

GOVP1200204728

634.956

L2938

최 종
연구보고서

임도비탈면 안정을 위한 피복자재 및 녹화공법 개발

Development of mulching sheet and revegetation
technology for the slope stabilization of forest road

연구기관
강원대학교

농 립 부



최 종 보 고 서

1997 년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 임도비탈면 안정을 위한
피복자재 및 녹화공법 개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출
합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 10부
2. 최종보고서 디스켓 1매

2001 년 10 월 27 일

주관연구기관 : 강 원 대 학 교

총괄연구책임자 : 전 근 우 (인)

주관연구기관장 :

직 인

농 립 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “임도비탈면 안정을 위한 피복자재 및 녹화공법 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001년 10월 27일

주관연구기관명 : 강 원 대 학 교
총괄연구책임자 : 전 근 우
세부연구책임자 : 전 근 우
연 구 원 : 江 崎 次 夫
연 구 원 : 김 경 남
연 구 원 : 김 민 식
연 구 원 : 염 규 진
연 구 원 : 서 문 원
연 구 원 : 예 선 영
세부연구책임자 : 이 상 용
연 구 원 : 이 종 규
연 구 원 : 丸 本 卓 哉
연 구 원 : 정 주 해
연 구 원 : 방 주 희
연 구 원 : 이 훈 용
협동연구기관명 : 산림조합중앙회
강 원 도 지 회
협동연구책임자 : 윤 강 섭
연 구 원 : 차 두 송
연 구 원 : 오 재 헌
연 구 원 : 박 영 선
연 구 원 : 이 광 재
연 구 원 : 김 명 호

요 약 문

I. 제 목

임도 비탈면 안정을 위한 피복자재 및 녹화공법 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 환경친화형 피복자재를 이용한 비탈면 안정기술 개발

임도개설후 방치되고 있는 인공 비탈면은 식생의 자연침입에 의한 녹화가 어려워 비탈면의 표면침식과 붕괴에 의한 각종 피해가 발생하고 있다. 한편 현재 이용되고 있는 비탈면 안정공법은 높은 시공단가, 외래초본류의 도입에 따른 주변 식생의 교란과 주변 경관과의 부조화 등의 문제점이 제기되고 있다. 따라서 폴리에스텔 섬유 렘덴웨버의 피복자재와 우리나라 고유의 자생식물을 이용한 비탈면 안정기술을 개발하였다.

2. 균근균을 이용한 생물학적 비탈면 안정기술 개발

주로 목본 식물에 존재하는 외생균근은 유용한 수종의 생리 생태적 기능 증진 및 효율적인 대량생산에 이용할 수 있는 가능성이 높으며, 사방 사업에 의한 비탈면 등의 척박한 토양에 조림을 필요로 할 경우에도 균근을 이용하면 효율적으로 비탈면을 안정시킬 수 있을 것으로 생각한다. 따라서, 유용 균근균의 선발 및 균근의 생리 생태적 특성 구명과 함께 이들의 비탈면 안정에 있어서의 활용 가능성에 관하여 조사하였다.

3. 도로 비탈면 안정을 위한 간벌 소경재이용 방안 개발

최근 들어 국내에서 생산되는 간벌소경재는 펄프재료, 합판, 포장용기, 갯목, 숯 등으로 이용되고 있으나 소경재의 과다 공급, 국산재의 요구 감소, 생산비의 증가 등으로 인해 그 경쟁력을 상실해 가도 있다. 이러한 국산 간벌소경재의 활용성을 높이기 위해 간벌소경재를 활용한 안정공법을 개발하고 개발된 안정공법의 경제성을 분석하였으며, 또한 개발된 안정공법의 표준공정과 단가표를 제시하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 환경친화형 피복자재를 이용한 비탈면 안정기술 개발

1) 피복자재와 도입 식생 선정 및 현지시험

- 피복자재 및 도입 식생 선정
- 시공대상지 선정 및 라이시메타 제작
- 각종 시험구 설정
- 현지 시험구의 수질, 토사이동 및 식생조사

2) 피복자재와 식생공의 특성 및 문제점 파악

- 피복자재의 물리적·역학적·침투 배수 특성 및 내구성 파악
- 유용 식생공 파악 및 대량 생산체계 확립
- 수질, 토사이동 및 식생조사(2차년도)

3) 피복자재 및 식생공의 개량 및 현지적용, 기능 분석 및 제품화

- 경관을 고려한 피복자재의 개량, 제품화 및 현지 적용
- 유용 식생공의 현지도입 및 현지 적합성 분석
- 수질, 토사이동 및 식생조사(3차년도)

4) 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 분석 및 이용방안 개발

- 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 분석
- 환경친화형 비탈면 안정공법의 이용방안 개발
- 수질, 토사이동 및 식생조사(4차년도)

2. 균근균을 이용한 생물학적 비탈면 안정기술 개발

1) 유용 균근균의 수집, 선발 및 배양학적 특성 조사

- 다양한 조사구에서의 균근류의 수집(채집 및 분양) 및 분리 동정
- *in vitro*에서의 생리적 특성 조사
- 균근균의 배양 배지 개발
- 유용 균근균의 선발 및 배양체계 확립

2) 균근균의 인공접종 기술 개발

- 균근균의 접종원 형태별 효과 비교
- 균근균 및 식물종에 따른 접종 방법별 효과 비교
- 대량접종 및 균근식물 생산체계 확립

3) 균근균의 형성과 환경요인의 관계 분석

- 임상별 균근균의 분포 특성
- 토성과 균근 형성과의 상관관계 분석
- 개량 피복자재가 균근균 형성에 미치는 영향 분석

4) 균근균의 실제 적용 및 효과 분석

- 균근균 형성 식물의 생리, 생태학적 특성 분석
- 균근 식물과 비탈면 안정과의 상관관계분석

3. 도로 비탈면 안정을 위한 간벌 소경재 이용 방안 개발

1) 간벌 소경재의 해부학적, 물리적, 화학적 성질

- 해부학적 구조

- 물리적 성질

- 화학적 성질

2) 간벌 소경재 안정공법의 적용성 검토

- 통나무 세워놓기 공법

- 목책공법

- 격자틀 공법

3) 간벌 소경재 안정공법의 개량방안 모색

- 임도성토사면 내부의 간극수압을 줄이는 방법

- 식생을 첨가한 목책공법

- 격자틀 공법의 개량방안

4) 간벌 소경재 공법의 경제성 분석 및 이용방안

- 간벌 소경재 안정공법의 경제성 검토

- 간벌 소경재 안정공법의 이용방안

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 환경친화형 피복자재를 이용한 비탈면 안정기술 개발

1) 임도 비탈면의 식생침입 변화

임도 비탈면의 식생침입 상황을 파악하기 위해 강원대학교 산림과학대학 부속연습림의 임도 절·성토 비탈면에 조사구를 설치하여 식생천이 과정을 파악한 결과, 절도 비탈면에는 총 149종류 2,569개체가, 성토 비탈면에는 148종류 3,735개체가 생육하고 있었다. 식물의 종수와 개체수의 경년변화는 목·초본류 모두 임도개설 후 점차 증가하였으며, 식생의 평균 피복률 역시 절·성토 비탈면 모두 증가하였으나, 절도 비탈면은 성토 비탈면과는 달리 개설후 7년이 경과한 시점의 평균 피복율이 38%로 비탈면 조성후 방치하면 식생의 자연

침입에 의한 비탈면 안정을 기대하기 어려운 것으로 나타났다.

2) 피복자재와 도입 식생 선정 및 현지시험

폴리에스틸 섬유 램덴웨버를 소재로 한 피복자재와 우리나라 고유의 목본 7종류와 초본 6종류를 이용하여 현지시험을 실시하였다. 즉 강원대학교 구내 산림과학대학2호관 비탈면에 피복자재 시공구와 무시공구로 구분하여 식생은 무치리구, 초본구, 목본구, 혼파구를 도입할 수 있는 1.0m×3.0m의 라이시메타를 각각 4개씩 8개를 2개가 한 조가 되도록 제작·설정하였다. 측정항목은 비탈면의 물리·화학적 안정에 관계되는 강우량, 유출수량, 부유물질, 유출토사량, pH, 전기전도도, 지중온도, 음이온과 양이온 등이며, 식생은 종수, 개체수 및 피복률 등을 파악하였다.

3) 피복자재와 식생공의 특성 및 문제점 파악

도입한 피복자재가 비탈면의 물리적 안정과 식생생육에 효과적인 것이 확인되었다. 즉, 피복자재가 부유물질과 유출토사량 등의 유출억제 효과가 컸으며, 강우량이 증가할수록 그 억제 효과가 높게 나타났다. 또한 식생의 생육면에서는 피복자재구가 미설치구보다 식생의 종수, 개체수 및 평균 피복율에서 높게 나타났다. 따라서 피복자재는 호우시에는 토사유출을 방지하여 비탈면을 물리적으로 안정화하는데 효과적이었으며, 갈수시에는 지표의 수분조건을 양호하게 하여 식생생육에 기여하는 것으로 나타났다. 그러나 일부 식생, 특히 잎이 넓은 경우에는 피복자재의 두께가 두꺼워 피복자재 밑에서 고사하는 경우가 발생하므로 이를 개량할 필요가 제기되었다.

4) 피복자재 및 식생공의 개량 및 현지적용, 기능 분석 및 제품화

개량 피복자재 역시 비탈면의 물리적 안정과 식생생육에 효과적인 것이 확

인되었다. 즉, 피복자재가 비탈면의 물리적 안정에 영향을 미쳐 부유물질과 유출토사량이 각각 1/10~1/3, 1/25~1/7로 억제되었으며, 강우량이 증가할수록 억제 효과가 높게 나타났다. 또한 식생의 생육면에서는 피복자재구가 미설치구보다 도입식생의 종수, 개체수 및 평균 피복율에서 각각 1.2배, 1.1배 및 1.5배 높게 나타나 도입식생이 피복자재 밑에서 고사하는 일없이 현지에 잘 적응하고 있는 것이 확인되었다.

5) 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 분석 및 이용방안 개발

개량 피복자재와 식생공을 조합한 환경친화형 비탈면 안정공법의 공정별 소요 인원과 단가를 계산하여 공법의 적용 및 계획시 유용한 자료를 제시하였다. 또한 경제성 분석을 통해 비탈면 안정공법으로 적용되는 여러 가지 공법과의 경제성을 분석한 결과 단가 및 환경보전적인 측면에서도 우수한 공법으로 판단되었다. 따라서 임도 비탈면뿐만 아니라 일반도로 및 고속도로의 비탈면은 물론 폐광지 및 산불 피해지 등과 같은 조건이 불량한 지역의 비탈면 안정기술로 유효하게 이용될 것으로 사료된다.

2. 균근균을 이용한 생물학적 비탈면 안정기술 개발

1) 배양학적 특성

공시 균근균들의 배양학적 특성으로부터 땅지만가닥버섯 (혼시메지)이 참싸리의 균근균으로 가장 적합한 것으로 선발되었다. 땅지만가닥버섯은 MP 배지에서 균사 생장이 가장 왕성하였으며, 최적 배양 온도 및 pH는 각각 25℃ 및 pH 6이었다. 탄소원으로는 glucose 및 fructose를, 질소원으로는 asparagine과 peptone을 선호하는 경향을 나타내었다.

2) 인공접종 및 참싸리에서의 균근 형성 특성

땅지만가닥버섯은 참싸리에서 전형적인 외생균근의 특성을 나타내었으며, 균근 접종 실생 묘목의 생장율은 대조구에 비하여 우수하였다. 또한, 땅지만가닥버섯 균사체를 함유한 alginate로 과립화시킨 참싸리 종자의 발아율 역시 대조구에 비하여 양호하였다. 토성별 균근균 처리 종자의 발아율의 경우는 원예용 상토의 경우에는는 처리구간의 발아율은 큰 차이가 없었으나, 사토 및 마사토의 경우에는는 균근 처리구가 발아율이 높게 나타났다.

3) 균근균 접종 종자 및 묘목의 효과 분석

균근 접종 종자 및 묘목을 피복자재와 함께 비탈면에 적용하였을 경우 균근 처리구의 생존율 및 건조량이 대조구 보다 양호한 것으로 확인되어, 비탈면 안정에 효과가 있는 것으로 인정되었다.

3. 도로 비탈면 안정을 위한 간벌 소경재이용 방안 개발

1) 성토면의 안정공법으로서의 이용방안

성토면의 안정화를 위한 대책공법으로 환경친화적인 자재인 간벌소경재를 이용하여 목책공법과 격자틀공법을 제시하였고, 사면의 구성물질인 토양, 사면의 기울기와 같은 사면의 특성을 고려하여 안정해석을 실시하여 안정공법의 설계를 실시하였다. 또한 공법의 공정별 소요인원과 단가를 계산하여 공법의 적용 및 계획시 유용한 자료를 제시하였다. 또한 경제성분석을 통해 복구시 적용되는 여러 가지 공법과의 경제성을 판단한 결과 단가 및 환경보전적인 측면에서도 우수한 공법으로 판단되었다.

2) 절토면의 안정공법으로서의 이용방안

임도 절토면의 안정화를 위한 대책공법으로 환경친화적인 자재인 간벌소경재를 이용한 세워놓기 공법을 제시하였고, 직접 현장 시공을 통해 공법의 적

용성과 안정성을 평가하였다. 그 결과 침엽수보다는 활엽수의 간벌소경재가 더 효과적이고 토사사면보다는 호박돌 토사사면에서의 효과가 더욱 크게 나타났다. 또한 최고 95%의 피복율을 나타내었다. 또한 성토면의 경우와 마찬가지로 공법의 공정별 소요인원과 단가를 계산하여 공법의 적용 및 계획시 유용한 자료를 제시하고자 하였다. 또한 경제성분석을 통해 복구시 적용되는 다른 녹화 공법과의 경제성을 판단한 결과 성토면 안정공법과 마찬가지로 단가 및 환경보전적인 측면에서도 우수한 공법으로 사료된다.

SUMMARY

I. The title of research

**Development of mulching sheet and revegetation technology
for the slope stabilization of forest road**

II. Objectives and importance of the research

1. Development of slope stabilization technology using environmentally-sound mulching sheet

The slopes artificially made and abandoned after construction of forest road are so hard to be revegetated by natural introduction of vegetation that various problems such as surface erosion and land collapse are often occurred.

On the other hand, the slope stabilization technologies currently used have many problems because of high cost, disorder of eco-system, and disharmony of landscape by the introduction of non-native herbaceous plants.

Therefore, this research was carried out for the development of new technology using polyester fiber random webber mulching sheets and native plants.

2. Development of slope stabilization technology using mycorrhizal fungi

Ectomycorrhizal fungi associated with woody plants was known to

increase physiological-ecological functions of beneficial woody plants. Mycorrhizal fungi could be used as one of the reforestation agent for the devastated soil and slope stabilization. In this experiment, screening of useful mycorrhizal fungi, physiological-ecological characterization of the selected mycorrhizal fungi, and the potentials for reforestation in slope stabilization by their application were carried out.

3. Utilization scheme of thinned small-diametered tree logs for the slope stabilization of forest road

To develop the stabilization method of forest road slope using thinned small-diametered tree logs, economical stabilization construction methods were designed and analyzed.

Lately, small-diametered tree logs thinned in Korea is being used as a raw material for the pulp, particle board, fiber board, wrapping material, mine wood, chopsticks, farming equipments, charcoal and so on. However, excessive supply of small round wood, decreased demand of domestic woods and rise of lumbering costs makes their competitive ability reduce in economical aspects.

Thus, this research was carried out to develop the stabilization methods of forest road slope using domestically thinned small-diametered tree logs, and to analyze economical feasibility of developed methods. In addition, standard construction process and the unit cost table of developed methods were proposed.

III. Contents and scope of the research

1. Development of slope stabilization technology using environmentally-sound mulching sheet

- 1) Field experiment for the selection of introducing vegetations and mulching sheet
 - selection of mulching sheets and introducing plants
 - selection of experiment site and manufacturing of lysimeter
 - establishment of plots
 - investigations on water quality, soil erosion and vegetation survey of plots
- 2) Investigations on the defects and characteristics of mulching sheets and vegetation treatment
 - studies on several characteristics, i.e., physical, dynamical, saturation, drainage characteristics, and durability of mulching sheets
 - examination of effective vegetation treatment and establishment of mass-production system
 - investigation on water quality, soil erosion and vegetation(the 2nd year)
- 3) Improvement and field application of mulching sheets, vegetation treatment, analysis of function, and commercialization
 - improvement of mulching sheets considering landscape, effect analysis, and field application
 - analysis of field application effect of vegetation treatment and compatibility
 - investigation on water quality, soil erosion and vegetation(the

3rd year)

4) Analysis of economical efficiency of the environmentally-sound slope stabilization technology and development of their stilization scheme

- analysis of economical efficiency of the environmentally-sound slope stabilization technology
- development of utilization scheme
- investigation on water quality, soil erosion and vegetation(the 4th year)

2. Development of slope stabilization technology using mycorrhizal fungi

1) Collection, screening and cultural characteristics of mycorrhizal fungi

- Isolation and identification of mycorrhizal fungi collected from various sites
- *In vitro* studies on physiological characteristics of mycorrhizal fungi
- Development of culture media for mycorrhizal fungi
- Establishment of screening and cultural system of mycorrhizal fungi

2) Development of artificial inoculation techniques for mycorrhizal fungi

- Effects of inoculum types of mycorrhizal fungi on mycorrhizal synthesis

- Effect of inoculum types on mycorrhizal synthesis by mycorrhizal fungi and plant species
 - Mass inoculation of mycorrhizal fungi into plant and mass production of mycorrhizal plants.
- 3) Correlation analysis between environmental factors and mycorrhizal synthesis
- Distribution of mycorrhizal fungi by different forest types
 - Correlation analysis between soil texture and mycorrhizal synthesis
 - Effect of mulching sheets on mycorrhizal synthesis
- 4) Application of mycorrhizal plants and their effects in slope stabilization
- Physiological and ecological characteristics of mycorrhizal plants
 - Correlation analysis between mycorrhizal plants and slope stabilization

3. Utilization scheme of thinned small-diametered tree logs for the slope stabilization of forest road

- 1) Anatomical, physical and chemical properties of thinned small-diametered tree logs
- 2) Development of stabilization methods and their application
- 3) Physical properties of soil in forest road slope
- 4) Theoretical design of stabilization methods using thinned small-diametered tree logs
- 5) Suitability investigation of stabilization methods in situ

- 6) Explorations of improved stabilization methods using thinned small-diametered tree logs
- 7) Economical analysis of stabilization methods using thinned small-diametered tree logs
- 8) Utilization scheme of stabilization methods using thinned small-diametered tree logs

IV. Results and Recommendations for application

1. Development of slope stabilization technology using environmentally-sound mulching sheet

- 1) Changes in the introduced vegetations in forest road slopes

The vegetation after construction of forest roads was investigated in permanent plots set up on the cutting and banking slopes of forest road at the Experiment Forests, Kangwon National University for seven years to find out the succession of vegetation on the slopes.

Total vegetations on cutting slopes were 2,569 individuals belongs to 149 taxa and those on banking slopes were 3,735 individuals belongs to 148 taxa.

The number of species and individuals in herbaceous and woody plants on the cutting and the banking slopes increased annually after the construction of forest road. The mean rate of vegetation coverage on the cutting and the banking slopes increased annually. But vegetation coverage(38%) in the cutting slopes was fewer than that in the banking slopes about twice. Therefore, this result represented that the stabilization of cutting slopes by natural introduction of vegetation is

limited.

2) Field experiment for the selection of mulching sheets and introduced plants

To develop new technology for the slope stabilization, we established 8 plots by using polyester fiber random webber mulching sheets, 7 species of woody plants, and 6 species of herbaceous plants in the campus of Kangwon National University.

The plots were organized into 4 pairs. Each pair were composed of mulched plots, un-mulched plots, vegetation treatment plots and non-vegetation treatment plots. The plot size was 1.0 m × 3.0m.

Total amount of Rainfall, Run-off water, Suspended sediment, Sediment yield, pH, EC, Soil temperature, Anion, Cation, and the number of Species, Individuals and Vegetation coverages were investigated.

3) Investigations on the defect and characteristics of mulching sheets and vegetation treatment

Mulching sheet was effective for the slope stabilization and vegetation growth. Mulching sheet prevented generation of Suspended sediment and Sediment yield. The more it rain, the more the efficacy of mulching sheets were increased. From vegetation growth point of view, species, individuals and vegetation coverages in mulched plots were higher than those in un-mulched plots. It represent that mulching sheets contribute to slope stabilization physically during rainy periods and make soil moisture condition good during dry periods. But some kind

of broad-leaved plants couldn't grow through mulching sheet because of sheets' thickness. Thus, it is necessary for mulching sheets to be improved in thickness.

- 4) Improvement and field application of mulching sheets, vegetation treatment, analysis of function, and commercialization

Improved mulching sheet was assured to be effective for the slope stabilization and vegetation growth, too. The mulching sheets reduced amount of Suspended sediment and Sediment yield by $1/10 \sim 1/3$, $1/25 \sim 1/17$. The more it rain, the more mulching sheets were effective. From the vegetation growth point of view, the number of species, individuals and mean vegetation coverages of introduced plants in mulched plots were 1.2, 1.1, and 1.5 times as more as those in un-mulched plots, respectively.

- 5) Analysis of economical efficiency of the environmentally-sound slope stabilization technology and development of utilization scheme

Useful data and guide line by analyzing process costs and manpower requirement were presented. This technology was proved to be useful than the others in economical and environmental point of view by the analysis of economical efficiency. It is promising that this new technology will be useful for road construction such as a forest road, normal road, highway, and devastated land such as a abandoned mine and forest fire-damaged land.

2. Development of slope stabilization technology using mycorrhizal fungi

1) Cultural characteristics of mycorrhizal fungi

Among mycorrhizal fungi tested in this experiment, *Lyophyllum shimeji* showed successful mycorrhizal association with roots of *Lespedeza cyrtobotrya* seedlings. Optimum cultural conditions on artificial culture media were investigated: MP media showed the best mycelial growth, and optimum temperature and pH were 25°C and pH 6, respectively. Glucose and fructose were effectively utilized as a carbon source, while asparagine and peptone were done as a nitrogen source.

2) Characteristics of Mycorrhizal association with *Lespedeza cyrtobotrya* seedlings by artificial inoculation of mycorrhizal fungi

Mycorrhizal association of *Lespedeza cyrtobotrya* seedlings with *Lyophyllum shimeji* showed typical characteristics of ectomycorrhizae with better growth of mycorrhizal seedlings than non-mycorrhizal seedlings. In seed germination test, seeds immobilized with alginate containing *Lyophyllum shimeji* mycelium showed better than non-treated seeds in germination rate. There were no significant variations among treatments in germination rate when commercial soil was used, but the germination rate in mycorrhizae-inoculated treatment was relatively higher than non-mycorrhizal treatment in sandy or sandy loam soil.

3) Effects of *Lespedeza cyrtobotrya* seedlings associated with mycorrhizal fungi in the slope stabilization

Mycorrhizae-treated seedlings showed higher survival rate and dry weight than un-treated seedlings in the slope application with mulching sheet. These results promised that mycorrhizal fungi could be used as one of the slope stabilizing agent, and greatly contributed to the improvement of stabilization effect.

3. Utilization scheme of thinned small-diametered tree logs for slope stabilization of forest road

1) Utilization scheme as stabilization construction methods in fill slope

We have proposed the wood fence and latticed wood frame methods using thinned small-diametered tree logs, the environmentally-sound material, as stabilization construction methods for fill slope of forest road. Based on the analysis of physical properties of soil, slope characteristics such as slope angle, length, and slope stabilization, this stabilization construction methods were designed. In the case of new construction plans using these methods are considered, useful information on the number of required worker and the unit cost by construction process was provided. In the economical aspects, stabilization construction methods using thinned small-diametered tree logs were determined as useful construction methods in comparison with others. Since these methods were not only economic but also environmentally-sound, it is prospected that these construction methods

would be widely utilized as eco-conservative construction methods for the slope stabilization.

2) Utilization scheme as stabilization construction methods in cut slope

Log planting method using thinned small-diametered tree logs was proposed as a stabilization construction method for cut slope of forest road. Stability and suitability of this method was evaluated through the direct construction in the field. Broad-leaved trees showed the higher plant covering rate than coniferous trees. Specially in case of oriental oak area, plant covering rate was very high as 95%.

In the case of new construction plans using these methods are considered, useful information on the number of required worker and the unit cost by construction process was provided. By economic analysis, log planting method using thinned small-diametered tree logs was determined as a useful construction method in comparison with other covering methods. Since this method is environmentally-sound method using thinned small-diametered tree logs, this construction method would be widely utilized for cut slope stabilization.

CONTENTS

SUMMARY(in KOREAN)	1
SUMMARY	9
CONTENTS	20
CONTENTS(in KOREAN)	23
TABLE	25
FIGURE	30
PHOTO	34
Chapter 1. Introduction	36
1. Purpose and range of the research	36
2. Contents of the research	40
Chapter 2. Development of slope stabilization technology using environmentally-sound mulching sheet	48
1. Introduction	48
2. Introduction of vegetation on the slope of forest road	49
3. Field experiment for the selection of vegetation and mulching sheet	71
4. Investigations on the defects and characteristics of mulching sheets and vegetation treatment	106
5. Improvement and field application of mulching sheets, vegetation treatment, analysis of function, and commercialization	116
6. Analysis of economical efficiency of the environmentally-sound slope stabilization technology and development of their utilization	

scheme	125
7. References	129
Chapter 3. Development of slope stabilization technology using mycorrhizal fungi	137
1. Introduction	137
2. Materials and Methods	139
3. Collection, screening and cultural characteristics of mycorrhizal fungi	143
4. Development of artificial inoculation techniques of mycorrhizal fungi	153
5. Correlation analysis between environmental factors and mycorrhizal synthesis	166
6. Application of mycorrhizal plants and their effects on slope stabilization	171
7. References	179
Chapter 4. Utilization scheme of thinned small-diametered tree logs for the slope stabilization of forest road ...	185
1. Introduction	185
2. Materials and Methods	189
3. The anatomical, physical and chemical properties of pole-sized thinned wood	213
4. The application for the slope stabilization using pole-sized thinned wood	219

5. The improvement methods for the slope stabilization using pole-sized thinned wood	248
6. The economic analysis and utilization methods for the slope stabilization using pole-sized thinned wood	251
7. References	262

목 차

요 약 문	1
SUMMARY	9
CONTENTS	20
목 차	23
표 목 차	25
그림목차	30
사진목차	34
제 1 장 서 론	36
제 1 절 연구개발의 목적과 범위	36
제 2 절 세부과제별 연구개발 내용	40
제 2 장 환경친화형 피복자재를 이용한 비탈면 안정기술 개발	48
제 1 절 서 론	48
제 2 절 임도 비탈면의 식생침입 변화	49
제 3 절 피복자재와 도입 식생 선정 및 현지시험	71
제 4 절 피복자재와 식생공의 특성 및 문제점 파악	106
제 5 절 피복자재 및 식생공의 개량 및 현지적용, 기능 분석 및 제품화	116
제 6 절 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 분석 및 이용방안 개발	125
제 7 절 참고문헌	129
제 3 장 균근균을 이용한 생물학적 비탈면 안정기술 개발	137
제 1 절 서 론	137

제 2 절	재료 및 방법	139
제 3 절	유용 균근균의 수집, 선발 및 배양학적 특성 조사	143
제 4 절	균근균의 인공접종기술 개발	153
제 5 절	균근균의 형성과 환경요인과의 상관관계 분석	166
제 6 절	균근균의 실제 적용 및 효과 분석	171
제 7 절	참고문헌	179
제 4 장	도로 비탈면 안정을 위한 간벌 소경재이용 방안 개발	185
제 1 절	서론	185
제 2 절	연구방법	189
제 3 절	간벌소경재의 해부학적, 물리적 화학적 성질	213
제 4 절	간벌소경재 인정공법의 적용성 검토	219
제 5 절	간벌 소경재 안정공법의 개량 방안 모색	248
제 6 절	간벌 소경재 공법의 경제성분석 및 이용방안	251
제 7 절	참고문헌	262

표 목 차

〈표 2-1〉 절토 비탈면의 식생침입 상황	51
〈표 2-2〉 절토 비탈면에 있어서 침입식생	55
〈표 2-3〉 성토 비탈면의 식생침입 상황	58
〈표 2-4〉 성토 비탈면에 있어서 침입식생	62
〈표 2-5〉 임도 비탈면 조사구에 생육하고 있는 식물목록	65
〈표 2-6〉 시험구의 제원 및 지황	73
〈표 2-7〉 시험구별 피복자재 및 식생의 처리방법	73
〈표 2-8〉 1998년도의 강우분포	76
〈표 2-9〉 1998년도의 강우별 각 시험구의 유출수량	76
〈표 2-10〉 1998년도에 있어서 강우의 pH와 EC	77
〈표 2-11〉 1998년도의 각 시험구에 있어서 강우별 유출수의 pH	78
〈표 2-12〉 1998년도의 각 시험구에 있어서 강우별 유출수의 EC	79
〈표 2-13〉 1998년도의 각 시험구에 있어서 유출수의 부유물질량	81
〈표 2-14〉 1998년도의 각 조사구에 있어서 유출수의 총부유물질량	82
〈표 2-15〉 각 시험구에 있어서 1998년도의 토사유출량	83
〈표 2-16〉 1998년도의 강우별 음이온 농도변화	84
〈표 2-17〉 시험구 1에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화	84
〈표 2-18〉 시험구 2에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화	85
〈표 2-19〉 시험구 3에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화	85
〈표 2-20〉 시험구 4에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화	85
〈표 2-21〉 시험구 5에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화	86
〈표 2-22〉 시험구 6에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화	86
〈표 2-23〉 시험구 7에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화	86

〈표 2-24〉 시험구 8에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화	87
〈표 2-25〉 초년도의 각 시험구별 식물 종류중성과 출현종수	100
〈표 2-26〉 1998년도에 있어서 각 시험구별 식생의 개체수	102
〈표 2-27〉 1998년도에 있어서 각 시험구별 식생의 생존수	102
〈표 2-28〉 1998년도에 있어서 각 시험구별 피복률	104
〈표 2-29〉 눈갯버들의 각 시험구별 생존수	104
〈표 2-30〉 눈갯버들 시험구내의 식생	105
〈표 2-31〉 임도 비탈면 녹화식물로 적용 가능한 자생식물의 발아능	109
〈표 2-32〉 눈갯버들의 삼목번식 현황	111
〈표 2-33〉 눈갯버들 삼목번식 개체를 적용한 임도 비탈면 조건 및 식생	112
〈표 2-34〉 개량 피복자재 도입 라이시메타의 제원	117
〈표 2-35〉 개량 피복자재 도입 시험구의 처리방법	117
〈표 2-36〉 개량 피복자재 설치년도의 강우분포	118
〈표 2-37〉 개량 피복자재 현지 시험구의 제원	121
〈표 2-38〉 개량 피복자재 현지 시험구별 처리방법	122
〈표 2-39〉 개량 피복자재 현지 시험구의 식생조사 결과	123
〈표 2-40〉 2차년도의 눈갯버들의 삼목번식 상황	124
〈표 2-41〉 눈갯버들 삼목번식 개체의 임도비탈면 적용	124
〈표 2-42〉 코아네트의 m^2 당 단가 산출서	126
〈표 2-43〉 개량 피복자재의 m^2 당 단가 산출서	127
〈표 3-1〉 공시 배지	140
〈표 3-2〉 공시 균근균 분리주 목록	143
〈표 3-3〉 온도가 균근균의 균사 생장에 미치는 영향	145
〈표 3-4〉 pH가 균근균의 균사 생장에 미치는 영향	146

<표 3-5> 공시 배지에서서의 균근균의 군사 생장량 비교	147
<표 3-6> 탄소원이 균근균의 군사 생장에 미치는 영향	149
<표 3-7> 질소원이 균근균의 군사 생장에 미치는 영향	150
<표 3-8> 균근균의 군사 배양 최적 조건	151
<표 3-9> 공시 균근균의 종류	153
<표 3-10> 혼시메지 군사체로 코팅한 참싸리 종자의 발아율	158
<표 3-11> 사토에서의 혼시메지 접종원 형태별 참싸리의 발아율	159
<표 3-12> 원예용 상토에서의 혼시메지 접종원 형태별 참싸리의 발아율	159
<표 3-13> MS배지를 첨가한 혼시메지 군사체로 코팅한 참싸리 종자의 원예 용 상토 및 마사토에서의 발아율	160
<표 3-14> 시험관에서 혼시메지 군사체를 접종한 참싸리묘목의 생장 특성	162
<표 3-15> 혼시메지 군사체 및 MS 배지로 코팅한 참싸리종자의 직파 1개월 후의 생장 특성	164
<표 3-16> 조직배양용기에서 혼시메지 균근균을 접종한 참싸리묘목을 사토 풋트에 이식, 10일후의 생장 특성	165
<표 3-17> 기주 수종 (임상)별 균근균의 종류	167
<표 3-18> 토양 종류별 균근 처리 참싸리 종자의 발아율	169
<표 3-19> 피복재 처리 비탈면에서의 균근 처리 참싸리 종자의 발아율	171
<표 3-20> 피복재 처리 비탈면에서의 균근 접종 참싸리 묘목의 생존율	171
<표 3-21> 균근 접종 묘목의 중량 및 T/R 을 비교	174
<표 4-1> 임도절토사면의 물리적 특성치	192

〈표 4-2〉 수종별·조사구별 평균직경(cm) 분포	193
〈표 4-3〉 수종별·조사구별 직경(cm) 분포	194
〈표 4-4〉 수종별·조사구별 본수(No) 분포	195
〈표 4-5〉 수종별·조사구별 재적(m ³) 분포	196
〈표 4-6〉 수종별·재적급별 본수분포	197
〈표 4-7〉 토양직접전단시험에 사용된 계측장비의 제원	209
〈표 4-8〉 수종별 함수율 및 밀도	214
〈표 4-9〉 수종별 수축율 및 팽윤율	216
〈표 4-10〉 수종별 종압축 강도	217
〈표 4-11〉 건전재의 화학적 성질	218
〈표 4-12〉 사방용재의 화학적 성질	219
〈표 4-13〉 수종별에 따른 식생출현 현황(조사구 I)	220
〈표 4-14〉 수종별에 따른 식생출현 현황(조사구 II)	220
〈표 4-15〉 임도절토비탈면에 침입한 출현종의 현황	221
〈표 4-16〉 간벌 소경재를 이용한 비탈면의 피복 현황(토사구간)	223
〈표 4-17〉 간벌소경재를 이용한 비탈면의 피복 현황(호박들 토사구간)	223
〈표 4-18〉 각 조사구별 식생 출현 현황(토사구간)	224
〈표 4-19〉 각 조사구별 식생 출현 현황(호박들 토사구간)	225
〈표 4-20〉 간벌 소경재를 이용한 비탈면의 피복 현황(토사구간)	227
〈표 4-21〉 각 조사구별 식생 출현 현황(2001년)	228
〈표 4-22〉 간벌 소경재를 이용한 비탈면의 피복 현황(호박들토사구간)	229
〈표 4-23〉 각 조사구별 식생 출현 현황	229
〈표 4-24〉 임도사면의 건조단위증량에 대한 각 요인별 분산분석표	232

<표 4-25> 임도성토사면 토양종류별 채취위치에서의 토양의 균등계수	235
<표 4-26> 임도성토사면 토양종류별 채취위치에서의 토양의 곡률계수	235
<표 4-27> 분할법에 의한 임도사면 안정해석표	239
<표 4-28> 토양 종류에 따른 임도사면의 안전율	240
<표 4-29> 목책으로 이용하는 목재의 허용 휨 강도 및 전단강도	240
<표 4-30> 낙엽송 목책의 배치간격에 따른 원목직경	241
<표 4-31> 신갈나무 목책의 배치간격에 따른 원목직경	241
<표 4-32> 잣나무 목책의 배치간격에 따른 원목직경	242
<표 4-33> 소나무 목책의 배치간격에 따른 원목직경	242
<표 4-34> 토질분류에 따른 임도사면 토양의 강도정수	247
<표 4-35> 원목 국산재의 가격	253
<표 4-36> 안정해석에 의한 설치위치별 수종별 간벌재의 소요재적	254
<표 4-36> 목책공법용 기초말뚝의 꺾질벗기기 소요인부 기준	255
<표 4-37> 간벌재 이용 목책공법시공 구간 1m 당 단가표	256
<표 4-38> 간벌재 이용 목책공법 1㎡ 당 단가표	257
<표 4-39> 간벌재 세워놓기공법의 단위면적당 간벌재 소요량과 가격 ..	258
<표 4-40> 간벌재 이용 세워놓기 공법 1㎡ 당 단가표	259

