

최 종
연구보고서

환경친화적 사방용 식생자루 개발

Development of Environmentally Affinitive
Vegetation Sack

주관연구기관 : 강원대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “환경친화적 사방용 식생자루 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 7월 14일

주관연구기관명 : 강원대학교
총괄연구책임자 : 전 근 우

(제1세부과제)

연구기관명 : 강원대학교
세부연구책임자 : 전 근 우

연구원 : 이 용 규, 김 경 남, 유 종 덕, 장 준 근
송 철 훈, 염 규 진, 서 정 일, 문 진 희
김 석 우, 김 진 용, 이 희 명

(제1협동과제)

연구기관명 : 국립산림과학원
협동연구책임자 : 김 재 현

연구원 : 윤 호 중, 이 창 우, 홍 희 경, 문 영 재

(참여기업)

참여기업명 : (주)대원산업
참여기업책임자 : 여 상 용

연구원 : 권 병 하, 최 중 용, 백 남 수, 길 진 용

요 약 문

I. 제 목

환경친화적 사방용 식생자루 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

최근의 마대는 강도만을 강조하여 비천연재료로 제작된 제품과 천연토목섬유와 비천연재료를 혼합한 제품이 시공되고 있으나, 앞으로의 사방은 안정성과 함께 환경성이 강하게 요구되므로 친환경적인 재료의 식생자루를 개발하는데 그 목적이 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 환경친화형 식생자루 재료 및 구조 개발

- 가. 실태조사 : 식생자루 사례 수집 및 분석, 녹화 전문가 및 실무자 초청자문
- 나. 식생자루의 재료 및 구조 개발 : 네트의 재료 개발, 식생생육에 적합한 구조 개발, 식생용지 개발, 재료·구조별 강도비교
- 다. 인공비탈면에서의 식생자루 적용방안 개발, 인공 비탈면 제작, 모형실험

2. 환경친화형 식생자루 제작 방안 개발

- 가. 식생자루 생산 방안 마련 : 실험결과에 따른 재료 및 구조별로 식생자루 생산
- 나. 개량 식생자루 생산 방안 마련 : 실험결과에 따른 재료 및 구조별로 개량 식생자루 생산

3. 환경친화형 식생자루 현지 적용방안 개발

- 가. 표준 규격도 작성, 재료표 작성 : 규격, 단재적, 수량, 재적 등
- 나. 식생자루의 현지적용 : 현지시공 및 기초조사(침식 및 식생생육 상황 등)

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 실태조사 및 선진 녹화기술 심포지엄

국내에서는 (주)다인엔비텍의 론생백, (주)롯데조경의 식생자루, 주식회사 시경과 한국론타이(주)의 론생백, 대원산업의 천연씨앗 부착마대, 일본의 경우에는 富士見緑化株式會社の Soil Stopper공법, 다기능휠터 주식회사의 다기능휠터 등이 시판되고 있었다.

또한 녹화기술 심포지엄을 통해 일본에서는 지역의 고유생태계 유지, 경관 및 온난화방지 등의 지구환경적인 입장에서 재래의 목본식물에 의한 비탈면 녹화가 전국적으로 확대되고 있으며, 목탄을 활용한 마대녹화사업에 대한 사례와 목탄이 수목의 생장에 미치는 영향에 대하여 자료를 수집할 수 있었다.

2. 환경친화형 식생자루의 재료 및 구조 개발

가. 종자 발아기에서의 발아실험

식생자루는 도입할 종자에 따라 기대 발아율이 상당히 다르므로 도입종 선택에 신중을 기하여야 하며, 특히 재래종을 선택하고자 할 경우에는 종의 선택뿐 만 아니라 종자의 비립 여부 등에 대해서도 폭넓게 검토하여야 한다.

나. 식생자루의 발아율 실험

수분조건이 양호할 경우 현장시공 후 약 2주가 지나면 녹화의 효과를 기대할 수 있었으며, 발아율은 내피가 거즈이며, 접착량 「중」으로 종자를 접착시킨 마대가 가장 높은 발아율을 보였다.

다. 마대 내피부착 종자발아실험 1(발아상 실험)

실험대상 제품 모두 발아율이 증가하였으나, 실험개시 1개월 후의 발아율은 D사 83.7%, R사 63.7%, L사 34.3% 순으로 나타나 3사의 도입 종자의 발아율에 분명히 차이가 있는 것이 확인되었다.

라. 마대 내피부착 종자발아실험 2(접착제 유해성실험)

외래초종인 퍼레니얼, 위핑러브, 알파과가 접착제에 매우 강한 내성을 있는 것으로 나타났으며, 자생종은 벌노랑이와 참싸리가 내성이 강한 것으로 나타났다. 따라서 이러한 초종들은 마대제작에 있어서 매우 유용한 도입식생이 될 것으로 판단되었다.

마. 각 마대별 인열강도 실험

마대는 한쪽 방향으로만 힘을 받는 구조가 아니기 때문에 종·횡 방향이 고루 힘을 견딜 수 있는 구조가 되어야 한다. 실험에 사용한 3사의 마대 중 D사의 마대가 타사 제품보다 종·횡 방향의 인열강도 분포가 높고, 균일하여 내구력이 우수한 것으로 나타났다으므로 D사 제품을 대상으로 인공비탈면 실험 및 야외적용실험을 실시하였다.

바. 현지적용용 식생자루 선정

현지적용용 식생자루로 천연씨앗 부착마대, P. P씨앗마대 및 씨벚짚가마니 중에서 천연씨앗 부착마대를 선정하여 실내 및 야외적용실험을 실시하였다.

3. 인공비탈면에서의 식생자루 적용방안 개발

가. 실내모형실험을 통한 식생자루의 효과 분석

1) 경사도에 따른 부유물질농도의 변화

경사도별 부유물질농도의 변화 폭은 나지구가 10배 이상, 식생자루구는 약 25배 정도 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 식생자루가 경사도별 부유물질농도에 미치는 영향은 경사 36°의 경우 6.9배 이상, 경사 25°의 경우는 4.3배 이상, 그리고 경사 10°의 경우도 차이가 있는 것으로 나타났다.

2) 경사도별 유출토사 변화

식생자루가 경사도별 유출토사에 미치는 영향은 경사 36°의 경우 3.0배, 경사 25°의 경우는 12배, 그리고 경사 10°의 경우도 나지구가 식생자루구보다 유출토사량이 매우 높게 나타났다.

나. 인공비탈면에서의 식생도입 실험

1) 식생은 전체적으로 초본류에 의한 종의 다양화가 이루어졌으며, 특히 식생자루가 초기식생 생육에 기여하는 것으로 나타났다. 또한 시간이 경과 할수록 도입수종의 개체수는 감소한 반면 침입수종의 개체수는 증가하여 기존의 과종식생과 침입식생이 정

착하여 안정화 되어가고 있는 것으로 나타났다.

2) 식생피복율은 경과년수에 비례하여 증가하였으며, 2004년에는 최대 80%에 달하였다. 식생 개체가 많을수록 피복율이 높게 나타났지만, 식생자루구와 미설치구 사이에는 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다.

3) 총부유물질농도 역시 강우량에 비례하여 증가하였으며, 식생자루구가 미설치구보다 약 1/2로 저감되어 부유물질 유출억제에 효과가 있는 것으로 나타났다.

4) 유출토사량은 실험 초기에는 식생자루구가 미설치구보다 약 1/120 정도로 적게 나타났으나, 식생침입이 이루어진 이후에는 토사가 유출되지 않아 식생안정이 사면의 물리적 안정에 매우 효과적인 것으로 나타났다.

4. 환경친화형 식생자루 현지 적용방안 개발

가. 경사별 생육상태

각 시험구별로 피복율을 조사한 결과, 완경사 1, 완경사 2 및 급경사 등 세 시험구 모두에서 R사 마대 > D사 마대 > L사 마대 순으로 전년도와 유사한 경향을 나타내었다. 이는 R사 마대의 경우 발아식생의 성장속도가 빨라 겨울철의 동해를 건디어 냈으나 D사의 마대는 발아 개체수가 많았던 것에 비해 성장속도가 상대적으로 느려 어린 상태에서 겨울철의 동해를 받아 피복율의 증가가 크게 나타나지 않았던 것으로 판단된다.

나. 입지조건별 생육상태

마대별 초장은 R사가 경사도에 거의 무관하게 경사지에서는 6.0~7.0cm, 측구에서는 7.0~10.0cm로 가장 양호하였으며, R사도 경사도에 거의 무관하게 경사지에서는 2.0~3.0cm, 측구에서는 3.0~6.0cm로 비교적 양호하였다. 그러나 L사의 경우 경사지에서는 0~3.0cm, 측구에서는 1.5~4.5cm로 가장 불량하였다.

5. 환경친화형 식생자루 규격 및 시공방법

가. 총설

식생자루는 천연마대에 지역 고유의 풀씨를 부착한 특수 식생용지를 안쪽에 붙여서 만든 주머니에 흙을 채워 산비탈에 단을 끊고, 쌓는 것을 말하며, 바람직한 사업을 위해서는 재해에 대한 안정성, 주변 환경과의 조화성, 생태계 회복을 위한 생태성, 경관성 및 관리의 용이성 등이 고려되어야 한다.

시공위치는 토질이 척박하여 폐의 활착이 어렵고, 초목류의 발아가 어려운 곳이며,

종자의 품질, 내부 충전용 흙, 식생용지, 자루 쌓기 방법 등에 대하여 충분히 유의하여야 한다. 또한 식생자루는 높이, 기수, 형식 및 재료면 등에서 친환경적이 되어야 한다.

나. 규격

식생자루는 환경친화적인 자재를 사용하여 일반 규격인 40×60cm로 하는 것을 원칙으로 하며, 식생용지는 세로 인열강도 100N 이상, 가로 인열강도 300N 이상이 되도록 하며, 발아율을 높일 수 있는 범위로 제작한다. 또한 도입종자는 3년 이내에 채취한 고유 식생을 주로 하며, 비료는 N, P, K 배합비료로 한다. 그리고 충전용 재료는 현장 인접지의 양호한 흙을 30%이상 섞어서 사용하여야 하며, 가능한 한 잡석이나 이물질이 섞이지 않도록 한다.

다. 시공

식생자루의 시공순서는 비탈다듬기, 단 끊기, 식생자루 내부 충전, 식생자루 쌓기 등의 순서로 시공하며, 도입식생의 생육판정기준은 최소발아율 65%, 최소피복율 50%로 한다. 또한 식생자루의 시공가능 장소는 토양유실예상지, 홍수피해복구지, 산불피해지 응급복구지, 공원 및 산지훼손지 등 다양하다.

라. 각 공정별 기본 공사비 산출내역

각 공정별 기본 공사비는 40cm×60cm, 140g을 규격으로 하였을 때 2단쌓기의 경우 17,881.8원, 3단쌓기 26,717.8원, 5단쌓기 44,332.9원, 흙막이 85,029.7원, 수로공 38,796.7원 및 붙임 1,275.6원이다.

Summary

I . Subject

Development of environmentally affinitive revegetation sack.

II . Purpose and necessity of the research

Recently, revegetation sack has been constructed by product which is made of non-nature materials and nature civil fiber mixed with non-nature material, but coming(future) erosion control is demand stability and environmental property, so purpose of this research is development of environmentally affinitive revegetation sack.

III. Contents and scope of the research

1. Development of environmentally affinitive revegetation sack material and structure

- 1) Research on the actual condition
 - Case collection and analysis of revegetation sack, Invitation and consultation of greening work expert and engineer
- 2) Development of environmentally affinitive revegetation sack material and structure
 - Development of net material, development of suitable structure in plant growth, development of revegetation paper, strength comparison on material

and structure

- 3) Development of application method for revegetation sack in model slope, making of model slope, model experiment

2. Development of make method for environmentally affinitive revegetation sack

- 1) Preparation of production plan for revegetation sack
 - Production of revegetation sack on material and structure by experiment result
- 2) Preparation of production plan for improve vegetation sack
 - Production of improve revegetation sack on material and structure by experiment result

3. Development of field application plan for environmentally affinitive revegetation sack

- 1) Making the standard chart and material list: standard, quantity, volume and so on.
- 2) Field application of revegetation sack: field construction and basic research (erosion and plant growth condition and so on).

IV. Result and suggestion

1. Research on the actual condition and advanced greening work technique symposium

Revegation sacks have being made by Dain-Envitec Co., Syikeng Co.,

Korea-rontai Co. and Lotte landscape Co. in korea and Soil stopper Co. and Multifunction filter Co. in japan.

In the international greening works symposium, we can get information about effect of charcoals to vegetation growth and construction cases of revegetation sack by using charcoals in point of protecting global warming, regional ecosystem and scenery in japan.

2. Development of materials and structure of environmently affinitive vegetation sack

1) Germination experiment in incubator

Vegetaion sack's expected germination ratio is variable in introduced species, so we must consider before choosing species. Specially, in case of regional species, choosing species and distinction of aborted grain need much more consideration.

2) Vegetaion sack germination experiment in laboratory

In good humidity condition, Vegetaion sack showed greening effect in 2 weeks and medium amount of seed glueing vegetaion sack showed highest germination ratio.

3) Glueing seed germination experiment in incubator

3 type of vegetaion sack showed different germination ratio after 1 month. The order of magnitude of germination ratio is D type(83.7%), R type(63.7%) and L type(34.3%).

4) Glueing seed germination experiment in incubator(Glue toxicity test)

Exotic species(*Perennial Ryegrass*, *Weeping Lovegrass*, *Alpaca*) and domestic species(*Lotus corniculatus var. japonicus*, *Lespedeza cyrtobotrya*) showed very strong tolerance at chemical glue. So, These species will be very useful to introduce into vegetation sack.

5) Vertical and lateral tensile strength experiment

Vegetation sack receives a force with vertical and lateral direction, so, it need strong structure. In tensile strength experiment, 3 type of vegetaion sack showed different tensile strength. D type vegetation sack showed balanced and highest tensile strength between the 3 type, so, d type vegetation sack have used for model slope experiment and field application test.

6) Choice of vegetation sack for local application test

We selected natural seed attached sack from in 3 types sack(natural seed attached sack, p.p seed sack and seed attached rice straw bag) for local application test in the view of environment and durability.

3. Development of application method of revegetation sack in model slope

1) Analysing effect of vegetation sack in model slope

(1) Variation of density of suspended solid by gradient

The range of variation of suspended solid density showed over 10 times density in bare plots and over 25 times density in vegetation sack plots than lowest density.

It was observed that vegetation sack had an effect on reducing suspended solid. The amount of suspended sediment in vegetation sack plots were over 6.9times smaller in 36° and over 4.3times smaller in 25° and smaller in 10°

than bare plots.

(2) Variation of sediment yield by gradient

It was observed that vegetation sack had an strong effect on reducing sediment yield. The amount of sediment yield in vegetation sack plots were over 3.0times smaller in 36° and over 12times smaller in 25° and smaller in 10° than bare plots.

3) Vegetation introducing experiment in model slope

(1) Vegetation was made variousness of species by herbaceous plant on the all plots. This result appear that vegetation sack contributes to increasing initial growth of vegetations. As time passed, population of vegetation was reduced, but vegetation invasion was increased. So, we guess that vegetations of plots is becoming stabilized.

(2) The ratio of vegetation coverage increased in proportion to elapsed year, and reached for 80% in 2004. But there are no significant difference between vegetation sack plots and bare plots.

(3) The density of suspended solid increased in proportion to rainfall and at vegetation sack plots were about 1/2 as decreased as that of bare plots. So, vegetation sack is effective on prevention of suspended solid.

(4) The amount of sediment yield at vegetation sack plots were about 1/120 as decreased as that of bare plots in experiment beginning. But, after invasion of vegetation, soil erosion was not occurred. So, vegetation stabilization is very effective in physical stability of artificial slope.

4. Development of environmentally affinitive revegetation sack

1) Growth condition by plots

According to the surveys for vegetation coverage ratio, it was similar with the previous year that the vegetation sack produced by R company was better than that made by D and L company at the three experimental sites. The vegetation sack made by R company could protect against freezing damage in the winter because of the rapid growth rate of vegetation coverage. The vegetation sack produced by D company showed a low increase of the covering ratio because of the relatively slow growth rate affected by the freezing damage even though it indicated more individual number of germination than R company.

2) Growth condition by experimental sites

Sapling height of the vegetation sack made by R company was 6 cm to 7 cm at all plots and that of the vegetation sack made by R company was 7 cm to 10 cm at side ditch drain which was best condition. That of the vegetation sack made by D company was 2 cm to 3 cm at all plot, and it was 3 cm to 6 cm at side ditch. It showed a good condition. However, the gunny bag made by L company showed the worst. Sapling height of the gunny bag was 0 to 3 cm at all plots, and it was 1.5 cm to 4.5 cm at side ditch.

5. Standard and construction method of environmentally affinitive vegetation sack

1) Introduction

Vegetation sack are made by natural gunny bag, special vegetation sheet which include seeds and local soil. Revegetation sack are executed by laying sack after terracing works. For desirable construction, it is to be considered to safe for disaster, surrounding harmony, easy management, scenery etc.

2) Vegetation sack

Vegetation sack are constructed at where grass are not able to grow and germinate. It is to be considered to seed quality, local soil for filling, vegetation

sheet, method of laying bag etc. In addition, the height, format and material of vegetation sack must be environmentally affinitive.

3) Standard

The general size of vegetation sack which is made by environment-friendly materials is 40 cm by 60 cm. vegetation sack must be over 100 N of vertical tensile strength, and 300 N of lateral tensile strength. It should be constructed by optimized ranges to increase germination ratio. The introduced seed should be used from inherent vegetation harvested with 3 years. Compound fertilizer with N, P, and K should be used. The material for filling should be mixed with over 30 % of soils obtained nearby actual site, and foreign substances should not be mixed in the filling.

4) Construction

The sequence of construction for vegetation sack is orderly plot grading, terracing, soil filling, laying bag. Growth condition of introduced vegetation must be over 65 % of minimum germination ratio, and 50 % of minimum of covering ratio. The vegetation sack can be constructed at various sites such as expecting soil loss, rehabilitation of flood, forest fire damaged area etc.

5) The construction cost per each process

The construction cost per each process is 17,881.8 won in the case of two terracing works, 40 cm by 60 cm, with 140g. It is 26,717.8 won, 44,332.9 won, 85,029.7 won, 38,796.7 won, and 1,275.6 won for three terracing works, five terracing works, earth check dam, draining, arresting relatively.

목 차

제1장 연구개발과제의 개요	-----	19
제2장 국내외 기술개발 현황	-----	22
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	-----	24
제1절 실태조사 및 선진 녹화기술 심포지엄	-----	24
1. 실태조사	-----	24
2. 선진 녹화기술 심포지엄	-----	34
제2절 환경친화형 식생자루의 재료 및 구조 개발	-----	39
1. 종자 발아기에서의 발아실험	-----	39
2. 식생자루의 발아율 실험	-----	43
가. 재료 및 방법		
나. 실험결과		
3. 마대 내피부착 종자발아실험 1(발아상 실험)	-----	47
가. 재료 및 방법		
나. 실험결과		
4. 마대 내피부착 종자발아실험 2(접착제 유해성실험)	-----	50
가. 재료 및 방법		
나. 실험결과		
5. 각 마대별 인열강도 실험	-----	54
가. 재료 및 방법		
나. 실험결과		
6. 현지적용용 식생자루 개발	-----	57
가. 천연씨앗 부착마대 1		
나. 천연씨앗 부착마대 2		
다. P. P씨앗마대		
라. 씨벧짚가마니		

제3절	인공비탈면에서의 식생자루 적용방안 개발	-----	60
1.	실내 모형실험	-----	60
가.	실험지 개요		
나.	실험장치의 구성 및 제원		
다.	실험방법		
라.	측정방법		
마.	식생자루의 효과분석		
2.	인공비탈면에서의 식생도입 실험	-----	71
가.	실험장치의 구성 및 제원		
나.	실험방법		
다.	조사방법 및 내용		
라.	식생조사		
마.	조사기간 중 강우특성		
바.	강우량과 유출수량의 관계		
사.	강우량과 부유물질농도와의 관계		
아.	강우량과 유출토사량의 관계		
제4절	환경친화형 식생자루 현지 적용방안 개발	-----	86
1.	현황 및 배경	-----	86
가.	기존 식생자루의 문제점 파악		
나.	식생자루의 개선점		
2.	개발목적	-----	87
3.	시험방법 및 규모	-----	87
가.	시험방법		
나.	기존 식생자루와 개량형 친환경적 식생자루의 효과분석		
4.	환경친화형 식생자루 시험구 초년도 성적조사	-----	100
가.	경사별 생육상태		
나.	입지조건별 생육상태		
다.	유의사항		
5.	환경친화형 식생자루 시험구 2차년 성적조사	-----	102
가.	경사별 생육상태		

나. 입지조건별 생육상태

제5절	환경친화형 식생자루 규격 및 시공방법	-----	109
1.	총설	-----	109
	가. 개념		
	나. 고려사항		
	다. 시공위치		
	라. 유의사항		
	마. 기타		
2.	규격	-----	111
	가. 식생자루		
	나. 식생용지 및 메쉬		
	다. 종자 및 비료		
	라. 충전용 토양		
3.	시공	-----	113
	가. 시공순서		
	나. 생육관정기준		
	다. 시공장소		
4.	각 공정별 기본 공사비 산출내역	-----	116
제4장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	-----	118
제5장	연구개발결과의 활용계획	-----	122
제6장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	-----	124
제7장	참고문헌	-----	135
●	부 록	-----	143

CONTENTS

Chapter 1. Outline of the research

Chapter 2. Technological Innovation Present Condition of Korea and Foreign Nation

Chapter 3. Scope and Result of the Study and Development

Para. 1. Research on the actual condition and advanced greening work technique
symposium

1. Research on the actual condition
2. Advanced greening work technique symposium

Para. 2. Development of environmentally affinitive revegetation sack material and
structure

1. Germination experiment in incubator
2. Vegetaion sack germination experiment in laboratory
3. Glueing seed germination experiment in incubator
4. Glueing seed germination experiment in incubator(Glue toxicity test)
5. Vertical and lateral tensile strength experiment
6. Choice of revegetation sack for local application test

Para. 3. Development of application method for revegetation sack in model slope

1. Model experiment
2. Vegetation introducing experiment in model slope

Para. 4. Development of field application plan for environmentally affinitive
revegetation sack

1. Status and background

2. Development purpose
3. Experimental method and scale
4. Experiment result of environmentally affinitive revegetation sack in 1st year
5. Experiment result of environmentally affinitive revegetation sack in 2nd year

Para. 5. Standard and construction method of environmentally affinitive
revegetation sack

1. Introduction
2. Standard
3. Construction
4. The construction cost per each process

Chapter 4. Goal attainment and contribution to related area

Chapter 5. Application plan of study result

Chapter 6. Science technology knowledge in study course

Chapter 7. References

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라에서는 6~8월 사이에 거의 매년 집중호우에 의한 토사재해가 발생하고 있으며, 최근에 들어서는 이상기후와 열섬현상에 의해 국지적 집중호우가 발생하여 각종 토사재해가 발생하고 있다. 특히 2002년 8월 31일에는 태풍 루사에 의해 강원도 강릉지역에는 일강우량 897.5mm, 최대시우량 98mm라는 기상관측 사상 최대의 강우가 발생하여 사망 126명, 실종 17명, 부상 35명의 인명피해와 교량 98개소, 도로 569개소 352.4km 및 철도 52개소가 피해를 입어 6개 시·군 41개 리 3,674가구의 10,259명이 교통두절로 고립되었다. 또한 주택 22,920동이 파괴 또는 침수되어 22,920가구 72,660명의 이재민이 발생하였고, 농경지 유실과 매몰이 9,343ha, 하천 유실이 694개소 942km, 저수지 붕괴, 산사태, 군사시설 파손 등 총피해액은 2조 5,305억원으로 집계되었으며, 재해이전으로 복구하기 위해서 3조 1,233억원이 소요되었다.

한편, 2000년 4월 6일 강원도 고성군 죽왕면에서 발생한 산불을 시작으로 4월 7일 고성군, 강릉시, 동해시 및 삼척시에서 동시다발적으로 산불이 발생하여 4월 15일까지 진행되었다. 순간최대풍속 26m/sec의 강풍으로 인해 산불이 급속히 확산하여 강원도 전체 산림면적의 1.7%, 피해지인 5개 시·군 산림의 8.2%에 해당하는 23,448ha가 피해를 입었다. 임목피해량은 우리나라의 연간 총 원목생산량에 맞먹는 1,321m³으로 피해액으로는 607억7,500만원이며, 총 1,071억원의 재산피해와 사망 2명, 부상 15명의 인명피해, 299세대 850명의 이재민이 발생하였다. 2002년도 태풍 루사에 의해 산불 피해지에서 소규모의 산사태가 다량으로 발생하였으며, 토양응집력 저하로 표층붕괴가 발생하거나 답압에 의한 교란 임지 또는 미립목지에서 붕괴가 발생하였다.

따라서 이상과 같은 다양한 토사재해를 예방·복구하기 위한 사방사업은 친환경적인 재료를 이용한 공법이 도입되어야 하며, 특히 산사태지 복구용 식생자루는 친환경적인 재료와 구조에 의한 공법이여야 할 것이다.

1. 기술적 측면

- 최근 일본 및 EU 각국에서는 비환경적 재료를 주체로 하는 토목사업이 환경보전 차원에서 강하게 비판되고 있으나, 우리나라는 비환경적 재료를 주요 공사용 자재로 하는 사업이 추진되고 있다.
- 최근의 식생자루는 강도만을 강조하여 비천연재료로 제작된 제품과 천연토목섬유와 비천연재료를 혼합한 제품이 시공되고 있으나, 앞으로의 사방은 안정성과 함께 환경성이 강하게 요구되므로 친환경적인 재료의 식생자루를 개발할 필요가 있다.
- 친환경적인 식생자루를 개발하여 현장에 도입할지라도 식생의 착생 및 생장에 구조적인 면에서 지장을 받게 되는 경우가 많으므로 도입 식생자루의 구조적인 면을 개선하여 식물의 생육에 지장을 주지 않도록 해야 할 필요가 있다.
- 현재 개발되어 시공되고 있는 천연토목재료에 의한 식생자루는 네트와 식생용지의 강도와 재질에 의해 우기 및 동절기에는 작업에 제약을 받으므로 사계절 기상조건에 영향을 받지 않는 식생자루를 개발하여 현장에 도입해야 할 필요가 있다.

2. 경제·산업적 측면

- 천연토목섬유를 이용한 친환경적인 식생자루가 개발되면 도로 절개지, 산사태 복구지, 산불 피해지, 폐광·폐석지 적지 등의 복구 및 녹화에 기여할 것이다.
- 친환경적인 식생자루는 콘크리트 시설물에 비해 시공 단가가 저렴하고, 시공기간이 짧을 뿐 만 아니라 레미콘 등과 같이 대형기계류의 이동을 위한 접근로의 요구도가 낮으므로 시공비용 및 효율면에서 유리하며, 토목섬유를 이용한 식생자루에 비해서도 시공단가가 높지 않기 때문에 매우 효과적이다.
- 친환경적인 식생자루는 시공에 따른 경관손상, 자연과의 이질감, 각종 생태계의 파괴 등이 적어 국민의 산행을 증대시켜 산지내의 레크리에이션 산업의 다양화에 의한 주민소득 향상에 기여할 수 있다.

3. 사회·문화적 측면

- 최근에 산지 내에서 이루어지고 있는 비환경적인 재료를 중심으로 하는 각종 산림토목사업에 대한 비판에 대해 친환경적인 식생자루가 대안이 될 수 있다.
- 친환경적인 식생자루는 다른 재료를 사용한 공법에 비해 심미성이 뛰어나고, 주변의 삼림에 잘 어울리는 공법이기 때문에 경관보전을 요구하는 장소에 시공할 경우 산림토목사업에 의한 심리적 이질감을 해소할 수 있다.

- 각종 훼손지가 환경친화적인 식생자루에 의해 정비되면 침식방지뿐 만 아니라 생산 임지로서의 기능 유지와 유역내의 생태계 보전에도 크게 기여하며, 주거환경의 보전 등에도 크게 기여할 수 있다.
- 친환경적인 식생자루에 의해 생태계의 생육환경과 인간의 생활환경을 윤택하게 하여 「돌아오는 산촌」을 유발, 새로운 산촌문화 형성에 기여할 수 있게 된다.
- 식생자루에 수익성 높은 다양한 목·초본류를 활용하면 각종 훼손지를 재활용할 수 있다는 시의성에도 잘 부합되며, 사방사업이 비환경적이라는 잘못된 시각에 대한 대안으로 이용할 수 있다.
- 각종 훼손지에 다양한 식생을 인공적으로 조성하여 훼손지의 경관적·심리적 가치를 발휘하게 된다.

제2장 국내·외 기술개발 현황

녹화기술에 대한 연구는 공법의 물리적 안정기술과 조기 식생안정기술 개발로 대별된다. 즉 산지의 무분별한 개발이나 집중호우 및 산불 등에 의해 형성된 나지는 식생의 자연침입에 의한 물리·생태적 안정을 기대하기에는 한계가 있으므로 각종 지오텍스타일(직포, 부직포, Net, Mat, Grid, Membrance 및 혼합토)에 사용되는 각종 섬유소재(폴리에스테르, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 합성고무)를 이용한 녹화기술이 도입되고 있다.

지금까지 진행된 연구사례로는 외국의 경우 침식방지 및 수림형성을 위한 피복자재의 기능(丸本 등, 1990; 1994; 1996a; 1996b; 丸本, 1991; Marumoto 등, 1997; 江崎 등, 1996c; 1996d; 1997a; 1997b; 1998a; 1998b; 1999; 2001; Ezaki 등, 1997), 녹화자재에 첨가된 피복비료의 특징(山本 등, 1994), 토양 온·습도에 미치는 영향(吉澤 등, 1993; 早川 등, 1994a; 1994b; 1994c), 초본 및 목본식물의 생육에 미치는 영향(Hayakawa 등, 1993; 江崎 등, 1995; 1996a; 1996b), 토양의 미생물성에 미치는 영향(丸本 등, 1995) 등이 있다.

국내에서 진행된 연구사례는 침식방지 및 수림형성을 위한 피복자재의 기능(全權雨 등, 1998a; 1998b; 1998c; 1999a; 1999b; 1999c; 2001a; 2001b; 2001c), 초본 및 목본식물의 생육에 미치는 영향(1996b; 박완근 등, 1998; 全權雨와 廉圭眞, 1998; 全權雨 등, 1999a; 1999d; 2001a, 2001b; 2001c), 토양의 미생물성에 미치는 영향(전근우 등, 1999b, 2001) 등이 있으며, 산불 피해지의 적용에 대한 연구(전근우 등, 2001a; 2001b; 2001e; 전근우, 2001; 전근우 등, 2002a; 2002b)도 진행 중에 있다.

녹화 및 사방에 관한 연구는 산림청의 연구용역에 의해 「환경친화적인 사방공법 정립에 관한 연구」를 진행하였으며, 특히 석탄 및 석회석 광산지역의 사방공사와 암반지역의 산림녹화계획 및 표준화 모델 개발(전근우 등, 2001)과 석탄 및 석회석 광산 채광지역의 산림훼손지 복원연구(박용하 등, 2001)등의 선행연구를 진행하였다.

특히 현재 본 연구진은 日本 愛媛大學의 江崎次夫교수, 山口大學의 丸本卓哉교수와 녹화에 관한 공동연구를 진행 중에 있으며, 일반적인 비탈면 안정공법에 따라 다양한 녹화식물의 적용성에 대한 기초실험을 진행 중이다. 즉 기존의 녹화용 수종과 초본류

는 물론, 새로운 수종을 선발하여 식재밀도의 효과, 비탈면 토양의 상황에 따른 목·초본 효과 등을 검토하고 있다.

(현기술상태의 취약성)

생태적 관점 특히 산지토양을 포함한 입지적·경관적 배려가 녹화공법에서 경시되어 장기적인 면에서 비탈면 처리에 문제가 많이 발생하였고, 앞으로도 그 발생 가능성은 상존한다고 할 수 있다. 또한 지오택스타일(직포, 부직포, Net, Mat, Grid, Membrance 및 혼합토)에 사용되는 각종 섬유소재(폴리에스테르, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 합성고무), 기능과 용도 및 특성(역학적, 침투 배수, 내구성)에 관한 연구가 폭넓게 진행되고 있지 못한 실정이다.

(앞으로 전망)

- 녹화 및 사방사업은 본래 산림이 갖고 있는 수원함양기능, 국토보전기능 및 휴양기능 등의 공익적 기능을 발휘시키는 사업이므로 당연히 자연과의 조화를 꾀하고, 자연과 위화감 없는 공법이 도입되어야 하나, 오히려 사방공사에 의해 사방시설 주변의 경관손상, 공사 중의 탁수 유출 및 소음, 자연과의 접촉기회 상실 등으로 자연도 높은 생태계에 악영향을 미치고 있다.
- 따라서 앞으로는 사방시설물의 높이, 기수, 형식 및 재료 등이 친환경적이 되도록 노력해야 하며, 특히 우리나라와 같이 산사태가 빈번히 발생하고 있는 산지에서는 환경친화적 사방용 식생자루가 유효하게 이용될 것이다. 즉 환경친화적 식생자루는 ① 환경이나 경관 변화를 장기적 시점에서 생각할 것, ② 개개의 녹화시설만을 생각하지 말고, 전체 속에서의 조화를 생각할 것, ③ 전국적인 획일적 공법이 아닌 지역특성을 살린 공법을 도입할 것, ④ 시공후의 변화과정을 모니터링하여 적절한 환경평가를 실시할 것, ⑤ 환경평가 결과를 기초로 하여 적절한 유지관리를 시행할 것, ⑥ 지역계획, 지역진흥사업 등 타산업과의 관련도 충분히 고려할 것 등의 전체에 크게 기여할 것이다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 실태조사 및 선진 녹화기술 심포지엄

1. 실태조사

가. 국내의 식생자루

1) (주)다인엔비텍의 론생백



그림 3-1-1. 황마 론생백(좌)과 론생백(우)

○장점

- 흙이 론생백 속에 들어 있으므로 흙의 유실로 인한 격자속의 공격이 생기지 않으며, 용수 부분의 시공에도 적합하다.
- 종자와 비료가 전면에 부착되어 있기 때문에 어떠한 각도에서 쌓아올려도 녹화가 보장되며, 지속적인 유지관리가 가능하다.

○규격 : 40cm×60cm , 종자 : 25g/m² , 비료 : 20g/m²

○시공방법

- 자루에 투입할 흙(양토)을 준비한다(약 0.01m³/bag).
- 흙을 채울 때 내부의 씨앗이 떨어지지 않도록 가이드(판)를 대고 투입한다.
- 흙을 채운 후 시공 시에 자루 바깥쪽의 적색 줄이 위쪽을 향하도록 한다.
- 옹벽형 시공 시에는 배수 파이프(PVC)를 적절히 삽입하여 쌓아올리며, 필요시 철근(L=45cm)을 수직으로 박으면서 쌓아올린다.

2) (주)롯데조경의 식생자루



그림 3-1-2. ①황마자생씨자루, ②PP씨자루, ③마사마대(녹색) 및 ④씨벚짚 가마니

○ 황마자생자루 및 황마자생씨자루

- 법면의 유실 방지 및 복구 자재로서 황마(황마자생자루) 및 황마주(황마자생씨자루)로 짜여진 자루
- 규격 : 3호=35cm×50cm, 4호=40cm×60cm

○ PP씨자루

- 씨앗이 부착된 PP자루로 모래종류 토질의 유실방지 및 복구자재로 사용되며, 장기간 보전 가능
- 규격 : 40cm×60cm

○ 마사마대(जू트) 및 마사마대(녹색)

- 법면의 유실방지 및 복구 자재로서 짜여진 자루
- 규격 : 3호=35cm×50cm, 4호=40cm×60cm

○ 씨벚짚 가마니

- 법면의 유실방지 및 복구 자재로서 씨벚짚 가마니로 짜여진 자루
- 규격 : 70cm×80cm

3) 주식회사 시경과 한국론타이(주)의 론생백

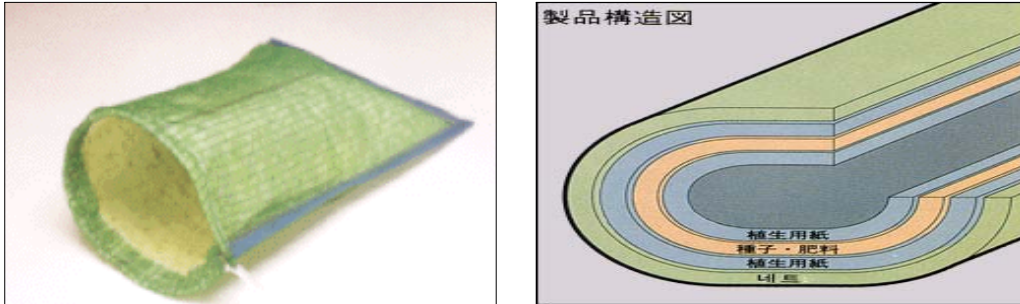


그림 3-1-3. 주식회사 시경과 한국론타이(주)의 론생백과 구조도

○ 제품개요

- 자루 안에 식생용지, 종자·비료, 식생용지 및 네트 순으로 되어 있는 녹화식생주머니.
- 녹생의 PE사로 짠 NET에 식생지와 종자, 비료를 부착시킨 후 흡주머니 형태로 만든 식생마대임.
- 특히 떡잎식물 등이 잘 자라며, 동시에 채운 흙이 유실되지 않도록 적절한 밀도를 유지할 수 있게 직조하였음.

