

Article

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.1.113  
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

# Comparison of Soil Erodibility Factors Using Gravel Contents Determined by Different Methods in Highland of South Korea

Jung-Hwan Yoon<sup>1</sup>, Young-Nam Kim<sup>1</sup>, and Kye-Hoon Kim<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Research Professor, Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 02504, Korea<sup>2</sup>Professor, Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

\*Corresponding author: johnkim@uos.ac.kr

## ABSTRACT

Received: February 3, 2021

Revised: March 2, 2021

Accepted: March 2, 2021

## ORCID

Jung-Hwan Yoon

<https://orcid.org/0000-0001-8009-7807>

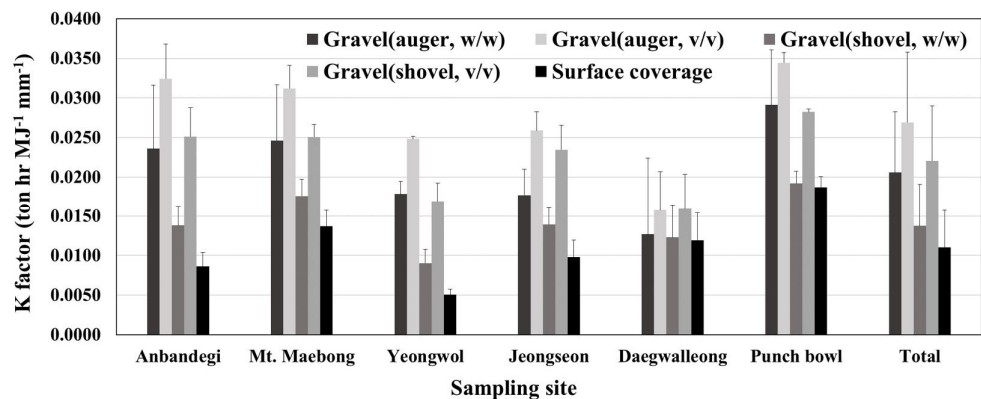
Young-Nam Kim

<https://orcid.org/0000-0002-9745-6551>

Kye-Hoon Kim

<https://orcid.org/0000-0002-4891-3322>

Highland with steep slope was known a severe soil erosion area. As a result, most of the topsoil was eroded and gravels and rock fragments were exposed. It has been reported that large-sized gravel exposed to topsoil affects soil erosion caused by rainfall. The USLE also revises the K factor to surface coverage of gravel to correct the effect of the gravel content. However, it is judged that the method of Korea, which applies the existing method of applying the surface coverage of gravel as gravel contents (v/v), will be significantly different in highland with steep slope. The objective of this study was to identify how different calculation methods for determining soil erodibility factor (K) in the USLE influence the estimation of soil erosion in highland. Soils in highland as were collected by digging with an auger and a shovel, respectively. The K factor was modified by two different methods, based on surface coverage rate and content of gravel in the soil. The surface coverage of gravel was investigated at the fields via an image analysis. The K factor modified using the surface coverage rate of gravel was less than half of the K factor modified using the gravel content. And the K factor of the soils sampled by a shovel was significantly lower than that by an auger. It seemed that the soil erosion may be overestimated when the K factor was modified by the gravel contents by auger sampling. Thus, the Box's method would be recommended that the estimation of soil erosion via the ULSE can be accurate, particularly for the gravel-rich highland soils.

**Keywords:** Gravel, Highland, Soil erodibility factor, Surface coverage, USLE

Modified K factor determined with consideration of gravel contents measured by different methods.



## Introduction

우리나라에서 발생하는 토양 침식 대부분은 강우에 의해 일어나며, 강우로 발생하는 침식은 빗방울이 낙하해 토양을 타격하면서 토양입단이 파괴되는 비산침식(splash erosion)으로 시작된다(Jung et al., 2005). 이런 침식을 정량적으로 평가하기 위한 다양한 방법들이 개발되었다. 우리나라에서 주로 사용하는 USLE(Universal soil loss equation)가 대표적인 토양침식 평가방법이며, 강우인자, 토양침식성인자, 식생피복인자, 보전관리인자, 경사인자를 이용해 토양침식량을 평가한다(Wischmeier and Smith, 1965). 이 중 토양침식성인자(K, soil erodibility factor)는 토양의 유기물 함량, 구조, 공극, 공극크기, 토성, 자갈함량 등에 의해 결정되는 인자로서 강우에 의한 침식에 저항하는 능력을 나타낸다(Kim et al., 2006). 토양침식성인자에 영향을 미치는 인자 중 2 mm 이상인 자갈함량은 강우로부터 침식을 억제하며 토양 침식에 직접적인 영향을 미친다는 연구들이 있었으나 초기 USLE 인자로 인정받지 못하였다(Lamb and Chapman, 1943; Lamb et al., 1944; Seginer et al., 1962; Epstein et al., 1966). 이 후 Box (1981)는 0.6 cm 이상이 되는 자갈에 의한 피복효과로 토양 유실량이 감소하는 관계식을 연구해 자갈 피복도에 따른 K factor 보정식을 발표하였고, 이 외에도 여러 연구자들이 토양 표면의 자갈이 토양 침식에 영향을 미친다고 보고하였다(Meyer et al., 1972; Poesen et al., 1994; Cerdà, 2001). 우리나라에서도 USLE 적용을 위해 다양한 연구들이 수행되어 왔으며(Jung et al., 1985; Oh and Jung, 1995; Park and Kang, 2019, Park et al., 2000, Jung et al., 2004; Jung et al., 2005; Park and Kang, 2020), Jung et al. (1999)과 Jung et al. (2004)은 자갈이 많은 국내 토양을 고려하여 Box (1981)의 K factor 보정식을 국내에 도입해 토양통별 토양침식성인자 및 토양유실량을 산출하였다. Jung et al. (1999)과 Jung et al. (2004)은 Box (1981)가 제안하였던 자갈의 토양 피복도와 달리 채취한 토양의 부피기준 자갈함량(v/v, %)을 적용하였는데 이에 따라 현재 우리나라의 환경부 토양 침식조사현황에 관한 고시(MoE, 2012)에서는 토양시료 채취를 통하여 측정된 부피기준 자갈함량을 사용하도록 명시하고 있다.