그 립 목 차

〈그림 2-1〉 임도 비탈면에 있어서 식생침입 조사지	50
〈그림 2-2〉 임도 절토 비탈면의 연도별 종수 변화	52
〈그림 2-3〉 임도 절토 비탈면의 연도별 개체수 변화	53
〈그림 2-4〉 임도 절토 비탈면의 연도별 피복률 변화	53
〈그림 2-5〉 임도 성토 비탈면의 연도별 종수 변화	59
〈그림 2-6〉 임도 성토 비탈면의 연도별 개체수 변화	59
〈그림 2-7〉 임도 성토 비탈면의 연도별 피복률 변화	60
〈그림 2-8〉 강우량과 유출수량의 관계	88
〈그림 2-9〉 각 시험구별 유출수의 pH 변화	90
〈그림 2-10〉 각 시험구별 유출수의 EC 변화	91
〈그림 2-11〉 강우와 부유물질량과의 관계	93
〈그림 2-12〉 유출수량과 부유물질과의 관계	94
〈그림 2-13〉 강우량과 총 부유물질량과의 관계	95
〈그림 2-14〉 강우량과 유출토사량의 관계	96
〈그림 2-15〉 강우량과 유출토사량의 관계	98
〈그림 2-16〉 유출수량과 유출토사량의 관계	99
〈그림 2-17〉 1998년도에 있어서 시험구의 종수 차이	101
〈그림 2-18〉 1998년도에 있어서 시험구의 개체수 차이	101
〈그림 2-19〉 1998년도에 있어서 초본 처리구의 생존수	102
〈그림 2-20〉 1998년도에 있어서 목본 처리구의 생존수	103
〈그림 2-21〉 1998년도에 있어서 혼파 처리구의 생존수	103
〈그림 2-22〉 1998년도에 있어서 각 시험구별 피복률 차이	104
〈그림 2-23〉 각 시험구별 눈갯버들의 생존수	105

<그림 2-24> 2년간의 각 시험구별 강우량과 유출수량의 관계	106
<그림 2-25> 피복구와 나지구 및 대조구에 있어서 최고온도의 변화	107
<그림 2-26> 피복구와 나지구 및 대조구에 있어서 최저온도의 변화	108
<그림 2-27> 피복구 및 나지구의 토양수분장력 변화	108
<그림 2-28> 1998년과 1999년에 있어서 강우량과 부유물질량의 관계 ..	113
<그림 2-29> 1998년과 1999년에 있어서 강우량과 유출토사량의 관계 ..	114
<그림 2-30> 시험구 설치후 1, 2차년도에 있어서 식생 피복률	115
<그림 2-31> 개량 피복자재 시험구에 있어서 각 강우별 표면 유출수량	118
<그림 2-32> 개량 피복자재 시험구에 있어서 각 강우별 총부유물질량	119
<그림 2-33> 개량 피복자재 시험구에 있어서 각 강우별 토사유출량	120
<그림 2-34> 개량 피복자재 시험구에 있어서 발아 개체수	121
<그림 3-1> 나지(피복자재 무처리) 비탈면에 있어서 균근처리 묘목의 증량	172
<그림 3-2> 피복자재 처리 비탈면에 있어서 균근처리 묘목의 증량	173
<그림 3-3> 균근 처리구와 대조구 실생묘의 모잘록병에 의한 고사율 ..	175
<그림 3-4> 나지(피복자재 무처리) 비탈면에서의 균근-참싸리 종자의 시간 경 과에 따른 발아묘의 생존을 변화	176
<그림 3-5> 피복자재 처리 비탈면에서의 균근-참싸리 종자의 시간 경과에 따른 발아묘의 생존을 변화	177
<그림 3-6> 나지(피복자재 무처리)에서의 균근 접종 묘목의 시간 경과에 따 른 생존을 변화	178
<그림 3-7> 피복자재 처리 비탈면에서의 균근 접종 묘목의 시간 경과에 따 른 생존을 변화	178

<그림 4-1> 수종별 직경분포의 현황(조사구 I)	194
<그림 4-2> 수종별 직경분포의 현황(조사구 II)	195
<그림 4-3> 수종별·조사구별 본수 분포 현황	196
<그림 4-4> 수종별·조사구별 재적분포 현황	197
<그림 4-5> 수종별·재적급별 본수분포(조사구 I)	198
<그림 4-6> 수종별·재적급별 본수분포(조사구 II)	198
<그림 4-7> 임도성토사면 붕괴역지 목적공법의 적용	202
<그림 4-8> 전단력 변환기와 브릿지 회로의 배열	208
<그림 4-9> 전단강도 측정을 위한 측정장비의 흐름도	208
<그림 4-10> 토양의 전단강도 평가를 위한 전단시험용 프로그램의 실행화면	209
<그림 4-11> 토양의 전단강도 평가를 위한 전단시험용 프로그램의 흐름도	210
<그림 4-12> 임도성토사면에 설치된 격자를 공법의 자유선도	211
<그림 4-13> 수종별 함수율 변화	215
<그림 4-14> 수종별 밀도의 변화	215
<그림 4-15> 사방용재 A의 수축률 변화	216
<그림 4-16> 사방용재 A의 팽윤률 변화	217
<그림 4-17> 수종별 종압축강도의 변화	218
<그림 4-18> 간벌소경재 세워놓기공법의 토사구간 절토사면의 식생피복변화	222
<그림 4-19> 간벌소경재 세워놓기공법의 호박들구간 절토사면의 식생피복변화	222
<그림 4-20> 토양종류별 토양채취위치에서의 건조밀도의 비교	232
<그림 4-21> 임도사면의 토양종류별 비중	233

<그림 4-22> 임도사면 토양종류별 간극비	234
<그림 4-23> 임도사면 토양종류별 포화단위중량	234
<그림 4-24> SW 토양의 Mohr-Coulomb 파괴 곡선	236
<그림 4-25> SP 토양의 Mohr-Coulomb 파괴 곡선	237
<그림 4-26> GP 토양의 Mohr-Coulomb 파괴 곡선	237
<그림 4-27> 임도사면의 안정해석도	238
<그림 4-28> 격자틀공법의 정단면도	244
<그림 4-29> 격자틀 공의 내부 표층토 보호공	245
<그림 4-30> 식생을 첨가한 목책공법	249
<그림 4-31> 임도시설투자액과 산지훼손지복구 투자액	252

사 진 목 차

〈사진 2-1〉 시험구의 제작과정 및 전경	72
〈사진 2-2〉 시험구 1, 2, 3 및 4의 전경	74
〈사진 2-3〉 시험구 5, 6, 7 및 8의 전경	74
〈사진 2-4〉 부유물질을 여과시킨 유리섬유여지	80
〈사진 2-5〉 임도 비탈면 녹화식물로 적용 가능한 자생식물의 발아능 실험	109
〈사진 2-6〉 온실에서의 눈갯버들 삼목번식 실험	111
〈사진 2-7〉 눈갯버들 삼목번식 개체의 임도 비탈면 적용 사례	112
〈사진 2-8〉 개량 피복자재 시험구의 전경	117
〈사진 2-9〉 토양고정제와 비료	121
〈사진 2-10〉 개량 피복자재 현지 시험구	121
〈사진 3-1〉 온도가 균근균의 균사 생장에 미치는 영향	145
〈사진 3-2〉 배지의 pH가 균근균의 균사 생장에 미치는 영향	146
〈사진 3-3〉 25℃에서 배양시 각종 배지가 각 공시 균근균의 균사 생장에 미 치는 영향	148
〈사진 3-4〉 균근균 입공 접종 실험	152
〈사진 3-5〉 혼시메지에 의하여 뿌리 표면에 hyphal mental을 형성한 참싸리 실생묘	155
〈사진 3-6〉 참싸리 뿌리의 횡단 단면으로 세포 간극사이에 형성된 Hartig net	155
〈사진 3-7〉 〈사진 3-6〉 의 확대	156
〈사진 3-8〉 sodium alginate로 immobilization하여 과립상태로 제조한 혼시 메지의 균사체 및 이것으로 코딩한 참싸리 종자	157

〈사진 3-9〉	접종원 형태별 참싸리의 발아 실험	159
〈사진 3-10〉	시험관에서의 참싸리 실생묘에 혼시메지 균근균의 접종 ..	161
〈사진 3-11〉	시험관에서 혼시메지 균근균을 접종한 참싸리 실생묘를 포트에 이식 2주후의 모습	162
〈사진 3-12〉	혼시메지 균사체 및 MS 배지로 코팅한 종자의 직파에 의한 균 근식물의 증식	163
〈사진 3-13〉	조직배양용기에서의 접종 및 균근식물의 증식	165
〈사진 3-14〉	나지 비탈면에 식재한 균근처리 및 무처리 묘목	173
〈사진 3-15〉	균근 접종 참싸리 실생묘 및 무처리 실생묘	174
〈사진 3-16〉	피복자재 처리 비탈면 및 피복자재 무처리 비탈면에서의 균근 처리 참싸리 실생묘의 이식	175
〈사진 4-1〉	간벌소경재를 이용한 세워놓기 공법의 적용	192
〈사진 4-2〉	토양전단 변형 및 전단력을 측정하기 위한 프로빙링	201
〈사진 4-3〉	목책공법과 사면보호공의 시공	249
〈사진 4-4〉	매트를 동시에 시공한 격자를 공법	251

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 목적

가. 연구개발의 필요성

1960년대 이후 산업화 및 도시화가 진행됨에 따라 산촌인구가 급격히 감소하였으며, 이로 인해 임업분야에서도 심각한 노동력 부족현상이 나타나기 시작하였다. 정부에서는 산지자원의 합리적 이용·관리 및 기계화를 촉진시키기 위해 전국적으로 임도사업을 지원하고 있으나, 임도개설에 따른 각종 산지재해가 발생하고 있다. 특히 임도의 경우 일반도로에 비해 시공대상지가 급경사지이므로 임도개설에 따라 나지 면적이 증대되거나 시공비의 제약 등에 의해 대부분의 절·성토 비탈면이 방치되고 있다. 따라서 임도의 노체가 불안정한 상태에서 여름철의 집중호우에 노출되어 토사유출에 의한 하류유역의 하상상승과 하천수질에 나쁜 영향을 미치고 있으며, 이로 인해 각종 민원이 발생하고 있는 실정이다.

임도사업에 의해 형성된 비탈면의 안정화를 위해 시공되는 녹화공에 대한 정의는 1970년대까지 「목본과 초본류로 토지의 평면적 녹화를 실시하여 토양의 침식을 막고 토지생산력을 높이는 공법」이라 하였으나, 최근에는 「목·초본류를 이용하여 조기에 확실하게 평면적·입체적 녹화를 실시하고 환경·토지 및 경관 보전을 위한 공법」으로 정의하여 녹화의 대상과 목적이 비약적으로 확대되고 있다. 즉 open space의 녹화라는 개념이 대두되기 이전에는 녹

화공은 단지 치산이나 사방을 위한 것으로 공법과 형식이 일반 조림의 수법이 같았고, 목·초본류의 혼파법을 이용한 평면적 공법에 지나지 않아 척박지의 시비 등 많은 문제점을 내포하고 있었다. 그러나 근년에는 다양한 녹화기술이 개발되어 무토양 암석지의 녹화 및 항공녹화의 단계까지 이르렀으며, 특히 최근에는 사회적 요구에 의해 ecology 녹화 또는 recycle 녹화의 개념이 대두되어 이른바 「보다 나은 환경을 창조하기 위해 식물을 이용하는 기술」로 발전하게 되었다. 따라서 임도 비탈면 녹화에 전통적 목적인 물리적 비탈면 안정을 위한 단순 식재 개념에 유용한 식물류 도입에 의해 실물 경제적 효과를 도모할 수 있다면 사회적·경제적인 면에서 매우 유리할 것이다.

이 연구는 환경보전과 유역관리를 고려한 임도사업을 추진하기 위한 것으로 친환경적 신소재를 이용한 피복자재, 균근균 및 간벌 소경재를 이용한 환경친화형 비탈면 안정공법을 개발하므로써 임도 비탈면을 재해공간으로부터 환경공간화하는 것을 주요 목적으로 한다.

1) 기술적 측면

최근에 들어 일본 및 EU 각국에서는 콘크리트를 주체로 하는 토목사업이 환경보전 차원에서 강하게 비판되고 있으나, 우리 나라는 이에 역행하여 사방·삼림토목분야에서 조차 콘크리트를 주요 공사용 자재로 하는 사업으로 전환되고 있다. 특히 임도의 경우는 비탈면이 물리적으로 불안정하기 때문에 중·소규모의 토사가 이동하여 종·횡단 배수구의 기능을 저하시켜 유수의 집중현상을 일으킴으로써 대규모의 토사재해가 발생하는 악순환이 반복되고 있으므로 이에 대한 적극적인 대책이 강구되어야 한다. 또한 비탈면이 물리적으로 안정화하여 식생이 침입 또는 도입된다 할지라도 생육환경이 불량하여 착생하지 못하므로 이에 대한 대책도 강구되어야 한다.

따라서 ① 임도 비탈면의 토양화 촉진을 위한 폴리에스텔 섬유 렘덴웨버 등

의 피복자재 개발, ② 식생의 생육 촉진을 위한 균근균을 이용한 생육 촉진공 개발, ③ 중·소규모의 토사이동을 방지하기 위한 간벌 소경재를 이용한 비탈면 안정공법 개발 등이 적극적으로 시도되어야 한다. 즉 비탈면 안정공법에 있어 ecology 녹화기술(토양의 개량에 의해 녹화식물의 기반을 조성하고 향토 식물을 선정하여 밀식하는 기술)과 recycle 녹화기술(생태계를 보전하는 것을 목적으로 토지기반의 조성이나 녹화관리에 있어서 폐기되는 식물이나 토양을 녹화하기 위한 자원으로 재이용하는 기술)을 적극적으로 개발할 필요가 있다.

2) 경제·산업적 측면

이 연구에 의해 피복자재와 균근균을 이용한 생육 촉진공이 개발되면 임도 개설로 형성된 나지상태의 임도 비탈면 녹화에 크게 기여할 뿐 아니라 주택 절개지, 일반 및 속도로 비탈면 등의 토양화 촉진 및 식생공 도입에 이용되어 경제·산업적으로 크게 기여할 수 있을 뿐 아니라 최근 각광을 받고 있는 미생물을 이용한 소득 증대에도 크게 기여할 것이다.

또한 우리 나라의 경우 지속적인 식수사업에 의해 산지는 녹화되었으나, 아직은 목재생산에 의한 소득이 제대로 이루어지지 않아 산업으로서 임업이 많은 어려움을 겪고 있다. 특히 간벌 소경재는 생산단계에 돌입하였으나 인건비 상승 등에 의해 수확이 전혀 이루어지지 못하는 실정이며, 이를 방치하였을 경우에는 오히려 삼림의 공익기능을 발휘하는데 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 간벌재를 이용한 임도 비탈면 안정공법이 개발되면, 간벌 소경재의 부가가치를 높일 뿐 만 아니라 삼림관리에 크게 기여하게 될 것이다.

3) 사회·문화적 측면

임도 비탈면이 환경친화형 공법에 의해 정비되면 비탈면 침식방지뿐 만 아니라 교통로로서의 기능 유지와 유역내의 생태계 보전에도 크게 기여하게 된

다. 즉 노망정비에 의해 산촌간의 교통로로서의 기능을 발휘하게 되며, 노선 통과지 주변부의 생태계 보전에 의해 수생동물, 어류 및 야생동물이 풍부한 다자연형의 산지를 유지할 수 있게 된다. 또한 다자연형의 유역정비에 의해 생태계의 생육환경과 인간의 생활환경을 운택하게 하여 「돌아오는 산촌」을 유발하여 새로운 산촌문화 형성에 크게 기여할 수 있게 된다.

한편 비탈면의 녹화에 수익성 높은 다양한 목·초본류를 활용하는 것은 노출된 비탈면을 재활용할 수 있다는 시의성에도 잘 부합되며, 임도 개설이 산림생태계 파괴의 원인이라는 일반적인 인식을 전환시킬 수 있을 것이다. 또한 상하층에 서로 다른 식생을 인공적으로 조성하여 지금까지 접하지 못한 임도 비탈면의 경관적·심리적 가치를 발휘하게 된다.

2. 연구개발의 범위

피복자재 및 간벌 소경재를 이용하여 물리적 안정기술을 개발하고, 생육조건이 불량한 지역의 생육환경을 정비하기 위해 균근균을 이용한 생물학적 안정기술의 개발, 즉 비탈면 식재 식생에 유효한 균근균 선발, 대량 배양법과 접종기술의 개발 및 토양화 축진을 위한 피복자재 개발을 1차 목표로 한다.

또한 환경친화형 안정공법이 임도 비탈면뿐 만 아니라 일반 비탈면 안정공법으로 사용될 수 있도록 개발하므로서 피복자재, 균근균, 간벌 소경재의 부가가치를 높여 농산촌 주민의 소득 증대와 지역사회의 산림문화자원 형성에 기여하는 것을 2차 목표로 한다.

한편 이 환경친화형 비탈면 안정공법의 개발에 의해 독나지 또는 폐광지 등 제한 임지의 녹화법 개발에 필요한 기초자료를 제공하고, 고속도로, 주택지 등의 비탈면 안정공법에도 적극적으로 사용할 수 있도록 기술을 개량하는 것을 3차 목표로 한다.

제 2 절 세부과제별 연구개발 내용

1. 제1세부과제: 환경친화형 피복자재를 이용한 비탈면 안정기술 개발

피복자재와 도입 식생 선정 및 현지시험을 위해 피복자재 및 도입 식생 선정, 시공대상지 선정 및 라이시메타 제작, 각종 시험구 설정, 현지 시험구의 수질, 토사이동 및 식생조사를 실시하며, 피복자재와 식생공의 특성 및 문제점 파악을 위해 피복자재의 물리적·역학적·침투 배수 특성 및 내구성 파악, 유용 식생공 파악 및 대량 생산체계 확립, 수질, 토사이동 및 식생조사(2차년도)를 실시한다. 또한 피복자재 및 식생공의 개량 및 현지적용, 기능 분석 및 제품화를 위해 경관을 고려한 피복자재의 개량, 제품화 및 현지 적용, 유용 식생공의 현지도입 및 현지 적합성 분석, 수질, 토사이동 및 식생조사(3차년도)를 실시하며, 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 분석 및 이용방안 개발을 위해 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 분석, 환경친화형 비탈면 안정공법의 이용방안 개발, 수질, 토사이동 및 식생조사(4차년도)를 실시한다.

2. 제2세부과제: 균근균을 이용한 생물학적 비탈면 안정기술 개발

유용 균근균의 수집, 선발 및 배양학적 특성 조사를 위해 다양한 조사구에서의 균근류의 수집(채집 및 분양) 및 분리 동정, *in vitro*에서의 생리적 특성 조사, 균근균의 배양 배지 개발, 유용 균근균의 선발 및 배양체계 확립하며, 균근균의 인공접종 기술 개발을 위해 균근균의 접종원 형태별 효과 비교, 균근균 및 식물종에 다른 접종 방법별 효과 비교, 대량접종 및 균근식물 생산체계를 확립한다. 또한 균근균의 형성과 환경요인의 관계 분석을 위해 임상별 균근균의 분포 특성, 토성과 균근 형성과의 상관관계 분석, 개량 피복자재가 균근균 형성에 미치는 영향을 분석하며, 균근균의 실제 적용 및 효과 분석을 위해 균근균 형성 식물의 생리, 생태학적 특성 분석, 균근 식물과 비탈면 안정과의 상관관계를 분

석한다.

3. 제3세부과제: 도로 비탈면 안정을 위한 간벌 소경재 이용 방안 개발

환경친화적인 간벌소경재의 효과적인 이용방안을 개발하기 위해서 간벌 소경재의 수종별 특성 파악 및 간벌 소경재의 수종별 내후성, 강도 등을 조사하였다. 또한 간벌소경재를 이용한 비탈면 안정공법의 적용성 및 시공의 기준을 파악하기 위해, 시공 비탈면 토양의 물리적 특성을 파악하였으며, 이를 기준으로 표준사면의 안정해석을 실시하였다. 이를 통해 간벌 소경재 안정공법의 현지 적용과 간벌 소경재 안정공법의 문제점 파악, 간벌 소경재 안정공법의 개량 방안을 모색하였다. 또한 간벌 소경재 개량공법의 현지 적용 및 기능 분석을 위해 경관을 고려한 간벌 소경재 개량공법의 현지 적용, 경관을 고려한 간벌 소경재 개량공법의 기능 분석 등을 실시하였다. 간벌 소경재 개량공법의 제품화 및 경제성 분석을 위해 간벌 소경재 개량공법의 시공방법과 간벌 소경재 개량공법의 표준품셈 및 경제성 분석, 간벌 소경재 개량공법의 이용방안을 제시하였다.

4. 연도별 연구수행 내용 및 결과

가. 1차년도

1) 제1세부과제: ① 피복자재의 경우, 일본에서 개발한 다기능 필터를 기증받아 현지에 설치하였으며, 식생은 목·초본을 각각 6, 7종류씩 도입하였다. ② 시공대상지는 강원대학교 산림과학대학 2호관의 비탈면을 실험대상지로 선정하였으며, ③ 시험대상지에 각각 8개의 라이시메타를 설정하였다. ④ 한편 금년도에는 예년에 비해 강우가 빈번히 발생, 8월 15일 현재 20차례에 걸쳐 유출수가 발생하였으므로 이를 채수하여 pH, EC, 음·양이온, 부유물질, 유출토사량 및 수량 등을 측정하였으며, 초년도의 식생의 종수, 개체수,

발아율 및 피복률 등을 조사하였다. 따라서 초년도의 연구는 계획대로 진행되고 있으며, 앞으로 약 2개월간은 8월 15일 이후의 채수되는 자료를 분석하기만 하면 된다.

2) 제2세부과제: ① 다양한 조사구에서의 균근류 수집(채집 및 분양) 및 분리 동정의 경우, 현재까지 총 13종의 외생균근균을 확보하였으며, 이 중 민자주방망이 버섯, 모래발버섯 및 혼시메지는 각각 2종, 3종 및 3종의 분리주를 분양 및 분리 동정하였다. 단, 유용 균근균을 확보하기 위하여 새로운 균근균의 수집 및 분리 동정은 매년 지속적으로 수행할 계획이다. ② *in vitro*에서의 생리적 특성 조사의 경우는, 위에서 확보한 균근균 중 생리적 특성이 완전히 밝혀지지 않은 종 및 분리주를 대상으로, 앞으로의 균근 실험에 있어서 분석해야 할 주요 환경요인들, 즉 온도 및 pH가 균근균의 군사생장에 미치는 영향을 분석하여 실험을 완료한 상태이다. ③ 균근균의 배양배지 개발의 경우는, 총 7종의 균근 배양배지를 공시하여 각 균근균들의 군사생장량을 각 배양배지별로 비교 분석하였으며, 아울러 탄소원 및 질소원의 종류가 균근균의 생장에 미치는 영향을 분석하여 각 균근별로 최적의 군사 배양배지를 선발, 확인하였다. ④ 유용 균근균의 선발 및 배양체계 확립의 경우는, 이상의 실험 결과를 분석하여 배지, 영양원, 온도 및 pH 등, 각 균근균별로 최적의 배양체계를 확립하였으며, 군사생장이 뛰어난 균근균을 중심으로 공시하여, 참싸리를 대상으로 한 균근형성율로부터 유용 균근균을 1차 선발하였다.

3) 제3세부과제: 간벌 소경재의 수종별에 대한 내후성, 강도 등의 안정성을 검토하기 위해 잣나무, 낙엽송, 신갈나무, 굴참나무의 4개 수종을 선정하여 목재의 해부학적 특성, 물리적 특성, 화학적 특성 등을 측정하였다. 절토

면의 안정공법의 개발 및 현지시공은 강원대학교 부속연습림의 임도절토비탈면을 대상으로 시공하였으며 시공 비탈면의 물리적 특성 파악은 사면길이가 사면물매, 토양경도, 사면방위, 토성, 식생침입 현황, 강우량 및 유출수량, 유출수의 부유물질, 토사유출량 등을 측정하였으며 4년차 까지 계속적으로 조사하여 간벌재 세워놓기 공법의 효과를 분석하였다. .

나. 2차년도

1) 제1세부과제: ① 피복자재의 물리적·역학적·침투 배수 특성 등을 파악하기 위해 피복자재가 유출수량 억제에 미치는 효과와 지중온도 및 수분장력에 미치는 영향을 파악하였으며, ② 유용 식생공 파악 및 대량 생산체계를 확립하기 위해 임도 비탈면의 식생침입 상황을 파악하였고, 눈갯버들 삼목 번식실험과 현지적용시험을 실시하였으며, 자생식물인 산구절초, 산오이풀, 차풀, 활나물, 금강초롱꽃, 왜슴다리 등의 발아능 실험을 실시하였다. ③ 피복자재의 토양, 수질, 토사이동에 미치는 영향을 파악하기 위해 전년도에 설치한 시험구에서 각 강우별로 유출수를 채수하여 pH, EC, 음·양이온, 부유물질 및 유출토사량 등을 측정하였으며, 2차년도의 식생조사는 종수, 개체수, 발아율 및 피복율 등을 조사·분석하였다. 또한 피복자재, 토양 접착제, 녹화용 비료가 식생의 생육에 미치는 영향을 파악하기 위해 강원대학교 산림과학대학 부속연습림내에 개설된 임도의 절토 비탈면에 8개의 시험구를 설치하였다.

2) 제2세부과제: ① 균근균의 접종원형태별 효과를 비교하기 위하여 참싸리를 공시식물로, 혼시메지를 공시균근으로 선정하였으며, sodium alginate를 이용하여 균사체의 과립화 및 균사체로 참싸리 종자의 코팅화 등의 형태로 접종원을 제조하여 이들의 발아효율을 조사하였다. ② 균근균 및 식물종에 따른 접종방법별 효과 분석을 위하여 페트리접시 및 시험관을 이용하여 참싸리에 각종 균근균

을 인공접종하였으며, 균근 형성 유무 및 식물 뿌리조직내의 균근 특성을 조사 분석하였다. ③ 대량접종 및 균근형성식물 생산체계 확립을 위하여 시험관에서 의 혼시메지 균근균-참싸리 실생묘의 접종방법, 혼시메지 균사체 및 MS 배지로 코팅한 종자에 의한 접종방법 및 조직배양용기에서의 대량접종 방법 등을 확립 하였으며 그 때의 생장 특성을 관찰 분석하였다.

3) 제3세부과제: 간벌소경재 안정공법의 현지 적용시 사면의 안정화에 이바 지할 수 있는 최소한의 설계기준을 제시하였다. 임도 사면의 토질특성을 파악 하여 각 토질별로 직접전단시험으로 내부마찰각과 점착력을 산출하여 사면안 정해석을 실시하였으며, 이를 이용하여 성도면의 목책공법의 적용성과 수종별 목책의 간격 및 시공조건에 대한 검토를 실시하였다. 성도면에 적용가능한 목 책공법은 사면의 토질특성인 포화단위중량과 내부마찰각, 점착력 등을 고려 하여 간벌소경재(낙엽송, 잣나무, 신갈나무, 소나무)별로 목책의 직경, 설치간 격, 근입깊이 등을 결정하여 간벌소경재를 이용한 사면안정공법의 효과를 분 석하였다. 또한 간벌소경재 안정공법의 개량방안은 간벌소경재를 이용한 목책 공법만으로는 완전한 사면의 안정화가 도모될 수 없기 때문에 토괴내부의 간 극수압을 줄여 토괴자체의 중량을 줄일 수 있는 배수공법의 적용 및 목책의 상부에 식생공을 도입하여 사면의 안정화를 도모하는 방법 등도 제시하였다.

다. 3차년도

1) 제1세부과제: ① 경관을 고려한 피복자재를 개발하기 위해 다기능 필터를 개량하여 임도 비탈면에 현지 적용하였으며, 또한 Cellulose가 주성분인 토양고 정제 및 비탈면 녹화전용 인산비료가 도입수종의 생육에 미치는 영향을 파악하 기 위한 시험을 병행하였다. ② 유용 식생공의 현지 도입은 각 시험구별로 남아 초, 비수리, 타래붓꽃, 솔붓꽃, 쑥부쟁이, 구절초, 차풀, 벌노랑이, 썩바귀, 산

국 및 참싸리가 각각 200립이며, 눈갯버들의 삼목 증식 개체를 이용한 비탈면 안정 공법을 개발하기 위해 1999년도에 이어 온실실험 및 현지실험을 실시하였다. ③ 토양, 수질, 토사이동 및 식생조사는 1, 2차년도에 이어 시험구별로 유출수를 채수하여 pH, EC, 음·양이온, 부유물질, 유출토사량 및 수량 등을 측정하였으며, 식생의 종수, 개체수, 발아율 및 피복률 등을 조사·분석하였다.

2) 제2세부과제: ① 임상별 균근균의 분포 특성을 분석하기 위하여 소나무(강원대학교 교내림 및 학술림), 잣나무(강원대학교 학술림), 일본잎갈나무(강원대학교 학술림) 및 참나무림(강원대학교 교내림 및 학술림)을 대상으로 각 임상별 균근균류를 분류 동정하였다. ② 토성과 균근 형성과의 상관관계 분석을 위하여 1, 2년차 연구 결과로부터 선발된 땅지만가닥버섯(=혼시메지, *Lyophyllum shimeji* <Ls71/92>) 및 참싸리를 이용하여 실험실 내에서의 각 토양 조건에 따른 종자의 발아율에 의하여 토성과 균근 형성과의 상관관계를 분석하였다. ③ 개량 피복재가 균근균 형성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 땅지만가닥버섯 균사체—참싸리 종자 과립 및 균근 접종 참싸리 묘목을 본 연구과제의 주 연구 주제인 개량 피복자재 처리 비탈면에 파종 및 이식하였을 경우의 발아율 및 묘목 생존율에 미치는 영향에 관하여 분석하였다.

3) 제3세부과제: ① 경관을 고려한 간벌소경재 개량공법의 현지 적용은 격자틀공법과 간벌재 세워놓기공법 2가지를 고려하여 이중 간벌소경재 세워놓기공법은 강원대학교 연습림에 설치하였고, 격자틀공법은 공법자체의 안정성을 검토하였다. 경관을 고려한 간벌소경재 개량공법의 기능분석은 간벌소경재 세워놓기공법 같은 경우는 식생의 침입현황을 주기적으로 조사하여 간벌소경재 세워놓기공법의 효과를 분석하였고 간벌소경재를 이용한 격자틀공법은 토압이론을 이용한 안정해석식을 유도하여, 해석식에 사용할 토질강도정수인 점착력과

내부마찰각은 공법이 적용될 구간의 입도사면 토양을 채취하여 직접전단 시험에 의해 구하였다. 간벌소경재 개량공법의 문제점 보완, 재시공은 간벌재 세워놓기공법인 경우 사면과 밀착하여 시공하도록 하여 표층토의 침식을 어느 정도 차단하는 효과를 보았기 때문에 적용에 크게 문제가 없을 것이며, 격자틀공법의 경우 안정해석을 통한 사례분석결과 안전율이 다른 공법적용후의 안전율보다 매우 크게 나타났기 때문에 안정성 자체에는 큰 문제가 없을 것으로 사료되기 때문에 시공상의문제점과 격자내부 표층토의 침식정도를 조사하여 추후 표층안정화 공법을 동시에 적용하는 것을 검토하였다.

라. 4차년도

1) 제1세부과제: ① 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 분석을 위해 우선 우리나라에서 비탈면 피복자재로 주로 이용되고 있는 Coir net, Jute net 등의 m^2 당 단가를 산출하였다. 즉 공종별 단가 산출에 있어서 각종 재료비 등의 물가와 노무비는 한국물가협회의 월간물가지료(2001년 2월호)를 적용하였으며, 품셈의 계산은 (주)건설연구소의 2001건설표준품셈을 기준으로 한국물가협회의 종합적산정보(2001)를 참고로 하였다. ② 또한 이상의 공법들의 물리적·역학적·침투배수 특성 및 내구성을 파악하기 위하여 라이시메타를 제작, 설치하여 토양, 수질, 토사이동 및 식생조사를 실시하였다.

2) 제2세부과제: ① 균근균 형성 식물의 생리 생태학적 분석을 위해 땅지만 가닥버섯 균근 처리 실생묘를 피복재 무처리 및 피복자재 처리 비탈면에 이식하여 일정 기간 육성시킨 후의 각 묘목의 건중량 및 T/R ratio 등의 기초적인 생리 생태적 특성을 분석하고자 하였다. ② 균근 식물과 비탈면 안정과의 상관관계 분석을 위해 균근과 함께 과립화한 참싸리 종자 및 균근 접종 참싸리 묘목을 비탈면에 파종 또는 이식한 후의 일정 기간 동안의 발아한 종자 또는

실생묘의 생존율을 대조구와 함께 비교조사 및 분석하였다.

3) 제3세부과제: 간벌소경재 개량공법의 현지적용성 검토를 위해 사면에 설치한 공법에 대한 식생 침입현황을 조사·분석하여 현지적용성에 대한 검토를 하였다. 또한 간벌재를 이용한 공법들의 경제성 분석을 위하여 공법의 적용시 발생하는 공사단가등에 대한 자료를 제시하였으며 이를 기초로 기존의 안정공법과의 단가비교를 통해 간벌재를 이용한 안정공법의 경제성을 평가하였다. 또한 각 안정공법을 절토면과 성토면으로 구분하여 그 이용방안을 제시하였다.

제 2 장 환경친화형 피복자재를 이용한 비탈면 안정기술 개발

제 1 절 서 론

강원대학교에서는 40억원의 특별예산으로 1990년부터 산림과학대학 부속연습림에 40km의 임도를 개설하고 있다. 이 사업은 단순히 임도의 개통뿐 만 아니라 현재의 임도 사업의 문제점을 파악하고, 그 해결책을 제시할 목적으로 각종 시험사업이 병행되어 비탈면의 침식기구의 특성파악과 식생천이 과정에 대하여는 상당한 연구결과를 축적하고 있다(전근우 등, 1995; 1998; 전근우·염규진, 1998). 그러나 식생의 자연침입에 의해 임도 비탈면의 물리적 안정을 기대하기에는 한계가 있으므로 지오텍스타일(직포, 부직포, Net, Mat, Grid, Membrance 및 혼합토)에 사용되는 각종 섬유소재(폴리에스테르, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 합성고무)를 이용한 피복재를 도입해야 한다(江崎次夫 등, 1994; Hayakawa, S. 등, 1993, 早川誠而 등, 1994; 駒走裕之 등, 1996; 丸本卓哉 등, 1994).

따라서 식생부분과 비탈면 침식을 해석하기 위해 한 것으로 강우량과 유출수량, 부유물질량 및 유출토사량의 상관관계를 규명하는 것을 주목적으로 진행하였다. 특히 금년도에는 예년에 비해 강우가 빈번히 발생하여 8월 15일말까지 조사 구에 있어서 10차례에 걸쳐 유출수가 발생하였으므로 기대 이상의 연구결과를 얻을 수 있었으며, 이는 앞으로 3년간에 걸쳐 진행될 피복자재의 물리적·역학적·침투 배수 특성 및 내구성 파악, 유용 식생공 파악 및 대량 생산체계 확립, 토양, 수질, 토사이동 및 식생조사(이상 2차년도), 경관을 고려한 피복자재의 개량, 제품화 및 현지 적용, 유용 식생공의 현지도입 및 현지 적합

성 분석, 토양, 수질, 토사이동 및 식생조사(이상 3차년도), 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 분석, 환경친화형 비탈면 안정공법의 이용방안 개발, 토양, 수질, 토사이동 및 식생조사(이상 4차년도) 등에 기초자료로 유효하게 이용될 것이다.

