utilized in this study to estimate soil erosion using daily precipitation which was main influential factor in soil loss estimation. Various scenarios were simulated to evaluate how transition of slope, agricultural products and precipitation could affect soil loss in the field. It was found that slope was the most affecting factor in soil loss estimation. Especially 1.8 times the soil loss was expected with potato at 45% slope compared with codonopsis at same slope with MUSLE model. Fortunately, farmers had planted codonopsis at this slope to reduce soil erosion from this steep slope. As shown in this study, the MUSLE method could be utilized to determine optimum crop type for each field with various slope conditions to minimize soil erosion. This approach utilized in this study could be applied to other agricultural watersheds to evaluate various soil erosion conditions.

Key words : MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation), Soil loss, Rainfall

I. 서론

급속한 2차 산업의 발전과 토양개발 및 농경지 개간은 자연 파괴의 원인이 되고 있으며, 심각한 환경문제가 되고 있다. 이러한 개발로 인해 토양유실이 가속화 되고 있다. 토양유실의 문제는 오늘날 많은 문제가 되고 있으며, 사회 활동에 많은 피해를 주고 있다. 토양침식으로 인한 토사발생은 많은 지역에 따른 기후학적 원인, 유역의 크기와 형태 및 경사에 따른 지형학적 원인, 대상 지역의 토양조직, 구조, 유기물 함유 및 투수성에 따른 토양종류, 피복조건 및 환경조건 등 복합적인 영향을 받는다. 이러한 광범위한 토양유실은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫째는 급격한 산업의 발달로 지형학적 변화를 초래하게 되어 산림을 잃게 되었고, 그로 인해 토사유출이 증대하였다. 특히 농경지는 경작

물에 따라, 경사도에 따라 강우가 흐르는 정도가 달라지기 때문에 더 많은 피해를 입을 수 있다. 그리고 하천 단면 감소로 홍수를 초래하여 생태계와 주변 작물까지 오염되고 파괴되었다. 둘째는 기후 인자이다. 인간의 산업발달로 인한 것과 다르게 기후인자는 자연적인 문제이다. 토양유실을 일으키는 기후 인자로는 강우, 기온, 습도, 바람 등이 있다. 바람은 강우 시 빗방울의 하강 속도와 지표면의 토양의 충격각의 변화에 영향을 준다. 습도와 기온은 주로 증발산에 영향을 주며 습도는 기온과 관계 맺고 있다. 따라서 기후 인자 중 토양유실에 가장 긴밀하고 직접적인 영향을 미치는 인자는 강우인자이다. 강우량은 계절에 따라 다르며, 기후의 변화로 매우 불규칙하게 내리고, 여름철에 단시간에 많은 강우량을 보이는 국지성 호우가 내리게 되면 강수량이 급격히 증가하여 토양유실과 토양침식, 홍수의 피해가 일어나게 된다. 이러한 토양유실로 인하여 유실된 토양이 하천으로 유입되어 오염과 부영양화와 같은 문제가