자갈 피복도가 아닌 부피기준 자갈함량을 도입한 것은 6 mm 이상의 자갈 피복도만을 정량적으로 분석하기가 쉽지 않다는 점과 일반적인 경작지 토양에서는 표토 유실이 적기 때문에 크기가 큰 자갈이 많은 모재층이 노출될 가능성이 낮고, 경운을 통해 표토의 자갈함량은 어느정도 일정하다는 것 때문으로 판단된다. 그러나 고랭지와 같이 토양침식으로 인해 표토가 많이 유실된 경사면 경작지는 지표면에 자갈함량이 매우 높을 뿐 아니라 자갈의 크기가 커서 자갈 피복도와 자갈함량 간 차이가 클 수 있으며, 시료채취 방법에 따라 자갈함량에 차이가 발생할 수 있다. 우리나라의 토양 시료채취 관련 기준인 국립농업과학원의 토양 및 식물체 분석법(NAAS, 2010)과 환경부의 토양 침식조사현황에 관한 고시(MoE, 2012)에서는 모두 시료채취 시 auger 및 삽을 이용하게 되어 있는데 일반 토양 분석에 이용하는 2mm 이하의 토양을 채취하기에 두 도구간 차이는 없다. 그러나 고랭지와 같이 5 cm 이상의 큰 자갈이 많은 지역에서는 auger로는 auger의 직경과 비슷하거나 큰 자갈을 채취할 수 없지만 삽으로는 큰 자갈 채취가 가능하기 때문에 도구에 따른 자갈함량 차이가 발생할 수 있다. 시료채취 방법에 따른 K factor 차이를 연구한 Oh et al. (2016)은 시료 채취 깊이 에 따라 유기물과 clay 함량 변화가 나타났고, 이는 K factor와 표토유실량 차이로 이어졌다고 보고하였다. 이처럼 토양 채취 방법에 따른 K factor의 변동은 표토유실량 산정에 큰 영향을 미칠 수 밖에 없다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 토양 침식량이 가장 많은 농경지로 알려져 있으며, 표층에 자갈이 많이 존재하는 고랭지에서 자갈 피복도와 토양채취방법에 따른 자갈함량의 차이와 이에 따른 토양침식성인자 변화를 알아보고자 수행하였다.

## Materials and Methods

**연구지점 및 토양시료 채취** 본 실험을 위해 침식이 많이 일어나는 고랭지 여섯 지역을 선정하여 토양시료를 채취하였다 (Table 1). 각 지점은 산정상 부근에 위치해 성토가 이뤄지지 않았던 안반데기와 정선, 매봉산, 영월과 접근이 용이해 성토가 많이 이뤄진 고위평탄 지역인 대관령과 분지형태의 해안분지 (punch bowl)로 구성되어 있다. 지역별 시료 채취 지점은 임의로 선정하였으며, 토양 시료는 농촌진흥청 표준분석법 (NIAST, 2000)에 명시된 토양시료 채취방법인 auger와 삽을 이용해 각 지점에서 약 3 kg의 표토 (0 - 20 cm)를 채취하였고, 입자밀도 분석을 위한 core 시료도 채취하였다. 또한, 자갈의 토양 피복도를 분석하기 위해 시료채취 지점을 카메라 (D5300, Nikon, Japan)로 촬영하였다.

**이화학적 특성 분석** 삽과 auger로 채취한 토양은 풍건 후 2 mm 체로 걸러 2 mm 이하의 토양은 토양 이화학적 분석에 사용하였고, 2 mm 이상의 자갈은 5 mm, 19 mm, 53 mm, 75 mm 체로 걸러 입경분석을 실시하였다 (MoE, 2012). 시료채취 지점을 촬영한 사진은 ImageJ (NIH, USA) 프로그램으로 분석하여 지표면에 존재하는 6 mm 이상 자갈의 토양 피복도를 측정하였다. 채취한 core 시료는 농촌진흥청 표준분석법 (NIAST, 2000)에 따라 수분함량과 용적밀도를 측정하였다. 유기물 함량은 Walkley-Black법 (Nelson and Sommers, 1996)으로, 입경분석은 micro pipette 법 (Miller and Miller, 1987)을 사용해 분석하였으며, 극세사 (Very fine sand)함량은 입경분석이 끝난 sand 시료를 0.1 mm 체로 체거름하여 측정하였다.

**토양침식성인자 (K) 산출** 시료채취 지점의 토양침식성인자는 환경부 (2012)의 “표토의 침식 현황 조사에 관한 고시”에 따라 Eq. 1과 Eq. 2를 이용해 구하였다.

$$K = 1.32[(2.1 \times 10^{-4} (12-OM)M^{1.14} + 3.25(S1-2) + 2.5(P1-3))/100]/9.8 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$M = (MS + VFS) \cdot (100 - CL) \quad (\text{Eq. 2})$$

**Table 1.** Information of the study sites and the number of sampling points.

Sampling site	Location	Coordinate	Altitude (m)	Number of sampling points
Anbandegi	Daegi-ri, Wangsan-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do	37°37'20.18"N, 128°44'13.11"E	1,000 - 1,150	14
Jeongseon	Jodong-ri, Sindong-eup, Jeongseon-gun, Gangwon-do	37°11'54.73"N, 128°41'40.27"E	950 - 1,100	4
Mt. Maebong	Changjuk-dong, Taebaek-si, Gangwon-do	37°13'1.36"N, 128°57'58.81"E	1,050 - 1,250	3
Yeongwol	Deokgu-ri, Sangdong-eup, Yeongwol-gun, Gangwon-do	37°4'41.31"N, 128°48'22.63"E	700 - 900	3
Daegwallyeong	Daegwallyeong-myeon, Pyeongchang-gun, Gangwon-do	37°40'16.59"N, 128°42'28.01"E	800 - 900	6
Punch bowl	Haean-myeon, Yanggu-gun, Gangwon-do	38°17'11.77"N, 128° 8'18.48"E	400 - 600	11

- K : Soil erodibility factor (ton hr MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>)
- OM : Organic matter (%)
- S1 : Soil structure codes (1 - 4)
- P1 : Soil permeability classes (1 - 6)
- MS : Silt (%)
- VFS: Very fine sand (%)
- CL : Clay (%)

이 식에 필요한 유기물 함량과 미사, 극세사, 점토 함량은 토양특성분석 결과를 활용하였다. 환경부 (2012)에서 고시한 Table 2과 Table 3을 활용하여 토양 구조 지수와 토양 투수 등급을 산출하였다.

공식을 통해 산출한 K 값은 자갈에 의한 영향을 고려하지 않은 것이므로 토양침식성인자 보정식 Eq. 3으로 보정하였다. 이 보정식은 Jung et al. (1999)과 Jung et al. (2004)이 국내에 도입하면서 Box (1981)이 제안했던 피복도 (surface coverage, %)를 자갈함량 (v/v, %)으로 바꿔서 설정한 공식으로 본 연구에서는 자갈 피복도와 무게 기준 및 부피기준 자갈함량 (%)으로 각각 보정하였다.

$$K_M = K \times [1.0977 \times 10^{-0.0111x}] \tag{Eq. 3}$$

- K<sub>M</sub> : Modified K considering gravel coverage
- x : Surface coverage by gravel and gravel content (% , v/v and w/w)

**Table 2.** Soil structure codes (MoE, 2012).

Structure code	Soil structure	Aggregation size (diameter <sup>†</sup> )
1	Granular, Platy	1-2 mm
2	Granular, Platy, Blocky	2 mm - 1 cm
3	Prismatic, Blocky	1-2 cm
4	Prismatic, Blocky	> 2 cm

<sup>†</sup>Diameter used in platy soil structure.

