

## 부산물 석고를 이용한 산불피해 지역 토양유실 방지<sup>1)</sup>

김계훈<sup>2)</sup> · 정창욱<sup>2)</sup>

<sup>2)</sup> 서울시립대학교 환경원예학과

## Effect of By-product Gypsum on Soil Erosion at Burned Forest Land<sup>1)</sup>

Kye-Hoon Kim<sup>2)</sup> and Chang-Wook Jung<sup>2)</sup>

<sup>2)</sup> Dept. of Environmental Horticulture, The University of Seoul

### ABSTRACT

This study was carried out to find out effect of by-product gypsum on reducing soil erosion at the sloping burned area at Sampo-ri, Gosung-gun in Kangwon-province during the period between June 28 and Sept. 30, 2000. Four experimental plots (1.2 m × 10 m) were prepared at the study area with slopes 15° ~ 18° where forest fire took place twice during last 4 years. Phosphogypsum (PG) was applied to the soils of the 4 plots at the rates of 0 (control), 5, 7.5, and 10 ton/ha, respectively. Amount of rainfall, runoff, and soil loss were measured 7 times during the study. In the beginning, the amounts of runoff and soil loss from the PG treated plots were not different from those from the control plot due to steepness of the plots. However, the difference between the amount of runoff and soil loss from the PG treated plots and those from the control became apparent over time. The effect of PG treatment lasted until at least 870 mm of rainfall. Compared to the cumulative runoff from the control plot, the cumulative runoff from the plots treated with 5, 7.5, and 10 ton/ha PG decreased 7%, 31%, and 35%, respectively. The cumulative soil loss from the plots treated with 5, 7.5, and 10 ton/ha PG decreased 44%, 53%, and 77% compared to that from the control plot. Strong acidity of PG (pH 2.0~2.5) did not affect the acidity of the soil and runoff.

Key words : by-product gypsum, phosphogypsum, run-off, soil loss

### 1. 서 론

우리나라의 봄철은 강우량이 적고 건조하기 때문에 매년 산불이 빈번하게 발생하여 이로 인

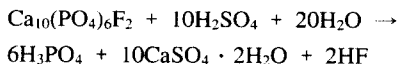
한 피해가 해마다 급증하고 있다. 실제로 2000년 한해동안만 해도 적지 않은 산불이 발생하여 그 피해면적은 25,536 ha, 액수로는 650억원에 달하고 있다(산림청 통계조사, 2000). 이렇게

<sup>1)</sup> 본 연구의 수행을 위하여 (주)남해화학에서 연구비의 일부를 지원하였음.

매년 봄철에 주로 발생하는 산불은 6월말경 장마가 시작될 때까지 계속되고 있다. 급년처럼 산불이 대규모로 장기간 발생한 경우 학계, 정부기관, 환경단체 등에서는 산불발생지역의 생태계 피해, 산림피해를 논하며 식생 및 생태계 복원에 소요되는 천문학적 비용과 시간을 우려한다. 그러나 어느 곳에서도 토양(특히 표토) 유실을 염려하고 그 방지대책(저감대책) 마련에 힘을 써야 한다는 목소리는 듣기 어렵다. 그 특성상 토양침식에 매우 약한 산림에 화재가 발생하여 지표 피복물질인 수목과 낙엽이 없으면 산림에서는 대부분의 양분이 존재하는 표토가 쉽게 유실되어 심각한 양분 결핍을 초래할 수 있다. 이렇게 유실된 토양, 특히 표토는 다른 지역으로 운반·퇴적되어 수질악화, 배수불량, 부영양화, 저수 및 발전용량 감소 등의 문제를 유발한다.

바닷물이 증발하여 농축된 후 침전됨으로써 오랜 시간에 걸쳐 생성된 석고(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)는 거의 모든 대륙에서 발견되는 광물이다. 석고는 천연광물로서 채광하는 경우 이외에도 몇몇 주요 공정의 부산물로 생산된다. 이중 부산물 석고는 인산 비료 생산시 생산되는 인산석고(phosphogypsum, PG), 석탄을 사용하는 화력발전소에서 연소기체로부터 SO<sub>2</sub>를 제거하는 과정에서 생산되는 탈황석고(flue gas desulfurization gypsum, FDG) 및 석회를 이용하여 폐기물이나 폐황산 용액을 중화시키는 과정에서 생산되는 산중화석고로 크게 구분할 수 있다.