*Corresponding author: Tel: +82-33-250-6468

E-mail address: kjlim@kangwon.ac.kr

생긴다. 토양유실이 발생하게 되면 손실이나 피해가 크기 때문에 미리 예측하여 대비하여 문제를 최소화해야 한다. 하지만 실제적으로 토양유실량을 모니터링을 통해서 측정하기에는 현실적으로 많은 어려움이 있으므로 모델링을 통한 분석이 필요하다. 현재 토양유실량 산정에 사용되는 모형은 미국의 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 개발된 범용토양유실공식(Universal Soil Loss Equation)이 주로 사용되고 있다. 범용토양유실공식(USLE)은 5가지의 인자(K, C, R, P, LS)를 사용하여 면상침식(Sheet erosion)과 세류침식(Rill erosion)에 의한 토양유실량을 모의할 수 있는 시험포장 단위(Field-scale)를 모의 할 수 있다(Woo 등, 2010). 하지만 USLE 방식은 1년 단위의 예측모형이기 때문에 특정 기간에 강수가 집중되거나 작물생육에 따른 토양상태를 고려할 수 없다. 그러므로 보다 정확한 토양유실량 산정을 위해 매일 변화되는 강수량에 대한 토양유실량을 구하고 이를 기초로 총 유실량을 구하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 USLE 보다 국내 실정에 더 적합한 수정토양유실공식(Modified Universal Soil Loss Equation)를 이용하였고, 강우인자(R)와 작물의 성장에 따라 달라지는 작물 피복인자(C)를 연평균강수량이 아닌 일평균강수량을 적용하여 일단위 토양유실량을 산정하였다. 또한 수정토양유실공식(MUSLE)를 이용하여 토양유실에 가장 큰 영향이 되는 강수량을 모의하고 경사도, 경작물, 강수량의 변화에 따른 토양유실량을 비교하고 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 지역의 선정

본 연구의 대상지역은 강원도 양구군 해안면 지역이다. 이 지역을 연구지역으로 선정한 이유는 양구군 해안면지역이 편치불 형태의 지역이기 때문에 대부분 급한 경사를 가지고 있어 많은 토양유실량을 발생시키고, 다양한 경사로 인해 그에 따른 토양유실량을 산정하기 좋은 지역이기 때문이다(Kang 등, 2010). 이 연구의 목적은 경사도와 작물에 따른 토양유실량을 분석하는 것이 목적이기 때문에 해안면 지역에서도 경사도가 다른 농경지 3지점(5%, 25%, 45%), 5%인 지역은 감자를 재배하는 지역으로 30,767.7 m² 면적이며, 25%인 지역은 무우, 배추를 재배하는 지역으

로 11,433.3 m² 면적이며, 45%는 31,416.7 m² 면적을 가지고 있는 지역을 선정하였다.

2. MUSLE(Modified Universal Soil Loss Equation) 모형 이용

현재 개발되고 이용되어 지고 있는 토양유실 산정방법으로는 USLE, SATEEC, nLS, USPED, WEPP 등 여러 산정법이 있다.

SATEEC 모형은 USLE 모형의 입력 자료(Rainfall erosivity, Soil erodibility, Cropping management, Conservation practice)와 수치표고모형(DEM)을 이용하여 유역내 토양유실 및 발생과정을 모의 할 수 있는 시스템이고, nLS 모형은 협곡 침식 발생지점을 모의하는 모형이며, USPED는 정상적인 조건에서 강우 시 유출에 의해 발생하는 토양침식과 침식과정에서 발생하는 퇴적을 모의하는 모형이다. 또한 WEPP 모형은 사면에서 강우에 의한 토립자의 크기 중량 등에 따라 분리 및 이송을 계산하여 토양유실량을 산정하는 모형이다.

본 연구에서는 MUSLE(Modified Universal Soil Loss Equation)모형이 사용되었는데, USLE모형이 토양침식의 주요 원인을 강우낙하에너지에 의한 지표면 충격에너지로 해석하고 있는데 MUSLE모형은 이러한 충격에너지로 인해 토양유실량이 발생하고 이러한 유실량이 유역의 하류를 통과하는 침투유출량과 관계가 있다고 보는 것이며 그 외의 기본인자들은 USLE와 거의 동일하게 추정하는 방법이다.

3 MUSLE(Universal Soil Loss Equation) 모형

가. MUSLE(Universal Soil Loss Equation) 공식

범용토양유실공식(Universal Soil Loss Equation)은 토양유실량 산정에 관한 기존 연구의 가장 기초가 되는 모형으로 미국의 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 개발된 모형으로 강우침식인자(R, Rainfall Erodibility Factor), 토양침식인자(K, Soil Erodibility Factor), 지형인자(LS, L: Slope Length Factor, S: Slope Steepness Factor), 경작관리인자(C, Cover Management Factor), 토양보존대책인자(P, Support Practice Factor)의 5가지 인자를 곱으로 산정하는 것이다.(Kim 등, 2002)

$$\text{여기서 } A = R_0 \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

A : 강우침식도 R인 경우 해당 기간 중 단위 유역면적에서 침식되어 유실되는 토사량(tons/ha/day)