○ 용도

- 소규모 사태지, 암절개지, 리핑암면 등 거친 법면 녹화.
- 법면 블록에의 시공 시 흙의 유실에 의한 블록속의 공격(空隔)을 방지.
- 기존의 시멘트 배수로 대신 환경친화적인 식생 배수로용으로도 적합.
- 사태지역의 응급공사에 적용할 경우 영구공사가 되므로 일반 마대 공사이후 재공사하는 번거로움을 피할 수 있음.

○ 규격

- 적색 또는 흙색의 PE사로 짠 네트에 식생용지와 종자·비료를 부착시킨 식생마대로 떡잎식물 등이 잘 자라고 또한 채운 흙이 유실되지 않도록 적절한 밀도로 PE사를 직조하였음

표 3-1-1. 론생백의 규격

폭×길이	종 자	비 료	포 장
41cm×60cm	10g/매	15g/매	100매

○ 장점

- 격자틀 속의 녹화에 가장 최적의 재료임.
- 흙이 론생백 속에 들어 있기 때문에 흙의 유실로 격자속의 공극이 생기지 않는다.
- 용수부분의 시공에도 적합함.
- 종자와 비료가 전면에 부착되어 있기 때문에 어떠한 각도에서 쌓아 올려도 녹화가 보장됨.

○ 관리

- 파종 후 적기발아를 위하여 충분한 수분을 공급하여 준다(비가 안 올 경우, 주 1회 10mm 강수량 정도의 살수를 한다).
- 발아가 시작되면 21-17-17복합비료를 시비한다(1포/1000m²).
- 매년 2-3회 정도의 예초를 하되, 초년도에는 발아 후 3개월 지나 1회 정도 예초한다.
- 아름다운 잔디밭을 유지시키기 위해서는 년 2회 잡초를 제거한다.

○ 시공사례



그림 3-1-4. 론생백의 시공사례

나. 국외의 식생자루



그림 3-1-5. 일본의 식생자루 도입상황(좌)과 시공 후 식생 생육상태(우)

○ 형태 · 특징

- 합성섬유네트, 부직포 등으로 만든 자루에 종자, 비료, 토양 등의 식생기반재를 넣어서 점상 혹은 근상으로 배열하여 녹화하는 공종이다.
- 식생자루에는 현장에서 현지토양과 종자, 비료 등을 혼합하여 제작하는 것과 공장생산품이 있으며, 자루의 규격에는 작은 것부터 길이 33cm, 폭 16cm, 두께 4cm 정도의 다양한 형태가 있다.
- 이 공종은 식생기반재가 자루 안에 있으므로 유실이 적고, 소형의 자루모양이기 때문에 유연성과 밀착성 및 운반성이 뛰어나다.
- 산복 녹화공에서는 일반적으로 사면에 수평도랑을 파고, 식생자루를 시공하는 근공법이 사용되는 경우가 많다.

○ 적용

- 객토효과가 크므로 고결토, 사력토 및 척악지 등에 적용 가능하다.
- 어느 정도 급사면에서도 시공이 가능하며, 식생자루는 비탈면 격자틀붙이기의 속채우기나 통나무편책의 채움재료로도 이용된다.

○ 설계 · 시공 상의 유의점

- 현장에서 식생자루를 제작하는 경우에는 사양토질 또는 양토질의 양질의 흙을 사용하며, 양분이 적은 토양을 사용할 수밖에 없는 경우에는 지효성 비료 및 팩 퇴비 등을 혼합하여 토양개량을 꾀한다.
- 식생자루의 배치는 비탈어깨로부터 아래 방향을 향해 일정간격으로 계단 혹은 규정 깊이의 도랑을 판다.
- 부토 및 붕락을 방지하기 위해 사면에 배치한 식생자루는 1개당 2~3개의 고정 핀을 사용하여 확실하게 고정한다.

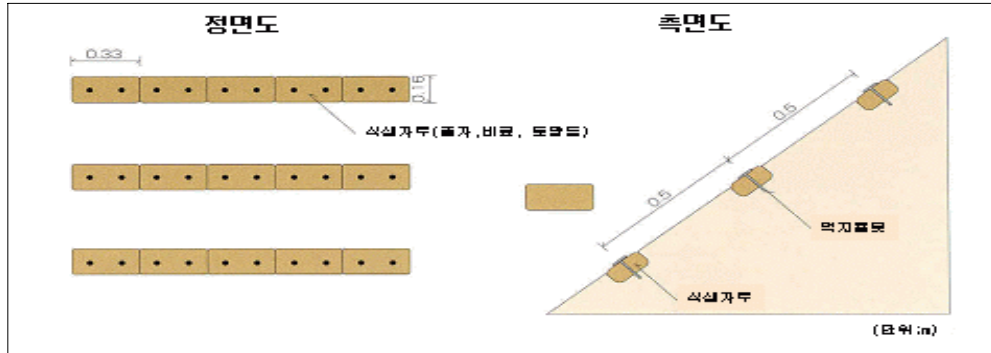


그림 3-1-6. 식생자루공법의 정면도와 측면도

표 3-1-2. 주요 재료 예(식생자루 근공)

명칭	형상·크기	단위	수량	적요
식생자루	길이 33cm, 폭 16cm, 두께 4cm	개	30.0	
토양	---	m ³	0.08	비옥도가 좋음
고정핀	길이 15~30cm, 직경 0.8~2.5cm	개	60.0	자루 하나에 2개 사용
비료	화성비료	kg	10.0	
종자	몇 종류 혼합		1식	
호치키스침	---	개	120.0	식생자루 4방향 고정

표 3-1-3. 식생자루공법의 입지와의 적합성

척악지	무토양지	경질토양지	급경사지	동토지	한랭지	다설지
○	○	○	○	△	○	○

1) 富士見緑化株式會社の Soil Stopper공법



그림 3-1-7. 사방댐 벽면의 식생자루 설치상태(좌)와 포트묘 식재(우)



그림 3-1-8. 낙석방지용 특수 자루를 부착한 상황(좌)과 암반에 부착한 상황(우)

○ 적용장소

- 사방댐, 옹벽면의 특수녹화에 적용할 수 있으며, 특히 급경사 격자틀붙이기와 암반의 경관녹화에 적용할 수 있음.

○ 장점

- 경암질의 비탈면이나 급경사지 등에 시공 가능하며, 비탈면이나 사면의 안정성이 확보 가능함.
- 목본식물이 혼재한 식물군락이 형성될 수 있으며, 시공장소가 식물로 피복될 수 있음.
- 시공한 이후의 유지관리가 비교적 용이하며, 종래의 공법과 비교하여 저가임.

○ 효과

- 강우 등에 의해 흙과 내부에 적당한 양의 수분을 수용할 수 있기 때문에 식물의 생육에 효과적임.
- 잉여 수분은 흙의 저면과 벽면과의 경계로부터 넘치기 때문에 뿌리가 썩지 않음.

○ 작업공정

- 실제로는 식물성 섬유직포로 전면 을 덮은 후에 식생자루를 설치함.

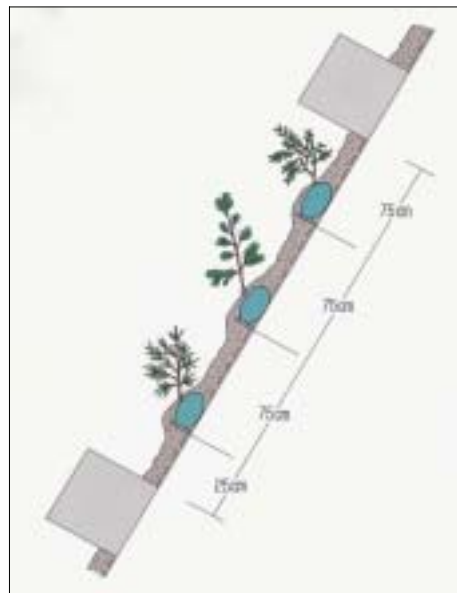


그림 3-1-9. 식생자루의 시공단면

2) 다기능휠터 주식회사의 다기능휠터



그림 3-1-10. 다기능 휠터로 제작한 식생자루의 시공직후(좌)와 2년 후의 상황(우)

○기능

- 목본 및 초본의 계획적 녹화가 가능하며, 주변식물과 동화, 복원이 가능함.
- 균류가 생육하기 쉬운 환경을 실현할 수 있음.
- 수변 및 수목지역의 녹화가 가능함.
- 한랭지 등의 기상환경이 나쁜 지역에서도 사용이 가능함.
- 해안의 비사를 방지할 수 있으며, 송전탑 설치 부근의 우적침식을 방지할 수 있음.

○시공장소

- 댐의 호안 보호와 녹화(댐 깎수면, 암반 절토비탈면) : 댐 깎수면의 침식방지와 녹화에 의해 탁수를 경감할 수 있으며, 파도, 유목대책을 위해 다기능휠터 포설 후 네트나 철망을 포설함.
- 임도, 동상 붕괴방지와 녹화 (시라스 절토) : 보온효과에 의해 동상을 완화하고, 주변 식생의 도입을 촉진할 수 있음.
- 침식성 비탈면 : 적토, 이암, 시라스(산복치산공사, 도로조성), 마사 등과 같이 우수침식에 약한 토질의 비탈면을 보호할 수 있으며, 자연식생의 천이를 유도할 수 있음.
- 공원 내의 자연복원, 매토종자이용공법(해안선 붕괴지, 임내환경정비) : 지역 보전종의 현지 매토종자와 비산종자에 의한 녹화수복을 할 수 있음.
- 황폐지 복구(재해복구지, 광산산복녹화) : 대규모 산복붕괴지의 사면보호와 녹화복원을 할 수 있으며, 다기능 휠터에 의한 비탈면 보호와 조기수립화를 위한 종자 자루로도 활용할 수 있음.

3) 식물유도뽐어붙이기공법



그림 3-1-11. 식물유도뽐어붙이기공법의 시공 전(좌)과 3년 후의 전경(우)

○정의

- 현지에서 생산되는 나무의 가지, 잎, 뿌리 등을 파쇄하여 녹화기반재로 사용하는 공법으로 자원을 재이용할 수 있음.

○특징

- 식물발생재를 유용하게 활용
- 부후방지효소를 혼입하여 발육에 적합한 환경 조성
- 사면 인근의 식생유도 가능

표 3-1-4. 식물유도뽐어붙이기공법의 표준사양(1㎡당)

재 료 명	수 량	비 고
파 쇄 재	1,500 ℓ	
침 가 제 (하 루 짱)	50kg	식물활성효소
비 료	4kg	비료
침 식 방 지 제	5kg	침식방지제



그림 3-1-12. 식물유도뽐어붙이기공법의 공정 흐름도



그림 3-1-13. 생분해형 식생시트공법의 시공 전(좌)과 6개월 후의 전경(우)

○ 정의

- 생분해성 소재를 이용하여 식물의 발아 및 생육기에는 네트로 기능하고, 식생에 의해 사면이 보호된 이후에는 생분해 됨.

○ 특징

- 생분해성 소재 이용
- 두꺼운 면을 이용하기 때문에 보온효과로 동결 억제

표 3-1-5. 생분해형 식생시트공법의 제품규격 및 재질

제 품 규 격	폭 1.0m, 길이 10.0m
재 질	생분해성 수지
눈 금 크 기	15mm × 20mm

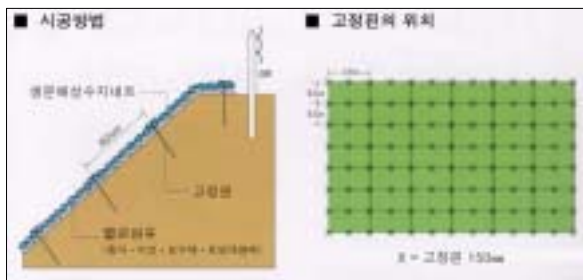


그림 3-1-14. 생분해성 식생네트(좌)와 시공방법(우)

2. 선진 녹화기술 심포지엄

가. 국외 녹화관련 연구자 초청 자문(일본 에히메대학 예자키 쓰기오 교수)

일본에서는 지역의 고유생태계 유지, 경관 및 온난화방지 등의 지구환경적인 입장에서 재래의 목본식물에 의한 비탈면 녹화가 전국적으로 확대되고 있다. 따라서 도로 비탈면 조기수림화의 기술매뉴얼에 필요한 기초자료를 얻기 위해 1996년부터 서일본의 난온대지대에 널리 분포하고 있는 재래의 목본식물을 이용하여 국도 절취비탈면 적용실험을 실시하고 있으며, 이번에는 8년간에 걸친 후사자쿠라(*Euptelea polyandra* Sieb. et Zucc.), 산검양욱나무, 졸가시나무, 종가시나무 및 다정큼나무의 성장특성 및 녹화에 대한 지역주민의 평가에 대하여 검토하였다.

1) 실험방법

실험장소는 일본의 마쓰야마시의 중심부로부터 북동방향으로 약 18km에 위치하는 마쓰야마시 오오이노초의 국도 317호선 절취비탈면이며, 뽕어붙이기격자틀공법이 시공되어 있다. 시험지 일대의 비탈면은 모암인 화강암이 심층풍화하고 있으며, 표층붕괴를 방지하기 위해 약 20m 깊이까지 그라운드앵커가 타설되어 있다. 시험구는 도입목본의 종류, 성립기대본수 및 초본류의 유무 등에 따라 A, B 및 C타입으로 나누었다. 종자는 뽕어붙이기용 기반제(자루비료, 비료, 접합제, pH 완충제)에 혼입한 후, 격자틀 안에 뽕어 붙였으며, 두께는 5cm, 7cm 및 10cm로 하였다. 현지실험은 1996년 4월 12일에 개시하였고, 절취비탈면에 설치된 2m×2m의 격자틀 194개 중 A1, A2 및 A3타입별로 24개를 선정하여 중앙부에 1m×1m의 조사구를 설정하였다.

2) 생육상황

생육상황은 그림 3-1-15 및 그림 3-1-16과 같다. 각 조사구 모두 선구식물인 후사자쿠라, 산검양욱나무 및 교목성인 졸가시나무가 왕성한 신장생장을 하는 것으로 나타났다. 후사자쿠라는 이 지역의 대표적인 선구식물로 도입 당초에 예측한 대로 평균 신장생장량은 300cm이었다. 또한 산검양욱나무는 5년 이후의 생장이 왕성하였으며, 선구식물로서의 역할을 충분히 기대할 수 있었다. 교목성인 졸가시나무는 4년째 이후의 신장생장이 왕성하여 수림화의 당면 목표인 10년째에는 모든 시험구에서 평균 신장생장량이 100cm를 초과하게 될 것으로 예상되었다. 종가시나무는 각 조사구 모두 3년째 이후의 신장생장이 왕성하였으며, 현재 가장 신장생장이 적은 저목성인 다정큼나무는 5년째~7년째부터 신장률이 상승하고 있어 이러한 신장률이 지속된다면 10년째에는 당초의 예측 70cm 전후를 대폭 상회하여 일단 목표인 10년 정도에는 수림화가 이루어 질 것으로 판단된다.

생립본수의 전체적인 경향은 선구식물인 후사자쿠라와 산검양옻나무의 감소율이 커졌으며, 이 두 수종은 앞으로도 이러한 경향이 지속되어 선구식생으로서의 역할을 다할 것으로 예상된다. 또한 졸가시나무도 당초에 비해 생립본수가 감소하고 있었으며, 신장생장이 증가하면 이러한 경향은 더욱 명확해 질 것으로 생각된다. 한편, 증가시나무와 다정큼나무는 8년째에서는 명확한 감소경향이 나타나지 않았다.

즉 8년간의 생육경과에서 알 수 있듯이 지금까지의 생육상황이나 생육환경이 지속된다면 당초의 목표인 10년 정도에는 수림화를 이룰 수 있을 것으로 판단되었다.

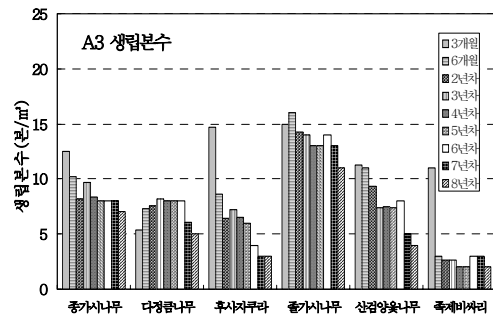
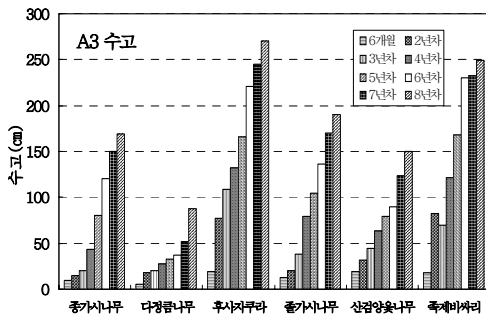
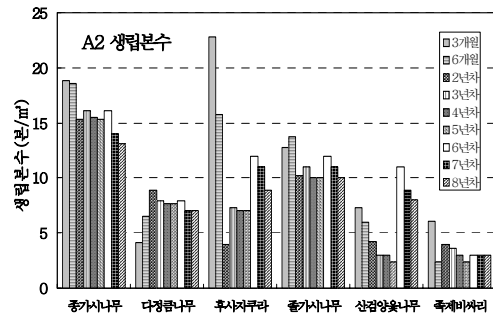
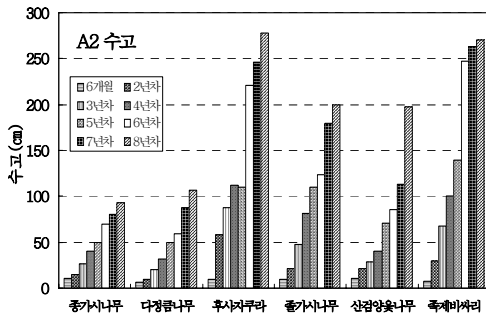
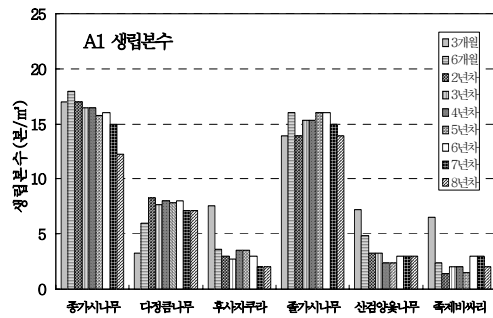
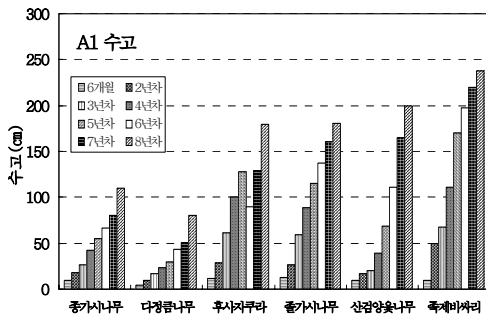


그림 3-1-15. 도입목본식물의 신장생장

그림 3-1-16. 도입목본식물의 생립본수

3) 기반재의 상황

실험에 사용한 기반재는 실험실시 이후 9년째인 2004년도 3월 28일의 조사에서도 유출되지 않았다. 이는 일부 시험지를 제외하면 이미 5년째에 피복율이 100%에 달하였고, 6년째에는 모든 시험구의 피복율이 100%에 달하여 피복자체 그 자체가 갖는 침식방지기능과의 상승효과에 의한 결과라고 생각된다.

4) 지역주민의 평가

시험지에 도시주민, 농산촌주민 및 중간주민을 안내하여 실제로 현지를 견학시킨 후, 비탈면을 한눈에 내려 볼 수 있는 장소로 이동하여 전체의 인상에 대한 설문조사를 실시하였다. 그 결과, 표 3-1-6에서 알 수 있듯이 비탈면이 무성한 잎에 의해 녹음이 진 여름과 낙엽이 진 겨울에는 평가에 상당히 차이가 있었지만, 전체적으로 지역고유의 식물을 이용한 비탈면 녹화에 지역주민들이 만족하고 있는 것으로 판단되었다. 이번 설문은 8년째의 조사이므로 비탈면 식물이 지속적으로 성장하게 되면 앞으로의 평가도 높아질 것으로 생각된다.

표 3-1-6. 재래목본식물을 이용한 비탈면의 인상

지역	여름		겨울	
	주위와 조화됨	싸리가 눈에 뵈	주위와 조화됨	위화감이 있음
도시주민	75%	25%	95%	5%
농산촌주민	70%	30%	95%	5%
중간주민	75%	25%	95%	5%
평균	73.3% (220명)	26.7% (80명)	95.0% (285명)	5.0% (15명)

* 숫자는 질문에 대해 「그렇다」라고 대답한(긍정한) 사람의 비율

* ()는 총 응답인수 300명 중 「그렇다」고 대답한(긍정한) 인수

5) 앞으로의 과제

절취비탈면에 재래목본식물을 종자로 도입하기 위해 현지에 시험지를 설정하여 발아 이후의 성장상황에 중점을 둔 실험을 시작한지 9년이 경과하였다. 현지 주변에 도입한 재래종 목본식물은 비교적 순조롭게 생육하고 있었으며, 당초 수립화 가능년수로 예상한 10년에 대하여 9년간의 조사를 실시한 결과 그 타당성이 실증되었다.

앞으로는 수립화의 기본인 종자 확보문제, 과종량 및 구체적인 조사방법, 지역주민의 의견 수집의 단계 및 형태, 제·간벌을 실시 방법 등에 대하여 지속적으로 연구를 병행하여야 한다.

나. 국외 녹화관련 실무자 초청 자문(일본 에히메대학 이와모토 교수)

지금까지 일본에서 목탄을 활용한 마대녹화사업에 대한 사례와 목탄이 수목의 생장에 미치는 영향에 관한 연구자료(丸本 등, 1996; 江崎와 岩本, 2000; 江崎와 鶴見, 2005; 江崎 등, 2005)는 다음과 같다.

1) 각종 치산공사의 충전재로서의 활용

간벌재 등(유목 포함)을 재료로 한 목탄을 천연섬유 소재의 자루에 충전하여(그림 3-1-17) 목재 골막이(그림 3-1-18) 등에 활용하고 있으며, 이 공법은 침투능 증진, 수질 개선 및 토양개량에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 또한 산복기초공(그림 3-1-19) 및 산복녹화공에 있어서도 천연섬유를 소재로 한 자루에 목탄을 충전 혹은 토양과 혼합하여 배수나 토양의 물리성 개선을 도모하고 있으며, 이 때에 천연섬유를 소재로 한 목탄 충전 자루는 중화완충능력을 구비한 것을 사용하고 있다.



그림 3-1-17. 천연섬유를 소재로 한 자루에 목탄을 충전하는 장면



그림 3-1-18. 목재바닥막이 내부에 목탄을 충전한 자루를 채우는 장면



그림 3-1-19. 산복 비탈면에 목책 안쪽에 목탄을 충전한 자루를 시공하는 장면

2) 목탄이 치산공사 구역 내의 식물생장에 미치는 영향

치산사업지에 목탄을 충진한 자루를 묻거나 토양과 혼합하면 임지의 보수성이 증가하고, 미생물의 활동이 활발해 진다. 또한 토양화의 진행속도가 빨라지고 토양의 물리성과 화학성이 개선되어 식재목의 성장과 수환경의 개선을 기대할 수 있다.

그림 3-1-20은 펠라이트와 버미큘라이트를 1 : 2로 혼합한 배양토를 이용하여 내생 균근균과 목탄이 곰솔의 성장에 미치는 영향을 검토한 것이다. 곰솔의 발아 이후의 경과일수가 80일로 짧기 때문에 목탄의 효과가 사진 상에서는 명확하게 나타나지는 않았지만, 건중량에서는 목탄 시용구와 대조구는 유의수준 10% 수준에서 유의차가 인정되어 목탄 시용의 효과가 있는 것으로 확인되었다. 더욱이 목탄+균근균 시용구와 대조구 사이에는 유의수준 1% 수준에서 유의차가 인정되어 목탄+균근균 시용이 곰솔의 성장을 한층 촉진시킨다는 것이 확인되었다.

이상과 같은 결과는 목탄이 알칼리성으로 다공질이기 때문에 수분 유지나 미생물의 증식촉진에 효과적으로 작용하는 것에 기인한 것으로 사료된다.

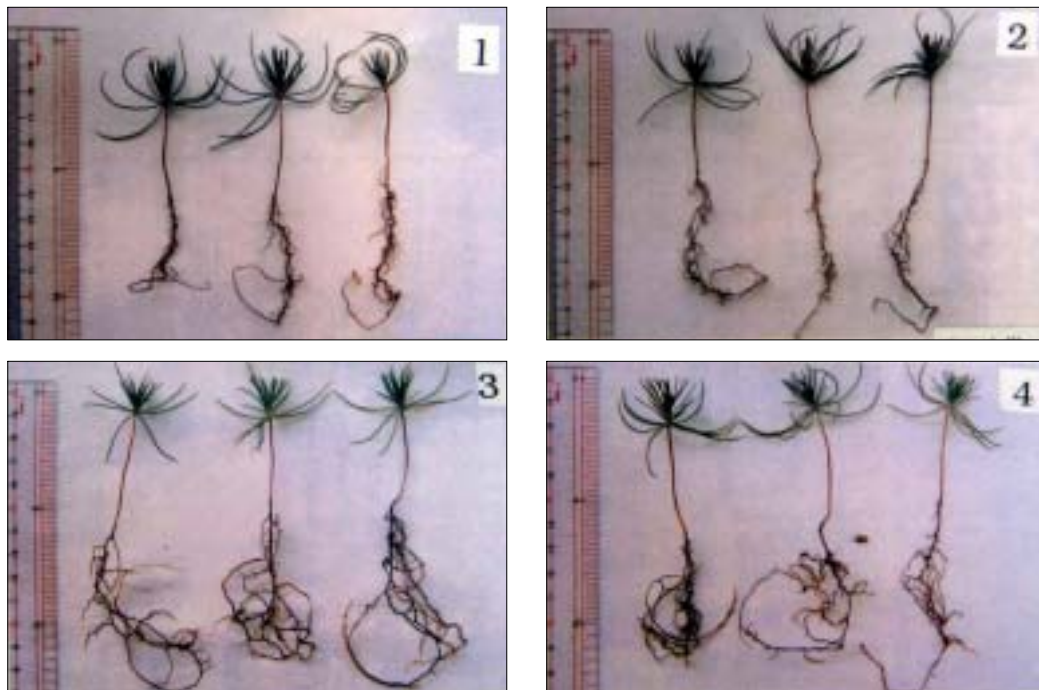


그림 3-1-20. 목탄과 균근균이 곰솔의 성장에 미치는 영향
(1 : 무첨가, 2 : 목탄, 3 : 균근균, 4 : 목탄+균근균)

제2절 환경친화형 식생자루의 재료 및 구조 개발

1. 종자 발아기에서의 발아실험

식생자루에 도입할 종자를 대상으로 종자 발아기에서 발아실험을 실시한 결과, 표 3-2-1과 같이 실험개시 5일 경과 후에 양잔디인 페레니얼라이와 툴웨스큐, 참싸리가 발아하였으며, 10일 경과 후에는 양잔디인 켄터키블루와 비수리가 발아하였다. 그러나 안고초와 양잔디인 켄터키블루는 거의 또는 전혀 발아하지 않은 것으로 나타났다.

경과일수별 평균발아율은 5일의 경우 양잔디인 페레니얼라이 41.7%, 참싸리 12.1%, 툴웨스큐 8%의 순이었으며, 10일의 경우 양잔디인 페레니얼라이 81.3%, 툴웨스큐 34.3%, 참싸리 22%, 비수리 2.7%, 켄터키블루 0.7%의 순이었다. 즉 양잔디인 페레니얼라이의 발아율은 매우 양호하여 실험개시 후 5일이 경과한 시점에서 평균발아율이 41.7%이었던 것이 10일째에는 평균발아율이 81%까지 증가하였으며, 양잔디인 툴웨스큐와 참싸리의 발아율은 비교적 양호하여 실험개시 후 5일이 경과한 시점에서 평균발아율이 각각 8%, 16.7%이었던 것이 10일째에는 평균발아율이 각각 34.3%, 22%까지 증가하였다. 그러나 비수리의 발아율은 불량하여 실험개시 후 5일이 경과한 시점에서 한차례만 2%가 발아하였으며, 10일째에는 평균발아율이 2.7%에 지나지 않았다. 또한 양잔디인 켄터키블루는 10일 후에 1% 정도로 거의 발아하지 않았고, 안고초는 전혀 발아하지 않았다. 따라서 식생자루는 도입할 종자에 따라 기대 발아율이 상당히 다르므로 도입종 선택에 신중을 기하여야 하며, 특히 재래종을 선택하고자 할 경우에는 종의 선택뿐만 아니라 종자의 비립 여부 등에 대해서도 폭넓게 검토하여야 할 것이다.

표 3-2-1. 종자발아기에서의 발아실험 결과

종자	반복 횟수	경과일수별 발아률		종자	반복 횟수	경과일수별 발아률	
		5일	10일			5일	10일
양 잔 디 (페레니얼라이)	1	38%	87%	참 싸 리	1	16%	20%
	2	52%	76%		2	20%	25%
	3	35%	81%		3	14%	21%
양 잔 디 (켄터키블루)	1	---	1%	안 고 초	1	---	---
	2	---	1%		2	---	---
	3	---	---		3	---	---
양 잔 디 (툴 웨 스 큐)	1	6%	46%	비 수 리	1	---	1%
	2	4%	18%		2	---	1%
	3	14%	39%		3	2%	6%



그림 3-2-1. 종자소독제 및 종자발아실험 준비과정



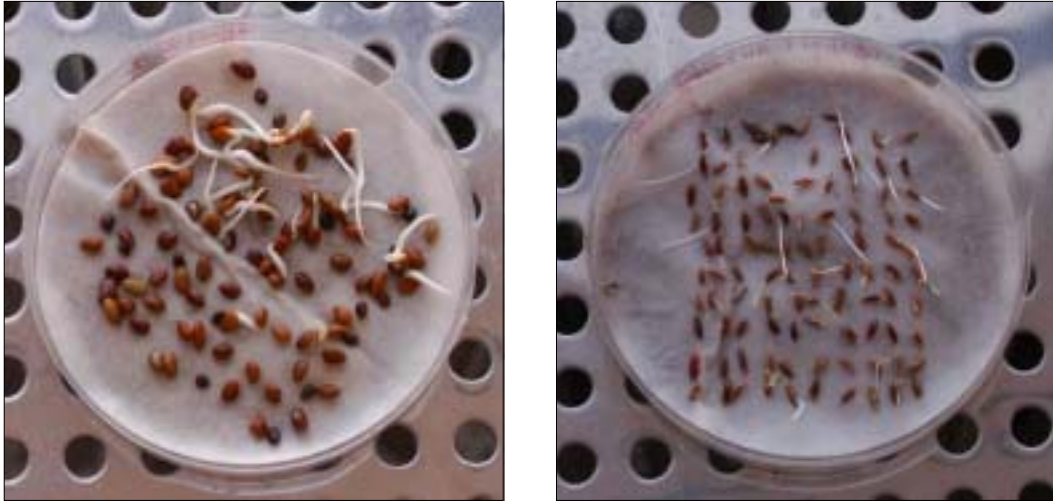


그림 3-2-2. 참싸리(좌)와 페레디언라인(우)의 발아상황

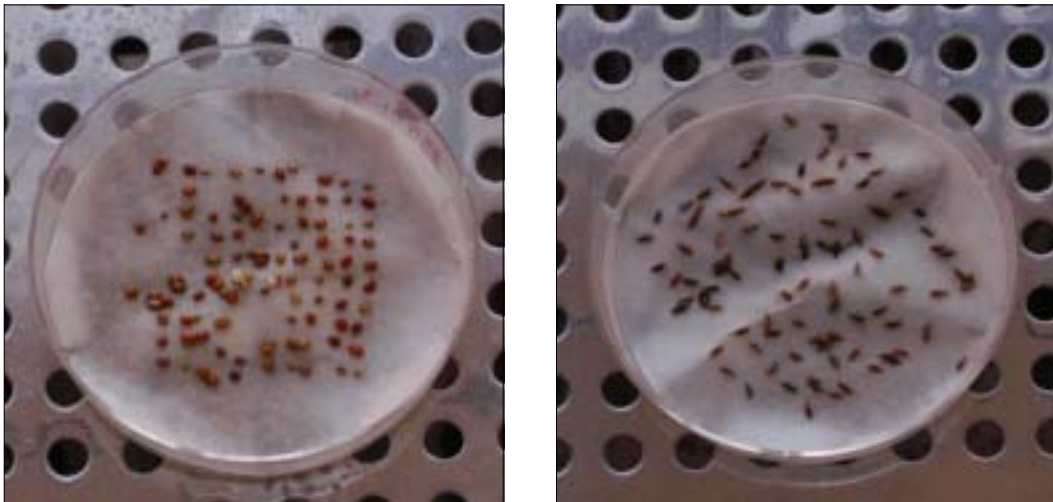


그림 3-2-3. 비수리(좌)와 안고초(우)의 발아상황(안고초는 발아하지 않았음)

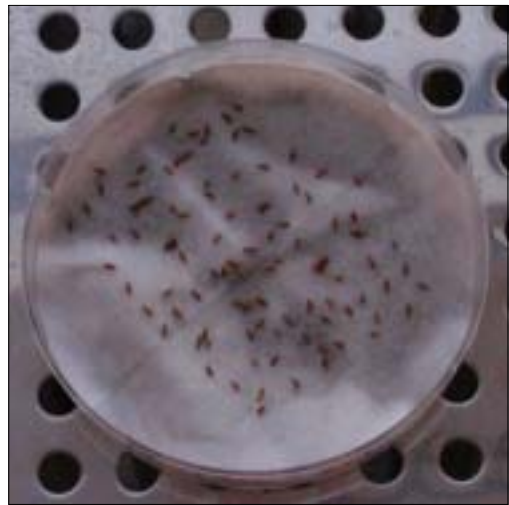


그림 3-2-4. 톨웨스크우(좌)와 켄터키블루(우)의 발아상황(켄터키블루는 1개체만 발아)

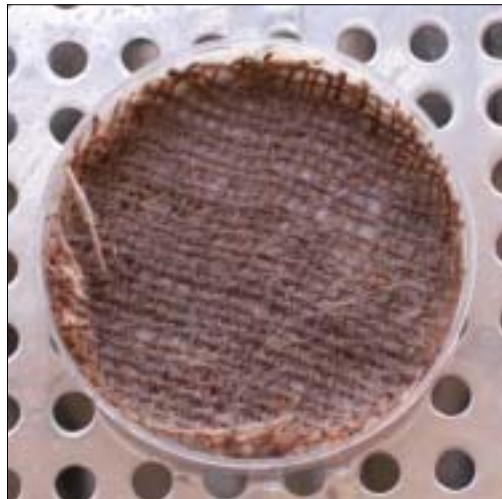


그림 3-2-5. 배양기 내에서의 마대발아실험

2. 식생자루의 발아율 실험

가. 재료 및 방법

- 각 마대별로 내피의 재료 및 종자의 수량과 접착방법을 달리한 D사의 6종류의 마대를 토양으로 채운 후에 발아율, 종자용지 파손정도 및 발아체 투과율 등을 3반복하여 관찰하였다.
- 1일 1회 관수(오전 10시 기준)를 실시하였고, 발아시점과 발아개체수를 3일 간격으로 1회씩 측정(오후 5시 기준)하였다.
- 실험개시 초기에는 각각 2ℓ씩 관수하였으며, 이후는 2일에 1ℓ씩을, 그리고 발아 이후에는 3일에 500ml씩 관수하였다. 한편, 실내온도는 영상 10℃ 이상을 유지하도록 하였다.

나. 실험결과

모든 마대에서 17일이 경과한 이후에는 종자발아 개체수의 변화가 없는 것으로 나타나 수분조건이 양호할 경우 현장시공 후 약 2주가 지나면 녹화의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되었다.

발아율은 내피가 거즈이며, 접착량 「중」으로 종자를 접착시킨 E마대가 가장 높은 발아율을 보였다. 이는 거즈의 보습력이 우수하여 종이내피 마대보다 수분조건이 양호한 것에 기인한 것으로 판단되었다. 마대 내피의 파손정도는 종이내피 마대의 경우 시험개시 이후 6일 이내에 모두 파손되었으나, 거즈마대의 경우는 전혀 파손되지 않았다.