이중 PG는 다음 식으로 생성되며 인산 1톤당 약 3톤의 비율로 생성된다. 따라서 기존의 재고를 제외하고도 우리 나라에서는 2000년 이후에도 연간 520,000톤 이상의 석고 잉여량이 생산될 것으로 보이기 때문에 석고를 대규모로 소비할 수 있는 방안을 찾는 것은 매우 시급한 일이다.



현재 석고는 세계적으로 산업과 농업의 여러 분야에 걸쳐 이용되고 있다. 산업분야에서는 석고보드 제조, plaster 제조, 시멘트 제조시 첨가제

로 이용되고 있다. 이중 석고보드제조와 시멘트제조는 건설경기와 밀접하게 관련된 사항이며 우리 나라에서는 현재 전반적인 경기침체의 여파로 건설경기가 크게 위축되었기 때문에 이 부분의 석고 소비량은 상당히 감소하였다. 석고는 Ca와 S를 토양에 공급해주고 토양의 물리적 성질을 개선시켜 주는 것으로 오랫동안 알려져 왔고, 최근에는 석회보다 높은 용해도 때문에 산성 심토를 개량하는 수단으로 사용되고 있다(Ritchey, 2000). 또한, 석고는 빗물의 침투(infiltration)를 증가시키고 유거(runoff)를 감소시킴으로써 경사지에서 토양유실을 감소시키는데 상당한 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Flanagan 등, 1997; Shainberg 등, 1989; Zhang과 Miller, 1996).

본 과제는 비료공장에서 인산제조과정에서 부산물로 발생하는 석고(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)를 이용하여 경사지 산불 발생지역에서 유거수(runoff)와 토양침식을 줄임으로써 토양질(soil quality)의 급격한 저하를 방지하고, PG 시용에 따른 토양과 유거수의 산성화 가능성을 확인할 목적으로 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구 지역

본 연구는 강원도 고성군 삼포리(Fig. 1)에서 2000년 6월 28일부터 9월 30일까지 수행하였다. 연구 지역은 1996년 4월 23일부터 4월 25일까지 1차로 산불이 발생하여 수목이 완전히 제거되었으며 1997년에 복원을 위하여 소나무를 식재하였다. 그러나 동일 지역에서 2000년 4월

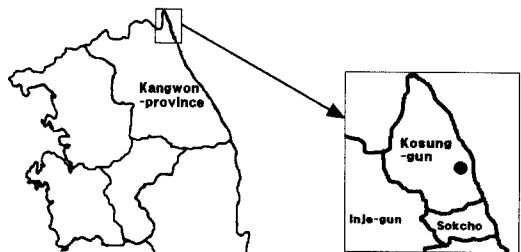


Fig. 1. Location of the study area.

7일에서 4월 11일에 걸쳐 2차로 산불이 발생하여 복원한 수목이 모두 불에 타서 지표면이 노출된 나지 상태로 되었다.

## 2. 실험 I

### 시험구 설치

시험구는 연구지역에서 경사면을 따라 1.2m × 10m가 되도록 네 곳을 선정한 후 높이 20cm의 판자를 이용하여 설치하였다. 시험구 아래쪽에는 시험구에서 발생한 모든 유거수를 지름 10cm의 PVC 파이프를 이용하여 수집할 수 있도록 용량 750L인 플라스틱 용기를 두개씩 연결하여 만든 유거수 수집용기를 매설하였다(Fig. 2). 시험구를 설치한 후 네 곳의 시험구에 PG를 0, 5, 7.5, 10 ton/ha가 되도록 표면에 살포하였다.

본 연구에서 시험구의 설치는 예정된 장마개시 직전에 완료하였으나 2000년 장마가 마른 장마로 끝나서 예정되었던 장마기간에는 연구를 거의 수행할 수 없었다. 그러나 예년과는 달리 장마기간이 지난 후에도 폭우를 동반한 잦은 태풍 때문에 연구 수행에 어려움이 없었다.

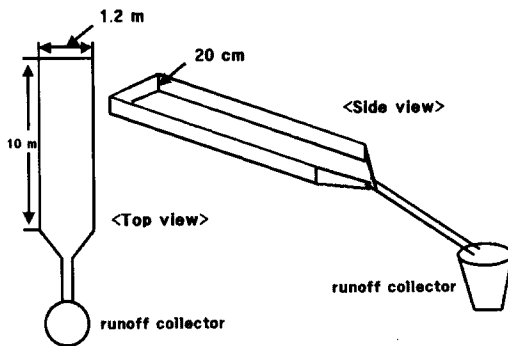


Fig. 2. Schematic diagram of the runoff collector used for the study.