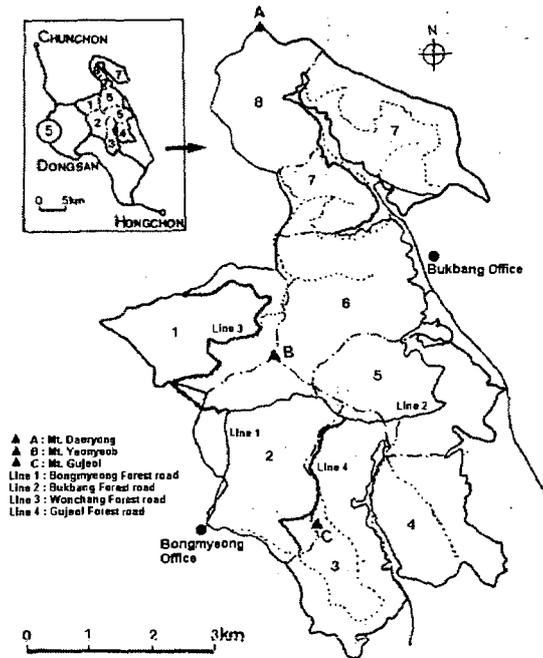
제 2 절 임도 비탈면의 식생침입 변화

임도사업은 대면적의 인공나지를 조성하나 현재의 시공단가로는 비탈면 안정을 위한 합리적인 처리를 할 수 없기 때문에 상당부분의 비탈면은 나지상태로 방치되고 있으며, 식생의 자연침입에 의한 비탈면 안정을 기대하고 있다. 그러나 생육조건이 불량한 임도 비탈면에 식생의 자연침입을 기대하는 데에는 한계가 있으며, 이로 인해 호우시 하류지역으로 토사가 유출되어 하상면이 높아질 뿐 아니라 하천생태계에도 나쁜 영향을 미치고 있다. 따라서 임도개설 주변부의 자연 생태계의 변화 및 복원에 대한 종합적인 방안(新谷 등, 1980, 1981; 大手, 1982)이 마련되어야 하며, 이러한 점에서 임도 비탈면의 물리적 고정 및 식생의 자연침입에 의한 비탈면 안정화(矢野 등, 1975; 勝呂 등, 1979; 丸山 등, 1982; Ezaki 등, 1986, 1987, 1988; 北原 등, 1988; 全權雨와 吳在萬, 1992, 1993)에 대한 조사는 중요하다고 할 수 있다.

1. 연구내용 및 방법

조사대상지는 <그림 2-1> 강원도 춘천시 동산면 봉명리 소재의 강원대학교 산림과학대학 부속연습림에 1993년에 개설한 임도연장 4.459km 중에서 약 3.68km를 조사구간으로 하였다. 조사지역은 비교적 임상이 양호하며, 주변부의 식생분포도도 비교적 풍부한 지역이다. 또한, 임도 비탈면의 안정을 위하

여 족제비싸리를 이용한 식생보호공과 목제편책공이 시공되어 있다. 조사방향구는 100m의 간격을 기준으로 절, 성토 비탈면에 각각 36, 37개를 설정하였다 (절토비탈면의 경우 장대비탈면을 보조 조사구로 1개소 추가선정). 식생조사는 매년 10월에 실시하였다.



〈그림 2-1〉 임도 비탈면에 있어서 식생침입 조사지

조사는 현지기입방식을 채택하였으며, 식생조사는 식생공과 자연침입으로 구분하여 복본과 초본에 대해 잔존율과 침입율을 조사하였다. 또한 침입식생의 종류, 침입율 및 시공간적 분포를 파악하기 위하여 일정한 방향구 [폭(2m) × 사면길이(m)]를 설정한 후 비탈면을 상, 중, 하로 구분하여 식생분포도(종단면)와 수관투영도를 작성하였다. 또한 각 조사구별 비탈면 면적에 대한 식생의 피복면적율을 피복율로 계산하였다. 한편 임도개설후 7년간에 있어서

비탈면 식생의 천이과정을 파악하기 위해 지난 1994, 1995년, 1996년 및 1998년에 조사한 식생자료(全權雨 等, 1994: 1995: 1996: 1998)를 참고로 하였다.

2. 절토 비탈면의 식생침입 상황

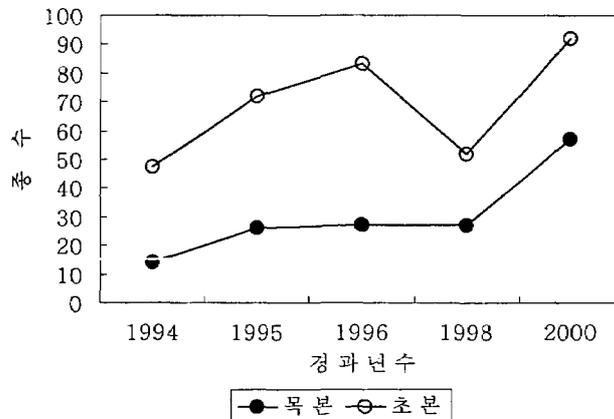
절토 비탈면에 있어서 금년도의 각 조사구 별 식생침입 상황은 <표 2-1>에서 알 수 있듯이 식생이 침입하지 않은 조사구는 한 개소도 없는 것으로 나타났다. 그러나 조사구 4, 9, 27의 경우 총 개체수가 10개체 이하로 비탈면의 조건에 따라 여전히 식생의 자연침입이 이루어지지 않은 것을 알 수 있었다. 각 조사구에 생육하고 있는 식생은 목본류 57종류에 582개체, 초본류 97종류에 1,987개체로 총 149종류 2,569개체로 나타났다.

<표 2-1> 절토 비탈면의 식생침입 상황

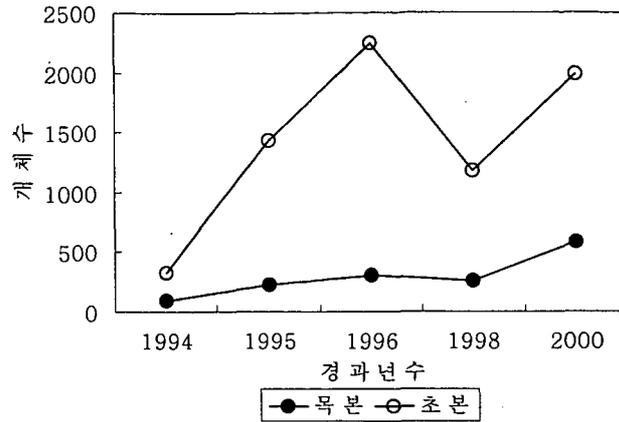
조사구	목본식물	초본식물	계	조사구	목본식물	초본식물	계
1	3	39	42	19	11	43	42
2	26	29	55	20	20	44	55
3	17	55	72	21	42	124	72
4	4	3	7	22	24	57	7
5	16	51	67	23	13	47	67
6	10	32	42	24	23	144	42
7	8	97	105	25	35	84	105
8	12	46	58	26	22	73	58
9	1	0	1	27	3	3	1
10	14	18	32	28	12	69	32
11	20	38	58	29	8	57	58
12	10	21	31	30	15	116	31
13	29	50	79	31	1	45	79
14	10	4	14	32	21	83	14
15	6	24	30	33	30	80	30
16	2	11	13	34	36	91	13
17	14	47	61	35	28	115	61
18	18	15	33	36	18	132	33
				계	582	1,987	2,569

임도개설후 7년이 경과한 시점에 있어서 절토 비탈면에 생육하고 있는 식물의 종류조성은 54과 100속 133종 15종 1품종 총 149종류였다. 각 연도별 종수변화는 <그림 2-2>에서 알 수 있듯이 초본류의 경우 47 → 72 → 83 → 52 → 92종류로 임도개설 후 점차 증가하다 1998년 감소한 후, 금년에 다시 증가하였고, 목본류의 경우는 14 → 26 → 27 → 27 → 57종류로 개설 후 지속적으로 증가하였다. 개체수 변화 역시 <그림 2-3>와 같이 초본류의 경우 320 → 1,430 → 2,247 → 1,172 → 1,987로, 목본류의 경우는 89 → 229 → 298 → 259 → 582로 종수 변화와 유사한 경향을 나타냈다.

이상의 결과는 절토 비탈면 조성 후 경과년수에 따라 일반적으로 침입종의 종수와 개체수가 증가하는 경향이 잘 나타난 것으로, 다만 1998년에 종수와 개체수가 급격하게 감소한 것은 여름철의 집중호우에 의해 비탈면의 붕괴와 표토층의 유실이 발생하여 침입종자 및 식생이 상당수 유실되었기 때문인 것으로 사료된다. 또한 비탈면 조성후 경과년수에 비례하여 목본의 개체수가 급격하게 증가한 것은 비탈면의 침입종이 초본에서 목본으로 천이되어 가는 것이 반영된 것이다.

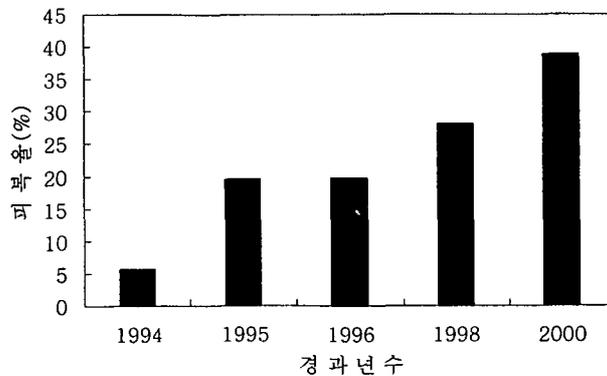


<그림 2-2> 임도 절토 비탈면의 연도별 종수 변화



〈그림 2-3〉 임도 절토 비탈면의 연도별 개체수 변화

식생의 피복율은 〈그림 2-3〉과 같이 초년도에는 대부분이 10%이하로 조사구간의 평균 피복율은 5.7%에 지나지 않았으나, 2, 3 및 5차년도에는 식생이 전혀 침입하지 않은 조사구가 감소하여 각각 19.5%, 19.6%와 28.0%로 높아졌으며, 금년에는 피복율 50%이상의 시험구가 14개소로 평균 피복율이 38.7%로 증가하였다. 그러나 피복율이 10%이하인 조사구가 10개소(27.8%)로 비탈면의 토성 및 물리적 특성에 따라서는 방치할 경우 비탈면 조성 후 50%가 되려면 상당기간이 필요하거나 또는 불가능할 것으로 사료된다.



〈그림 2-4〉 임도 절토 비탈면의 연도별 피복율 변화

조사구내에 생육하고 있는 대표적인 <표 2-2> 와 같이 목본류는 초년도에 호랑버들, 산딸기, 싸리, 조록싸리 및 산초나무 등, 2차년도에는 산딸기, 참싸리, 호랑버들, 산초나무 및 버드나무 등이, 3차년도에는 산딸기, 생강나무, 호랑버들, 붉나무 및 싸리 등, 5차년도에는 뱀딸기, 산딸기, 참싸리, 붉나무 및 산초나무 등, 금년도에는 산딸기, 참싸리, 붉나무, 소나무 및 신갈, 굴참나무와 같은 참나무류 등이었다. 즉, 임도 개설후 7년간에 있어서 목본류의 우점종은 산딸기류, 버드나무류, 참나무류 및 싸리류로 나타나, 비탈면 조성 후 경과년수가 종수의 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

한편, 초본류는 <표 2-2> 와 같이 초년도에 방동사니, 큰까치수영, 산씀바귀, 강아지풀 및 달맞이꽃 등, 2차년도에는 좀닭의장풀, 새, 큰까치수영, 산씀바귀 및 주름조개풀 등, 3차년도에는 산씀바귀, 좀닭의장풀, 새, 큰까치수영 및 나래새 등, 5차년도에는 산씀바귀, 나래새 및 기름새 등, 금년도에는 맑은대쭉, 큰까치수영, 큰기름새, 산씀박이, 주름조개풀 등이 각각 대표적인 침입초본으로 나타났다. 즉, 초본류의 우점종은 비탈면 조성후 7년간에는 큰까치수영, 산씀바귀, 주름조개풀 및 새류가 우점종으로 나타났으며, 목본류와 마찬가지로 비탈면 조성후 경과년수가 종의 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

〈표 2-2〉 절토 비탈면에 있어서 침입식생

조사구	침입식생		피복율 (%)
	목본식물(개체수)	초본식물(개체수)	
1	Ag(1), Sk(1), Sh(1)	Atj(1), Pv(5), Asc(4), Ssib(13), Psa(1), Pfr(3), Api(4), Lcl(2), Ec(1), Pfm(2), Lr(3)	35
2	Fr(1), Rc(2), Lb(4), Zs(4), Pk(2), Qs(3)	Ij(2), Asc(2), Ahir(8), Lcl(3), Pfr(7), Pv(4), Pa(2), Oo(1)	40
3	Pk(2), Lc(5), Pss(1), Rc(4), Zs(1), Rch(1), Pd(2), Qs(1)	Cz(5), Lcl(8), Pv(22), Asc(1), Ctr(1), Uv(1), Ssib(7), Fo(4), Vrsi(1), Pfr(3), Vc(1), Ahir(1)	60
4	Rc(2), Lc(2)	Pv(2), Atja(1)	1
5	Lc(6), Rc(9), Sh(1)	Pv(10), Lr(3), Lcl(14), Amo(1), Ssib(7), Pibr(2), Ahir(6), Pfr(3), Asc(2), Ij(1), Mp(2)	25
6	Lc(4), Sh(1), Qv(3), Pd(1), Pk(1)	Ak(15), Ahir(4), Aja(6), Ssib(4), Pfr(1), Lr(2)	5
7	Sh(2), Bd(2), Qs(1), Ud(1), Pt(1), Sk(1)	Aja(8), Pfm(3), Aed(3), Cja(3), Cb(3), Ssib(25), Amo(5), Cmi(1), Phni(4), Seka(1), Ak(4), Caja(4), Poav(25), Lr(3), Mp(2), Ai(1), Oo(1), He(1)	60
8	Rc(5), Sh(1), Mb(1), Zs(2), Ud(1), Cj(1), Pt(1)	Pfm(3), Ou(17), Lr(6), Vc(6), Ms(1), Asc(2), Ssib(1), Ahir(4), Eh(2), Ds(2), Mp(2)	15
9	Lc(1)		0
10	Pk(1), Pd(8), Lc(1), Rc(1), Qv(2), Pt(1)	Ahir(3), Asc(1), Ssib(1), Lr(3), Ms(2), Pv(5), Lc(3)	10
11	Rc(9), Pd(5), Lc(2), Zs(1), Ako(2), Qm(1)	Lr(4), Ij(3), Ahir(4), Pfm(1), Pv(6), Vc(6), Lcl(11), Asc(2), Hf(1)	30
12	Lc(1), Rch(5), Mb(1), Qv(1), Rc(2)	Ahir(2), Lr(1), Lcl(3), Eh(8), Ssibi(1), Ou(5), Ds(1)	5
13	Lc(4), Pd(20), Qm(1), Sh(1), Pac(1), Sk(1), Rch(1)	Ahir(3), Ak(8), Lr(14), Ssib(3), Aja(3), Amo(3), Cahu(4), Pa(2), Atj(1), Arst(7), Pv(2)	35
14	Qv(1), Pd(6), Qs(1), Lc(1), Hj(1)	Aja(1), Ahir(1), Cmi(1), Eh(1)	1
15	Sk(2), Pth(1), Rom(1), Rc(1), Agr(1)	Amo(1), Pibr(3), Botr(1), Ec(2), Trna(4), Atal(3), Wat(1), Lt(5), Ccp(3), Cco(1)	70
16	Pd(1), Lc(1)	Ssib(6), Ahir(3), Fo(2)	1
17	Rch(2), Pd(3), Uda(1), Bd(2), Zs(2), Sh(1), Sk(1), Cj(1), Qv(1)	Lcl(2), Ahir(5), Lr(15), Ij(2), Arst(8), Vc(6), Vch(3), Hf(1), Api(3), Ou(2)	60
18	Pd(11), Pk(1), Lb(2), Rp(2), Patr(1), Qv(1)	Ahir(2), Pa(1), Fo(4), Ak(2), Api(3), Ec(1), Asc(1), Lcl(1)	10

조사구	침입식생		피복율 (%)
	목본식물(개체수)	초본식물(개체수)	
19	Zs(1), Qv(5), Lb(2), Ch(1), Rc(2)	Ssib(8), Lr(3), Ecs(2), Pv(2), Eb(2), Cco(3), Eh(2), Arst(4), Ahir(2), Ou(15)	10
20	Rc(15), Lb(1), Rch(1), Ako(1), Pth(2)	Lcl(2), Fo(6), Lr(20), Eh(2), Ou(10), Vv(2), Amo(2)	15
21	Lb(4), Rch(5), Zs(1), Rhtr(1), Qv(5), Rc(1), Ae(2), Lo(3), Pd(2), Mb(1), Sh(1), Ako(1), Pk(1)	Asc(3), Lr(17), Aja(1), Lcl(11), Ctr(4), Aed(3), Pv(2), Ou(73), Vf(1), Vc(1), Vv(2), Api(1), Cahu(1), Pa(2), Pvu(1), Vacu(1)	90
22	Zs(7), Rc(1), Ccon(2), Sh(2), Mb(2), Fr(3), Qv(3), Pth(1), Rhtr(1), Ako(1), Fr(1)	Lr(3), Oo(2), Ms(4), Cb(1), Ap(2), Ak(4), Pfm(1), Sv(2), Lcl(2), Ij(1), Vv(1), Api(4), Aed(1), Ou(25), Amo(2), Asc(1), Vc(1)	90
23	Lc(3), Lo(1), Rc(5), Sb(1), Pt(1), Bd(2)	Pv(1), Ak(4), Pfr(2), Aja(3), Ssib(8), Ssibi(12), Sv(8), Api(4), Eh(1), Lr(4)	40
24	Ch(1), Va(1), Lc(3), Pth(4), Ss(3), Mb(2), Ako(1), Uda(2), Rc(2), Ccon(1), Sh(3)	Lr(28), Arst(2), Ay(1), Lt(5), Ou(28), Ak(18), Svi(1), Ssib(5), Ssibi(32), Pl(1), Cco(2), Vs(1), Pv(2), Sv(7), Eb(2), Ut(1), Mp(3), Eh(1), Ec(1), Ctr(2), Ctm(1)	50
25	Lb(8), Pth(4), Rch(4), Rc(16), Fr(1), Qv(1), Qude(1)	Lr(19), Arst(2), Ec(1), Eh(1), Pv(6), Lcl(3), Ssib(14), Vc(1), Ou(19), Ds(3), Amo(2), Cb(4), Cco(1), Ahir(5), Sv(3)	60
26	Rc(9), Pd(5), Lc(7), Bd(1)	Pv(6), Ahir(8), Cz(17), Lcl(8), Ssib(14), Ps(1), La(1), Ath(1), Ai(4), Api(1), Lr(3), Cahu(1), Mp(2), Vc(2), Vv(2), Eh(2)	50
27	Rc(3)	Arst(1), Lr(1), Hf(1)	1
28	Ud(3), Ae(1), Lb(1), Ws(2), Ako(1), Sh(1), Rc(2), Am(1)	Lt(4), Aa(1), Lr(3), Ou(43), Vch(2), Ut(3), Co(1), Ij(5), Ruak(1), Asc(2), Ci(1), Vrsi(1), Pa(1), Ctr(1)	100
29	Pth(3), Rc(1), Sk(2), Bd(1), Pt(1)	Ec(10), Asc(2), Pfm(1), Lr(14), Ahir(3), Amo(8), Pv(2), Ai(1), Aa(1), Ssib(1), Aca(1), Ak(3), Psi(1), Api(6), Vc(1), Ds(2)	40
30	Sh(1), Lb(2), Pk(1), Cf(1), Rc(7), Sk(2), Amfr(1)	Lr(6), Aa(4), Ak(11), Ssib(12), Ec(3), Ou(24), Pfr(3), Ahir(11), Arst(6), Pfm(2), Aed(2), Mf(1), Vv(1), Ys(6), Pj(1), Mp(3), Mj(1), Ssibi(3), Uv(1), Ci(1), Sv(6), Cco(2), Pvu(2), Lt(3), Amo(1)	70
31	Lb(1)	Lt(1), Ms(3), Psa(1), Ahir(3), Hf(4), Lcl(7), Sv(13), Vc(2), Eh(2), Ssibi(1), Vv(3), Lr(1), Cp(1), Cja(3)	15

조사구	침입식생		피복율 (%)
	목본식물(개체수)	초본식물(개체수)	
31	Lb(1)	Lt(1), Ms(3), Psa(1), Ahir(3), Hf(4), Lcl(7), Sv(13), Vc(2), Eh(2), Ssibi(1), Vv(3), Lr(1), Cp(1), Cja(3)	15
32	Pd(1), Sh(6), Lb(1), Rc(13)	Api(1), Aja(3), Pv(1), Ak(5), Ssibi(3), Sv(46), Ys(1), Lr(2), Lcl(5), Ssibi(3), Pv(2), He(2), Ou(2), Ai(2), Aed(1), Eh(2), Cp(1), Pfm(1)	30
33	Lc(1), Pd(9), Rc(11), Sk(4), Pk(2), Rp(1), Sh(1), Ccon(1)	Ssib(19), Hf(1), Asc(6), Pfm(1), Ou(4), Svi(1), Os(2), Lt(4), Mp(4), Pv(3), Lcl(4), Ahir(13), Lj(1), Pne(1), Ssibi(1), Amo(1), Ccp(3), Oo(1), Lr(2), Cco(2), Psi(3), Ec(1), Sv(2), Ou(8), Vc(1), Mf(1), Aa(2)	35
34	Lb(6), Sh(9), Rch(2), Sk(5), Rc(7), Pk(2), Fr(1), Ud(3), Hj(1)	Ssib(9), Ak(14), Amo(6), Pfr(8), Aja(4), Cb(6), Ec(4), Arst(1), Aca(2), Ai(3), Lr(3), Aja(7), Pv(2), Pih(1), Pfm(1), Ou(8), Vc(1), Mf(1), Aa(2), Ccp(1), Psi(2), Cabr(4), Oo(1)	100
35	Sh(1), Rc(10), Pk(4), Lale(12), Rp(1)	Amo(8), Ap(5), Ahir(9), Ssib(1), Ak(23), Lr(7), Aja(21), Cmi(1), Mf(1), Vm(7), Cam(8), Ou(5), Pne(2), Cco(1), Mp(2), Oo(1), Che(2), Lcl(3), Psi(1), Api(1), Aed(1), Oc(3), Lt(2)	55
36	Bd(3), Rc(8), Csm(1), Sk(2), Sh(1), Lc(1), Pk(1), Rp(1)	Amo(9), Ms(2), Pja(2), Cb(7), Pfr(21), Ec(2), At(9), Pv(4), Aa(2), Ou(40), Svi(2), Dw(2), Ssib(4), Api(10), Ap(3), Ak(4), Mf(5), Lcl(1), Aja(1), Arst(2)	80

3. 성토 비탈면의 식생침입 상황

성토 비탈면에 있어서 식생침입 현황은 <표 2-3>에서 알 수 있듯이 절토 비탈면과는 상당히 다르게 나타났다. 즉, 침입식생의 개체수가 10개체 이하의 조사구는 한 개소도 없는데 비해, 조사구 7, 8, 13, 28에서는 개체수가 200개 이상의 식생이 침입하여 생육하고 있었으며, 100개체 이상이 침입하여 생육하

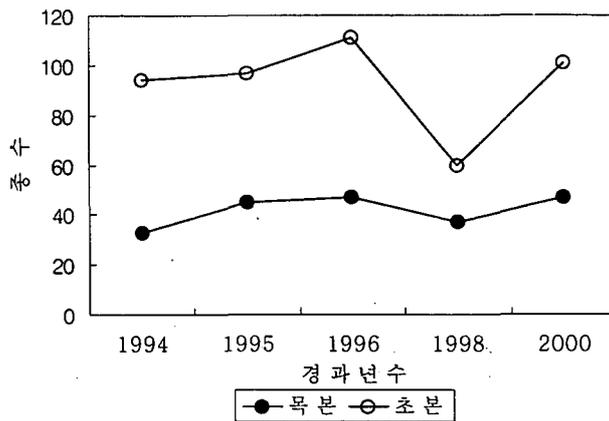
고 있는 조사구가 15개소로 전체의 42%에 달하였다. 따라서 성토 비탈면의 각 조사구에 침입하여 생육하고 있는 식생은 목본류의 경우 47종류에 974개체, 초본류의 경우는 101종류에 2,761개체로 총 148종류 3,735개체였다.

〈표 2-3〉 성토 비탈면의 식생침입 상황

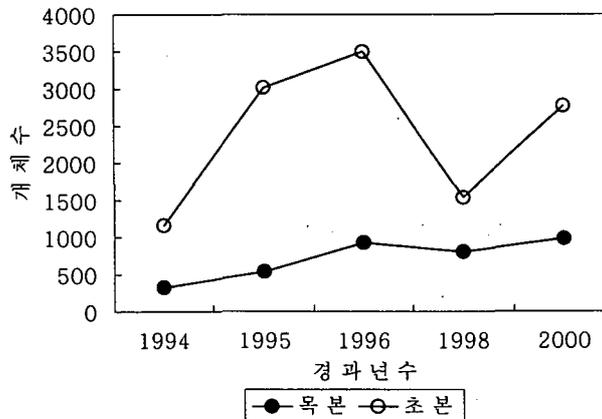
조사구	목본식물	초본식물	계	조사구	목본식물	초본식물	계
1	17	54	71	19	26	73	71
2	14	44	58	20	34	32	58
3	38	19	57	21	14	82	57
4	22	59	81	22	15	40	81
5	41	42	83	23	31	19	83
6	16	45	61	24	120	75	61
7	11	209	220	25	46	60	220
8	18	189	207	26	40	111	207
9	13	41	54	27	18	20	54
10	27	15	42	28	23	203	42
11	25	9	34	29	36	120	34
12	30	33	63	30	21	104	63
13	31	177	208	31	31	100	208
14	23	48	71	32	33	97	71
15	11	12	23	33	20	109	23
16	17	13	30	34	24	84	30
17	19	47	66	35	28	150	66
18	19	67	86	36	22	159	86
				계	974	2,761	3,735

임도개설후 7년이 경과한 시점의 성토 비탈면에 생육하고 있는 식물의 종류 조성은 60과 103속 131종 17변종 총 148종류였다. 각 연도별 종수변화는 〈그림 2-5〉와 같이 초본류의 경우 94 → 97 → 111 → 60 → 101 종류로 임도개설후 초년도부터 3차년도까지는 소폭 증가하다 5년도에 감소한 후, 금년도에 다시 증가하였으며, 목본류의 경우도 33 → 45 → 47 → 37 → 47 종류로 초본류와 비슷한 경향이 나타났다. 또한 개체수의 변화 역시 〈그림 2-6〉에서 알 수 있듯이 초본류의 경우 1,161 → 3,019 → 3,499 → 1,542 → 2761로,

목본류 역시 314 → 532 → 936 → 807 → 974로 종수변화와 유사한 경향을 나타냈다. 이상의 결과는 절토 비탈면과 마찬가지로 여름철의 집중호우에 의해 종자가 유실된 것은 물론 임도개설후 시간이 경과함에 따라 주요 침입종이 초본에서 목본으로 천이되는 과정에서 발생한 현상으로 개설후 경과년수에 따라 성토 비탈면이 생태적으로 안정이 된다는 기존의 연구결과(江崎次夫, 1984)와 일치하는 것이다.

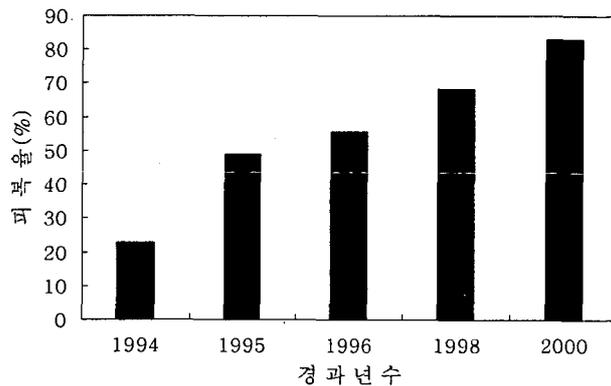


<그림 2-5> 임도 성토 비탈면의 연도별 종수 변화



<그림 2-6> 임도 성토 비탈면의 연도별 개체수 변화

식생의 피복율은 <그림 2-7>에서 알 수 있듯이 비탈면 조성후 초년도부터 평균 피복율이 22.7%로 높게 나타났으며, 2차년도에는 48.8%, 3차년도에는 55.7%, 5차년도에는 68.0%, 7차년도에는 82.8%로 시간이 경과할수록 피복율도 지속적으로 증가하였다. 따라서 식생의 자연침입에 의한 성토 비탈면의 생태적 안정은 절토 비탈면에 비해 상대적으로 용이하다고 할 수 있으며, 이는 방치하여도 비탈면의 조건에 따라서는 식생의 자연침입을 기대할 수 있다고 할 수 있다.



<그림 2-7> 임도 성토 비탈면의 연도별 피복율 변화

성토 비탈면의 주요 침입식생은 목본류의 경우 초년도에는 산딸기, 호랑버들, 소나무, 싸리 및 다래 등이, 2차년도에는 산딸기, 호랑버들, 소나무, 붉나무 및 참싸리 등이, 3차년도에는 산딸기, 소나무, 산초나무, 붉나무 및 호랑버들 등이, 5차년도에는 산딸기, 두릅나무, 족제비싸리, 칩 및 산초나무 등이, 7차년도에는 산딸기, 족제비싸리, 소나무, 붉나무 등이 각각 대표수종으로 나타났다.

초본류는 초년도에는 큰까치수영, 방동사니, 주름조개풀, 기름새 및 좁담의장풀 등이, 2차년도에는 큰까치수영, 좁담의장풀, 산씀바귀, 새 및 주름조개

풀 등이, 3차년도에는 산씀바귀, 주름조개풀, 큰까치수영, 들깨풀 및 달맞이꽃 등이, 5차년도에는 주름조개풀, 산씀바귀, 물봉선, 큰까치수영 및 나래새 등이, 7차년도에는 산씀박이, 주름조개풀, 큰까치수영, 큰기름새 등이 각각 대표적인 침입초본으로 나타났다.

따라서 성토 비탈면의 우점종은 절토 비탈면과 달리 목본류의 경우 5차년까지 산딸기, 호랑버들, 소나무, 족제비싸리, 두릅 및 산초나무 등이었으나, 금년도에는 산딸기와 족제비싸리가 우점종으로 나타났다. 초본류에 있어서도 5차년까지는 큰까치수영, 좀닭의장풀, 주름조개풀, 산씀박이 및 물봉선이 우점종을 이루었으나 7차년도에는 주름조개풀, 산씀박이, 큰기름새가 우점종으로 나타났다.

이상과 같은 결과는 성토 비탈면에 우점을 이루는 종의 변화가 7년간에 크게 나타나지 않은 것으로 목본과 초본의 우점종이 지속적으로 비탈면에 활착되어 비탈면의 물리적 안정 및 식생피복에 크게 영향을 미치고 있다.

〈표 2-4〉 성토 비탈면에 있어서 침입식생

조사구	침입식생		피복율 (%)
	목본식물(개체수)	초본식물(개체수)	
1	Rc(6), Rch(6), Lc(3), Co(1), Qm(1)	Ctr(1), Lt(14), Ssib(2), Amo(7), Ahir(7), Api(2), Cja(1), Ij(2), Ou(4), Fo(1), Apo(13)	90
2	Rch(4), Rc(5), Zs(1), Lc(2), Ud(1), Fr(1)	Aca(2), Lcl(6), Ssib(7), At(17), Vc(1), Psa(1), Lr(2), Lil(1), Amo(4), Cz(2), Ms(1)	70
3	Zs(1), Fr(1), Rc(20), Ae(3), Rch(4), Lb(2), Amfr(7)	At(1), Api(5), Amo(2), Lcl(4), Lil(1), Ssib(3), Ij(2), Oo(1)	100
4	Rc(8), Pd(10), Zs(1), Lc(1), Fr(1), Qs(1)	Cz(2), Ssib(13), Pfr(2), Pv(15), Asc(2), Api(1), Aja(3), Lcl(15), Sof(1), Pa(5)	70
5	Amfr(10), Ae(4), Rc(25), Ud(1), Ah(1)	Ssib(7), Amo(4), Api(3), Lcl(5), Ou(7), Ak(8), Dq(1), Cz(1), Lr(3), Pfm(2), Pne(1)	95
6	Rc(12), Amfr(2), Rc(1), Zs(1)	Ms(1), Amo(4), Api(15), Pfm(3), Pv(2), Cb(1), Lcl(6), Pfr(2), Eb(5), Ak(6)	100
7	Rc(4), Sk(6), Lale(1)	Mf(4), Aed(2), Aca(1), Lr(4), Pa(5), Ath(1), Ou(120), Lt(7), Caja(8), Amo(4), Pne(4), Pfr(3), Ak(6), Ppo(8), Ahir(3), Oc(6), Api(4), Ea(2), Cb(1), Mp(3), Lcl(6), Pfm(2), Plsi(1), Aau(1), Ssibi(1), Vf(1), Pla(1)	100
8	Rc(7), Zs(3), Ae(2), Cj(3), Mb(1), Pth(1), Lb(1)	Ou(150), Pla(4), Ssib(2), Lcl(3), Vf(1), Cse(1), Lt(4), Vac(1), Vc(6), Ta(1), Ahir(3), Ppu(3), Mp(2), Pfr(2), Lr(2), Asc(1), Ak(3)	95
9	Zs(2), Qude(1), Rc(7), Qm(1), Qv(2)	Amo(13), Ds(4), Pa(4), Asc(6), Lcl(12), Ahir(2)	90
10	Rc(9), Zs(1), Ae(2), Ah(1), Pd(2), Sh(1), Lo(1), Qv(3), Lb(3), Qm(2), Rch(1), Agr(1)	Ahir(1), Pa(8), Lr(4), Ssib(1), Ou(1)	40
11	Zs(1), Qude(1), Rch(2), Lo(1), Amfr(9), Rc(10), Pk(1)	Pa(5), Lcl(2), Asc(1), Pv(1)	60
12	Ae(8), Rc(15), Zs(2), Ss(1), Sh(1), Sb(1), So(1), Pd(1)	Ap(5), Amo(3), Lr(8), Pj(1), Ssib(2), Eh(3), Lcl(2), Lil(1), Ou(5), Hf(1), Ij(2)	90
13	Pd(2), Rc(20), Cc(1), Ud(2), Sk(1), Mb(2), Rch(1), Lo(1), Ae(1)	Sv(6), Lr(11), Ec(7), Api(4), Ou(120), Lil(1), Lcl(4), Ssibi(3), Amo(10), Lt(6), Ak(5)	95

조사구	침입식생		피복율 (%)
	목본식물(개체수)	초본식물(개체수)	
14	<i>Pd(15), Sh(4), Qv(1), Pt(1), Lc(2)</i>	<i>Eh(8), Hium(1), Ahir(3), Ssib(30), Lr(4), Bb(2)</i>	20
15	<i>Hj(3), Rc(1), Pth(3), Agr(2), Ss(2)</i>	<i>Amo(2), Api(3), Pc(7)</i>	100
16	<i>Rc(2), Zs(2), Ae(2), Qv(1), Agr(1), Rp(1), Che(2), Rhtr(1), Lo(3), Rch(2)</i>	<i>Arst(5), Lr(4), Lcl(2), Ahir(2)</i>	30
17	<i>Rch(4), Rc(10), Sk(1), Sh(1), Uda(1), Ae(2)</i>	<i>Lr(30), Arst(3), Ds(2), Api(2), Vs(2), Pj(1), Vc(3), Ec(2), Vv(1), Ctr(1)</i>	60
18	<i>Amfr(7), Cj(1), Rch(2), Rc(6), Dc(1), Ae(1), Cj(1)</i>	<i>Ld(1), Lr(8), Ou(11), Pv(1), Aca(2), Ssib(1), Cahu(10), Dism(1), Ou(30), Aca(1), Vs(1)</i>	70
19	<i>Rc(16), Zs(2), Qv(1), Lo(1), Mb(4), Pth(1), Aar(1)</i>	<i>Lr(8), Ou(51), Ld(3), Fo(10), Sc(1)</i>	100
20	<i>Amfr(11), Rc(15), Ae(1), Ps(1), Stic(1), Lc(1), Lo(1), Rc(3)</i>	<i>Lr(16), Fo(1), Ssibi(3), Ssib(2), Arst(2), Isex(2), Ld(1), Aram(1), Lr(4)</i>	100
21	<i>Sk(1), Pth(1), Ud(1), Rc(3), Lb(2), Lo(1), Qv(3), Sh(1), Pd(1)</i>	<i>Lcl(4), Co(1), Asc(3), Lr(2), Ou(15), Ut(2), Uv(1), Lt(2), Vv(4), At(2), Pfr(1), Dt(1), Ahir(40), Vf(1), Mp(1), Ak(2)</i>	90
22	<i>Zs(2), Lo(1), Rc(7), Pth(1), Ssi(1), Cw(1), Ud(1), Ss(1)</i>	<i>Cman(2), Sv(2), Cb(4), Api(3), Pfr(1), Asc(1), Oo(4), Dw(3), Lr(3), Pfm(1), Ou(15), Lcl(1)</i>	100
23	<i>Rc(16), Pd(1), Bd(2), Lb(2), Ae(1), Lo(1), Zs(2), Sh(1), Am(1), Pk(1), Ud(2), Rch(1)</i>	<i>Pfm(3), Lcl(2), Cp(1), Ahir(2), Lr(2), Ak(3), Aja(1), Ec(1), Pv(4)</i>	50
24	<i>Amfr(2), Rc(90), Sk(1), Lc(1), Rch(2), Ae(1), Zs(1), Aar(1), Pth(1), Rc(20)</i>	<i>Cmi(33), Lr(1), Pfr(2), Ssibi(1), Ec(3), It(34), Eh(1)</i>	100
25	<i>Rch(1), Lc(1), Ps(2), Rc(18), Pth(3), Rc(20), Ae(1)</i>	<i>Vrsi(1), Ahir(1), Ld(15), Lr(21), Aca(1), Ak(1), It(20)</i>	100
26	<i>Mb(3), Rc(17), Amfr(8), Zs(1), Ud(2), Lc(1), Rch(7), Lb(1)</i>	<i>Ec(2), Pl(1), Cco(2), Aa(7), Ak(10), Lcl(2), Ou(51), Pp(4), Co(1), Arst(9), Ds(3), Pfr(3), Sv(5), Ssibi(2), Ij(5), Pa(1), Amo(2), Gp(1)</i>	90
27	<i>Pd(3), Rc(15)</i>	<i>Vc(2), Asc(2), Lr(6), Arst(3), Dq(1), Api(1), Ds(2), Ou(2), Acd(1)</i>	35