표 3-2-2. 식생자루의 발아실험 결과(3반복 평균)

방법	종자	6일	10일	12일	17일	방법	종자	6일	10일	12일	17일
A	잔디류	7	26	40	53	D	잔디류	36	96	117	175
	콩과류	1	3	5	5		콩과류	2	8	9	12
B	잔디류	59	118	120	156	E	잔디류	149	413	436	517
	콩과류	6	11	11	12		콩과류	1	12	14	20
C	잔디류	62	105	112	115	F	잔디류	31	132	154	188
	콩과류	2	6	6	6		콩과류	0	5	13	15

※ A : 내피 종이, 접착량 小, B : 내피 종이, 접착량 中, C : 내피 종이, 접착량 小, 종자부착 랜덤, D : 내피 거즈, 접착량 小, E : 내피거즈, 접착량 中, F : 내피거즈, 접착량 大)



그림 3-2-6. 관수방법 및 마대발아실험 전경

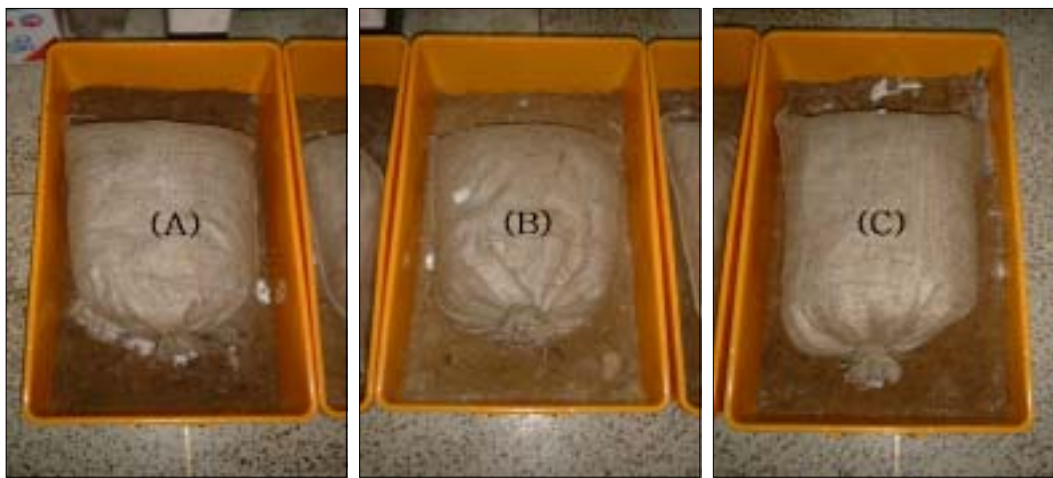


그림 3-2-7. 양면 종자부착마대의 발아실험



그림 3-2-8. 양면(좌), 줄모양 단면(중) 및 단면(우) 종자부착마대 발아실험



그림 3-2-9. 양면 거즈 내피 마대에 있어서 6일경과 후의 발아개시 모습
(상, 중 : 양면 종자부착마대, 하 : 단면 종자부착마대)



그림 3-2-10. 콩과식물 및 잔디류의 발아개시 모습

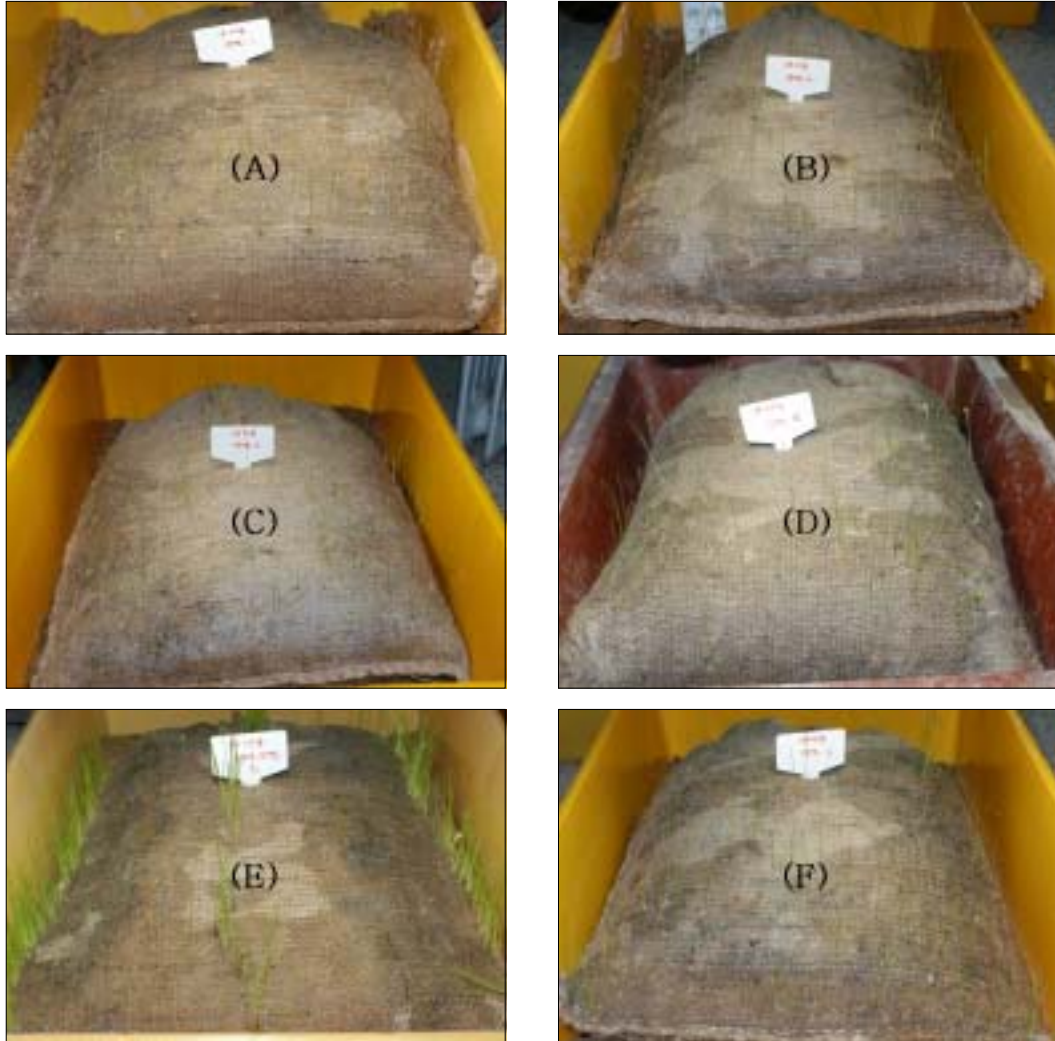


그림 3-2-11. 식생마대의 12일 경과 후의 발아모습

3. 마대 내피부착 종자발아실험 1(발아상 실험)

가. 재료 및 방법

○ 재료 : 3개 회사의 마대 내에서 랜덤 추출한 부착종자 100립×3회=300립, 일회용 페트리디쉬(10×2cm), 필터 종이(Advantec, 90mm)와 증류수를 사용하였으며, 마대 내에 부착된 종자는 외래종인 퍼레니얼 그래스, 위핑 러브그래스, 켄터키 블루 그래스, 버뮤다 그래스, 톨헤스큐, 알팔파 등 6종과 재래종인 자운영, 참싸리, 낭아초, 한국들잔디, 비수리, 별노랑이 등 6종으로 표 3-2-3과 같다.

표 3-2-3. 실험에 사용한 종자의 구성

외래종	1. 퍼레니얼 그래스(호밀풀) <i>Lolium perenne</i>
	2. 위핑 러브그래스 <i>Weeping lovegrass</i>
	3. 켄터키 블루 그래스(왕포아풀) <i>Kentucky blue grass</i>
	4. 버뮤다 그래스(우산잔디) <i>Cynodon dactylon</i>
	5. 톨헤스큐(김의털 종류)
	6. 알팔파(자주개자리) <i>Medicago sativa</i>
재래종	7. 자운영 <i>Astragalus sinicus</i>
	8. 참싸리 <i>Lespedeza cyrtobotrya</i>
	9. 낭아초 <i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>
	10. 한국들잔디 <i>Zoysia japonica Steud.</i>
	11. 비수리 <i>Lespedeza cuneata</i>
	12. 별노랑이 <i>Lotus corniculatus var. japonicus</i>

○ 방법

- 완제품 마대를 해체한 후 내부에 정착된 종자를 건어내고, 그 종자 중에서 100립을 무작위로 3반복하여 300립을 선정하였다.
- 선정된 종자를 페트리디쉬 당 100립씩 넣고, 3반복하여 실험을 실시하였다.
- 일회용 페트리디쉬(10×2cm)에 필터종이(Advantec, 90mm)를 1장 깔고, 증류수로 도포하였다.
- 발아상 조건을 25±2℃, 암조건으로 설정하였다.
- 성적조사는 첫 발아시작 후 5일 간격으로 발아율을 조사(개갑하고 뿌리가 보이는 것을 발아라고 함)하였으며, 성적조사 시에는 필터 종이를 갈아 주고, 증류수로 수분을 공급한 후에 발아상에 넣도록 하였다.

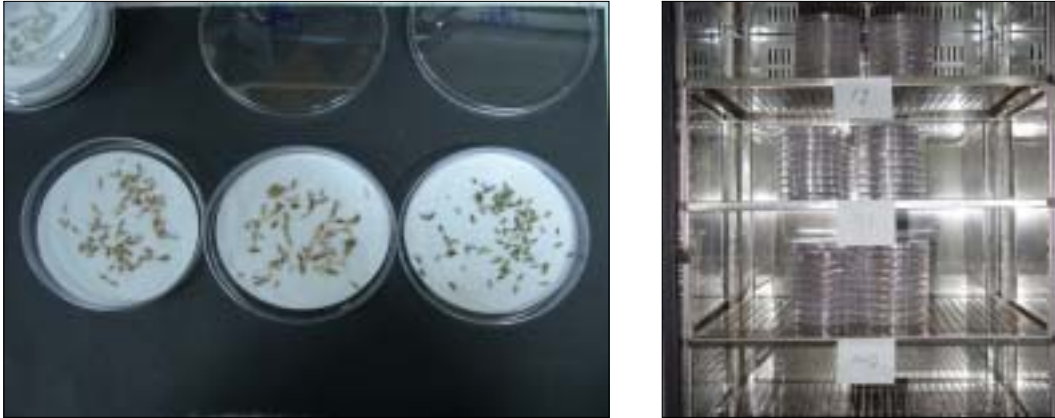


그림 3-2-12. 종자 치상(좌측으로부터 R사, L사, D사의 순)과 발아상

나. 발아실험 결과

발아실험 결과, 그림 3-2-13에서 알 수 있듯이 3사의 제품 모두 발아율이 증가하였으나, 실험개시 1개월 후의 발아율은 D사 83.7%, R사 63.7%, L사 34.3% 순으로 나타났다. 즉 실내실험에 의하면 3사의 도입 종자의 발아율에 분명히 차이가 있는 것이 확인되었다.

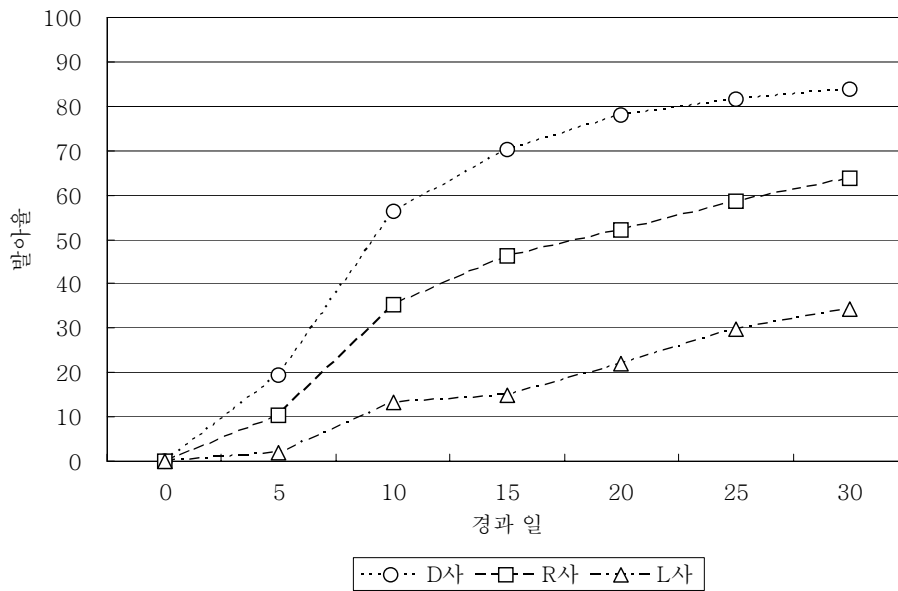


그림 3-2-13. 제품별 30일간의 발아율 변화

표 3-2-4. 각 제품별 30일간의 발아율 변화

제품 \ 경과일	0	5	10	15	20	25	30
D사	0.0	19.3	56.3	70.3	78.0	81.7	83.7
표준오차	0.0	1.0	3.8	2.2	0.8	0.3	0.7
R사	0.0	10.3	35.3	46.3	52.0	58.7	63.7
표준오차	0.0	2.9	2.2	2.1	1.7	1.2	0.5
L사	0.0	2.0	13.3	15.0	22.0	29.7	34.3
표준오차	0.0	1.6	2.3	1.2	3.3	6.7	6.9



그림 3-2-14. 30일이 경과한 후의 발아상태(위쪽으로부터 R사, L사, D사)

4. 마대 내피부착 종자발아실험 2(접착제 유해성실험)

가. 재료 및 방법

○ 재료 : 종자 18,000립(100립×3회×12종×5처리), 일회용 페트리디쉬(10cm×2cm), 필터페이퍼(Advantec, 90mm, Japan), 증류수와 접착제를 희석(1g/1000ml, 10g/1000ml, 100g/1000ml, 500g/1000ml, 1000g/1000ml)하여 사용하였고, 실험용 종자는 외래종인 퍼레니얼 그래스, 위핑 러브그래스, 켄터키 블루 그래스, 버뮤다 그래스, 톨웨스큐 및 알팔파 등과 재래종인 자운영, 참싸리, 낭아초, 한국들잔디, 비수리 및 벌노랑이 등 12종을 구매하여 실험하였다.

표 3-2-5. 실험에 사용한 종자의 구성

외래종	1. 퍼레니얼 그래스(호밀풀) <i>Lolium perenne</i>
	2. 위핑 러브그래스 <i>weeping lovegrass</i>
	3. 켄터키 블루 그래스(왕포아풀) <i>Kentucky blue grass</i>
	4. 버뮤다 그래스(우산잔디) <i>Cynodon dactylon</i>
	5. 톨웨스큐(김의털 종류)
	6. 알팔파(자주개자리) <i>Medicago sativa</i>
재래종	7. 자운영 <i>Astragalus sinicus</i>
	8. 참싸리 <i>Lespedeza cyrtobotrya</i>
	9. 낭아초 <i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>
	10. 한국들잔디 <i>Zoysia japonica Steud</i>
	11. 비수리 <i>Lespedeza cuneata</i>
	12. 벌노랑이 <i>Lotus corniculatus var. japonicus</i>

○ 방법

- 한 페트리디쉬 당 100립씩 치상(종자 100립씩, 3반복 총 300립)하였다.
- 증류수1000ml에 각각 접착제 1g, 10g, 100g, 500g, 1,000g을 희석하여[1g/1000ml (0.1%), 10g/1000ml(1%), 100g/1000ml(10%), 500g/1000ml(50%), 1000g/1000ml (100%)] 종자에 도포(실제로 마대 제작 시에는 원액 100%를 희석하지 않고 사용)하였다.
- 일회용 페트리디쉬(10×2cm)에 필터페이퍼(Advantec, 90mm)를 1장 깔고, 각각 희석한(0.1%, 1%, 10%) 용액을 분무기로 도포한 후 종자를 치상하였고, 점도가 높은 25%, 100%액의 경우는 종피에 직접 접촉시켜 치상하였다.
- 발아상 조건 : 25±2℃, 암조건
- 성적조사는 발아 후 5일 간격으로 발아율을 조사(개갑하고 뿌리가 보이는 것) 하였으며, 필터페이퍼를 갈아주고 증류수로 수분을 공급한 후에 치상하였다.



(희석할 접착제량 측정)



(100g접착제를 1000ml비커에 희석)



(접착제 희석; 교반기 사용)



(접착제 희석 후의 모습)

그림 3-2-15. 접착제의 희석방법

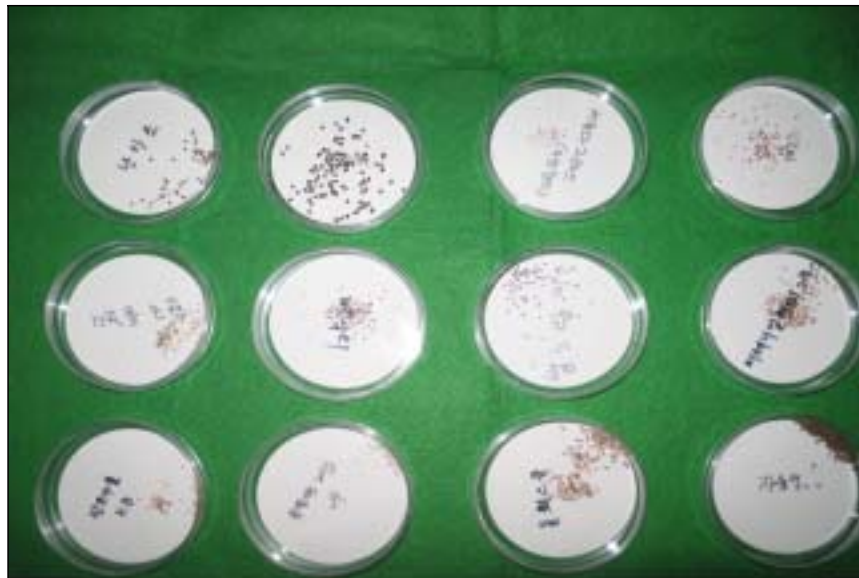


그림 3-2-16. 종자별 페트리디쉬내 치상

나. 발아실험 결과

1개월간의 실험결과, 모든 처리에서 퍼레니얼 그래스, 위핑 러브그래스, 알파파, 벌노랑이가 발아율이 우수하였으며, 자생초종인 콩과식물보다는 외래초종인 벼과식물의 발아성적이 우수하였으나 켄터키블루 그래스, 한국들잔디, 자운영은 발아되지 않았다.

즉 표 3-2-6과 그림 3-2-18과 같이 퍼레니얼 그래스는 1g/1000ml에서 평균 67.3%, 10g/1000ml에서 평균 76.0%, 100g/1000ml에서 평균 81.3%, 500g/1000ml에서 평균 52.3%, 1000g/1000ml에서 평균 23.7%, 위핑 러브그래스는 1g/1000ml에서 평균 85.7%, 10g/1000ml에서 평균 71.7%, 100g/1000ml에서 평균 87.3%, 500g/1000ml에서 평균 83.0%, 1000g/1000ml에서 평균 70.0%, 알파파가 1g/1000ml에서 평균 89.7%, 10g/1000ml에서 평균 92.3%, 100g/1000ml에서 평균 94.0%, 500g/1000ml에서 평균 91.7%, 1000g/1000ml에서 평균 86.0%, 벌노랑이가 1g/1000ml에서 평균 74.7%, 10g/1000ml에서 평균 71.0%, 100g/1000ml에서 평균 70.7%, 500g/1000ml에서 평균 56.0%, 1000g/1000ml에서 평균 53.0%로 우수한 발아율을 보였으며, 참싸리는 1g/1000ml에서 평균 50.07%, 10g/1000ml에서 평균 48.7%, 100g/1000ml에서 평균 57.6%, 500g/1000ml에서 평균 35.3%, 1000g/1000ml에서 평균 32.70%로 비교적 양호, 남아초는 1g/1000ml에서 평균 18.7%, 10g/1000ml에서 평균 21.7%, 100g/1000ml에서 평균 21.3%, 500g/1000ml에서 평균 11.7%, 1000g/1000ml에서 평균 7.0%로 비교적 불량하였다. 즉 외래초종인 퍼레니얼, 위핑러브, 알파파가 접촉제에 매우 강한 내성을 있는 것으로 나타났으며, 자생종은 벌노랑이와 참싸리가 내성이 강한 것으로 나타났다. 따라서 이러한 초종들은 마대제작에 있어서 매우 유용한 도입식생이 될 것으로 판단되었다.

표 3-2-6. 접촉제 희석 농도별 종자 평균 발아율(%)

	1g/1000ml			10g/1000ml			100g/1000ml			500g/1000ml			1000g/1000ml		
	1주	2주	3주	1주	2주	3주	1주	2주	3주	1주	2주	3주	1주	2주	3주
퍼레니얼 그래스	64	69	69	74	77	77	76	84	84	17	69	71	13	25	33
위핑러브 그래스	85	86	86	91	92	92	84	89	89	74	87	88	51	78	81
켄터키블루 그래스	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
비수리	3	3	4	3	4	4	1	2	2	1	1	1	0	1	2
참싸리	48	50	52	48	49	49	56	58	59	24	41	41	22	37	39
버뮤다 그래스	2	6	9	5	11	11	0	13	14	1	5	5	1	3	3
남아초	5	25	26	13	26	26	7	28	29	5	15	15	3	9	9
톨웨스큐	17	32	35	18	30	31	13	31	33	2	16	19	0	12	14
한국들잔디	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
알파파	88	90	91	91	93	93	92	95	95	89	93	93	77	90	91
벌노랑이	70	77	77	68	76	77	67	72	73	38	65	65	19	70	70

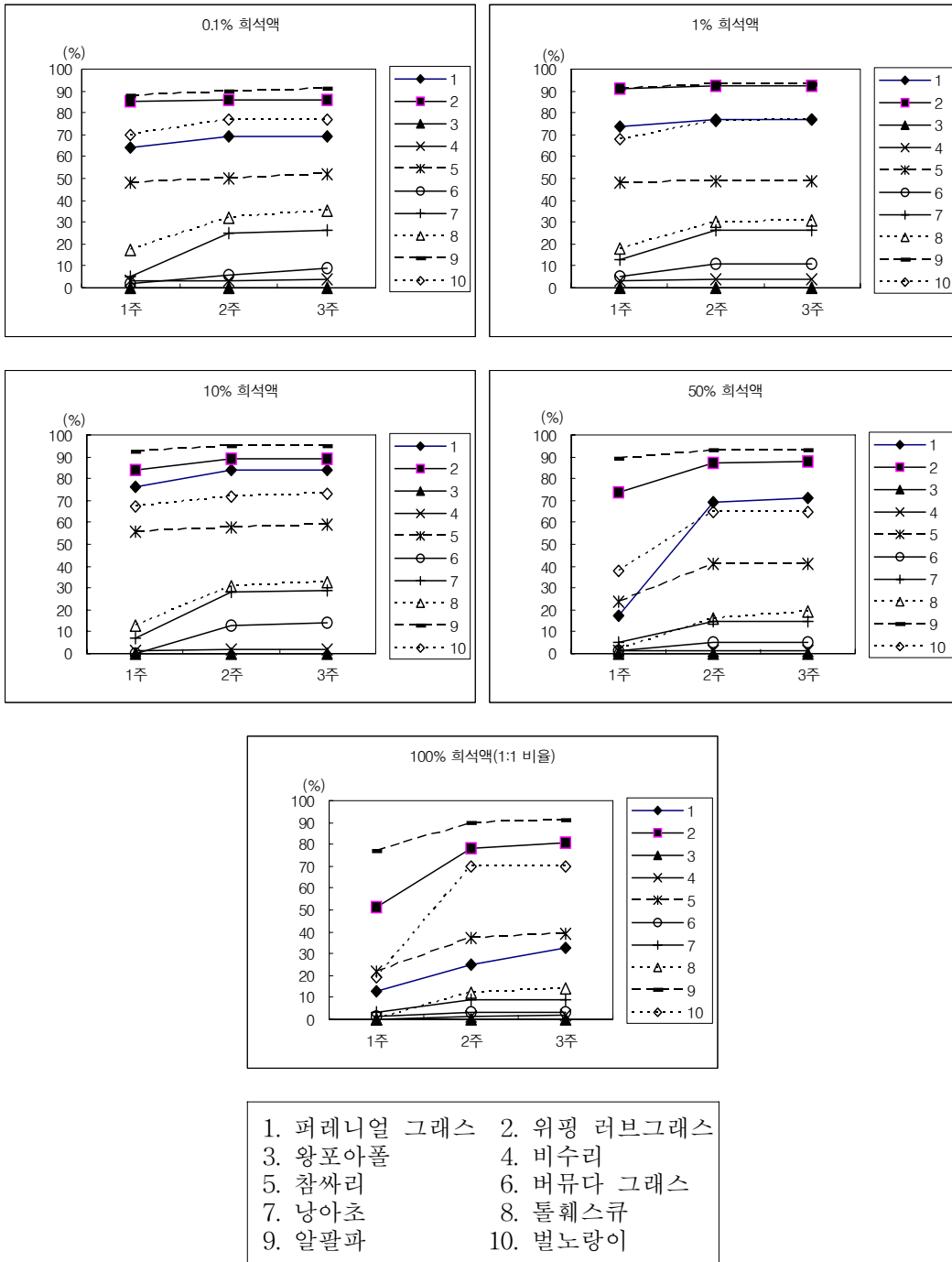


그림 3-2-17. 접촉제 희석 농도별 종자의 발아율 변화

5. 각 마대별 인열강도 실험

마대를 현장에 적용할 경우 시공시의 편의성과 시공후의 내구성을 좌우하는 마대의 구조적 견고도는 매우 중요한 인자다. 따라서 각 제조사별 마대의 구조적 견고함을 파악하기 위해 Testrometric 만능시험기를 이용하여 마대구조의 파열이 발생하는 힘의 강도를 조사하였다.

가. 재료 및 방법

각 마대별로 가로 3cm×세로 15cm의 시편을 마대가 힘을 받는 방향인 세로방향과 가로방향에서 각각 3반복 제작하여 총 18개의 시편을 실험 재료로 활용하였다. 또한 마대의 내피가 분리되는 D사의 경우는 황마만으로 구성된 외피와 거즈와 종이로 구성된 내피를 따로 분리하여 인열강도를 측정할 경우와 내·외피를 같이 시편을 만들어 측정할 경우 2가지로 나누어 조사하였다.

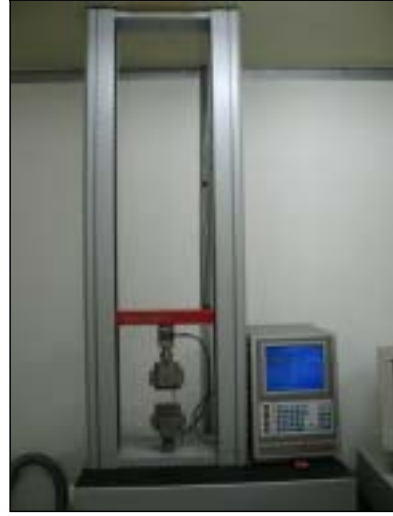


그림 3-2-18. 인열강도 측정기

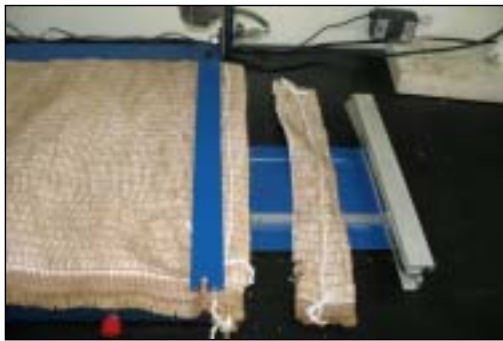


그림 3-2-19. 인열강도 실험용 마대의 시편 제작상황



그림 3-2-20. 각 마대별 내피(좌 : R사, 중 : L사, 우 : D사)

나. 실험결과

1) 가로방향 인열강도

각 마대별 가로방향 인열강도를 조사한 결과, 내외피를 분리할 수 없는 R사와 L사의 마대는 화장지가 끊어지는 약 10N 이상의 힘이 가해지면서 종자가 고착된 종이내피가 찢어지기 시작하였으나, 거즈와 종이로 내피가 구성된 D사의 마대는 3배인 약 30N 이상의 힘부터 변형을 시작하여 D사 마대의 내부구조가 타 마대에 비해 견고함을 알 수 있었다.

외피의 경우는 황마의 구조가 균일한 R사(504N)가 가장 높았고, D사(402N), L사(67N)의 순으로 높은 강도를 보였다. L사의 마대의 경우 가로방향의 마대직물이 타 마대와 같은 황마이나 구조가 촘촘하지 못하고 두께가 얇아 작은 힘에서부터 풀려지거나 부분적으로 끊어지는 특성 때문에 인열강도가 매우 낮게 나타났다. R사의 마대는 가로방향의 마대직물 구조가 균일하고, 타 마대보다 굵어 가장 높은 인열강도를 보였다.

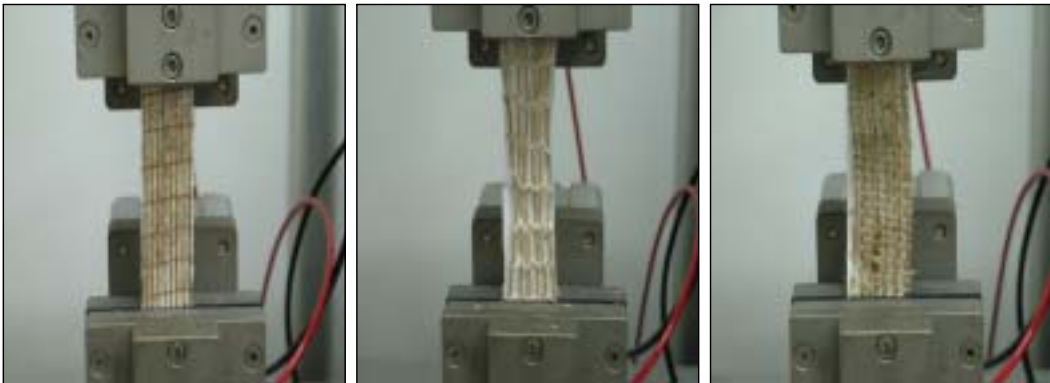


그림 3-2-21. 각 마대별 가로시편 인열강도 시험장면(좌: R사, 중: L사, 우: D사)

2) 세로방향 인열강도

각 마대별 세로방향 인열강도 역시 R사와 L사의 마대는 약 10N이 지나면서 내피가 파열되기 시작하였으나, D사의 마대는 120N 이후에 내피가 파열되어 매우 높은 강도를 보였다. 이는 내피가 종이로만 구성된 타 사의 마대와 달리 D사의 마대는 종지와 거즈를 혼합하여 구성되었기 때문으로 판단된다. 따라서 세로방향으로 힘을 더 많이 견디는 D사의 마대가 시공시에 매우 유리할 것으로 사료된다.

외피의 경우 가로, 세로방향의 황마조직 분포가 타사제품에 비해 많은 D사의 마대

(208N)가 가장 높았고, R사의 마대(95N), L사의 마대(11N) 순으로 나타났다. L사의 마대의 경우 세로방향의 마대직물이 실로 구성되어 있어 황마와 같이 끊어지지 않는 않지만, 적은 힘에서부터 풀려버리는 특성 때문에 인열강도가 매우 낮게 나타났다. R사의 마대는 세로방향의 마대직물이 합성수지 계열의 실로 구성되어 내구한계치를 벗어난 힘을 받은 경우 끊어지지 않는 않지만 늘어나기 때문에 황마로 구성된 가로방향의 구조보다는 인열강도가 매우 낮게 나타났다.

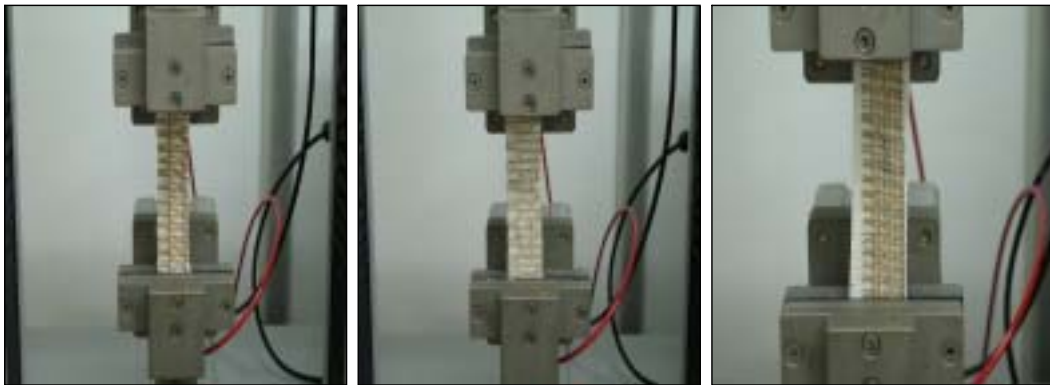


그림 3-2-22. 각 마대별 세로시편 인열강도 시험장면(좌: R사, 중: L사, 우: D사)

표 3-2-7. 마대별 인열강도 실험 3반복 결과 (단위 : N)

	세로 인열강도	가로 인열강도
R사의 내, 외피	95.25	504.90
L사의 내, 외피	11.60	67.37
D사의 외 피	177.45	335.94
D사의 내 피	125.53	33.58
D사의 내, 외피	208.76	402.80
화 장 지	10.75	

다. 고찰

마대는 흙을 채워 넣는 시공하는 특성상 한쪽방향으로만 힘을 받는 구조가 아니기 때문에 종·횡 방향이 고루 힘을 견딜 수 있는 구조가 되어야 한다. 실험결과, 실험에 사용한 3사의 마대 중 D사의 마대가 타사 제품보다 종·횡 방향의 인열강도분포가 높고, 균일하여 내구력이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서는 D사 제품을 활용하여 야외적용실험을 실시하였다.

6. 현지적용용 식생자루 개발

가. 천연씨앗 부착마대 1

○ 특징

- 천연식물인 마에서 추출한 섬유로 만들어졌기 때문에 환경친화적인 제품이라고 할 수 있다.
- 기존 제품의 내피는 화장지이지만, 이 제품은 거즈 천으로 진흙 및 우천시에도 거즈가 잘 찢어지지 않는 마대로 제작하여 성토 및 절토면에 안전하게 시공할 수 있는 친환경성 및 작업성을 고려하였다.
- 메쉬 사이즈가 촘촘하게 제작함으로 수분 보유력을 높아 발아율이 증진시킬 수 있다(메쉬사이즈 : 2mm×2mm).

표 3-2-8. 천연씨앗 부착마대 1의 규격

제품크기		비고
가로	세로	
40cm	60cm	표준 규격
30cm	45cm	
50cm	70cm	
1Box : 제품 100개		

○ 적용가능대상지

- 토양의 유실 예상지역의 유실방지공사
- 홍수피해복구 사방공사
- 산불피해복구 사방공사
- 공원공사 및 골프장 공사

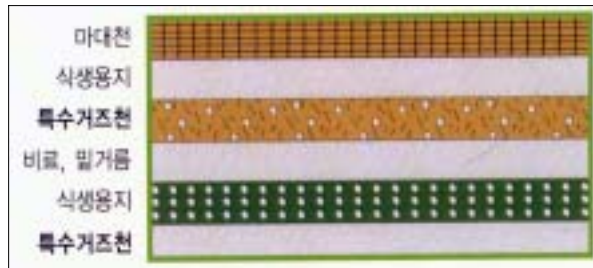


그림 3-2-23. 천연씨앗 부착마대 1의 모양 및 제품 단면도

나. 천연씨앗 부착마대 2

○ 특징

- 천연식물인 마와 목화에서 추출한 섬유로 제작하였기 때문에 환경친화적인 제품이라고 할 수 있다.
- 가볍기 때문에 제품을 쉽게 운송할 수 있어 고산지대 또는 급경사지의 사방공사에 매우 효과적이다.
- 구조 상 온도와 습도를 유지시키도록 제작하였기 때문에 조기에 종자의 발아를 촉진시켜 침식 및 유실을 방지할 수 있다.
- 토사유출을 방어할 수 있는 막을 단단히 형성하여 토사유출에 의한 2차 피해를 방지할 수 있다.

표 3-2-9. 천연씨앗 부착마대 2의 규격

제품크기		비고
가로	세로	
40cm	60cm	표준 규격
30cm	45cm	
50cm	70cm	
1Box : 제품 100개		

○ 적용가능대상지

- 토양의 유실 예상지역의 유실방지공사
- 홍수피해복구 사방공사
- 산불피해복구 사방공사
- 공원공사 및 골프장 공사



그림 3-2-24. 천연씨앗 부착마대 2의 모양 및 제품 단면도

다. P.P씨앗마대

○ 특징

- 내구성 강한 P.P에 씨앗과 비료성분을 부착시킨 특수 천을 접착하여 사방공사나 범면공사에 쉽게 시공할 수 있다.
- 3~4년후 P.P가 자연분해가 되어 환경적인 문제가 없으며, 단열효과에 의해 종자의 보호와 발육을 촉진할 수 있다.
- 천연 끈이 부착되어 시공이 간편하고 인건비가 절약되며, 토사유출 방어막을 형성하여 토사의 2차 피해를 방지한다.