**Table 3.** Soil permeability classes (MoE, 2012).

Permeability class	Unit (mm/hr)	Soil texture	
		Granular/blocky structure	Prismatic/platy structure
1 Very rapid	125 ≤	Sand, Loamy sand	
2 Moderately rapid	62.5 - 125	Sandy loam, Silt	Sand
3 Moderate	20.0 - 62.5	Loam, Silt loam	Loamy sand
4 Moderately slow	5.0 - 20.0	Clay loam	Sandy loam, Silt
5 Slow	1.25 - 5.0	Silty clay loam, Sandy clay loam	Loam, Silty clay loam
6 Very slow	< 1.25	Clay, Silty clay, Sandy clay	Clay loam, Silty clay loam, Sandy clay loam, Clay, Silty clay, Sandy clay

각 지점별 토양통의 K값과 본 연구에서 조사한 K값을 비교하기 위해 국립농업과학원의 토양환경정보 시스템인 흙토람 (SEIS, 2017)을 활용해 각 지점별 토양통을 조사한 후 환경부 (MoE, 2012)가 발표한 토양통별 K 값을 이용하였다.

**통계처리** 분석결과의 통계적 유의성 및 상관관계를 알아보기 위해 Minitab 16 software (Minitab Inc., State College, Pennsylvania, USA)로 One-way ANOVA Fisher's LSD (Least-Significant-Difference) 분석을 수행하였다.

## Results and Discussion

고랭지 토양의 자갈 (6 mm 이상) 피복도 및 시료 채취 방법에 따른 자갈 (2 mm 이상) 함량 분석결과 조사방법에 따라 큰 차이가 있었으며, 각 조사방법에 따른 차이도 지역에 따라 다르게 나타났다 (Table 4). 세 가지 조사방법 중에서 자갈 피복도가 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 삽으로 채취한 무게기준 자갈함량 (GVS), auger로 채취한 무게기준 자갈함량 (GWA), 삽으로 채취한 부피기준 자갈함량 (GVS), auger로 채취한 부피기준 자갈함량 (GVA) 순이었다. 자갈 피복도가 가장 높은 것은 지속된 침식으로 표토가 유실되고 침식되지 않는 큰 자갈들이 많이 지표면에 노출되었기 때문이다. 이에 산 정상에 위치하며 경사가 커 성토가 이뤄지지 않았던 안반데기와 매봉산, 영월, 정선은 40% 이상이 자갈로 피복되어 있는 것으로 나타났고, 경사도가 낮으며 성토가 된 지역인 대관령과 해안분지의 자갈 피복도는 각각 19.9%와 30.7%였다. 시료 채취 방법에 따른 자갈 함량차이는 GVA가 평균 10.6 %였으나 GVS는 18.7%로 1.8배 높았다. 지역별로 해안분지에서 2.2배 높아 가장 차이가 컸으며, 대관령을 제외하고 모두 시료채취방법에 따른 자갈 함량은 1.4배 이상 차이가 있었다. 대관령은 시료를 채취한 6지점 중 4지점이 2 - 5 mm의 자갈이 많은 석비레로 성토된 지점이었기 때문에 판단되며, 이 지점들을 제외한 나머지 2지점은 다른 지역들과 비슷한 결과를 보였다. 이처럼 현재 MoE (2012)에서 자갈이 토양침식성인자에 미치는 영향을 보정하기 위해 사용하고 있는 부피기준 자갈함량은 자갈이 많은 고랭지 토양에서 삽과 auger를 이용한 시료채취 방법에 따라 차이가 있었으며, Box (1981)가 처음 제시 하였던 자갈 피복도와 큰 차이를 보였다.

**Table 4.** Surface coverage rate by gravels and the gravel contents in soils determined through auger sampling and shovel sampling methods.

Sampling site	GWA <sup>†</sup>	GVA <sup>‡</sup>	GWS <sup>§</sup>	GVS <sup>¶</sup>	Surface coverage
	----- % -----				
Anbandegi	23.6c <sup>§</sup>	25.4c	12.4d	48.1b	65.9a
Yeongwol	24.5cd	25.5c	12.5d	50.0b	76.0a
Mt. Maebong	13.8bc	19.6bc	9.6c	28.2ab	42.8a
Jeongseon	20.1d	29.2c	14.3d	41.1b	55.0a
Daegwallyeong	10.8b	20.1ab	9.9b	22.1a	19.9ab
Punch bowl	16.7b	15.4bc	7.6c	34.0a	30.7a
Average	18.9c	21.9c	10.7d	38.5b	47.7a

<sup>†</sup>GWA: gravel content (w/w) in soil sample collected by auger.

<sup>‡</sup>GVA: gravel content (v/v) in soil sample collected by auger.

<sup>§</sup>GWS: gravel content (v/v) in soil sample collected by auger

<sup>¶</sup>GVS: gravel content (v/v) in soil sample collected by shovel.

<sup>§</sup> Same letters within each row indicate no difference between surface coverage and gravel contents ( $p < 0.05$ , LSD).

시료채취방법에 따른 자갈의 입경분포 분석결과 Table 5와 같다. 각 채취도구에 따른 평균 자갈 입경분포는 삽으로 채취한 것에서는 2 mm 이상의 자갈부터 크기가 큰 75 mm 이상의 자갈도 채취되는 것으로 나타났으며, 2 - 5 mm 와 5 - 19 mm, 19 - 53mm의 자갈이 각각 27.1%, 23.7%, 28.2%로 비슷한 수치를 보였다. 이와 반대로 auger로 채취한 토양 중 자갈의 입경분포는 2 - 5 mm의 자갈이 절반이 넘는 51.4%를 차지하는 것으로 나타났으며, 크기가 53 mm 이상인 자갈은 채취되지 않았다. 지역별로도 삽으로 채취한 모든 고랭지 지역에서 53 mm 이상의 자갈이 채취되었으며, 안반데기와 해안분지에서는 75 mm 이상의 큰 자갈도 채취된 것을 확인할 수 있었다. 또한, 석비레로 객토가 이뤄진 대관령에서는 2 - 5 mm의 자갈이 삽으로 채취 시 66.8%였으며, auger로 채취 시 81.3%를 차지하였다. 이처럼 토양채취 방법에 따라 자갈 입경분포 차이가 발생한 원인으로는 auger의 토양시료 채취방법 및 직경과 관련이 있는 것으로 판단된다. Auger의 시료채취 원리가 auger를 구성하고 있는 두 개의 날 (blade)이 토양을 파고 들어가면, 교란된 토양이 날 안쪽으로 채취되는 것으로 이 과정에서 auger의 직경 (7 cm)과 비슷하거나 큰 자갈이 배제되어 토양을 그대로 퍼서 채취하는 삽과 자갈함량에 차이가 발생한 것이다.

