

## Geo-textile 피복자재가 인공비탈면 안정에 미치는 영향(1)\*

-식생변화, 유출수량, 부유물질량 및 토사유출 변화를 중심으로-

염규진<sup>1)</sup> · 문진희<sup>1)</sup> · 江崎次夫<sup>2)</sup> · 전근우<sup>3)</sup>

## Effect of environment-favored Geo-textile mulching sheet on artificial slope\*

- With Vegetation growth, Runoff-water, Suspended Sediment, Sediment Yield -

Kyu-Jin Yeom<sup>1)</sup>, Jin-Hee Moon<sup>1)</sup>, Tsugio Ezaki<sup>2)</sup> and Kun-Woo Chun<sup>3)</sup>

### 요 약

인공 비탈면에 있어서 Geo-textile 소재의 피복자재가 유출수량, 부유물질량, 유출토사 및 식생생육에 미치는 영향을 파악한 결과는 다음과 같다.

1. 식생의 종류조성은 12과 21속 20종 2변종 총 22종류였으며, Geo-textile 소재의 피복자재가 파종종자의 개체수 및 시험구의 피복율을 증가시키는데는 효과적이었지만 비탈면 녹화에는 한계가 있는 것으로 나타났다.
2. 유출수량은 강우량에 비례하여 증가하였고 피복자재구가 미설치구보다 최대 1/15.5배 저감되었다.
3. 부유물질량과 유출토사량은 강우량에 비례하여 증가하였다. 피복자재구가 미설치구보다 각각 최대 1/47, 1/151배로 저감되어 피복자재가 부유사 및 토사의 유출억제에 매우 효과적인 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

The effects that the geo-textile mulching sheet has influenced on the runoff-water, suspended solid, sediment yield and vegetation growth are as follows in artificial slope.

1. The flora of plots was composed 12 families, 21 genera, 20 species, 2 varieties, total 22 taxa.
2. The geo-textile mulching sheet is effective on increasing of introduced vegetation population, number of species and vegetation coverage, but just only with the mulching sheet it shows limit of was somewhat difficult to expect the increase of the existence ratio.

※ 이 논문의 일부는 1997년부터 2002년까지 농림부에서 지원받은 농림기술개발사업 첨단기술개발과제 (연구과제명 : 임도비탈면 안정을 위한 피복자재 및 녹화공법개발)에 의해 진행되었음.

- 1) 강원대학교 대학원 임학과: Department of Forestry, Graduate School, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.
- 2) 日本, 愛媛大學 農學部: College of Agriculture, Ehime University, Matsuyama, Ehime 790-8566, Japan.
- 3) 강원대학교 산림과학대학 산림자원학부: Division of Forest Resources, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

3. The amount of runoff-water increased in proportion to rainfall and at mulched plots were about 1/15.5 as decreased as that of un-mulched plots.
4. The amount of suspended sediment increased in proportion to rainfall and at mulched plots were about 1/47 as decreased as that of un-mulched plots.
5. Also, the amount of sediment yield increased in proportion to rainfall and at mulched plots were about 1/151 as decreased as that of un-mulched plots. so, multi-function- filter is very effective on prevention of soil erosion.

**Key words** : artificial slope, geo-textile mulching sheet, runoff-water, suspended sediment, sediment yield, vegetation growth

## I. 서론

인구증가와 산업화·도시화에 따른 택지 및 공간 조성, 각종 도로의 신설, 확장 등 일련의 지형 개편이 계속적으로 진행되어 자연파괴에 의한 환경훼손이 사회문제로 대두되고 있으며, 이에 대한 대책 마련이 강하게 요구되고 있다. 특히, 최근에는 기상변동에 따른 국지적 집중호우 및 태풍에 의해 산사태와 같은 자연적인 재해와 산불 및 각종 개발에 따른 붕괴·붕락과 같은 인위적인 재해가 발생하여 각종 토사재해가 큰 문제로 대두되고 있다.

따라서 국내에서도 환경복원 및 토사재해 방지를 위한 다양한 녹화공법이 개발되고 있으나 현장에서 적용되는 공법의 종류 및 적용대상지는 한정적이며, 그 효과 및 경제성에 대해서도 해결되어야 할 문제점이 많다. 한편 강원대학교 산림공학연구실에서는 친환경적 소재인 Geo-textile 소재의 피복자

재를 이용하여 훼손지를 조기에 복구하고, 발생 가능한 토사재해를 사전에 방지, 최소화하며, 시공이 간편하고 경제성있는 공법을 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다(염규진, 1999; 박완근 등, 1998; 전근우와 염규진, 1998; 전근우 등, 1998a, 1998b, 1998c, 1999a, 1999b, 1999c, 2001a, 2001b, 2001c, 2001d, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2003, 2003a). 이 논문은 Geo-textile 소재의 피복자재를 이용한 공법 개발 연구결과 중에서 절토비탈면 적용실험의 결과를 요약한 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험구 위치, 제원 및 조사구별 처리방법