그림 3-2-25. P.P씨앗마대

표 3-2-10. 천연씨앗 부착마대 2의 규격

제품크기		비고
가로	세로	
40cm	60cm	표준 규격
30cm	45cm	
50cm	70cm	
1Box : 제품 100개		

라. 씨벚짚가마니

○ 특징

- 천연 벚짚이 분해되어 유기질 비료화됨으로 조기녹화를 기대할 수 있다.
- 토양개량 및 호우시 토사유실 및 침식을 방지할 수 있으며, 단열효과에 의해 종자의 보호와 발육 촉진에 유리하다.
- 시공이 간편하여 경비가 절약되며, 시공 후 외관이 미려하여 경관상 유리하다.



그림 3-2-26. 씨벚짚가마니

표 3-2-11. 씨벚짚가마니의 규격

제품크기		비고
가로	세로	
60cm	70cm	표준 규격
1Box : 제품 100개		

제3절 인공비탈면에서의 식생자루 적용방안 개발

1. 실내 모형실험

가. 실험지 개요

실험지는 강우별 유출수량 및 유출토사량 등을 신속히 파악하고, 변화과정을 지속적으로 파악하기 위하여 그림 3-3-1과 같이 강원도 춘천시 효자 2동 192-1번지에 위치한 강원대학교 구내 묘포장에 설치하였다.



그림 3-3-1. 실내실험동의 위치도

나. 실험장치의 구성 및 제원

기상특성에 의한 영향을 줄이기 위해 가로 5.0m, 세로 6.5m, 높이 6.0m의 실험동을 축조하였으며, 실험동에는 비탈면 침식을 파악하기 위한 인공강우장치와 모형비탈면 조성용 라이시미터를 제작, 설치하였다. 인공강우장치는 가로 3m, 세로 4m로 분사각 45°의 노즐 12개를 1m 간격으로 균등하게 부착하였으며, 라이시미터는 가로 1.0m, 세로 3.0m로 비탈면의 경사도를 조절할 수 있도록 제작하였다(그림 3-3-2 및 표 3-3-1).

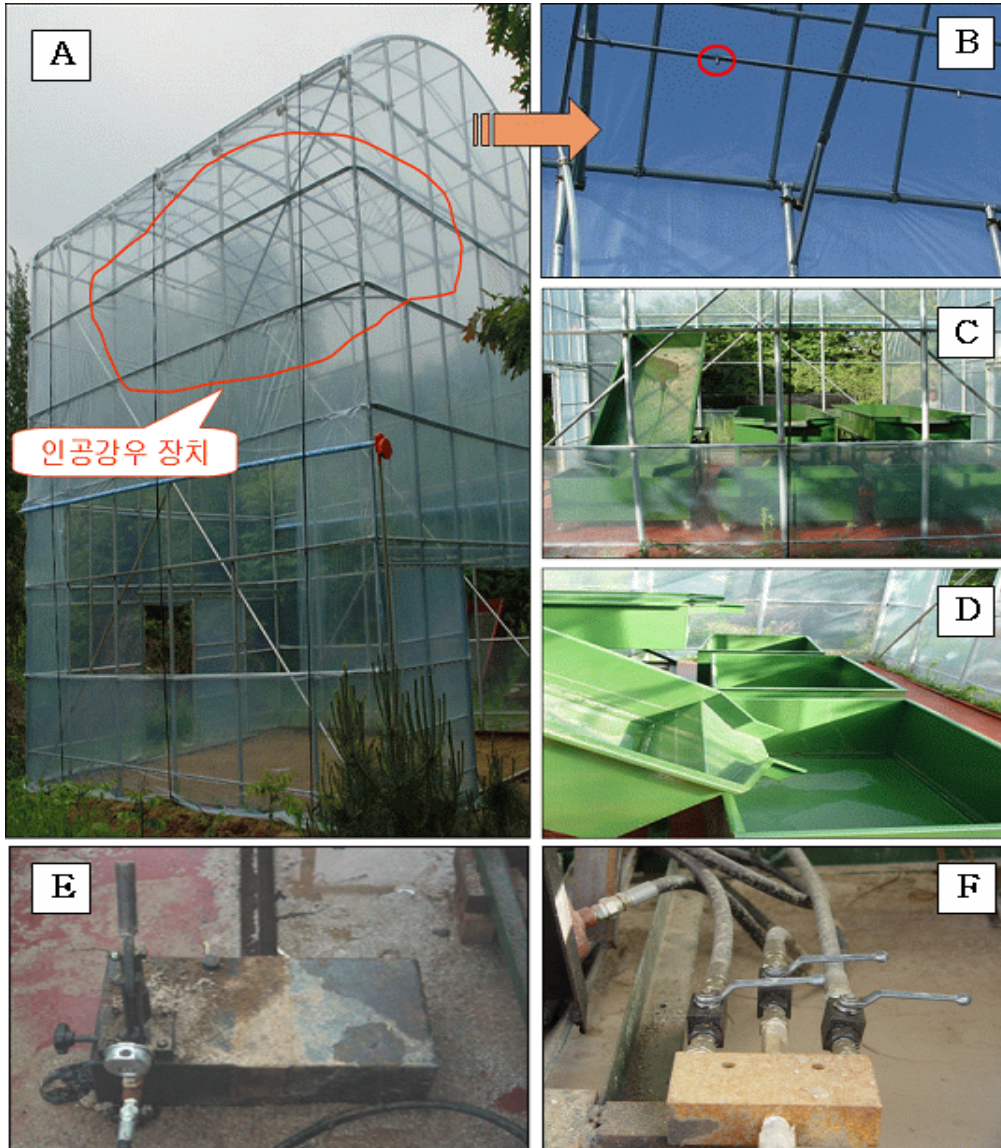


그림 3-3-2. 실험동(A), 인공강우장치(B), 라이시미터(C, D) 및 시험구 경사조절장치(E, F).

표 3-3-1. 인공비탈면 실험을 위한 시설 및 장치

구분	시설 및 장치	제 원
시 설	실 험 동	가로 5.0m × 세로 6.5 높이 6.0m
	모형 비탈면	가로 1m × 세로 3m × 깊이 0.3m [2개의 대조구]
장 치	인공강우장치	3m × 4m(노즐 12개), 분사각(45°)

또한 라이시미터의 깊이는 30cm로 다기능휠터와 식생자루의 도입에 따른 인공비탈면의 물리적 안정을 파악하기 위해 나지구와 식생자루구가 1세트가 되도록 제작하였다(그림 3-3-3). 한편, 식생자루는 마에서 추출한 섬유를 원료로 제작된 것으로 규격은 40cm×60cm이다.

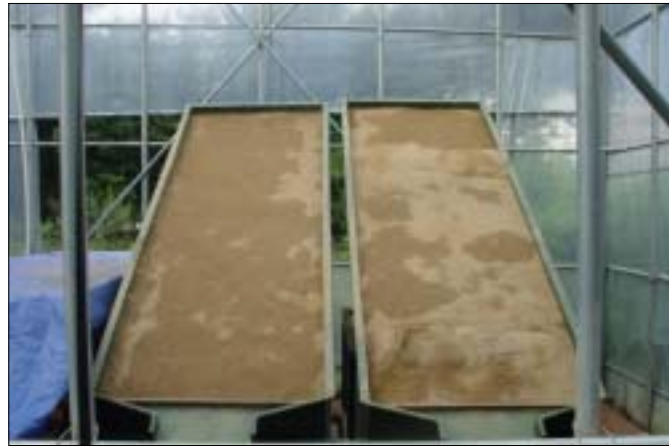


그림 3-3-3. 실험에 이용한 라이시미터의 모습

다. 실험방법

조사대상지의 최근 4년간의 연평균 강우량은 1380.7mm, 최대시우량은 평균 41.0mm 이었으나, 이 실험에서는 2002년의 태풍 RUSA(최대 시우량 : 100.5mm)의 경우를 참고로 최대시우량 100mm를 상정하여 실험을 실시하였다. 인공비탈면의 깊이는 30cm로 하였으며, 경사도에 따른 물리적 특성을 파악하기 위해 완(10°)·중(25°)·급(36°)으로 구분하여 실험을 실시하였다. 실험조건은 10cm씩 흙을 채우고 7.5kg의 철판을 이용하여 균일하게 답압한 후, 하루가 경과한 다음 실험을 실시하였으며, 평균토양경도는 12mm(±5)로 일반 산림토양 경도인 17mm 보다는 약간 낮았다.

한편, 실내실험에 사용한 토사의 공학적 특징을 파악하기 위해 흙의 입도시험(KS F 2302)을 실시하였다. 즉 No. 3, 2, 1 1/2, 1, 3/4, 3/8, 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200 체를 사용하여 입경가적곡선을 작성한 결과(그림 3-3-4), 토사의 균등계수(Cu)는 7.830, 곡률계수(Cg)는 0.977, 평균입경 $d_m=0.8mm$, 토질은 SP로 척박 건조한 마사토이다.

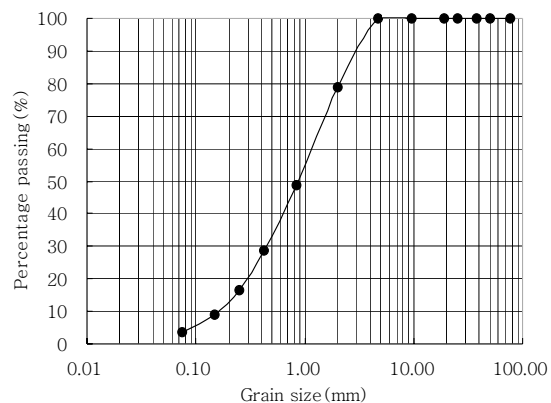


그림 3-3-4. 실험용 토사의 입경가적곡선

라. 측정방법

1) 부유물질농도 측정

부유물질농도는 우선 유리섬유 여지(GF/C)를 증류수로 세척한 다음 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조시킨 후, 무게를 정밀하게 측정한다. 다음 여과기에 부착시켰다. 이어서 적정량의 시료(채수한 유출수)를 여과시킨 다음 유리섬유여지를 다시 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조(그림 3-3-5)하여 여과 전·후의 유리섬유여지 무게 차로 산출하였다(식 3-1-1).



그림 3-3-5. 부유물질농도 측정장치

$$S.S = (b-a) \cdot \frac{1,000}{V} \dots\dots\dots (3-1-1)$$

여기서, S.S는 부유물질량(mg/ℓ)이며, a와 b는 각각 여과 전·후의 유리섬유여지의 무게이고, V는 시료의 양(ml)이다.

2) 유출토사량 측정

유출토사량은 라이시미터 최하단부의 집수정에서 채취한 토사(그림 3-3-6)를 75℃의 건조기에서 48시간 건조시켜 수분을 완전히 제거한 후 무게(g)를 측정하였다.



그림 3-3-6. 라이시미터 최하단부에 설치한 집수정과 토사유출 상황

마. 식생자루의 효과분석

1) 경사도별 붕괴발생 억지효과

가) 경사도 10°의 경우

경사도 10°의 경우 실험개시 후 20분까지는 나지구와 식생자루구 모두 표층붕괴 및 유출수가 발생하지 않았다(그림 3-3-7의 상단). 이는 이 실험에 사용한 토사의 깊이가 30cm로 두꺼우며 건조한 상태의 것을 사용하였기 때문에 토양수분이 포화상태가 되기까지는 상당한 시간을 필요로 하였던 것에 기인한 것으로 판단된다.

그러나 실험개시 후 20분이 경과하면서 나지구에서는 하단부뿐만 아니라 중간부로부터 상단부를 향해 누구가 형성되기 시작하였으며, 하단부의 누구 발달은 촉진되어 40분에는 누구의 형태가 유로화하여 형성되었지만, 식생자루구의 경우 전혀 변화하지 않았다(그림 3-3-7의 중간).

특히 실험개시 후 40분이 경과한 이후에는 나지구의 경우 누구의 발달이 하단부로부터 상단부를 향해 진행되어 실험종료시인 60분 이후에는 유로가 전 구간에 걸쳐 명확하게 형성되었으며, 식생자루구 역시 하단부를 중심으로 누구가 형성되기 시작하였다(그림 3-3-7의 하단). 따라서 라이시미터의 최하단부에 설치한 집수정에는 실험종료 후 나지구의 경우 유출수 및 유출토사가 집적하여 있었으나, 식생자루구는 상대적으로 소량의 유출수와 토사가 유출되어 있었다.



그림 3-3-7. 경사 10°의 시간대별 붕괴상황

나) 경사도 25°의 경우

경사도 25°의 경우 실험개시 후 10분이 경과하면서 규모의 차이는 있지만 나지구 및 식생자루구 모두 누구가 형성되기 시작하여 20분이 경과한 후에는 표층붕괴 또는 누구가 명확하게 진행되었다(그림 3-3-8의 상단). 특히 나지구의 경우 명확한 표층붕괴 형태의 소규모 붕락이 발생하였으며, 식생자루구 역시 누구발달이 진행되었다.

실험개시 후 20분이 경과하면서 나지구에서는 하단부뿐 만 아니라 중간부로부터 상단부를 향해 표층붕괴가 점차 확대되기 시작하여 상당량의 유출토사가 발생하였으며, 식생자루구 역시 하단부를 중심으로 누구가 발달하여 유로가 형성되기 시작하였다(그림 3-3-8의 중간).

특히 실험개시 후 40분이 경과한 이후에는 나지구의 경우 기존에 발생한 표층붕괴가 하단부로부터 상단부를 향해 확대되기 시작하여 실험종료시인 60분 이후에는 전 구간에 걸쳐 확대되었으며, 식생자루구 역시 하단부와 중간부의 일부 구간에서 누구가 유로화하여 표층붕괴 형태의 변화가 발생하였다(그림 3-3-8의 하단). 따라서 라이시미터의 최하단부에 설치한 집수정에는 실험종료 후 나지구의 경우 상당량의 유출수와 유출토사가 집적하였고, 특히 유출수의 부유농도가 시각적으로도 판단할 수 있을 정도로 높았으며, 식생자루구 역시 유출수와 토사가 유출되어 집적되어 있었다.



그림 3-3-8. 경사 25°의 시간대별 붕괴상황

다) 경사도 36°의 경우

경사도 25°의 경우 실험개시 후 10분이 경과하면서 규모의 차이는 있지만 나지구 및 식생자루구 모두 누구가 형성되기 시작하여 20분이 경과한 후에는 표층붕괴 또는 누구가 명확하게 진행되었다(그림 3-3-9의 상단). 특히 나지구의 경우 명화간 표층붕괴 형태의 소규모 붕락이 발생하였으며, 식생자루구 역시 누구발달이 진행되었다.

실험개시 후 20분이 경과하면서 나지구에서는 하단부뿐 만 아니라 중간부로부터 상단부를 향해 표층붕괴가 점차 확대되기 시작하여 상당량의 유출토사가 발생하였으며, 식생자루구 역시 하단부를 중심으로 누구가 발달하여 유로가 형성되기 시작하였다(그림 3-3-9의 중간).

특히 실험개시 후 40분이 경과한 이후에는 나지구의 경우 기존에 발생한 표층붕괴가 하단부로부터 상단부를 향해 확대되기 시작하여 실험종료시인 60분 이후에는 전 구간에 걸쳐 확대되었으며, 식생자루구 역시 하단부와 중간부의 일부 구간에서 누구가 유로화하여 표층붕괴 형태의 변화가 발생하였다(그림 3-3-9의 하단). 따라서 라이시미터의 최하단부에 설치한 집수정에는 실험종료 후 나지구의 경우 상당량의 유출수와 유출토사가 집적하였고, 특히 유출수의 부유농도가 시각적으로도 판단할 수 있을 정도로 높았으며, 식생자루구 역시 유출수와 토사가 유출되어 집적되어 있었다.



그림 3-3-9. 경사 36°의 시간대별 붕괴상황

2) 경사도별 부유물질농도 저감효과

가) 부유물질농도의 유출기구

유출수의 부유물질농도는 토사가 유출되는 과정에서 토양의 미세한 입자가 유출수와 함께 유출되는 것으로 유리섬유여지를 증류수로 세척한 다음 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조시킨 후, 무게를 정밀하게 측정한 다음 여과기에 부착시키고, 이어서 채수한 유출수를 여과시킨 다음 유리섬유여지를 다시 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조하여 여과 전·후의 유리섬유여지 무게 차로 산출하였다.

유출수를 채취한 결과, 나지구의 경우 그림 3-3-10에서 알 수 있듯이 경사가 급할수록 부유물질농도가 높아지는 것을 시각적으로도 확인할 수 있었으며, 식생자루구에서도 정도의 차이는 있지만, 역시 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 나지구와 식생자루구의 부유물질농도는 많은 차이가 있는 것을 알 수 있었다. 또한 경사별, 처리별 유리섬유여지에 여과된 부유물질은 그림 3-3-11에서 알 수 있듯이 경사가 급할수록 부유물질의 양이 많아지는 것을 시각적으로도 확인할 수 있었으며, 식생자루구에서도 정도의 차이는 있지만, 역시 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 나지구와 식생자루구의 부유물질의 양은 매우 큰 차이가 있는 것을 알 수 있었다.



그림 3-3-10. 경사별, 처리별 유출수의 부유물질농도



그림 3-3-11. 경사별, 유리섬유여지에 여과된 부유물질(좌로부터 경사 10°, 25°, 36°)

나) 경사도별 부유물질농도 변화

비탈면 침식실험으로 파악한 경사도에 따른 부유물질농도의 변화는 그림 3-3-12와 같다. 즉 나지구는 36°에서 25.4mg/l, 25°에서 7.12mg/l, 10°에서 2.46mg/l로 경사도별 변화 폭이 10배 이상 차이가 있는 것으로 나타났으며, 식생자루구도 36°에서 3.68mg/l, 25°에서 1.64mg/l, 10°에서 0.15mg/l로 경사에 따른 변화 폭이 약 25배 정도 차이가 있는 것으로 나타났다.

또한 식생자루가 경사도별 부유물질농도에 미치는 영향은 경사 36°의 경우 나지구와 식생자루구의 부유물질농도는 25.40mg/l와 3.68mg/l로 식생자루구보다 나지구의 부유물질농도가 6.9배 이상 높게 나타났으며, 경사 25°의 경우는 나지구와 식생자루구의 부유물질농도는 7.12mg/l와 1.64mg/l로 식생자루구보다 나지구의 부유물질농도가 4.3배 이상 높게 나타났다. 그리고 경사 10°의 경우는 나지구와 식생자루구의 부유물질농도는 2.46mg/l와 0.15mg/l로 식생자루구보다 나지구의 부유물질농도가 매우 높게 나타났다.

이상은 식생자루의 배수성과 필터 효과가 우수하여 강우에 의해 발생하는 토사유출을 억제시켜 주고, 오염물질발생 억제효과가 크기 때문에 비탈면의 물리적 안정도를 향상시키는데 큰 역할을 한다고 할 수 있다.

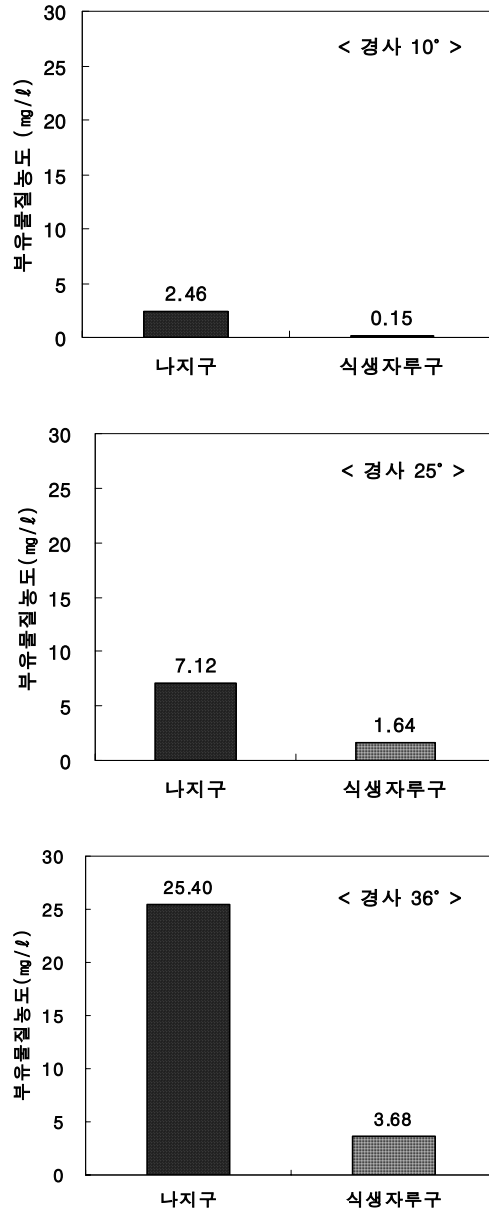


그림 3-2-38. 경사도별 부유물질농도

3) 경사도별 유출토사량 변화

가) 유출토사의 특성과악

라이시미터 최하단부의 집수정에서 채취한 토사를 75°C의 건조기에서 48시간 건조시켜 수분을 완전히 제거한 후 무게(g)를 측정하였다(그림 3-3-13 및 그림 3-3-14).



그림 3-3-13. 집수정에서 채취한 토사와 실험에서 사용한 건조기



그림 3-3-14. 집수정에서 채취한 토사의 건조 전후의 모습

나지구의 경우 36°에서 278.64g/m², 25°에서 135.80g/m² 그리고 10°에서 27.82g/m²로 36°의 경우 10°보다 약 10배의 토사유출이 일어났으며, 식생자루구의 경우 36°에서 93.81g/m², 25°에서 11.28g/m² 그리고 10°에서 1.06g/m²로 36°의 경우에 비해 25°와 10°의 경우 거의 토사유출이 발생하지 않아 「사면경사도가 클수록 사면침식이 용이하고 붕괴의 위험성이 크다」는 기존의 연구결과와 일치하였다(표 3-3-2).

표 3-3-2. 경사도별, 조사구별 유출토사량(g/m²)

경사도 \ 조사구	나지구	식생자루구
36°	278.64	93.81
25°	135.80	11.28
10°	27.82	1.06

나) 경사도별 유출토사 변화

인공비탈면 침식실험으로 파악한 경사도에 따른 유출토사의 변화는 그림 3-3-15와 같다. 즉 나지구는 36°에서 278.64g/m², 25°에서 135.80g/m², 10°에서 27.82g/m²로 경사도별 변화 폭이 10배 이상 차이가 있는 것으로 나타났으며, 식생자루구도 36°에서 93.81g/m², 25°에서 11.28g/m², 10°에서 1.06g/m²로 경사에 따른 변화 폭이 큰 차이가 있는 것이 명확하게 나타났다.

또한 식생자루가 경사도별 유출토사에 미치는 영향은 경사 36°의 경우 나지구와 식생자루구의 유출토사량은 278.64g/m²와 93.81g/m²로 식생자루구보다 나지구의 유출토사량이 3.0배 높게 나타났으며, 경사 25°의 경우는 나지구와 식생자루구의 유출토사량은 135.80g/m²와 11.28g/m²로 식생자루구보다 나지구의 유출토사량이 12배 이상 높게 나타났다. 그리고 경사 10°의 경우는 나지구와 식생자루구의 유출토사량은 27.82g/m²와 1.08g/m²로 식생자루구보다 나지구의 유출토사량이 매우 높게 나타났다.

이상의 결과로부터 식생자루가 붕괴역지효과가 탁월하여 집중강우에 의해 발생하는 토사유출을 억제시켜 줄뿐만 아니라, 비탈면의 물리적 안정도를 향상시키는데 큰 역할을 하고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

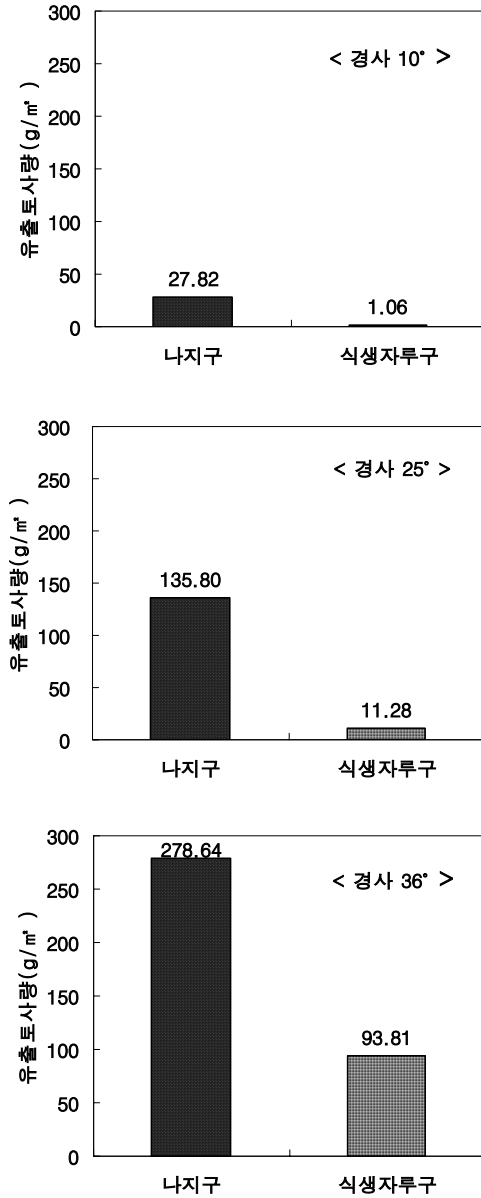


그림 3-2-41. 경사도별 유출토사량

2. 인공비탈면에서의 식생도입 실험

가. 실험장치의 구성 및 제원

식생자루가 식생생육에 미치는 영향을 파악하기 위해 식생자루구와 미설치구를 설치하였으며, 식생도입방법이 비탈면의 물리적 안정 및 식생생육에 미치는 영향을 파악하기 위하여 식생의 처리방법이 서로 다른 라이시미터를 각각 2개가 한 조가 되도록 하여 3기를 제작하였다(그림 3-3-16). 라이시미터



그림 3-3-16. 인공비탈면의 전경

제원은 표 3-3-3과 같이 비탈면 물매 36°, 면적은 1.5m²(폭 0.75m×길이 2.0m)로, 비탈면의 구성재료는 마사토이다. 시험구 구분은 그림 3-2-43의 좌측부터 임의적으로 조사구 1~6번으로 명명하였다.

표 3-3-3. 인공비탈면의 구성 및 제원

면적	경사	구성재료
1.5m ² (0.75m×2.0m)	36°	마사토

나. 실험방법

식생자루는 실내실험에서 사용한 것과 식생자루를 사용하였으며, 파종종자는 우리나라의 재래종으로, 기존 실험에서 우수한 생존율을 나타낸 낭아초, 붓꽃 및 참싸리를 사용하였다. 조사구는 짝수구인 2, 4, 6번에만 식생자루를 설치하였고, 1, 2조사구는 식생을 도입하지 않았으며, 조사구 3, 4에는 낭아초, 참싸리, 붓꽃을 각각 500립, 1000립, 400립을, 또한 5, 6조사구는 3, 4번 시험구의 2배의 식생을 도입하였다(표 3-3-4).

표 3-3-4. 식생자루구의 처리방법

조사구	처리방법	조사구	처리방법
1	나지구	4	식생구 1+식생자루구
2	마대구	5	식생구 2
3	식생구 1	6	식생구 2+식생자루구

※ 식생구 1 : 낭아초(500립), 붓꽃(1,000립) 및 참싸리(400립)

식생구 2 : 낭아초(1,000립), 붓꽃(2,000립) 및 참싸리(800립)

다. 조사방법 및 내용

1) 조사기간

조사기간은 2003년 7월부터 2005년 5월까지이며, 강우자료는 기상청의 통계자료와 강원대학교 산림과학대학 2호관 옥상에 설치한 우량계의 강우자료를 참고로 하여 일강우량을 파악하였다.

2) 식생조사

매년 9월말에 현지기입방식으로 종수, 개체수, 과종종자의 생존수를 조사하였으며, 식생피복율은 식생 생육이 왕성하고 피복도가 가장 높은 8월에 시험구별로 사진촬영을 실시하여 프로그램 winRHIZO를 이용하여 산출하였다.

3) 유출수량 파악

유출수량은 강우 종료 후 시험구의 집수구에서 집수된 유출수를 측정하였다. 수질 분석 등에 사용할 시료는 유출수를 충분히 휘저어 혼합시킨 후, 채수통(215ml)으로 채취하여 실내실험에 사용하였다.

4) 부유물질농도 측정

모형비탈면 침식실험과 동일한 방법으로 유리섬유여지의 건조 전·후의 무게차로 산출하였다.

5) 유출토사량

유출토사도 동일한 방법으로 토사를 75℃의 건조기에서 48시간 건조시켜 수분을 완전히 제거한 후 무게(g)를 측정하였다.

라. 식생조사

1) 식생변화의 기본기구

2003년과 2004년의 9월말에 각각 식생 조사 한 결과, 출현한 식생은 2003년에 목본류 1종, 초본류 11종으로 총 8과 12종이었으며, 2004년에는 목본류 1종, 초본류 25종으로 총 14과 25종이었다. 침입식생으로는 2003년에는 민바랭이, 실망초, 씬바귀 등이 다수 침입하여 초본류가 우점을 이루었고, 2004년에는 며느리밑씻개, 꼭두서니, 왕고들빼기, 여우주머니 등이 새롭게 출현하여 2003년보다 2004년의 식생구성이 다양하게 나타났다(표 3-3-5). 또한 실망초, 쑥 등 국화과 식물이 전체적으로 많이 출현하였는데 이는 「국화과 식물들이 훼손지에 선구종으로 침입하여 비탈면안정에 영향을 준다는 기존의 연구결과와 동일한 경향으로 이들 국화과 식물종이 녹화용 식물로서 이용 가능성이 매우 높은 것으로 사료된다.

표 3-3-5. 연도별 식생의 종류 및 개체수의 변화

연도	조사구	목분류	초분류
2003	1	-	민바랭이(24), 명아주(23), 실망초(19), 쑥(7), 썸바귀(5), 새콩(3), 제비꽃(2), 닭의장풀(1)
	2	-	민바랭이(24), 실망초(24), 명아주(14), 썸바귀(13), 쑥(11), 제비꽃(4),
	3	참싸리(79)	붓꽃(45), 민바랭이(57), 실망초(54), 쑥(6), 방동사니(5), 썸바귀(4), 제비꽃(3), 새콩(1),
	4	참싸리(85)	붓꽃(23), 실망초(112), 민바랭이(89), 쑥(4), 제비꽃(3)
	5	참싸리(113)	붓꽃(78), 실망초(125), 쑥(7), 민바랭이(6)
	6	참싸리(103)	붓꽃(55), 실망초(132), 쑥(20), 강아지풀(7), 민바랭이(3)
2004	1	-	민바랭이(76), 뚝갈(61), 실망초(58), 명아주(33), 제비꽃(16), 돼지풀(11), 방동사니(9), 쑥(4), 썸바귀(3), 넓은잎외잎쑥(3), 여우주머니(2), 새콩(2), 민들레(1), 쑥부쟁이(1)
	2	-	실망초(107), 뚝갈(43), 명아주(21), 제비꽃(17), 쑥(16), 민바랭이(14), 돼지풀(10), 여우주머니(8), 강아지풀(8), 방동사니(2), 썸바귀(2), 민들레(1), 뽕쑥(1), 꼭두서니(1), 왕고들빼기(1), 닭의장풀(1)
	3	참싸리(117)	붓꽃(28), 뚝갈(42), 쑥(29), 민바랭이(23), 실망초(10), 뽕쑥(2), 제비꽃(1), 썸바귀(1)
	4	참싸리(121)	붓꽃(7), 민바랭이(72), 뚝갈(61), 실망초(7), 쑥(5), 제비꽃(3), 뽕쑥(2), 강아지풀(2), 썸바귀(1), 고사리(1), 방동사니(1)
	5	참싸리(186)	붓꽃(38), 뚝갈(22), 쑥(17), 제비꽃(3),
	6	참싸리(140)	붓꽃(35), 뚝갈(11), 쑥(2), 썸바귀(2), 뽕쑥(2), 제비꽃(1), 머느리밀씻개(1), 실망초(1)

식생자루구와 미설치구의 개체수는 큰 차이를 보이지 않았으나, 종수는 식생자루구에서 높게 나타나 인공비탈면에서 식생자루가 초분류의 침입과 초기 생육에 매우 효과적인 것으로 판단되어진다. 결국 종 다양성의 면에서 계속적으로 증가하는 경향이 나타나 향후 몇 년간은 식생변화에 대하여 계속적으로 모니터링을 실시해야 할 것으로 판단된다.

2) 개체수 변화

가) 전체 출현식생 개체수

전체 출현식생의 개체수는 2003년에는 1,407개체, 2004년도에는 1,531개체가 각각 출현하였다(그림 3-3-17). 전체 출현식생의 개체수 변화는 실험개시 후 증가하는 경향을 보였는데, 이는 침입종인 실망초 등 초분류가 우점하여 생육한 것에 기인된 것으로 사료되며, 특히 나지였던 1, 2번 시험구에는 새로운 침입종들의 개체수가 증가하여

개체수가 크게 증가한 것으로 사료된다.

각 시험구별 출현식생의 개체수 변화를 보면, 시험구 1, 2번과 시험구 5, 6번의 총 개체수 변화가 크게 나타난 것에 비해 시험구 3, 4번은 변화의 폭이 작은 것으로 나타나, 생육조건이 불량한 지역에서는 파종한 종자의 개체수가 잔존 식생의 개체수 증가에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 향후 녹화공법을 개발할 경우 경제성을 고려하여 적정파종 개체수 산출을 파악하는 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다.

2004년도에는 시험구 6번의 경우 다른 시험구에 비해 개체수가 상당히 낮았는데, 이는 목본식물인 참싸리의 왕성한 성장에 의해 다른 식생이 피압되어 성장에 나쁜 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 목본류와 초본류의 조화적인 면에서도 식생의 적정도입에 대한 연구는 지속적으로 확대되어야 할 것이다.

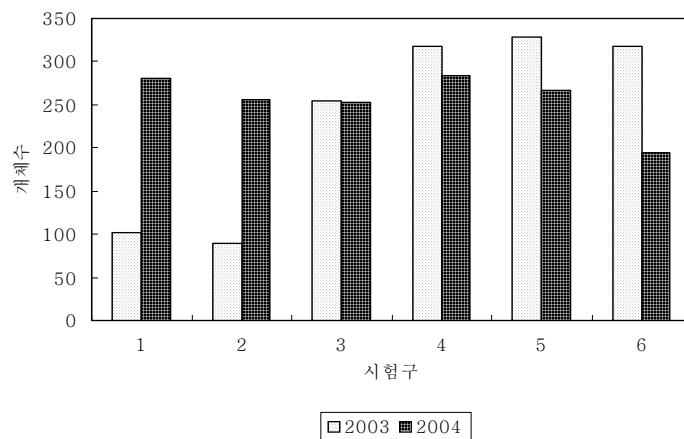


그림 3-3-17. 각 조사구에 있어서 출현식생 개체수의 변화

나) 도입종의 생존 개체수

도입종 중에서 2003년에 발아된 개체수는 시험구 3, 4번의 경우 참싸리는 각각 79개체, 85개체였으며, 붓꽃은 45개체, 23개체가 발아되었고, 시험구 5, 6번은 참싸리가 각각 103개체, 113개체, 붓꽃은 각각 78개체 55개체가 발아되었다.

2004년에는 참싸리의 경우 시험구 3, 4번이 각각 117개체, 121개체가, 붓꽃은 28개체, 7개체가 각각 발아되었다. 또한 시험구 5, 6번에 있어서는 참싸리는 각각 186개체, 140개체가 발아되었으며, 붓꽃은 38개체, 35개체가 발아되는 등 매년 참싸리와 붓꽃의 개체수는 시험구 3, 4번보다 시험구 5, 6번이 높게 나타나 도입종수에 크게 영향을 받은 것으로 판단되어진다.

그림 3-3-18에 의하면, 도입종의 개체수는 점차 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 비탈면의 식생이 안정화 되면서 침입식생과의 경쟁에 의해 감소한 것으로, 「초기에는 도입식생이 우세하지만, 시간이 경과할수록 도입식생은 쇠퇴하게 되고 침입종이 들어와서 천이가 진행된다는 연구결과에서 알 수 있듯이 이와 같은 경향은 앞으로도 지속될 것으로 예상되므로 이에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 또한 2004년도에는 참싸리의 개체수가 증가한데 비해, 붓꽃의 경우 계속적으로 감소하였는데, 목본류인 참싸리의 성장에 따른 피압이 작용한 것으로 사료된다.

