

소석회를 이용한 급경사 농경지 토양유실 저감

고일하¹ · 유 찬² · 박미정³ · 지원현^{3*}

¹환경기술정책연구원

²경상대학교 지역환경기반공학과

³한국광해관리공단 기술연구센터

Reduction of Soil Loss from Sloped Agricultural Field by using Hydrated Lime

Il-Ha Koh¹ · Chan Yu² · Mi Jeong Park³ · Won Hyun Ji^{3*}

¹National Environment Lab. (NeLab)

²Department of Agricultural Engineering, Gyeongsang National University

³Institute of Mine Reclamation Technology, Mine Reclamation Corporation

ABSTRACT

The feasibility of using hydrated lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) was assessed in reducing soil loss in sloped land under field condition. During 6-month monitoring from May to October, amendment of hydrated lime (3%, w/w) to a test plot decreased soil loss by 76% as compared to the unamended plot. However, the growth of natural vegetation was hampered by hydrated lime addition due to pH increase. Hydrated lime can be used as an effective agent to prevent soil loss in sloped land, but additional treatments are needed to preserve vegetation growth, especially in crop fields.

Key words : Soil loss, Sloped agricultural field, Hydrated lime, Natural vegetation, Soil acidity

1. 서 론

토양은 암석이 물리화학적 그리고 생물학적 작용을 받아 부스러지고 분해된 물질 즉, 모재가 오랜 세월을 지나면서 형성되는 것이다. 따라서 항상 주위 환경의 영향을 받아 변화되는 동체(動體)이기 때문에 토양을 정의한다는 것은 그리 쉬운 일이 아니다(Cho et al., 2010). 그러나 공기, 물과 함께 환경의 중요한 구성요소로 인간을 비롯한 모든 동식물의 생명을 유지하는 토대임은 명백한 사실 일 것이다. 토양은 자연생태계와 환경보전의 두 가지 유지기능이 있는데, 두 기능에 공통적으로 포함되는 것이 식물생산과 연관된 것이다. 이는 식물에게 물과 양분을 공급하는 등 지각의 최외곽 부위로 녹색식물이 생육할 수 있는 비옥도를 지니고, 농작물과 유용수종을 포함한 녹색 식물 전반을 생산하는 기능이다(Lee et al., 2008). 즉,

식물 특히 농작물의 관점에서 볼 때 농경지 토양, 그 중에서 식물의 뿌리가 위치하는 표토는 토지의 생산성을 좌우하는 가장 중요한 인자라고 할 수 있다. 아울러 2.5 cm 두께의 표토층 생성에 대략 100년~300년의 시간이 소요되는 만큼 희소자원으로 인정해야 할 필요가 있다(KME, 2001).

이러한 농경지 표토의 중요성에도 불구하고 표토 유실로 인한 환경학적인 문제발생 및 제어대책에 관한 국내의 연구는 근래 들어서야 다수가 진행되었다. 토양유실의 대부분이 여름철 집중강우에 의해 경사지에 위치한 밭에서 발생하므로, 이들 대부분의 연구는 경사지 밭토양 보전을 주요 목적으로 하고 있다. Lee et al.(2012)은 경사도와 강우강도의 조합을 달리하여 토양유실의 발생정도를 확인하였다. Park et al.(2005)는 토양유실예측공식인 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)을 이용하여 토양유실량을 산정하고, 이를 기반으로 완충식생대, 승수로

*Corresponding author : greenidea@mireco.or.kr

Received : 2018. 12. 13 Reviewed : 2018. 12. 14 Accepted : 2019. 2. 12

Discussion until : 2019. 6. 29

및 배수로 등의 적정관리방안을 제시하였다. Lee et al. (2011)과 Heo et al.(2008)은 특정 작물 재배지를 대상으로 피복방법이나 객토량 변화에 따른 유실저감 효과를 검토하였다. 이외 Choi et al.(2009)은 토양 자체의 응집력 향상을 위해 토양개량제로서 고분자응집제인 Polyacrylamide (PAM)의 적용성을 검토한 바 있다. 이러한 토양유실 연구는 토양유실 저감을 통해 농경지(밭) 토양환경의 퇴화 방지, 댐이나 호수로 유입되는 현탁입자로 인한 저수용량의 감소, 부영양화 발생억제 등과 같은 수환경의 문제해결을 목적으로 한다(Park et al., 2011).