채취방법에 따른 토양의 자갈 함량 (w/w) 간 상관관계를 살펴보면 (Fig 1), 거듭제곱 추세선( $y = 1.971x^{0.6498}$ ,  $R^2 = 0.4214$ )으로 토양 중 자갈함량이 증가할수록 조사 방법간 차이가 점점 벌어지는 관계임을 확인할 수 있었다. 다만, 모든 시료 중 두 점이 auger로 채취하였을 때 자갈함량이 더 많은 것으로 나타났다. 이 두 지점은 2 - 5 mm의 자갈 함량이 많은 석비레로 성토한 대관령 지역이기 때문에 다른 지점들과 반대로 auger로 채취한 토양의 자갈함량이 삽으로 채취한 토양의 자갈함량보다 많았을 것으로 판단된다. 이 결과 자갈입자가 작은 석비레를 객토하지 않고 표토가 유실되어 크기가 큰 자갈함량이 많은 지역에서는 삽으로 채취한 토양에서 auger로 채취한 토양보다 자갈함량이 더 높게 나타난다는 것과 자갈함량이 증가할수록 샘플링 방법에 따른 자갈함량 차이는 더 커지는 것을 알 수 있었다.

지역별 유기물, 입경 및 용적밀도 분석결과 Table 6과 같이 지역에 따라 차이가 있었다. 유기물 함량은 안반데기와

**Table 5.** Distribution of different size gravels in soils.

Sampling site		Gravel size				
		> 75 mm	53 - 75 mm	19 - 53 mm	5 - 19 mm	2 - 5 mm
		----- % -----				
Anbandegi	Auger	0.0	0.0	17.9	42.4	39.7
	Shovel	3.0	25.9	35.7	20.0	15.4
Jeongseon	Auger	0.0	0.0	10.5	44.7	44.8
	Shovel	0.0	14.4	19.2	43.0	23.4
Mt. Maebong	Auger	0.0	0.0	6.0	57.9	36.1
	Shovel	0.0	7.7	31.3	40.1	20.9
	Shovel	0.0	0.0	58.5	22.5	19.0
Yeongwol	Auger	0.0	0.0	9.0	36.3	54.7
	Shovel	0.0	8.2	28.5	32.9	30.4
Punch bowl	Auger	0.0	0.0	6.3	35.9	57.8
	Shovel	17.6	9.9	23.1	20.3	29.1
Daegwallyeong	Auger	0.0	0.0	5.9	12.8	81.3
	Shovel	0.0	5.5	14.0	13.7	66.8
Average	Auger	0.0	0.0	11.1	37.5	51.4
	Shovel	5.5	15.4	27.1	23.7	28.2

매봉산, 정선이 각각 3.9%, 4.4%, 4.2%로 대관령 (1.9%)과 해안분지 (1.8%)보다 높았다. 지역별 유기물 함량 차이가 난 이유는 산 정상 부근의 고랭지 재배단지는 유기물이 높았던 산림토양을 개간하여 경작을 시작한 지 약 50여 년밖에 되지 않았으며, 경사가 심해 표토 유실이 지속적으로 이뤄져 퇴비와 같은 유기물을 다량으로 처리해 다른 지역보다 유기물 함량이 높은 것으로 판단된다. 대관령과 해안분지는 산간지방보다 긴 시간 농경지로 활용된 점과 토양 침식으로 유실된 표토를 복원하기 위해 유기물 함량이 거의 없는 석비레로 성토하였기 때문에 유기물이 낮았을 것이다 (Park et al., 2004; Song et al., 2003). 토성 분석결과 대부분 silt loam, loam, sandy loam으로 분류되었다. 지속적인 침식으로 인해 clay와 silt 함량이 낮을 것이라 예상된 산 정상 부근인 안반데기, 정선, 매봉산, 영월에서 오히려 해안분지와 대관령보다 clay와 silt 함량이 높았다. 이는 토성이 주로 sandy loam으로 분류되는 대관령과 해안분지 지점에서 알 수 있듯이 대관령과 해안분지에서 sand가 많은 토양으로 성토했다는 점과 지역적 차이 때문인 것으로 판단된다. Clay 함량은 대부분 10% 내외로 지역별 차이가 적었고, 정선이 16.8 %로 가장 높았다. 용적밀도 분석결과 해안분지가  $1.33 \text{ g cm}^{-3}$ 로 가장 컸으며, 대관령도  $1.24 \text{ g cm}^{-3}$ 로 유의적인 차이는 없으나 ( $p > 0.05$ ) 다른 고랭지 지역의 용적밀도 ( $1.04 - 1.10 \text{ g cm}^{-3}$ )보다 큰 것으로 나타났다. 지역별로 용적밀도 차이가 발생한 것은 지역별 자갈함량 차이에 따른 것으로 판단된다. 자갈함량과 용적밀도와의 관계를 발표한 Poesen and Lavee (1994)의 연구결과에 따르면 자갈함량이 40 - 50% 이상일 경우 큰 자갈을 제외한 토양의 용적밀도가 자갈이 증가함에 따라 감소하는 것으로 보고되었다. 그러나 본 연구에서는 용적밀도와 무게기준 자갈함량, 부피기준 자갈함량 간의 상관분석에서  $R^2$ 값이 모두 0.1 이하로 상관성이 낮았으며, 이는 Lee et al. (2014)이 고랭지 토양에서 용적밀도와 자갈함량간의 상관관계가 없다고 보고한 내용과 일치하였다. 이처럼 지역별로 용적밀도의 차이는 있으나 자갈함량과 용적밀도간의 상관관계가 낮게 나타난 것은 용적밀도 조사방법 차이 때문으로 판단된다. 본 연구에서 용적밀도를 조사한 방법은 100 mL core를 사용해 표층 (0 - 10 cm)에서 토양을 채취하였고, 시료채취 과정에서 크기가 core보다 크거나 비슷한 자갈을 피해 core 시료채취가 이뤄졌기 때문에 auger와 삽으로 채취한 토양의 자갈함량과 유의한 상관관계를 보이지 않은 것으로 보인다. 이에 Fig. 2와 같이 이미지 분석을 통해 측정된 자갈 피복도와 용적밀도간의 상관관계를 분석한 결과 고도로 유의한 음의 상관관계 ( $p < 0.001$ )가 있었다. 자갈 피복도는 자갈함량과 달리 6 mm 이상 자갈의 토양 피복도를 조사한 것이므로 표층 (0 - 10