### 강우량, 유거수량, 토양유실량 측정

연구기간중 유거수량 및 토양유실량을 측정할 정도로 비가 온 것은 총 일곱 차례로 그 일정은 다음과 같았다 : 1차(7월 29일 - 7월 31일), 2차(8월 4일 - 8월 6일), 3차(8월 17일), 4차(8월 19일 - 8월 21일), 5차(8월 24일 - 8월 25일), 6차(8월 26일 - 8월 27일), 7차(8월 31일 - 9월 1일).

강우량, 유거수량, 토양유실량은 총 7회에 걸쳐 측정하였다. 시험구에 대한 강우량은 인접한 속초기상대의 자료를 참고하기는 하였으나 국지기상의 차이를 고려하여 시험구 주변에 세 개의 우량계를 설치하고 매 강우시 강우량을 측정하였다. 유거수량은 유거수 수집용기에 수집된 유거수를 용기에 표시된 수치로 확인하였다. 토양유실량 측정을 위해서는 이론상으로는 수집된 전체 유거수를 건조시켜 양을 측정해야 하나 현실적인 어려움으로 인하여 각 용기에서 매 강우시 수집된 유거수를 격렬하게 교반한 후 이 중 2L를 취하고 105℃에서 건조시켜 다음 식으로 총 토양유실량을 구하였다.

$$\text{총 토양유실량} = (105^\circ\text{C로 건조한 유거수 2L 무게}) \times (\text{총 유거수량}/2\text{L})$$

### 토양경사도

토양 경사도는 handwaterpas(Eijkelpas, Netherlands)를 사용하여 측정하였다.

### 토양시료 채취 및 분석

토양시료는 표토(0 - 20cm)와 심토(20 - 40cm)를 채취하여 풍건시키고 2mm 체를 통과한 시료를 분석용 시료로 이용하였다. 토양시료의 pH(1 : 5)와 전기전도도(electrical conductivity, 1 : 5)는 유리전극법(Thomas, 1996), 입경분석은 micro-pipette법(Miller와 Miller, 1987), 유기물 함량은 Walkeley-Black법(Nelson과 Sommers, 1996), 양이온 치환용량은 1N 초산 암모니아법(Sumner와 Miller, 1996), 치환성 양이온인 Ca, Mg, K 함량은 1N 초산 암모니아법(Helmke와 Sparks, 1996), 전질소는 Kjeldahl 분해법(Bremner, 1996), 유효인산은 Bray No. 1법(Kuo, 1996)으로 각각 분석하였다.

## 3. 실험 II

### PG 시용에 따른 토양 및 유거수의 산성화 가능성

실험 I에 이용한 시험구와는 별도로 인근의 다른 경사면에 면적이 각각 300m<sup>2</sup>인 두 곳의

시험구를 선정하고 경계면을 표시하였다. 이중한 시험구에 PG를 5ton/ha가 되도록 표면에 사용하고 두 시험구에서 토양을 깊이별로 채취하여 건조 후 pH(1:5) 및 EC(1:5)를 측정하였다. 분석을 위한 토양시료 채취는 총 다섯 차례로 그 일정은 다음과 같았다: 1차(PG 처리 전, 7월 2일), 2차(8월 6일), 3차(8월 18일), 4차(9월 3일), 5차(연구 종료 후, 10월 2일).

### III. 결과 및 고찰

실험I 및 실험II에 이용한 PG의 성분은 Table 1과 같다. PG중  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 함량은 93% 이상이며 PG의 pH는 인산제조시 인광석에 가하는 황산과 제조된 인산 중 미처 회수되지 못한 산의 영향으로 매우 낮았다. 그러나 이 pH는 완충능이 없는 pH이므로 토양에 가하더라도 토양 pH의 변화에는 별 영향이 없을 것으로 예상하였다.

#### 1. 실험 I

시험구의 경사도와 이화학적 성질

Table 2에 시험구의 경사도를 나타내었다. 시험구중 대조구의 경사도는  $15.3^\circ$ 로 네 곳의 시험구중 가장 완만하였고 PG 처리구의 경사도

Table 1. Chemical composition of the PG used for the study.

pH	Composition (%)			
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
2.0 - 2.5	>93	2.3 - 4.5	0.7 - 1.6	0.07 - 1.60

Table 2. The slope of the study area.