최근 국내 폐광산 지역 내 광해방지사업(토양개량·복원사업)이 실시된 농경지, 특히 밭에서 토양유실에 대한 문제가 다수 확인되고 있다. 광산지역의 특성상 사업대상 농경지는 산간지역에 위치하는 경우가 많다. 산간지역의 밭은 대부분은 비탈면에 위치하고 있어 집중강우에 따른 침식발생 역시 논에 비해 높다(Hur et al., 2005). 폐광산 지역의 토양개량·복원사업은 안정화제 투여를 통해 농경지 토양 내 무기오염원의 이동성을 저감하고, 상부에 양질 토사층(복토층)을 구성해 농작물 생육에 적합한 토양환경을 조성하는 것이다(Koh et al., 2018). 따라서 이러한 토사층의 유실은 농경지 가치와 농작물 생산성 하락을 동반하므로, 광산지역 복원사업 시 이에 대한 사전 대책 수립도 고려되어야 한다. 이에 최근에는 폐광산 광해방지사업 시 표토토양 유실을 최소화하는 방안수립이 요청되기도 하였다.

기존 토양유실과 관련한 연구는 주로 토양유실량 평가나 완충식생대 및 승수로와 같은 토양입자의 물리적 유실 억제 방안 검토를 목적으로 하였다. 이에 비해 토양 입자의 응집력 향상(입단개선)을 위해 유실억제제를 이용하는 화학적 처리방안은 아직 많은 연구가 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 실제 폐광산 지역 급경사 농경지에 소석회(Ca(OH)_2)가 투여된 시험구를 조성하여 토양유실 억제효과를 검토하였다. 토양유실 억제제로서 석회물질의 적용성은 선행연구(Hwang et al., 2016; Koh et al., 2018) 단계에서 실내실험을 통해 확인한 바 있다. 따라서 실제 현장규모의 본 연구를 통해 얻어진 결과는 폐광산지역 토양유실 발생가능 지역에 대한 사전 대책수립을 위한 자료로 활용이 가능할 것이다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 현장 시험구 조성

충북 제천시 수산면 지역 내 폐광산 주변 농경지에 시험구를 조성하였다. 해당 농경지는 24.7%~26.5%의 경사를 가진 밭이다. 대상 농경지 토양 상부에 40 cm 두께의 복토를 하는 방식으로 2기의 시험구를 조성하였다. 시험구는 폭 4 m, 경사장 22 m의 크기이며, 강우 발생 시 유거수의 유입수로, 유거수 중 토사를 1차로 걸러주는 격벽수로, 시험구 외곽 하류부의 침사지(침사통)로 구성되었다(Fig. 1).



Fig. 1. Photograph of the field experimental plot.

Table 1. Physicochemical properties of upland soil in the field experimental plot

pH [-]	OM [%]	Soil particle distribution [%]			Soil Texture
		Sand	Silt	Clay	
7.8	1.0	71.5	8.4	20.1	Sandy clay loam

시험구 2기의 경사도를 평균 25%로 설정하였고, 대조구(control, 복토)와 처리구(amended, 복토 + 유실억제제 처리)로 구분하였다. 복토제는 점토함량 20%의 사질식양토(sandy clay loam)이며, 유기물 함량 1%, pH 7.8의 약알칼리성 토양이었다(Table 1). 농작물 재배관점의 적정 토성은 사양토(sandy loam)~식양토(clay loam)이며, 유기물 함량은 밭토양인 경우 2%~3%이다(Yang et al., 2008; Cho et al., 2010; Chae et al., 2013). 따라서 본 연구에 사용된 복토제는 적정 토성을 가지나, 비옥도는 다소 떨어진다고 볼 수 있다. 그러나 대부분 산지로부터 복토재를 수급하고, 공정 후반부의 시비처방을 통해 토양비옥도를 조절하는 폐광산지역 토양개량·복원사업의 특성상 본 복토재 역시 관련 사업의 일반적인 현황을 충분히 모사한 것으로 판단된다.

처리구에 적용된 유실억제제는 CaO함량 70% 이상의 소석회(Ca(OH)₂)로 복토재 심도 20 cm 기준으로 무게비 대비 3%가 교반·혼합되었다. 3% 혼합비를 선정근거는 앞선 선행연구(Hwang et al., 2016)의 실내실험에서 해당 토성의 토양에 석회 3%를 투여한 경우 토양입단 형성 및 경제성 등에서 유의한 결과를 도출했기 때문이다.