시험구는 강원도 춘천시 효자2동 강원대학교

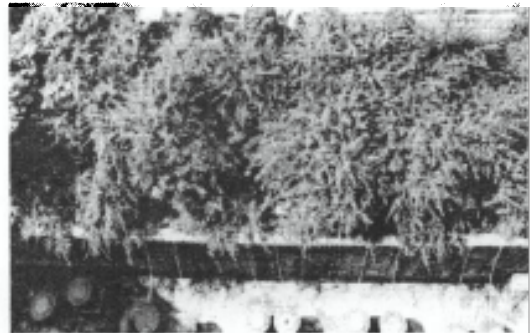
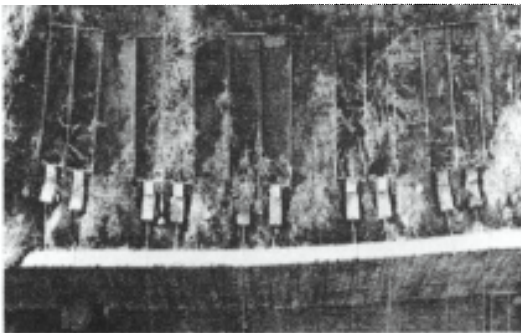


Figure 1. A complete view of survey area(Left : 1999, Right : 2002)

산림과학대학 2호관 배면에 위치한 마사토질의 절토 비탈면에 조성하였다.

시험구는 2개의 시험구가 한 조가 되도록 총 8개의 시험구를 조성하였으며, 시험구의 입지조건은 경사 31°, 토양은 마사토이고, 방위는 남서향이다(그림 1). 도입식생은 우리나라 재래종으로 비탈면에 잘 생육하는 목·초본 중에서 경관을 고려하여 각각 개화시기가 다른 수종들을 선정하고, 종묘상과 현지채취방법으로 종자를 확보하여 실험에 사용하였다(표 1). Geo-textile 소재의

피복자재는 폴리에스테르로 제작된 net와 공극률 97~98%인 부직포로 구성되어 있으며, 생분해되는 소재로 제작되어 있다.

### 3. 조사방법 및 조사기간

식생조사는 식물의 성장이 가장 왕성한 9~10월 중에 현지기입방법으로 종수, 피복율 및 개체수를 조사하였고, 식생의 분류체계는 이창복(1979)의 대한식물도감에 준하였다.

Table 1. Treatment of each plot.

Plot	Introduction Seed Name	Amount of introduction seed
1	Bare land	--
2	Bare land + Geo-textile mulching sheet	--
3	<i>Indigofera pseudo-tinctorica</i>	500
	<i>Iris nertschinskia</i>	"
	<i>Pulsatilla koreana</i>	"
	<i>Lespedeza cuneata</i>	"
4	Vegetation( <i>Ip, In, Pk, Lc</i> ) + Geo-textile mulching sheet	"
5	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	500
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	"
6	Vegetation( <i>Rs, Lcy</i> ) + Geo-textile mulching sheet	"
7	<i>Aster scaber</i>	500
	<i>Iris nertschinskia</i>	"
	<i>Pulsatilla koreana</i>	"
	<i>Capesella bursa-pastoris</i>	"
	<i>Indigofera pseudo-tinctorica</i>	"
	<i>Lespedeza cuneata</i>	"
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	"
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	"
	<i>Spiraea trichocarpa</i>	100
	<i>Spiraea blumei</i>	"
	<i>Lindera obtusiloba</i>	"
<i>Aquilegia buergeriana</i> var. <i>oxysepala</i>	250	
<i>Staphylea bumalda</i>	90	
8	Vegetation( <i>As, In, Pk, Cb, Ip, Lc, Rs, Lcy, St, Sb, Lo, Abo, Sbu</i> ) + Geo-textile mulching sheet	"

강우자료는 춘천기상대의 자료 및 강원대학교 산림과학대학 2호관 옥상에 설치한 우량계의 측정자료를 이용하였고, 유출수의 채취는 1차 집수통(49ℓ)과 이를 월류하는 유출수를 채취하기 위한 2차 집수통(350ℓ)의 유출수를 혼합하여 측정하였다.

유출수의 부유물질의 측정은 유리섬유여과지(GF/C)를 증류수로 세척한 다음 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 동안 건조한 후, Desiccator에서 30분간 안정시키고 여과지의 무게를 정밀하게 측정하였다. 이어서 무게를 측정된 여과지를 Vacuum Filter Assembly를 사용하여 50ml의 시료를 여과시키고, 다시 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조한 후 Desiccator에서 30분간 안정시킨 후에 여과지의 무게를 측정하여 여과 전·후의 유리섬유여과지의 무게 차로 부유물질농도를 식 (1)의 방법으로 산정하였으며, 전체 유출된 부유물질총량은 ml당 부유물질 농도를 유출수량에 곱하여 구하였다.

$$S.S = (b-a) \cdot \frac{1000}{V} \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

각 강우별로 유출토사량은 1차 집수통에 유출되어 있는 토사를 채취하고, 실내에서 1~2일간 기건 시킨 후 75℃의 건조기에서 48시간 동안 건조된 무게를 측정하였다.

조사기간은 1998~2002년까지로 각 시험구의 식생, 유출수량, 부유물질 및 유출토사량을 조사하였으나 2001년부터는 시험구내의 식생변화가 거의 발생하지 않아 2000년까지 3년간의 식생자료를 중심으로 분석하였으며, 부유물질량과 유출토사량은 2002년 이후에는 거의 유출되지 않아

2001년까지 4년간의 결과를, 그리고 유출수량은 2002년까지의 결과를 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 식생변화

##### 1) 식생 종류조성

2000년도에 각 시험구내의 식생을 조사한 결과 식물종류조성은 12과 21속 20종 2변종 총 22종류로 양치식물, 나자식물은 전혀 출현하지 않았다. 파종종자를 제외한 침입식생의 우점종은 매듭풀, 사철쭉, 고들빼기 및 썩 순으로 비탈면에 나타나 이들 국화과 식물의 녹화용식물로서 이용 가능성이 매우 높은 것으로 판단되었다(표 2).