R : 강우침식도(rainfall erosivity)

K : 토양 침식성 인자(soil erodibility)

LS : 지형인자(무차원)

C : 작물형태, 피복상태 등의 경작종류와 형태에 따른 식생 피복인자(무차원)

P : 등고선 경작 등 토양보존대책 인자(무차원)

나. MUSLE(Modified Universal Soil Loss Equation)의 입력자료

(1) 강우침식 인자(R)

강우침식 인자(R)은 강우량에 의한 토양 침식량 정도를 나타내는 인자로서, 강우의 낙하에너지와 유거수의 양과 속도에 따라 결정된다. 본 연구는 일 강우 자료를 사용하였다. 강우침식 인자(R)를 구하는 공식은 식(2)와 같다.(Su 등, 1998)

$$R_0 = 0.5R + 3.42Qq_p^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

(2) 토양침식 인자(K)

토양침식 인자는 표준유역에서 측정된 특정 토양에 대한 단위 강우침식인자 당 토양유실율을 의미한다. 토양침식인자(K)는 토양의 모래 및 유기물 함량과 토양구조, 침투성 등과 같은 토양특성에 따라 결정된다. 토양침식 인자(K)값은 식(3)과 같다.(Park 등, 2007)

$$K = 0.2 + 0.3 \exp(-0.0256SAN(1 - \frac{SIL}{100})) \times (1.0 - \frac{0.25CLA}{CLA + \exp(3.72 - 2.95C)}) \times (1.0 - (0.7 \frac{SM1}{SM1 + \exp(-5.51 + 22.9SM1)})) \quad (3)$$

(3) 경작관리 인자(C)

경작관리 인자(C)는 토지 피복에 따른 토양유실량의 비율로서 정의 되는데, 식생의 종류, 성장 상태, 경작 형태와 관리요소들에 의하여 좌우된다. 즉 지표를 피복하고 있는

식생의 상태를 반영하여야 보다 정확한 토양유실량을 모의할 수 있다. 경작관리인자(C)의 인자 값은 양구 해안면의 지형을 SATEEC 모형을 이용하여 산출하였다.

(4) 작물경작인자(P)

작물경작인자(P)는 경사지로부터의 토양유실에 대한 보존대책에 토양유실의 비로 정의 된다. 본 연구의 연구지역인 강원도 양구군 해안면은 경사가 다양하고 밭으로 이루어져 있으므로 경사지에서 주로 이용하는 등고선 재배의 인자 값을 사용하였으며, 작물경작인자(P)는 국립농업과학원에서 제시하는 우리나라 주요 보전처리별 보전관리인자 값 0.54를 이용하였다.

(5) 지형인자(LS)

지형인자는 사면길이인자(L)과 사면경사도인자(S)로 이루어져 있다. 사면길이인자(L)은 표준 시험포의 길이인 22.1m와 단일 경사를 이루는 지형길이의 비로 나타낸다. 사면경사도인자(S)는 표준 시험포의 경사도인 9%에 대해서 단일경사를 이루는 지형 경사도의 비로 나타내고 있다. 지형인자를 산정할 때는 RUSLE(Foster et al., 1996)를 이용한다.(Park 등, 2007)

$$LS = (\frac{A}{22.13})^{0.6} (\frac{\sin\theta}{0.0896})^{1.3} \quad (4)$$

4. MUSLE를 이용한 토양유실량 산정

가. 종류가 다른 경작물과 경사도에 따른 토양유실량 산정

본 연구의 실험은 경사도에 따라 경작물을 달리하여 강수량에 따른 토양유실량을 모의 하였다. 경작물은 감자밭(5%), 무배추밭(25%), 더덕밭(45%)을 선정하여 서로 다른 작물이 동일한 강우가 내렸을 경우에 따른 토양유실량을 산정하였다. 토양유실량 산정공식은 MUSLE공식을 이용하였다.