시험구 조성 후 별도의 농작물 식재는 하지 않았다. 다만, 모니터링 기간 동안 복토층 내 잡풀과 같은 자연발생 식생에 대해서 별도의 제초작업을 하지 않아 식생에 의한 유실저감 효과까지 고려가 가능하도록 하였다.

2.2. 시험구 모니터링

2.2.1. 토양 유실량

토양 유실량 평가는 시험구 조성 후 3개월 경과시점인 2018년 5월부터 10월까지 6개월 동안 월 1회 현장을 방문하여 시험구 내 유실된 토양의 무게를 측정하는 것으로 진행하였다. 이는 유실억제제의 안정화 기간 및 갈수기를 고려한 것이다. 시험구 내 토양이 강우에 의해 유실되면 시험구 하단의 수로를 통해 침사지(침사통)에 포집된다. 따라서 주기적인 방문을 통해 유실된 토양을 수거하여 무게를 측정하였고, 이를 통해 침사지로의 유실토양 이동통로 또한 확보하였다. 아울러 강우에 따른 토양유실 정도 비교를 위해 모니터링 기간 중 지속적으로 제천시 수산면 지역의 기상청 강수량 관측 자료를 수집하였다.

2.2.2. 자연식생 분포

현장 시험구 운영에 따른 자생식물의 발생 및 성장현황 등 자연식생의 분포를 확인하기 위해 무인비행장치(unmanned aerial vehicle, UAV)를 이용한 공중촬영을 실시하였다. 현장조사에 사용한 장치는 DJI사의 제품(Phantom 4 pro)이다. 시간경과에 따른 식생현황의 비교를 위해 월 1회 빈도로 동일위치의 일정고도에서 촬영을 하였다.

2.2.3. 토양 이화학 특성

시간경과에 따른 시험구 내 토양의 이화학 특성변화를 검토하기 위해 토양 유실량 측정 시 실내분석용 시료를 채취하였다. 시료는 시험구 내 상류부와 하류부 2개 지점에서 채취한 심도 10 cm 이내의 표토이다. 본 시료를 대상으로 토양화학분석법(NAAS, 2010)에 따라 pH와 전기전도도(electrical conductivity, EC), 유기물(organic matter, OM) 및 칼슘(Ca) 함량 등을 측정·분석하였다.

항목측정 시 pH와 전기전도도는 수질측정기(model Orion star, Thermo SCIENTIFIC)를, 칼슘의 정량분석엔 ICP-OES(model 7300DV, Perkin-Elmer Inc.)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양 유실량

Fig. 2는 시험구 조성 후 3개월 동안의 유실억제제 안정화 기간을 거친 후 5월부터 10월까지 6개월 동안 측정된 시험구 내 토양 유실량과 본 시기에 관측된 강수량을 나타낸 것이다.

모니터링 기간 내 7월과 8월을 제외한 나머지 기간 동안에 대조구(control)에서 나타난 토양유실량 변화는 대체적으로 강우량과 유사한 경향을 나타내었다. 이는 근본적으로 강우가 경사도, 식생, 토양 성질 등과 함께 토양유실을 결정짓는 주요 인자이기 때문이다(Lee et al., 2012). Oh et al.(2012)도 집중호우가 농경지 토양유실 증가에 미치는 영향이 높음을 확인한 바 있다. 유실억제제로서 토양 무게비 대비 3% 수준의 소석회(Ca(OH)₂)가 투여된 처리구(amended)에서 나타난 토양유실량은 대조구 대비 낮은 수준을 보였다. 모니터링 시점과 종점인 5월과 10월