##### 2) 개체수 변화

각 시험구의 개체수를 조사한 결과, 시험구 개설 초년도에는 피복자재가 파종종자의 발아환경 개선에 영향을 미쳐 대부분 피복자재 설치구의 개체수가 높았으나, 2년차부터는 나지구인 조사구 1, 3 및 5에 매듭풀 등과 같은 침입식생의 개체수가 크게 증가하여 피복자재 설치구보다 나지구에서 개체수가 증가하는 경향이 나타났다(그림 2). 그러나 이러한 식생은 1년초이고 체적이 작은 식물이기 때문에 밀생하지 않으면 비탈면의 피복 및 지표고정 효과가 크지 않아 비탈면의 안정에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 사료되었다.

피복자재 설치구와 나지구의 개체수는 모두 경과년수에 비례하여 증가하는 경향이 나타났으나, 피복자재 설치구가 나지구에 비해 증가율이 상당히 낮게 나타났다. 이는 시험구 4와 8의 경우 파

Table 2. The abridged list of the plants in survey area.

Taxa/ System	Fam.	Gen.	Sp.	Subsp.	Var.	For.	Hyb.	Total
Pteridophyta	-	-	-	-	-	-	-	-
Gymnospermae	-	-	-	-	-	-	-	-
Angiospermae	12	21	20	-	2	-	-	22
Total	12	21	20	-	2	-	-	22

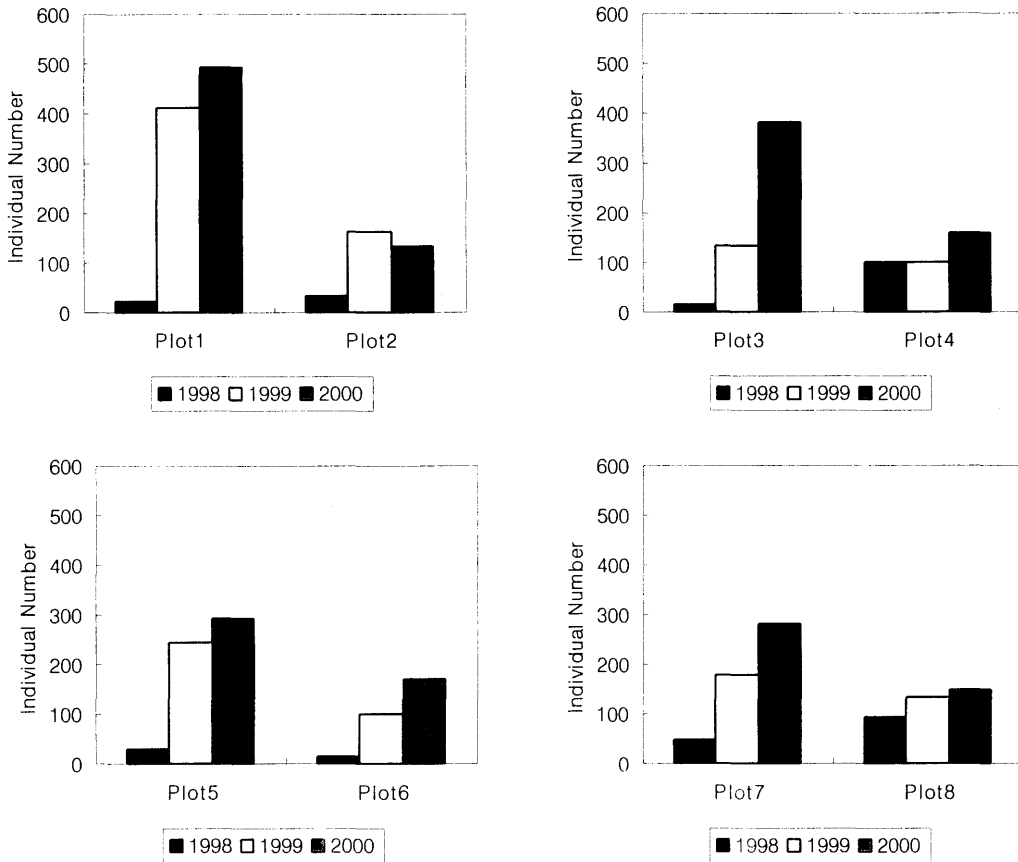


Figure 2. The variation of total population in each plot.

종종자인 낭아초의 생장이 매우 우수하여 주변식생의 침입을 차단하거나 시험구내 식생피압에 의한 것이며, 시험구 2와 6의 경우는 피복자재가 침입식생의 활착을 저해하였기 때문이다. 따라서 향후 피복자재의 두께 및 구조를 개선하여 침입식생의 활착을 촉진시키는 방안이 마련되어야 할 것이다.