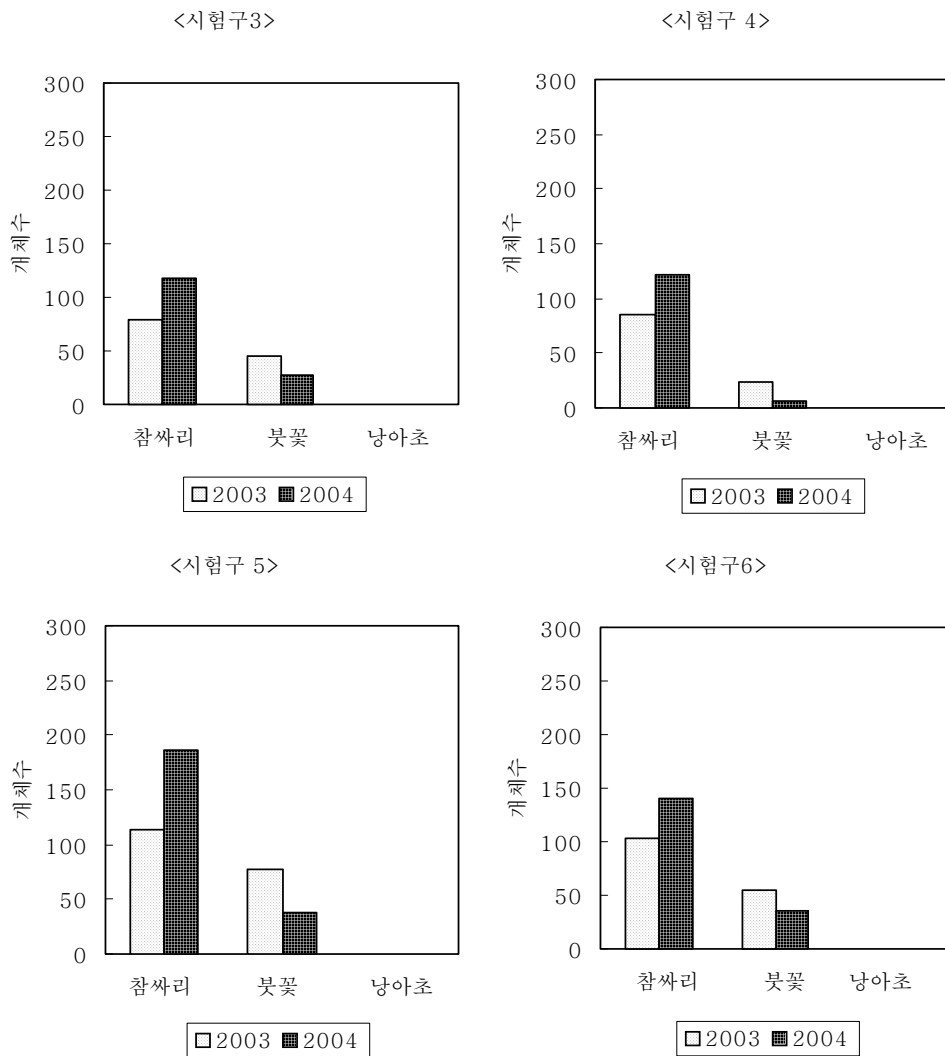


그림 3-3-18. 각 조사구별 파종종자의 생존 개체수

3) 출현 종수변화

식생의 전체 출현 종수는 2003년 12종, 2004년에 24종으로 나타나 시간이 경과 할수록 출현하는 식생의 종수가 증가하였다(그림 3-3-19). 특히 식생을 전혀 도입하지 않았던 시험구 1, 2에는 실망초, 민바랭이, 명아주 등 다수의 초본류가 침입하였으며, 다기능휠터구인 시험구 2의 경우 시험구 1에 비해 다양한 종 침입이 이루어져 식생자루구가 초본류의 침입에 매우 효과적인 것을 알 수 있었으나 전체 개체수면에서는 뚜렷한 차이가 나지 않았다.

한편 식생도입구인 3, 4, 5 및 6 시험구 역시 전체적으로 종이 다양해져 「침입수종의 종자는 주위 산림으로부터 침입하며 토사의 이동이 정지된 후 3~4년간이 종의 변화가 가장 많고 그 후부터는 감소한다는 연구결과와 일치되었으며, 지속적인 모니터링에 의해 천이과정을 파악해야 할 것으로 사료된다.

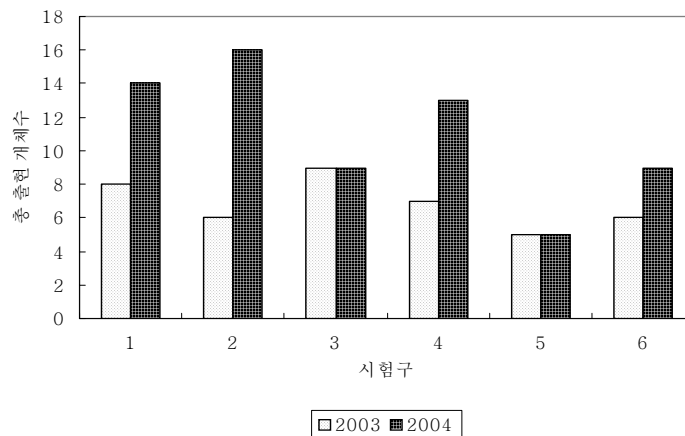


그림 3-3-19. 각 조사구에 있어서 연도별 출현종수의 변화

4) 식생피복율 변화

식생이 성장하여 지상부가 발달하게 되면 식생의 종류에 따라 다르지만, 모든 식생의 경우 사면의 생태적 안정에 효과적일 뿐 만 아니라 강우차단효과가 증강된다. 따라서 식생의 성장에 따른 식생피복율에 대한 변화과정을 규명하여 문제점을 파악하고, 이를 촉진시키는 방안을 마련하는 것은 비탈면의 침식 등을 억제하는 방재기능 증진에 매우 중요한 과제라고 할 수 있다.

실험결과, 표 3-3-6에서 알 수 있듯이 2003년과 2004년 모두 나지구인 1, 2번을 제외하고는 50% 이상의 높은 피복율을 나타내어 비탈면의 물리적 안정에 효과적인 것

으로 파악되었으며, 특히 시간이 경과함에 따라 식생 피복율이 전 조사구에 증가하였을 뿐 만 아니라 특히 실험개시 후 1년이 경과한 시점에서 조사구 3, 4, 5, 및 6조사구는 이미 비탈면의 침식을 안정화시키는 70%를 상회하고 있었다.

표 3-3-6. 각 조사구에 있어서 식생피복율의 변화(%)

일자 \ 조사구	1	2	3	4	5	6
2003년 8월 22일	23.72	21.89	52.93	50.28	60.41	50.47
2004년 8월 11일	41.77	39.32	76.85	72.68	78.41	80.82

시공 후 식생 피복율의 변화는 그림 3-3-20에서 알 수 있듯이 식생피복율은 시공 후 경과년수에 비례하여 증가하는 경향이 명확히 나타났으며, 특히 파종 종자수가 많은 경우 이러한 경향은 더욱 명확하게 나타났다. 그러나 실험 2년차인 2004년에는 식생자루구와 미설치구 간의 차이가 뚜렷이 나타나지 않았는데, 이는 시간이 경과함에 따라 식생이 점차 안정되었기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 시험구 3, 4번과 시험구 5, 6번의 피복율의 차이가 크게 나타나지 않은 점으로 보아, 적정 식생도입량에 관한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

한편, 나지인 1, 2번 시험구의 피복율보다 식생을 파종한 3, 4번 시험구와 5, 6번 시험구가 77% 이상의 피복율을 보여 식생도입이 피복율을 향상시키는데 매우 효과적인 것으로 나타났으며, 특히 목본류인 참싸리는 성장이 왕성해지면서 피복율 향상에 크게 기여한 것으로 나타났다.

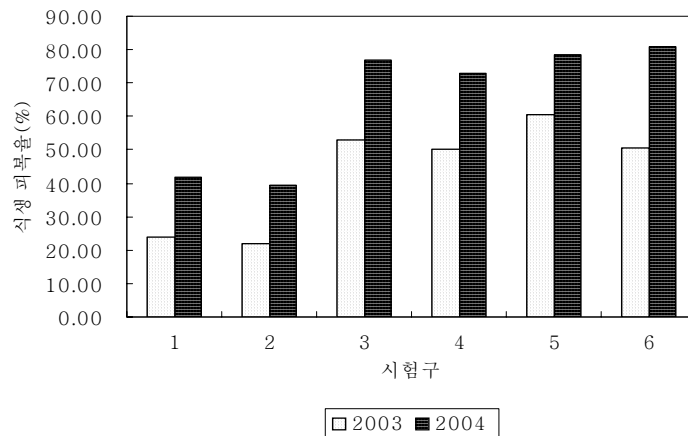


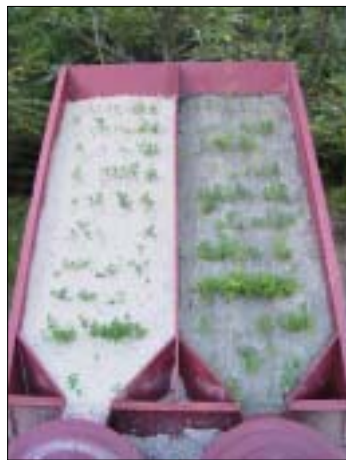
그림 3-3-20. 각 조사구에 있어서 연도별 피복율 변화



<시공 당시의 전경>



<시공 2개월 후의 전경>



<시공 3개월 후의 전경>



<최근의 전경>

그림 3-3-21. 인공비탈면에서의 시간경과에 따른 식생생육의 변화

마. 조사기간 중 강우특성

식생에 의한 강수차단량과 근계에 의한 침투량을 초과하는 강우가 발생하게 되면 표면유출량이 발생하게 된다. 조사기간 중에 표면유출수는 총 43회에 걸쳐 발생하였으며, 표면유출수가 발생한 강우의 강우량은 표 3-3-7과 같다. 즉 강우의 분포상황은 최소 12.0mm에서 최대 217.7mm로 43회의 강우 중 100mm 이상이 총 11회에 걸쳐 발생하였고, 이는 주로 7, 8월의 집중호우와 태풍에 의한 것이었다.

이상과 같이 예년에 비해 2003년과 2004년에 강우빈도가 매우 높았던 것으로 나타난 이유는 엘니뇨 현상이 기압계에 영향을 주어 본격적인 여름날씨의 원인이 되는 북태평양 고기압이 세력을 확장하지 못하면서 우리나라가 이 기압대의 가장자리에 들어 대기가 극히 불안정한 상태를 유지하게 되므로서 7월 초순부터 9월 중순에 걸쳐 강우의 발생빈도가 높았기 때문이다.

표 3-3-7. 조사기간 중의 강우량 분포도

		2003년도					
일자		4. 10	4. 21	4. 30	5. 9	6. 13	6. 26
강우량(mm)		20.0	39.0	64.0	102.0	26.0	18.0
일자		6. 30	7. 11	7. 24	8. 21	8. 25	8. 28
강우량(mm)		50.4	49.5	161.0	184.5	217.7	79.5
일자		9. 1	9. 8	9. 15	9. 22		
강우량(mm)		16.0	78.5	88.5	142.0		
		2004년도					
일자		4. 20	4. 28	5. 13	5. 24	5. 31	6. 28
강우량(mm)		12.0	39.5	44.9	26.5	52.5	105.5
일자		7. 9	7. 14	7. 19	8. 12	8. 20	9. 16
강우량(mm)		198.0	202.5	117.6	31.6	193.8	148.0

바. 강우량과 유출수량의 관계

일반적으로 강우량이 증가하면 유출수량 역시 증가하며, 동일 강우량이 발생할 경우 식생의 유무에 의해 유출수량이 상당히 영향을 받게 된다. 따라서 각 시험구에 있어서 강우량에 따른 유출수량의 변화는 표 3-3-8에서 알 수 있듯이 모든 시험구에서 강우량이 증가함에 따라 유출수량도 비례하여 증가하였으며, 또한, 그림 3-3-22에서 알 수 있듯이 식생자루의 시공여부가 유출수량에 영향을 미쳐 식생자루구가 미설치구보다 전체적으로 유출수량이 많은 것으로 나타났다. 이는 식생자루 미설치구의 경우 강우의 일부만이 토양으로 흡수되는 데에 비해, 식생자루구에서는 식생의 생육 이전

에는 식생자루 자체의 수막작용에 의해 강우가 토양으로 바로 침투되는 것이 억제되었기 때문이다.

또한, 식생자루를 설치한 2번 조사구가 식생을 도입한 4번과 6번 조사구에 비해 유출수량이 많은 것으로 나타나 「식생피복이 비탈면의 표면 유하량의 감소와 표면 충격량의 감소, 유하수의 속도 감소 등 우수의 집중 방지에 중요한 역할을 한다」는 기존의 연구보고와 동일한 결과가 나타났다. 특히 식생의 유무는 옆에 의한 강우차단량 증가와 식생의 근계발달에 의한 침투량 증가에 따른 표면유출량 저감기능에 매우 효과적이므로 이와 같은 현상이 나타난 것으로 판단되었다.

표 3-3-8. 강우일시별 유출수량(ml)

일자	조사구	1	2	3	4	5	6	비고
2003. 4. 10		0	300	0	0	0	0	예비실험
2003. 4. 21		0	1,300	0	4,300	0	0	"
2003. 4. 30		1,600	11,800	500	15,500	1,200	0	"
2003. 5. 9		3,200	40,500	32,500	31,400	5,200	500	"
2003. 6. 13		12,500	2,100	0	2,500	0	0	"
2003. 6. 26		660	2,500	0	250	0	0	"
2003. 6. 30		2,600	9,800	0	1,950	0	0	"
2003. 7. 11		1,400	9,000	0	2,400	500	0	"
2003. 7. 24		8,300	138,000	2,200	45,000	34,000	0	
2003. 8. 21		38,000	133,600	3,650	35,500	6,300	2,700	
2003. 8. 25		19,200	107,600	2,500	21,000	2,300	5,600	
2003. 8. 28		1,500	19,600	0	1,000	0	0	
2003. 9. 1		1,250	4,350	0	850	0	0	
2003. 9. 8		-	22,400	0	3,500	800	600	
2003. 9. 15		7,400	25,700	0	3,150	400	0	
2003. 9. 22		6,000	76,100	2,500	28,300	2,900	2,600	
2004. 4. 20		0	210	0	0	0	0	
2004. 4. 28		0	1,550	0	0	0	0	
2004. 5. 13		0	750	0	0	0	0	
2004. 5. 24		0	920	0	0	0	0	
2004. 5. 31		0	1,400	0	0	0	0	
2004. 6. 28		2,400	5,700	0	750	0	0	
2004. 7. 9		700	4,400	0	0	0	0	
2004. 7. 14		1,500	20,400	0	0	0	0	
2004. 7. 19		1,300	9,150	0	1,400	0	1,150	
2004. 8. 12		700	1,700	0	450	0	0	
2004. 8. 20		1,850	25,600	0	1,250	0	930	
2004. 9. 16		1,700	13,750	0	400	0	0	

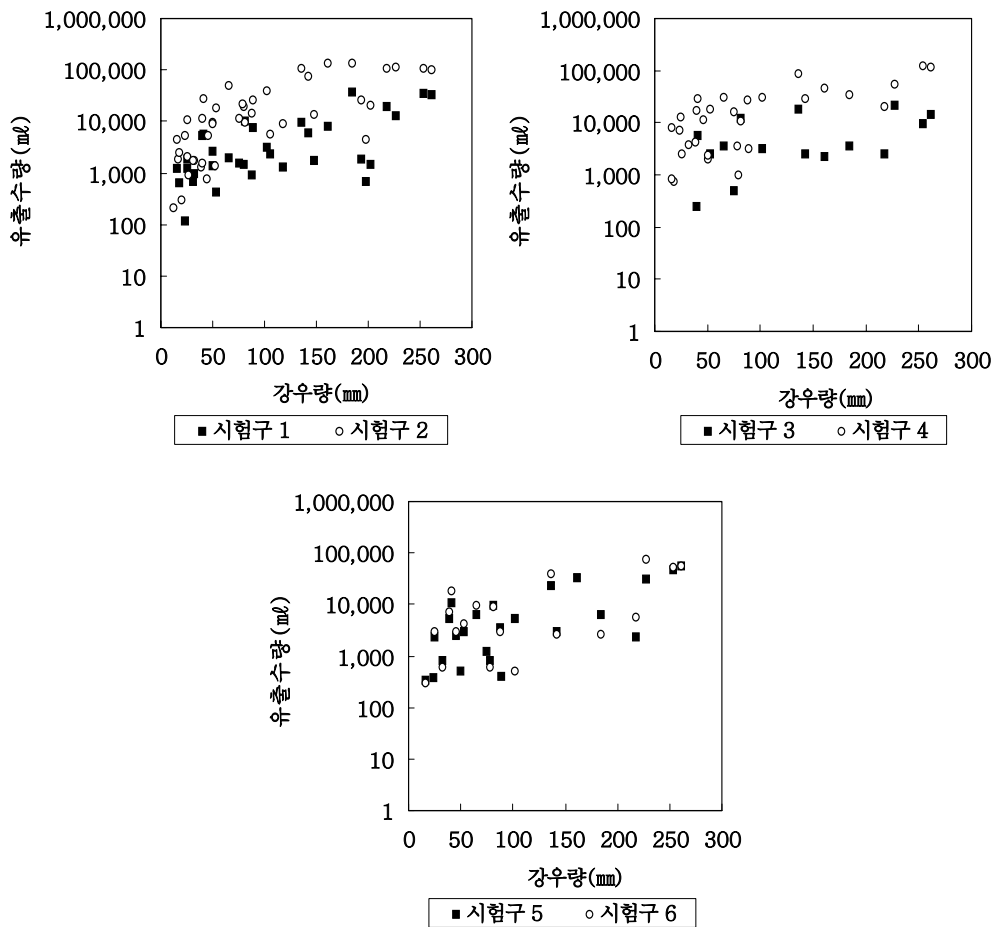


그림 3-3-22. 강우량과 유출수량과의 관계

사. 강우량과 부유물질농도와의 관계

일반적으로 강우량이 증가하면 유출수량이 증가하며, 특히 식생이 피복되어 있지 않은 경우에는 표면유출수량이 증가하게 되면 토양 표면의 토양 미립자가 함께 유실되어 부유물질농도가 증가하게 된다. 따라서 유출수의 부유농도를 측정하는 것은 강우에 의한 유무에 의해 유출수량이 상당히 영향을 받게 된다.

각 시험구에 있어서 유출수의 부유물질농도는 표 3-3-9 및 그림 3-3-24와 같다. 즉 부유물질농도는 전체적으로 유출수량의 경우와 같이 강우량에 비례하여 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 강우량이 많을 경우 다른 시험구에 비해 피복율이 낮았던 시

험구 1, 2번의 부유물질농도가 높게 나타나 식생이 부유물질의 발생을 억제하는데 효과가 있는 것으로 나타났다.

또한 식생자루를 설치한 2, 4, 6번 시험구보다 미설치구인 1, 3, 5번 시험구에서 약 2배 이상 부유물질농도가 높게 나타났는데, 이는 식생자루의 우격침식 방지효과와 유출수와 함께 유출되는 부유물질을 걸러주는 필터링 효과가 발휘되었기 때문인 것으로 판단되었다.

표 3-3-9. 유출수의 부유물질농도(mg/ℓ)

일자	조사구	1	2	3	4	5	6	비고
2003. 4. 10		-	0.0520	-	-	-	-	예비실험
2003. 4. 21		-	0.0100	-	0.0170	-	-	"
2003. 4. 30		0.0492	0.0025	0.0510	0.0050	0.0288	-	"
2003. 5. 9		0.0192	0.0017	0.0125	0.0008	0.0200	0.0150	"
2003. 6. 13		0.0167	0.0392	-	0.0533	-	-	"
2003. 6. 26		0.0492	0.0175	-	0.0575	-	-	"
2003. 6. 30		0.0185	0.0008	-	0.0077	-	-	"
2003. 7. 11		0.0162	0.0008	-	0.0023	0.1154	-	"
2003. 7. 24		0.0169	0.0054	0.0946	0.0015	0.0246	-	
2003. 8. 21		0.0038	0.0031	0.1900	0.0092	0.0238	0.0669	
2003. 8. 25		0.1808	0.0262	0.0054	0.0008	0.0008	0.0108	
2003. 8. 28		0.0015	0.0008	-	0.0123	-	-	
2003. 9. 1		0.0123	0.0085	-	0.0123	-	-	
2003. 9. 8		-	0.0023	-	0.0838	0.0187	0.0608	
2003. 9. 15		0.0215	0.0085	-	0.0054	0.0415	-	
2003. 9. 22		0.0008	0.0015	0.0008	0.0031	0.0008	0.0269	
2004. 4. 20		-	0.0008	-	-	-	-	
2004. 4. 28		-	0.0083	-	-	-	-	
2004. 5. 13		-	0.0033	-	-	-	-	
2004. 5. 24		-	0.0017	-	-	-	-	
2004. 5. 31		-	0.0500	-	-	-	-	
2004. 6. 28		0.0250	0.0333	-	0.0750	-	-	
2004. 7. 9		0.1250	0.0667	-	-	-	-	
2004. 7. 14		0.0083	0.0008	-	-	-	-	
2004. 7. 19		0.0583	0.0167	-	0.0217	-	0.1833	
2004. 8. 12		0.0833	0.0750	-	0.0083	-	-	
2004. 8. 20		0.0583	0.0067	-	0.0250	-	0.0500	
2004. 9. 16		0.0250	0.0083	-	0.0167	-	-	

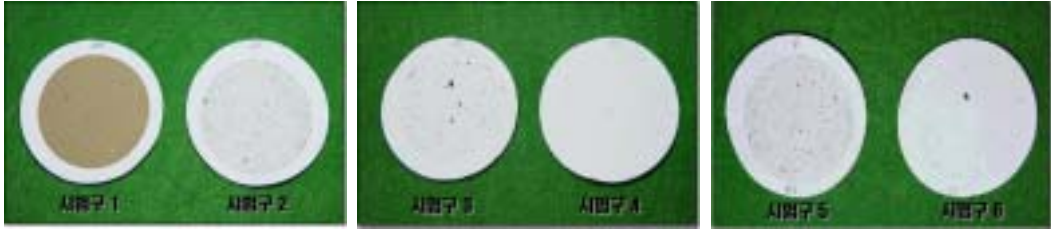


그림 3-3-23. 부유물질농도 여과 후 사진

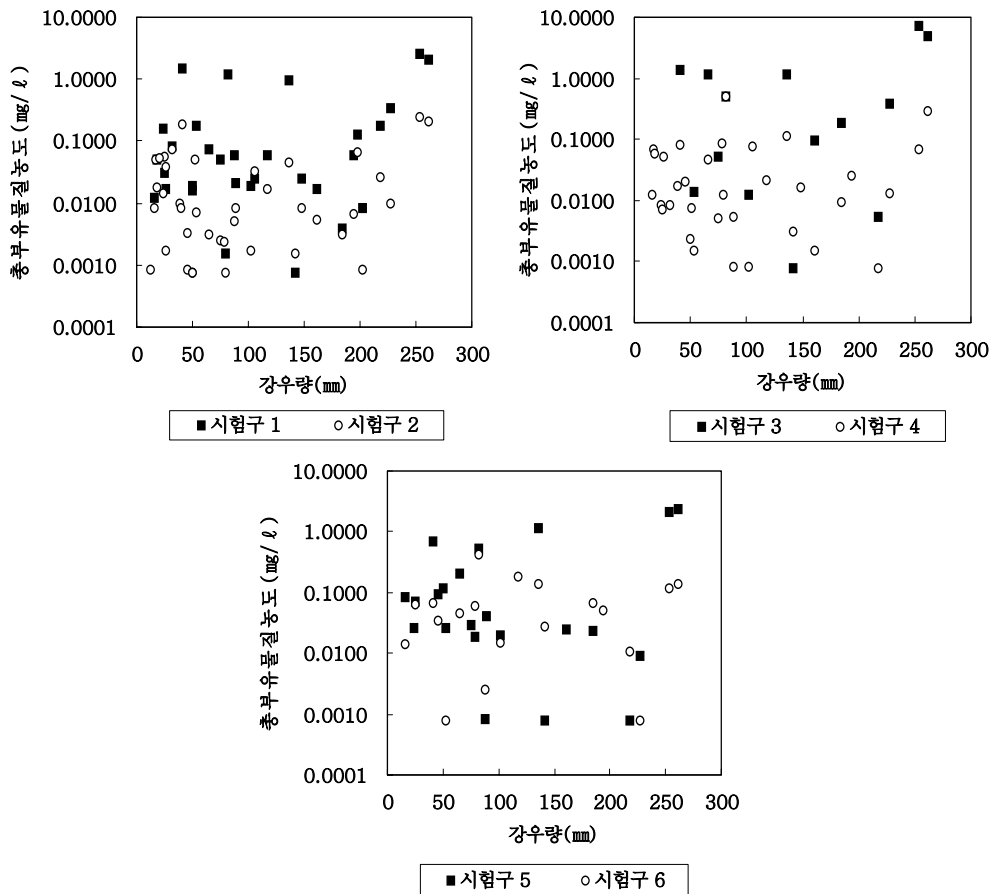


그림 3-3-24. 강우량과 부유물질농도와의 관계

아. 강우량과 유출토사량의 관계

실외모형실험에서 토사유출은 인공비탈면 조성 초년도인 2003년에만 발생하였다. 즉 시험구에 있어서 각 강우별 토사유출은 부유물질농도와 유사한 경향을 나타냈다

며, 미설치구인 1, 3, 5번 시험구가 식생자루구인 2, 4, 6번 시험구에 비해 다량의 토사가 유출되었으나, 전체적으로 강우량과의 명확한 상관관계는 나타나지 않았다.

각 시험구의 총유출토사 평균은 시험구 1(1,072.11g/m²), 시험구 2(18.97g/m²), 시험구 3(928.75g/m²), 시험구 4(14.68g/m²), 시험구 5(967.06g/m²), 시험구 6(9.16g/m²)으로 다기능휠터구와 미설치구를 비교하면, 식생자루 설치구가 미설치구에 비해 유출토사량이 최대 약 1/120까지 적게 유출되었다. 따라서 식생자루구가 강우에 의한 토사유출을 억제하는 효과가 매우 큰 것으로 나타났다.

즉, 식생자루가 표면침식을 방지하여 강우시에 토사유출을 억제할 뿐 아니라 지표면을 물리적으로 안정시켜 식생의 생육조건을 안정에도 크게 기여하며, 갈수기에는 토양수분 조건을 양호하게 하여 식생생육에 좋은 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

표 3-3-10. 강우별 토사유출량(g/m²)

일자 \ 조사구	1	2	3	4	5	6
2003. 7. 17	1,035.3	11.5	1,225.4	7.5	1,296.8	6.6
2003. 7. 24	718.7	9.6	1,069.2	6.8	430.3	5.3
2003. 8. 3	2,203.8	17.9	963.9	15.1	1,723.9	10.2
2003. 8. 19	330.7	36.9	456.4	29.3	417.1	14.5

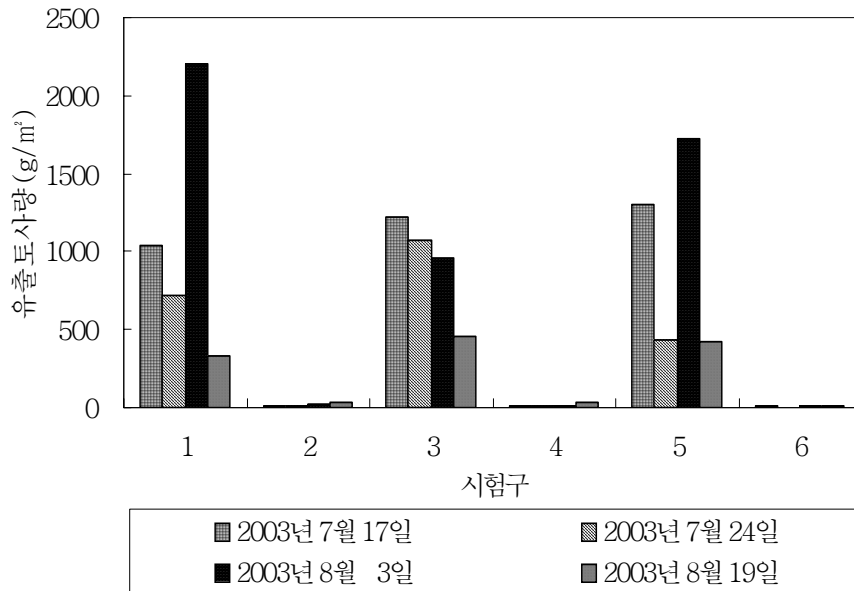


그림 3-3-25. 강우별 유출토사량

표 3-3-11. 모형실험구내에 생육하고 있는 식생목록

Scientific name	Korean name
Pteridaceae	고사리 科
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> UNDERW.	고사리
Polygonaceae	마디풀 科
<i>Persicaria senticosa</i> H. GROSS.	머느리밀씻개
Chenopodiaceae	명아두 科
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> MAKINO.	명아주
Leguminosae	콩 科
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> MIQ.	참싸리
<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>trisperma</i> OHWI.	새콩
<i>Indigofera pseudotinctoria</i> MATSUMURA	낭아초
Euphorbiaceae	대 극 科
<i>Phyllanthus ussuriensis</i> RUPR. et MAXIM.	여우주머니
Violaceae	제비꽃 科
<i>Viola mandshurica</i> W. BECKER.	제비꽃
Onagraceae	바늘꽃 科
<i>Oenothera odorata</i> JACQ.	달맞이꽃
Rubiaceae	꼭두서니 科
<i>Rubia akane</i> NAKAI.	꼭두서니
Valerianaceae	마타리 科
<i>Patrinia villosa</i> JUSS.	뚝갈
Compositae	국 화 科
<i>Aster yomena</i> MAKINNO.	쭉부쟁이
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	실망초
<i>Artemisia feddei</i> LEV. et VNT.	뽕쭉
<i>Artemisia stolonifera</i> KOM.	넓은잎외잎쭉
<i>A. princeps</i> var. <i>orientalis</i> HARA.	쭉
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatiior</i> DESCOURTILS.	돼지풀
<i>Taraxacum mongolicum</i> H. MAZZ.	민들레
<i>Ixeris dentata</i> NAKAI.	썸바귀
<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i> HARA.	왕고들빼기
Gramineae	벼 科
<i>Setaria viridis</i> BEAUV.	강아지풀
<i>Digitaria violascens</i> LINK.	민바랭이
<i>Eriochloa villosa</i> KUNTH.	나도개피
Cyperaceae	사 초 科
<i>Cyperus amuricus</i> MAXIM.	방동사니
Commelinaceae	닭의장풀 科
<i>Commelina communis</i> L.	닭의장풀
Iridaceae	붓 꽃 科
<i>Iris sanguinea</i> HORN.	붓꽃

제4절 환경친화형 식생자루 현지 적용방안 개발

1. 현황 및 배경

가. 기존 식생자루의 문제점 파악

기존의 식생자루는 그림 3-4-1에서 알 수 있듯이 네트 부분이 메쉬의 구조 및 강도 등의 이유로 현지에 시공한 이후 사면이 안정되기 이전에 쉽게 파손되는 경우가 발생하고 있다.

특히 내부의 종자를 붙인 식생지가 종이로 제작되어 있고, 작업장소 등이 산지이기 때문에 작업 시에 파손되기 쉬우며, 이로 인하여 종자가 특정 부위에 집중되거나 탈락되어 식생자루의 일부분에만 발아하는 문제점 등이 대두되고 있다.



그림 3-4-1. 기존의 식생자루

나. 식생자루의 개선점

이상의 문제점을 해결하기 위해 개량형 식생자루는 그림 3-4-2와 같이 네트 부분을 식생의 생육에 지장을 초래하지 않는 범위 이내에서 파손에 강하도록 조밀하게 제작하도록 한다.

특히 내부의 식생지는 종이 대신 섬유질의 재료를 활용, 현지작업 시에 도입식생의

종자가 특정 부분으로 집중되지 않도록 하여 종자의 균일한 분포 및 강도 있는 식생자루를 제작하도록 하며, 또한 종자는 상부에 위치하는 부분에 중점적으로 부착시켜 효율을 증대할 수 있도록 한다.

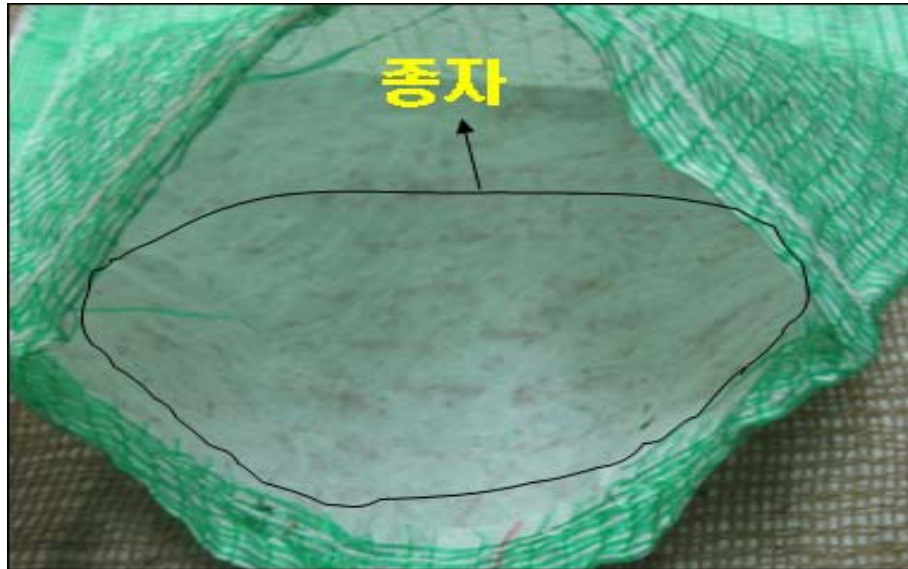


그림 3-4-2. 개량형 식생자루

2. 개발목적

개발된 개량형 환경친화적 식생자루와 기존 식생자루의 효과에 대하여 현장 적용성을 검토하는 것을 목적으로 한다.

3. 시험방법 및 규모

가. 실험용 제품 선정

식생자루의 효과 및 문제점을 분석하기 위하여 현장실험을 실시하였으며, 실험에 사용한 식생자루는 기존에 시판되고 있는 2개사의 식생자루(R사, L사)와 개량형 식생자루(D사)를 현지에 도입하였다.

1) L社 제품

- 장점 : 가볍고, 경제적이다(단가 : 750원).
- 단점 : 메쉬 사이즈가 넓고, 화장지 한 장과 부직포로 구성되어 있기 때문에 종·횡방향 인장력이 약하다.



그림 3-4-3. L사 제품의 표면



그림 3-4-4. L사 제품의 내면



그림 3-4-5. L사 제품 흙 채움(내부)



그림 3-4-6. L사 제품 흙 채움(외부)

3) R社 제품(사진 참조)

- 장점 : 외관이 우수하고, 경제적(단가 : 750원)이며, 횡방향의 인장력이 비교적 강하다.
- 단점 : 마대와 화장지의 접합부가 약하고, 종방향 인장력이 약하다.



그림 3-4-7. R사 제품의 표면



그림 3-4-8. R사 제품의 내면



그림 3-4-9. R사 제품 흙 채움(내부)



그림 3-4-10. R사 제품 흙 채움(외부)

3) D社 제품 : 개발된 식생자루

- 장점 : 화장지에 씨앗부착 및 거즈를 넣어 강도를 강화하였기 때문에 흙채움 시에 마대내피가 찢어지지 않으며, 거즈로 인한 보습효과로 종자발아 및 활착이 우수하다.
- 단점 : 단가가 비교적 고가이다(단가 : 1,250원).