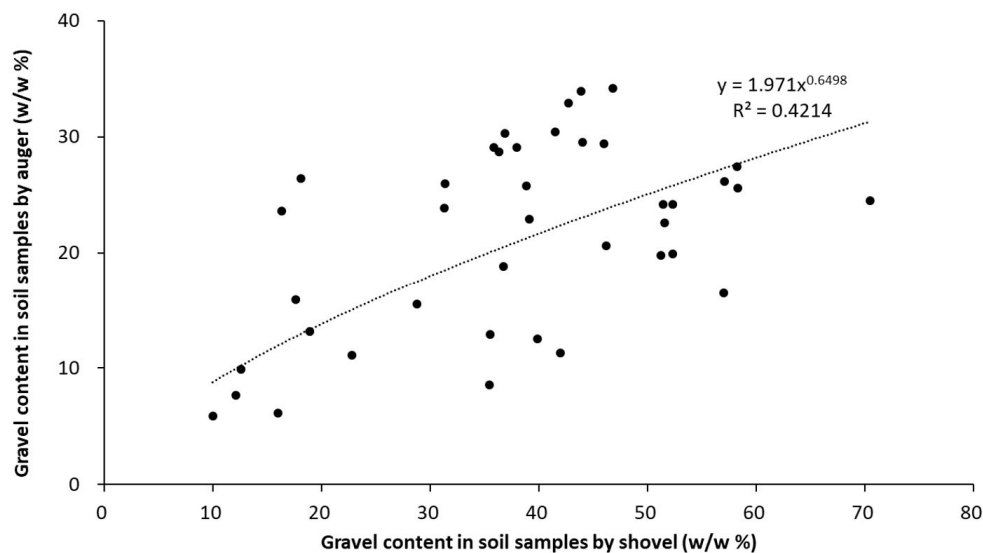


Fig. 1. Relationship between gravel contents by shovel sampling and those by auger sampling.

cm)를 조사한 용적밀도와 상관성이 높게 나타난 것으로 판단된다. 이를 종합하면 크기가 큰 (6 mm 이상) 자갈함량이 증가함에 따라 큰 자갈을 제외한 용적밀도는 감소하며, 자갈 피복도가 용적밀도와 음의 상관성이 있음을 확인하였다.

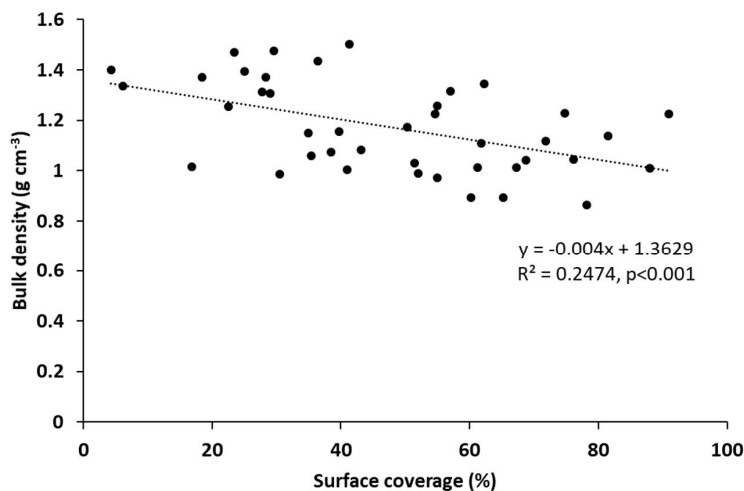
삽과 auger로 채취한 시료를 2 mm로 체거름한 토양의 입경분석 결과 토양채취방법에 따른 유의적인 차이 ( $p > 0.05$ )는 없는 것으로 나타났다. Fig. 3은 삽과 auger로 채취한 토양의 sand와 silt, clay, very fine sand 함량 간 회귀식을 나타낸 그래프로, 기울기가 1에 가깝고  $R^2$ 이 0.89 이상의 선형관계를 보였다. 본 연구와 달리 Oh et al. (2016)은 시료채취 깊이 따라 clay 함량 차이가 나타난다고 보고하였으나 이번 조사에서 사용한 두 도구인 삽과 auger의 샘플링 깊이는 0 - 20 cm로 같았기 때문에 입경분포 차이는 적었던 것으로 보인다.

토양의 유기물 함량 역시 입경분석 결과와 마찬가지로 삽과 auger로 채취한 시료 간의 유의적인 차이가 없었으며, 기울기가 1에 가까운 0.9406의 선형관계 ( $R^2 = 0.948, p < 0.001$ )에 있는 것으로 나타나 토양채취방법에 따른 유기물

**Table 6.** Selected phycochemical properties of the soils.

Sampling site	O.M	Clay	Silt	Sand	Very fine sand	Texture	Bulk density
	-----%-----						g cm <sup>-3</sup>
Anbandegi	3.9a <sup>†</sup>	12.1b	53.0a	34.9c	9.0a	Silt loam, Loam, Sandy loam	1.10c
Yeongwol	2.1ab	10.6ab	35.8bc	53.6ab	10.6a	Loam, Sandy loam	1.10bc
Mt. Maebong	4.4a	12.4ab	47.2ab	40.4bc	4.3bc	Loam, Silt loam	1.04bc
Jeongseon	4.2a	16.8a	55.6a	27.7c	2.6c	Silt loam, Loam	1.05bc
Punch bowl	1.8b	13.4ab	32.0c	54.4ab	6.5b	Sandy loam, Loam	1.33a
Daegwallyeong	1.9b	9.8b	24.8c	65.3a	6.2b	Sandy loam, Loam	1.24ab
Average	3.0	12.5	41.8	45.7	7.1		1.17

<sup>†</sup> Same letters indicate no difference between sampling sites within each column ( $p < 0.05$ , LSD).



**Fig. 2.** Correlation between the surface coverage with gravel and the bulk density.



함량 차이는 없었다 (Fig 4). 시료채취 깊이에 따라 유기물 함량 차이가 있었던 Oh et al. (2016)의 연구결과와 달리 본 연구에서 auger와 삽을 이용한 토양 시료 채취에서 두 방법 모두 0 - 20 cm의 토양을 샘플링 하였기 때문에 유기물의 차이는 없었다. 이에 토양채취 방법에 따른 유기물 및 입경분석 결과 차이가 토양침식성인자에 미치는 영향은 없을 것으로 판단된다.