조사구	침 입 식 생		피복율 (%)
	목본식물(개체수)	초본식물(개체수)	
28	Rc(7), Amfr(1), Pth(5), Ccon(3), Mb(2), Sk(1), Pth(2), Sawi(1), Ae(1)	Cmi(1), Aj(1), Pfr(1), Oo(1), Ou(15), Ld(4), Psi(5), Lr(16), It(42), Lr(56), Sach(19), Ay(1), Ou(1), Psi(1), Lr(20), It(18), Sach(1)	100
29	Bd(1), Sh(1), Ch(1), Rc(18), Rch(11), Ako(1), Pd(1), Ae(1), Zs(1)	Caja(2), Oo(3), Amo(9), Pv(1), Ec(5), Uv(1), Cp(1), Pfm(3), Lt(1), Ssibi(2), Lr(5), Lil(4), Ou(38), Ak(6), Ctr(2), Lcl(3), Psi(1), Ruak(5), Mp(1), Vc(2), Arst(5), Co(2), Dw(2), Pp(1), Aa(4), Sv(2), Pfr(1), Pdi(1), Cco(3), Aed(1), Ssib(2), Dt(1)	100
30	Fr(1), Amfr(2), Rc(4), Sh(1), Pk(1), Mb(3), Scc(1), Ako(5), Zs(2), Rp(1)	Pfr(3), Ruak(2), Pfm(1), Pse(1), Aa(6), Api(1), Lr(5), Acd(2), Ssib(8), Caja(3), Ear(4), Aed(2), Lj(9), Pla(1), Hf(2), Pdi(2), Ak(5), Lt(2), Arst(1), Ou(35), Pne(1), Uv(1), Cman(1), Ahir(6)	100
31	Sh(1), Rc(10), Rch(5), Qv(2), Rp(2), Qm(1), Ae(4), Mb(1), Sk(1), Zs(1), Sawi(1), Ccon(1)	Lt(9), Lcl(5), Lil(1), Ak(3), Cja(1), Pv(4), Ou(35), Vrsi(1), Acd(1), Ctr(6), Ahir(10), Pla(20), Agpi(1), Ay(2), Pfr(1)	100
32	Sh(1), Rc(15), Lc(11), Rch(1), Sx(1), Mb(1), Ae(3)	Lcl(1), Lr(5), Ou(40), Cco(2), Aed(1), Amo(5), Ak(5), Api(12), Pfm(2), Mp(8), Vv(1), Lt(1), Pfr(5), Vc(1), Caja(8)	100
33	Zs(3), Ae(2), Rc(7), Agr(4), Mb(2), Rp(2)	Pfr(2), Ou(100), Lt(3), Mf(1), Asc(1), Pfm(2)	90
34	Rc(23), Sh(1)	Aed(1), Ppo(35), Pne(8), Cabr(7), Cco(1), Bifr(1), Lt(1), Ou(8), Dc(2), Vc(1), Tpe(5), Rac(4), Cma(1), Ear(2), Ay(4), Ocf(1), Mj(2)	50
35	Rc(21), Pk(1), Rp(4), Sk(2)	Ppu(11), Amo(2), Ou(90), Co(2), Dc(8), Ahir(13), Cco(5), Lt(8), Ear(4), Pfr(2), Svi(4), Ser(1)	100
36	Rc(8), Sk(5), Bd(1), Fr(2), Ud(1), Ps(1), Qm(1), Sh(1), Hj(2)	Api(6), Ms(100), Pfr(2), Svi(1), Ctr(1), Dc(10), Lt(4), Cco(1), Lr(4), Rac(1), Cadi(8), Ctu(2), Ou(10), Ec(1), Imnt(2), Ay(2), Aa(1), He(3)	100

〈표 2-5〉 임도 비탈면 조사구에 생육하고 있는 식물목록

Scientific name	Korea name	Acronym
Pteridaceae	고사리科	
<i>Dennstadtia wilfordii</i>	황고사리	Dw
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	고사리	Pa
Aspidiaceae	면마科	
<i>Athyrium alpestre</i>	산고사리	Atal
<i>Athyrium yokoscense</i>	뱀고사리	Ay
Pinaceae	소나무科	
<i>Abies holophylla</i>	젓나무	Ah
<i>Larix leptolepis</i>	일본잎갈나무	Lale
<i>Pinus koraiensis</i>	잣나무	Pk
<i>P. densiflora</i>	소나무	Pd
Gramineae	벼科	
<i>Stipa sibirica</i>	나래새	Ssibi
<i>Festuca ovina</i>	김의털	Fo
<i>Arundinella hirta</i>	새	Ahir
<i>Setaria viridis</i>	강아지풀	Sv
<i>Digitaria sanguinalis</i>	바랭이	Ds
<i>Oplismenus undulatifolius</i>	주름조개풀	Ou
<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i>	억새	Ms
<i>Muhlenbergia japonica</i>	취꼬리새	MJ
<i>Phragmites communis</i>	갈대	Pc
<i>Spodiopogon sibiricus</i>	큰기름새	Ssib
Cyperaceae	사초科	
<i>Carex breviculmis</i>	청사초	Cabr
<i>C. dimorpholepis</i>	이삭사초	Cadi
<i>C. humilis</i>	산거울	Cahu
<i>C. japonica</i>	개찌버리사초	Caja
<i>Cyperus amuricus</i>	방동사니	Cam
Commelinaceae	닭의장풀科	
<i>Commelina coreana</i>	좀닭의장풀	Cco
Liliaceae	백합科	
<i>Hemerocallis fulva</i>	원추리	Hf
<i>Smilax sieboldii</i>	청가시덩굴	Ssi
<i>Allium thunbergii</i>	산부추	Ath
Salicaceae	버드나무科	
<i>Populus tomentiglandulosa</i>	은사시나무	Pt
<i>Salix koreensis</i>	버드나무	Sk
<i>S. hulteni</i>	호랑버들	Sh
<i>S. xerophila</i>	여우버들	Sx

Scientific name	Korea name	Acronym
Betulaceae	자작나무과	
<i>Betula davurica</i>	물박달나무	Bd
<i>Corylus heterophylla</i>	난티잎개암나무	Che
<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>	개암나무	Ch
<i>C. sieboldiana</i> var. <i>mandshurica</i>	물개암나무	Csm
Fagaceae	참나무과	
<i>Castanea crenata</i>	밤나무	Cc
<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	Qv
<i>Q. dentata</i>	떡갈나무	Qude
<i>Q. mongolica</i>	신갈나무	Qm
<i>Q. serrata</i>	졸참나무	Qs
Ulmaceae	느릅나무과	
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	느릅나무	Ud
<i>U. davidiana</i>	흑느릅나무	Uda
Moraceae	뽕나무과	
<i>Morus bombycis</i>	산뽕나무	Mb
Cannabinaceae	삼과	
<i>Humulus japonicus</i>	환삼덩굴	Hj
Urticaceae	췌기풀과	
<i>Boecmeria tricuspis</i>	거북꼬리	Botr
<i>Pilea peploides</i>	물통이	Ppo
<i>Urtica thunbergiana</i>	췌기풀	Ut
Polygonaceae	마디풀과	
<i>Persicaria sieboldii</i>	미꾸리낚시	Psi
<i>P. nepalensis</i>	산여뀌	Pne
<i>P. lapathifolia</i>	흰여뀌	Pl
<i>P. hydropiper</i>	여뀌	Ph
<i>P. vulgaris</i>	붉여뀌	Pvu
<i>P. pubescens</i>	바보여뀌	Ppu
<i>P. dissitiflora</i>	가시여뀌	Pdi
<i>P. senticosa</i>	며느리밑씻개	Pse
<i>Polygonum aviculare</i>	마디풀	Poav
<i>Rumex acetosa</i>	수영	Rac
Panunculaceae	미나리아재비과	
<i>Clematis mandshurica</i>	으아리	Cman
<i>C. trivhotoma</i>	할미밑망	Ctr
<i>Thalictrum aquilegifolium</i>	평의다리	Ta
Lauraceae	녹나무과	
<i>Lindera obtusiloba</i>	생강나무	Lo
Oxalidaceae	괭이밥과	
<i>Oxalis corniculata</i>	괭이밥	Oc

Scientific name	Korea name	Acronym
Anacardiaceae	욱나무과	
<i>Rhus chinensis</i>	붉나무	Rch
<i>R. trichocarpa</i>	개웃나무	Rhtr
Rosaceae	장미과	
<i>Rosa multiflora</i>	질레	Rom
<i>Rubus phoenicolasius</i>	곰딸기 (붉은 가시딸기)	Rp
<i>Agrimonia pilosa</i>	깊신나물	Agpi
<i>Duchesnea chrysantha</i>	뱀딸기	Dc
<i>Potentilla freyniana</i>	세잎양지꽃	Pfr
<i>P. freyniana</i> var. <i>major</i>	양지꽃	Pfm
<i>Rubus crataegifolius</i>	산딸기	Rc
<i>Prunus sargentii</i>	산벚나무	Pss
<i>Sanguisorba officinalis</i>	오이풀	Sof
<i>Waldsteinia ternata</i>	나도양지꽃	Wat
Leguminosae	콩과	
<i>Cassia mimoides</i> var. <i>nomame</i>	차풀	Cmi
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	조록싸리	Lm
<i>L. cryptobotrya</i>	참싸리	Lc
<i>L. bicolor</i>	싸리	Lb
<i>Kummerowia striata</i>	매듭풀	Phni
<i>Pueraria thunbergiana</i>	참	Pth
<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>trisperma</i>	새콩	Aed
<i>Amorpha fruticosa</i>	족제비싸리	Amfr
<i>Vicia unijuga</i>	나비나물	Vu
Fumariaceae	현호색과	
<i>Corydalis ochotensis</i>	눈괴불주머니	Co
<i>C. turtschaninovii</i>	현호색	Ctu
Euphorbiaceae	대극과	
<i>Securinega suffruticosa</i>	광대싸리	Ss
Rutaecae	운향과	
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	산초나무	Zs
Saxifragaceae	범의귀과	
<i>Philadelphus schrenckii</i>	고광나무	Ps
Basaminacae	봉선화과	
<i>Impatiens textori</i>	물봉선	It
<i>I. noli-tangere</i>	노란물봉선	Imnt
Vitaceae	포도과	
<i>Vitis amurensis</i> var. <i>coignetiae</i>	머루	Va
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	담쟁이덩굴	Patr
Actinidiaceae	다래나무과	

Scientific name	Korea name	Acronym
<i>Actinidia kolomikta</i>	쥐다래	Ako
<i>A. arguta</i>	다래	Aar
Violaceae	제비꽃과	
<i>Viola mandshutica</i>	제비꽃	Vm
<i>V. chaerophylloides</i>	남산제비꽃	Vch
<i>V. collina</i>	등근털제비꽃	Vc
<i>V. acuminan</i>	줄방제비꽃	Vac
<i>V. variegata</i>	알록제비꽃	Vv
<i>V. selkirkii</i>	외제비꽃	Vs
<i>V. rossii</i>	고깔제비꽃	Vrsi
Gutiferae	물레나물과	
<i>Hypericum erectum</i>	고추나물	He
Onagraceae	바늘꽃과	
<i>Oenothera odorata</i>	달맞이꽃	Oo
Araliaceae	두릅나무과	
<i>Aralia elata</i>	두릅나무	Ae
Umbelliferae	산형과	
<i>Ostericum sieboldii</i>	뿔미나리	Os
<i>Pimpinella brachycarpa</i>	참나물	Pibr
Cornaceae	층층나무과	
<i>Cornus controversa</i>	층층나무	Ccon
<i>C. walteri</i>	말채나무	Cw
Primulaceae	앵초과	
<i>Lysimochia clethroides</i>	큰까치수영	Lcl
Symplocaceae	노린재나무과	
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	노린재나무	Sec
Styracaceae	때죽나무과	
<i>Styrax obassia</i>	쪽동백나무	So
Oleaceae	물푸레나무과	
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	물푸레나무	Fr
Verbenaceae	마편초과	
<i>Callicarpa japonica</i>	작살나무	Cj
Labiataeae	꿀풀과	
<i>Isodon japonicus</i>	방아풀	Ij
<i>Mosla punctulata</i>	들깨풀	Mp
<i>Elsholtzia ciliata</i>	향유	Eci
<i>Clinopodium chinense</i> var. <i>parviflorum</i>	층층이풀	Ccp
Scrophulariaceae	현삼과	
<i>Phhtheirospermum japonicum</i>	나도송이풀	Pj
<i>Paulownia coreana</i>	오동나무	Pac
Plantaginaceae	질경이과	

Scientific name	Korea name	Acronym
<i>Plantago asiatica</i>	질경이	Plsi
Rubiaceae	꼭두서니科	
<i>Rubia akane</i>	꼭두서니	Ruak
Caprifoliaceae	인동科	
<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i>	닥총나무	Sawi
<i>Weigela subsessilis</i>	병꽃나무	Ws
Valerianaceae	마타리科	
<i>Patrinia scabiosaefolia</i>	마타리	Psa
<i>P. villosa</i>	뚝갈	Pv
<i>Valeriana fauriei</i>	취오줌풀	Vf
Caryophyllaceae	석죽科	
<i>Melandryum firmum</i>	장구채	Mf
<i>Pseudostellaria palibiniana</i>	큰개별꽃	Pp
Cruciferae	십자화科	
<i>Cardamine impatiens</i>	싸리냉이	Ci
Convolvulaceae	메꽃科	
<i>Calystegia hederacea</i>	애기메꽃	Che
Phrymaceae	파리풀科	
<i>Phryma leptostachya</i> var. <i>asiatica</i>	파리풀	Pla
Campanulaceae	초롱꽃科	
<i>Adenophora triphylla</i> var. <i>japonoca</i>	잔대	Atj
<i>Phyteuma japonicum</i>	영아자	Pja
Euphorbiaceae	대극科	
<i>Acalypha australis</i>	깨풀	Aau
Dioscoreaceae	마科	
<i>Dioscorea quinqueloba</i>	단풍마	Dq
<i>D. tokoro</i>	도꼬로마	Dt
Rubiaceae	꼭두서니科	
<i>Galium pogananthum</i>	산갈퀴	Gp
Saxifragaceae	범의귀科	
<i>Astilbe chinensis</i> var. <i>dauidii</i>	노루오줌	Acd
Equisetaceae	속새科	
<i>Equisetum arvense</i>	쇠뜨기	Ear
Borraginaceae	지치科	
<i>Trigonotis peduncularis</i>	꽃마리	Tpe
<i>T. nakaii</i>	참꽃마리	Trna
Papaveraceae	양귀비科	
<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i>	애기똥풀	Cma
Osmundaceae	고비科	
<i>Osmunda cinnzmomea</i> var. <i>fokiensis</i>	평고비	Ocf
Crassulaceae	돌나물科	

Scientific name	Korea name	Acronym
<i>Sedum erythrostichum</i>	핑의비름	Ser
<i>S. kamtschaticum</i>	기린초	Seka
Compositae	국화과	
<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i>	미역취	Svi
<i>Aster tataricus</i>	개미취	At
<i>A. pekinensis</i>	가는쑥부쟁이	Ap
<i>A. ageratoides</i>	까실쑥부쟁이	Aa
<i>A. pilosus</i>	미국쑥부쟁이	Apir
<i>A. scaber</i>	참취	Asc
<i>Erigeron annuus</i>	개망초	Ea
<i>E. canadensis</i>	망초	Ec
<i>Erechtites hieracifolia</i>	붉은서나물	Eh
<i>Carpesium triste</i> var. <i>manshucum</i>	두메담배풀	Ctm
<i>Chrysanthemum boreale</i>	산국	Cb
<i>C. zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	구절초	Cz
<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>simplicifolium</i>	등골나물	Ecs
<i>Cirsium pendulum</i>	큰엉겅퀴	Cp
<i>Atractylodes japonica</i>	삼주	Atja
<i>Artemisia capillaris</i>	사철쑥	Aca
<i>A. japonica</i>	제비쑥	Aja
<i>A. iwayomogi</i>	더위지기	Ai
<i>A. keiskeana</i>	맑은대쑥	Ak
<i>A. princeps</i> var. <i>orientalis</i>	쑥	Apo
<i>A. stolonifera</i>	넓은잎외잎쑥	Arst
<i>A. montana</i>	산쑥	Amo
<i>Bidens frondosa</i>	미국가막사리	Bifr
<i>B. bipinnata</i>	도깨비바늘	Bb
<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>ussuriense</i>	엉겅퀴	Cja
<i>C. setidens</i>	고려엉겅퀴	Cse
<i>Erigeron bonariensis</i>	실망초	Eb
<i>Picris hieracioides</i> var. <i>glabrescens</i>	쇠서나물	Pihi
<i>Hieracium umbellatum</i>	조밥나물	Hium
<i>Lactuca raddeana</i>	산쌈바귀	Lr
<i>L. indica</i> var. <i>laciniata</i>	왕고들빼기	Lil
<i>Leibnitzia anandria</i>	숨나물	La
<i>Youngia sonchifolia</i>	고들빼기	Ys
Aceraceae	단풍나무과	
<i>Acea ginnala</i>	신나무	Ag
<i>A. mono</i>	고로쇠나무	Am
Staphyleaceae	고추나무과	
<i>Staphylea bumalda</i>	고추나무	Sb

제 3 절 피복자재와 도입 식생 선정 및 현지시험

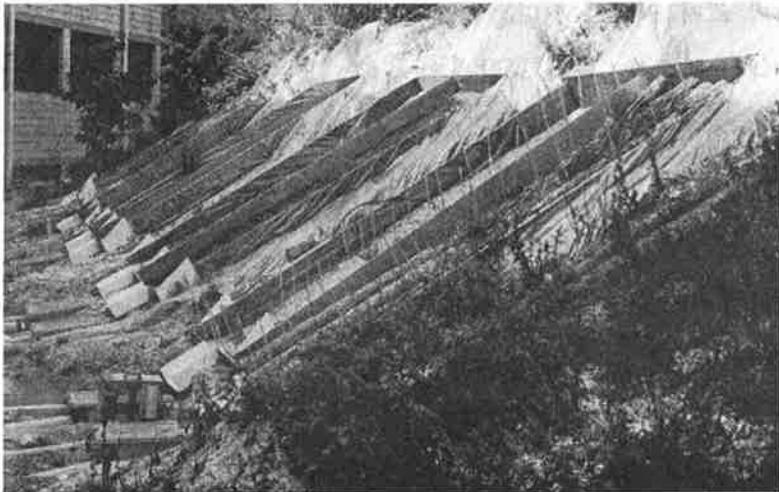
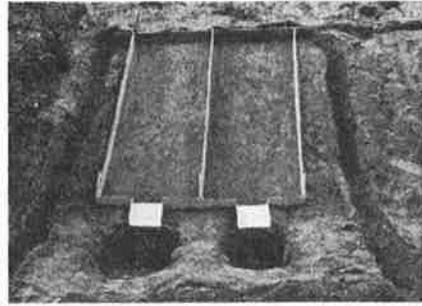
토양침식은 주로 수식에 의해 발생하며, 우수에 의한 표면침식은 토양의 물리·화학적 성질에 좌우되어 일정하지는 않지만, 우적에 의한 토양단립의 직격파괴와 유하수에 의한 유출침식에 의해 발생한다. 그러나 표토가 초본이나 작물, 관목 및 삼림으로 덮여 있는 경우에는 침식은 용이하게 발생하지는 않으므로 표토를 나지화하지 않도록 하고, 식물이나 수목으로 피복하는 것이 토양침식 방지의 기본이 된다. 건전한 표토로 덮인 나지는 녹화를 위해서 기상조건과 어느 정도의 수분만 확보되면 되지만 표토의 일부 혹은 전부가 유실되어 하층토나 암반이 노출되어 있는 비탈면, 토목공사에 의해 절취된 비탈면, 불량토양의 성토 등은 조속히 침식방지 대책이 마련되어야 한다.

종자가 발아하여 뿌리를 내리기 전에 우수 등에 의해 피복시공한 토양기재나 종자가 유실되면 아무 소용도 없다. 더욱이 경사지의 비탈면은 유수의 속도가 빠르고, 건조되기 쉽기 때문에 피복자재는 토양기재와 종자를 포함하며, 침식방지뿐 아니라 종자의 발아를 방해하지 않고, 통기성과 보수성이 풍부하되 중량이 크지 말아야 한다. 그러나 1m²당 필요한 토양기재의 무게가 상당히 무겁기 때문에 피복자재의 중량을 너무 줄이면 강도면에서 문제가 된다. 따라서 면을 이용한 부직포, 벚짚, 망 등에 대한 연구를 실시한 결과, 부직포를 이용한 방법이 효과적이라는 결론에 도달하게 되었다.

1. 시공대상지 선정 및 라이시메타 제작

시험구는 <사진 2-1> 과 같이 강원대학교 구내 산림과학대학2호관 비탈면에 피복자재 시공구와 무시공구로 구분하여 식생은 무처리, 초본처리, 목본처리, 혼파처리를 할 수 있는 라이시메타(1.0×3.0m)를 각각 4개씩 8개를 2개가 한 조가 되도록 제작·설정하였다. 피복자재는 환경보전자재인 다기능 휠터를 사용

하였으며, 식생은 우리나라의 재래종인 목본 7종류와 초본 6종류를 도입하였다. 각 시험구의 제원은 <표 2-6> 과 같이 비탈면 평균물매는 31° , 면적은 3.0 m^2 , 모암은 화강암이며, 지질은 마사토로 척박건조하다.



<사진 2-1> 시험구의 제작과정 및 전경

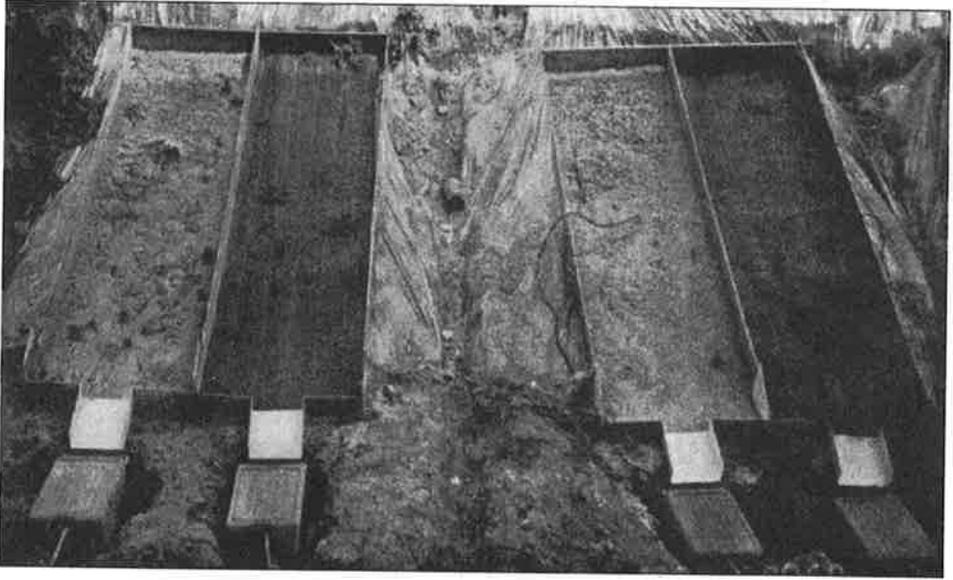
〈표 2-6〉 시험구의 제원 및 지황

크 기	평균경사도	모 암	지 질
3.0m ² (1.0m×3.0m)	31°	화 강 암	마사토(척박건조)

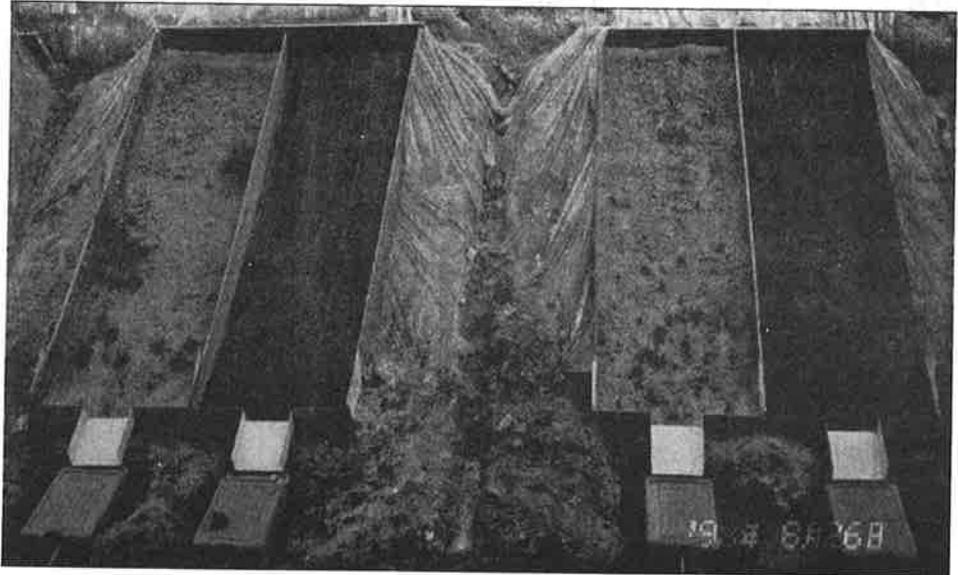
한편 식생도입 및 피복자재 상황은 〈사진 2-2〉, 〈사진 2-3〉 및 〈표 2-7〉 과 같이 시험구 1(나지), 시험구 2(나지+피복자재), 시험구 3(초본구: 낭아초, 붓꽃, 비수리 각 500립), 시험구 4(초본구+피복자재), 시험구 5(목본구: 철쭉, 참싸리 각각 500립), 시험구 6(목본구+피복자재), 시험구 7(혼파구: 참취, 붓꽃, 할미꽃, 냉이, 낭아초, 비수리, 철쭉, 참싸리는 각각 500립, 매발톱 250립, 갈기조팝나무, 산조팝나무, 생강나무는 각각 100립, 고추나무 90립), 시험구 8(혼파구+피복자재)이다.

〈표 2-7〉 시험구별 피복자재 및 식생의 처리방법

시험구	도 입 종 자 명	도 입 종 자 수
1	나 지	
2	피복자재만 시공	
3	낭아초, 붓꽃, 비수리	낭아초, 붓꽃, 비수리 각각 500립씩
4	(낭아초, 붓꽃, 비수리) + 피복자재	"
5	철쭉, 참싸리	철쭉, 참싸리 각각 500립씩
6	(철쭉, 참싸리) + 피복자재	"
7	참취, 붓꽃, 할미꽃, 냉이, 낭아초, 비수리, 철쭉, 참싸리, 갈기조팝나무, 산조팝나무, 매발톱, 고추나무, 생강나무	참취, 붓꽃, 할미꽃, 냉이, 낭아초, 비수리, 철쭉, 참싸리는 각각 500립, 갈기조팝나무, 산조팝나무, 생강나무는 각각 100립, 매발톱은 250립, 고추나무는 90립을 도입함
8	(참취, 붓꽃, 할미꽃, 냉이, 낭아초, 비수리, 철쭉, 참싸리, 갈기조팝나무, 산조팝나무, 생강나무, 매발톱, 고추나무) + 피복자재	"



〈사진 2-2〉 시험구 1, 2, 3 및 4의 전경



〈사진 2-3〉 시험구 5, 6, 7 및 8의 전경

2. 현지 시험구의 강우, 수질, 토사이동 및 식생조사

가. 강우 및 유출수 분석

1) 강우량 및 유출수량 측정

강원대학교 산림과학대학과 조사대상지의 공개지에 자기우량계를 설치하여 강우를 측정한 결과, 연구개시년도에 있어서 현지조사를 개시한 5월 19일부터 8월 15일 현재까지 지표유출이 발생한 강우는 <표 2-8> 과 같이 10회였다(6월 2~3일(강우 1): 24.9mm, 6월 13~14일(강우2): 9.0mm, 6월 18~19일(강우 3): 13.5mm, 6월 24~25일(강우 4): 78.5mm, 6월 30일~7월 3일(강우 5): 141.0mm, 7월 8~11일(강우 6): 91.0mm, 7월 14~22일(강우 7): 72.2mm, 7월 25~26일(강우 8): 23.5mm, 7월 31일~8월 1일(강우 9): 38.0mm 및 8월 4~15일(강우 10): 601.5mm).

각 강우별 표면 유출수량은 <표 2-9> 와 같이 강우 1: 1,350~2,500ml(평균 2,243ml), 강우 2: 700~2,000ml(평균 913ml), 강우 3: 870~1,180ml(평균 975ml), 강우 4: 7,010~21,100ml(평균 9,430ml), 강우 5: 12,500~65,050ml(평균 27,223ml), 강우 6: 7,000~39,700ml(평균 24,440ml), 강우 7: 5,930~38,750ml(평균 20,650ml), 강우 8: 2,500~23,820ml(평균 9,545ml), 강우 9: 3,740~52,320ml(평균 22,876ml) 및 강우 10: 357,020~903,310ml(평균 641,015ml)로 강우 2 → 강우 3 → 강우 1 → 강우 4 → 강우 8 → 강우 7 → 강우 9 → 강우 6 → 강우 5 → 강우 10의 순으로 나타났다. 시험구별로는 시험구 1: 700~792,740ml(평균 99,633ml), 시험구 2: 800~903,310ml(평균 99,714ml), 시험구 3: 1,180~674,850ml(평균 82,608ml), 시험구 4: 770~654,000ml(평균 70,275ml), 시험구 5: 700~596,490ml(평균 74,679ml), 시험구 6: 730~357,020ml(평균 40,069ml), 시험구 7: 800~704,640ml(평균

91,759ml) 및 시험구 8: 800~445,070ml(평균 445,070ml)로, 시험구 6 → 시험구 8 → 시험구 4 → 시험구 5 → 시험구 3 → 시험구 7 → 시험구 1 → 시험구 2의 순이었다. 따라서 유출수량은 피복자재의 도입여부보다 강우량에 영향을 강하게 받는 것으로 나타났다.

〈표 2-8〉 1998년도의 강우분포

강 우	강 우 발 생 일	강우량(mm)
1	6월 2일 13시 ~ 6월 3일 06시	24.9
2	6월 13일 11시 ~ 6월 14일 08시	9.0
3	6월 18일 21시 ~ 6월 19일 03시	13.5
4	6월 24일 18시 ~ 6월 25일 17시	78.5
5	6월 30일 17시 ~ 7월 3일 16시	141.0
6	7월 8일 07시 ~ 7월 11일 05시	91.0
7	7월 14일 09시 ~ 7월 22일 12시	72.2
8	7월 25일 17시 ~ 7월 26일 15시	23.5
9	7월 31일 21시 ~ 8월 1일 18시	38.0
10	8월 4일 09시 ~ 8월 15일 11시	601.5

〈표 2-9〉 1998년도의 강우별 각 시험구의 유출수량(ml)

강우 \ 시험구	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
1	1,350	2,500	2,200	2,320	2,400	2,400	2,380	2,390	2,243
2	700	800	2,000	770	700	730	800	800	913
3	870	1,080	1,180	900	870	900	1,050	950	975
4	13,000	7,600	8,240	7,010	7,020	7,240	20,100	5,230	9,430
5	33,075	15,600	32,445	14,400	32,140	12,570	65,050	12,500	27,223
6	39,700	17,650	39,670	9,300	35,600	7,000	38,900	7,700	24,440
7	38,750	18,340	26,490	7,360	29,230	6,180	32,920	5,930	20,650
8	23,820	7,220	10,000	2,500	11,440	2,910	15,750	2,720	9,545
9	52,320	23,040	29,000	4,190	30,900	3,740	36,000	3,820	22,876
10	792,740	903,310	674,850	654,000	596,490	357,020	704,640	445,070	641,015
평 균	99,633	99,714	82,608	70,275	74,679	40,069	91,759	48,711	

2) 강우 및 유출수의 pH와 EC

pH는 강우의 경우 전체적으로 보아 6.10~6.90(평균 6.48) 사이에 분포하여 <표 2-10>, 조사기간중에는 대체로 중성의 비가 내리고 있었다. 그러나 유출수의 pH는 강우 1: 5.59~6.05(평균 5.82), 강우 2: 6.05~6.29(평균 6.19), 강우 3: 6.16~6.40(평균 6.27), 강우 4: 5.80~6.20(평균 6.09), 강우 5: 5.64~5.83(평균 5.75), 강우 6: 5.50~6.40(평균 5.98), 강우 7: 5.64~6.07(평균 5.82), 강우 8: 5.60~5.90(평균 5.95), 강우 9: 5.64~5.87(평균 5.68) 및 강우 10: 5.74~6.12(평균 5.74)로 강우 9 → 강우 10 → 강우 5 → 강우 1 → 강우 7 → 강우 8 → 강우 6 → 강우 4 → 강우 2 → 강우 3의 순으로 나타났다.

시험구별로는 시험구 1: 5.53~6.30(평균 5.82), 시험구 2: 5.56~6.40(평균 5.94), 시험구 3: 5.50~6.27(평균 5.91), 시험구 4: 5.36~6.50(평균 5.93), 시험구 5: 5.70~6.24(평균 5.94), 시험구 6: 5.68~6.22(평균 5.97), 시험구 7: 5.60~6.40(평균 5.93) 및 시험구 8: 5.76~6.29(평균 5.99)로, 시험구 1 → 시험구 3 → 시험구 7 → 시험구 4 → 시험구 2 → 시험구 5 → 시험구 6 → 시험구 8의 순이었다. 따라서 pH의 경우 시험구보다는 강우에 영향을 강하게 받는 것으로 나타났으며 <표 2-11>, 강우에 비해 유출수의 pH가 낮게 나타났다.

<표 2-10> 1998년도에 있어서 강우의 pH와 EC($\mu\text{s}/\text{cm}$)

강우	pH	EC	강우	pH	EC
1	6.45	28	6	6.10	14
2	6.80	53	7	6.85	84
3	----	--	8	6.10	5
4	6.90	50	9	6.80	7
5	6.20	68	10	6.10	12

〈표 2-11〉 1998년도의 각 시험구에 있어서 강우별 유출수의 pH

강우 \ 시험구	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
1	5.82	5.74	5.71	5.59	5.81	5.97	5.83	6.05	5.82
2	6.05	6.07	6.27	6.29	6.23	6.22	6.18	6.20	6.19
3	6.30	6.26	6.22	6.30	6.24	6.16	6.40	6.29	6.27
4	5.80	6.10	6.20	6.00	6.10	6.10	6.20	6.20	6.09
5	5.77	5.64	5.70	5.70	5.83	5.82	5.78	5.76	5.75
6	5.60	6.40	5.50	6.50	6.20	5.90	5.60	6.10	5.98
7	5.63	5.84	5.82	5.86	5.78	5.94	5.81	5.86	5.82
8	5.74	5.87	6.07	6.00	5.82	6.12	5.98	5.99	5.95
9	5.93	5.56	5.74	5.36	5.71	5.68	5.73	5.69	5.68
10	5.53	5.90	5.83	5.71	5.70	5.75	5.75	5.71	5.54
평균	5.82	5.94	5.91	5.93	5.94	5.97	5.93	5.99	

EC는 강우의 경우 전체적으로 보아 5~84 μ S/cm(평균 36 μ S/cm)에 분포하고 있었지만, 강우량과의 상관관계는 나타나지 않았다. 또한 유출수의 EC는 강우 1: 13~18 μ S/cm(평균 15 μ S/cm), 강우 2: 29~78 μ S/cm(평균 47 μ S/cm), 강우 3: 28~48 μ S/cm(평균 38 μ S/cm), 강우 4: 6~15 μ S/cm(평균 10 μ S/cm), 강우 5: 5~11 μ S/cm(평균 8 μ S/cm), 강우 6: 11~23 μ S/cm(평균 17 μ S/cm), 강우 7: 8~11 μ S/cm(평균 9 μ S/cm), 강우 8: 5~8 μ S/cm(평균 6 μ S/cm), 강우 9: 5~10 μ S/cm(평균 7 μ S/cm) 및 강우 10: 4~10 μ S/cm(평균 6 μ S/cm)로 강우 8 → 강우 10 → 강우 9 → 강우 5 → 강우 7 → 강우 4 → 강우 1 → 강우 6 → 강우 3 → 강우 2의 순이었다. 시험구별로는 시험구 1: 5~36 μ S/cm(평균 15 μ S/cm), 시험구 2: 5~31 μ S/cm(평균 13 μ S/cm), 시험구 3: 5~52 μ S/cm(평균 17 μ S/cm), 시험구 4: 4~48 μ S/cm(평균 17 μ S/cm), 시험구 5: 5~78 μ S/cm(평균 19 μ S/cm), 시험구 6: 4~40 μ S/cm(평균 17 μ S/cm), 시험구 7: 5~72 μ S/cm(평균 18 μ S/cm) 및 시험구 8: 5~38 μ S/cm(평균 15 μ S/cm)로 시험구 2 → 시험구 8 → 시험구 1 → 시험구 4 → 시험구 3 → 시험구 6 → 시험구 7 → 시험구 5의 순이었다. 따라서 전기전도도의 경우도 pH와 같이 시험구보다 강우에 강하게 영향을 받는 것으로

나타났다.