나. 경사도에 따른 토양유실량

본 연구의 실험은 경사도에 따른 토양유실량을 구하기 위하여 경사도에 의해 직접적으로 변화하는 R, K, C, P, LS 인자를 동일한 값으로 고정하고, 5%, 25%, 45%의 서로

다른 경사에 따른 토양유실량에 차이가 나타나는지 모의하였다. C값은 강원도의 대표작물인 감자밭을 선정하였고 토양유실량 산정공식은 MUSLE공식을 이용하였다.

다. 경작물에 따른 토양유실량

또 다른 실험은 경작물에 따른 토양유실량을 구하기 위하여 동일한 경사도(25%)로 고정하고 작물에 따른 작물피복인자(C)의 변화에 따른 토양유실량을 모의하였다. 모의를 위해 경작물은 감자, 무배추, 더덕이며 25%의 경사도를 고정하고 토양유실량 산정공식은 MUSLE공식을 이용하였다.

라. 강우량에 따른 강우인자 및 토양유실량

강우량을 분류하고 강우인자(R)값의 평균치를 구하여 경사와 강수량에 따른 평균 강우인자를 구하고, 구해진 평균 강우인자를 사용하여 강우량에 따라 얼마나 변하는지 실험하였다.

마. 일강우량과 연평균 강우량을 적용하여 연평균 토양유실량 비교분석

토양유실량을 산정할 때 연평균 강우량 값을 사용하는 것이 일반적이지만, 본 연구에서는 일평균 강우량을 사용하였다. 일평균 강우량 값을 사용함으로 정확한 산정이 이루어 질 것으로 예상하였다. 일평균 강우량 값과 연평균 강우량 값을 비교함으로써 토양유실량 산정방법에 따른 정확도를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 일강우량에 따른 경사도와 경작물에 관한 토양유실 비교

양구군 해안면에 각기 다른 경작물과 경사도의 필지 세 곳(5% 감자밭, 25% 무배추밭, 45% 더덕밭)을 선정하여 강우량에 따른 토양유실량을 비교하였다. 비교 결과 아래의 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3처럼 경사도가 가장 높은 더덕밭에서 토양유실량이 가장 크게 나타났다.

2. 경사도 변화에 따른 토양유실량 비교

토양유실에 가장 크게 영향이 되는 인자를 찾기 위해 고정된 경작물에 경사도 변화를 주어 비교하였다. 동일한 감

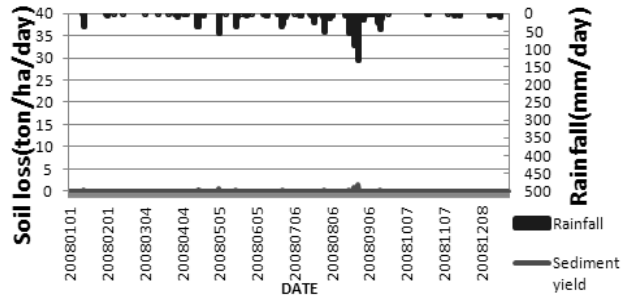


Fig. 1. Rainfall and sediment yield in 5% slope 9otato field.

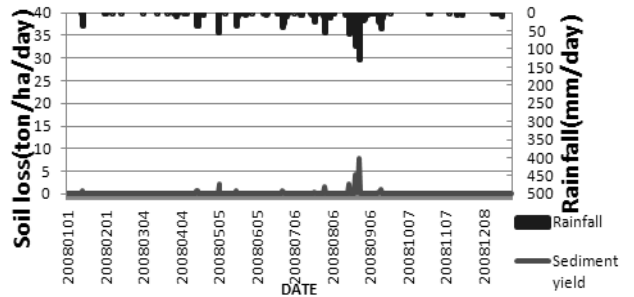


Fig. 2. Rainfall and sediment yield in 25% slope radish field.