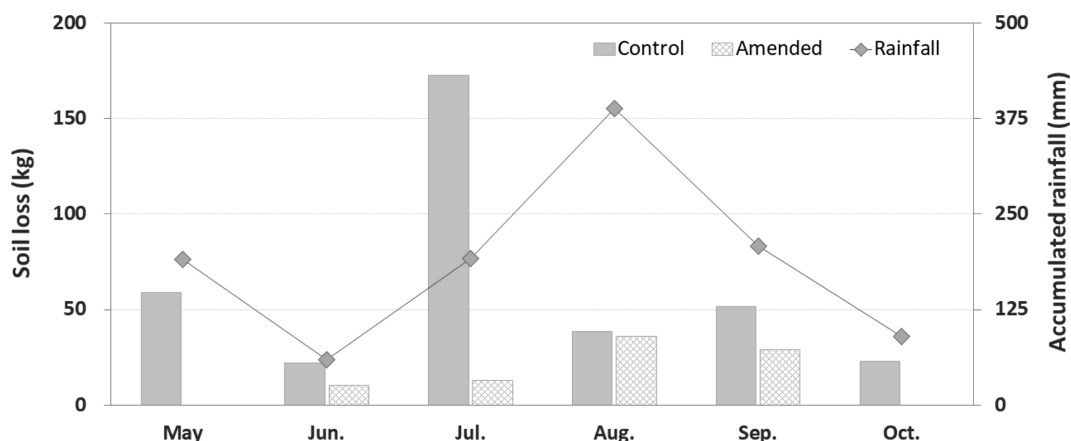


Fig. 2. The variation of soil loss in the field experimental plot.

에는 대조구에서 각각 60 kg, 23 kg의 유실량을 나타내었으나, 처리구에서는 유실량 측정이 불가능할 정도의 극미량만 확인되었다. 특히, 강우가 증가한 시점인 7월엔 대조구와 처리구 각각 173 kg, 13 kg의 유실량으로 억제제 처리 시 92% 가까운 유실저감 효율을 보였다. 이는 토양 내 소석회 투여로 인한 칼슘(Ca)의 효과로 보여진다. 강우에 대한 토양의 침식 저항성은 토양이 지닌 내수성 입단(water-stable aggregates)의 안정성에 의존하는데(Choi et al., 2009), 소석회에서 탈리된 칼슘이 토양의 입단화를 촉진했을 것이다. 즉, 2가 양이온(Ca^{2+})이 점토입자 표면의 음전하를 중화하면서 점토입자를 서로 묶을 수 있도록 다리를 형성하였고, 이로 인해 입단화 진행정도가 대조구 대비 높아 그만큼 침식에 더 저항했던 것이다(Brady and Weil, 2014). 따라서 급경사 농경지의 토양유실 억제제로서 소석회는 현장 적용성을 충분히 확보한 것으로 판단된다.

7월과 8월의 월간 누적강수량은 각각 192 mm와 388 mm으로, 8월의 강수량이 7월 대비 2배 증가하였다. 그림에는 나타나지 않았지만 비가 내린 날을 기준으로 한 평균 일강수량도 역시 7월 27 mm/day, 8월 43 mm/day로 8월이 7월 대비 1.6배 증가하였다. 따라서 대조구의 8월 토양 유실량은 7월 대비 급격한 증가가 예상되었으나 실제 나타난 유실량은 173 kg에서 38 kg으로 오히려 78% 감소한 것으로 나타났다. 또한 대조구의 8월 유실량 38 kg은 동일시기 처리구의 유실량인 36 kg과 비교해 높은 하지만 큰 차이가 없는 수준이다. 이는 처리구 대비 높은 피복율을 보인 대조구 내 자연식생 성장의 영향으로 판단되는데 다음의 3.2절에서 상세히 설명할 것이다.

최종적으로 전 모니터링 기간인 6개월 동안 나타난 대조구의 토양유실량은 366 kg이다. 이에 비해 유실억제제

로서 소석회 처리 시 나타난 유실량은 88 kg으로 76%의 유실저감효과를 보였다. 시험구 내 식생영향이 미고려될 수 있는 시기, 즉 순수하게 소석회 효과만 볼 수 있는 시기인 5월~7월의 3개월 동안만 본다면 유실저감 효과는 90%로 높게 나타난다. 따라서 유실억제제로 소석회를 이용하는 경우 경사 농경지 토양은 토양의 입단화 증진과 함께 충분한 침식저항성이 발현될 것으로 판단된다.

3.2. 자연식생 분포 및 토양 이화학 특성 변화

3.2.1. 자연식생 분포

Fig. 3은 모니터링 기간 중 촬영된 시험구 내 자연식생 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 시간경과에 따른 대조구(control)에서의 식생 피복 정도가 유실 억제제(소석회, 3%(w/w))가 투여된 처리구(amended) 대비 높은 것으로 나타났다.

처리구에서 나타난 낮은 식생 분포는 토양의 성질변화와 관련이 있다. 2기의 시험구는 근본적으로 동일한 복토재를 사용했기 때문에 유실억제제(소석회, 3%(w/w)) 처리 유무를 토양성질 변화의 원인으로 지목할 수 있다. 처리된 유실억제제는 알칼리 기반의 물질이다. 즉, 유실억제제가 복토재의 토양산도를 자연식생의 발생이나 성장에 부정적인 영향을 줄 정도로 증가시켰을 개연성이 있다. 따라서 토양유실은 많았지만 토양 pH의 변화가 없었던 대조구에서 식생의 분포비율이 상대적으로 높게 나타난 것으로 판단된다.