〈표 2-12〉 1998년도의 각 시험구에 있어서 강우별 유출수의 EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)

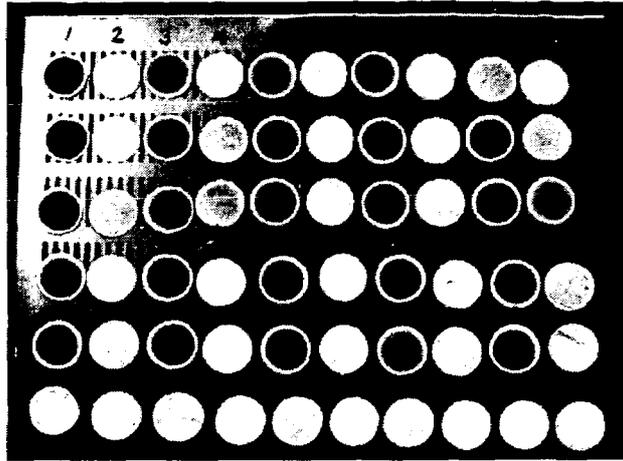
강우 \ 시험구	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
1	13	14	18	13	17	15	15	14	15
2	35	31	52	40	78	39	72	29	47
3	36	28	46	48	38	40	31	38	38
4	12	6	9	12	8	11	7	15	10
5	8	9	7	5	5	11	9	7	8
6	12	18	11	23	18	21	20	16	17
7	9	8	8	9	9	10	11	9	9
8	8	5	5	6	5	5	5	5	6
9	10	5	5	7	5	8	5	9	7
10	5	10	6	4	9	5	6	5	6
평균	15	13	17	17	19	17	18	15	

3) 각 시험구에 있어서 유출수의 부유물질

유출수의 부유물질은 우선 유리섬유여지(GF/C)를 증류수로 세척한 다음 105~110℃의 건조기 안에서 2시간동안 건조한 후 무게를 정밀하게 측정한다. 이어서 이 유리섬유여지를 여과기에 부착시키고, 〈사진 2-4〉와 같이 부착후 즉시 일정량의 시료를 여과시킨 다음 유리섬유여지를 다시 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조하여 다음의 식 (1)과 같은 방법으로 여과전·후의 유리섬유여지의 무게 차를 산출하여 부유물질량을 계산하였다.

$$S.S. = (b-a) \cdot \frac{1,000}{V} \quad \text{----- 식 (1)}$$

여기서 S.S.는 부유물질량(g/ℓ), a와 b는 각각 여과 전·후의 유리섬유여지 무게, V는 시료의 양(ml)이다.



〈사진 2-4〉 부유물질을 여과시킨 유리섬유여지

각 시험구에 있어서 부유물질량(g/50ml)은 〈표 2-13〉과 같이 강우 1: 0.0006~0.0074g/50ml(평균0.0032g/50ml), 강우 2: 0.0001~0.0015g/50ml(평균 0.0007g/50ml), 강우 3: 0.0001~0.0008g/50ml(평균 0.0003g/50ml), 강우 4: 0.0017~0.1007g /50ml(평균 0.0155g/50ml), 강우 5: 0.0007~0.0914g/50 ml(평균 0.0190g/50ml), 강우 6: 0.0002~0.1769g/50ml(평균 0.0267g/50ml), 강우 7: 0.0025~0.0529g/50ml(평균 0.0148g/50ml), 강우 8: 0.0003~0.0264 g/50ml(평균 0.0049g/50ml), 강우 9: 0.0007~0.0072g/50ml(평균 0.0032g/50 ml) 및 강우 10: 0.0019~0.1113g/50ml(평균 0.0367g/50ml)로, 강우 10 → 강우 6 → 강우 5 → 강우 4 → 강우 7 → 강우 8 → 강우 1 → 강우 9 → 강우 2 → 강우 3의 순으로 나타났다. 시험구별 부유물질량은 시험구 1: 0.0006~0.1113g/50ml(평균 0.0293g/50ml), 시험구 2: 0.0001~0.0039g/50ml(평균 0.0017g/50ml), 시험구 3: 0.0001~0.0326g/50ml(평균 0.0039g/50ml), 시험구 4: 0.0001~0.0094g/50ml(평균 0.0023g/50ml), 시험구 5: 0.0001~0.0636g/50 ml(평균 0.0126g/50ml), 시험구 6: 0.0001~0.0075g/50ml(평균 0.0025g/50

ml), 시험구 7: 0.0006~0.1769g/50ml(평균 0.0379g/50ml) 및 시험구 8: 0.0002~0.0154g /50ml(평균 0.0042g/50ml)로, 시험구 7 → 시험구 1 → 시험구 5 → 시험구 3 → 시험구 8 → 시험구 6 → 시험구 4 → 시험구 2의 순이었다. 따라서 부유물질량은 다기능 필터의 도입여부와 강우량에 영향을 강하게 받는 것으로 나타났다.

〈표 2-13〉 1998년도의 각 시험구에 있어서 유출수의 부유물질량(g/50ml)

시험구 강우	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
1	0.0031	0.0013	0.0033	0.0006	0.0043	0.0016	0.0074	0.0041	0.0032
2	0.0006	0.0002	0.0015	0.0007	0.0001	0.0001	0.0015	0.0009	0.0007
3	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002	0.0006	0.0002	0.0003
4	0.1007	0.0020	0.0020	0.0017	0.0060	0.0053	0.0045	0.0017	0.0155
5	0.0048	0.0007	0.0087	0.0094	0.0178	0.0040	0.0914	0.0154	0.0190
6	0.0073	0.0002	0.0038	0.0004	0.0060	0.0075	0.1769	0.0111	0.0267
7	0.0529	0.0071	0.0094	0.0025	0.0210	0.0030	0.0196	0.0031	0.0148
8	0.0045	0.0008	0.0264	0.0013	0.0018	0.0003	0.0017	0.0027	0.0049
9	0.0072	0.0011	0.0050	0.0008	0.0052	0.0011	0.0033	0.0007	0.0031
10	0.1113	0.0039	0.0326	0.0059	0.0636	0.0019	0.0716	0.0024	0.0367
평균	0.0293	0.0017	0.0093	0.0023	0.0126	0.0025	0.0379	0.0042	

각 시험구에 있어서 총부유물질량은 〈표 2-14〉와 같이 강우 1: 1.39~17.61g(평균 7.21g), 강우 2: 0.07~3.00g(평균 0.77g), 강우 3: 0.09~0.70g(평균 0.28g), 강우 4: 8.89~1,309.10g(평균 191.57g), 강우 5: 10.92~5,945.57g(평균 918.47g), 강우 6: 3.53~6,881.41g(평균 960.10g), 강우 7: 18.38~2,049.88g(평균 467.94g), 강우 8: 0.87~264.00g(평균 54.48g), 강우 9: 2.67~376.70g(평균 104.58g) 및 강우 10: 678.34~88,231.96g(평균 25,968.63g)로, 강우 3 → 강우 2 → 강우 1 → 강우 8 → 강우 9 → 강우 4 → 강우 7 → 강우 5 → 강우 6 → 강우 10의 순으로 나타났다. 또한 시험구 별 총 부유물질량은 시험구 1: 0.42~88,231.96g(평균 9,252.86g), 시험구 2: 0.11~3,522.91g(평균 371.74g), 시험구 3: 0.12~22,000.11g(평균 2,311.80

g), 시험구 4: 0.09~3,858.60g(평균 403.66g), 시험구 5: 0.07~37,936.76g(평균 3,957.03g), 시험구 6: 0.07~678.34g(평균 84.71g), 시험구 7: 0.63~50,452.22g(평균 6,417.99g) 및 시험구 8: 0.19~1,068.17g(평균 139.41g)로, 시험구 6 → 시험구 8 → 시험구 2 → 시험구 4 → 시험구 3 → 시험구 5 → 시험구 7 → 시험구 1의 순이었다. 따라서 전체적으로 보아 총 부유물질량은 피복자재의 도입여부와 강우량에 강하게 영향을 받는 것으로 나타났다.

〈표 2-14〉 1998년도의 각 시험구에 있어서 유출수의 총부유물질량(g)

강우	시험구 1	2	3	4	5	6	7	8	평균
1	4.19	3.25	7.26	1.39	10.32	3.84	17.61	9.80	7.21
2	0.42	0.16	3.00	0.54	0.07	0.07	1.20	0.72	0.77
3	0.70	0.11	0.12	0.09	0.26	0.18	0.63	0.19	0.28
4	1,309.10	15.20	16.48	11.92	42.12	38.37	90.45	8.89	191.57
5	158.76	10.92	282.27	135.36	572.09	50.28	5,945.57	192.50	918.47
6	289.81	3.53	150.75	3.72	213.60	52.50	6,881.41	85.47	960.10
7	2,049.88	130.21	249.01	18.40	613.83	18.54	645.23	18.38	467.94
8	107.19	5.78	264.00	3.25	20.59	0.87	26.78	7.34	54.48
9	376.70	25.34	145.00	3.35	160.68	4.11	118.80	2.67	104.58
10	88,231.96	3,522.91	22,000.11	3,858.60	37,936.76	678.34	50,452.22	1,068.17	25,968.63
평균	9,252.86	371.74	2,311.80	403.66	3,957.03	84.71	6,417.99	139.41	

4) 각 시험구의 토사 유출량

유출토사량은 강우 종료후 물받이에 유출되어 있는 토사를 채취, 실내에서 풍건한 후, 전기오븐에서 250℃로 약 2시간 건조하여 물기를 완전히 제거한 후에 무게를 측정하였다.

강우별 토사유출은 〈표 2-15〉와 같이 나지 시험구인 흙수 시험구가 피복자재를 시공한 짝수 시험구에 비해 전체적으로 토사유출량이 많았으며, 강우량에도 크게 영향을 받은 것으로 나타났다. 특히 시험구 시공 직후에 내린 강우 1(6월 2~3일: 24.9mm), 강우2(6월 13~14일: 9.0mm), 강우 3(6월 18~19

일: 13.5mm) 의 경우에는 유출수량 자체가 적어 토사가 거의 유출하지 않았으며, 강우에 따라 비례하여 유출토사량이 증가하는 경향이 명확히 나타났다. 즉 강우 4: 0.02~24.90g(평균 7.52g), 강우 5: 2.65~198.77g(평균 42.71g), 강우 6: 3.21~36.52g(평균 16.09g), 강우 7: 4.56~150.71g(평균 49.73g), 강우 8: +~16.24g(평균 3.70g), 강우 9: 0.67~46.36g(평균 17.27g) 및 강우 10: 36.91~10,346.68g(평균 3,476.02g)로, 강우 8 → 강우 4 → 강우 6 → 강우 9 → 강우 5 → 강우 7 → 강우 10의 순으로 나타났다. 또한 시험구 별 토사유출량은 시험구 1: 11.83~10,346.68g(평균 1,327.85g), 시험구 2: 0.30~129.85(평균 19.52g), 시험구 3: 0.51~3,228.76g(평균 413.15g), 시험구 4: +~65.61g(평균 15.64g), 시험구 5: 1.99~5,585.94g(평균 718.27g), 시험구 6: +~36.91g(평균 9.64g), 시험구 7: 10.29~8,296.90(평균 1,089.31g) 및 시험구 8: 0.02~117.54g(평균 19.67g)로, 시험구 6 → 시험구 4 → 시험구 2 → 시험구 8 → 시험구 3 → 시험구 5 → 시험구 7 → 시험구 1의 순이었다. 따라서 전체적으로 보아 토사유출량은 피복자재의 도입여부와 강우량에 강하게 영향을 받는 것으로 나타났다.

〈표 2-15〉 각 시험구에 있어서 1998년도의 토사유출량

강우 \ 시험구	1	2	3	4	5	6	7	8	평균
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	11.83	2.30	6.10	6.60	3.89	4.51	24.90	0.02	7.52
5	14.82	2.65	17.71	42.94	31.49	12.65	198.77	20.62	42.71
6	36.52	8.06	21.36	3.21	19.65	6.25	26.80	6.87	16.09
7	150.71	12.29	22.14	4.56	82.73	7.28	110.45	7.66	49.73
8	16.24	0.30	0.51	+	1.99	+	10.29	0.25	3.70
9	45.99	0.67	8.59	2.20	20.44	9.49	46.36	4.41	17.27
10	10,346.68	129.85	3,228.76	65.61	5,585.94	36.91	8,296.90	117.54	3,476.02
평균	1,327.85	19.52	413.15	15.64	718.27	9.64	1,089.31	19.67	

5) 강우 및 유출수의 음이온 농도

실내실험에서는 수질의 일반적인 조사항목과 수목의 생리적 생육에 영향을 미치는 양분 중에서 중복되는 Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{2-} 및 SO_4^{2-} 등을 정량화하였다. 이중에서 8월 15일 현재까지 채수한 강우 및 각 시험구에 있어서 유출수의 음이온 분석결과는 <표 2-16>, <표 2-17>, <표 2-18>, <표 2-19>, <표 2-20>, <표 2-21>, <표 2-22>, <표 2-23> 및 <표 2-24> 와 같다.

<표 2-16> 1998년도의 강우별 음이온 농도변화

강우 / 음이온	F	Cl	NO_3	PO_4	SO_4
1	1.23857	0.94046	2.50120	+	3.44304
2	1.25993	0.86904	4.31910	+	7.55807
3	-----	-----	-----	-----	-----
4	0.85528	1.22027	+	9.10581	+
5	-----	-----	-----	-----	-----
6	0.72702	0.55098	1.84855	+	+
7	1.36277	1.71652	8.55268	+	8.10520
8	0.95319	0.16542	0.55688	+	0.74886
9	-----	-----	-----	-----	-----
10	0.66091	0.27115	1.33085	+	1.91569

<표 2-17> 시험구 1에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화

강우 / 음이온	F	Cl	NO_3	PO_4	SO_4
1	-0.21596	0.50299	1.98628	+	1.97940
2	0.14166	4.79950	3.15804	+	2.79336
3	-0.21272	1.19754	5.78435	+	3.99303
4	-0.19404	1.98286	1.44524	+	-0.21576
5	-0.27700	0.07871	0.59112	+	-0.56090
6	-0.19537	-0.11370	0.83334	+	-0.42301
7	-0.31594	-0.26620	0.25384	+	-0.23279
8	0.01491	1.24601	-0.14617	+	+
9	-0.31218	-0.41170	0.75346	+	0.99989
10	-0.12468	1.76356	2.56820	+	1.88170

〈표 2-18〉 시험구 2에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화

강우 / 음이온	F	Cl	NO ₃	PO ₄	SO ₄
1	-0.28926	-0.33420	-0.05965	+	1.14901
2	-0.18751	0.94802	2.22074	+	2.22173
3	0.16607	3.93052	4.32051	+	3.66107
4	-0.07649	-0.01820	0.81459	+	-0.71018
5	0.17976	3.37821	0.46699	+	0.62583
6	0.08692	-0.06000	-0.23727	+	-0.4238
7	-0.50257	-0.63050	0.71776	+	-0.46783
8	0.16394	4.73990	0.28054	-0.83206	2.54015
9	0.09892	1.02935	1.05009	+	+
10	-0.13605	0.26992	-0.05880	+	-0.23365

〈표 2-19〉 시험구 3에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화

강우 / 음이온	F	Cl	NO ₃	PO ₄	SO ₄
1	-0.25116	-0.02710	0.41951	+	1.23107
2	0.17641	3.47625	3.08030	+	2.09352
3	-0.18788	2.04364	6.23804	+	4.31039
4	-0.18834	0.77574	0.86741	+	-0.50719
5	1.04859	0.55367	0.29757	+	0.09621
6	-0.53155	-0.54780	-0.58746	+	-0.39937
7	-0.56570	-0.63110	0.55288	+	-0.54540
8	2.99986	3.39897	0.41129	+	0.66427
9	-0.34772	-0.61540	0.97488	+	+
10	+	0.08364	-0.23311	+	-0.23424

〈표 2-20〉 시험구 4에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화

강우 / 음이온	F	Cl	NO ₃	PO ₄	SO ₄
1	-0.26955	-0.17160	0.63958	+	1.12402
2	-0.21130	0.98331	2.44169	+	2.12154
3	-0.21065	2.37248	6.69846	-0.85257	4.64455
4	-0.18743	2.33865	0.50540	-0.86740	-0.43879
5	0.08107	-0.28240	0.46394	+	-0.45869
6	-0.52904	-0.61800	-0.67334	+	-0.42970
7	0.08089	-0.32410	-0.12116	+	-0.25814
8	0.22317	1.47682	0.06271	+	0.29537
9	0.11824	3.15412	2.80369	+	+
10	0.91572	0.08520	-0.34261	+	-0.52299

〈표 2-21〉 시험구 5에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화

강우 / 음이온	F	Cl	NO ₃	PO ₄	SO ₄
1	-0.21920	0.17316	1.49560	+	1.14176
2	0.06673	12.44660	3.81038	+	2.82924
3	-0.17229	0.90637	6.19109	+	3.97719
4	0.95505	1.07526	1.14630	+	-0.72621
5	-0.12909	0.11376	0.82299	+	-0.59559
6	-0.58237	-0.51110	-0.09917	+	-0.21279
7	-0.56135	-0.52460	0.82698	+	-0.50467
8	0.12584	1.99316	-0.59351	+	-0.31470
9	-0.02937	0.76081	1.09601	+	+
10	+	-0.15420	-0.91250	+	-0.76500

〈표 2-22〉 시험구 6에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화

강우 / 음이온	F	Cl	NO ₃	PO ₄	SO ₄
1	1.45601	2.82417	1.58368	+	1.35986
2	0.11096	4.37762	2.64386	+	2.80573
3	-0.19268	1.22354	6.87026	+	4.13709
4	-0.15206	0.07612	-0.17118	+	-0.50179
5	0.95854	0.78686	1.16911	+	0.09452
6	-0.61725	2.36337	3.59491	+	0.34909
7	-0.56413	-0.21380	1.15919	+	-0.20649
8	0.92941	1.08335	0.64377	+	0.26877
9	0.92941	1.08335	0.64377	+	0.26877
10	0.80949	0.10685	-0.66962	+	-0.09625

〈표 2-23〉 시험구 7에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화

강우 / 음이온	F	Cl	NO ₃	PO ₄	SO ₄
1	-0.19459	0.03407	1.33780	+	1.00821
2	-0.22144	0.75568	1.74892	+	2.21233
3	-0.17920	2.40264	6.60215	+	3.99529
4	-0.55381	-0.37720	-0.74634	+	-0.72700
5	0.10298	4.94259	1.26399	+	-0.06032
6	-0.26807	-0.56500	-0.58292	+	-0.32818
7	-0.29095	-0.46040	-0.37890	+	-0.52604
8	0.12136	3.32014	0.14854	+	-0.06867
9	-0.63391	0.25398	1.13398	+	+
10	0.72679	2.24107	-0.15187	+	0.07798

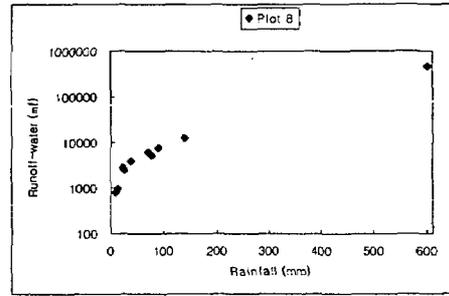
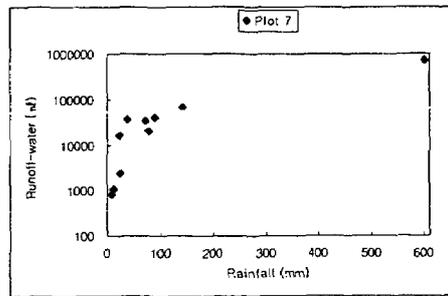
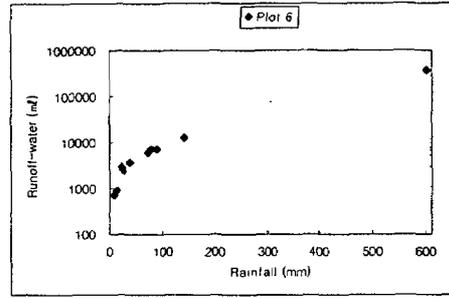
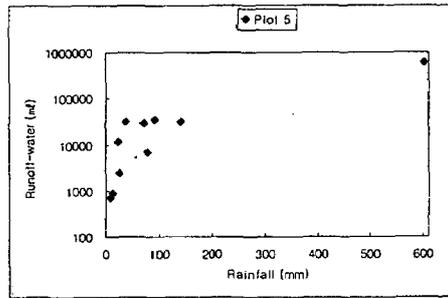
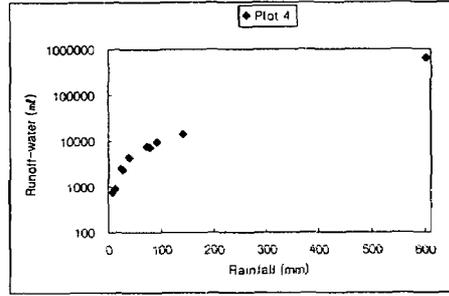
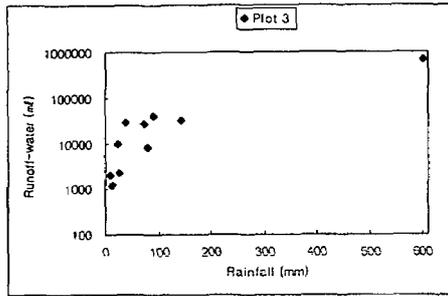
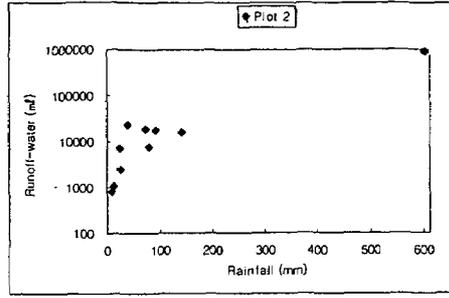
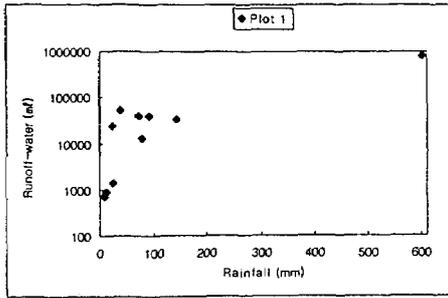
〈표 2-24〉 시험구 8에 있어서 1998년도의 강우별 음이온 농도변화

강우	음이온	F	Cl	NO ₃	PO ₄	SO ₄
1		-0.15860	0.58851	1.68917	+	1.11077
2		-0.20286	0.69043	1.68956	+	1.94499
3		-0.19112	0.35898	6.59812	+	4.16369
4		-0.21651	-0.37890	-1.11080	+	-0.73094
5		0.89415	0.67023	1.25572	+	0.07486
6		-0.29974	-0.38570	-0.48321	+	-0.40074
7		-0.20870	-0.20940	1.47504	+	-0.30477
8		0.14750	0.28523	-0.00412	+	0.11741
9		0.02379	0.51662	1.71689	+	+
10		1.90891	0.96917	0.02118	+	-0.46044

나. 1998년도의 강우, 유출수량과 pH, EC, 부유물질 및 유출토사량과의 관계

1) 강우와 유출수량과의 관계

시험구를 설치하고 현지조사를 개시한 5월 19일부터 8월 15일 현재까지 지표유출이 발생한 강우는 10회였다. 1998년도의 강우별 표면 유출수량은 〈그림 2-7〉에서 알 수 있듯이 전체적으로는 강우 2 → 강우 3 → 강우 1 → 강우 4 → 강우 8 → 강우 7 → 강우 9 → 강우 6 → 강우 5 → 강우 10의 순으로 나타나 강우가 증가함에 따라 비례하여 유출수량이 증가하는 경향이 명확하게 나타났다. 시험구별로 유출수량은 시험구 6 → 시험구 8 → 시험구 4 → 시험구 5 → 시험구 3 → 시험구 7 → 시험구 1 → 시험구 2의 순으로 나타나, 시험구 2를 제외하면 피복자재를 설치한 시험구가 미설치구보다 명확하게 감소하는 것을 알 수 있었으며, 본 조사가 지속적으로 진행되면 피복자재의 유출수 조정능을 파악할 수 있을 것으로 사료된다.



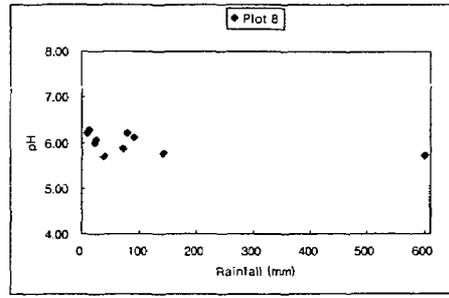
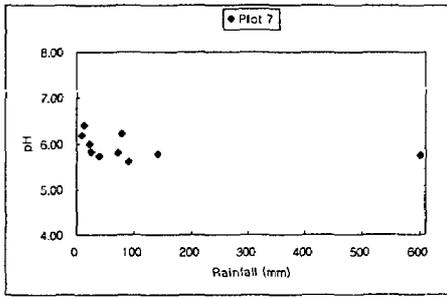
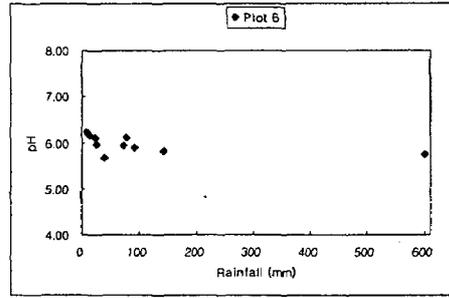
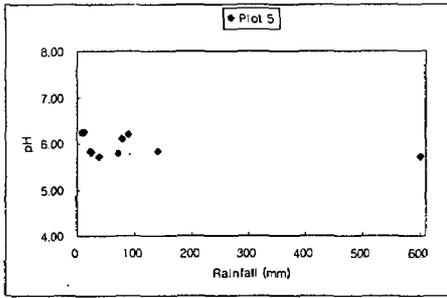
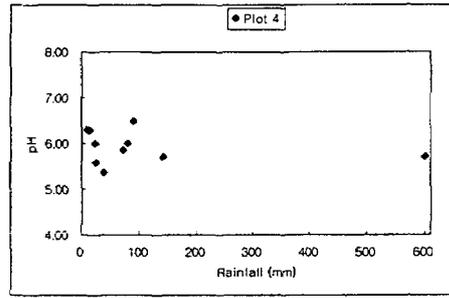
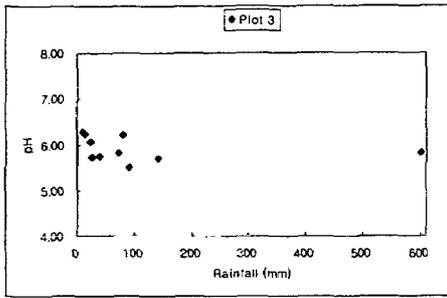
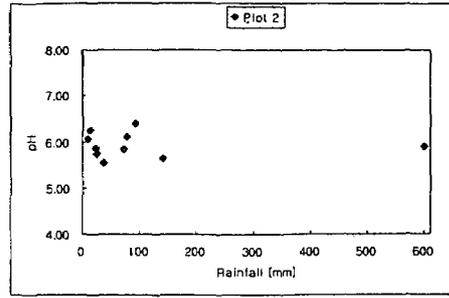
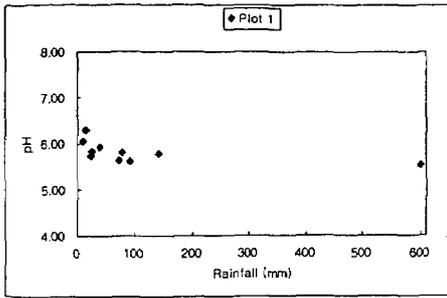
〈그림 2-8〉 강우량과 유출수량의 관계

2) 각 시험구별 pH 및 EC의 변화

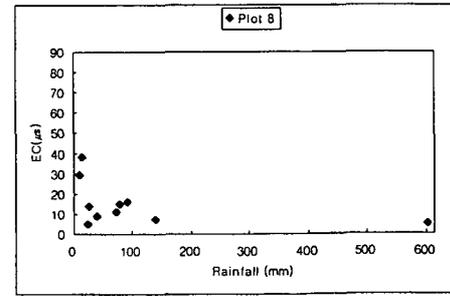
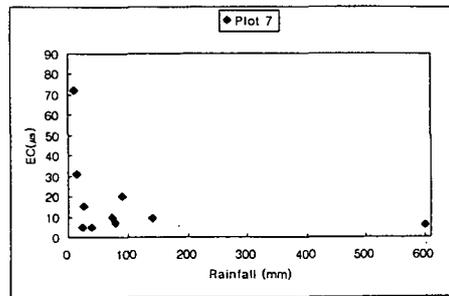
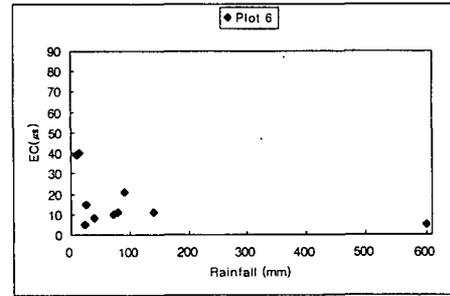
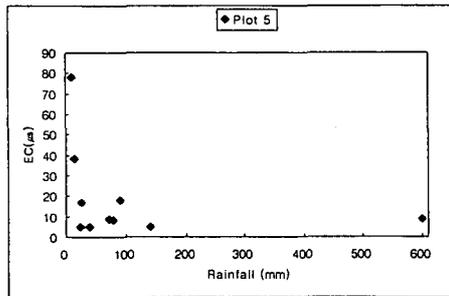
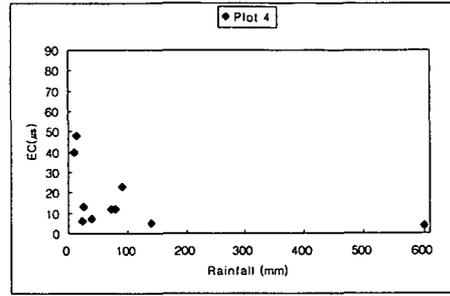
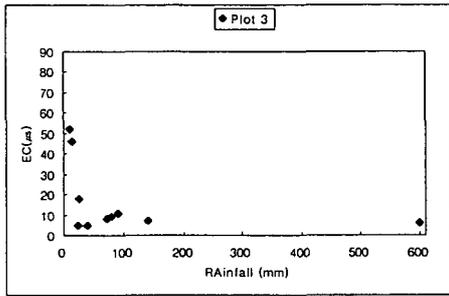
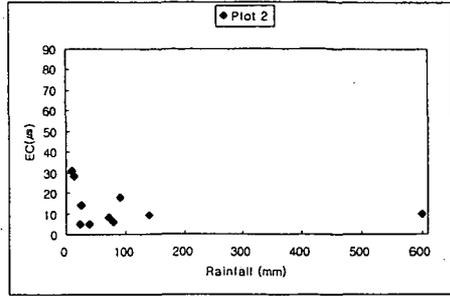
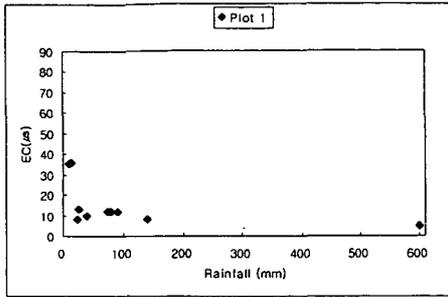
강우의 pH는 6.10~6.90(평균 6.48) 사이에 분포하여, 조사기간중에는 대체로 중성의 비가 내리고 있었으며, 강우에 비해 유출수의 pH가 낮게 나타났다. 즉 유출수의 pH는 <그림 2-9>에서 알 수 있듯이 강우 9 → 강우 10 → 강우 5 → 강우 1 → 강우 7 → 강우 8 → 강우 6 → 강우 4 → 강우 2 → 강우 3의 순으로, 시험구별로는 시험구 1 → 조사0구 3 → 시험구 7 → 시험구 4 → 시험구 2 → 시험구 5 → 시험구 6 → 시험구 8의 순으로 나타났으나, pH의 경우 시험구와 강우에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

한편 EC는 강우의 경우 전체적으로 보아 5~84 μ s/cm(평균 36 μ s/cm)에 분포하고 있었지만, 강우량과의 명확한 상관관계는 발견할 수 없었다. 그러나 유출수의 EC는 <그림 2-10>과 같이 강우 8 → 강우 10 → 강우 9 → 강우 5 → 강우 7 → 강우 4 → 강우 1 → 강우 6 → 강우 3 → 강우 2의 순으로, 시험구별로는 시험구 2 → 시험구 8 → 시험구 1 → 시험구 4 → 시험구 3 → 시험구 6 → 시험구 7 → 시험구 5의 순으로 각각 나타나, 전체적으로 강우가 증가함에 따라 유출수의 전기전도도가 감소하는 경향이 나타났다.

즉 강우가 토양을 통과하면서 삼림토양이 존재하지 않는 상태에서는 오히려 산성화하여 유출하는 것을 확인 할 수 있었으며, 이러한 특성은 강우에 관계 없이 나타났다. 따라서 식생의 자연적 또는 인위적으로 도입이 산성우의 완충 작용에 미치는 영향을 구체적으로 파악하기 위해서는 앞으로 상당기간동안 다양한 지역을 대상으로 지속적인 조사가 이루어져야 할 것이며, 이와같은 자료는 비탈면에 도입할 수종을 선택하는 데에도 유효하게 이용될 수 있을 것이다.