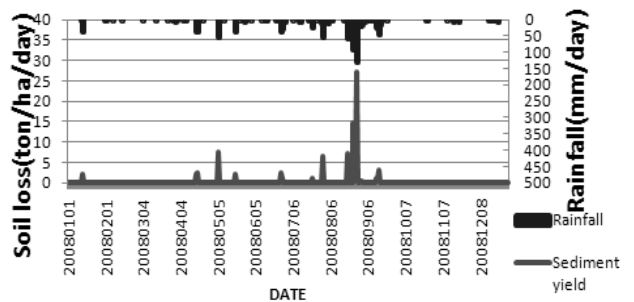


Fig. 3. Rainfall and sediment yield in 45% slope codonopsis field.

자밭에 5%, 25%, 45%의 경사를 변화시켰다. 그 결과 Fig.4, Fig.5, Fig.6처럼 5% 경사의 감자밭보다 경사가 가장 급한 45%의 감자밭의 토양유실이 가장 크게 나타났다.

3. 경작물의 종류에 따라 토양유실량 비교

토양유실에 영향을 미치는 인자중의 또 다른 인자는 경작물의 종류이다. 동일한 경사 25%에서 감자밭, 무배추밭, 더덕밭의 토양유실량을 비교하였다. Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9처럼 경작관리인자(C)값이 가장 큰 감자밭에서 토양유실량이 가장 크게 추정되었으며 지표면에서 유거수의 속도를 저감시키는 작물에 따라 토양유실량에 차이가 있는 것으로 분석되었다.

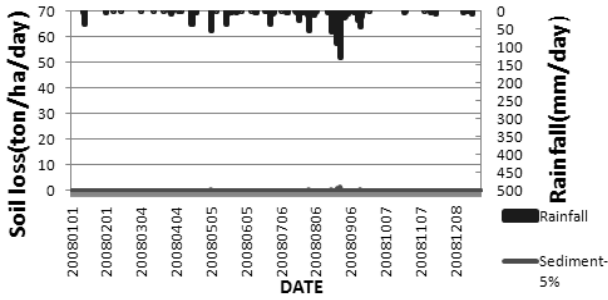


Fig. 4. Sediment yield with changes in 5% field slope.

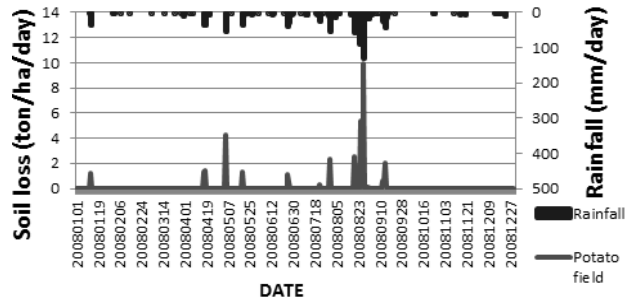


Fig. 7. Sediment yield with changes in crop.

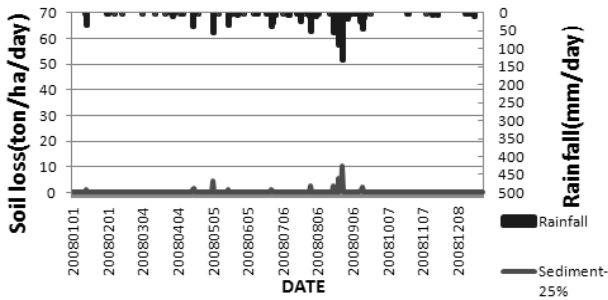


Fig. 5. Sediment yield with changes in 25% field slope.