앞선 토양유실량 모니터링에서 8월의 강수량이 7월 대비 2배 가까이 증가했음에도 대조구의 토양유실량은 오히려 173 kg에서 38 kg으로 감소했다고 언급한 바 있다. 이러한 감소효과는 자연발생한 식생의 자체 토지피복 효과

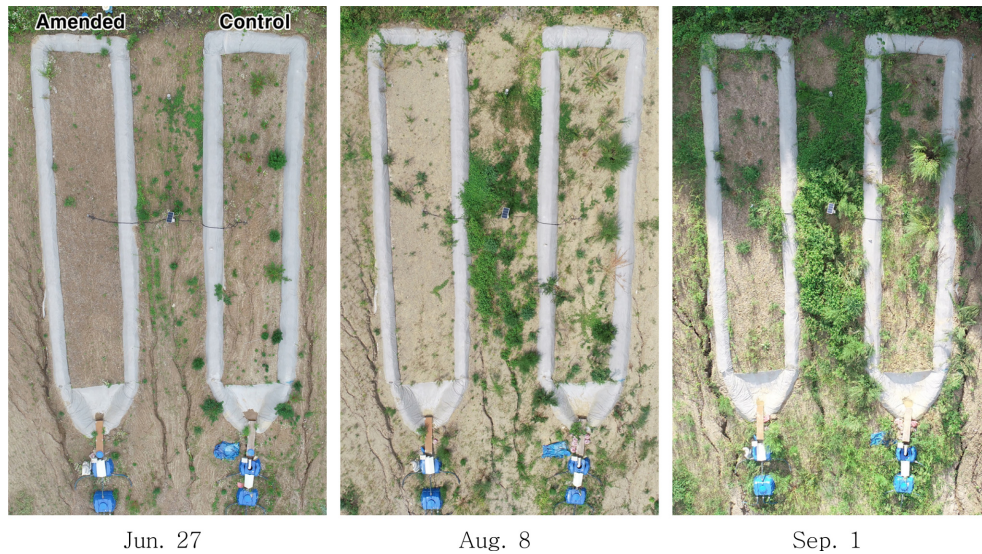


Fig. 3. Photograph of natural vegetation occurrence in field experimental plot.

가 원인인 것으로 보여진다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 8월 8일과 9월 1일에 촬영된 대조구의 식생분포를 통해 7월에 비해 8월의 식생분포가 상당히 증가했음을 유추할 수 있다. 따라서 8월에 급성장한 식생의 토지피복 효과에 의해 강우 발생 시 식물이 강우를 일차적으로 차단시켜 토양 표면의 타격력이 감소되었고, 토립의 분산과 비산을 줄임으로써 토양유실이 7월 대비 감소한 것으로 판단된다 (Osborn, 1954; Wainwright et al., 2000). 본 연구에서는 식생피복율의 정량적 수치를 통한 토양유실 감소효과를 검토하지는 않았다. 다만, 토양유실량과 식생피복율의 상관성이 부(-)의 지수함수 곡선(exponential curve) 또는 부의 선형을 보인다는 기존의 연구결과를 볼 때 시험구 운영을 통해 얻어진 본 연구결과 역시 이와 유사한 결과를 도출한 것으로 볼 수 있다(Branson and Owen, 1970; Kainz, 1989; Greene et al., 1994; Durán Zuazo and Rodríguez Pleguezuelo, 2008).

이러한 결과를 종합하면 폐광산 지역 토양·개량 복원 사업 시 급경사 농경지에서의 복토제(토양) 유실 저감대책은 우선적으로 식생(농작물)의 빠른 활착을 유도하는 것에 초점을 맞출 필요가 있다. 즉, 식생성장 이전 유실억제제 처리를 통한 토양 입단화로 토양자체의 침식 저항성을 높이고, 이후 식생성장(식생피복)에 따른 2차적인 유실저감을 도모하는 것이다.

3.2.2. 토양 이화학특성 변화

모니터링 기간 중 나타난 시험구 토양의 이화학 특성변화를 다음의 Fig. 4에 나타내었다. 관측항목은 토양의

pH, 전기전도도(electrical conductivity, EC), 유기물 함량(organic matter, OM), 칼슘(Ca) 농도 등 4개 항목이다.