### 3) 피복을 변화

모든 시험구에서 시간이 경과함에 따라 침입 및 파종식생이 활착함으로 경과년수에 비례하여 피복율이 증가하였으며, 침입식생에 의한 피복율 증가가 낮았던 1999년까지는 목본 파종구인 6번 시험구를 제외하면 피복자재 설치구가 나지구보다 피복율이 높게 나타나 Geo-textile 소재의 피복

자재가 피복율 증가에 효과적인 것으로 판단되었다. 특히 피복자재 설치구인 4번과 8번 시험구의 경우 파종종자인 낭아초의 생장이 우수하여 80% 이상의 높은 피복율을 나타내어 Geo-textile 소재의 피복자재에 적용 가능성이 높은 것으로 판단되었다. 또한 2000년도부터는 사철쭉, 고들빼기 및 쑥 등과 같은 국화과 식물들의 왕성한 생장에 의해 일부 나지구의 경우 급격한 피복율 증가가 나타났다. 시험구 6의 경우 생존율과 초기 성장량이 낮은 목본류를 파종하였다는 점과 파종종자의 비립여부에 크게 영향을 받아 피복자재를 설치구이지만 피복율이 낮게 나타났다(그림 3). 따라서 비탈면 녹화용 목본식물 선정 및 비립종자 선별방법에 관한 연구가 향후 보완되어야 할 것으로 사료된다.

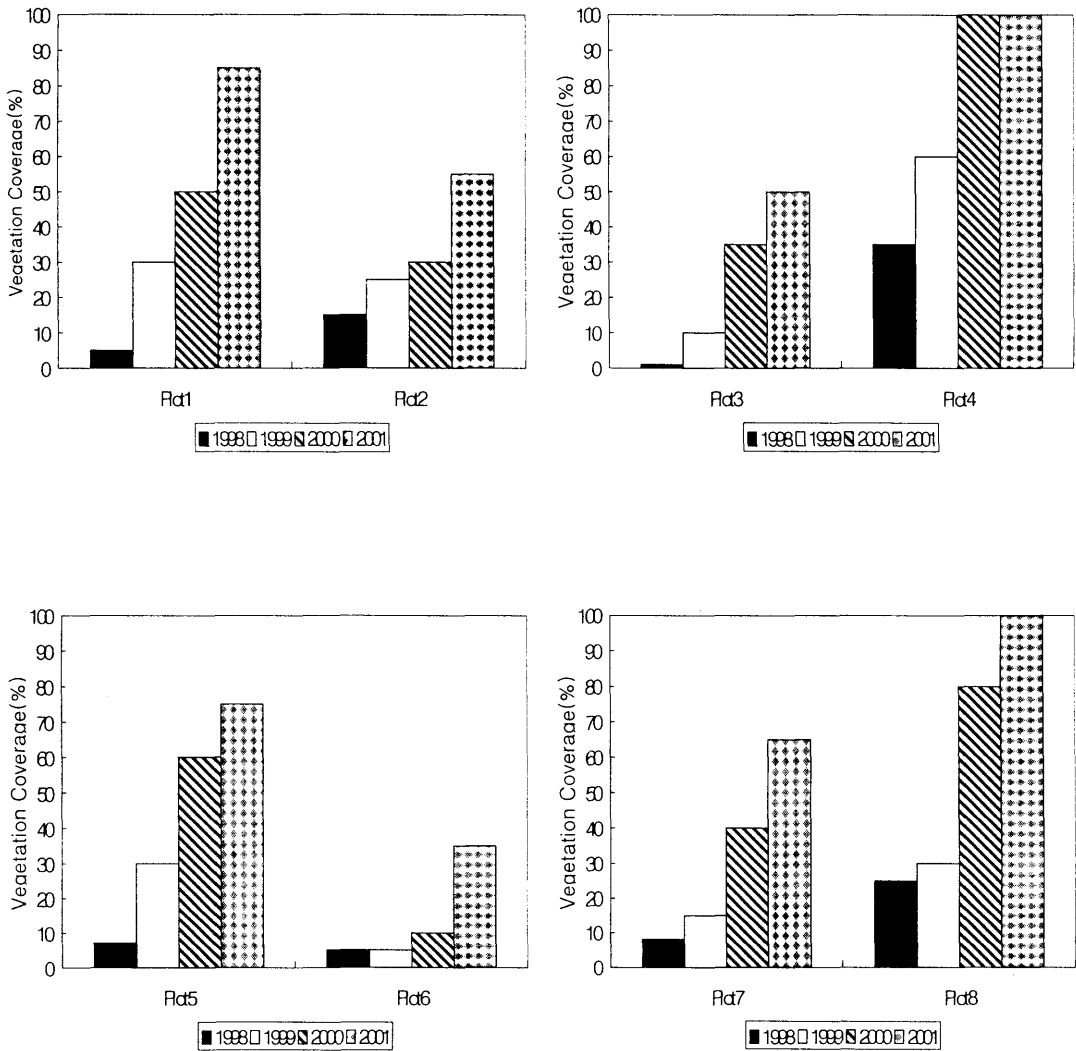


Figure 3. The variation of vegetation coverage in each plot.

## 2. 강우특성

조사기간 중 유출수 및 유출토사가 발생한 강우는 1998년에 10회, 1999년에 18회, 2000년에 17회, 2001년에 8회 및 2002년에 8회로 총 61회 발생하였으며, 강우량의 분포는 최소 5.0mm에서 최대 601.1mm 이었다(그림 4). 이중 일강우량 100mm이상의 집중호우는 매년 1회 이상을

기록하였고, 모두 7~8월중 태풍에 의해 발생한 것으로 점차 이러한 집중호우의 발생횟수가 증가하는 경향이 나타났다. 그러나 상대적으로 집중호우의 발생횟수는 증가하였지만, 시험구에 생육하고 있는 식생 및 비탈면이 안정화하여 2001년부터는 유출수, 부유물질 및 유출토사가 발생하는 강우의 횟수가 점차 감소하는 경향이 나타났다.