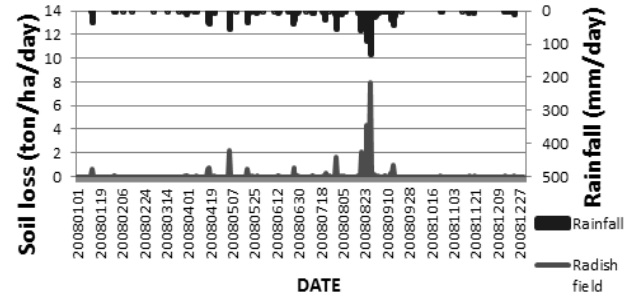


Fig. 8. Sediment yield with changes in crop.

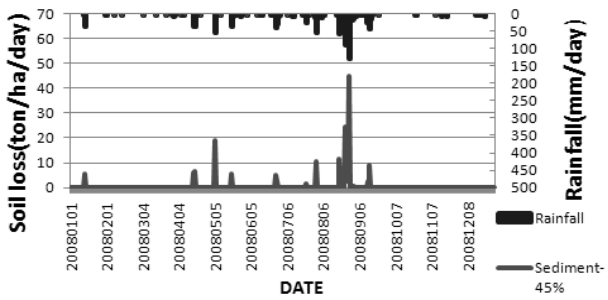


Fig. 6. Sediment yield with changes in 45% field slope.

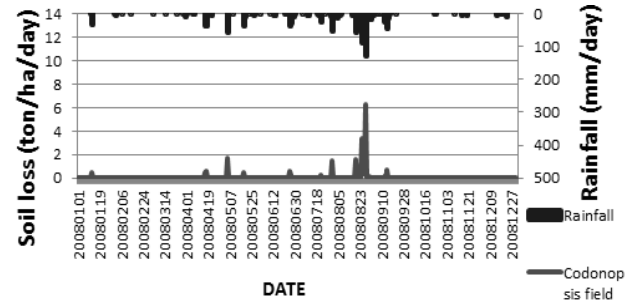


Fig. 9. Sediment yield with changes in crop.

4. 강우량에 따른 강우강도(R) 비교

실험 Fig. 10에서는 동일한 경사도에서 감자밭이 가장 큰 토양유실량이 모의되었고, 실험 (3.2)에서는 동일한 경작물에서 45%의 경사도가 가장 큰 토양유실량이 모의되었다. 하지만 실험 (3.1)에서는 45%의 경사도를 가진 더덕밭이 가장 큰 토양유실을 발생시키는 것으로 추정되었으므로 경작관리인자(C)보다 지형인자(LS), 즉, 경사도가 토양유실에 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석할 수 있었다. 결과적으로 경작물이 강수량에 대해 유속을 저감시키는 것보다 경사도가 급할수록 유속이 더 빨라지는 것이 토양유실에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

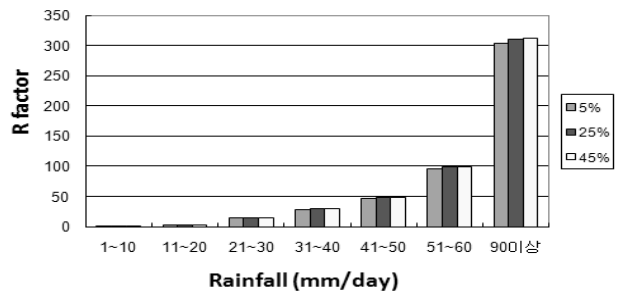


Fig. 10. R factor with changes in Rainfall.

5. 일강우량과 연강우량의 차이

USLE의 인자값을 선정할 때 연 강수량을 선정하는 것이 일반적이지만, 실험의 정확한 결과값을 산정하기 위해 일

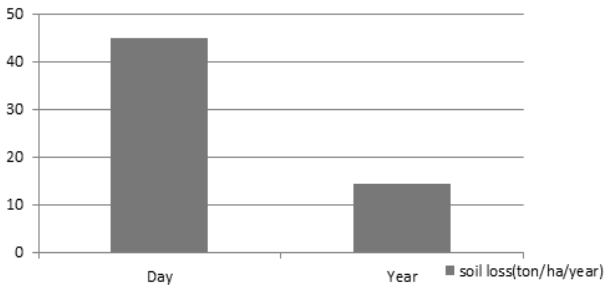


Fig. 11. Soil loss estimated with daily R and annual R factor.