<그림 2-9> 각 시험구별 유출수의 pH 변화

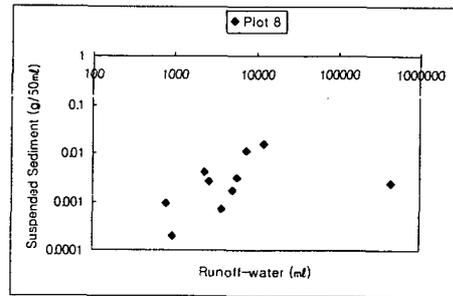
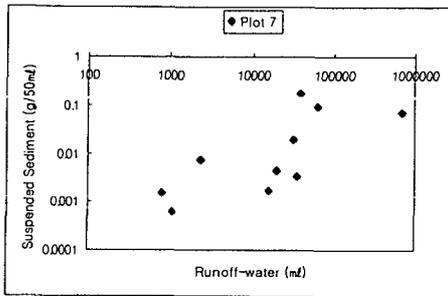
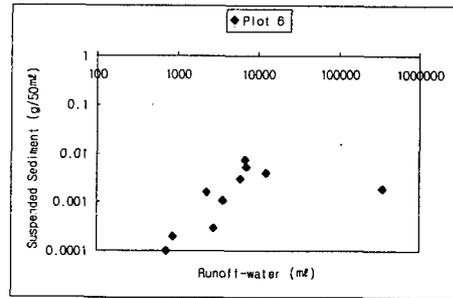
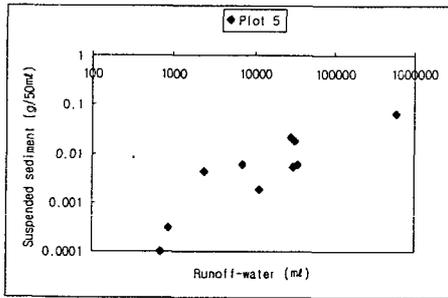
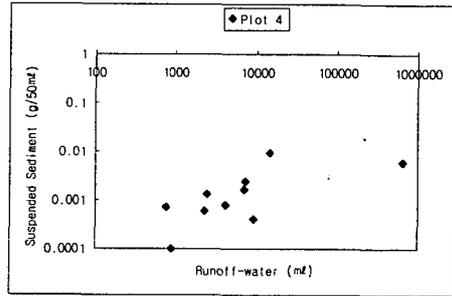
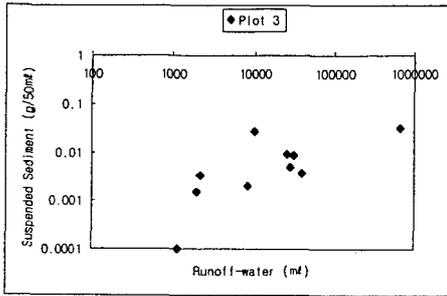
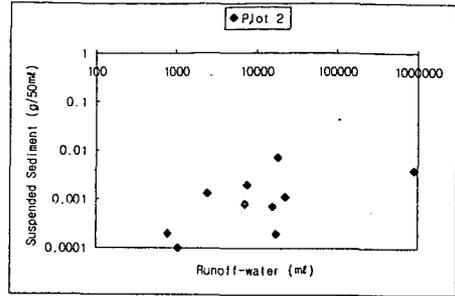
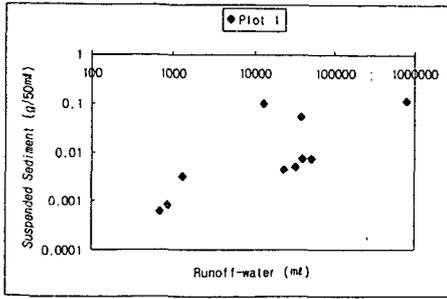


〈그림 2-10〉 각 시험구별 유출수의 EC 변화

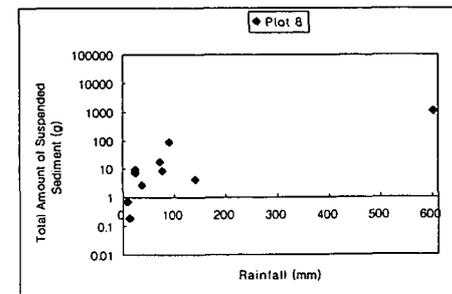
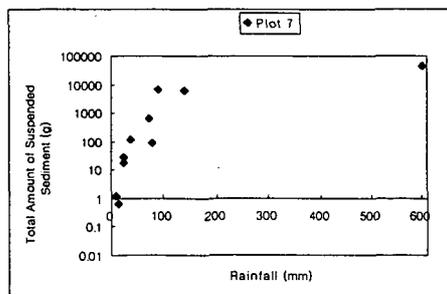
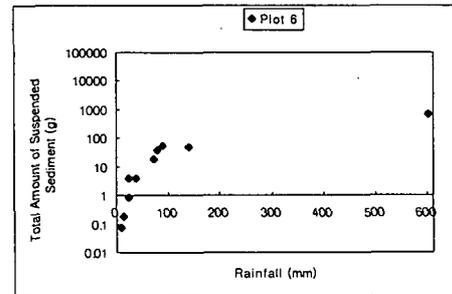
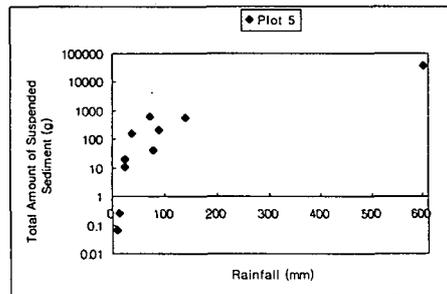
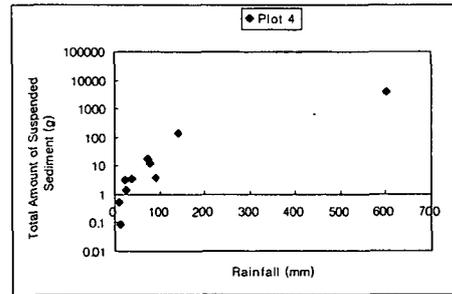
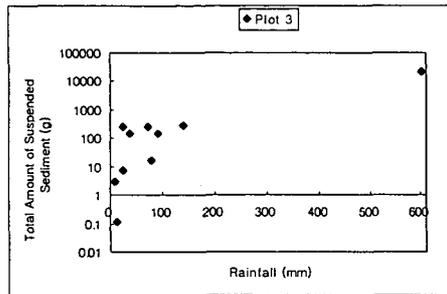
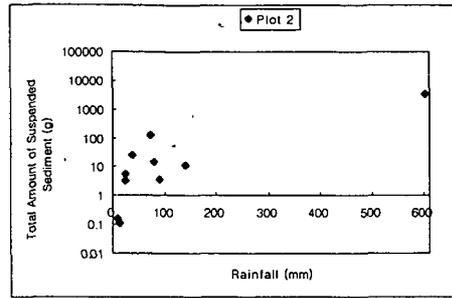
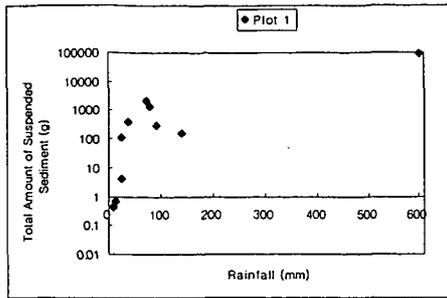
3) 유출수량과 부유물질과의 관계

각 시험구에 있어서 부유물질량(g/50ml)은 <그림 2-11> 과 <그림 2-12> 에서 알 수 있듯이 강우 10 → 강우 6 → 강우 5 → 강우 4 → 강우 7 → 강우 8 → 강우 1 → 강우 9 → 강우 2 → 강우 3의 순으로, 시험구별 부유물질량은 시험구 7 → 시험구 1 → 시험구 5 → 시험구 3 → 시험구 8 → 시험구 6 → 시험구 4 → 시험구 2의 순으로 각각 나타났다. 따라서 부유물질량은 시험구와 강우에 영향을 강하게 받는 것으로 나타났다.

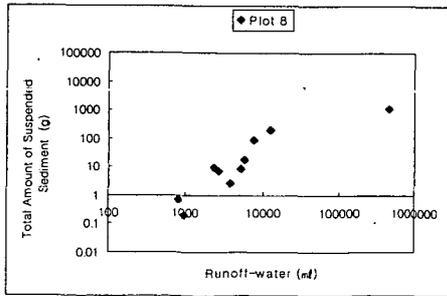
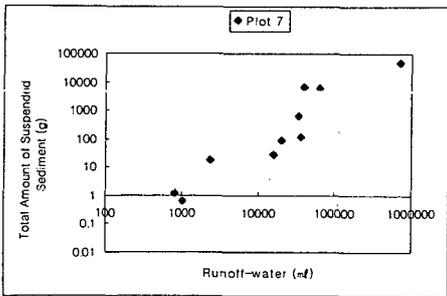
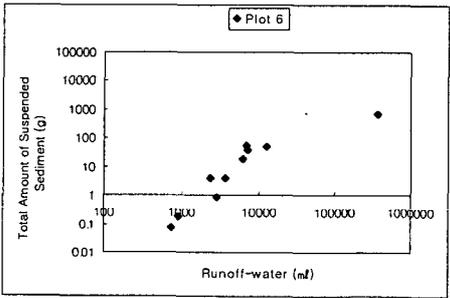
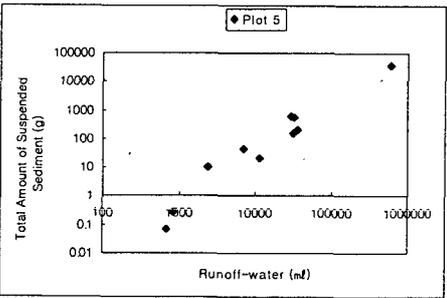
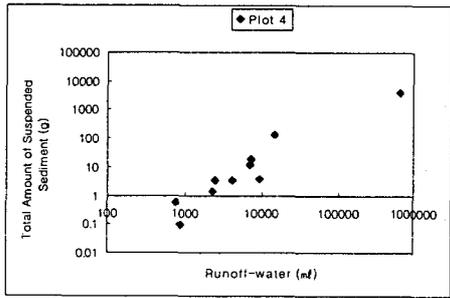
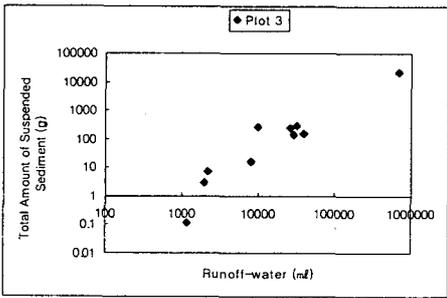
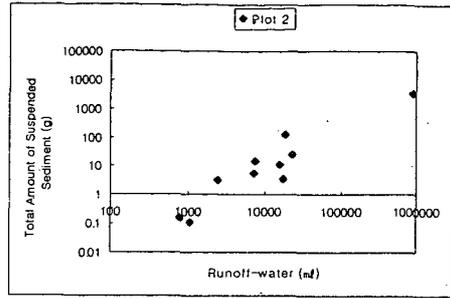
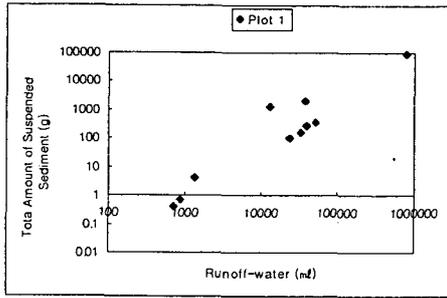
또한 각 시험구에 있어서 총 부유물질량은 <그림 2-13> 및 <그림 2-14> 과 같이 강우 3 → 강우 2 → 강우 1 → 강우 8 → 강우 9 → 강우 4 → 강우 7 → 강우 5 → 강우 6 → 강우 10의 순으로, 시험구별 총 부유물질량은 시험구 6 → 시험구 8 → 시험구 2 → 시험구 4 → 시험구 3 → 시험구 5 → 시험구 7 → 시험구 1의 순으로 나타났다. 따라서 전체적으로 보아 총 부유물질량은 시험구와 강우에 강하게 영향을 받는 것으로 나타나 강우량이 증가함에 따라, 또한 피복자재의 도입에 의해 부유물질의 유출에 효과적인 것을 파악할 수 있었다.



〈그림 2-12〉 유출수량과 부유물질과의 관계



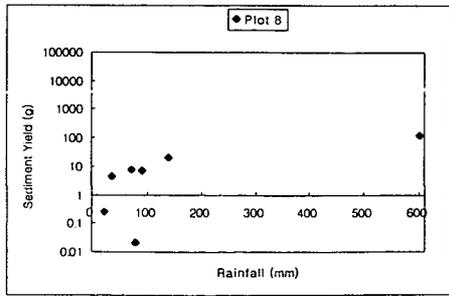
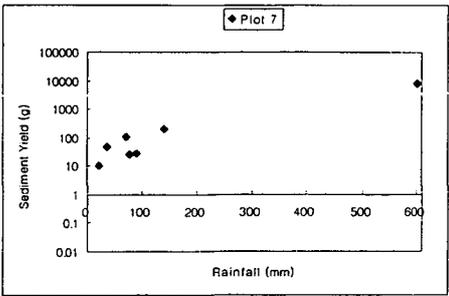
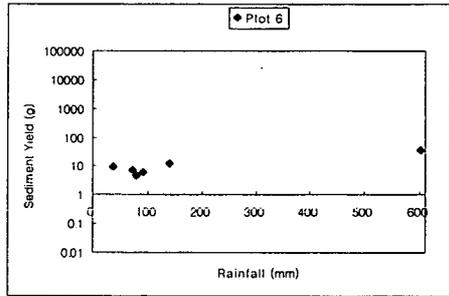
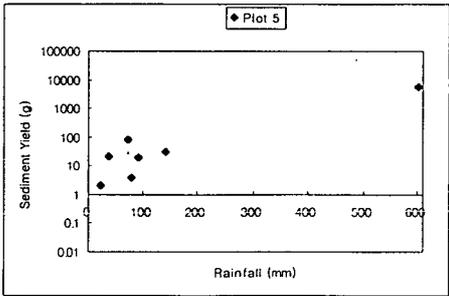
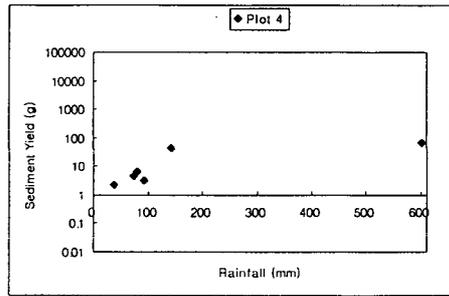
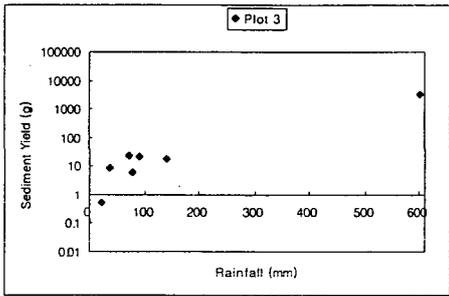
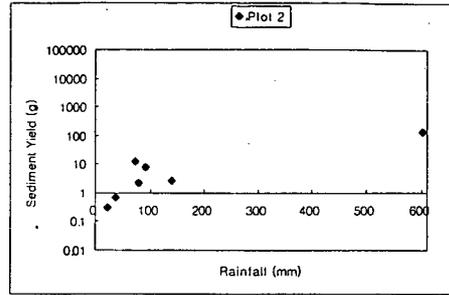
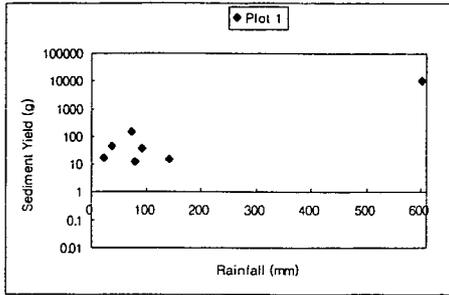
〈그림 2-13〉 강우량과 총 부유물질량과의 관계



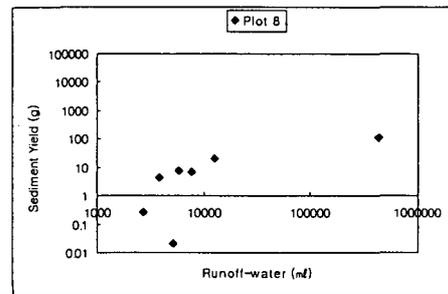
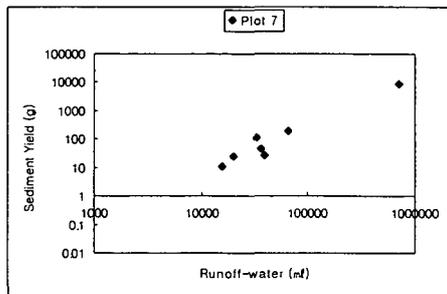
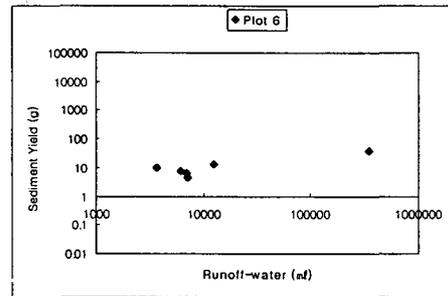
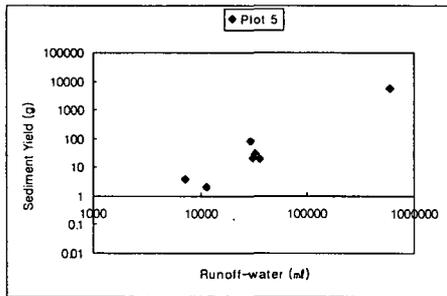
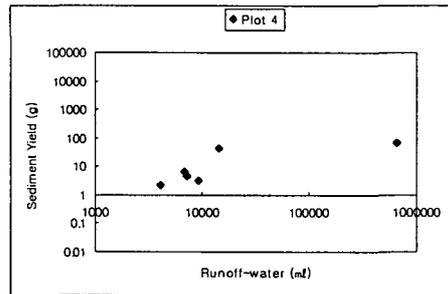
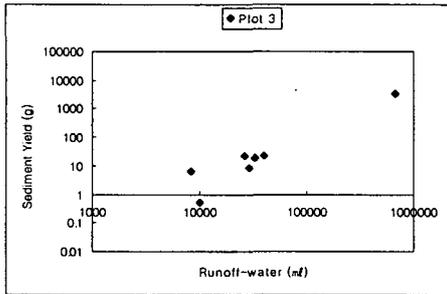
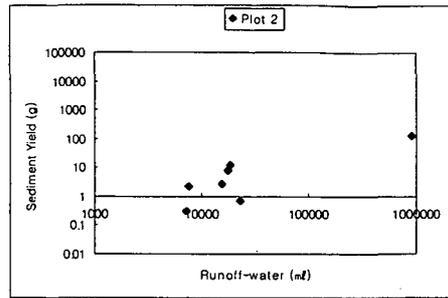
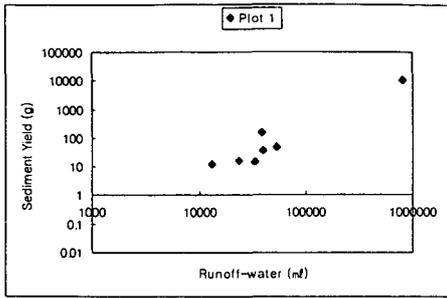
〈그림 2-14〉 유출수량과 총 부유물질량과의 관계

4) 유출수량과 유출토사량과의 관계

강우별 토사유출은 나지 시험구인 홀수 시험구가 피복자재를 시공한 짝수 시험구에 비해 전체적으로 토사유출량이 많았으며, 강우량에도 크게 영향을 받은 것으로 나타났다. 특히 시험구 시공 직후에 내린 적은 강우에서는 유출수량 자체가 적어 토사가 거의 유출하지 않았으며, 강우에 따라 비례하여 유출토사량이 증가하는 경향이 명확히 나타났다. 즉 <그림 2-15> 와 <그림 2-16> 에서 알 수 있듯이 강우 8 → 강우 4 → 강우 6 → 강우 9 → 강우 5 → 강우 7 → 강우 10의 순으로, 시험구 6 → 시험구 4 → 시험구 2 → 시험구 8 → 시험구 3 → 시험구 5 → 시험구 7 → 시험구 1의 순으로 각각 나타나 토사유출량은 시험구와 강우에 강하게 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 피복자재의 도입에 의해 표면침식을 방지하는 것은 호우시에는 토사유출을 방지할 뿐 아니라 지표면을 물리적으로 안정시킴으로서 식생의 생육조건을 안정화시키는데에도 크게 기여하며, 갈수기에는 토양수분 조건을 양호하게 하므로 식생의 생육에 좋게 영향을 미칠 것으로 생각된다.



〈그림 2-15〉 강우량과 유출토사량의 관계



〈그림 2-16〉 유출수량과 유출토사량의 관계

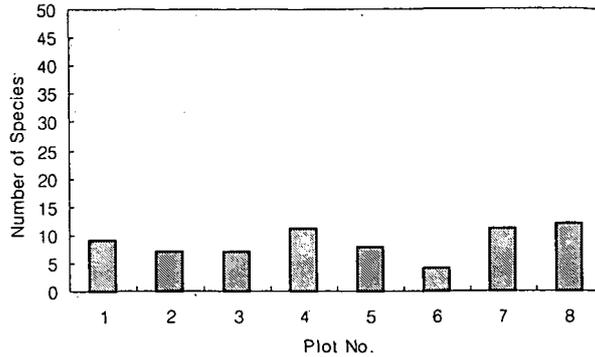
라. 식생조사

1) 식물 종류조성과 우점종

시험구의 식물 조성은 11과 16속 16종 2변종 총 18종류였으며, <표 2-25> 과 <그림 2-17> 에서 알 수 있듯이 각 시험구별로는 종류수가 차이가 나타났 으며, 인위적으로 파종한 종과 침입종과의 비율은 21 : 79로 침입종이 우세하 였다. 식물조성 중 목본류는 참싸리, 산딸기가 침입하여 생육하고 있었으며, 썸바귀, 비수리, 제비꽃, 바랭이, 낭아초, 붓꽃, 썩, 박주가리, 방동사니, 닭 의장풀, 망초, 강아지풀, 쇠뜨기, 나팔꽃, 돌콩, 차풀, 깨풀 등의 초본류가 출현하였다. 그러나 파종종자는 비수리, 낭아초, 붓꽃만이 우점을 이루고 있 었을 뿐 갈기조팝나무, 산조팝나무, 매발톱, 고추나무, 생강나무 등의 목본류 와 참취, 할미꽃, 냉이 등의 초본류는 전혀 출현하지 않았다.

<표 2-25> 초년도의 각 시험구별 식물 종류조성과 출현종수

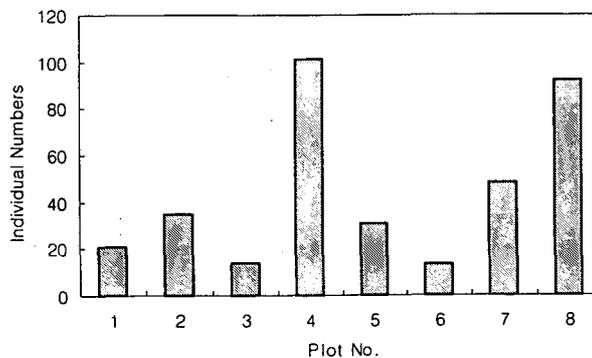
구분 시험구	목 본 류	초 본 류
1	산딸기(2)	망초(6), 방동사니(4), 제비꽃(3), 닭의장풀(2), 강아지풀(1), 나팔꽃(1), 바랭이(1), 썸바귀 (1)
2	산딸기(3)	제비꽃(12), 썸바귀(6), 닭의장풀(5), 바랭이(2), 방동사니(1), 썩(1)
3	-----	제비꽃(5), 썸바귀(3), 붓꽃(2), 낭아초(1), 박주가리(1), 비수리(1)
4	-----	비수리(44), 썸바귀(21), 붓꽃(19), 낭아초(9), 바랭이(3), 강아지풀(1), 돌콩(1), 닭의장풀(1), 망초(1), 차풀(1)
5	-----	썩(14), 썸바귀(6), 바랭이(5), 제비꽃(2), 강아지풀(1), 매듭풀(1), 박주가리(1), 쇠뜨기(1),
6	참싸리(1)	썸바귀(7), 바랭이(3), 썩(2)
7	-----	썸바귀(17), 제비꽃(10), 비수리(4), 붓꽃(4), 바랭이(3), 박주가리(3), 강아지풀(2), 깨풀(2), 낭아초(1), 썩(1), 쇠뜨기(1),
8	산딸기(1)	낭아초(19), 제비꽃(17), 비수리(16), 바랭이(12), 썸바귀(6), 박주가리(5), 방동사니(3), 쇠뜨기(2), 썩(1),
합 계	산딸기(6) 참싸리(1)	썸바귀(67), 비수리(65), 제비꽃(49), 바랭이(31), 낭아초(28), 붓꽃(25), 썩(19), 박주가리(10), 방동사니(8), 닭의장풀(8), 망초(7), 강아지풀(4), 쇠뜨기(4), 나팔꽃(1), 돌콩(1), 차풀(1), 깨풀(1)



〈그림 2-17〉 1998년도에 있어서 시험구의 종수 차이

2) 식생의 개체수

각 시험구내에 생육하는 식생의 개체수는 〈그림 2-18〉 과 〈표 2-26〉 에서 알 수 있듯이 목본, 처리구인 시험구 5, 6을 제외하면 나지보다 피복지가 1.67~7.21배가 많았으며, 초본 처리구인 시험구 3, 4의 경우, 인위적으로 파종한 초본인 비수리, 붓꽃, 낭아초가 척박한 토양에서 생육이 용이한 초본류이기 때문에 개체수가 많았다. 특히 피복자재를 도입한 시험구 4의 경우에는 101개의 초본류가 생육하여 피복자재가 초본류의 안정에 효과적인 것을 잘 나타내고 있었다.



〈그림 2-18〉 1998년도에 있어서 시험구의 개체수 차이

〈표 2-26〉 1998년도에 있어서 각 시험구별 식생의 개체수

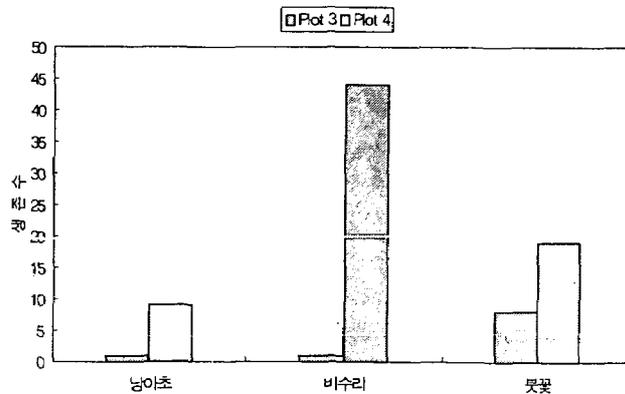
시험구 항목	1	2	3	4	5	6	7	8
개 체 수	21	35	14	101	31	13	48	92

3) 파종종자의 생존수

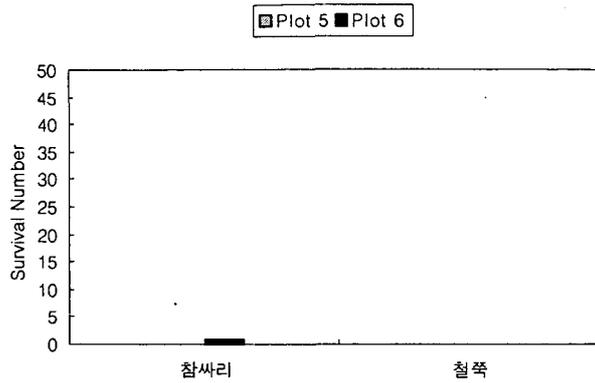
파종종자의 처리 방법별 생존수는 〈표 2-27〉, 〈그림 2-19〉, 〈그림 2-20〉, 〈그림 2-21〉에서 알 수 있듯이 초본처리구와 목본처리구 모두 피복지가 나지보다 높았으며, 초본처리구(시험구 2, 3)에서는 7.2배, 혼파처리구에서(시험구 7, 8)는 5.0배, 각각 높은 것으로 나타 현저하게 높게 나타난데 비해 목본처리구(시험구 5, 6)는 차이가 없는 것으로 나타났다.

〈표 2-27〉 1998년도에 있어서 각 시험구별 식생의 생존수

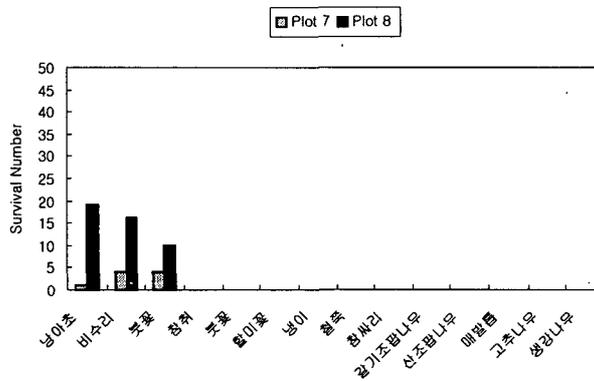
시험구 항 목	1	2	3	4	5	6	7	8
생 존 수	---	---	10	72	0	1	9	45



〈그림 2-19〉 1998년도에 있어서 초본 처리구의 생존수



〈그림 2-20〉 1998년도에 있어서 목본 처리구의 생존수



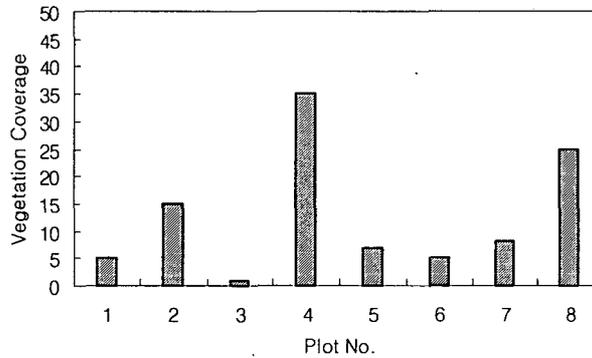
〈그림 2-21〉 1998년도에 있어서 혼파 처리구의 생존수

4) 각 시험구의 피복율

피복율은 초년도이므로 〈표 2-28〉 과 〈그림 2-22〉 에서 알 수 있듯이 피복률 15%이내로 높지 않았으나, 피복자재를 설치한 시험구가 미설치구보다 피복 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 이러한 경향은 시공경과년수가 증가할수록 그 효과가 크게 나타나리라 사료된다.

〈표 2-28〉 1998년도에 있어서 각 시험구별 피복율

시험구 항목	1	2	3	4	5	6	7	8
피복율	5	15	1	35	7	5	8	25



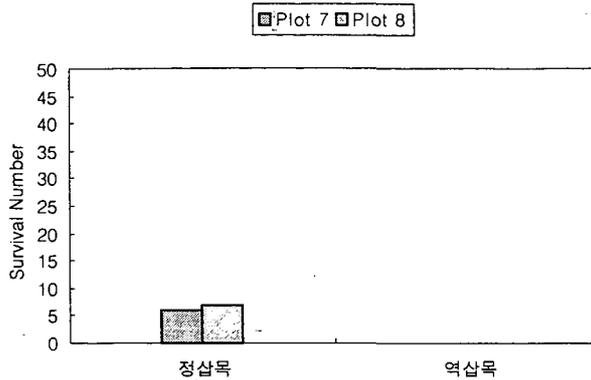
〈그림 2-22〉 1998년도에 있어서 각 시험구별 피복율 차이

5) 눈갯버들 삼목 생존율

일본에서 종종 임도 비탈면 안정에 이용되는 버드나무류의 우리나라에서의 적응성을 검토하기 위한 연구의 일환으로 눈갯버들이 삼목을 실시한 결과, 생존율은 〈표 2-29〉 및 〈그림 2-23〉에서 알 수 있듯이 역삼목의 경우는 전혀 발아하지 않은데 비해, 정삼목은 50%에 가깝게 발아되었다. 따라서 전체적으로 보아 삼목의 발아율이 다른 목본류의 발아보다 높았으며, 삼목방법도 역삼목보다는 정삼목의 생존율이 높은 것을 확인할 수 있었다.

〈표 2-29〉 눈갯버들의 각 시험구별 생존수

조사항목		조사구	
		7	8
생존율	정삼목	6/16	7/18
	역삼목	0/9	0/7



〈그림 2-23〉 각 시험구별 눈갯벌들의 생존수

〈표 2-30〉 눈갯벌 시험구내의 식생

Scientific name	Korean name
Equisetaceae	속새科
<i>Equisetum arvense</i> L.	쇠뜨기
Gramineae	벼科
<i>Setaria viridis</i> BEAUV.	강아지풀
<i>Digitaria sanguinalis</i> SCOP.	바랭이
Cyperaceae	사초科
<i>Carex amuricus</i> MAX.	방동사니
Commelinaceae	닭의장풀科
<i>Commelina communis</i> L.	닭의장풀
Iridaceae	붓꽃科
<i>Iris nertschinskia</i> LODD.	붓꽃
Rosaceae	장미科
<i>Rubus crataegifolius</i> BUNGE	산딸기
Leguminosae	콩科
<i>Cassia mimosoides</i> var. <i>nomame</i> MAKINO	차풀
<i>Glycine max</i> MERR.	콩
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> MIQUEL	싸리
<i>L. cuneata</i> G. DON	참비수
<i>Indigofera kirilowii</i> MAX.	낭아초
Euphorbiaceae	대극科
<i>Acalypha australis</i> L.	개풀
Violaceae	제비꽃科
<i>Viola mandshurica</i> W. BECKER	제비꽃
Asclepiadaceae	박주가리科
<i>Metaplexis japonica</i> MAKINO	박주가리
Convolvulaceae	메꽃과科
<i>Pharbitis nil</i> CHOIS	나팔꽃
Compositae	국화科
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> HARA	쑥
<i>Erigeron canadensis</i> L.	망초
<i>Ixeris dentata</i> NAKAI	씀바귀

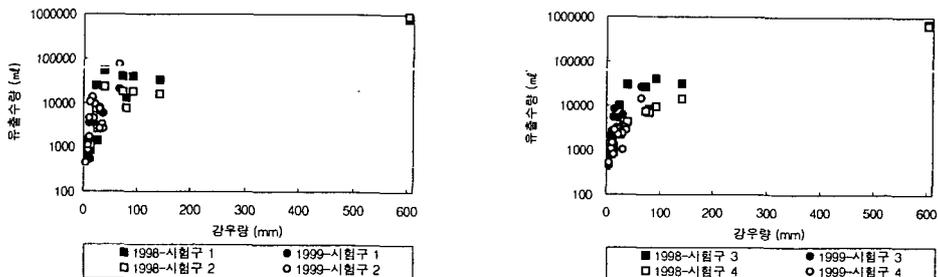
제 4 절 피복자재와 식생공의 특성 및 문제점 파악

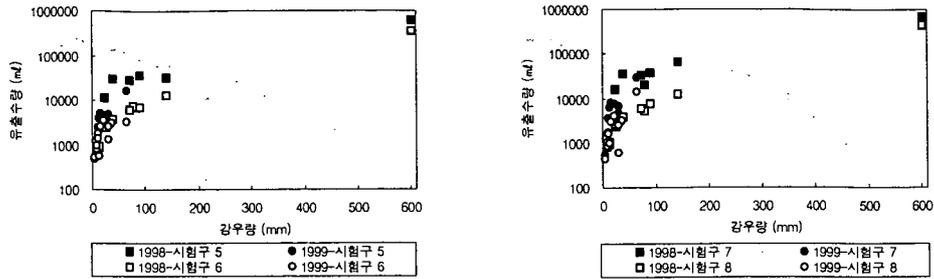
1. 피복자재의 물리적·역학적·침투 배수 특성 및 내구성 파악

가. 피복자재의 유출수량 억제효과

1999년에는 표면유출수가 발생한 강우는 총 15회였다(3월 18일~19일: 33.5mm, 26일: 5mm, 4월 1일: 9mm, 5일~6일 7.5mm, 9일~10일: 19.5mm, 12일~13일: 10mm, 5월 17일~19일: 36.5mm, 24일: 27.8mm, 6월 2일: 20.5mm, 16일: 8.5mm, 21일~22일: 10.5mm, 23일: 16mm, 7월 10일: 29.5mm, 16일: 13.5mm, 22일~23일: 65mm).

유출수는 <그림 2-24> 에서 알 수 있듯이 1998년도와 1999년도 모두 일부 강우를 제외하면 8개의 시험구 모두에서 강우량에 비례하여 증가하는 경향이 명확하게 나타났으며, 피복자재 설치구가 미설치구보다 유출수량이 적게 나타나 피복자재의 유출수 억제효과가 확인되었다. 즉 피복자재가 나지의 지표보다 투수성이 높기 때문에 150mm 이하의 강우에서는 유출수량을 억제하는 기능이 잘 발휘되었고, 토양의 수분이 포화인 상태에서 장기간 강우가 계속될 경우에는 침투강도를 초과하는 잉여수를 안정하게 유출시키는 배수기능이 발휘되므로 601.5mm 강우에서는 유출수의 차이가 명확하게 나타나지 않았다.