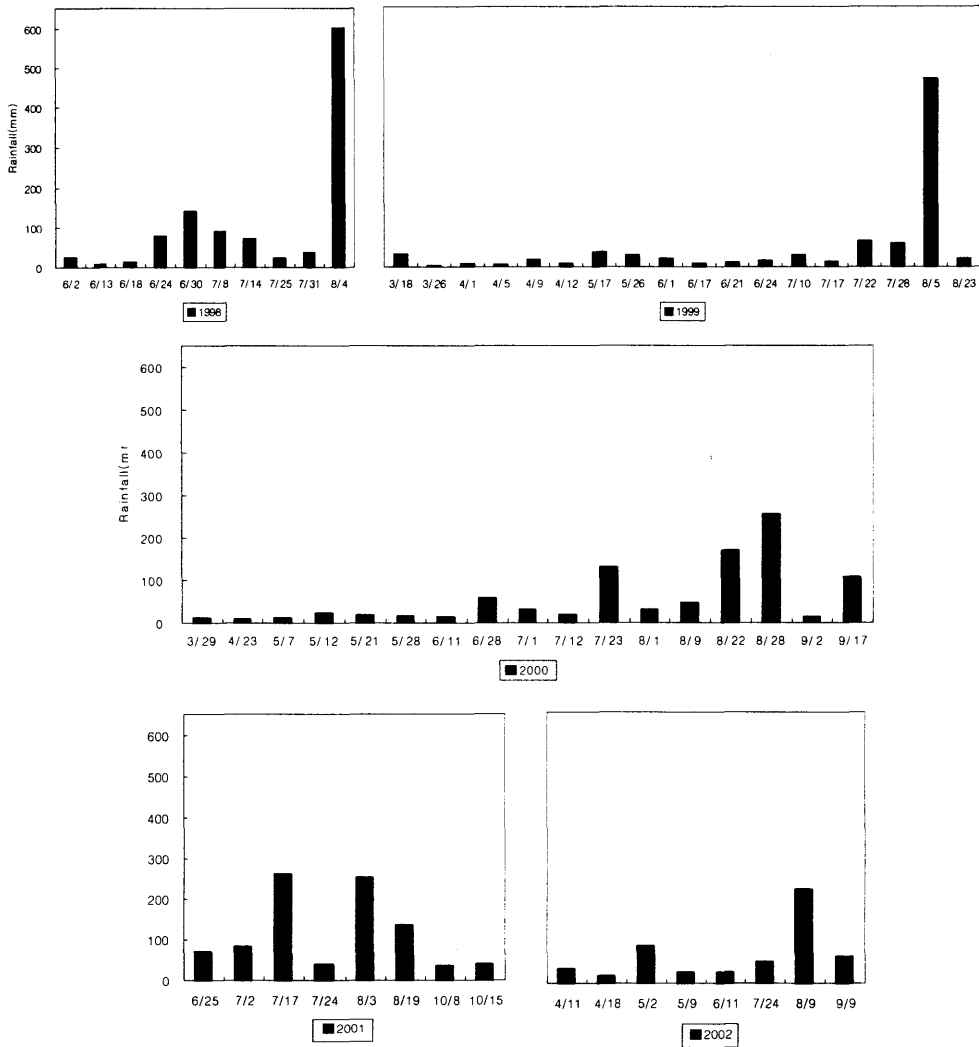


Figure 4. Rainfall period and precipitation.

### 3. 유출수량의 변화

모든 시험구에서 강우량에 비례하여 표면유출 수량도 증가하는 경향이 나타났으며, 5년간의 유출수량은 경과년수가 증가할수록 표면유출수량은 감소하는 경향이 나타났다. 이는 각 시험구내에 생육하고 있는 식생이 점차 성장함에 따라 식생의 강우차단 효과에 의해 강우의 시험구내 유입이 저감되고, 식물의 자체수분흡수량 및 소모량의 증가에 크게 영향을 받은 것으로 판단된다.

또한 시험구 주변 식생의 피복에 영향을 받은 1번과 2번 시험구를 제외하면 전체적으로 피복자재 설치구가 나지구보다 표면유출수량이 최대 1/15.5로 저감되었으며, 연간 총유출수량도 동일한 경향이 나타나 피복자재가 표면유출수의 발생억제에 효과적인 것으로 판단되었다(그림 5). 이는 Geo-textile 소재의 피복자재가 자중의 13배에 해당하는 수분을 쉽게 흡수·보유할 수 있는 다공질 부직포로 제작되었기 때문에 Geo-textile 소재가 수분의 지중침투를 촉진시키는 효과에도 영향을 받은 것으로 판단된다.