강우량을 선정하였다. Fig.11은 일강우량과 연강우량을 비교했을 때 일강우량이 토양유실량을 산정하는 과정에서 더 정확한 결과 값에 근접할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

6. 토양유실 예방 및 대책 필요

실험의 결과 토양유실에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 경사도이지만, 경작관리인자와 다른 인자들도 토양유실을 유발하는 원인이 된다. 아래의 Table 1과 같이 경사도와 작물에 따른 토양유실량 비교를 보면 45%의 경사도가 다른 경사도보다 크게 측정되었고, 45%의 경사도에서 더덕을 심었을 때보다 감자를 심었을 때 토양유실량이 크게 예측되었다. 또한, 경사도 5%의 더덕밭 보다 경사도 45%의 감자밭이 56.3배 이상 토양유실량 값이 크게 예측되었다. 경사도가 45%인 경우에는 더덕밭보다 감자밭의 토양유실량 증가량이 1.8배 이상 나는 것을 알 수 있었다.

토양유실은 지형을 파괴 할 뿐만 아니라 탁수를 유발시켜 환경오염의 주된 원인이 되며 하천 생태계를 파괴시킨다. 그리고 인간 활동에도 영향을 미쳐 막대한 피해를 준다. 우리는 토양유실을 저감 시킬 수 있는 예방 및 대책이 필요하다.

IV. 결론

본 연구는 MUSLE를 이용하여 토양유실량을 예측할 때, 연 단위 강우량을 사용하던 과거의 연구와는 다르게 일 단위 강우량을 사용함으로써 보다 정확한 토양유실량을 예측하였다. 또한 토양유실량에 영향을 미치는 인자중 경사도와 작물인자에 관해서 연구하였다. 토양유실량에 영향을 주는 가장 큰 인자는 강우량이지만, 이것은 자연에서 만들어 지는 인자 값이므로 경사도와 작물을 연구하고 발전시

켜 토양유실량 방지 대책을 간구해야한다. 본 연구를 통해 경사도의 값이 클수록 토양유실량이 크게 예측되었으며, 작물인자에서는 더덕밭 보다 감자밭의 작물이 토양유실량이 크게 예측 되었다. 따라서 토양유실량을 최소화시키기 위한 최선의 방법은 급격한 경사도를 평탄하게 정비하는 것이다. 또한, 45%와 같은 경사도에서는 더덕밭보다 감자밭의 토양유실량 증가량이 1.8배 이상 차이가 나므로 급격한 경사지역에서는 감자와 같은 작물을 심기보다는 더덕처럼 토양유실량을 최소화 할 수 있는 작물을 심음으로서 토양유실량을 최소화 할 수 있다.

본 연구를 통하여 토양유실을 최소화 할 수 있는 방안을 경사도와 작물위주로 모색하였으나, 아직 장기적이고 영구적인 효과를 볼 수 있는 대책은 뚜렷하게 제시할 수 없는 실정이다. 그러므로 일 단위 강우량, 경사도, 작물인자를 고려하여 토양유실량을 보다 정확하게 예측하는 방안처럼 좀 더 많은 연구를 통해 토양유실량의 피해를 최소화 하는 노력이 절실하다 하겠다.

감사의 글

본 연구는 환경부 Eco-Star Project(과제번호: EW32-07-10, 부담(생태호 조성기술 및 생태복원 기술개발)의 연구비 지원을 받아 수행되었으며 이에 깊이 감사드립니다.