Treatment	Control	5 ton/ha	7.5 ton/ha	10 ton/ha
Degree(°)	15.31	17.14	17.68	18.21

Table 3. Chemical properties of the soil.

	pH(1:5)	EC(1:5)	Organic matter	Total N	Available P	CEC	Ca	Mg	K	Na
		$\mu\text{S/cm}$	%		mg/kg			cmol/kg		
Topsoil	4.92	28.65	1.45	0.06	4.19	9.68	0.84	0.64	0.30	0.33
Subsoil	5.02	22.05	0.71	0.05	3.85	6.55	0.66	0.62	0.26	0.37

는 대조구보다 다소 높았으며 10ton/ha의 처리구에서  $18.2^\circ$ 로 경사가 가장 급하였다. 시험구마다 경사가 다른 것은 본 연구를 위하여 경사면을 인위적으로 조성한 것이 아니라 자연상태의 경사면을 이용했기 때문이다.

토성은 sand가 50% 이상이며 상대적으로 점토함량이 낮은 사양토이고, pH는 우리 나라 일반 미경작 산지토양과 비슷한 수준이었다(Kim 등, 1995). 시험구의 토양 분석결과는 우리 나라 일반 미경작 산지토양에 비해 유기물 함량, 유효인산 함량, 양이온 치환용량이 낮은 것으로 측정되었다. 유기물 함량이 낮은 것은 두 차례의 산불로 유기물이 모두 연소되었기 때문이고 양이온 치환용량이 낮은 이유는 양이온치환용량을 구성하는 양대 요소인 점토함량과 유기물 함량 중 유기물 함량이 낮기 때문에 우리 나라 일반 미경작 산지 토양보다 낮은 것으로 보인다. 또한 우리 나라 일반 미경작 산지토양과 비교하여 볼 때 Ca의 함량은 1/3정도로 낮았고 Mg와 K의 함량은 비슷한 수준을 보였다(Table 3).

#### 유거량

산불지역의 경사지에 PG를 사용한 결과 처리구의 유거수량은 대조구에 비해 적었다(Table 4). 이는 PG처리로 토양중 ionic strength가 증가하여 입자의 분산이 감소하고 응집이 증가한 결과 빗물의 침투(infiltration)가 증가하고 이에 따라 유거수량이 감소한 것으로 보인다. 이 결과는 석고의 표면 처리를 통한 토양 표면의 전해질 농도를 높임으로써 토양 응집을 유발하여 빗물의 침투가 증가하였다는 Flanagan(1997)의 실험결과와 일치하였다. 시간이 경과할수록 7.5ton/ha 처리구 및 10ton/ha 처리구에서의 유거량은 대조구에 비해 현저하게 감소하였다. 전체 유거수

**Table 4.** Runoff volume according to treatments and number of sampling.

No. of sampling \ Treatment	Precipitation (mm)	Control	5 ton/ha	7.5 ton/ha	10 ton/ha
		L			
1	151	295	330	225	225
2	36	35	35	30	30
3	81	225	220	125	130
4	125	300	300	175	190
5	135	560	530	350	340
6	77	205	200	110	110
7	265	950	800	750	650
Sum	870	2570	2415	1765	1675

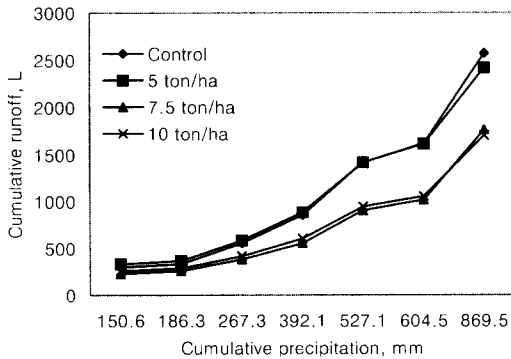
량은 대조구에 비하여 각각 7%(5ton/ha 처리구), 31%(7.5ton/ha 처리구), 35%(10ton/ha 처리구)의 감소율을 나타내었다. 전체 유거수량은 대조구에 비하여 5ton/ha 처리구에서는 감소율이 확인하였으나 7.5ton/ha 처리구와 10ton/ha 처리구간에는 별다른 차이를 보이지 않았다. 이는 토양 표면의 이온 농도가 어느 한계에 도달하면 토양 응집 효과가 더 이상 증가하지는 않는 이유인 것으로 보인다. 한편, 응집이 되기 위해서는 토양표면의 화학적 농도가 어느 수준에 이르러야 한다는 연구 결과도 있다(Flanagan, 1997).