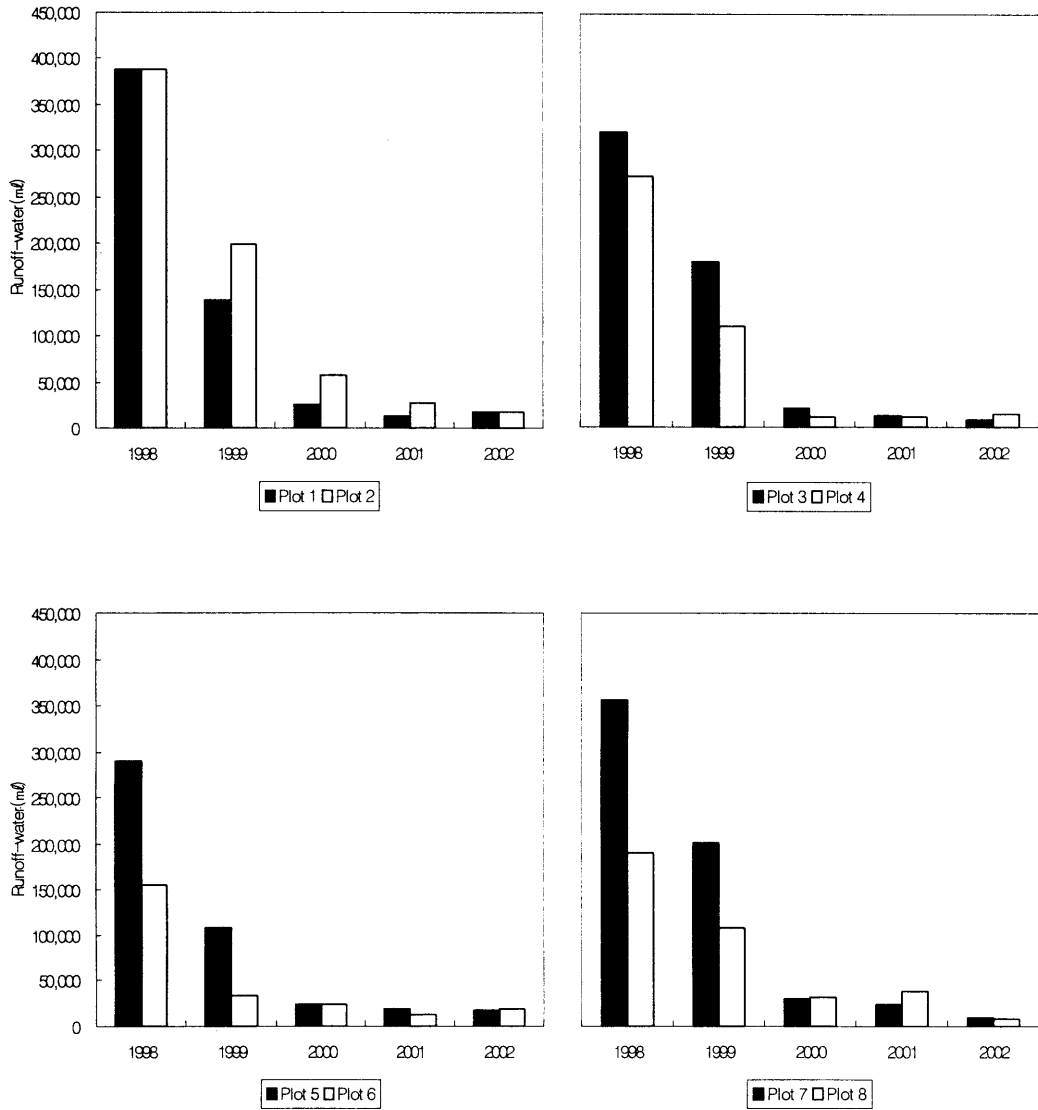


Figure 5. The variation of runoff-water in each plot.

#### 4. 부유물질량 변화

각 강우별 발생 부유물질량을 조사한 결과, 모든 시험구에서 강우량에 비례하여 증가하는 경향이 나타났으며, 연간 총유출량은 시험구 개설 초기에는 총부유물질 발생량이 나지구에 비해 피복자재 설치구에서 최대 1/47로 저감되어 Geo-textile 소재 피복자재가 훼손지의 초기 부

유물질발생 억제능이 뛰어나다는 것을 알 수 있었다(그림 6). 또한 나지구 및 피복자재 설치구가 모두 3년차부터는 시험구내 지표면의 안정과 피복율의 증가로 인해 부유물질의 유출횟수 및 양이 크게 감소하였으며, 피복자재 설치구가 나지구보다 적게 유출되어 피복자재의 부유물질발생 억제효과가 장기간 지속되는 것으로 판단되었다.