각 토양 채취방법으로 채취한 토양의 분석결과로 토양침식성인자 (K)를 산출하고 자갈함량과 자갈피복도로 보정한 결과 각각의 토양침식성인자는 크게 차이가 났다 (Table 7). 평균적으로 자갈 피복도와 GWS를 이용해 보정한 토양침식성인자가 유의적으로 ( $p < 0.05$ ) 가장 작았으며, GVA로 보정한 토양침식성인자가 가장 컸다. 이 결과는 Table 4와 같이 자갈 피복도가 채취한 토양 중 자갈함량보다 크기 때문에 토양침식성인자가 가장 작게 나타난 것이며, 삽으로 채취한 토양이 auger로 채취한 토양의 자갈함량 보다 더 많았기 때문에 토양침식성인자는 삽으로 채취한 토양으로 계산하였을 때 유의적으로 작은 값을 나타냈다. 이는 현재 MoE (2012)를 비롯한 국내에서 이용 중인 부피기준 자갈 함량으로 보정하는 방법이 기존 Box (1981)이 제안한 6 mm 이상 자갈의 토양 피복도로 보정하는 방법과 큰 차이가 나는 것을 확인해주는 결과로 볼 수 있다. 지역별 토양침식성인자 분석결과를 살펴보면 자갈 피복도와 자갈함량 차이가 컸던 산 정상에 위치하며 경사가 심한 안반데기와 정선, 매봉산, 영월에서 자갈 피복도로 보정한 토양침식성인자와 자갈함량으로 보정한 토양침식성인자가 유의적으로 차이가 컸다. 이와 반대로 객토가 이뤄진 토양이 있어 자갈 피복도와 자갈함량간 차이가 적었던 대관령은 자갈함량 및 자갈 피복도로 보정한 토양침식성인자간 유의적인 차이는

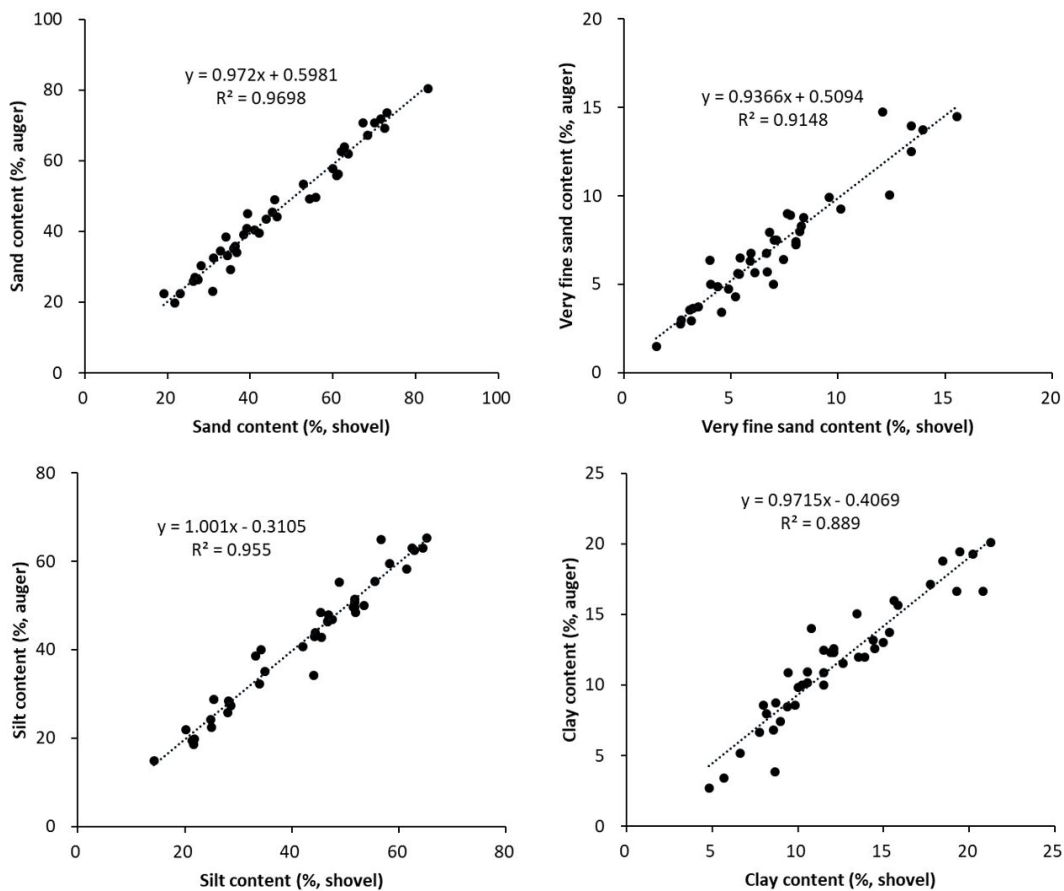


Fig. 3. Relationship of sand, silt, clay, and very fine sands between samples collected by shovel and auger.

없는 것으로 나타났다. 이는 산정상에 위치한 안반데기와 같이 크기가 큰 자갈함량이 많은 지역에서는 MoE (2012)의 부피기준 자갈함량으로 토양침식성인자를 계산 시 큰 차이가 있을 수 있다고 판단된다. 또한, 토양채취 방법에 따른 토양침식성인자도 유의적으로 ( $p < 0.05$ ) 차이가 있는 것 역시 삽으로 채취한 토양이 auger로 채취한 토양보다 자갈함량이 많기 때문에 50 mm 이상의 자갈이 많이 존재하는 토양에서는 토양채취 방법 선정에 따라 토양침식성인자가 유의적인 차이가 날 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

우리나라에서 USLE를 기초로 하는 토양침식연구 중에서 현장실태조사가 아닌 경우 대부분 국립농업과학원의 흙토람에 따라 토양통을 조사하고 MoE (2012)에 제시된 각 토양통별 토양침식성인자를 활용한다. 각 토양통의 토양침식성인자는 Jung et al. (1999)과 Jung et al. (2004)이 제안한 방식으로 산정된 수치이며, 자갈에 의한 보정이 토양의 부피기준 자갈함량으로 되어 있다. 이에 따라 지점별 토양통의 토양침식성인자와 본 연구에서 토양분석을 통해 산출한 토양침식성인자를 비교해 보았다 (Table 8). 조사지점의 토양통은 총 14개였다. MoE (2012)에서 발표한 안룽통과 반호통을 제외한 나머지 토양통의 토양침식성인자는  $0.03 \text{ ton hr MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  이하다. Jung et al. (2005)에 따르면 평야