모니터링 기간 동안 시험구 내 토양(복토제)의 pH는 유실억제제(소석회, 3%(w/w))가 투입된 처리구(amended)에서 대조구(control) 대비 지속적으로 높은 수준을 보였다. 측정된 pH 범위는 대조구 7.0~8.8, 처리구 8.7~9.3이다. 석회물질이 투입되지 않았음에도 대조구 토양 역시 알칼리의 특성을 보였다. 이는 제천 지역에서 복토제를 공급 받은 만큼 석회암을 모암으로 하는 해당지역 토양의 지질학적 특성에 기원하는 것으로 판단된다.

처리구에서 나타난 대조구 대비 상대적으로 높은 pH는 알칼리 기반의 유실억제제인 소석회($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 영향일 것이다. 다만, 처리구의 토양 pH 범위(8.7~9.3)는 식물성장에 악영향을 미칠 수 있는 수준으로 보인다. 일반적으로 작물생육은 약산성인 pH 6.0~7.0 사이에서 가장 양호하고, 강산성(pH 5 이하)이나 강알칼리성(pH 9 이상)에서는 성장이 어렵기 때문이다(Kim, 2013; Chae et al., 2013). 앞선 시험구 내 자연식생 분포에서도 유실억제제 처리구가 대조구에 비해 식생피복 정도가 낮았음이 이를 뒷받침한다. 따라서 향후 농경지 토양의 유실억제제로서 석회물질을 사용하는 경우 토양산도 변화에 따른 식생영향을 사전에 고려해야 할 것이다.

전기전도도와 칼슘농도 역시 처리구에서 대조구 대비 높은 수치를 유지하는 것으로 관측되었다. 이러한 결과는 우선적으로 유실억제제로 사용된 소석회 내 칼슘에 기인한 것으로 풀이될 수 있다.

유기물 함량은 5월과 6월의 초기 모니터링 수치를 제외

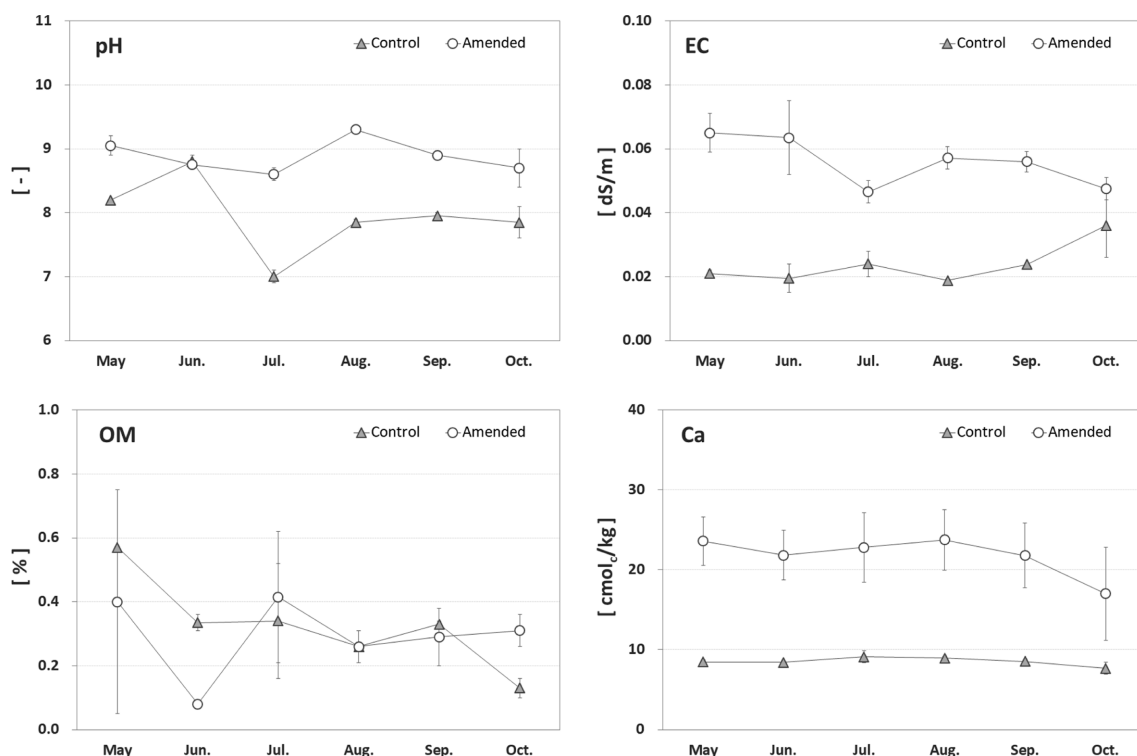


Fig. 4. The variation of chemical properties of soil in field experimental plot.