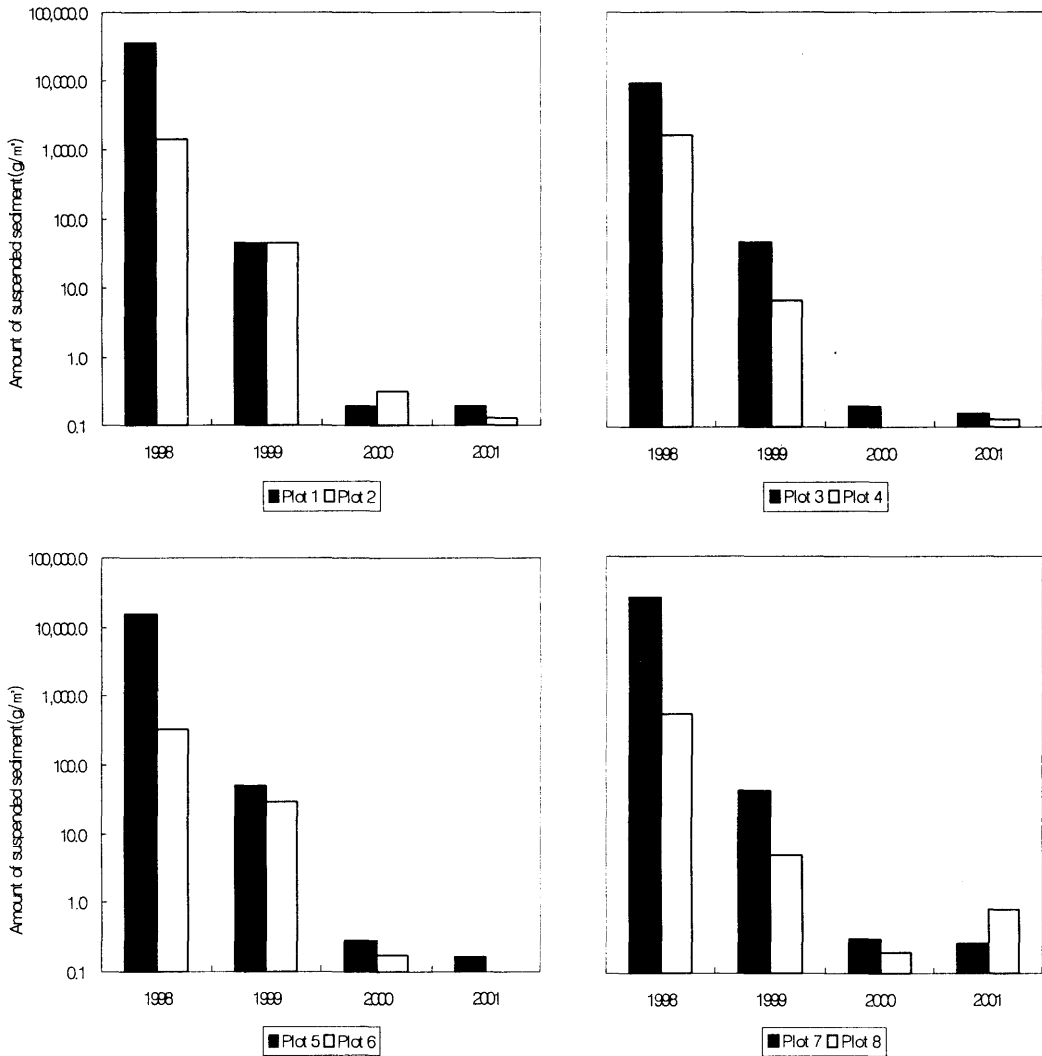


Figure 6. The variation of amount of suspended sediment in each plot.

### 5. 토사유출량 변화

모든 시험구에서 피복자재 설치구가 나지구에 비해 매우 적은 토사가 유출되었으며, 각 강우별로는 최대 1/151, 연도별로는 최대 1/75배의 유출토사 저감효과를 나타내어 Geo-textile 피복자재가 토사유출 억제효과가 매우 우수한 것으로 나타났다(그림 7). 즉 나지구인 시험구 1의 경우 최대 4,025.94g/m<sup>2</sup>의 토사가 유출되어 장기간 방치되고 있는 인공비탈면에 대한 토사유출 방지대

책이 시급한 것으로 판단되었으며, Geo-textile 소재의 피복자재가 유용한 대처방안이 될 것으로 사료되었다.

전체적으로 유출토사는 경과년수에 반비례하여 피복자재 설치구와 나지구 모두에서 토사유출량은 감소하는 경향이 나타났으며, 이는 연강우량의 감소와 식생 피복을 증가에 따른 우격충격량의 감소, 토양구조의 안정화 및 유출가능한 토사량의 감소 등에 영향을 받은 것으로 사료된다.

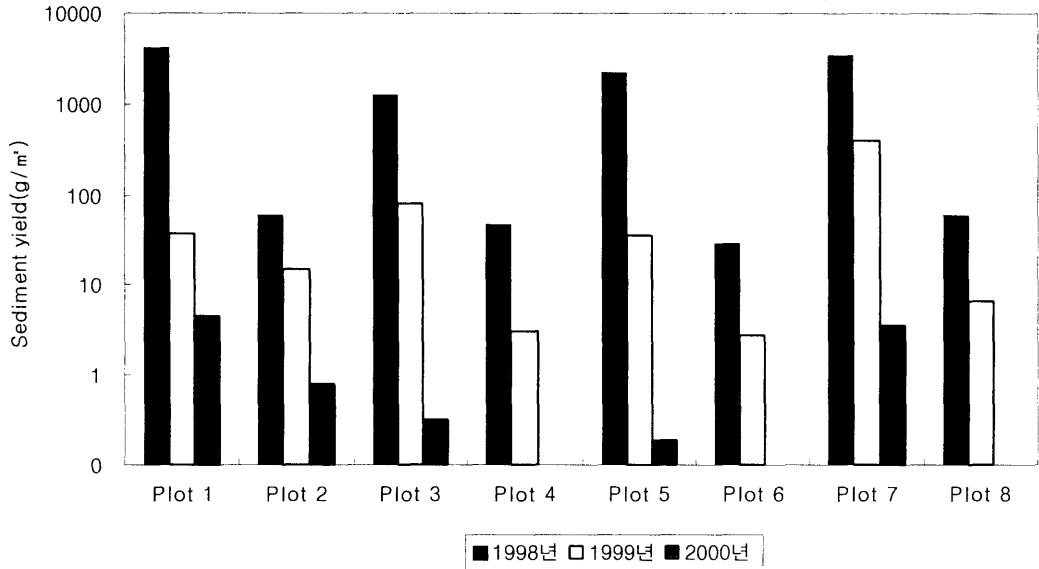


Figure 7. The variation of amount of sediment yield in each plot.