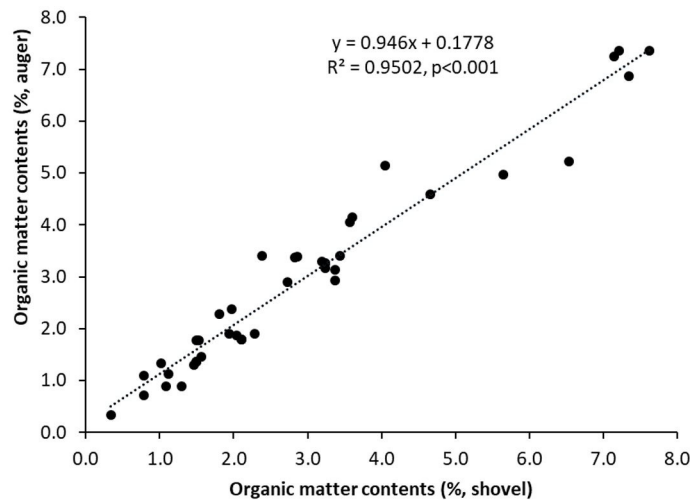


Fig. 4. Correlation of organic matter contents between soil collected by shovel and auger.

Table 7. Modified K factor ( $K_M$ ) determined with consideration of gravel contents measured by different methods.

Sampling site	$K_M$				
	GWA	GVA	GWS	GVS	Surface coverage
$\text{ton hr MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$					
Anbandegi	0.0236b <sup>†</sup>	0.0324a	0.0138c	0.0251b	0.0086d <sup>‡</sup>
Jeongseon	0.0177bc	0.0259a	0.0139cd	0.0235ab	0.0098d
Mt. Maebong	0.0179b	0.0248a	0.0090c	0.0169b	0.0050c
Yeongwol	0.0246ab	0.0312a	0.0176bc	0.0251ab	0.0137c
Daegwallyeong	0.0127a	0.0157a	0.0123a	0.0159a	0.0119a
Punch bowl	0.0202b	0.0244a	0.0137c	0.0205b	0.0134c
Average	0.0202b	0.0265a	0.0135c	0.0218b	0.0106c

<sup>†</sup> Same letters indicate no significant difference between sampling sites within each row ( $p < 0.05$ , LSD).

<sup>‡</sup> GVA Soil erodibility factor (K) of soil samples by auger sampling.

**Table 8.** Comparison between K factor by MoE and the modified K ( $K_M$ ) factor derived in this study.

Soil series	K	$K_M$				Surface coverage
		GWA	GVA	GWS	GVS	
Anryong	0.0459	0.0188 ± 0.0030	0.0216 ± 0.0017	0.0153 ± 0.0064	0.0200 ± 0.0051	0.0108 ± 0.0017
Banho	0.0367	0.0209 <sup>†</sup>	0.0292	0.0142	0.0236	0.0070
Cheongsan	0.0296	0.0178 ± 0.0025	0.0254 ± 0.0035	0.0118 ± 0.0042	0.0207 ± 0.0062	0.0078 ± 0.0040
Cheongryong	0.0201	0.0242 ± 0.0090	0.0328 ± 0.0099	0.0142 ± 0.0053	0.0256 ± 0.0080	0.0086 ± 0.0038
Dogye	0.0286	0.0138 ± 0.0082	0.0195 ± 0.0122	0.0095 ± 0.0038	0.0164 ± 0.0079	0.0084 ± 0.0020
Mui	0.0143	0.0175 ± 0.0053	0.0215 ± 0.0056	0.0124 ± 0.0028	0.0188 ± 0.0045	0.0138 ± 0.0017
Oesan	0.0296	0.0249 ± 0.0071	0.0312 ± 0.0058	0.0176 ± 0.0043	0.0251 ± 0.0032	0.0137 ± 0.0041
Samgag	0.0265	0.0243	0.0311	0.0159	0.0257	0.0147
Sinbul	0.0194	0.0183 ± 0.0130	0.0232 ± 0.0129	0.0108 ± 0.0043	0.0184 ± 0.0068	0.0138 ± 0.0024
Songsan	0.0224	0.0234	0.0290	0.0084	0.0176	0.0168
Seogto	0.0245	0.0212	0.0241	0.0194	0.0228	0.0171
Unbong	0.0194	0.0096	0.0134	0.0097	0.0146	0.0091
Woljeong	0.0112	0.0316	0.0341	0.0287	0.0327	0.0239

<sup>†</sup>n= 1.

지역 토양보다 강 상류 지역의 토양이 clay 함량이 낮고 sand 함량이 높으며, 자갈함량이 많기 때문에 토양침식성인자가 평야지역보다 낮다. 본 연구결과에서도 대부분 지점의 clay 함량이 낮고 자갈함량이 높았으며, 자갈함량 및 자갈 피복도를 고려하였기 때문에 대부분의 토양침식성인자가  $0.03 \text{ ton hr MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  이하로 조사되었다. 특히, 자갈 피복도로 보정한 토양침식성인자는 월정통을 제외하고 대부분이  $0.015 \text{ ton hr MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  이하로 매우 낮은 수치를 보였다. 토양침식성인자가 증가한 월정통은 본 연구에서 선정한 지점 중 1 지점만 월정통으로 분류되었으며, 해당 지점의 토성이 월정통 대표토양의 토성인 식양토와 달리 양토로 조사되었으며, clay 함량이 월정통 대표토양은 32%로 높았으나 본 연구지점은 점토가 20.6%로 낮게 조사되어 토양침식성인자가 증가한 것으로 판단된다 (SEIS, 2017). 본 연구 대상지 대부분의 고랭지 토양에서 MoE (2012)의 토양통별 토양침식성인자와 본 연구의 토양침식성인자가 다르게 나타난 것은 일부 지점을 대상으로 조사한 것이기 때문에 토양통의 대표값과 차이가 날 수 있다. 그러나 토양침식성인자 차이가 크게 난 것은 자갈에 의한 영향을 고려하는 방법으로 MoE (2012)에서 Box (1981)의 자갈 피복도가 아닌 Jung et al. (1999)과 Jung et al. (2004)이 제안한 부피기준 자갈함량을 사용하여 토양침식성인자를 산출하였기 때문이다. 따라서 최근까지 MoE (2012)의 토양침식성인자를 활용해 조사한 고랭지 지역 뿐 아니라 자갈함량이 많거나 크기가 큰 자갈이 많은 지역에서는 토양침식성인자 보정이 제대로 이뤄지지 않은 토양침식성인자를 적용하였기 때문에 실제보다 높은 토양침식성인자가 적용되어 토양침식량이 과다하게 산정되었을 가능성이 높다. 특히, 반호통은 MoE (2012)의 토양침식성인자가  $0.0367 \text{ ton hr MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ 이지만 현장에서 채취한 토양 분석결과 및 자갈 피복도로 산출한 토양침식성인자는  $0.0070 \text{ ton hr MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ 으로 5배 차이 나기 때문에 토양침식량도 5배 이상 차이 날 수 있다. 따라서 고랭지가 아니더라도 표층에 큰 자갈이 많은 지점에 대한 토양통의 토양침식성인자 재산출이 필요하다고 판단된다.