누적 강우량과 유거수량과의 관계를 나타낸 Fig. 3에 따르면 대조구와 처리구간 유거수량의 차이가 PG 처리량이 증가할수록 증가하였지만 5ton/ha 처리구에서는 대조구와 큰 차이가 없었다. 이는 시험구 설치 후 시료 채취·분석이 필요했던 일곱 차례에 걸친 강우의 강도(intensity)

가 강하였기 때문에 시용한 PG도 토양과 함께 유실되어 상대적으로 적은 양의 PG 사용으로는 효과가 없었기 때문으로 판단된다(Fig. 3).

**토양유실량**

Table 5에 PG를 처리한 시험구의 누적 토양 유실량을 나타내었다. PG를 처리한 시험구의 토양유실량은 대조구에 비하여 현저하게 감소하였다. 이는 석고처리 후 빗물의 침투가 증가하고 이로 인한 유거수량이 감소함에 따라 토양 침식이 감소한 것으로 볼 수 있다. 반면, 석고의 효과는 강우의 강도가 높은 여름철에 비해 강우의 강도가 낮은 겨울철에 효과가 뛰어나다는 보고가 있다(Zhang 등, 1997). 전체 총 토양유실량은 대조구에 비하여 44%(5ton/ha 처리구), 53%(7.5ton/ha 처리구), 77%(10ton/ha 처리구)가 각각 감소하였다.



**Fig. 3.** Relationship between cumulative precipitation and cumulative runoff.

**Table 5.** Soil loss according to treatments and number of sampling.

No. of sampling \ Treatment	Control	5 ton/ha	7.5 ton/ha	10 ton/ha
	g			
1	2,859	2,807	1,560	3,110
2	470	539	251	162
3	1,762	1,302	636	300
4	537	708	524	159
5	13,507	7,280	4,043	1,158
6	221	241	123	83
7	4,712	3,068	4,095	2,899
Sum	24,068	15,945	11,232	7,871

토양유실량은 유거수량에 비하여 대조구 및 각각의 처리구에서 PG 시용효과 차이가 확연하였는데, 이는 유거수량과 토양유실량이 반드시 비례하지는 않는다는 것을 보여준다(Fig. 4).

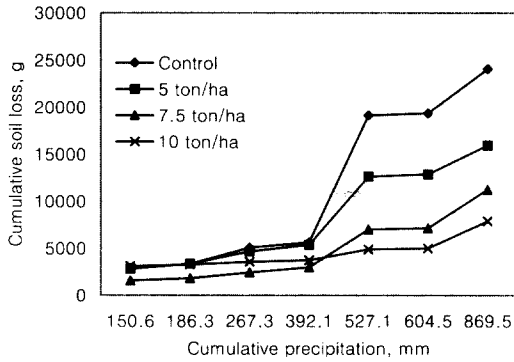


Fig. 4. Relationship between cumulative precipitation and cumulative soil loss.

유거수의 pH, EC 변화

유거수의 pH는 시용한 PG의 pH(2.0~2.5)가 매우 낮음에도 그다지 큰 변화를 보이지 않았다(Table 6). 이는 시용한 PG의 pH가 완충능이 없는(unbuffered) pH라는 이유와 많은 양의 비로 시용한 PG중 황산 또는 인산이 희석된다는 이유로 설명할 수 있다.

유거수의 EC는 초기 석고를 투여했을 경우 대조구에 비해 처리구에서 높게 나타났는데 이는 높은 강도의 강우에 의해 석고가 씻겨 내려간 것을 의미하는 것이다(Table 7). 반면, 초기

유거수의 EC는 5ton/ha, 7.5ton/ha가 10ton/ha 보다 높았으나 3차 이후부터는 10ton/ha 처리구 유거수의 EC가 높게 유지되었다. 또한, 7차까지의 처리구의 유거수 EC는 대조구에 비해 높았으며 10ton/ha의 경우 지속적으로 높은 수치를 나타내는 것으로 보아 효과가 지속되는 것을 알 수 있었다.

Table 7. EC change of runoff according to treatments and number of sampling.