하면 유실억제제 처리유무에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 본 현장실험에 사용된 유실억제제가 무기성 화학물질임을 고려하면 당연한 결과로 볼 수 있다. 즉, 모니터링 기간 내 관측된 유기물 함량은 복토재가 자체적으로 가지고 있는 고유의 특성이다. 유기물 함량 범위는 대조구 0.1%~0.6%, 처리구 0.1%~0.4%로 발토양의 적정 함량범위인 2%~3%(Yang et al., 2008)에 못 미치는 수준이었다. 앞선 선행연구(Hwang et al., 2016; Koh et al., 2018)에서는 유실억제제로서 소석회 이외의 유기물(유기퇴비)의 적용성을 실내실험을 통해 확인한 바 있다. 유기물은 토양생물의 활성을 증가시켜 토양침식에 저항하는 입단화 형성에 도움을 준다(Brady and Weil, 2014). 따라서 실험대상 현장에서 두 종류의 유실억제제를 적절하게 혼용하였다면, 자연식생 성장 측면에서 보다 좋은 결과를 도출했을 것으로 판단된다. 즉, 식물성장의 적정 산도를 유지하도록 토양 내 소석회 투입량을 낮추고, 유기퇴비를 추가 투입함으로써 토양의 비옥도를 높임과 동시에 토양입단 형성과 식생의 활착(토양 피복정도) 증가를 유도하는 것이다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 경사 농경지에서 토양 유실저감을 위한 유실억제제로서 소석회의 적용성은 충분히 확보되었다고 판단된다. 다만, 소석회의 적용 시 유실저감 효과 못지않게 식생에 미칠 영향을 사전에 파악할 필요가

있다. 사전검토 시 pH 증가에 따른 식생영향이 우려될 경우 소석회 투입량의 일부를 유기물로 대체하는 것도 처리대안이 될 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 평균 25%의 경사도를 가진 농경지(밭)를 대상으로 광해방지사업(토양개량·복원사업)을 모사한 현장 시험구를 대상으로 소석회($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 토양 유실억제제 적용성을 검토하였다.

모니터링 기간(5월~10월) 동안 대조구의 토양유실량은 총 366 kg이며, 유실억제제 처리 시 88 kg으로 76%의 유실저감 효과를 보였다. 다만, 8월은 7월 대비 2배 증가한 강수량에도 불구하고 대조구에서의 유실량은 오히려 78% 감소했는데, 대조구 내 자연식생의 토지피복 효과에 의한 것으로 판단된다. 이는 식생의 활착 도모가 토양유실을 저감하는데 좋은 방안이 될 수 있음을 나타낸 것이다. 이 시기 처리구의 식생분포 수준은 대조구보다 낮다. 이는 알칼리 기반 유실억제제 투입으로 식생성장에 부적합한 수준까지 pH가 증가했기 때문이다. 따라서 향후 경사지에서 토양유실 저감방안은 유실억제제를 통해 초기 토양유실을 억제하면서 식생의 활착을 돕고, 향후 식생피복 증가에 따

른 2차적인 유실저감 효과를 도모하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

현장 시험구 모니터링 결과를 통해 경사지 토양유실 억제제로서 소석회의 적용성이 확인되었다. 다만, 농경지 토양을 대상으로 하는 만큼 농작물의 재배환경에 적합한 토양산도를 유지해야 하므로, 사전에 이를 고려해 석회물질 투여량을 선정해야 할 필요가 있다. 소석회 투여량의 일부를 유기물질로 대체하는 것도 좋은 방안이 될 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 2018년 한국광해관리공단으로부터 기술개발 사업비를 지원받아 수행된 연구임.