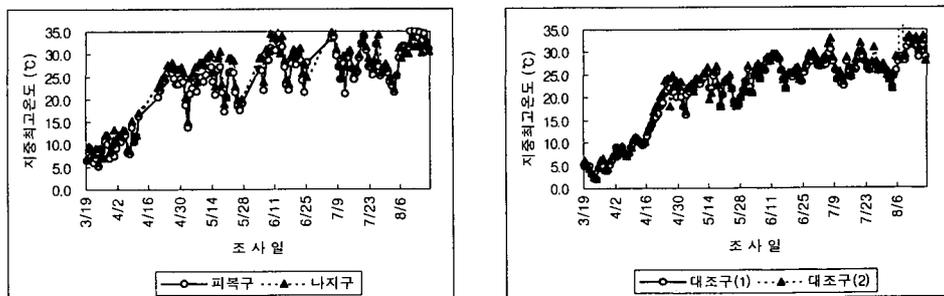




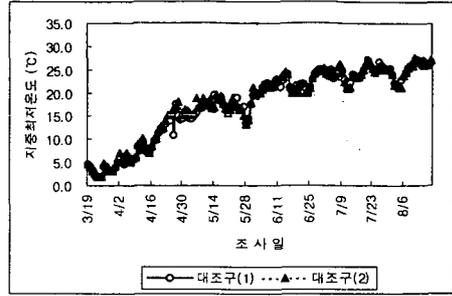
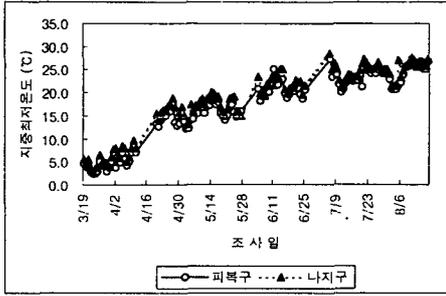
〈그림 2-24〉 2년간의 각 시험구별 강우량과 유출수량의 관계

나. 피복자재가 지중온도와 수분장력에 미치는 영향

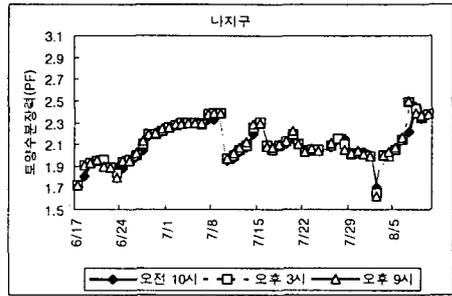
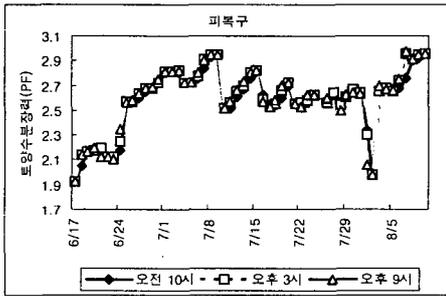
피복자재가 토양온도 및 수분에 미치는 영향을 파악하기 위해 토양의 최고 온도와 최저온도 및 토양수분장력을 측정하였다. 즉 피복자재가 토양의 지표 온도에 미치는 영향은 〈그림 2-25〉와 〈그림 2-26〉에서 알 수 있듯이 주간에는 지온이 상승하는 것을 막아주고, 야간에는 지온이 저하하는 것을 방지하며, 동기에는 피복자재하의 미생물 활동의 저하를 방지할 뿐 아니라 이른봄에는 식물의 뿌리의 활동을 촉진하는 기능을 기대할 수 있다. 또한 건조한 시기에는 평상시와는 달리 〈그림 2-27〉에서 알 수 있듯이 수분보지기능이 높기 때문에 식물의 성장에 매우 효과적으로 기능하고 있는 것이 확인되었다.



〈그림 2-25〉 피복구와 나지구 및 대조구에 있어서 최고온도의 변화



〈그림 2-26〉 피복구와 나지구 및 대조구에 있어서 최저온도의 변화



〈그림 2-27〉 피복구 및 나지구의 토양수분장력 변화

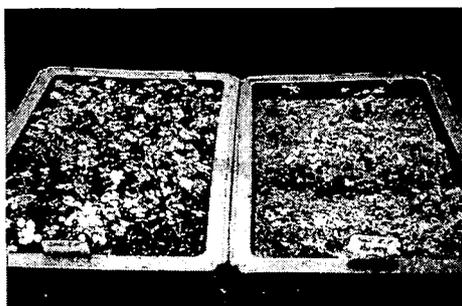
2. 유용 식생공 파악 및 대량 생산체계 확립

가. 임도 비탈면 녹화를 위한 유용 자생식물의 소재 개발

인위적으로 비탈면이 조성되면 자연생태계는 어느 정도 파괴되며, 그곳에는 반드시 외래식물이 침입하며 자연생태계가 파괴된다. 따라서 자생식물을 적극적으로 도입하여 자연생태계가 파괴되지 않는 자연친화적인 임도 비탈면 복원이 이루어지도록 노력해야 한다. 건조하고 척박한 나지 혹은 비탈면에 많이 출현하는 우리 자생식물을 선정하여 경관성을 고려한 비탈면 조성을 위한 번식 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

선정된 자생식물 가운데 〈사진 2-5〉와 〈표 2-31〉에서 알 수 있듯이 산

구절초, 차풀, 왜솨다리의 모래상에 파종한 종자의 발아율은 70% 이상으로 임도 비탈면에 충분히 적용 가능한 것으로 나타났으며, 금강초롱꽃도 60% 이상의 발아율을 나타내 비탈면 녹화용 소재로 활용 가능하다고 판단된다. 그러나 활나물은 발아율이 매우 저조하여 녹화용 소재로 적합하지 못하며, 산오이풀은 발아율이 저조하지만 비탈면의 아름다운 친자연적 경관을 조성하는데는 충분한 이용 가치가 있다고 판단된다. 따라서 비탈면 녹화식물로는 관상적인 관점, 침식방지 관점, 시공관리 관점 및 식물 자체에 요구되는 특성 등을 가능한 한 많이 갖춘 종류들을 선정해야 할 것이며, 식물소재 개발에 대한 연구가 계속적으로 추진되어야 할 것이다.



〈사진 2-5〉 임도 비탈면 녹화식물로 적용 가능한 자생식물의 발아능 실험

〈표 2-31〉 임도 비탈면 녹화식물로 적용 가능한 자생식물의 발아능

	배 지	산구절초	산오이풀	차풀	활나물	금강초롱꽃	왜솨다리
발아율 (%)	모래상	79	21	73	5.5	61	95
	배양토	-	-	73.5	6.5	-	-

* 배양토 : 피트모스 + 퍼얼라이트 + 버미큐라이트(1 : 1 : 1)

나. 눈갯버들의 삼목 증식 개체를 이용한 비탈면 안정 공법

삼목번식은 모식물의 개체수가 적고 또한 종자번식이 어려울 경우 주로 수

행되는 방법으로 모식물의 형질을 그대로 유지하는 특성을 갖는다. 버드나무과 식물의 종자는 휴면성이 없고, 종자의 수명이 짧다고 보고되고 있어(佐藤, 1955) 종자 비산시 환경이 적당한 곳에 정착하지 못할 경우 종자는 활착하지 못한다. 또한 붕괴지, 도로 비탈면 등의 나지에 선구적으로 침입하고 있지만, 종자 파종에 의한 양묘가 어렵기 때문에 종자를 통한 비탈면안정 녹화공법에 적용하는 것은 매우 어렵다.

특히 눈갯버들은 갯버들과는 달리 건조한 지역, 냇가의 바위틈 또는 비탈면 절개지의 노출된 암반지역 등에 주로 분포하며(朴, 1994), 약간의 토양만 있으면 활착이 가능할 뿐만 아니라, 지면으로 늘어진 가지는 지면과 접촉되는 부분에서 뿌리를 내리는 특성을 가지고 있기 때문에 토사 고정 능력이 매우 뛰어난 것으로 밝혀지고 있다. 따라서 이러한 특성을 갖는 눈갯버들을 이용하여 비탈면 녹화를 수행한다면 비탈면의 조기녹화 및 안정에 유효한 친환경적 소재라고 사료되어 삼목번식을 통한 녹화시험을 수행하였다.

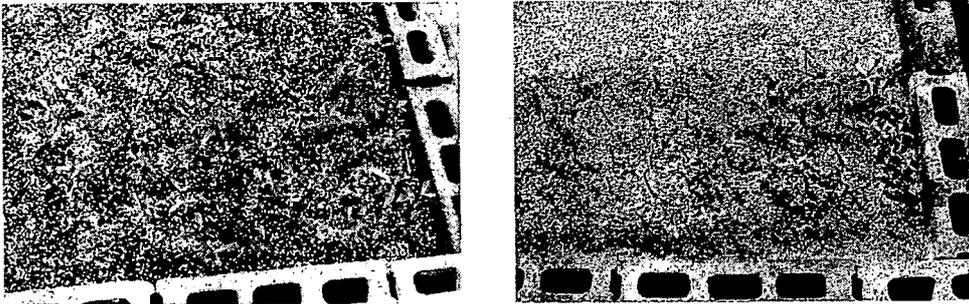
1998년 눈갯버들의 임도 비탈면 적용을 위해 삼목 실험을 실시한 바에 의하면 <표 2-32> 와 <사진 2-6> 과 같이 삼목일에 따라 활착율은 약간의 차이를 나타내고 있다. 그러나 온실내의 모래상과 퍼얼라이트, 피트모스, 버미큐라이트 각각 1 : 1 : 1로 배합된 배지에서는 시험구 모두 약 90%의 높은 활착율을 나타냈으며, 임도 비탈면에 피복자재를 설치한 시험구와 피복재를 설치하지 않은 시험구에서는 2지역 모두 약 40% 정도 활착하는 것으로 나타났다. 東(1964)에 의하면 버드나무류의 삼목번식은 수행 시기에 따라 약간의 차이가 인정되며, 야외실험에서 *Salix bakko*는 13~21%의 저조한 활착율을 나타낸 반면, 나머지 대부분의 수종들은 약 40~90%의 양호한 활착율을 나타낸다고 하였다. 본 연구도 실내실험과 야외실험간에는 차이가 인정되었지만, 동일한 장소의 다른 배지간에는 커다란 차이가 없는 것으로 나타났다. 온실 실험에서는 매우 높은 활착율을 나타낸 반면 현지 실험에서는 약 40% 정도만이

활착하였기 때문에 온실에서 증식된 개체들을 임도 비탈면에 직접 이식하는 실험을 수행하였다.

〈표 2-32〉 눈갯벌들의 삼목번식 현황

재 배 배 지	온 실 실험		현 지 실험	
	모래상	배양토	나지	나지 + 피복재
생 존 율 (%)	81.9	90.0	37.5	38.9

* 배양토 : 피트모스 + 퍼얼라이트 + 버미큐라이트 (1 : 1 : 1)

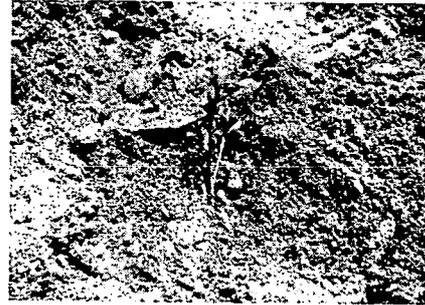
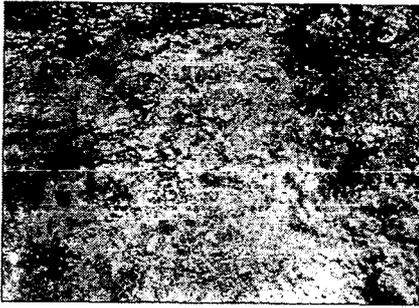


〈사진 2-6〉 온실에서의 눈갯벌 삼목번식 실험

우선 실험대상지를 〈표 2-33〉 과 〈사진 5-6〉 과 같이 산악지대의 임도 비탈면에 많이 나타나는 연암 및 암석지대와 풍화마사토 지대로 구분하였으며, 이를 급경사지(52° 이상)와 완경사지(51° 이하)로 구분하여 이식실험을 수행하였다. 조사 대상지의 활착율은 4지역 모두 90% 이상 활착하여 성장하는 것으로 나타났다. 따라서 눈갯벌들은 현지에 직접 삼목할 경우 수분 부족으로 인하여 발근율이 낮아 활착하지 못하는 반면, 실내에서 증식된 개체를 직접 비탈면에 이식할 경우 활착율이 매우 높아 비탈면 녹화 및 안정에 크게 기여할 것으로 판단된다.

〈표 2-33〉 눈갯버들 삼목번식 개체를 적용한 임도 비탈면 조건 및 식생

입지 조건	비탈면 경사(°)	비탈면 방위	생육 상태		활착율(%)
			생육개체수	고사개체수	
연암 및 암석지역	35	S 32° W	19	1	95
	53	S 66° W	20	-	100
풍화마사토지역	33	S 88° W	20	-	100
	55	S 68° W	18	2	90



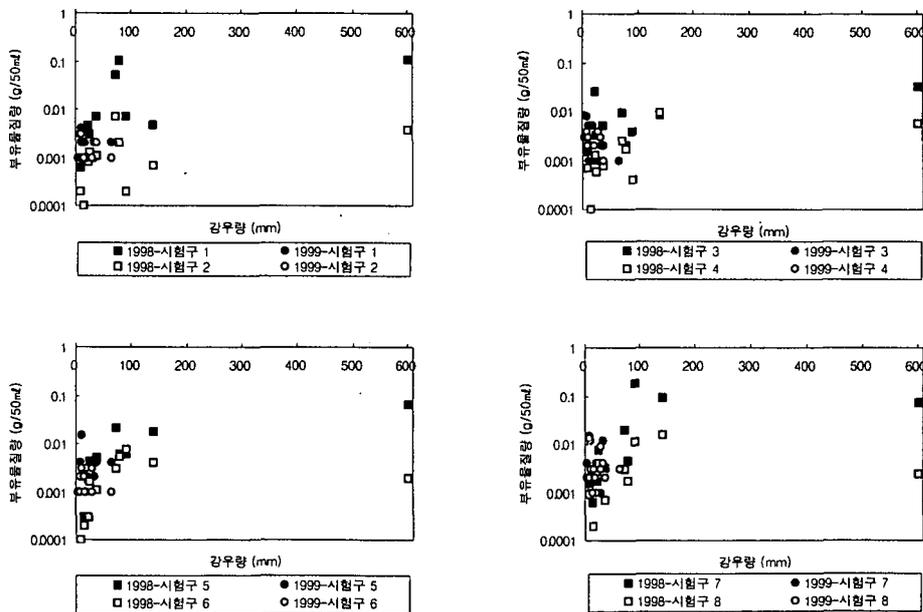
〈그림 2-7〉 눈갯버들 삼목번식 개체의 임도 비탈면 적용 사례

3. 2차년도의 수질, 토사이동 및 식생상황

가. 피복자재의 부유물질 억제효과

우적 충격에 의해 토양표층의 토양미립자가 분산되어 불안정해지면 표면유

출수의 발생과 함께 부유물질이 유출하게 된다. 각 시험구에 있어서 부유물질량은 <그림 2-28>에서 알 수 있듯이 유출수량과 마찬가지로 강우량에 비례하여 증가하는 경향이 나타났으며, 피복자재 설치구가 미설치구보다 부유물질량이 적게 유출되었으나 피복자재 설치에 따른 식생의 피복효과는 시공 후 경과년수가 적어 도입식생별 부유물질 억제효과는 명확하게 나타나지 않았다. 따라서 피복자재는 지표면을 피복하여 우적이 지표면에 직접 도달하여 충격을 가하는 작용을 차단하므로써 토양표층의 토양미립자의 분산을 억제하고 동시에 유수의 소류력을 완화시켜 부유물질의 유출을 저감시키는 효과가 있는 것이 확인되었다.

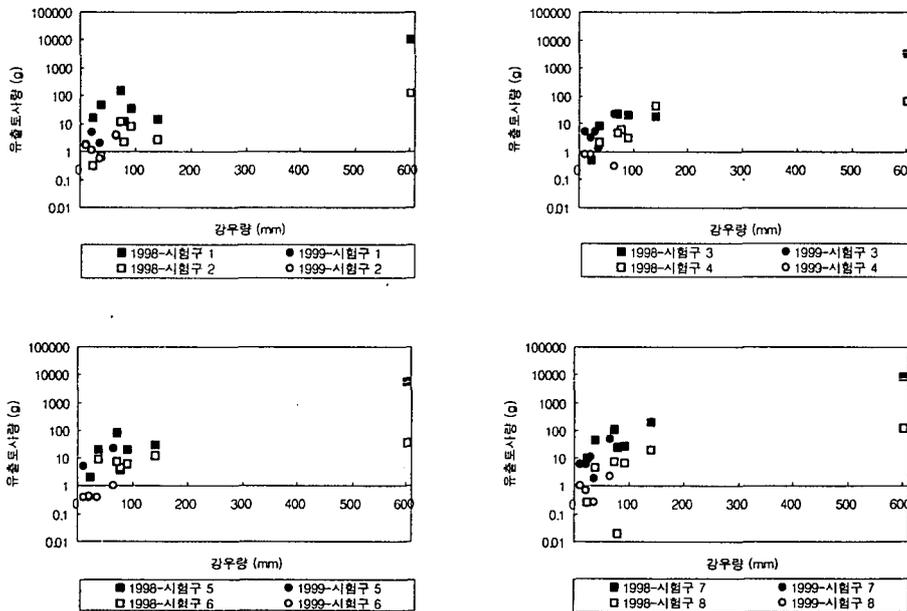


<그림 2-28> 1998년과 1999년에 있어서 강우량과 부유물질량의 관계

나. 피복자재의 유출토사 억제효과

임도개설에 의해 나지 비탈면이 형성되면 임지에 비해 각종 침식을 받기 쉬워져 다양한 형태로 토사가 유출된다. 한차례의 강우를 제외하면, 강우별 토

사유출은 20mm 이하 강우에서는 유출수량이 적어 토사가 유출하지 않았으나 <그림 2-29> 와 같이 강우에 따라 비례하여 유출토사량이 증가하는 경향이 나타났으며, 나지 시험구가 피복자재를 시공한 시험구에 비해 전체적으로 토사유출량이 많았다. 즉 피복자재는 우적의 침식력과 유수의 소류력을 완화시켜 지표면의 교란을 억제하고, 지표류의 가속을 완화하여 난류 및 집중류에 의한 파괴를 저지하는 효과가 있는 것이 확인되었다. 따라서 피복자재의 설치는 호우시에는 토사유출을 방지하여 지표면을 물리적으로 안정시킴으로서 식생의 생육조건을 양호하게 하며, 갈수기에는 토양의 수분조건을 양호하게 하여 식생의 생육에 기여하는 기능을 증진시킨다고 할 수 있다.

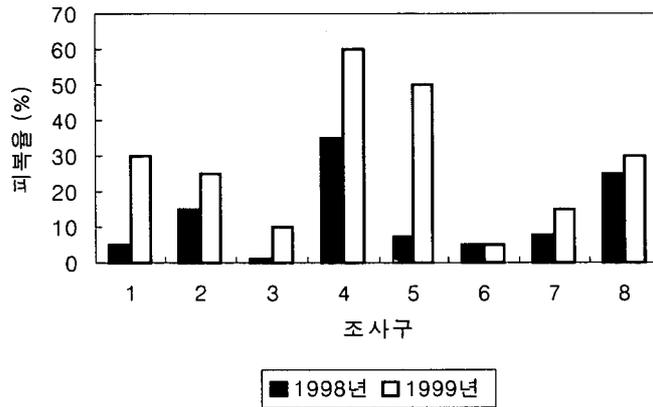


<그림 2-29> 1998년과 1999년에 있어서 강우량과 유출토사량의 관계

다. 시험구에 있어서 식생의 생육상황

시험구에 있어서 식생의 종류조성은 11과 17속 16종 2변종 총 18종류의 관속식물이 출현하였으며, 도입종자 중 할미꽃 등의 일부 초본류와 철쭉꽃 등의

일부 목본류는 전혀 발아되지 않았다. 따라서 <그림 2-30>에서 알 수 있듯이 피복자재 설치 초년도의 피복율은 목본구를 제외하면 피복자재 설치구가 미설치구보다 전반적으로 높아 피복자재가 비탈면 피복에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 설치 2년도에는 전체적으로 피복율이 증가하였으나, 특히 초본구의 피복율이 증가하여 피복자재가 초본류의 생장에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 시험구 1, 5의 피복률 증가를 주변에서 침입한 썩 4~5개체의 왕성한 생장으로 인하여 증가한 것에 기인한다.



<그림 2-30> 시험구 설치후 1, 2차년도의 식생 피복율

제 5 절 피복자재 및 식생공의 개량 및 현지적용, 기능분석 및 제품화

1. 경관을 고려한 피복자재의 개량 및 현지적용

경관을 고려한 피복자재를 개발하기 위해 지난 2년간 사용해 왔던 다기능 월터를 개량하여 강원대학교 구내 묘포장과 강원대학교 산림과학대학 부속연습림의 임도 비탈면에서 현지 적용실험을 실시하였다. 즉, 기존의 피복자재는 호우시에는 토사유출을 방지하여 비탈면을 물리적으로 안정화하는데 효과적이었으며, 갈수시에는 지표의 수분조건을 양호하게 하여 식생생육에 기여하는 것으로 나타났다. 그러나 일부 식생, 특히 잎이 넓은 경우에는 피복자재의 두께가 10mm로 두꺼워 피복자재 밑에서 고사하는 경우가 발생하므로 이를 개량할 필요가 제기되었으므로 두께 5mm의 개량 피복자재가 비탈면의 물리적 안정과 식생생육에 미치는 효과를 파악하였다.

가. 개량 피복자재의 비탈면 안정 효과 시험

1) 개량 피복자재의 인공 비탈면

개량 피복자재가 비탈면의 물리적 안정 및 식생생육에 미치는 영향을 파악하기 위해 <표 2-34>, <표 2-35> 및 <사진 2-4>와 같은 라이시메타를 제작하여 강원대학교 구내 묘포장에서 실험을 실시하였다.

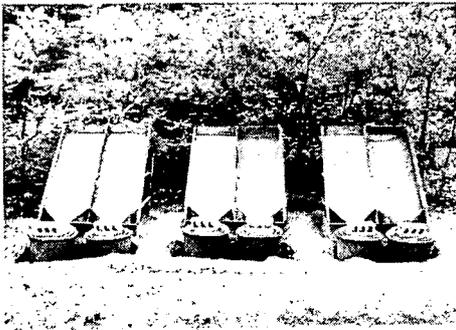
즉 시험구는 피복자재 시공구와 무시공구로 구분하여 식생은 처리본수를 달리 할 수 있는 라이시메타를 각각 2개가 한 조가 되도록 3조를 제작·설정하였으며, 식생은 우리나라의 재래종인 목본 1종류(참싸리)와 초본 2종류(낭아초, 붓꽃)를 도입하였다. 각 시험구의 제원은 비탈면 평균물매는 36°, 면적은 1.5㎡(0.75m×2.0m)로 모암은 화강암이며, 지질은 마사토로 척박건조하다.

〈표 2-34〉 개량 피복자재 도입 라이시메타의 제원

평균면적	평균물매	모암	지질
1.5㎡ (0.75m×2.0m)	36 °	화강암	마사토

〈표 2-35〉 개량 피복자재 도입 시험구의 처리방법

시험구	처리방법	시험구	처리방법
1	나지	4	피복자재+종자(참싸리 400, 남아초 500, 붓꽃 1000)
2	피복자재 설치	5	나지+종자(참싸리 800, 남아초 1000, 붓꽃 2000)
3	나지+종자(참싸리 400, 남아초 500, 붓꽃 1000)	6	피복자재+종자(참싸리 800, 남아초 1000, 붓꽃 2000)



〈사진 2-8〉 개량 피복자재 시험구의 전경(좌: 설치 직후, 우: 2개월 후)

2) 개량 피복자재의 비탈면 안정효과

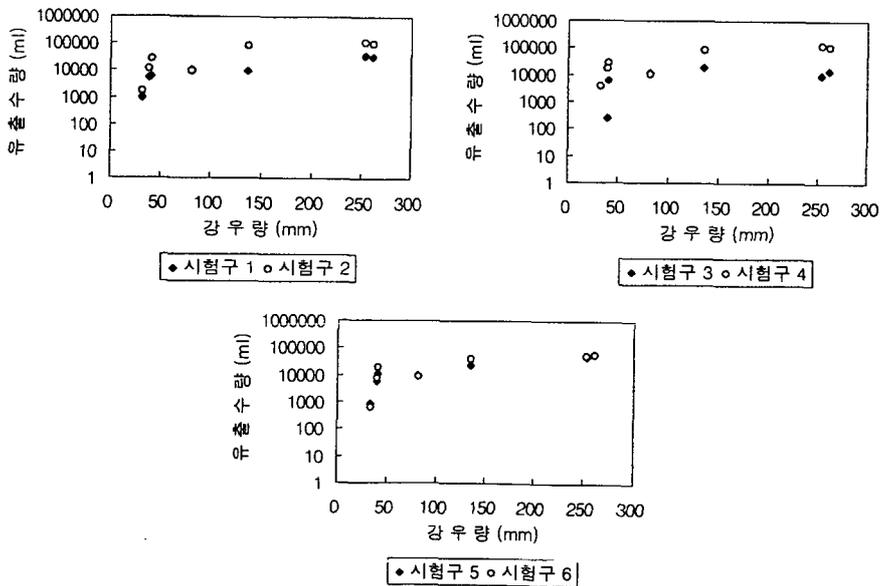
① 강우량과 유출수량의 관계

개량 피복자재 설치년도에 있어서 지표유출이 발생한 강우는 〈표 2-36〉 과 같이 6회였다(6월 25일(강우 1): 69.0mm, 7월 2일(강우2): 81.6mm, 7월 17일(강우 3): 261.3mm, 7월 24일(강우 4): 217.3mm, 8월 3일(강우 5): 253.5mm, 8월 19일(강우 6): 136.0mm).

〈표 2-36〉 개량 피복자재 설치년도에 따른 강우분포

강우	강우발생일	강우량(mm)	강우	강우발생일	강우량(mm)
1	6월 25일	69.0	4	7월 24일	217.3
2	7월 2일	81.6	5	8월 3일	253.5
3	7월 17일	261.3	6	8월 18일	136.0

각 강우별 표면 유출수량은 〈그림 2-31〉에서 알 수 있듯이 모든 시험구에서 강우량에 비례하여 유출수량이 증가하였으며, 개량 피복자재가 미설치구보다 유출수량이 많게 나타나 유출수량은 피복자재의 도입여부보다 강우량에 영향을 강하게 받는 것으로 나타났다.

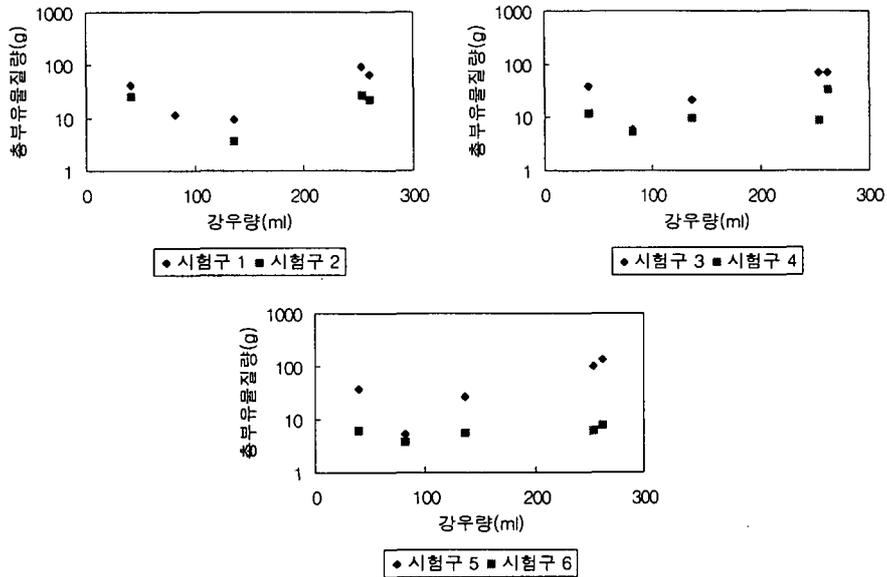


〈그림 2-31〉 개량 피복자재 시험구에 있어서 각 강우별 표면 유출수량

② 강우량과 총부유물질량과의 관계

개량 피복자재 시험구에 있어서 총부유물질량은 〈그림 2-32〉와 같이 강우

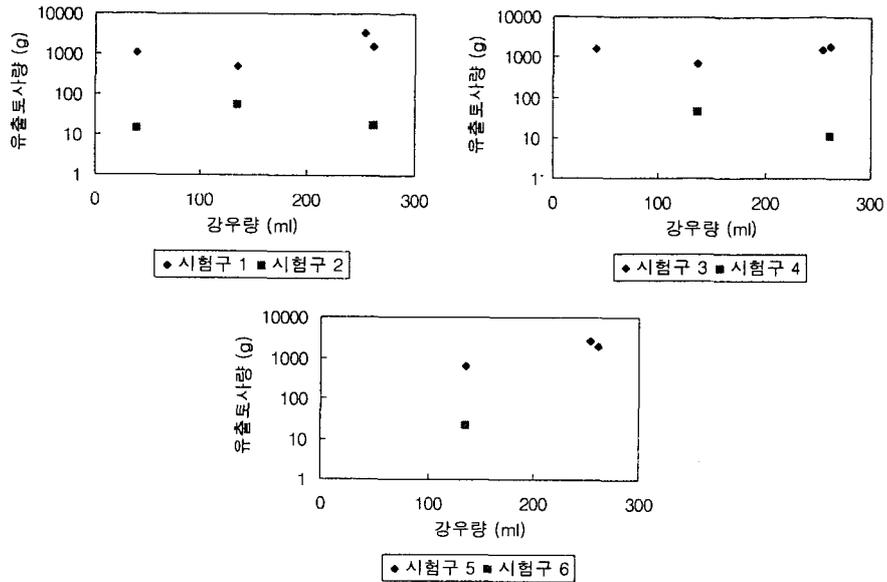
량과의 상관관계는 명확하게 나타나지는 않았으나 개량 피복자재구인 시험구 2, 4, 6에 비해 미설치구인 1, 3, 5의 총부유물질량이 높게 나타났다. 즉 총부유물질량은 강우량보다는 개량 피복자재의 도입여부에 강하게 영향을 받는 것으로 나타났다.



〈그림 2-32〉 개량 피복자재 시험구에 있어서 각 강우별 총부유물질량

③ 강우량과 유출토사량과의 관계

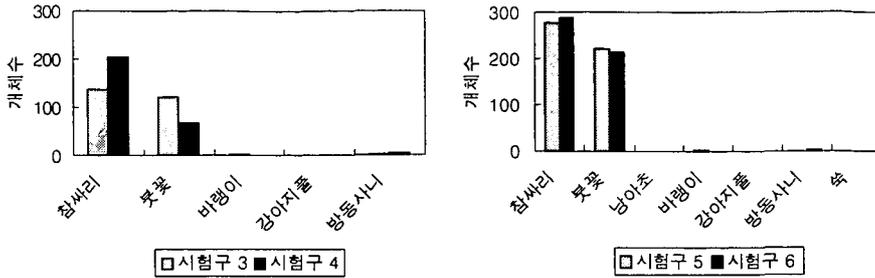
개량 피복자재 시험에 있어서 각 강우별 토사유출은 〈그림 2-33〉과 같이나지 시험구인 1, 3, 5 시험구가 개량 피복자재를 시공한 2, 4, 6 시험구에 비해 다량의 토사가 유출되었으나, 강우량과의 상관관계는 명확하게 나타나지는 않았다. 그러나 전체적으로는 개량 피복자재가 표면침식을 방지하여 모든 강우에서 토사유출을 억제할 뿐 아니라 지표면을 물리적으로 안정시켜 식생의 생육조건을 안정에도 크게 기여하며, 갈수기에는 토양수분 조건을 양호하게 하여 식생생육에 좋게 영향을 미칠 것으로 판단된다.



〈그림 2-33〉 개량 피복자재 시험구에 있어서 각 강우별 토사유출량

④ 발아개체수

개량 피복자재 시험구에 있어서 식생의 발아는 종자를 도입하지 않은 시험구는 식생의 자연침입이 거의 이루어지지 않아 식생이 전혀 생육하고 있지 않았으나, 식생 도입구에서는 상당한 식생이 생육하고 있었다. 즉 〈그림 2-34〉에서 알 수 있듯이 식생도입 시험구인 시험구 3, 4, 5, 6에서는 싸리와 붓꽃을 중심으로 의 경우 발아개체수가 목본 처리구인 시험구 5, 6을 제외하면 나지보다 피복지가 1.67~7.21배가 많았으며, 초본 처리구인 시험구 3, 4의 경우, 인위적으로 파종한 초본인 비수리, 붓꽃, 낭아초가 척박한 토양에서 생육이 용이한 초본류이기 때문에 개체수가 많았다. 특히 피복자재를 도입한 시험구 4의 경우에는 101개의 초본류가 생육하여 피복자재가 초본류의 안정에 효과적인 것을 잘 나타내고 있었다.

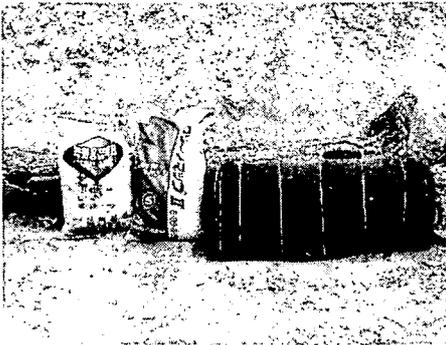


〈그림 2-34〉 개량 피복자재 시험구에 있어서 발아 개체수

나. 개량 피복자재의 현지적용 시험

1) 개량 피복자재의 현지도입

개량 피복자재의 현지적용 시험을 실시하기 위해 〈사진 2-9〉 및 〈사진 2-10〉 과 같이 Cellulose가 주성분인 토양고정제(SPRAY C. M. C) 및 비탈면 녹화전용 인산비료(グリーン マップ II 6-38-6-18)가 도입수종의 생육에 미치는 영향을 파악하기 위한 시험을 병행하였다 〈표 2-37〉.



〈사진 2-9〉 토양고정제와 비료 〈사진 2-10〉 개량 피복자재 현지 시험구

〈표 2-37〉 개량 피복자재 현지 시험구의 제원

평균면적	평균물매	모암	지질
2m ²	47 °	화강암	마사토

2) 유용 식생공의 현지도입

유용 식생공에 필요한 기초자료를 파악하기 위해 강원대학교 산림과학대학 부속연습림에 설치된 임도 절토 비탈면에 설치한 시험구에 있어서 식생천이 과정을 파악하였으며, 이중 우점종에 해당하는 식생중 일부를 현지에 도입하였다.

각 시험구별 도입종 및 개체수는 낭아초, 비수리, 타래붓꽃, 솔붓꽃, 쑥부쟁이, 구절초, 차풀, 벌노랑이, 썸바귀, 산국 및 참싸리가 각각 100립이며, 각 시험구별 구체적인 처리현황은 <표 2-38> 과 같다.

<표 2-38> 개량 피복자재 현지 시험구별 처리방법

시험구	처리방법	파종종자
1	나지	초본류: 구절초, 낭아초, 비수리, 솔붓꽃, 타래붓꽃, 벌노랑이, 쑥부쟁이, 산국, 차풀, 고들빼기, 썸바귀 목본류: 참싸리 (1, 2번 시험구를 제외한 모든 시험구에 각각 100립씩 파종)
2	피복자재 설치	
3	나지+종자	
4	피복자재+종자	
5	나지+종자+토양접착제	
6	피복자재+종자+토양접착제	
7	나지+종자+토양접착제+비료	
8	피복자재+종자+토양접착제+비료	

유용식생공의 현지도입 4개월 후의 조사결과, 피복률은 전체적으로 10% 미만의 낮은 피복률을 보였으나, 피복자재구인 2, 4, 6, 8시험구가 나지구인 1, 3, 5, 7시험구보다 높게 나타났으며, 출현식생의 개체수 역시 <표 2-37> 에서 알 수 있듯이 피복자재구가 나지구보다 상대적으로 높게 나타났다. 또한 침식정도는 나지구에서는 누구침식과 같은 부분 파손이 발생하였으나 피복자재 설치구에서는 전혀 침식이 발생하지 않았다.

〈표 2-39〉 개량 피복자재 현지 시험구의 식생조사 결과

시험구	출현식생 및 개체수()	시험구	출현식생 및 개체수()
1		2	뚝갈(3)
3	소나무(1), 뚝갈(2), 수리취(1)	4	참싸리(7), 붓꽃류(17), 뚝갈(2), 수리취(1), 큰까치수영(1)
5	붉은가시딸기(4), 참싸리(1), 뚝갈(2), 제비꽃(1), 강활(1)	6	참싸리(6), 비수리(4), 제비꽃(4), 세잎양지꽃(2), 붓꽃류(28), 뚝갈(6), 차풀(1), 강활(1)
7	붓꽃류(2), 뚝갈(4), 참싸리(1), 바랭이(1)	8	참싸리(1), 냥아초(3), 붓꽃류(3), 뚝갈(1), 세잎양지꽃(1)

한편, 눈갯버들의 삼목 증식 개체를 이용한 비탈면 안정 공법을 개발하기 위해 1999년도에 이어 2000년도에도 〈표 2-40〉 과 같이 온실실험 및 현지실험을 실시하였다. 버드나무과 식물의 종자는 휴면성이 없고, 종자의 수명이 짧아 종자 비산시 적당한 환경에 정착하지 못할 경우 활착하지 못한다. 또한 붕괴지, 도로 비탈면 등의 나지에 선구식생으로 침입하지만, 종자 파종에 의한 양묘가 어려워 종자를 통한 비탈면 안정공법에 적용하는 것은 매우 어렵다. 그러나 눈갯버들은 갯버들과는 달리 건조한 지역, 냇가 바위틈 또는 비탈면 절개지의 노출된 암반지역 등에 주로 분포하며, 약간의 토양만 있으면 활착이 가능할 뿐만 아니라, 지면에 늘어진 가지는 지면과 접촉되는 부분에서 뿌리를 내리는 특성을 가지고 있어 토사 고정 능력이 매우 뛰어난 것으로 알려져 있다. 따라서 눈갯버들을 이용하여 비탈면 녹화를 수행할 경우 비탈면의 조기녹화 및 물리적 안정에 유효한 친환경적 소재라고 사료되어 삼목번식을 통한 녹화시험을 수행하였다.