No. of sampling	Treatment			
	Control	5 ton/ha	7.5 ton/ha	10 ton/ha
1	16	1843	2240	2180
2	39	1525	1114	1362
3	14	688	498	750
4	9	139	150	261
5	6	103	131	279
6	9	56	61	95
7	10	37	73	159

2. 실험 II

토양처리후 pH 및 EC 변화

토양에 PG를 시용한 후 시간 경과에 따른 토양 pH의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. PG 처리 전 대조구의 pH가 처리구의 pH에 비하여 표토와 심토에서 각각 0.2, 0.3 높았다는 점을 감안하면 처리구의 pH가 대조구에 비하여 초기에 계속 낮게 변화하는 것을 이해할 수 있다. 그러나 처리구의 pH는 점차 증가하여 시간이 지남

Table 6. pH change of runoff according to treatments and number of sampling.

No. of sampling	Treatment			
	Control	5 ton/ha	7.5 ton/ha	10 ton/ha
1	5.33	4.94	5.13	5.19
2	5.39	5.42	5.57	5.97
3	5.00	4.75	4.99	5.31
4	5.33	4.83	5.35	5.29
5	5.20	4.82	4.97	4.15
6	5.38	5.28	5.67	5.11
7	5.28	5.06	4.98	5.01
Average	5.27 ± 0.14*	5.01 ± 0.25	5.24 ± 0.29	5.15 ± 0.54

\* Means ± SD from 7 sets of samples.

에 따라 대조구와 거의 차이가 없어지는 것을 알 수 있다. 이는 시용한 PG의 pH가 완충능이 없는(unbuffered) pH라는 이유와 시용한 PG가 토양과 작용하여 pH가 증가하는, 이른바 “self-liming effect” 현상 두 가지 이유로 설명할 수 있다. “self-liming effect”란 석고의  $SO_4^{2-}$ 가 토양 중 OH와 치환되어  $Ca(OH)_2$ 를 형성하고 이것이 석회와 같은 작용으로 pH를 증가시키는 것이다 (Summer, 1993).

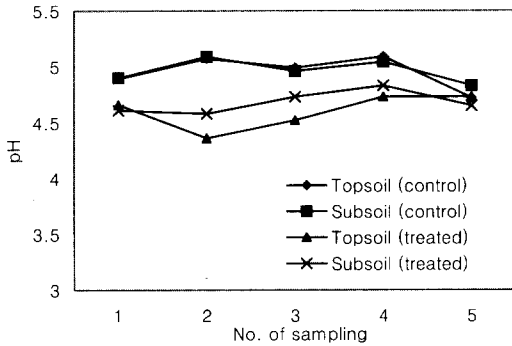


Fig. 5. Change of soil pH over time.

PG를 토양에 처리한 후 토양의 EC변화를 Fig. 6에 나타내었다. PG 처리구 토양의 EC는 대조구의 EC에 비하여 처리 초기에 표토, 심토에서 모두 높게 나타났고 시간이 흐를수록 급격히 감소하기는 하였지만, 지속적으로 표토와 심토에서 모두 대조구보다 높게 유지되었다. 처리 초기에 심토에서의 EC가 증가한 것은 연구기간 중 많은 강우량과 PG의 높은 용해도로 인하여 PG가 토양 심층까지 이동한 것으로 볼 수 있다. 그러나 시간이 경과함에 따라 심토의 EC가 감소한 까닭은 심토 PG의 공급원인 표토 PG가 유실 또는 용탈(leaching)되어 더 이상 심토로의 PG 공급은 없는 반면 심토중 PG는 용탈되어 더욱 아래층으로 이동하였기 때문으로 판단된다. 토양의 EC는 처리 전·후 모두 식물의 생육을 저해하는 수준인 4dS/m(4,000µS/cm) 보다 현저하게 낮은 수준이므로 PG 처리의 영향으로 EC가 증가하고 이로 인하여 식물 생육에의 악영향 가능성은 없는 것으로 볼 수 있다.

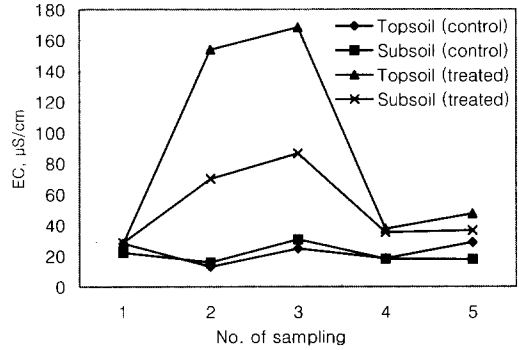


Fig. 6. Change of soil EC over time.