References

- Brady, N.C. and Weil, R.R., 2014, Elements of the Nature and Properties of Soils, Pearson Education Limited.
- Branson, F.A. and Owen, J.B., 1970, Plant cover, runoff, and sediment yield relationships on Mancos shale in Western Colorado, *Water Resour. Res.*, **6**, 184-190.
- Chae, J.C., Park, S.J., Kang, B.H., and Kim, S.H., 2013, Principles of Crop Cultivation, Hyangmunsa.
- Choi, B.S. Lim, J.E., Choi, Y.B., Lim, K.J., Choi, J.D., Joo, J.H., Yang, J.E., and Ok, Y.S., 2009, Applicability of PAM (polyacrylamide) in soil erosion prevention: rainfall simulation experiments, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **28**(3), 249-257.
- Cho, S.J., Park, C.S., and Um, D.I., 2002, Soil Science, Hyangmunsa.
- Greene, R.S.B., Kinnell, P.I.A., and Wood, J.T., 1994, Role of plant cover and stock trampling on runoff and soil erosion from semi-arid wooded rangelands, *Aust. J. Soil Res.*, **32**, 953-973.
- Heo, S.G., Jun, M.S., Park, S.H., Kim, K.S., Kang, S.K., Ok, Y.S., and Lim, K.J., 2008, Analysis of soil erosion reduction ratio with changes in soil reconditioning amount for highland agricultural crops, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **24**(2), 185-194.
- Hwang, W.J., Bang, H.W., Hyun, S.H., Ji, W.H., and Lee, S.H., 2016, Assessment of several amendments for soil erosion reduction in sloping land, *Proceedings of KoSSGE 2016 fall conference*, Daejeon, Korea, p.232.
- Hur, S.O., Jung, K.H., Ha, S.K., Kwak, H.K., and Kim, J.G., 2005, Mathematical description of soil loss by runoff at inclined upland of maize cultivation, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **38**(2), 66-71.
- Kainz, M., 1989, Runoff, erosion and sugar beet yields in conventional and mulched cultivation. Results of the 1988 experiment, In: U.R. Schwertmann, R.J. Rickson, K. Auerswald (ed.), *Soil Protection Measures in Europe*, Soil Technology Series 1, p.103-114.
- Kim, K.N., 2013, Plant, Soil and Fertilizer, Moa-adcom.
- KME (Korea Ministry of Environment), 2001, A Study on the Conservation of Surface Soil and Erosion Control, 6-8 p.
- Koh, I.H., Roh, H., Hwang, W.J., Seo, H.G., and Ji, W.H., 2018, Reducing soil loss of sloped land using lime-organic compost mixtures under rainfall simulation, *J. Soil Groundwater Environ.*, **23**(3), 43-50.
- Lee, G.J., Lee, J.T., Ryu, J.S., Oh, D.S., and Kim, J.S., 2012, Effects of slope gradient and rainfall intensity on soil losses with rainfall simulator experiment, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **45**(6), 877-881.
- Lee, J.T., Lee, G.J., Ryu, J.S., Park, S.H., Han, K.H., and Zhang, Y.S., 2011, Evaluation of surface covering methods for reducing soil loss of highland slope in radish cultivation, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **44**(5), 667-673.
- Lee, M.H., Choi, S.I., Lee, J.Y., Lee, G.K., and Park, J.W., 2008, Soil & Groundwater Environment, Donghwa Technology Publishing Co..
- NAAS (National Academy of Agricultural Science), 2010, Methods of soil chemical analysis.
- Oh, Y.J., Kim, M.H., Na, Y.E., Hong, S.H., Paik, W.K., and Yoon, S.T., 2012, Vulnerability assessment of soil loss in farm area to climate change adaption, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **45**(5), 711-716.
- Osborn, B., 1954, Effectiveness of cover in reducing soil splash by raindrop impact, *J SOIL WATER CONSERV*, **9**, 70-76.
- Park, C.S., Jung, Y.S., Joo, J.H., and Lee, J.T., 2005, Best management practices reducing soil loss in the saprolite piled upland in Hongcheon highland, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **38**(3), 119-126.
- Park, C.W., Sonn, Y.K., Hyun, B.K., Song, K.C., Chun, H.C., Moon, Y.H., and Yun, S.G., 2011, The redetermination of USLE rainfall erosion factor for estimation of soil loss at Korea, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **44**(6), 977-982.
- Wainwright, J., Parsons, A.J., and Abrahams, A.D., 2000, Plot-scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: case studies from Arizona and New Mexico, *Hydrol. Process*, **14**, 2921-2943.
- Yang, J.E., Jung, J.B., Kim, J.E., and Lee, G.S., 2008, Ag-Environmental Science, CIR.
- Durán Zuazo, V.H. and Rodríguez Pleguezuelo, C.R., 2008, Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review, *Agron. Sustain. Dev.*, **28**,