그림 3-4-11. D사 제품의 표면



그림 3-4-12. D사 제품의 내면



그림 3-4-13. D사 제품 흙 채움(내부)



그림 3-4-14. D사 제품 흙 채움(외부)

나. 기존 식생자루와 개량형 환경친화적 식생자루의 효과분석

1) 성토 비탈면 적용 예비실험

○ 시험대상지 : 강원도 춘천시 동산면 봉명리 소재의 강원대학교 산림과학대학 부속학술림 3임반에 위치하는 임도 성토비탈면

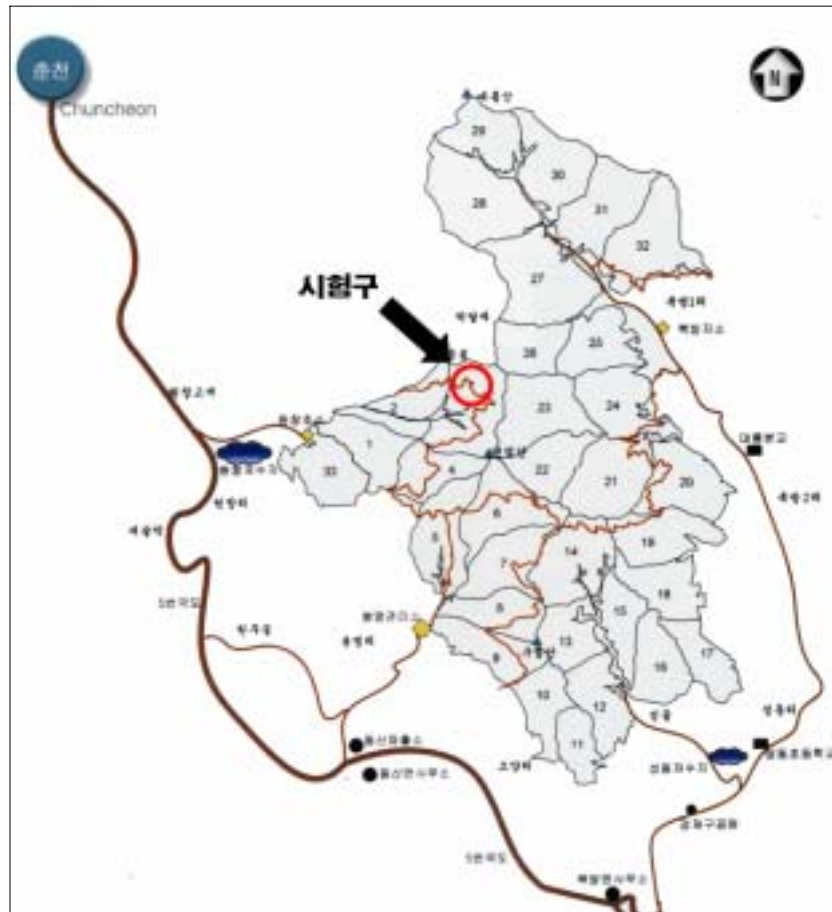


그림 3-4-15. 성토 비탈면 시험대상지 위치도

○ 시험방법

- 시험구 구분 : 환경사 2개소, 급경사 1개소
- 시험구 규모 : 2m×3m(3반복)
- 처리 : 3사제품 식생자루 처리
- 조사항목 : 식생 발아율, 피복률, 마대의 파손정도, 토사유출 억제효과

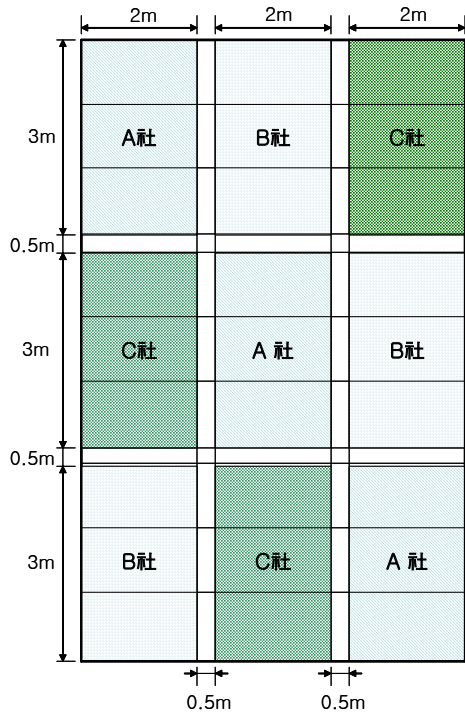


그림 3-4-16. 성토 비탈면 시험구 모식도

2) 임도 측구(마대배수로) 적용 실험

- 시험구 구분: 침식이 심한 측구 헤어핀커브구역
- 시험구 규모: 길이 3m
- 처리 : 3사제품 식생자루 처리
- 조사항목 : 식생발아율, 피복률, 마대의 파손정도

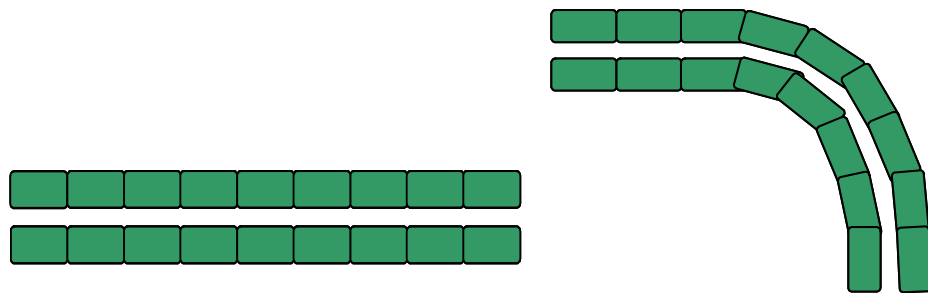


그림 3-4-17. 임도측구 적용 모식도



그림 3-4-18. 실험대상지역(경사도 : 완 1)



그림 3-4-19. 실험대상지역(경사도 : 완 2, 급)

3) 시험구 배치변화

실제 산지에 시공되고 있는 마대의 단 간격이 최소 2m이상인 점을 반영하기 위하여 시험대상지의 면적특성상 기존의 세로 시험구 배치에서 가로 시험구 배치로 변환하였으며, 시험구의 세로크기를 계획상의 3m에서 4m로 하여 시공하였다.

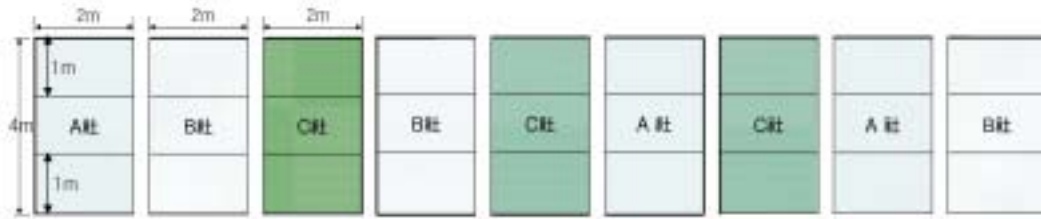


그림 3-4-20. 시험구 배치도(A : L사마대 시공구, B : R사마대 시공구, C : D사마대 시공구)

당초 시험대상지의 경사도를 완, 중, 급으로 구분하여 시험구 구성을 계획하였으나 시공대상지의 여건이 불충분하여 중경사는 배제하고, 완경사지 시험구를 2개 지역에 걸쳐 조성하였다.

또한 마대의 내부 충전재로 사용한 토양은 현장에서 구득하기 용이한 마사토를 사용하는 것을 원칙으로 하여 그림 3-4-21과 같은 순서에 의해 작업을 진행하였다.



그림 3-4-21. 마대 충전용 토양과 충전 및 시험구 제작 모습

4) 시공시 마대의 파손 경향

- ① 옮길 경우 잘 찢어진다(R, L).
- ② 흙을 넣고 충진을 위해 충격을 가하면 쉽게 찢어진다(R, L). 그러나 주의 깊게 작업하면 파손을 어느 정도 방지할 수 있다.
- ③ 마대입구 조임 끈이 끊어진다(L > D > R).
- ④ D 마대는 마대내피의 거즈 박음질 부분이 뜯어지는 경우가 있다.
- ⑤ D 마대는 입구 조임 끈이 마대에 박음질되어 나오는 경우가 있다.
- ⑥ 전체적으로 L마대 > R마대 > D마대 순으로 파손이 잘되었다.



그림 3-4-22. 시공 시 마대 내피의 파손 경향(상 : L마대, 중 : R마대, 하 : D마대)

5) 특이사항

흙을 충전하였을 경우 D마대가 R, L마대의 크기보다 약간 더 작았다. 이는 마대의 피의 크기는 같으나 실제 흙이 담기는 내부거즈의 크기가 다른 마대보다 작은 것에 기인한 것으로 판단된다.



그림 3-4-23. 내부 충전 후의 마대 상태(좌 : R마대, 중 : L마대, 우 : R마대)

6) 마대별 종자무게

각 마대에 부착된 종자들을 모두 채취하여 무게를 측정한 결과, R마대와 D마대가 비슷한 종자무게를 보였으며, L마대는 R과 D마대의 약 1/3에 해당하는 무게를 보여 상대적으로 종자의 충실도가 낮거나 종자의 부착량이 적은 것으로 나타났다.

표 3-4-1. 각 마대별 종자무게측정 결과

구분	반복	종자무게(g)	구분	반복	종자무게(g)	구분	반복	종자무게(g)
R마대	1	9.900	L마대	1	3.952	D마대	1	14.853
	2	12.641		2	5.222		2	13.902
	3	10.500		3	4.845		3	5.525
	평균	11.010		평균	4.670		평균	11.430



그림 3-4-24. 환경사지 1의 시험구 조성 이전 모습(임도 시공시 채취된 암석 파편들이 성토면에 퇴적되거나 묻혀 있음)



그림 3-4-25. 환경사지 1의 시험구 조성 이후의 모습



그림 3-4-26. 환경사 2의 시험구 조성 이전 모습



그림 3-4-27. 환경사 2의 시험구 조성 이후 모습(임도 곡선부에 위치하며, 환경사 1 시험지와 비슷하나 토양 내 암석의 비율이 낮음)



그림 3-4-28. 급경사의 시험구 조성 이전 모습(환경사 2 시험지와 토양 내의 암석 비율이 유사)



그림 3-4-29. 급경사의 시험구 조성 이후 모습



그림 3-4-30. 측구 시험구 1, 2 및 3의 시공 후 전경

4. 환경친화형 식생자루 시험구 초년도 성적조사

가. 경사별 생육상태

각 시험구별 피복율을 조사한 결과, 환경사 1, 환경사 2 및 급경사 등 세 시험구 모두에서 R사 마대 > D사 마대 > L사 마대 순으로 나타났으며, 신장생장은 R사 마대 > D사 마대 > L사 마대 순으로 피복율과 동일하게 R사 마대가 가장 좋은 경향을 나타내었다.

그러나 실내 발아율 실험에서 좋은 결과가 나타났고, 거즈 소재의 내피를 부착하여 보습력이 증강된 D사 마대가 R사 마대보다 피복율이 낮게 나타난 것은 발아 개체수는 많았으나, 생장이 미비하여 피복률 증가에는 큰 영향을 미치지 못하였기 때문인 것으로 파악되었다.

나. 입지조건별 생육상태

각 시험구의 방위는 크게 북사면과 남사면으로 양분되며, 전체적으로 북사면 시험구에 비해 남사면 시험구가 제품의 종류에 관계없이 발아율이 현저히 낮게 나타났다. 이는 북사면에 비해 남사면의 일조량에 많아 마대 내부의 수분함량이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다.

또한 마대측구 시험구의 경우 수분조건이 양호한 임도 집수정 부근에 설치한 식생자루는 도입식생의 발아 및 생장이 우수하게 나타나 역시 수분조건이 식생의 생육에 크게 영향을 주는 인자로 판단되었다. 그러나 경사도별로는 생육의 차이가 나타나지 않았다.

다. 유의사항

절토부의 표면침식 등으로 인하여 측구 시험구에 설치한 식생자루가 약간 매몰된 경우가 일부 발견되었으나 식생자루 자체가 파손될 정도의 붕괴는 발생하지 않았으므로 이러한 경우 식생자루의 파손도에 대하여 지속적인 관찰과 개선이 필요하다.

또한 일부 마대에서는 주변으로부터 침입해 온 종자가 발아하였다. 이는 식생자루에 흙을 충전할 때 유입된 종자가 발아된 것이므로 향후 마대시공 후 마대의 경도변화를 관찰함으로써 외부 식생의 유입 가능성에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다.

한편, 현지에서는 야생동물에 의한 신초피해가 종종 발생하고 있으며, 경우에 따라서는 피복율에 영향을 미치기도 한다. 이 실험에서도 야생동물에 의한 피해가 발생하였지만, 시험에 영향을 미치는 정도는 아니었으나 이에 대한 대책마련이 필요하다.



그림 3-4-31. R마대의 생육상태



그림 3-4-32. D마대의 생육상태



그림 3-4-33. L마대의 생육상태



그림 3-4-34. 측구시공마대가 일부 문힘



그림 3-4-35. 마대흙 속 종자 발아

5. 환경친화형 식생자루 시험구 2차년 성적조사

가. 경사별 생육상태

각 시험구별로 피복율을 조사한 결과, 완경사 1, 완경사 2 및 급경사 등 세 시험구 모두에서 R사 마대 > D사 마대 > L사 마대 순으로 전년도와 유사한 경향을 나타내었다. 이는 R사 마대의 경우 발아식생의 성장속도가 빨라 겨울철의 동해를 견디어 냈으나 D사의 마대는 발아 개체수가 많았던 것에 비해 성장속도가 상대적으로 느려 어린 상태에서 겨울철의 동해를 받아 피복율의 증가가 크게 나타나지 않았던 것으로 판단된다.

따라서 이와 같은 문제점을 보완하기 위해서는 마대를 현지에 시공할 경우 조기에 시공할 수 있도록 방안을 강구하는 것이 매우 중요한 것으로 판단되었으며, 이를 위해서 지금까지 개발되어 있는 보습재료, 균근균 및 지효성 비료의 개발 등 도입식생의 발아 및 성장을 촉진 시킬 수 있는 방법을 찾아내어 적용하는 방안을 마련하여야 할 것이다.

나. 입지조건별 생육상태

각 마대 내의 도입종자의 성장특성을 파악하기 위해 식생종자의 초장과 피복율을 조사한 결과, 표 3-4-2와 표 3-4-3에서 알 수 있듯이 초장과 피복률 모두 R사의 마대가 가장 높았으며, 이어서 D사의 마대, L사의 마대 순으로 나타나 제품 간에도 명확한 차이가 나타났다.

각 시험구에 있어서 마대별 초장은 표 3-4-2와 그림 3-4-37과 같이 R사가 경사도에 거의 무관하게 경사지에서는 6.0~7.0cm, 측구에서는 7.0~10.0cm로 가장 양호하였으며, R사도 경사도에 거의 무관하게 경사지에서는 2.0~3.0cm, 측구에서는 3.0~6.0cm로 비교적 양호하였다. 그러나 L사의 경우 경사지에서는 0~3.0cm, 측구에서는 1.5~4.5cm로 가장 불량하였다.

또한 같은 회사의 제품일지라도 시공장소에 따라 초장이 상당히 다르게 나타나 R사의 경우 경사지의 평균 초장 6.7cm에 비해 측구의 평균 초장이 8.3cm로 약 1.25배, D사의 경우 경사지의 평균 초장 2.7cm에 비해 측구의 평균 초장이 4.2cm로 약 1.54배, 그리고 R사의 경우 경사지의 평균 초장 1.7cm에 비해 측구의 평균 초장이 2.8cm로 약 1.70배가 큰 것으로 나타났다. 즉 초장의 길이는 경사지인 경우 R사가 D사의 2.48배, L사의 3.94배, 측구인 경우 R사가 D사의 1.98배, L사의 2.96배 긴 것으로 나타나 제품에 따라 초장의 생육상태가 상당히 다른 것으로 나타났다.

표 3-4-2. 각 시험구의 마대별 초장

(단위: cm)

	완경사 1	완경사 2	급경사 1	측구 1	측구 2	측구 3
R사	7.0	6.0	7.0	7.0	8.0	10.0
L사	--	3.0	2.0	2.5	1.5	4.5
D사	3.0	3.0	2.0	3.5	3.0	6.0

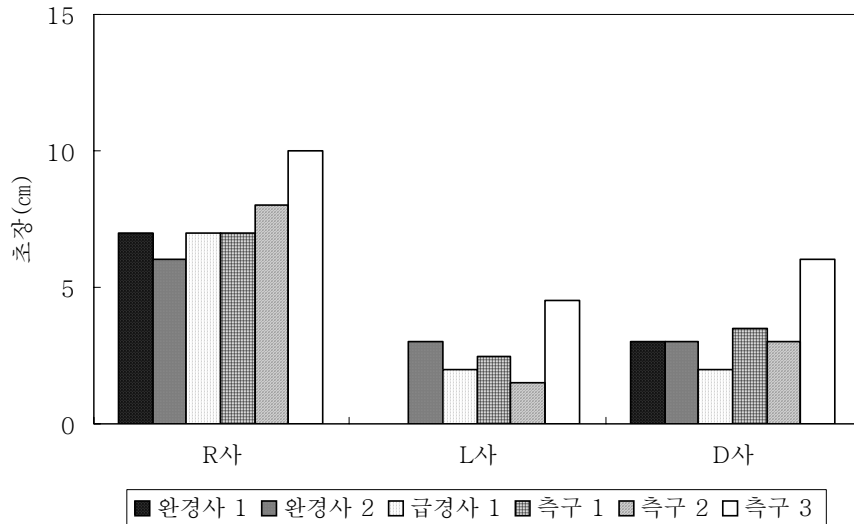


그림 3-4-36. 각 시험구의 마대별 초장

각 시험구에 있어서 마대별 피복율은 표 3-4-3과 그림 3-4-37과 같이 R사가 경사도에 거의 무관하게 경사지에서는 15~35%, 측구에서는 45~55%로 가장 양호하였으며, D사도 경사도에 거의 무관하게 경사지에서는 10~15%, 측구에서는 35~45%로 나타났으나, L사의 경우 경사지에서는 2~5%, 측구에서는 10~25%로 가장 불량하였다.

즉 같은 회사의 제품일지라도 시공장소에 따라 피복률 역시 상당히 다르게 나타나 R사의 경우 경사지의 평균 피복률 25%에 비해 측구의 평균 피복률이 50%로 2배, D사의 경우 경사지의 평균 피복률 11.7%에 비해 측구의 평균 피복률이 38.3%로 약 3.28배, 그리고 R사의 경우 경사지의 평균 피복률 3.0%에 비해 측구의 피복률이 20%로 약 6.67배가 큰 것으로 나타났다. 즉 피복율은 경사지인 경우 R사가 D사의 2.17배, L사의 8.33배, 측구인 경우 R사가 D사의 1.31배, L사의 2.50배 긴 것으로 나타나 제품에 따라, 그리고 시공장소의 수분조건 등에 의해 피복률이 상당히 다른 것으로 나타났다.

표 3-4-3. 각 시험구의 마대별 피복률

(단위: %)

	완경사 1	완경사 2	급경사 1	측구 1	측구 2	측구 3
R사	15	25	35	45	55	50
L사	2	5	2	25	10	25
D사	10	15	10	35	35	45

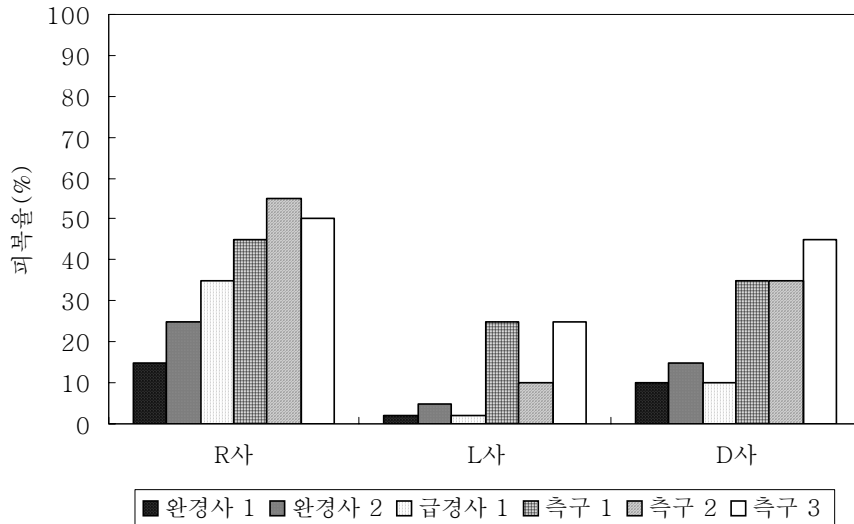


그림 3-4-37. 각 시험구의 마대별 피복률

비탈면 시험구의 성적과 측구 시험구의 성적을 비교해 보면, 상대적으로 수분조건이 양호한 측구 시험구에서 양호한 성적이 나타났으나, 3사 마대 모두 초장은 최대 10cm, 피복률 50% 이하로 생육면에서 우수하지 못한 결과가 나타나 이를 해결하기 위한 보습재료, 균근균의 활용 및 지효성 비료개발 등과 같이 도입식생의 발아 및 생장을 촉진시킬 수 있는 방법을 찾아내거나 새롭게 개발하여 현지에 적용하는 방안을 강구하여야 할 것이다.

특히, 남사면에 위치하여 일조량이 가장 많을 것으로 판단되는 완경사 1(남사면)에서는 3사의 마대 모두 도입식생의 초장 및 피복율이 상대적으로 낮게 나타나 수분조건이 마대 내에 도입한 식생의 생육에 크게 영향을 미치는 것으로 파악되었으므로 갈수기에는 개별관수 및 스프링클러나 급수관을 설치하는 등 마대시공 후의 수분공급 방법에 대한 대책이 마련되어야 할 것이다.



그림 3-4-38. 완경사 1(L: 발아식생 무)



그림 3-4-39. 완경사 1(D: 초장평균 3cm)



그림 3-4-40. 완경사 1(R: 초장평균 7cm)



그림 3-4-41. 완경사 1의 전경



그림 3-4-42. 완경사 2(L: 초장평균 3cm)



그림 3-4-43. 완경사 2(D: 초장평균 3cm)



그림 3-4-44. 완경사 2(R: 초장평균 6cm)



그림 3-4-45. 완경사 2(전경 1)



그림 3-4-46. 급경사 (L: 초장평균 2cm)



그림 3-4-47. 급경사(D: 초장평균 2cm)



그림 3-4-48. 급경사(R: 초장평균 7cm)



그림 3-4-49. 급경사(전경)



그림 3-4-50. 측구 1(L사 시공지의 전경 및 초장 : 평균 2.5cm)



그림 3-4-51. 측구 1(D사 시공지의 전경 및 초장 : 평균 3.5cm)





그림 3-4-52. 측구 1(R사 시공지의 전경 및 초장 : 평균 7.0cm)



그림 3-4-53. 측구 2(L사 시공지의 전경 및 초장 : 평균 1.5cm)



그림 3-4-54. 측구 2(D사 시공지의 전경 및 초장 : 평균 3cm)



그림 3-4-55. 측구 2(R사 시공지의 전경 및 초장 : 평균 8cm)



그림 3-4-56. 측구 3(L사 시공지의 전경 및 초장 : 평균 4.5cm)



그림 3-4-57. 측구 3(D사 시공지의 전경 및 초장 : 평균 6.0cm)



그림 3-4-58. 측구 3(R사 시공지의 전경 및 초장 : 평균 10cm)



그림 3-4-59. 완경사지 및 급경사지의 토양침식 측정용 파이프

제5절 환경친화형 식생자루 규격 및 시공방법

1. 총설

가. 개념

천연마대에 지역 고유의 풀씨를 부착한 특수 식생지를 안쪽에 붙여서 만든 주머니에 흙을 채워 산비탈에 단을 꿰고 쌓는 것을 말한다.

[해설]

- 천연색 마대 안쪽에 지역 고유의 식생을 주로 하는 풀씨(안고초, 비수리, 참싸리 및 양잔디 등)가 부착된 특수 식생용지를 붙여서 만든 자루에 흙을 충전한 후에 산비탈에 일정한 간격으로 단을 꿰고 식생자루를 쌓는 것을 말하며, 폐의 대용자재로 활용할 수 있다.



그림 3-5-1. 식생자루

나. 고려사항

바람직한 사업을 위해서는 재해에 대한 안정성, 주변 환경과의 조화성, 생태계 회복을 위한 생태성, 경관성 및 관리의 용이성 등이 고려되어야 한다.

[해설]

- 식생자루의 다양한 기능을 증진시키기 위해서는 다음과 같은 사항을 충분히 고려하여야 한다.
 - ① 재해에 대한 안정성 : 태풍이나 집중호우 등에 의해 발생되고 있는 재해는 우리들의 일상생활을 위협하므로 식생자루는 이러한 재해로부터 인명과 재산을 지키고, 안전한 생활기반을 창출하도록 하여야 한다.
 - ② 주변 환경과의 조화성 : 토목사업은 지역주민의 생활 및 생산 공간을 보호하는 것이 주요 목적이지만, 그 색깔과 형식, 규모 등은 위화감을 조성한다. 따라서

식생자루에 지역 고유의 식생을 도입하거나 색깔 등을 다양하게 하여 주변 환경과의 조화를 고려하여야 한다.

- ③ 생태계 회복을 위한 생태성 : 시공지 주변에 생육하고 있는 동·식물은 각종 토목사업에 의해 직·간접적으로 영향을 받아 생태계가 파괴되는 경우가 종종 발생하므로 식생자루는 훼손된 생태계를 회복할 수 있도록 하여야 한다.
- ④ 경관성 : 최근에 들어 대규모의 토목시설 이외에도 중·소규모의 사방사업지에 있어서 경관보전의 중요성이 대두되고 있으므로 복잡하고도 다양한 자연미를 재생할 수 있도록 하여야 한다.
- ⑤ 관리의 용이성 : 식생자루의 시공지는 주로 관리면에서 어려운 지역이 대상지이므로 시공 이후의 관리를 용이하게 할 수 있는 방안을 미리 강구하여야 한다.

다. 시공위치

토질이 척박하여 폐의 활착이 어렵고, 초목류의 발아가 어려운 곳에 시공한다.

[해설]

- 식생자루를 시공할 위치는 토질이 척박하여 선폐붙이기 등으로는 폐의 활착이 어렵고, 도입하고자 하는 사방 초목류의 발아가 어려운 척박한 지역을 대상지로 한다.

라. 유의사항

종자의 품질, 내부 충전용 흙, 식생용지, 자루 쌓기 방법 등에 대하여 충분히 유의하여야 한다.

[해설]

- 도입하고자 하는 종자의 발아력 등에 의해 시공의 성패가 좌우되므로 종자의 비립 등 식생의 품질에 대하여 충분히 유의하여야 한다.
- 마대 내부의 충전재료인 흙은 도입 식생의 생육에 크게 영향을 미치므로 현장의 사질양토 등 양호한 흙을 사용하여야 한다.
- 마대 내부에 부착된 식생용지는 시공 시에 파손되거나 특정 부위에 집중되어 식생의 생육이 골고루 분포하지 않게 되므로 식생용지가 파손되지 않도록 하여야 한다.
- 2단 이상 쌓을 때는 면의 높이를 같게 하여 가로 줄눈이 일직선이 되도록 하고, 상·하단이 엇갈리게 하는 켜쌓기로 쌓도록 하여야 한다.

마. 기타

식생자루는 높이, 기수, 형식 및 재료면 등에서 친환경적이 되어야 한다.

[해설]

- 식생자루는 높이, 기수, 형식 및 재료 등이 친환경적이 되도록 노력하여야 하며, 특히 다음과 같은 구체적인 내용이 포함되어야 한다.
 - ① 환경이나 경관 변화를 장기적 시점에서 생각할 것
 - ② 개개의 녹화시설만을 생각하지 말고, 전체 속에서의 조화를 생각할 것
 - ③ 전국적인 획일적 공법이 아닌 지역특성을 살린 공법을 도입할 것
 - ④ 시공후의 변화과정을 모니터링하여 적절한 환경평가를 실시할 것
 - ⑤ 환경평가 결과를 기초로 하여 적절한 유지관리를 시행할 것
 - ⑥ 지역계획, 지역진흥사업 등 타산업과의 관련도 충분히 고려할 것

2. 규격

가. 식생자루

식생자루는 환경친화적인 자재를 사용하여 일반 규격인 40×60cm로 하는 것을 원칙으로 한다.

[해설]

- 식생자루의 시공대상지는 방재 및 환경적인 측면에서 조기에 자연 상태로 환원하여야 하는 곳이 많으므로 천연황마 등과 같은 천연자재로 자루를 제작하여 환경친화적인 사업이 되도록 하여야 한다.
- 규격은 일반적으로 사용되고 있는 40×60cm를 기본으로 하여 생산하도록 하며, 특수한 경우에는 규격을 다양화할 수 있도록 하여야 한다.

나. 식생용지 및 메쉬

식생용지는 세로 인열강도 100N 이상, 가로 인열강도 400N 이상이 되도록 하며, 발아율을 높일 수 있는 범위로 제작한다.

[해설]

- 식생용지는 시공 시에 손상되는 경우가 많으므로 강도가 강한 용지를 사용하거나 거즈를 사용하여 내지의 파손에 의한 식생생육이 지장을 받지 않도록 한다.
- 완제품의 상태에서 세로 인열강도는 100N 이상, 가로 인열강도는 400N 이상이 되도록 한다.
- 메쉬의 간격은 식생의 생육에 지장을 받지 않는 범위(메쉬 사이즈 : 2mm×2mm)에서 촘촘하게 제작하여 수분의 보유력을 높여 발아율을 증진시킬 수 있는 제품이 되도록 한다.

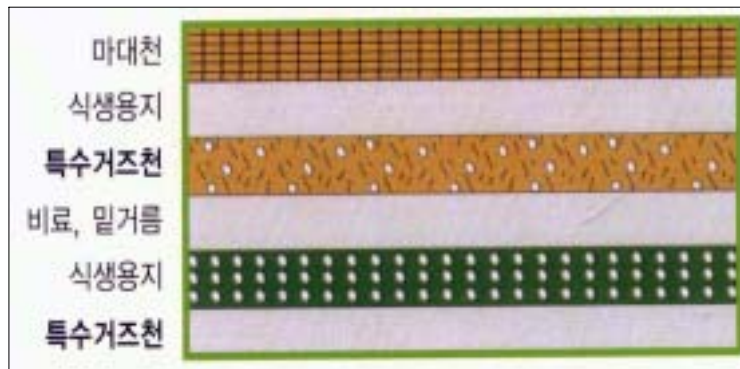


그림 3-5-2. 식생자루의 구조도

다. 종자 및 비료

도입종자는 3년 이내에 채취한 고유 식생을 주로 하며, 비료는 N, P, K 배합비료로 한다.

[해설]

- 도입종자는 안고초, 개솔새, 참싸리 등 82%와 톨웨스큐, 라이그라스, 오차드그라스 등을 18%로 한다.
- 2매의 특수 식생용지 사이에 비료 30g/m², 종자 20g/m²를 넣은 후, 자루 안쪽에 5~10cm 간격으로 누벼 종자가 한쪽으로 몰리지 않도록 부착한다.
- 식생자루에 부착되는 풀씨는 3년 이내에 채취한 종자 중에서 정부가 인정하는 품질보증업체 생산품으로 종자 발아시험 합격품이어야 한다.
- 비료는 N, P, K 배합비료로 한다.

라. 충전용 토양

충진용 재료는 현장 인접지의 양호한 흙을 30%이상 섞어서 사용하여야 하며, 가능한 한 잡석이나 이물질이 섞이지 않도록 한다.

[해설]

- 식생자루의 충전용 흙은 반드시 현장 인접지의 양호한 흙을 30% 이상 섞어서 사용하여야 하며, 가능한 한 잡석이나 이물질이 제거하여 섞이지 않도록 한다.

3. 시공

가. 시공순서

식생자루의 시공순서는 비탈다듬기, 단끊기, 식생자루 내부 충전, 식생자루 쌓기 등의 순서로 시공한다.

[해설]

- 비탈다듬기 : 산복의 비탈다듬기는 불안정한 토층의 경사를 완만하게 하여 안정된 비탈면을 조성할 목적으로 시행하는 것으로 침식과 붕괴에 의해 발생된 요철이 심한 비탈면과 기복이 심한 급경사 비탈면을 일정한 경사도가 유지되도록 땅깍기와 흙쌓기를 실시한다.
- 단끊기 : 비탈다듬기가 끝난 비탈면에 수평단을 끊고 식생을 도입하기 위한 기초공사로 비탈면의 길이를 줄이고, 수평면을 유지하므로써 유수의 분산과 토사의 유하를 방지하며, 식생도입에 필요한 기반을 조성한다.
- 단끊기의 계단나비는 일반적으로 0.5m~0.7m로 하지만, 비탈면의 물매가 급할 때에는 계단 폭을 좁게 하여 비탈면 물매를 완만하게 하며, 계단의 간격은 지형이나 공중에 따라, 그리고 수직 높이는 비탈면의 물매에 따라 조정한다. 또한 단끊기



사진 3-5-3. 비탈다듬기



그림 3-5-4. 단끊기 공사

는 상부로부터 하부를 향해 시공하며, 계단 위에는 가능한 한 원래의 표토가 남도록 하여 절취토사의 이동량을 적게 한다.

- 식생자루에 충전할 흙(양토)을 충분히 준비한 후(약 0.01m³/bag) 내부 충진을 실시하며, 식생자루의 내부에 흙을 충전할 때에는 식생용지에 부착된 종자가 떨어지거나 한 쪽으로 몰리지 않도록 하기 위하여 안쪽에 가이드(판)를 대고 흙을 투입한다.

또한 옹벽형으로 다단시공을 실시할 경우에는 배수 파이프(PVC)를 적절히 삽입하면서 쌓아올리도록 하여야 하며, 특히 단수가 많아질수록 필요에 따라 철근(L=45cm)을 수직으로 박으면서 쌓아 올린다.



그림 3-5-5. 내부충진 장면

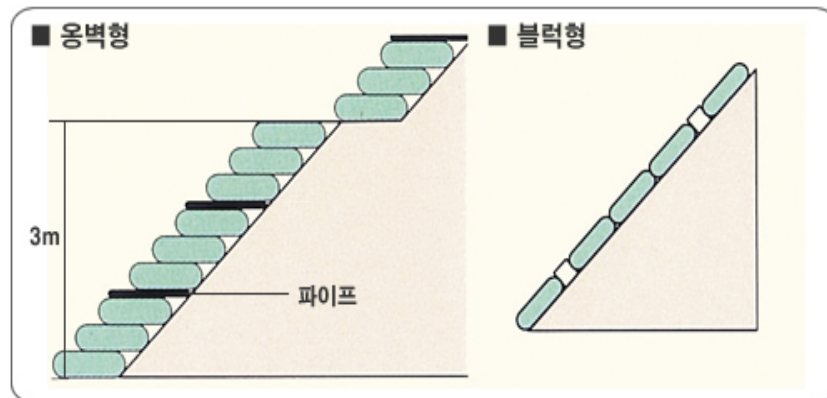


그림 3-5-6. 옹벽형 및 블록형의 시공단면도

나. 생육판정기준

도입식생의 생육판정기준은 최소발아율 65%, 최소피복율 50%로 한다.

[해설]

- 도입식생의 생육판정기준은 최소발아율을 65%로 한다.
- 도입식생의 생육판정기준은 최소피복율을 50%로 한다.

다. 시공장소

식생자루의 시공가능 장소는 토양유실 예상지, 홍수피해 복구지, 산불피해지, 공원 및 산지훼손지 등 다양하다.

[해설]

- 식생자루의 시공가능 장소는 다음과 같이 다양하다.

- ① 토양유실 예상지역의 녹화
- ② 홍수피해 복구지 사방공사
- ③ 산불피해지의 응급복구
- ④ 공원 및 산지훼손지 복구



(자연산사태 피해지)



(산사태 피해지 응급복구)



(인공사면 붕괴지)



(암반사면녹화)

그림 3-5-7. 환경친화적 사방용 식생자루의 주요 시공대상지

4. 각 공정별 기본 공사비 산출내역

가. 2단쌓기

2단쌓기	규격	h=0.34	m	단가(원)	공사비(원)
식생자루	40cm×60cm, 140g	5.00	매	2,200.0	11,000.0
단 끊 기		0.12	m ³	10,548.0	1,265.7
보통인부		0.098	인	52,483.0	5,143.3
특별인부		0.006	인	67,141.0	402.8
계					17,811.8

나. 3단쌓기

3단쌓기	규격	h=0.51	m	단가(원)	공사비(원)
식생자루	40cm×60cm, 140g	7.50	매	2,200.0	16,500.0
단 끊 기		0.18	m ³	10,548.0	1,898.6
보통인부		0.147	인	52,483.0	7,715.0
특별인부		0.009	인	67,141.0	604.2
계					26,717.8

다. 5단쌓기

5단쌓기	규격	h=0.85	m	단가(원)	공사비(원)
식생자루	40cm×60cm, 140g	12.50	매	2,200.0	27,500.0
단 끊 기		0.27	m ³	10,548.0	2,847.9
보통인부		0.246	인	52,483.0	12,910.8
특별인부		0.016	인	67,141.0	1,074.2
계					44,332.9

라. 흙막이

흙막이	규격	h=0.68	개소당	단가(원)	공사비(원)
식생자루	40cm×60cm, 140g	22.00	매	2,200.0	48,400.0
바닥파기		1.14	m ³	10,548.0	12,024.7
보통인부		0.433	인	52,483.0	22,725.1
특별인부		0.028	인	67,141.0	1,879.9
계					85,029.7

마. 수로공

수로공	규격	윤주1.2	m	단가(원)	공사비(원)
식생자루	40cm×60cm, 140g	11.00	매	2,200.0	24,200.0
바닥파기		0.22	m ³	10,548.0	2,320.5
보통인부		0.216	인	52,483.0	11,336.3
특별인부		0.014	인	67,141.0	939.9
계					38,796.7

바. 식생자루 붙임

붙임	규격		m ²	단가(원)	공사비(원)
식생자루	40cm×60cm, 140g	15.00	매	2,200.0	33,000.0
바닥파기		0.30	m ³	10,548.0	3,164.4
보통인부		0.295	인	52,483.0	15,482.4
특별인부		0.019	인	67,141.0	1,275.6

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구목표의 달성도

1. 실태조사 및 선진 녹화기술 파악

- 국내·외에서 제작, 시판되고 있는 식생자루를 비롯한 다양한 녹화공법의 실태를 파악하였다.
- 녹화기술 심포지엄을 통해 일본에서 실시되고 있는 재래 목본식물에 의한 비탈면 녹화, 목탄을 활용한 마대녹화사업에 대한 사례 및 목탄이 수목의 생장에 미치는 영향에 대한 자료를 수집하였다.