IV. 결 론

친환경적 Geo-textile 소재의 피복자재를 이용한 인공비탈면 녹화공법을 개발하기 위하여 피복자재가 식생생육, 유출수량, 부유물질량 및 유출토사량에 미치는 영향을 조사한 결과, 피복자재의 다공질 구조로 인한 유출수량의 저감, 필터링 효과에 의한 부유물질 저감 및 토사유출의 저감 등의 인공비탈면의 물리적 안정에 매우 뛰어난 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 식물생육면에 있어서는 파종종자의 생존율과 피복율을 증가시키는 효과가 나타났으나, 주변식생의 침입에 의한 식생의 종류조성, 개체수 및 피복율의 증가에는 현 단계에서는 한계가 있는 것으로 판단되어 개선의 여지가 있는 것으로 나타났다.

따라서 이러한 문제점들을 보완하기 위한 적정 식생의 선발, 피복자재의 두께 및 시비, 균근균 접종 등과 같은 식물의 생육환경개선을 위한 연구가 진행된다면 훼손지의 재해방지 및 조기복원을 위한 자료로 충분히 이용가능하게 될 것이다.

V. 인용문헌

1. 박완근·전근우·염규진·유석인. 1998. 피복자재가 식생 생육에 미치는 영향. '98 한일 공동심포지엄 논문집: 33-47.
2. 全槿雨·朴完根·廉圭眞·江崎次夫. 1998a. 林道 비탈면의 안정을 위한 綠化工法 開發(I) -被覆資材와 綠化工法-. 1998年度 韓國林學會 定期總會 및 學術研究發表會: 91-93.
3. 全槿雨·朴完根·廉圭眞. 1998b. 景觀을 고려한 비탈면 安定工法 開發. 1998年度 韓國造 景學會 定期總會 및 學術研究發表會: 18-19.
4. 전근우·박완근·염규진·안태봉·江崎次夫. 1998c. 환경친화형 피복자재를 이용한 비탈면 안정기술 개발(I) -피복자재와 도입 식생 선정 및 현지시험-. '98 한일공동심포지엄논문집: 1-13.
5. 전근우·박완근·염규진·江崎次夫. 1999a. 다기능 필터가 식생 생육과 비탈면 안정에 미치는 영향. 1999년도 한국환경복원녹화기술학회 정기총회 및 춘계학술 발표대회: 3-4.

6. 전근우·이상용·이종규·박완근·염규진. 1999b. 피복자재와 균근균을 이용한 비탈면 녹화. 한국조경학회 '99 정기총회 및 학술논문발표회: 48-49.
7. 전근우·박완근·염규진·江崎次夫. 2001a. 산불 피해지에 있어서 다기능 휠터의 적용 가능성. 2001년도 산불피해 복구기술 심포지엄 「동해안 산불지역 2차 산림피해 방지 기술 개발」 논문집: 41-66.
8. 全槿雨·岩本徹·江崎次夫. 2001b. 綠化와 人間(I) -앞으로의 비탈면 綠化-. 森林科學研究 16: 74-87.
9. 전근우·이상용·윤강섭. 2001c. 임도비탈면 안정을 위한 피복자재 및 녹화공법 개발. 266pp.
10. 전근우·서문원·서정일·김민식·江崎次夫. 2001d. 산불 피해지에 있어서 부유사 및 유출토사 변화(I) -피복자재 시용과 피해목 존치를 중심으로-. 강원대학교 산림과학대학 학술림연구지 제21호: 71-77.
11. 전근우·차두송·서정일·江崎次夫. 2002a. 산불 피해지에 있어서 피복자재 시용과 피해목 존치가 부유사 및 유출토사에 미치는 영향. 2002년도 한국임학회 학술연구 발표논문집: 267-268.
12. 전근우·차두송·이상용·양동윤·江崎次夫. 2002b. 재 및 토사유출 방지공법 개발(II)-저댐군 공법 및 다기능 휠터의 현지적용-. 대형산불방지 및 생태계 복원기술 심포지엄 논문집: 115-128.
13. 전근우·문진희·서정일·염규진·김경남·江崎次夫. 2002. 모형비탈면을 이용한 다기능 휠터의 효과분석(I) - 부유사, 유출토사 및 식생생육을 중심으로 -. 강원대학교 산림과학대학 학술림 연구지 제22호: 94-103.
14. 전근우·염규진·서정일·백승철·양동윤·江崎次夫. 2002. 다기능 휠터의 모델실험 및 산불피해지 적용. 2002년도 산불피해 복구기술 심포지엄 논문집: 51-66.
15. 전근우·문진희·서정일·염규진·김경남·江崎次夫. 2003. 다기능휠터가 모형비탈면에 서식생생육에 미치는 영향. 2003년도 한국임학회 학술연구 발표논문집: 382-384.
16. 염규진. 1999. 피복자재가 임도 비탈면 안정에 미치는 영향. 강원대학교 석사학위논문. 49pp.
17. 全槿雨·廉圭眞. 1998. 花崗岩地帶ののり面における植生侵入と斜面安定. 平成10年度砂防學會研究發表會概要集: 52-53.
18. 全槿雨·朴完根·廉圭眞·江崎次夫. 1999c. 韓國の花崗岩地帯における被覆資材がのり面安定に及ぼす影響. 第30回日本綠化工學會研究發表會研究發表要旨集: 110-113.
19. 全槿雨·徐正一·廉圭眞·車斗松·江崎次夫. 2003. 山火事跡地における浮遊砂濃度および流出土砂量の變化(II). 平成15年度砂防學會研究發表會概要集: 252-253.