참고 문헌

- Jang WS, Park YS, Choi JD, Kim JG, Shin MH, Ryu JC, Kang HW, Lim KJ. 2010. Analysis of soil erosion reduction effect of rice straw mat by the SWAT model. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 52(3): 97-104. [in Korean]
- Jang WS, Park YS, Kim JG, Jun MS, Choi JD, Lim KJ. 2008. Sediment reduction analysis with land use conversion from illegal agricultural farming to forest in Jawoon-ri, Kangwon using the SATEEC system. Korean Society on Water Quality · Korean Society of Water and Wastewater Symposium. 2008: 317-318. [in Korean]
- Jang WS, Park YS, Kim JG, Kim II, Mun YR, Jun MS, Lim KJ. 2009. Soil erosion and sediment yield reduction analysis with land use conversion from illegal agricultural cultivation to forest in Jawoon. ri, Gangwon using the SATEEC ArcView GIS. Environment Policy Research 8(1): 73-95. [in Korean]
- Kang HW, Park YS, Kim NW, Ok YS, Jang WS, Ryu JC, Kim KS, Lim KJ. 2010. Development and application of integrated

- system with SATEEC, nLS and USPED for gully erosion evaluation. *Journal of Korean Society on Water Quality* 26(4): 637-647. [in Korean]
- Kim GB, Park YS, Kim JG, Jang WS, Choi JW, Kim KS, Choi JD, Lim KJ. 2009. Evaluation of sediment yield estimation accuracy of SATEEC ver. 1.8 using daily rainfall data. *Journal of Agriculture and Life Sciences* 20: 69-82. [in Korean]
- Kim JH, Jung SK, Yeon GB. 2002. Estimation of sediment yield using MUSLE. *Korean Society of Civil Engineers Symposium* 2002(11): 1533-1536. [in Korean]
- Kim JJ, Kim TD, Choi DH, Jeon JH. 2008. Analysis of soil loss in the Andong-dam watershed using SATEEC system. *Korean Society of Water and Wastewater-Korean Society on Water Quality Symposium*. 2008: 462-463. [in Korean]
- Kwon HH, Son KI. 2000. MUSLE Application for disturbed area in Korea. *Korean Society of Civil Engineers Symposium* 2000(3): 199-202. [in Korean]
- Park YS, Kim JG, Kim NW, Kim KS, Choi JD, Lim KJ. 2007. Analysis of sediment yields at watershed scale using area/slope-based sediment delivery Ratio in SATEEC. *Journal of Korean Society on Water Qualit*, 23(5): 650-658. [in Korean]
- Park YS, Kim JG, Park JH, Kim, TD, Choi JD, Ahn JH, Kim KS, Lim KJ. 2007. Evaluation of SWAT applicability to simulation of sediment behaviors at the Imha-dam watershed. *Korean Society on Water Quality-Korean Society of Water and Wastewater Symposium*. 23(4): 467-473. [in Korean]
- Su KW, Son KI, Lim JY. 1998. Application of MUSLE for rational assessment of soil erosion in residential development area. *Korean Society of Civil Engineers Symposium* 1988(3): 193-196. [in Korean]
- Woo WH, Jang WS, Kim IJ, Kim KS, Ok YS, Kim NW, Jeon JH, Lim KJ. 2011. Evaluation of effects of soil erosion estimation accuracy on sediment yield with SATEEC L module. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(2): 19-26. [in Korean]
- Woo WH, Moon JP, Kim NW, Choi JW, Kim KS, Park YS, Jang WS, Lim KJ. 2010. Evaluation of SATEEC daily R module using daily rainfall. *Journal of Korean Society on Water Quality* 26(5): 841-849. [in Korean]
- Yi HS, Kim JK, Lee SU. 2008. Development of turbid water prediction model for the Imha dam watershed using HSPF. *Korean Society of Environmental Engineers Collection of Dissertations*. 30(8): 760-767. [in Korean]
- Yoo DS, Ahn JH, Yoon JS, Heo SG, Park YS, Kim JG, Lim KJ, Kim KS. 2007. Analysis of soil erosion and sediment yields at the Doam-dam watershed considering soil properties from the soil reconditioned agricultural fields using SATEEC system. *Journal of Korean Society on Water Qualit*, 23(4): 518-526. [in Korean]