2. 환경친화형 식생자루의 재료 및 구조 개발

- 종자 발아기 발아실험을 통해 식생자루에 도입할 종자에 대한 기대 발아율과 재래 종 선택 시의 유의사항 등을 파악하였으며, 식생자루의 발아율 실험 결과, 내피가 거즈이며, 접착량 「중」으로 종자를 접착시킨 마대가 가장 높은 발아율을 보였다.
- 마대 내피부착 종자발아 발아상 실험 결과, 실험대상 제품 모두 발아율이 증가하였으나, 실험개시 1개월 후의 발아율은 3사의 도입 종자의 발아율에 분명히 차이가 있는 것이 확인되었으며, 마대 내피부착 종자발아 접착제 유해성 실험 결과, 외래초종인 퍼레니얼, 위핑러브, 알파파와 자생종인 별노랑이와 참싸리가 내성이 강한 것으로 나타나 마대제작에 있어서 매우 유용한 도입식생이 될 것으로 판단되었다.
- 마대별 인열강도 실험 결과, 3사의 마대 중 D사의 마대가 타사 제품보다 종·횡 방향의 인열강도 분포가 높고, 균일하여 내구력이 우수한 것으로 나타났으므로 D사 제품을 대상으로 인공비탈면 실험 및 야외적용실험을 실시하였다.

3. 인공비탈면에서의 식생자루 적용방안 개발

- 식생자루가 경사도별 부유물질농도에 미치는 영향은 경사 36°의 경우 6.9배 이상,

경사 25°의 경우는 4.3배 이상, 그리고 경사 10°의 경우도 차이가 있는 것으로 나타났다. 식생자루가 경사도별 유출토사에 미치는 영향은 경사 36°의 경우 3.0배, 경사 25°의 경우는 12배, 그리고 경사 10°의 경우도 나지구와 식생자루구보다 나지구의 유출토사량이 매우 높게 나타났다.

- 인공비탈면에서의 식생도입 실험 결과, 시간이 경과 할수록 도입수종의 개체수는 감소한 반면 침입수종의 개체수는 증가하여 기존의 파종식생과 침입식생이 정착하여 안정화 되어가고 있는 것으로 나타났으며, 식생피복율은 경과년수에 비례하여 증가하였으며, 식생 개체가 많을수록 피복율이 높게 나타났다.
- 부유물질농도는 식생자루구가 미설치구보다 약 1/2로 저감되어 부유물질 유출억제에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 유출토사량은 실험 초기에는 식생자루구가 미설치구보다 약 1/120 정도로 적게 나타나 사면의 물리적 안정에 매우 효과적인 것으로 나타났다.

4. 환경친화형 식생자루 현지 적용방안 개발

- 각 시험구별로 피복율을 조사한 결과, 완경사 1, 완경사 2 및 급경사 등 세 시험구 모두에서 R사 마대 > D사 마대 > L사 마대 순으로 나타났다. 이는 R사 마대의 경우 발아식생의 성장속도가 빨라 겨울철의 동해를 견디어 냈으나 D사의 마대는 발아 개체수가 많았던 것에 비해 성장속도가 상대적으로 느려 어린 상태에서 겨울철의 동해를 받아 피복율의 증가가 크게 나타나지 않았던 것으로 판단되었다.
- 입지조건별 생육상태는 마대별 초장의 경우 R사가 경사도에 거의 무관하게 경사지에서는 6.0~7.0cm, 측구에서는 7.0~10.0cm로 가장 양호하였으며, R사도 경사지에서 2.0~3.0cm, 측구에서 3.0~6.0cm로 비교적 양호하였으나 L사의 경우 경사지에서는 0~3.0cm, 측구에서는 1.5~4.5cm로 낮게 나타났다.

5. 환경친화형 식생자루 규격 및 시공방법

- 환경친화형 식생자루는 천연마대에 지역 고유의 풀씨를 부착한 특수 식생용지를 안쪽에 붙여서 만든 자루에 흙을 채워 산비탈에 단을 끊고, 쌓는 것으로 바람직한 사업을 위해서 재해에 대한 안정성, 주변 환경과의 조화성, 생태계 회복을 위한 생태성, 경관성 및 관리의 용이성 등이 고려되어야 한다.
- 시공위치는 토질이 척박하여 폐의 활착이 어렵고, 초목류의 발아가 어려운 곳이며, 종자의 품질, 내부 충전용 흙, 식생용지, 자루 쌓기 방법 등에 대하여 충분히 유의

하여야 한다. 또한 식생자루는 높이, 기수, 형식 및 재료면 등에서 친환경적이어야 한다.

- 환경친화적인 자재를 사용하여 일반 규격인 40×60cm로 하는 것을 원칙으로 하며, 식생용지는 세로 인열강도 100N 이상, 가로 인열강도 300N 이상이 되도록 하고, 발아율을 높일 수 있는 범위로 제작한다. 또한 도입종자는 3년 이내에 채취한 고유 식생을 주로 하며, 비료는 N, P, K 배합비료로 한다. 충전용 재료는 현장 인접지의 양호한 흙을 30%이상 섞어서 사용하여야 하며, 가능한 한 잡석이나 이물질이 섞이지 않도록 한다.
- 비탈다듬기, 단 끊기, 식생자루 내부 충전, 식생자루 쌓기 등의 순서로 시공하며, 도입식생의 생육판정기준은 최소발아율 65%, 최소피복율 50%로 한다. 또한 시공가능 장소는 토양유실예상지, 홍수피해복구지, 산불피해지 응급복구지, 공원 및 산지훼손지 등 다양하다.
- 각 공정별 기본 공사비는 40cm×60cm, 140g을 규격으로 하였을 때 2단쌓기의 경우 17,881.8원, 3단쌓기 26,717.8원, 5단쌓기 44,332.9원, 흙막이 85,029.7원, 수로공 38,796.7원 및 붙임 1,275.6원이다.

제2절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 측면

- 최근에 들어 강하게 요구되고 있는 환경적 재료를 주체로 하는 방재사업에 필요한 기초자료를 제공할 수 있게 되었으며, 특히 강도만을 강조하여 비천연재료로 제작된 제품과 천연토목섬유와 비천연재료를 혼합한 제품이 시공되고 있는 식생자루에 대하여 안정성과 함께 생태성, 경관성을 함께 만족시키는 방안을 제시하였다.
- 친환경적인 식생자루를 개발하여 현장에 시공할지라도 식생의 착생 및 생장에 구조적인 면에서 지장을 받게 되는 경우가 많으므로 도입 식생자루의 구조적인 면을 개선하여 식물의 생육에 지장을 주지 않는 방안을 마련하였으며, 특히 네트와 식생용지의 강도와 재질을 개량하여 사계절 기상조건에 영향을 받지 않는 식생자루의 제작방안을 제시하였다.

2. 경제 · 산업적 측면

- 천연토목섬유를 이용한 친환경적인 식생자루가 개발되어 도로 절개지, 산사태 복구지, 산불 피해지, 폐광 · 폐석지 적지 등의 복구 및 녹화에 기여할 것이며, 친환경적인 식생자루는 기타 토목구조물에 비해 시공 단가가 저렴하고, 시공기간이 짧을 뿐만 아니라 대형기계류의 이동을 위한 접근로의 요구도가 낮으므로 시공비용 및 효율면에서 유리하다.
- 환경친화적인 식생자루는 시공에 따른 경관손상, 주변 자연과의 이질감, 각종 생태계의 파괴 등이 적기 때문에 국민의 산행을 증대시켜 산지 내의 레크리에이션 산업의 다양화에 의한 주민소득 향상에 간접적으로 기여할 수 있다.

3. 사회 · 문화적 측면

- 비환경적인 재료를 중심으로 하는 각종 산림토목사업에 대한 비판에 대해 환경적인 식생자루가 대안이 될 수 있다. 특히 환경친화적인 식생자루는 심미성이 뛰어나고, 주변의 산림에 잘 어울리는 공법이기 때문에 경관보전을 요구하는 장소에 시공할 경우 산림토목사업에 의한 심리적 이질감을 해소할 수 있다.
- 각종 훼손지가 환경친화적인 식생자루에 의해 정비되면 침식방지뿐 만 아니라 생산임지로서의 기능 유지와 유역내의 생태계 보전에도 크게 기여하며, 주거환경의 보전 등에도 크게 기여할 수 있다. 따라서 환경친화적인 식생자루에 의해 생태계의 생육환경과 인간의 생활환경을 운택하게 하여 「돌아오는 산촌」을 유발, 새로운 산촌문화 형성에 기여할 수 있게 된다.

제5장 연구개발 결과의 활용계획

1. 각종 훼손지 복구사업에 적극적 활용

- 녹화분야의 환경친화적 식생자루가 개발되어 우리나라의 실정에 일반 산사태지, 산불피해지의 응급복구, 임도의 등의 각종 훼손지 복구공사에 적극적으로 활용하도록 할 예정이다.

2. 후속 연구사업 진행

- 지역특성에 부합한 다양한 환경친화적인 식생자루를 정립, 제시하여 사방분야는 물론 각종 건설·토목사업에 활용이 확대되도록 할 예정이며, 이미 2건의 후속연구사업이 진행 중에 있다.

1) 연구과제명 : 고속도로 암반 비탈면 녹화공법 적용성 시험연구

(지원기관 : 한국도로공사 도로교통기술연구원, 연구기간 : 2005년 5월 25일~2006년 12월 30일, 연구비 : 163,000천원)

2) 연구과제명 : 동해안 대형 산불피해지의 복원·복구 실태진단 및 신공법 적용 실연사업

(지원기관 : 한국산지보전협회, 연구기간 : 2005년 6월 1일~2007년 12월 30일, 연구비 : 240,000천원)

3. 교육자료로 활용

- 녹화, 사방 및 산림토목 관련 기술자를 대상으로 하여 환경친화적인 사방사업이 현장에 적용되는 실무교육 자료로 활용할 예정이다. 대학의 학부 강의자료로는 이미 활용하고 있지만, 앞으로 특강 형식으로 출강할 경우에도 적극적으로 활용할 예정이다.

4. 각종 학술대회발표 및 전문학술지 투고

- 각종 학술대회와 전문학술지에 연구결과를 발표하여 기술을 전파하였으며, 향후에

도 지속적으로 수행할 예정이다.

- 1) 전근우 · 문진희 · 염규진 · 박완근 · 차두송 · 김재현 · 江崎次夫. 2004. 일본에 있어서 재래목본식물을 이용한 도로 절취비탈면 녹화. 2004년도 사단법인 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 328-330.
- 2) 江崎次夫 · 岩本徹 · 염규진 · 문진희 · 전근우. 2004. 녹화와 인간(IV) -잡초를 활용한 제방 비탈면의 식생관리-. 산림과학연구 20 : 82-92.
- 3) 전근우 · 박완근 · 최인화 · 염규진 · 문진희 · 岩本徹 · 山本一夫 · 江崎次夫. 2004. 일본에 있어서 화산성 황폐지의 녹화. 산림공학기술 2(2) : 141-150.
- 4) 전근우 · 문진희 · 김진용 · 염규진 · 김경남 · 김재현 · 江崎次夫. 2004. 모형비탈면을 이용한 비탈면의 물리적 안정성 파악. 학술림연구지 24 : 42-50.
- 5) 전근우 · 문진희 · 염규진 · 김진용 · 江崎次夫. 2005. 모형비탈면을 이용한 비탈면 침식의 물리적 특성 파악. 2005년도 사단법인 한국임학회 학술연구 논문발표집 : 408-410.
- 6) 문진희 · 전근우 · 염규진 · 김경훈 · 江崎次夫. 2005. 모형비탈면에 있어서 비탈면의 식생도입에 관한 연구. 2005년도 한국환경복원녹화기술학회 정기총회 · 춘계 학술발표회 및 특별세미나 : 104-108.
- 7) 전근우 · 차두송 · 염규진 · 김석우 · 김진용 · 岩本徹 · 江崎次夫. 2005. 일본에 있어서 목탄을 활용한 치산사업. 2005년도 사단법인 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 339-341.

제6장 연구개발과정에서 수집한 과학기술정보

1. 녹화자재로서 지역 고유의 공생미생물 활용

비탈면에 있어서 수목의 조기성장을 촉진시키거나 각종 병충해 및 건조에 대한 저항성을 높이기 위해 지역 고유의 외생균근이나 VA균근 등을 활용하며, 파종에 특히 유용하다. 외생균근균은 현재는 생태학적인 기초연구가 중심이 되고 있으나 장래에 커다란 시장성을 갖고 있으며, 수림형성자재로서 유망하다.

1) 표면침식방지자재

토양의 표면침식방지자재로서 폴리에틸렌 램턴 웨버를 주 소재로 하는 부식포를 피복자재로 개발하여 인공 비탈면 및 척악지 토양의 황폐지에서 좋은 성적을 얻고 있다.

이 피복자재는 실험결과, 시우량 150mm 이내에서는 토사가 유출되지 않았으며, 표면을 유하한 물은 맑았다. 피복자재를 시공하면 유수는 토양이 침투수에 의해 포화될 때까지 아래 방향으로 확산되어 흐르게 되지만, 토양이 포화되면 피복자재 속을 옆 방향으로 흐르게 된다. 또한 피복자재는

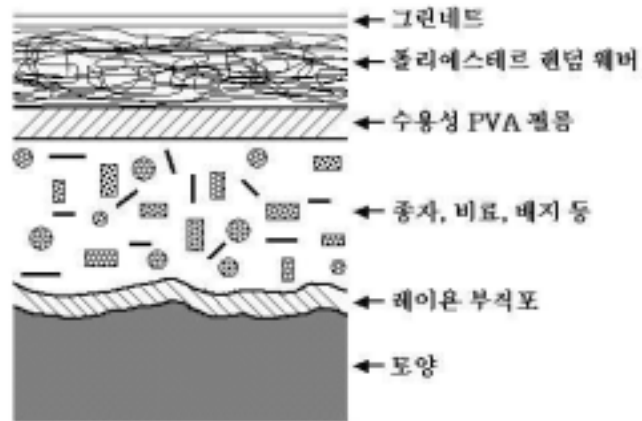


그림 7-1. 피복자재의 구조

토양의 2배 이상의 유량을 처리할 수 있고, 동시에 피복자재 속에서는 토양에 비해 10배 이상의 속도로 유하시켜 표면침식방지에 효과가 매우 큰 것으로 나타났다.

더욱이 이 피복자재는 야간에는 토양온도의 저하를 방지하며, 추운 지방에서는 미생물의 활성을 증진시키거나 초봄에는 식물 뿌리의 활동을 빠르게 하는 효과가 있고, 건조지에서는 수분의 보유기능을 높여 식물의 성장에 좋은 영향을 준다.

2) 토양화 촉진 및 식물의 생육증대를 위한 균근균 활용

피복자재를 사용하면 토양의 수분조건이 향상되고, 토양미생물의 활성이 활발해지기 때문에 토양화의 진행되어 식물의 성장이 양호해 진다. 더욱이 이 효과를 향상·지속시키고 척박지인 황폐지를 녹화시키기 위해 균근을 이용하면 매우 효과적이다.

① 균근

균근은 일반적으로 버섯을 형성하는 외생균근균, 곰팡이의 일종인 내생균근균, 철쭉목의 균근균 및 난초의 균근균 등이 식물의 뿌리가 합체하여 형성되는 것이다. 균근은 식물의 뿌리로부터 영양분이 되는 유기물을 공급받는 대신에 식물의 성장에 필요한 인산과 칼슘을 공급하는 공생적인 생물이며, 대부분의 육상식물의 뿌리와 미생물은 양분과 수분을 교환하고 있다. 특히 황폐지나 한계환경에 강한 식물의 대다수가 균근을 형성하고 있다.



그림 7-2. 소나무에 감염된 모래발버섯



그림 7-3. 곰솔과 공생하는 모래발버섯과 소나무 뿌리에 공생하는 모래발버섯

황폐지의 산림형성을 위한 생물자재로서 이용될 수 있는 외생균근은 8속 39종의 속주에 대해 16속 33종이다. 이 중에서 연구사례의 38%가 모래발버섯으로 대단히 이용하기 쉬운 외생균근균의 일종이라 할 수 있다. 이 외에도 이용 가능한 외생균근으로는 먼지버섯과 줄각버섯 등이 있다.

② 모래발버섯

모래발버섯은 Pilant에 의해 기본종인 모래발버섯 이외에 5품종으로 분류되었다. 일본에서는 지금까지 무성기부가 없는 다마고쓰부다케, 무성기부가 조금 발달한 모래발버섯 및 무성기부가 가늘고 길게 발달한 나가에노고쓰부다케 등 3품종이 확인되었다. 후쿠오카의 반제산에서는 나가에노고쓰부다케, 다마고쓰부다케, 시가현 오오츠시의 타카미야마에서는 모래발버섯, 다마고쓰부다케 및 가고시마현의 사쿠라지마에서는 나가에노고쓰부다케가 확인되고 있다.



그림 7-4. 모래발버섯

③ 모래발버섯의 숙주

나가에노고쓰부다케와 다마고쓰부다케의 숙주는 소나무, 곰솔, 일본잎갈나무 등이며, 모래발버섯의 숙주는 소나무와 일본잎갈나무 등이다.

④ 피복자재 및 균근균을 이용한 녹화

피복자재나 균근균을 이용한 구체적인 녹화공법은 크게 5종류의 공법이 제안되고 있다. 이 중에서 어떤 공법을 채택할 것인가는 필요경비, 주변의 식생상황, 모래발버섯 등의 외생균근균의 입수 난이도, 녹화까지 허용된 연수 등을 고려해서 결정해야 한다.

3) 구체적인 시공사례

① 에히메대학 농학부 부속연습림의 인공 비탈면

에히메대학 농학부 부속연습림 연구동 구내 야외 시험지에 한국이나 일본의 세토나이가키 연안에 많이 분포하는 화강암 풍화토인 마사토 50m²를 이용하여 인공 비탈면을 조성하였다. 비탈면에는 경사각 30°, 비탈면 길이 2.0m, 폭 1.0m인 플롯 12개를 배치하였으며, 조사구는 크게 목본식물(일본잎갈나무와 소나무)의 종자를 부착한 피복자재구와 초본식물인 단초 종자를 주체로 구와 초본 종자를 주체로 한 피복자재구를 설정하였다. 또한 소나무에는 식재하기 전에 모래발버섯의 포자를 산포하였다.

피복자재구에 있어서 일본잎갈나무의 총생장량은 나지구(대조구)보다 근원직경은 1년차에 0.1mm, 2년차에 1.1mm, 3년차에 2.4mm, 묘목의 크기는 1년차에 1.6cm, 2년차에 3.1cm, 3년차에 7.3cm가 크게 나타났다. 또한 피복자재구와 대조구의 근원직경 및

묘장의 성장량은 경과년수에 비례하여 증가하는 경향이 나타났으며, 특히 근원직경의 경우가 이러한 경향이 뚜렷하였다. 따라서 피복자재의 효과는 4년차 이후에도 지속될 가능성이 높다.

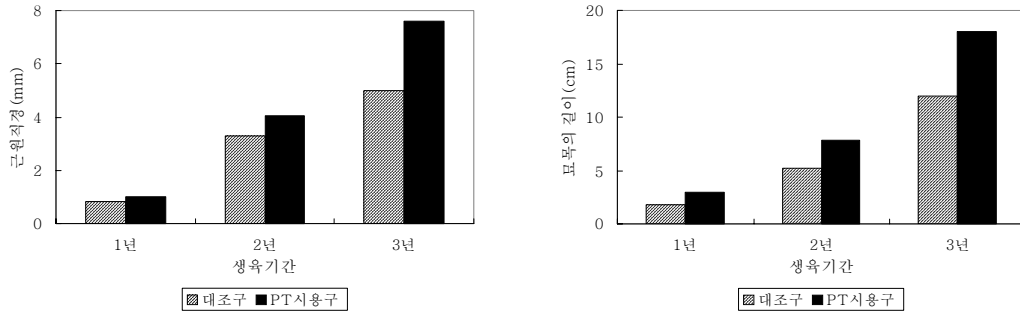


그림 7-5. 곶솔의 성장량 변화

피복자재구에 있어서 소나무의 총성장량 변화는 대조구보다 근원직경은 1년차 0.7mm, 2년차 3.6mm, 3년차 6.9mm, 묘목의 크기는 1년차 4.3mm, 2년차 10.9mm, 3년차 23.4mm의 차이가 나타났다. 또한 모래밭버섯(PT)에 감염된 소나무와 감염되지 않은 소나무는 근원직경, 묘목의 길이 및 뿌리의 크기 등에서 명확한 차이가 나타났다. 소나무구에 있어서도 곶솔구와 마찬가지로 피복자재구나 피복자재에 PT를 사용한 구와 대조구의 근원직경 및 묘목의 크기는 경과년수의 비례하여 증가하는 경향이 나타났으므로 피복자재와 PT의 효과가 지속되고 있다고 할 수 있다. 더욱이 피복자재나 PT의 사용이 목본식물의 성장을 촉진시키는 것은 간접적으로는 생육기반인 하층토의 토양화가 촉진된다는 것을 의미한다.



그림 7-6. 2년생 소나무의 굴취 결과 (좌측3분: 감염, 우측 4분: 비감염)

피복자재에 부착한 단초류와 나지구 사이에는 초장은 1년차 8cm, 2년차 4cm, 3년차 50cm, 건물생산량은 1년차 630g/m², 2년차 620g/m², 3년차 630g/m²의 차이가 나타났다. 2년차는 1년차에 비해 초장 및 건물중량이 모두 전년에 비해 작은 치수가 나타났는데, 이는 2년차에는 성장개시직전에 지상부 전체를 채취하였기 때문이다. 3년차는 단초구와 대조구의 사이에 초장 및 건물중량 모두 1% 레벨의 유의차가 인정되었으며,

3년차에서 성장량의 차이가 크게 나타난 것은 피복자재 아래의 생육기반인 마사토의 토양화가 급속하게 진행되고 있기 때문이다.

피복자재에 부착된 비탈면 초본류와 나지구(대조구) 사이에는 초장은 1년차 16cm, 2년차 11cm, 3년차 10cm, 건물생산량은 1년차 570g/m², 2년차 540g/m², 3년차 150g/m²의 차이가 나타났다. 2년차에는 비탈면 초본구와 대조구 사이에는 초장이 5%수준, 건조중량이 1%수준의 유의차가 인정되었으나 3년차는 유의차가 인정되지 않았다. 따라서 피복자재가 비탈면 초본에 미치는 지속효과는 2년 정도이지만, 초본식물에 대해서도 목본식물과 같이 생육기반인 하층토의 토양화를 촉진시켜 초장이나 현존량의 증대에 기여하고 있다.

피복자재구와 피복자재에 목본과 초본종자를 부착한 구에 있어서 3년간의 침입식물 종수는 대조구(나지구)보다 상당히 많았다. 이는 피복자재를 시용함으로써 표면침식이 방지되어 주변에서 날라 오는 식물종자가 비탈면에 다수 정착되었기 때문이며, 또한 밭아 및 그 후의 성장에 필요한 환경조건, 구체적으로는 토양수분 및 지온조건이 향상되었기 때문에 침입식물 종수가 대조구에 비해 크게 증가한 것이다.

표 7-1. 침입식물의 종수

피복자재 곰솔구	피복자재 소나무구	피복자재 단초구	피복자재 비탈면 초본구	피복자재구	대조구 나지
12종	10종	11종	10종	11종	6종

② 타나가미산

피복자재의 현지적용 실험을 실시하기 위해 화강암지대 중에서 독나지가 많고, 현재에도 일본 건설성 직할의 사방공사가 실시되고 있는 시가현 오오츠시 타나가미산의 척악토양 황폐지에 시험지를 두 곳 설정하였다. 한곳은 타나가미산 하부 표고 250m지점으로 쿠쓰카케 사방댐 하류 좌안의 C층에 노출된 마사토에 5~6년생 곰솔이 식재되어 있으며(면적 약 1,000m²), 곰솔의 근원부



그림 7-7. 타나가미산 시공지

전면에 피복자재를 부착한 시험구와 부착하

지 않은 시험구(대조구)를 설정하였다.

다른 한곳은 타나가미산 상부 표고 400m지점의 정상부(비탈면의 최대경사 각 40°로 표층 5cm는 풍화된 마사토)로 피복자재구와 나지구 모두에 곱술 1~2년생 묘목을 식재하였다. 또한 각 시험구는 모래받버섯을 접종한 구와 접종하지 않은 시험구(대조구)를 설정하였다 (면적 약 500m²).



그림7-8. 타나가미산 사방댐 하류 시공지

피복자재구의 성장량은 대조구에 비해 4년동안 수고 및 근원직경 면에서 현저한 효과가 나타났다. 즉 근원직경 성장량은 2년차에 최대가 되었다가 3년차에는 감소, 4년차에는 다시 증가하였으며, 수고 성장량은 근원직경 성장량이 최대가 된 다음 해인 3년차에 최대가 되었다. 따라서 피복자재는 우선 근계와 근원부에 영향을 미치고, 이 부분이 충실해 진 후에 수목생장에 영향을 미치기 때문에 최대 값은 1년 늦게 나타나는 것이다. 한편 4년차에는 수고 성장량은 감소하지만, 근원직경 성장량은 증가하고 있는 것으로 보아 5차년도 이후에도 계속해서 증가할 것이다.

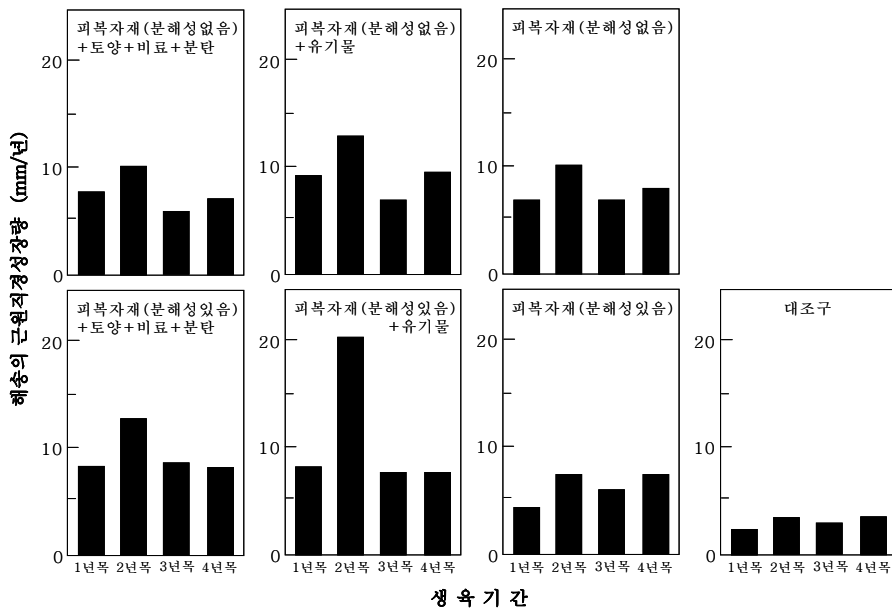


그림 7-9. 곱술의 근원직경 성장량 변화

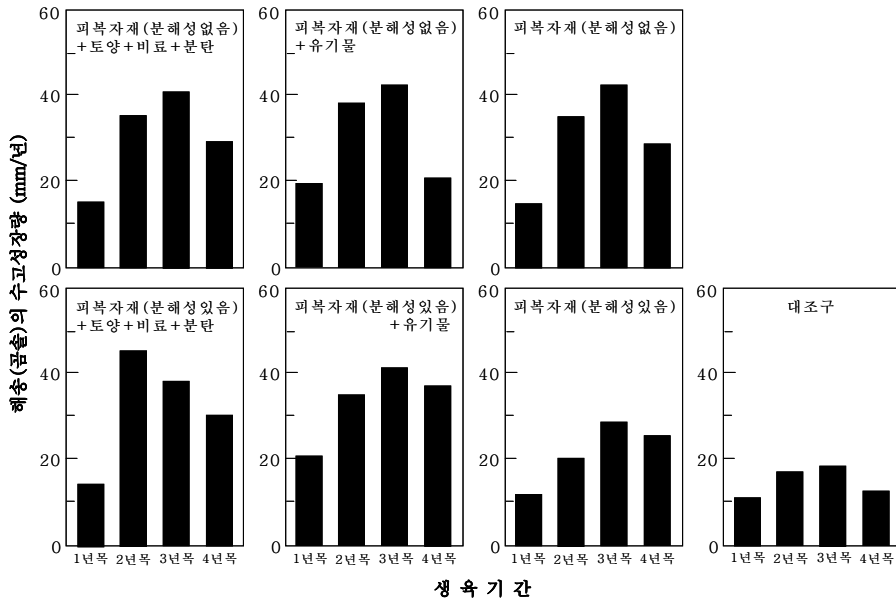


그림 7-10. 곰솔의 수고 성장량 변화

③ 사쿠라지마

시공장소는 사쿠라지마의 노지리가와 하구로부터 약 2,500m지점의 우안, 표고 약 300m에 위치하는 화산성 황폐지 약 2,500㎡와 사쿠라지마의 쿠로카미가와 하구로부터 약 2,500m지점의 우안, 표고 약 80m에 위치하는 척악토양을 이용한 제방 비탈면 약 250㎡이다. 노지리가와 시험지에서는 대조구를 제외한 시공구역 전체를 일부 층직토양을 넣은 피복자재로 덮었으며, 2년생 곰솔을 1본/㎡의 비율로 식재하였다. 식재시에 곰솔의 일부 근계에는 나가에노고쓰부다케(PT, 후쿠시마현 반다이산) 및 먼지버섯(AH, 쓰쿠바현 쿠키자키초우산)의 포자를 접종하였다. 쿠로카미가와 시험지에서는 곰솔과 다정큼나무의 종자를 부착한 피복자재를 시공하였다.



그림 7-11. 노지리 유역 시공지

척악토양의 황폐지를 조기에 녹화하기 위해 피복자재와 균근균을 이용한 시공사례로부터 이들 공법이 토양침식의 방지효과는 물론, 수목과 초본식물의 근원직경, 수고 성장, 초장 및 물질생산량에 미치는 효과가 상당히 크다는 것이 확인되었다. 또한 피복자재 하층토의 토양화가 나지보다 2~3배 빠르게 진행되고 있는 것이 확인되었으며, 더욱이 화산성의 황폐지에서는 아류산가스에 대해서도 강한 저항력을 나타냈다.

특히 피복자재를 시공하여 표면침식이 억제되면, 주위부터 비산 혹은 조수류 등에 의해 운반된 식물의 종자가 정착되어 녹화가 촉진되는 것도 분명히 확인되었다. 한편 척악토양의 황폐지나 목본식물을 처음부터 도입하는 것은 생육기반인 하층토의 토양화가 문제가 되지만, 피복자재와 균근균을 이용하면 토양침식 및 표층 붕괴방지와 함께 초기성장을 촉진시키는 등 지금까지의 문제점을 해결하는데 유효한 수단이 된다는 것이 확인되었다. 따라서 나쁜 환경조건하에서 소나무, 곰솔 등의 숙주에 대한 균근균의 정착효율을 높이기 위한 균근균의 증식 및 정착기술의 개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

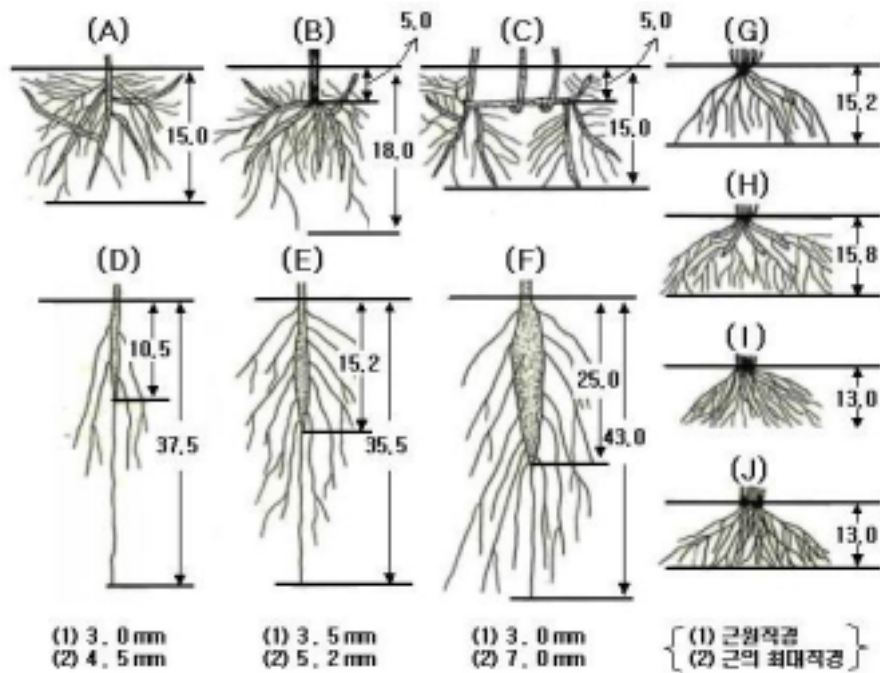
2. 제방 비탈면 녹화

새롭게 제방 비탈면이 조성되거나 개수공사에 의해 조성된 비탈면을 녹화하는 경우 고유의 생태계를 중시한 녹화를 실행해야 하며, 안이하게 외래식물을 도입해서는 안 된다. 제방 비탈면은 토양화가 진행되면 두더지가 침입하여 구멍을 내 제방 붕괴의 원인을 제공하기도 하므로 가능한 한 식생천이의 진행속도를 늦추도록 해야 한다. 따라서 앞으로는 지역 고유의 잡초류를 적극적으로 이용하는 재래 초본식물을 기본으로 한 제방 비탈면 녹화가 진행되어야 한다. 방제 혹은 제어를 위해 사용되는 농약분야의 눈부신 발전은 쌀이나 야채·과일 등의 농산물의 수량증대나 품질향상 및 노동의 성력화에 크게 공헌하여 왔다. 그러나 다양한 농약 등의 사용은 우리 인간뿐만 아니라 지구상의 동식물을 포함한 생태계에 커다란 영향을 미치고 있으며, 앞으로도 영향이 계속될 것이라는 것은 쉽게 추측할 수 있다. 또한 녹화보전의 관점에서 보면, 현재 비농경지인 제방 비탈면의 녹화는 획일적으로 들잔디 등이 사용되고 있으며, 각 지역의 고유식물(소위 잡초류)은 전혀 사용되지 않고 있다. 이 때문에 들잔디 등으로 녹화 시공한 곳에서는 식재후 2~3년경부터 고유종과의 경쟁에 밀려 쇠퇴하고 있는 곳이 나타나게 되었다.

1) 근계의 성장형태

봄철에 파종, 근삽과 삼목한 잡초류의 가을철 성장휴지기의 근계 성장형태는 썩의

경우 세근이 줄기를 중심으로 지표면 부근에 그물망처럼 발달하고 있으며, 칩과 등나무는 직근이 40cm정도로 상당히 땅속 깊은 곳까지 발달해 있고, 뿌리의 최대직경도 5~7mm이나 세근은 그다지 발달하지 않는다. 호장근도 직근이 40cm정도로 상당히 발달하지만, 뿌리의 최대직경은 4.5mm로 칩과 등나무보다는 떨어진다. 참억새는 분얼이 번성하였지만, 뿌리는 세근뿐이며, 주로 측방으로 발달하여 그 길이가 10~18cm에 이른다. 외래종인 켄터키-31-훼스큐(K-31-F)와 위핑 러브 그라스(W-L-G)의 근계분포 및 뿌리의 신장정도는 참억새와 큰 차이가 없다.



(A) 썩(과종) (B) 썩(삼목) (C) 썩(분근) (D) 호장근(과종) (E) 칩(과종) (F) 등(과종)
 (G) 참억새(과종) (H) 참억새(분근) (I) W-L-G(과종) (J) K-31-F(과종)

그림 7-12. 근계의 성장형태

참억새, K-31-F 및 W-L-G등의 벼과 잡초는 지상부와 지하부의 생육에 명확한 차이는 없으며, 직근성인 등나무, 칩 및 호장근은 다른 종류에 비해 지상부와 함께 지하부의 성장도 왕성하다. 특히 땅속 깊이 침입한다는 것은 근계에 의해 토양고정효과를 기대할 수 있을 뿐 아니라 건조에 대해서도 비교적 강하다는 것을 의미하며, 동시에

이듬해 봄철의 왕성한 성장도 기대할 수 있다. 앞으로 혼파를 검토할 때에는 각 잡초류의 근계특성을 충분히 살린 이용방법을 검토하는 것이 중요하다. 즉 세근성으로 지표면을 망상으로 덮는 식물, 세근성으로 지표면보다는 20~40cm정도의 약간 깊은 곳에서 역시 망상으로 덮는 식물 및 직근성으로 땅속 깊이까지 침입하는 식물을 어떻게 조절할 것인가가 근계에 의한 토양간박효과를 증대시키는 요점이 될 것이다.