## Conclusion

자갈이 토양침식성인자에 미치는 영향을 보정하기 위한 조사방법으로 자갈 피복도와 채취방법에 따른 자갈함량을 비교한 결과 지표면에 크기가 큰 자갈이 많이 노출되어 있는 고랭지 지역에서는 조사방법에 따라 차이가 큰 것을 알 수 있었다. 자갈피복도가 자갈함량에 비해 높은 것으로 나타났으며, 자갈 함량도 시료채취 방법에 따라 auger 보다 삽으로 채취하였을 때 자갈함량이 높았다. 특히, 산 정상에 위치하며 경사가 심했던 안반데기, 매봉산, 영월, 정선은 그 차이가 컸고, 석비레 성토가 이뤄진 대관련은 자갈 피복도와 자갈함량간 차이가 적어 조사방법에 따른 유의적인 토양 침식성인자 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 대부분의 토양침식연구에서 활용하는 토양통별 토양침식성인자와의 비교에서도 자갈피복도를 이용해 보정한 토양침식성인자와 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 이에 앞으로 크기가 큰 자갈이 많은 고랭지의 정확한 토양침식성인자 산정을 위해서는 자갈 피복도를 고려해야 할 것으로 판단된다.

## References

- Box, J.E. 1981. The effects of surface slaty fragments on soil erosion by water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45(1):111-116.
- Cerdà, A. 2001. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *European J. Soil Sci.* 52(1):59-68.
- Epstein, E., W.J. Grant, and R.A. Struchtemeyer. 1966. Effects of stones on runoff, erosion, and soil moisture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 30(5):638-640.
- Jung, K.H., W.T. Kim S.O. Hur, S.K. Ha, P.K. Jung, and Y.S. Jung. 2004. USLE/RUSLE factors for national scale soil loss estimation based on the digital detailed soil map. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(4):199-206.
- Jung, K.H., Y.K. Sonn, S.Y. Hong, S.O. Hur, and S.K. Ha. 2005. Assessment of national soil loss and potential erosion area using the digital detailed soil maps. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(2):59-65.
- Jung, P.K., M.H. Ko, and K.T. Um. 1985. Discussion of cropping management factor for estimating soil loss. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 18:7-13.
- Jung, Y.S., Y.K. Kwon, H.S. Lim, S.K. Ha, and J.E. Yang. 1999. R and K Factors for an Application of RUSLE on the Slope Soils in Kangwon-Do, Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32(1):31-38.
- Kim, G.H., G.Y. Kim, J.G. Kim, T.M. Sa, J.S. Suh, B.G. Son, J.E. Yang, K.C. Eom, S.E. Lee, G.Y. Jung, D.Y. Jung, E.T. Jung, J.B. Jung, and H.N. Hyun. 2006. *Soil Science*. Hyangmun Publishing, Korea pp. 391-428.
- Lamb, J. and J.E. Chapman. 1943. Effect of surface stones on erosion, evaporation, soil temperature, and soil moisture. *J. American Soc. Agronomy.* 35:567-578.
- Lamb, J., J.S. Andrews, and A.F. Gustafson. 1944. *Experiments in the control of soil erosion in Southern New York*. Cornell University Agricultural Experiment Station; Ithaca.
- Lee, G.J., J.T. Lee, J.S. Ryu, D.S. Oh, J.S. Kim, Y.G. Lee, J.I. Kim, S.N. Ji, H.B. Lee, and M. Kwon. 2014. Effect of Root and Gravel Content on Soil Bulk Density. *Korean Soc. of Soil Sci. Fert. Proceedings.* 99. (Abstr.)
- Meyer, L.D., C.B. Johnson, and G.R. Foster. 1972. Stone and woodchip mulches for erosion control on construction sites. *J. Soil Water Conserve.* 24:264-269.
- Miller, W.P. and D.M. Miller. 1987. A micro-pipette method for soil mechanical analysis. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 18(1):1-15.
- MoE. 2012. *The Notice about the Erosion Status Survey and Measures such as Topsoil*. Ministry of Environment, Korea. pp. 1-26.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010. *Methods of soil and crop plant analysis*. National

- Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc, and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 961-1010.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. *Methods of soil and plant analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA. pp 29-134.
- Oh, S.J. and P.K. Jung. 1995. Effect of soil erosion control with different grass species on slope land. RDA. *J. Agri. Sci.* 37:246250.
- Oh, S.M., T.Y. Ko, J.G. Lee, S.P. Lee, Y.S. Jeong, K. J. Lim, D.H. Kim, and J.E. Yang. 2016. Variation of USLE K Factor as influenced by Soil Sampling Method. *Korean Soc. of Soil Sci. Fert. Proceedings*. 75. (Abstr.)
- Park, C.S, Y.S. Jung, J.H. Joo, and J.E. Yang. 2004. Soil Characteristics of the Saprolicite Piled Upland Fields at Highland in Gangwon Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(2):66-73.
- Park, J.H., H.S. Woo, C.K. Pyun, and K.K. Kim. 2000. A study of distribution of rainfall erosivity in USLE/RUSLE for estimation of soil loss. *J. Korea Water Res. Assoc.* 33:603-610.
- Park, W.P and H.J. Kang. 2019. Study on Soil Erosion and Physical Characteristics of Jeju Volcanic Ash Soils Under a Rainfall Simulator Condition. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 52(1):60-69.
- Park, W.P and H.J. Kang. 2020. Relationship Between Soil Physical Properties and Erodibility Factor of Jeju Black Volcanic Ash Soils Under a Rainfall Simulator Condition. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(1):32-40.
- Poesen, J. and H. Lavee. 1994. Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena* 23(1):1-28.
- Seginer, I., J. Morin, and A. Shachori. 1962. Runoff and erosion studies in a mountainous terra-rossa region in Israel. *Hydrol. Sci. J.* 7(4): 79-92.
- SEIS (Soil Environment Information System). 2017. Soil Environment Information System. <http://soil.rda.go.kr>
- Song, J.S., W.S. Park, Y.H. Kwak, J.C. Seo, and H.S. Choi. 2003. Comparison of Acute Symptoms between a Alpine Agricultural Workers and General Workers in Gangwon-do. *Korean J. of Rural. Med.* 28(1):29-37.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. *Agric. Handbook No. 282*. US Dep. Agric., Washington, DC, USA.