#### IV. 결 론

##### 유거수량

1, 2차 강우시까지는 유거수량간에 큰 차이를 보이지 않았으나 PG가 용해되어 토양에 흡수되면서 빗물의 침투(infiltration)가 차이를 보이면서 유거수량의 차이가 나타나기 시작하였다. 7차까지의 총유거수량은 대조구에 비하여 5ton/ha, 7.5ton/ha 및 10ton/ha 처리구에서 각각 7%, 31%, 35% 감소하였다.

##### 토양유실량

7차까지의 총토양유실량은 대조구에 비하여 5ton/ha, 7.5ton/ha 및 10ton/ha 처리구에서 각각 34%, 53%, 67% 감소하였다.

##### pH

pH가 매우 낮은 PG의 처리에도 불구하고 처리구 토양 및 유거수의 pH는 대조구 토양 및 유거수의 pH와 별다른 차이를 보이지 않은 것으로 보아 PG의 시용에 따른 토양 및 계류수 pH의 변화는 거의 없을 것으로 보인다.

##### EC

PG 처리에 따라 유거된 빗물의 EC는 높은 것으로 측정되었고 그 수치가 7차까지 높은 것으로 보아 PG가 연구기간중 내린 많은 양의 강우에도 불구하고 아직 토양에 존재하면서 지속적인 효과를 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

## 인 용 문 헌

- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. p. 1085-1122. In : D.L. Sparks et al. (ed.) Methods of soil analysis part 3 : chemical methods. SSSA book series 5. SSSA and ASA, Madison, WI.
- Flanagan, D.C., L.D. Norton, and I. Shainberg. 1997. Effects of Water Chemistry and Soil Amendments on a Silt Loam Soil - Part 1 : Infiltration and Runoff. Transactions of the ASAE. 40(6) : 1549-1554.
- Helmke, P.A. and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. p. 551-574. In : D.L. Sparks et al. (ed.) Methods of soil analysis part 3 : chemical methods. SSSA book series 5. SSSA and ASA, Madison, WI.
- Kim, K.H., J.Y. Yun, and S.H. Yoo. 1995. Distribution of Cs-137 and K-40 in Korean Soils. The Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer 28(1) : 33-40.
- Korea Forest Service. 2000. 산불정보 [Online]. Available at <http://www.foa.go.kr/> (verified 11 Nov. 2000.)
- Kuo, S. 1996. Phosphorus. p. 870-919. In : D.L. Sparks et al. (ed.) Methods of soil analysis part 3 : chemical methods. SSSA book series 5. SSSA and ASA, Madison, WI.
- Miller, W.P. and Miller. D.M. 1987. A micro pipette method for soil mechanical analysis. Communications in Soil Science and Plant Analysis 18 : 1-15.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In : A.L. Page (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agronomy 9 : 961-1110.
- Ritchey, K.D., R.B. Clark, Moustafa A. Elrashidi, and V.C. Baligar. 2000. Properties and Examples of Beneficial Use of Gypsumlike By-products. p. 537-565. In : J.M. Bartels et al. (ed.) Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-products. SSSA book series 6. SSSA and Madison, WI.
- Shainberg, I., M.E. Sumner, W.P. Miller, M.P.W. Farina, M.A. Pavan, and M.V. Fey. 1989. Use of Gypsum on Soils : A Review. Advances in Soil Science. 9 : 1-111.
- Sumner, M.E. 1993. Gypsum and Acid Soils : The World Scene. Advances in Agronomy 51 : 2-31.
- Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. p. 1201-1230. In : D.L. Sparks et al. (ed.) Methods of soil analysis part 3 : chemical methods. SSSA book series 5. SSSA and ASA, Madison, WI.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In : D.L. Sparks et al. (ed.) Methods of soil analysis part 3 : chemical methods. SSSA book series 5. SSSA and ASA, Madison, WI.
- Zhang, X.C. and W.P. Miller. 1996. Physical and Chemical Crusting Processes Affecting Runoff and Erosion in Furrows. Soil Sci. Soc. Am. J. 60 : 860-865.
- Zhang, X.C., W.P. Miller, M.A. Nearing, and L.D. Norton. 1997. Effects of Surface Treatment on Surface Sealing, Runoff, and Interrill Erosion. Transactions of the ASAE. 41(4) : 989-994.