2) 1차근의 강도

식물의 근계는 표면침식 및 표층붕괴 방지기능과 밀접한 관계가 있다. 근계의 강도는 지하경과 1차근 등의 강도에 좌우되며, 최대하중과 1차근과의 사이에는 높은 상관관계가 나타났기 때문에 직경이 큰 근계나 작은 경우에도 근계가 발달하면 근계의 인장강도는 증가한다고 할 수 있다. 또한 종류간 1차근의 강도에는 큰 차이는 나타나지 않았지만, 지하경 강도에는 상당히 큰 차이가 나타나고 있다. 따라서 잡초류의 근계 강도에 대해서는 앞으로 지하경과 1차근과의 강도를 고려한 모델 등을 구축하여 현지에서의 인장시험을 추가 검토할 필요가 있다.

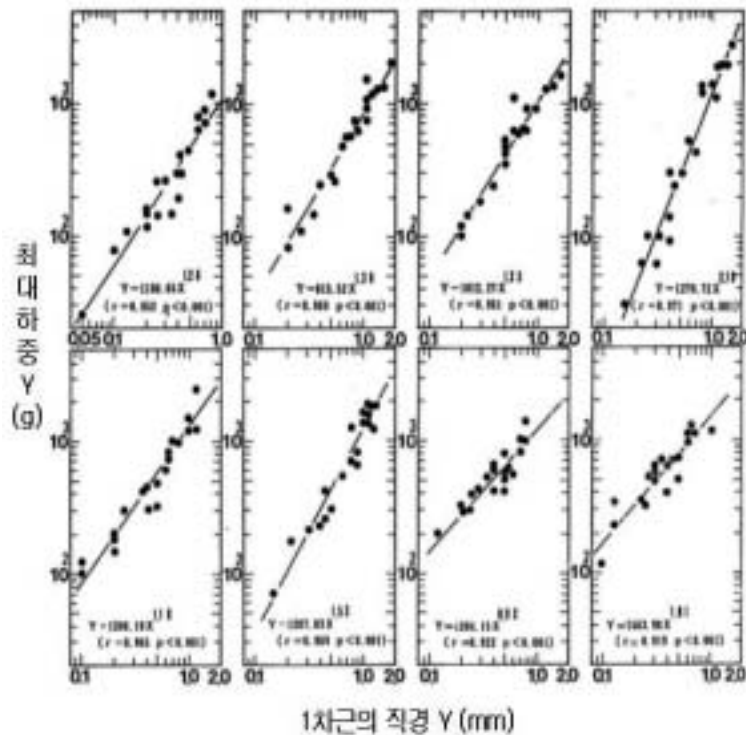


그림 7-13. 최대하중과 1차근 직경과의 관계

3) 잡초류 이용의 문제점과 대응책

한국에는 고유의 잡초류가 대단히 많지만, 비탈면 녹화용으로는 그다지 이용되고 있지 않다. 이는 재래종의 우수성을 인정해도 급속히 증가하는 수요에 즉각 대응할 수 있는 증식방법이나 공급태세가 이루어지지 않았기 때문이다. 따라서 외래종의 도입에 의한 조기녹화가 시도되어 온 것이 사실이며, 그 결과 문제점이 발생하고 있다.

고유의 잡초류를 작물재배하기 위한 방제연구는 농업분야에서는 폭 넓게 진행되고 있으나 이들 잡초류와의 공존을 도모하고, 유효하게 활용하기 위한 연구는 그다지 행해지고 있지 않은 것이 사실이다. 따라서 가능한 한 빠른 시일 안에 유전자공학 등을 도입하여 연구태세를 정비·확립하고, 고유의 잡초류의 구체적인 증식방법이나 품종 개량에 관한 연구를 진척시키고 동시에 확립된 공급태세를 갖추어야 할 것이다. 특히 지구규모의 생태계를 생각하여 제한된 종 이외의 종의 이용, 즉 잡초류의 이용방안을 심각하게 고민해야 할 것이다.

제7장 참고문헌

- 김남춘. 1990. 녹화식생의 생육이 사면녹화 및 경관조성에 미치는 효과에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문. 78pp.
- 김남춘. 1990. 도로비탈면 녹화에 사용되는 주요 초본식물의 지하부 생육이 토양안정에 미치는 효과에 관한 연구. 한국조경학회지 18(2) : 45-55.
- 김남춘. 1997. 사면 녹화 공사용 자생목본식생의 파종 적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(1) : 73-81.
- 김남춘. 1997. 주요 초본식물의 비탈면 파종적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(2) : 62-72.
- 김남춘·석원진·남상준. 1998. 비탈면의 조기식생녹화를 위한 식물배합에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3) : 8-18.
- 김재현. 1993. 임도성토사면의 침식방지에 대한 식생조성 효과. 충북대학교 박사학위논문. 77pp.
- 박문수. 1996. 도로구조 및 산림환경인자가 임도 비탈면의 식생침입과 토양침식에 미치는 영향. 경상대학교 박사학위논문. 125pp.
- 江崎次夫·岩本徹·芮縉榮·全權雨. 2001. 綠化와 人間(Ⅱ) -火山性 荒廢地の 綠化-. 森林科學研究 第16號 : 88-103.
- 江崎次夫·岩本徹·염규진·문진희·전근우. 2004. 녹화와 인간(Ⅳ) -잡초를 활용한 제방 비탈면의 식생관리-. 森林科學研究 20 : 82-92.
- 문진희·전근우·염규진·김경훈·江崎次夫. 2005. 모형비탈면에 있어서 비탈면의 식생도입에 관한 연구. 2005년도 한국환경복원녹화기술학회 정기총회·춘계학술발표회 및 특별세미나 : 104-108.
- 박완근·전근우·염규진·유석인. 1998. 피복자재가 식생 생육에 미치는 영향. 1998 한일공동심포지엄 논문집 : 33-47.
- 염규진. 2004. 환경친화형 피복자재인 Geo-textile이 인공 비탈면 안정에 미치는 영향. 강원대학교 박사학위논문. 127pp.
- 吳在萬·井上章二·江崎次夫·全權雨. 1999. 林道 路面과 비탈면의 土砂 및 浮遊砂 流

- 出. 1999年度 韓國林學會 夏季總會 및 學術研究發表會 : 155-157.
- 吳在萬·井上章二·江崎次夫·全權雨. 1999. 山地 小流域에 開設된 林道가 浮遊砂 流出에 미치는 影響. 韓國林學會誌 88(4) : 477-484.
- 우보명. 1976. 토양침식에 작용하는 몇 가지 요인의 영향에 관한 연구. 한국임학회지. 29 : 54-101.
- 우보명. 1977. 식생이 비탈면의 안정에 미치는 영향. 한국임학회지 35 : 47-55.
- 우보명. 1978. 암벽면녹화공법개발에 관한 연구(I). 한국임학회지 37 : 1-16.
- 우보명. 1987. 수도권지역 산지암반사면의 황폐특성에 관한 기초적 연구. 한국임학회지 76(1) : 17-26.
- 우보명·권태호·김남춘. 1993. 임도비탈면의 자연식생 침입과 효과적인 비탈면녹화공법 개발에 관한 연구. 한국임학회지 82(4) : 381-395.
- 우보명·김남춘·김경훈·전기성. 1996. 고속도로 절토비탈면의 식생천이과정에 관한 연구. 한국임학회지 85(3) : 347-359.
- 우보명·전기성·김경훈·최형태. 1996. 고속도로 비탈면에서 주변환경을 고려한 녹화공법과 식생선발에 관한 연구. 한국임학회지 84(4) : 619-633.
- 우보명·김경훈. 1997. 고속도로 절개비탈면에서 녹화공법 선정기준 설정에 관한 연구. 한국임학회지 86(4) : 476-488.
- 우보명·김경훈. 1998. 암절취 훼손비탈면에 대한 환경생태적으로 안정된 녹화공법에 관한 연구(I). 한국임학회지 87(2) : 308-315.
- 우보명·김경훈. 1998. 암절취 훼손비탈면에 대한 환경생태적으로 안정된 녹화공법에 관한 연구(II). 한국임학회지 87(3) : 383-390.
- 우보명·오구균·김봉년·조영채·전기성. 1998. 고속도로 비탈면 녹화용 도입초종의 생육특성 분석. 한국조경학회지 26(1) : 12-20.
- 全權雨·車斗松·張京植·沈尤燮. 1991. 山岳林의 林道開設에 關한 研究(III) -林道の 施工 및 施工管理-. 江原大學校 林科大學 演習林研究報告 11 : 27-36.
- 全權雨·吳在萬. 1992. 林道斜面的 土砂流出과 植生侵入에 關한 研究(I) -切土斜面的 木本侵入에 대하여-. 江原大學校 林科大學 演習林研究報告 12 : 39-58.
- 全權雨·吳在萬. 1993. 林道斜面的 土砂流出과 植生侵入에 關한 研究(II) -盛土斜面的 木本植物侵入을 中心으로-. 韓國林學會誌 82(4) : 354-365.
- 全權雨·吳在萬·池炳濶. 1994. 山岳林의 林道開設에 關한 研究(V) -調査區의 地形改變-. 江原大學校 林科大學 演習林研究報告 14 : 110-120.

- 全權雨·車斗松·朴完根·吳在萬. 1994. 山岳林의 林道開設에 關한 研究(VI) -開設後 初期年の 植生侵入-. 江原大學校 林科大學 演習林研究報告 14 : 121-134.
- 全權雨·朴完根·吳在萬·車斗松. 1995. 山岳林의 林道開設에 關한 研究(VII) -開設後 2次年度の 植生侵入 變化-. 江原大學校 林科大學 演習林研究報告 15 : 45-63.
- 全權雨外 16人. 1995. 林道開設의 實踐 -環境保全 및 流域管理를 指向한 林道事業-. 江原大學校 林道委員會 研究報告 1. 122pp.
- 全權雨·金玟植·江崎次夫. 1996. 林道開設이 溪流水質에 미치는 影響(I) -林道開設에 따른 浮遊土砂量의 變化-. 韓國林學會誌 85(2) : 280-287.
- 全權雨·車斗松·朴完根·吳在萬·金旻南·金玟植·廉圭眞·西問原·江崎次夫. 1996. 山岳林의 林道開設에 關한 研究(VIII) -開設後 3年間の 植生侵入 變化-. 江原大學校 林科大學 演習林研究報告 16 : 109-131.
- 全權雨·朴完根·廉圭眞·金玟植·江崎次夫·吳在萬. 1997. 林道 切·盛土 비탈면의 植生 變化. 1997年度 韓國林學會 夏季總會 및 學術研究發表會 : 90-92.
- 全權雨·朴完根·廉圭眞. 1998. 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.
- 全權雨·朴完根·廉圭眞·江崎次夫. 1998. 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.
- 全權雨·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.
- 전근우·박완근·염규진·안태봉·江崎次夫. 1998. 환경친화형 피복자재를 이용한 비탈면 안정기술 개발(I) -피복자재와 도입 식생 선정 및 현지시험-. '98 한일공동심포지엄 논문집 : 1-13.
- 全權雨·朴完根·廉圭眞·西問原·劉錫仁·江崎次夫. 1998. 山岳林의 林道開設에 關한 研究(IX) -開設後 5年間の 植生侵入 變化-. 江原大學校 山林科學大學 學術林研究誌 18 : 95-114.
- 전근우·박완근·염규진·江崎次夫. 1999. 다기능 휠터가 식생 생육과 비탈면 안정에 미치는 영향. 1999년도 한국환경복원녹화기술학회 정기총회 및 춘계학술발표대회 : 3-4.
- 전근우·이상용·이종규·박완근·염규진. 1999. 피복자재와 균근균을 이용한 비탈면 녹화. 한국조경학회 '99 정기총회 및 학술논문발표회 : 48-49.

- 全權雨·朴完根·廉圭眞·江崎次夫. 1999. 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回日本緑化工學會研究發表會研究發表要旨集 : 110-113.
- 전근우·이상용·이종규·박완근·염규진·江崎次夫. 1999. 임도 비탈면의 식생침입과 녹화공법 개발. '99 한일공동심포지움 논문집 : 1-15.
- 全權雨·朴完根·金玟植·江崎次夫. 2000. 山岳林의 林道開設에 관한 研究(XI) -開設後 7年間の 植生侵入 變化-. 江原大學校 山林科學大學 學術林研究誌 20 : 59-75.
- 全權雨·金玟植·岩本徹·江崎次夫. 2001. 綠化와 人間(I) -앞으로의 비탈면 綠化-. 森林科學研究 第16號 : 74-87.
- 전근우·문진희·김진용·염규진·김경남·김재현·江崎次夫. 2004. 모형비탈면을 이용한 비탈면의 물리적 안정성 파악. 학술림연구지 24 : 42-50.
- 전근우·문진희·염규진·박완근·차두송·김재현·江崎次夫. 2004. 일본에 있어서 재래목본식물을 이용한 도로 절취비탈면 녹화. 2004년도 사단법인 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 328-330.
- 전근우·박완근·최인화·염규진·문진희·岩本徹·山本一夫·江崎次夫. 2004. 일본에 있어서 화산성 황폐지의 녹화. 산림공학기술 2(2) : 141-150.
- 전근우·차두송·염규진·김석우·김진용·岩本徹·江崎次夫. 2005. 일본에 있어서 목탄을 활용한 치산사업. 2005년도 사단법인 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 339-341.
- 전근우·문진희·염규진·김진용·江崎次夫. 2005. 모형비탈면을 이용한 비탈면 침식의 물리적 특성 파악. 2005년도 사단법인 한국임학회 학술연구 논문발표집 : 408-410.
- 정원옥. 2001. 임도 절토 비탈면의 안정과 식생활착에 미치는 환경인자의 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 4(2) : 74-83.
- 江崎次夫·丸本卓哉·早川誠而·山本一夫·岡部宏秋. 1994. 樹木および草本植物の生育に對する被覆資材の效果. 中日水土保持敷蓋資材應用研討會論文集 : 35-37.
- 江崎次夫·藤久正文·河野修一·岩本徹·丸本卓哉·早川誠而·岡部宏秋·山本一夫. 1995. 被覆資材が植物の生長におよぼす影響. 第26回日本緑化工學會研究發表會要旨集 : 193-196.
- 江崎次夫·丸本卓哉·早川誠而·岡部宏秋·山本一夫·中島勇喜·藤久正文·河野修一·全權雨. 1996. 被覆資材および菌根菌が樹木の成長に及ぼす影響. 第107回日本林學會大會講演要旨集 H-36 : 255.

- 江崎次夫・丸本卓哉・早川誠而・岡部宏秋・山本一夫・中島勇喜・藤久正文・河野修一・岩本徹・全權雨. 1996. 被覆資材による荒廢地の緑化. 第27回日本緑化工學會研究發表會要旨集：164-167.
- 江崎次夫・丸本卓哉・早川誠而・岡部宏秋・山本一夫・中島勇喜・全權雨. 1996 . 櫻島の河川流域荒廢地の緑化. 平成8年度砂防學會研究發表會概要集：227-228.
- 江崎次夫・岩本徹・中島勇喜・藤久正文・河野修一・全權雨. 1996. 海岸砂丘地用クロマツの現存量におよぼす微生物の影響. 第43回日本砂丘學會全國大會研究發表要旨集：20-21.
- 江崎次夫・藤久正文・河野修一・丸本卓哉・岡部宏秋・山本一夫・中島勇喜・全權雨・金玟植・岩本徹. 1997. 被覆資材と菌根菌を利用した荒廢地の緑化. 第108回日本林學會大會講演要旨集 P-215：253.
- 江崎次夫・岩本徹・中島勇喜・藤久正文・河野修一・全權雨. 1997. 被覆資材と菌根菌を利用した海岸砂丘地の緑化. 第44回日本砂丘學會全國大會研究發表要旨集：6-7.
- 江崎次夫・前田小夜・岩本徹・丸本卓哉・岡部宏秋・山本一夫・全權雨・中島勇喜・幸喜善福. 1998. 火山性荒廢地の緑化. 第29回日本緑化工學會研究發表會研究發表要旨集：328-331.
- 江崎次夫・丸本卓哉・岡部宏秋・山本一夫・岩本徹・全權雨・中島勇喜. 1998. 菌根菌と被覆資材を利用した荒廢地の緑化. '98 한일 공동 심포지엄 논문집：14-23.
- 江崎次夫・丸本卓哉・岡部宏秋・井上章二・岩本徹・全權雨・中島勇喜・幸喜善福. 1999. 共生微生物と被覆資材を利用した荒廢地の緑化. 第110回日本林學會大會學術講演集：992-993.
- 江崎次夫・全權雨. 1999. 在來植物を利用する林道のり面の緑化. '99 Korea-Japan Joint Symposium：16-44.
- 江崎次夫・岩本徹・全權雨. 2000. クロマツ苗の生長に及ぼすVA菌根菌資材の影響. 日本砂丘學會第47回全國大會講演要旨集：5-6.
- 江崎次夫・丸本卓哉・河野伸之・岡部宏秋・井上章二・岩本徹・藤久正文・河野修一・全權雨. 2001. 火山性荒廢地の菌根菌利用による緑化. 平成13年砂防學會研究發表會概要集：68-69.
- 江崎次夫・丸本卓哉・岡部宏秋・井上章二・岩本徹・全權雨・河野修一・藤久正文. 2001. 櫻島荒廢地の緑化. 第112回日本林學會大會學術講演集：535.
- 岡部宏秋・江崎次夫・丸本卓哉・早川誠而・赤間慶子. 1994. 共生微生物の植生回復技術

- への適用(Ⅰ)-外生菌根菌の活用-. 森林立地學會誌 36(2) : 55- 63.
- 岡部宏秋・丸本卓哉・江崎次夫・山本一夫・全權雨. 1998. 植生回復に利用する共生微生物. '98 한일공동심포지엄 논문집 : 53-64.
- 吉澤知展・早川誠而・丸本卓哉・谷宏. 1993. 植生シート設置が温湿度環境の季節的變化に与える影響について. 中國・四國の氣象 6 : 94-95.
- 大手桂二. 1982. 林道法面に成立した植生に對する評價法の一試案. 京都府立大學演習林報告 26 : 52-71.
- 藤井圭一・藤久正文・河野修一・全權雨・江崎次夫. 2001. 木本植物を利用するのり面の綠化. 日本綠化工學會誌 27(1) : 335-338.
- 北原 曜・眞島征夫・清水 晃. 1988. 林道切取法面における木本侵入の初期過程(Ⅱ)-法面造成後2~4年目の結果-. 日本林學會誌 70(6) : 273-277.
- 山本一夫・山田憲照・坪内正之・酒田直克・丸本卓哉. 1994. 被覆資材に組み込む被覆肥料の特徴について. 中日水土保持敷蓋資材應用研討會論文集 : 81- 98.
- 小橋澄治. 1982. のり面での植生生長とその變化豫測手法の研究. 斜面綠花研究 4 : 1-16.
- 井内祥人. 1980. 奄美大島における林道の法面崩壊. 第15回林道研究發表會論文集 : 31-39.
- 早川誠而・吉澤知展・丸本卓哉・江崎次夫・岡部宏秋・徐森雄. 1994. 被覆資材が土壤温湿度環境に及ぼす影響. 中日水土保持敷蓋資材應用研討會論文集 2 : 1-34.
- 佐佐木功. 1982. 林道建設が自然植生, 景觀, 土砂生産量に及ぼす影響とその對策に關する研究. 文部省科學研究報告書. 167pp.
- 勝呂博之・橋田欣一・矢島 崇・新谷 融. 1979. 道路法面における木本侵入. 日本林學會北海道支部講演集 28 : 54-56.
- 矢野進治・森木俊雄. 1975. 林道法面に侵入する植生とその生長. 林研 10 : 42-45.
- 新谷 融・矢島 崇・勝呂博之. 1980. 林道切取法面における木本侵入に關する研究. 北海道大學農學部演習林研究報告 37(3) : 631-674.
- 新谷 融・矢島 崇・内藤 滿. 1980. 林道法面における植生變化に關する研究. 北海道大學農學部演習林研究報告 37(1) : 165-208.
- 新谷 融・勝呂博之・矢島 崇・橋田欣一. 1981. 綠化施工道路法面における植生回復に關する研究. 北海道大學農學部演習林研究報告 38(1) : 1-30.
- 早川誠而・丸本卓哉・谷宏・吉澤知展・徐森雄. 1994. 環境保全綠化資材の氣象環境特性

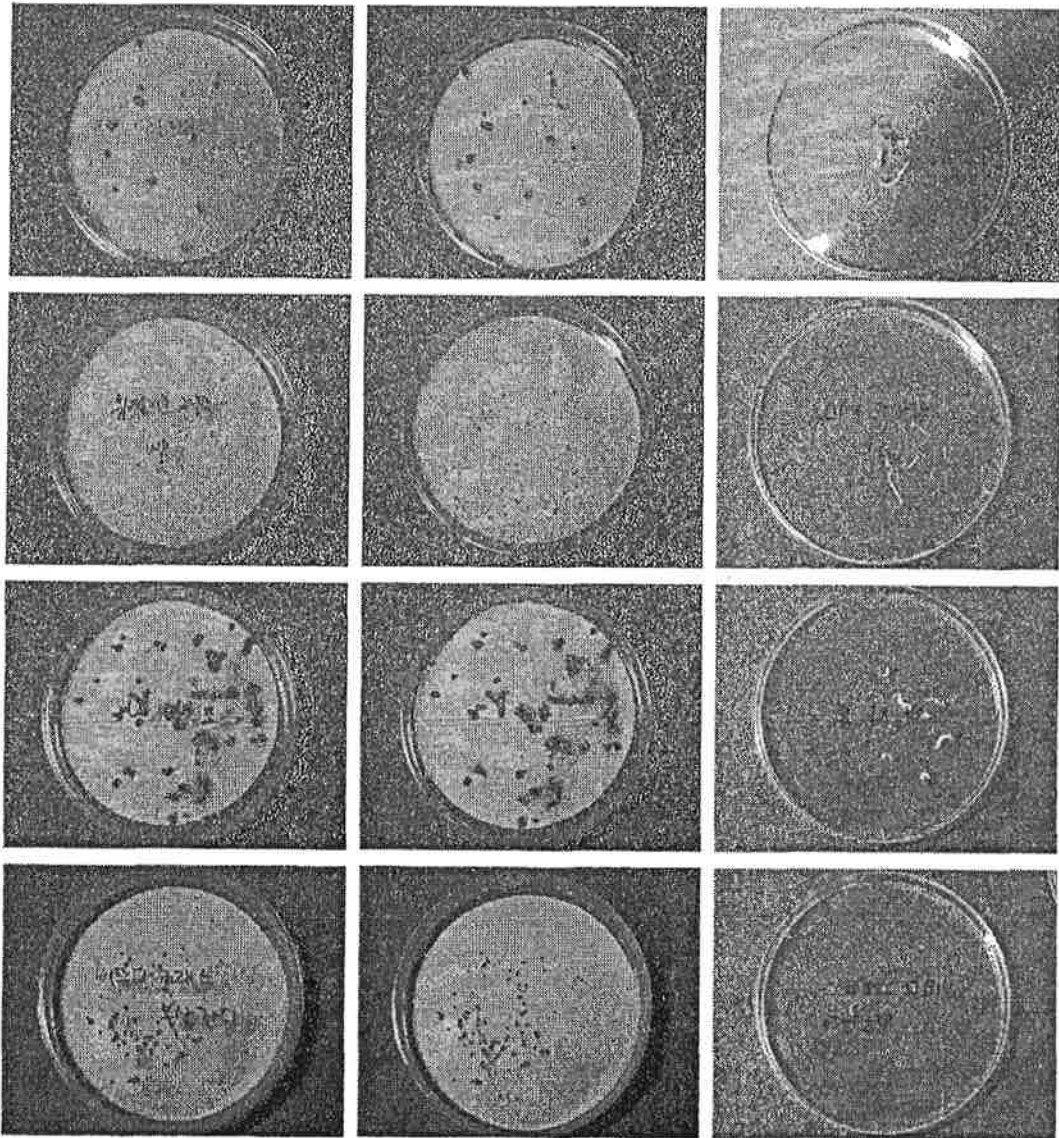
- に関する研究—大津市田上山での観測例. 中國・四國の氣象 5 : 74-75.
- 早川誠而・吉澤知展・丸本卓哉・江崎次夫・岡部宏秋・徐森雄. 1994. 被覆資材が土壤湿度環境に及ぼす影響. 中日水土保持敷蓋資材應用研討會論文集 : 21-34.
- 早川誠而・山本晴彦・丸本卓哉・佐々木孝高. 1994. 緑化被覆資材が火山灰地の地温, 土壤水分環境に与える影響について. 中國・四國の氣象 7 : 72-73.
- 丸本卓哉・藤原輝男・常村忠生・山本一夫・翁長謙良. 1990. エコロジカルな視點に立った-土壤浸蝕防止・緑化資材の開発. 自然災害と地球環境問題講演論文集 : 16-24.
- 丸本卓哉. 1991. ハイオルガニック防蝕植生シートの開発. 山口縣融合化開發促進事業報告書 : 1-45.
- 丸本卓哉・早川誠而・江崎次夫・山本一夫・岡部宏秋. 1994. 被覆資材の土壤侵蝕防止・緑化効果と實施例. 中日水土保持敷蓋資材應用研討會論文集 : 49-61.
- 丸本卓哉・河野伸之・西山雅也・岡部宏秋・江崎次夫・早川誠而. 1995. 緑化被覆資材に関する研究(3) -微生物バイオマスに及ぼす被覆シートの影響-. 第91回日本肥料學會關西支部會講演要地集 : 13.
- 丸本卓哉. 1996. 荒廢裸地の新しい緑化技術. 都市緑化技術 23 : 22-26.
- 丸本卓哉. 1996. 森林土壤の侵蝕防止・樹林形成資材の開発. 平成5~7年度科學研究費補助金研究成果報告書. 145pp.
- 丸山幸平・土井 功・石河 満・志田武司. 1982. 飯豊山麓・温身平林道法面の二次遷移(II) -7年間の傾向-. 日本林學會誌 64(11) : 429-437.
- Ezaki, T., Fujihisa, M., Yamamoto, M. and Kohno, S.. 1986. Plant Succession on the Face of Slopes of Forest Road(IV) -The invasion and change of ligneous plants on road banking slopes in the warm-temperature zone-. Bull. Ehime Univ. For. 24 : 111-128.
- Ezaki, T., Fujihisa, M., Ogami, K., Kohno, S. and Yamamoto, M.. 1987. Plant Succession on the Face of Slopes of Forest Road(VII) -The growth processes of invading woody plants and degree of soil formation on road banking slopes in the warm-temperate zone-. Bull. Ehime Univ. For. 25 : 89-102.
- Ezaki, T. and Fujihisa, M. 1988. Plant Succession on the Face of Slopes of Forest Road(IX) -The transition of woody plants on banking slopes in the warm-temperate zone. Bull. Ehime Univ. For. 26 : 115-129.
- Ezaki, T., Takuya Marumoto, Seiji Hayakawa, Hiroaki Okabe, Kazuo Yamamoto

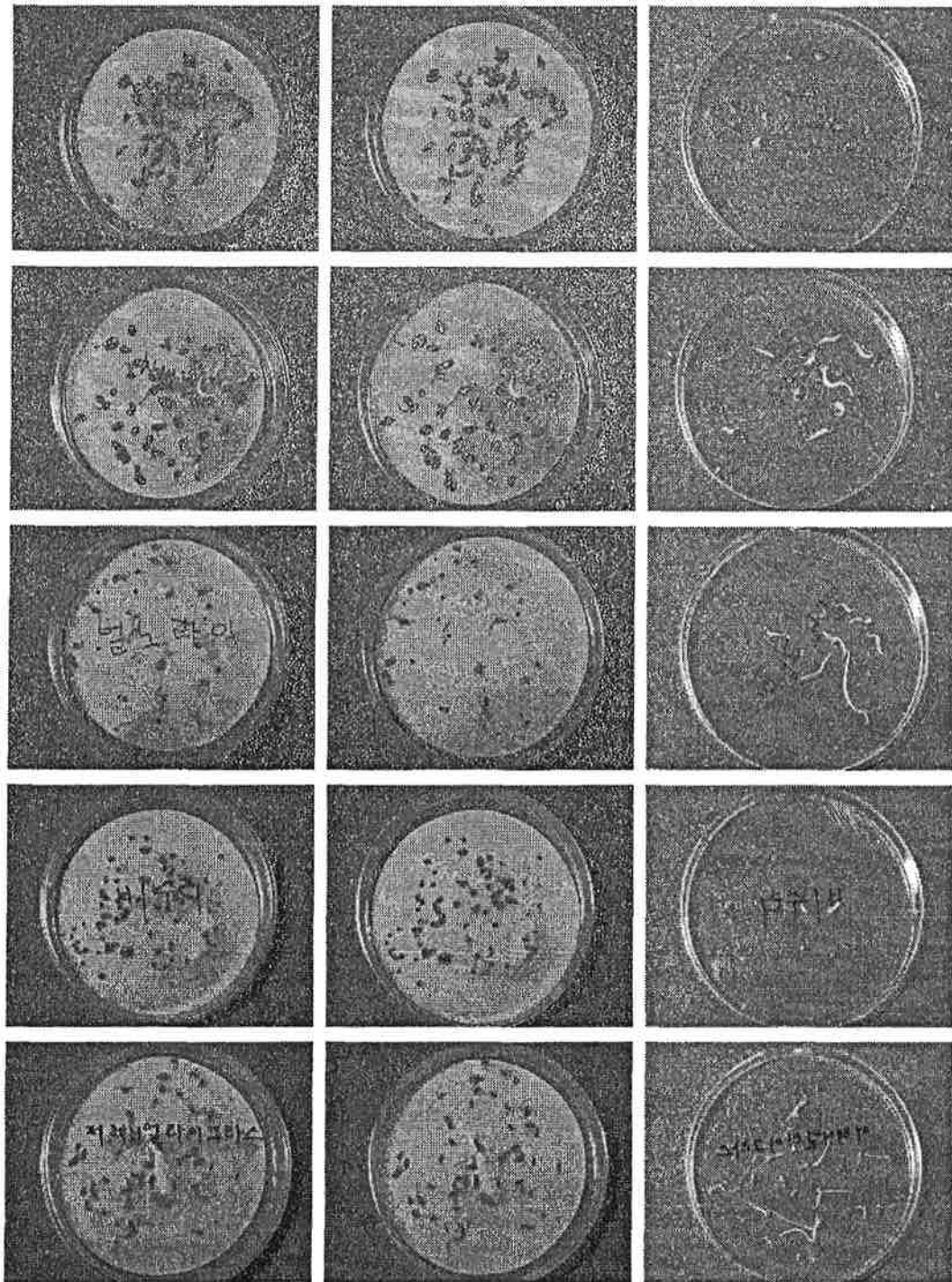
- and Kun-Woo Chun. 1997. Forest Regeneration Utilizing Mulching Sheet and Mycorrhizal Fungi. *J. Agric. Meteorol.*(*Journal of Agricultural Meteorology*) 52(5) : 617-620.
- Hayakawa, S., Suzuki, Y., Marumoto, T.. 1993. Effects of mulching on the thermal environment of root zone and crop growth. *J. Agr. Met.* 48 (5) : 675-678.
- Ian Douglas. 1967. Man, Vegetation and the Sediment Yields of River. *NATURE*. Vol. 215, August 26 : 925-928.
- Marumoto, T., Hayakawa, S. Ezaki, T., Yamamoto, K. and Okabe, H.. 1997. Function of a Mulching Sheet for Reforestation and Prevention of Soil Erosion. *J. Agric. Meteorol.* 52(5) : 613-616.
- Springfield, H. W. 1971. Selection and limitations of mulching materials for stabilizing critical areas, Rocky Mountain Forest and Range Exp. Station. Critical area stabilization workshop Proc. : 128-161.

● 부록

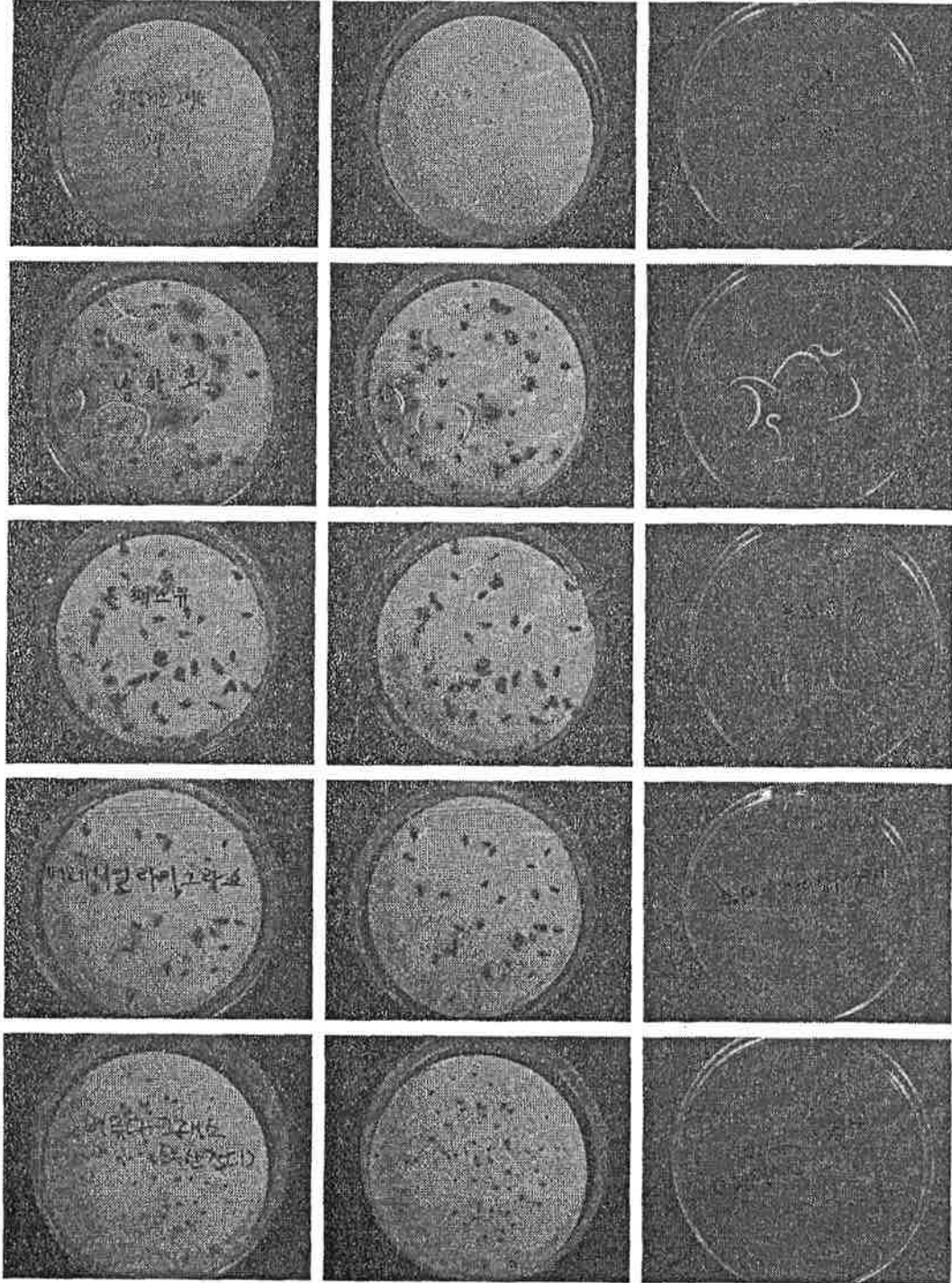
- 마대 접착제 유해성 실험 1(1g/1000ml)

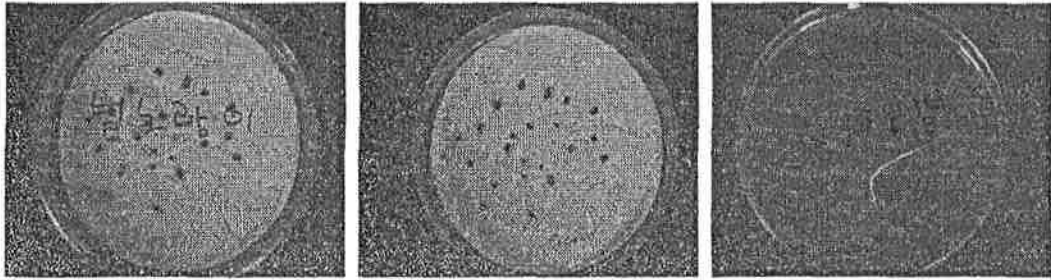
○ 1주일 경과 후 종자발아율





○ 2주일 경과 후 종자발아율





○ 3주일 경과 후 종자발아율