눈갯버들의 임도비탈면 적용을 위해 삼목실험을 실시한 결과, 삼목일에 따라 활착율은 약간의 차이를 나타내고 있다. 또한 온실내의 모래상과 퍼얼라이트, 피트모스, 버미큐라이트 각각 1 : 1 : 1로 배합된 배지에서 실험한 결과, 시험구 모두에서 80~90% 정도의 높은 활착율을 나타냈으나, 임도비탈면에 피복자재를 설치한 시험구와 피복자재를 설치하지 않은 시험구에서는 2지역

모두 활착율이 40% 이내로 나타났다. 즉 온실실험에서는 매우 높은 활착을 나타낸 반면, 현지 실험에서는 약 40% 정도만이 활착하였기 때문에 온실에서 증식된 개체들을 임도 비탈면에 직접 이식하는 실험을 수행하였다.

〈표 2-40〉 2차년도의 눈갯버들의 삼목번식 상황

재배배지		온실 실험		현지 실험	
		모래상	배양토	나지	나지 + 피복자재
잔존율 (%)	1999년도	81.9	90.0	37.5	38.9
	2000년도	80.6	90.0	32.5	38.2

※ 배양토: 피트모스 + 퍼얼라이트 + 버미큐라이트 (1 : 1 : 1)

실험대상지는 산악지대의 임도 비탈면에 많이 나타나는 연암 및 암석지대와 풍화마사토 지대로 구분하였으며, 이를 급경사지(52° 이상)와 완경사지(51° 이하)로 구분하여 이식실험을 수행하였다 <표 2-41>. 조사결과, 활착율은 1999년도에 평균 95% 이상 활착하는 것으로 나타났으며, 금년도에도 전년도에 비해 다소 낮아지기는 했으나 평균 90% 이상의 높은 활착을 나타냈다. 따라서 눈갯버들은 현지에 직접 삼목할 경우 수분 부족으로 인하여 발근율이 낮아 활착하지 못하는 반면, 실내에서 증식된 개체를 직접 비탈면에 이식할 경우 활착율이 매우 높아 비탈면녹화 및 안정에 크게 기여할 것으로 판단되었다.

〈표 2-41〉 눈갯버들 삼목번식 개체의 임도비탈면 적용

입지조건	비탈면 경사	비탈면 방위	도입 개체수	생육 상태 (개체수)		활착 및 잔존율 (%)	
				1999년도	2000년도	1999년도	2000년도
연암 및 암석지대	35°	S32° W	20	19	18	95	90
	53°	S66° W	20	20	19	100	95
풍화마사토	33°	S88° W	20	20	19	100	95
	55°	S68° W	20	18	18	90	90

제 6 절 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 분석 및 이용방안 개발

1. 개량 피복자재를 이용한 환경친화형 비탈면 안정공법의 경제성 검토

개량 피복자재와 같은 비탈면 안정공법은 우선 신속한 피복으로 인한 유출 토사를 억제하여 비탈면을 물리적으로 안정화하는 것과 도입식생의 착생 및 생육조건을 개량하는 것이 우선 과제이나 임도의 경우에는 산지 비탈면의 안정화를 위한 충분한 시공단비가 책정되지 않기 때문에 경제적인 면을 고려해야 한다. 그러나 한편으로는 임도 비탈면은 일반도로나 고속도로의 비탈면과 그 생육조건이 불량하다는 점에서는 상이하지 않기 때문에 비탈면 안정을 위한 충분한 예산 반영이 이루어 져야 할 것이다.

특히 우리나라와 같이 하기의 집중호우 및 태풍이 발생하는 경우는 비탈면의 물리적, 식물적 안정에 대한 충분한 대책이 마련되지 않은 상태에서 도로 개설을 중심으로 임도사업이 진행되면 대규모 산사태, 붕괴 등으로 인한 토사 재해가 발생하여 사회문제화 되기 쉽다. 또한 이러한 토사재해는 노면 및 붕괴된 비탈면을 복구하기 위한 복구사업에 임도개설 비용보다 많은 예산이 필요하게 되는 경우가 종종 발생하고 있으며, 이러한 경향은 지속적으로 증가할 것이다. 이 연구는 현재 우리나라에서 비탈면 피복자재로 주로 이용되고 있는 공법인 코아네트를 참조하여 개량 피복자재의 경제성을 분석하였다.

가. 개량 피복자재의 시공단가 계산

일반적으로 비탈면 안정공법으로 적용되고있는 피복자재는 임도 비탈면에는 극히 제한적으로 사용되고 있으며, 임도 비탈면 자체가 물리적, 식물적으로 상당히 불안정하기 때문에 그 효과를 기대하기는 어렵다. 따라서 개량 피복자

재는 비탈면의 토사유출의 억제와 도입식생의 생육조건을 개량하는 것을 목적으로 개발되었으며, 특히 비탈면의 조건이 불량한 절토면에 있어서의 토사유출의 방지와 친환경적인 조기녹화를 주목적으로 하였다.

개량 피복자재를 이용한 환경친화형 비탈면 안정공법의 단가를 우리나라에서 비탈면 피복자재로 주로 이용되고 코아네트와 비교하였다. 여기서 <표 2-42> 및 <표 2-43>의 코아네트와 개량 피복자재의 단가 산출은 각종 재료비 등의 물가와 노무비의 경우 한국물가협회의 월간물가자료(2001년 2월호)를 적용하였으며, 품셈의 계산은 (주)건설연구소의 2001건설표준품셈을 기준으로 한국물가협회의 종합적산정보(2001)를 참고로 하였다.

<표 2-42> . 코아네트의 m²당 단가 산출서

명칭	규격	수량	단위	재료비		노무비		경비		합계	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
1. 코아네트(COIR NET)											
코아네트	φ5*2C*20	1.2	m ²	1,500	1,800						1,800
앙카핀	L-20-50	1	개	280	280						280
잡재료	재료비 3%	1	식	62	62						62
설치비	작업반장	0.002	인			60,326	120				120
설치비	특별인부	0.020	인			57,379	1,147				1,147
설치비	보통인부	0.027	인			37,736	1,018				1,018
소계					2,142		2,285				4,427
2. 씨앗뿌어붙이기											
종자	양잔디혼합	25	G	10	250						250
피복양생재	제지펄프	250	G	0.5	125						125
침식방지안정제	CMC접착제	125	G	3.5	437						437
비료	복합	100	G	0.2	20						20
색소	M-GREEN	2	G	10	20						20
살포공	특별인부	0.0020	인			57,379	114				114
살포공	보통인부	0.0180	인			37,736	679				679
종자살포기		0.0064	HR	3,853	24	11,817	75	2,020	12		111
물탱크펌프	5500L	0.0080	HR	7,141	57	10,598	84	4,337	34		175
덤프트럭	2.5TON	0.0064	HR	2,880	18	10,598	67	3,542	22		107
소계					1,902		2,038		136		4,076
합계(제세공과잡비별도)					4,044		4,323		136		8,503

〈표 2-43〉 개량 피복자재의 m²당 단가 산출서

명 칭	규 격	수량	단위	재 료 비		비 고
				단가	금액	
재료비					6,180	
다기능 필터	φ 5-6mm	1.2	m ²	4,500	5,400	
고정핀		1	개	280	280	
찰사리		8	g	40	320	
잡재료	재료비 3%	1	식	180	180	
노무비					2,285	
작업반장		0.002	인	60,326	120	
특별인부		0.02	인	57,379	1,147	
보통인부		0.027	인	37,736	1,018	
합계(제세공과잡비별도)					8,465	

나. 타 피복자재와의 경제성 비교

이 연구에서 제시한 환경친화형 비탈면 안정공법인 개량 피복자재는 단순한 단가 산출에 의한 경제성을 비교하는데는 무리가 있다. 그 이유는 이 연구에서 개발한 개량 피복자재는 주위 환경과의 조화 및 주변식생과 자연적인 조화 등을 고려한 환경친화적인 공법이기 때문에 우리 고유의 재래종을 이용한 생태적인 측면에서의 가치가 평가항목에서 제외되었기 때문이며, 또한 시공단가 역시 대량 생산단계가 되면 어느 정도 제작단비가 줄어들 수 있기 때문이다.

한편 현재 비탈면 피복에 주로 이용되고 있는 코아네트는 2001년 월간물가 자료 및 건설표준품셈에 의하면 〈표 2-42〉에서 알 수 있듯이 1m²당 4,284원이 단가로 제시되어 있다. 그러나 이 연구에서 제시하고 있는 개량 피복자재는 소량으로 제작된 경우의 단가이므로 대량 생산시에는 〈표 2-43〉의 시공단가인 1m²당 8,465원보다 훨씬 낮은 금액으로 단가가 산정될 것으로 판단된다.

2. 개량 피복자재의 이용방안

가. 임도 비탈면의 개량 피복자재 이용방안

임도 비탈면의 안정공법은 무엇보다 불안정 비탈면에 대한 올바른 진단과 지역 특성에 적합한 식생도입이 선행되어야 한다. 즉 대상지역의 토질이나 비탈면 경사와 같은 인자를 고려하고, 주변환경과 조화를 이루는 식생공이 도입 되도록 해야 한다.

따라서 이 연구에서 제시한 개량 피복자재는 비탈면의 물리적 안정 및 생태적 안정에 매우 효과적일 것으로 판단된다. 특히 임도의 절토면은 물리적으로 불안정하여 침식에 매우 약한 특징을 보이고 있기 때문에 침식량의 감소와 조기녹화에 효과적인 개량 피복자재를 임도개설 초기에 적극적으로 도입해야 할 것으로 판단된다. 또한 마사토로 조성된 임도 비탈면에서는 제3장에서 연구된 균근균을 이용한 방안을 병용하면 더욱 효과적일 것으로 판단되므로 적극적으로 도입해야 할 것이다.

나. 기타 훼손지에서의 이용방안

개량 피복자재는 주위경관을 고려한 비탈면 안정화를 기대할 수 있기 때문에 임도 비탈면뿐만 아니라 각종 도로의 비탈면 및 주택 절개지의 안정에도 이용을 확대할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 산불 피해지, 폐광지, 채석적지 등의 각종 훼손지에도 유용하게 이용될 것으로 판단된다.

특히 본 연구진은 이번 연구결과의 후속 연구로 지난해에 발생한 동해안 산불피해지의 복구에 개량 피복자재를 도입하는 연구를 2000년도 과학기술부 중점국가연구개발사업으로 산불 피해지의 「토사 및 재 유출 방지공법 개발」이란 제목하에 연구를 진행하고 있으며, 이미 상당한 연구성과를 축적하고 있다. 또한 이 연구성과를 폐광지 및 채석지 복구에 활용하는 방안을 지속적으로 연구할 예정이며, 산사태지나 붕괴지와 같은 요사방지는 물론 스키장과 골프장의 적용 가능성에 대해서도 지속적으로 연구를 진행할 예정이다.

제 7 절 참고문헌

- 김경남·전근우. 1999. GIS와 SCS's method를 이용한 임도개설지의 직접 유출량 추정 기법의 개발. 1999년도 한국임학회 하계총회 및 학술연구발표회: 146-149.
- 金玟植·全權雨·江崎次夫. 1997. 林道開設이 山地急流小河川の 電氣傳導度와 이온濃도에 미치는 영향 -林道開設地와 未開設地의 比較-. 森林科學研究 13: 90-95.
- 박완근·전근우·염규진·유석인. 1998. 피복자재가 식생 생육에 미치는 영향. 1998 한일공동심포지엄 논문집: 33-47.
- 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.
- 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·池炳潤. 1994. 山岳林의 林道開設에 關한 研究(V) -調查區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·金靈南·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·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·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·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 한일공동심포지엄 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 關한 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 第20號: 59-75.
- 전근우 · 박완근 · 염규진 · 江崎次夫. 2001. 산불 피해지에 있어서 다기능 휠터의 적용 가능성. 2001년도 산불피해 복구기술 심포지엄 「동해안 산불지역 2차 산림피해 방지기술 개발」 논문집: 41-66.
- 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.
- 車斗松 · 全權雨 · 金在生. 1990. 山岳林의 林道開設에 關한 研究 (I) -林道の 概要-. 江原大學校 林科學大學 演習林研究報告 10: 103-118.
- 車斗松 · 全權雨 · 張京植 · 沈尤燮. 1990. 山岳林의 林道開設에 關한 研究 (II)

- 林道網の配置-. 江原大學校 林科大学 演習林研究報告 10: 119-126.
- 車斗松・全權雨・金鍾閔. 1991. 山岳林의 林道開設에 關한 研究(IV) -路線選定の評價-. 江原大學校 林科大学 演習林研究報告 11: 37-42.
- 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回日本綠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綠化. 第27回日本綠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綠化. 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綠化. 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 한일공동심포지엄 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V A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年度砂
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.
- 江崎次夫・岩本徹・芮縉榮・全權雨. 2001. 緑化와 人間(II) -火山性 荒廢地の
緑化-. 森林科學研究 第16號: 88-103.
- 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対する評價法の一試案. 京都府立大學演習林報告 26: 52-71.
- 藤久正文・河野修一・江崎次夫・岩本徹・中島勇喜・全權雨. 1997. 海岸クロマツ林の生育に及ぼす微生物の影響. 第28回日本緑化工學會研究發表會要旨集: 249-252.
- 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緑化. 日本緑化工學會誌 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.
- 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関する研究. 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関する研究. 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. 緑化施工道路法面における植生

- 回復に関する研究. 北海道大学農学部演習林研究報告 38(1): 1-30
- 早川誠而・丸本卓哉・谷宏・吉澤知展・徐森雄. 1994. 環境保全緑化資材の気象環境特性に関する研究—大津市田上山での観測例. 中国・四國の気象 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: 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. 中国・四國の気象 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 滿・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.
- Marumoto, T., Hayakawa, S., Ezaki, T., Yamamoto, K. and Okabe, H.. 1997. Function of a Mulching Sheet for Reforestation and the Prevention of Soil Erosion. J. Agric. Meteorol. 52(5): 613-616.

제 3 장 균근균을 이용한 생물학적 비탈면 안정기술 개발

제 1 절 서 론

균근(mycorrhiza)이란 균류가 식물의 뿌리에 공생하며 형성한 균사-식물뿌리의 복합조직을 의미하는 것으로서, 현재 균근은 식물조직에서의 균사침입 특성 및 균근균과 기주식물과의 특이성 등에 의하여 내생균근(endomycorrhiza), 외생균근(ectomycorrhiza), 내외생균근(ectendomycorrhiza), vesicular-arbuscular mycorrhiza, orchid mycorrhiza 및 ericoid mycorrhiza 등으로 구분되고 있다(Harley and Smith 1983, Molina 1992). 이들중 특히 외생균근의 대부분은 담자균류의 *Hymenomycetes*에 속하며(Miller 1982), 목본식물과 공생하는 특성을 갖고 있어 임업적으로도 주요 연구대상이 되어 왔다(Meyer 1973, Marx 1980, Menge 1983, Abbot and Malajczuk 1994).

일반적으로 균근은 기주식물의 성장 및 생리적 기능을 증진시키는 것으로 밝혀졌는데(Navratil and Rochon 1981, Marx and Artman 1979), 즉 토양으로부터의 인산 흡수 능력 증진(Iwan and Zak 1979), 질소 고정(Kucey and Paul 1982), 생리 활성 호르몬의 분비(Duchesne *et al.* 1988), 내건성의 증대(Dixon *et al.* 1980), 내열성의 증진(Marx and Bryan 1971), 산성우에 대한 내성 증진(Stroo and Alexander 1985) 및 뿌리 병원균의 감염 억제(Marx 1972, 1973)등의 균근의 효과가 입증됨으로서, 임업적으로는 비탈면 안정 등과 같은 열악한 지역의 인공조림시에 균근균의 이용 가치를 인정받게 되었다(Marx *et al.* 1978, Okabe *et al.* 1994, Ezaki *et al.* 1997, Okabe *et al.* 1997)

한편 국내의 균근 관련 연구중, 한국의 목본식물에 자생하는 외생균근을 조사한 결과 100종 이상의 균근균을 분류 동정함으로써(Lee et al. 1981, Lee and Koo 1983, Lee and Kim 1986, 1987), 우리나라에는 비교적 다양한 균근이 존재하는 것을 알 수 있었으며, 소나무림과 포플러림에 공생하는 외생균근균을 동정 비교하였을 때, 기주 특이적인 균근균 보다는 다수의 동일한 균근균이 두임분에서 공히 분류 동정되었다(Lee and Kim 1983). 또한 Koo 등 (1982)은 *Pisolithus tinctorious*와 *Thelephora terrestris*를 이용하여 5종의 소나무 수종 묘목에 인공 접종한 결과, *P. tinctorious* 로 접종한 소나무류 묘목은 무처리 묘목보다 수고 성장 및 건중량에서 탁월한 증진효과를 나타내었으며, 리기테다소나무 묘목에 *P. tinctorious*을 인공접종하면 인공산성우에 의한 피해를 줄일 수 있음을 입증하였다(Ko and Lee 1988). 실생 묘목에의 균근의 인공접종뿐 만아니라, Kim 및 Lee(1990)는 상수리나무의 삽수에 *P. tinctorious*를 인공접종함으로써 삽목의 발근율을 증진시킬 수 있었으며, 더욱이 상수리나무 조직배양묘 및 소나무 삽수묘의 발근도 촉진시킬 수 있음이 확인되었다(Lee and Kim 1994).

현재까지의 연구 결과, 균근은 식물의 성장에 여러 면으로 유익한 역할을 하는 흥미로운 미생물 중의 하나임에 틀림이 없기 때문에, 유용 균근균의 선발 및 균근의 생리 생태적 특성 구명과 함께 이들의 이용 방안에 대한 연구가 다각적으로 이루어져야 할 가치가 있다. 특히 주로 목본 식물에 존재하는 외생균근은 유용한 수종의 효율적인 대량생산에 이용할 수 있는 가능성이 높으며, 사방 사업에 의한 비탈면 등의 척박한 토양에 조림을 필요로 할 경우에도 균근을 이용하면 효율적으로 비탈면을 안정시킬 수 있을 것으로 생각한다.

따라서 이 연구는 국내외에서 분리 및 수집한 외생균근균의 배양학적 특성을 구명하여, 활용 가능성이 높은 균근균을 선발하고, 한편으로는 비탈면 안정에 많이 이용되고 있는 참싸리 실생묘에 선발된 균근균을 적용하여 그 때의

균근 형성 특성 및 효율적인 균근 묘목의 생산 방법을 개발하고자 하였으며, 이들의 결과를 실제 비탈면에 적용하여 그 때의 식생 안정 효과를 검증하고자 하였다.

제 2 절 . 재료 및 방법

1. 공시 배지 및 균근균의 배양

배양특성의 분석을 위하여 사용된 배지는 PDA를 포함하여 총 7종으로 각 공시 배지의 명칭 및 조성은 <표 3-1> 과 같다. 각 배지에서 균사생장량 측정은 PDA배지에서 배양한 각 균근균의 균사를 직경 5mm의 접종원으로하여 페트리접시에 제조한 각 공시 배지에 접종하고, 25℃ 항온기에서 10일간 배양한 후의 균사 성장량을 조사하였다.

온도별 균사 성장량은 MP배지에서 배양한 각 균근의 균사를 직경 5mm의 접종원으로 하여 페트리접시 MP배지에 접종하고, 10℃-35℃ 항온기에서 8일간 배양한 후의 균사생장량을 조사하였으며, pH별 균사생장량은 MP배지를 2N HCl 및 2N NaOH로 pH4에서 pH9까지 조정하여 다음, 위와 같은 방법으로 25℃ 항온기에서 30일간 배양한 후의 균사생장량을 조사하였다.

한편, 탄소원 배지는 1.5% agar 및 peptone(100mg/100ml)에 sucrose, maltose, xylose, arabinose, glucose 및 fructose를 각각 1g/100ml 첨가하여 탄소원 종류별 배지를 제조하였으며, 질소원 배지는 1.5% agar 및 sucrose (1g/100ml)에 urea, potassium nitrate(KNO₃), ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄), asparagine 및 peptone을 각각 100mg/100ml 첨가하여 질소원 종류별 배지를 제조하였고, 이들 각 배지에 균근균의 5mm 접종원을 접종하여 25℃에서 7일간 배양한 후의 균사 성장량을 조사하였다. 각 실험은 공히 3회 반복 실시하였다.

〈표 3-1〉 공시 배지

Name of Medium	Composition
PDA	PDA (Difco Co.) 39g, DI water 1L
FDA	NH ₄ Cl 0.5 g, KH ₂ PO ₄ 0.5g, MgSO ₄ · 7H ₂ O 0.5g, Malt extract 5.0g, Glucose 20g, Agar 1.5 % DI water 1 L, pH 5.0
HAGEM	Malt extract 5g, Glucose 5g, NH ₄ Cl 0.5g, KH ₂ PO ₄ 0.5g, MgSO ₄ · 7H ₂ O 0.5g, FeCl ₃ 1.5 ml, (1% sol), DI water 1L, Agar 1.5 %
HAMATA	Dry Yeast 5g, Glucose 20g, KH ₂ PO ₄ 1g, MgSO ₄ · 7H ₂ O 0.5g, DI water 1L, Agar 1.5 %
MP	Malt extract 10g, Peptone 1g, Glucose 10g DI water 1L, Agar 1.5 %
YPGA	Yeast extract 2g, Peptone 2g, Glucose 10g, KH ₂ PO ₄ 1g, MgSO ₄ · 7H ₂ O 0.5g, DI water 1L, Agar 1.5 %
MMN	Malt extract 3.0 g, Glucose 10g, (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0.25g, KH ₂ PO ₄ 0.5g, MgSO ₄ · 7H ₂ O 0.15g, CaCl ₂ 0.05g, FeCl ₃ 1.2 ml (1% sol), NaCl 0.025g, Thimine HCl 100 mg, DI water 1 L, Agar 1.5 % (pH 5.8)

2. 종자 소독 및 발아

균근 형성을 위한 참싸리의 종자 소독은 Nordam과 Fortin(1982) 및 Brundrett 등(1996)의 방법에 준하여 실시하였다. 즉, 참싸리 종자를 수돗물에서 1일간 수세한 후 70% ethanol로 10초간 1회, 30% 과산화수소(H₂O₂)에서 20초간 2회 및 5% 차아염소산나트륨(NaOCl)에서 20분간 살균한 후, 멸균 증류수로 수세하였다. 살균처리한 종자는 조직배양 용기(SIGMA Cat. No. P-5682)의 water-agar(0.7%) 배지 상에 정치하여 암처리를 하지 않고 실온의 자연광 상태에서 발아시켰다.

3. 균근균의 접종

균근균의 인공접종은 페트리접시 및 시험관을 이용하였는데, 페트리접시를

이용한 인공접종은 Burgess와 Malajczuk 등(1994) 및 Brundrett 등(1996)의 방법을 변형하여 실시하였다. 즉, MP배지에서 배양한 균근균의 균사 접종원을 페트리접시의 water-agar(0.7%) 배지에 접종하여 25-30℃ 배양기내에서 1주일 간 배양한 다음, 살균한 종자로부터 발아한 실생묘를 접종원 사이에 정치시켜 실온의 자연광 상태에서 증식시켰다. 한편, 시험관을 이용한 균근균의 인공접종은 Norris 등(1994)의 방법에 따라 실시하였다. 즉, 20 X 3.5 cm의 시험관(PYREX Cat No. 9825) 내부 벽면을 Whatman filter paper를 이용하여 시험관의 10cm 부위까지 감싸고 그 안에 peat moss-vermiculate(1 : 1 v/v)를 채워 넣은 다음, 약 20 ml의 수돗물을 첨가하여 1시간 동안 고압멸균 하였다. 그 다음 MP배지에서 배양한 균근균의 균사 접종원 및 살균한 종자로부터 발아한 실생묘를 위의 살균한 시험관의 유리벽면과 filter paper 사이에 정치시키고, aluminium foil로 시험관 외부를 filter paper 상단까지 감싼 다음, 실온의 자연광 상태에 정치하여 증식시켰다. 균근 형성 유무는 증식 약 1개월 후에 현미경을 통하여 관찰하였다

4. 균근 염색

균근 형성 유무 및 식물 뿌리조직내의 균근 특성은 Brundrett 등(1990, 1996)의 방법에 따라서 실시하였다. 즉, 균근균을 무균적으로 접종한 후 약 1개월간 증식시킨 실생묘목의 뿌리 조직을 hand section으로 횡단하여 절편을 제작하였으며, 이들 절편을 10% KOH에 옮겨 80℃에서 5시간 처리하고 수세하여 0.03% Chlorazol black E 염색액(lactic acid, glycerine, water 1 : 1 : 1)으로 60℃에서 3시간 염색한 다음, 50% glycerine으로 마운트하여 현미경으로 관찰하였다.

5. 참싸리종자의 과립화

균근균의 접종원은 Le Tacon 등의 방법(1985)에 따라 균사체를 과립상태로 제조하였다. 즉, 혼시메지의 균사를 MP-0.3% agar 배지에서 약 10-15일간 진탕배양한 후, 저속원심분리(10,000 rpm, 10분)에 의하여 균사만을 회수하였으며, 이 균사 25g을 증류수 100 ml에 현탁하였다. 균사 현탁액은 100 ml의 4% sodium alginate와 blender를 이용하여 혼합한 후, 0.5M 염화 칼슘 용액에 피펫을 이용하여 한방울씩 떨어뜨려 immobilization(과립화) 하였다. 한편, 참싸리 종자의 균사 코팅은 균사 및 sodium alginate혼합액에 소독한 참싸리 종자를 투입한 후 염화 칼슘 용액에 떨어뜨려 제조하였으며, 참싸리 종자의 균사 코팅시에 MS 배지를 첨가하기도 하였다. 균근균의 접종원 형태별 참싸리의 발아 효과는 5 X 5 cm의 원예용 묘판을 이용하여, 사토, 마사토 및 원예용 상토 등에 파종하여 25℃의 growth chamber에서 측정하였다.

6. 토성과 균근 형성과의 상관관계 분석

토성별 균근균 처리에 의한 참싸리 종자의 발아 효율 비교 분석은 5 X 5 cm의 원예용 묘판을 이용하여, 원예용 상토, 사토 및 임도 개설 비탈면으로부터 채취한 마사토를 공시하여, 25℃의 growth chamber에서 파종 후 9일까지의 발아율을 1일 간격으로 측정하였다.

제 3 절 유용 균근균의 수집, 선발 및 배양학적 특성 조사

1. 다양한 시험구에서의 균근류의 수집(채집 및 분양) 및 분리 동정

현재까지 분리 동정 및 수집한 균근균은 총 13종으로, 본 연구의 목적이 목

본식물의 균근균이기 때문에 모두가 외생균근균이었으며, 각 균근균의 채집 장소 또는 공생 식물은 <표 3-2> 와 같다. 이들중, 민자주방망이버섯은 2종, 모래발버섯 및 혼시메지는 각각 3종의 분리주를 확보할 수 있었으며, 마귀광대버섯, 젓버섯아재비, 알버섯, 황소비단그물버섯, 모래발버섯, (FRI91004), 자갈버섯, 혼시메지(FRI91040), 젓비단그물버섯 등은 한국 임업연구원으로부터 분양 받았다.

<표 3-2> 공시 균근균 분리주 목록

Scientific name	Strain	Korean name	Locality collected
<i>Amanita pantherina</i>	FRI91018	마귀광대버섯	<i>Pinus densiflora</i> (제천)
<i>Lactarius hatsutake</i>	FRI91039	젓버섯아재비	<i>Pinus thunbergii</i> (일본)
<i>Lepista nuda</i>	Ln73/92	민자주방망이버섯	<i>Pinus sylvestris</i> and <i>P. rigida</i>
<i>L. nuda</i>	Ln59/92	민자주방망이버섯	<i>Betula platiphylla</i> var. <i>japonica</i>
<i>Paxillus sp</i>	Pa60/92	우단버섯	<i>Pinus strobus</i>
<i>Rhizopogon rubescens</i>	FRI91017	알버섯	뉴질랜드
<i>Suillus bovinus</i>	FRI91040	황소비단그물버섯	<i>Pinus thunbergii</i> (일본)
<i>Tricholoma matsutake</i>	91021	송이 버섯	<i>Pinus densiflora</i> (홍천)
<i>Pisolithus tinctorius</i>	Pt9807	모래발버섯	<i>Pinus pumila</i> and <i>Betula ermanii</i>
<i>P. tinctorius</i>	FRI91004	모래발버섯	<i>Pinus densiflora</i> (홍릉)
<i>P. tinctorius</i>	Ptn9808	모래발버섯	일본 북해도대학
<i>Cenococcum geophilum</i>	Cg78/93		<i>Abies sachalinensis</i>
<i>Hebeloma cylindrosporum</i>	FRI91002	자갈버섯	전남대
<i>Lepista sp.</i>	Le65/92		<i>Quercus dentata</i>
<i>Lyophyllum shimeji</i>	FRI91043	혼 시메지	일본 교토 임업시험장
<i>L. shimeji</i>	Ls84/93	혼 시메지	<i>Q. mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>
<i>L. shimeji</i>	Ls71/92	혼 시메지	<i>Q. mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>
<i>uillus granulatus</i>	FRI91007	젓비단그물버섯	홍릉

2. *In vitro*에서의 생리적 특성 조사

균근균은 여러 요인들 중에서도 특히 온도 및 배지의 pH에 영향을 많이 받고 있다. 따라서, 공시 균근균의 생리적 특성은 앞으로 연계해서 수행해야 할 실험에 있어서 꼭 분석해야 할 내용인 각 균근균의 균사생장에 온도 및 pH가 미치는 영향에 관하여 분석하였다.

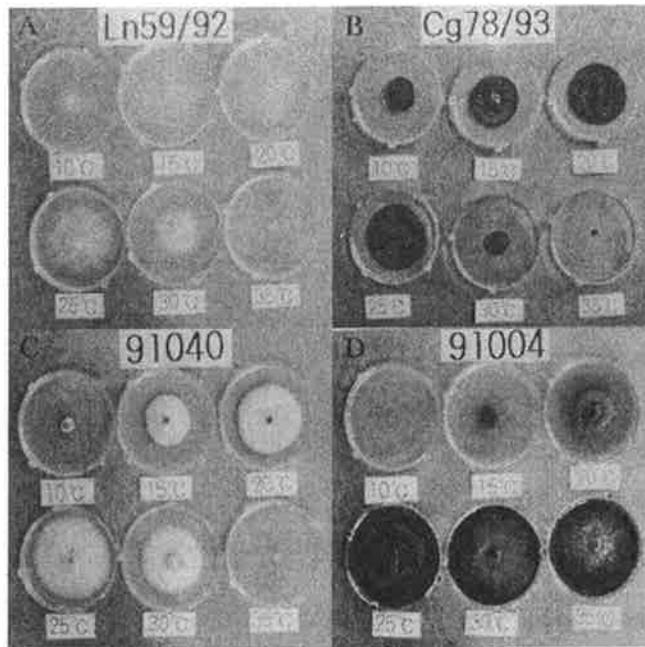
온도별 균사생장량은 PDA배지에서 배양한 각 균근별 균사를 직경 4.5mm의 접종원으로 하여 페트리접시 MP배지에 접종하고, 10℃에서 35℃ 항온기에서 9일간 배양한 후의 균사생장량을 조사하였다. 그 결과 <표 3-3>에서 보는 바와 같이 대부분의 균근균은 25℃에서 균사 생장이 가장 왕성하였고, 알버섯은 20℃에서 균사생장이 가장 왕성하였으며, *Lepista* sp., 황소비단그물버섯 및 모래발버섯 (FRI91004)은 30℃에서 최고의 균사생장을 보였으나, 모두가 중온성의 범주에 속하는 것으로 확인되었다. <사진 3-1>에서는 몇몇 균근균의 온도별 균사생장 특성을 보여주고 있다.

한편, pH별 균사생장량은 MP 배지를 10% HCl 및 10% KOH로 pH4에서 pH9까지 조정된 다음, 위와 같은 방법으로 25℃ 항온기에서 30일간 배양한 후의 균사생장량을 조사하였다. 각 실험은 공히 3회 반복 실시하였다. 그 결과 <표 3-4>에서 보는 바와 같이 대부분의 균근균은 pH 6-8범위에서 균사 생장이 왕성하였으나, 혼시메지 (FRI91043)는 pH 5에서 균사 생장이 양호하였다. <사진 3-2>에서는 2종의 균근균의 pH별 균사생장 특성을 보여주고 있다.

〈표 3-3〉 온도가 균근균의 균사 생장에 미치는 영향

Strain	Diameter of mycelial growth(cm) on MP media at					
	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃
Ln59/92	0.45	1.06	1.83	1.92	0.78	0.45
Le65/92	1.06	2.11	1.18	2.64	2.93	0.46
Pa60/92	0.46	0.53	1.03	1.57	0.90	0.45
Ls71/92	0.87	1.76	2.48	3.90	3.47	0.45
Ln73/92	0.98	1.98	1.20	3.62	2.53	0.45
Cg78/93	0.68	0.87	0.63	1.15	1.14	0.45
Ls84/93	0.90	1.46	1.22	4.01	3.34	0.45
91007	0.53	0.71	1.02	1.21	1.12	0.46
91017	0.49	0.60	1.35	1.26	0.92	0.45
91040	0.45	0.72	1.07	1.36	1.61	0.45
91043	0.89	1.06	2.53	3.72	2.90	0.44
91002	1.10	1.96	2.55	2.92	2.70	0.71
91004	0.45	0.49	0.68	0.95	1.87	1.58

* after 8days

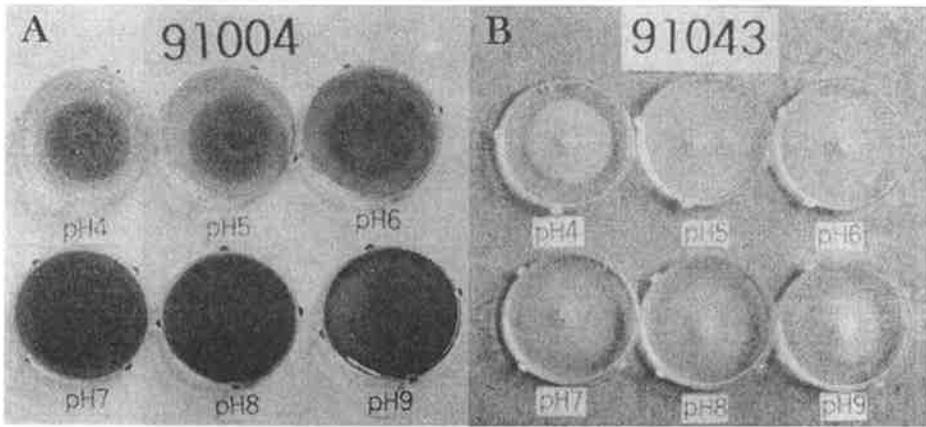


〈사진 3-1〉 온도가 균근균의 균사 생장에 미치는 영향

〈표 3-4〉 pH가 균근균의 균사 성장에 미치는 영향

Strain	Diameter of mycerial growth(cm) on MP media at					
	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
Ln59/92	0.52	1.56	1.55	2.06	2.28	1.96
Le65/92	1.20	1.23	1.27	1.30	1.24	1.18
Pa60/92	1.11	1.11	1.21	1.16	1.21	1.19
Ls71/92	2.32	3.22	3.57	3.31	3.12	2.45
Ln73/92	0.57	1.45	1.45	2.30	2.00	1.90
Cg78/93	0.89	0.87	0.87	0.87	0.96	0.93
Ls84/93	1.36	1.62	1.72	1.68	1.54	1.35
91007	1.29	1.27	1.30	1.38	1.24	0.98
91017	1.20	1.23	1.27	1.32	1.25	0.90
91040	1.26	0.99	1.46	1.29	1.20	0.80
91043	2.62	3.74	3.43	2.67	2.48	1.93
91002	1.77	2.21	2.17	2.22	2.11	2.04
91004	0.97	1.16	1.41	1.20	1.31	1.34

* after 9days



〈사진 3-2〉 배지의 pH가 균근균의 균사 성장에 미치는 영향

3. 균근균의 배양 배지 개발

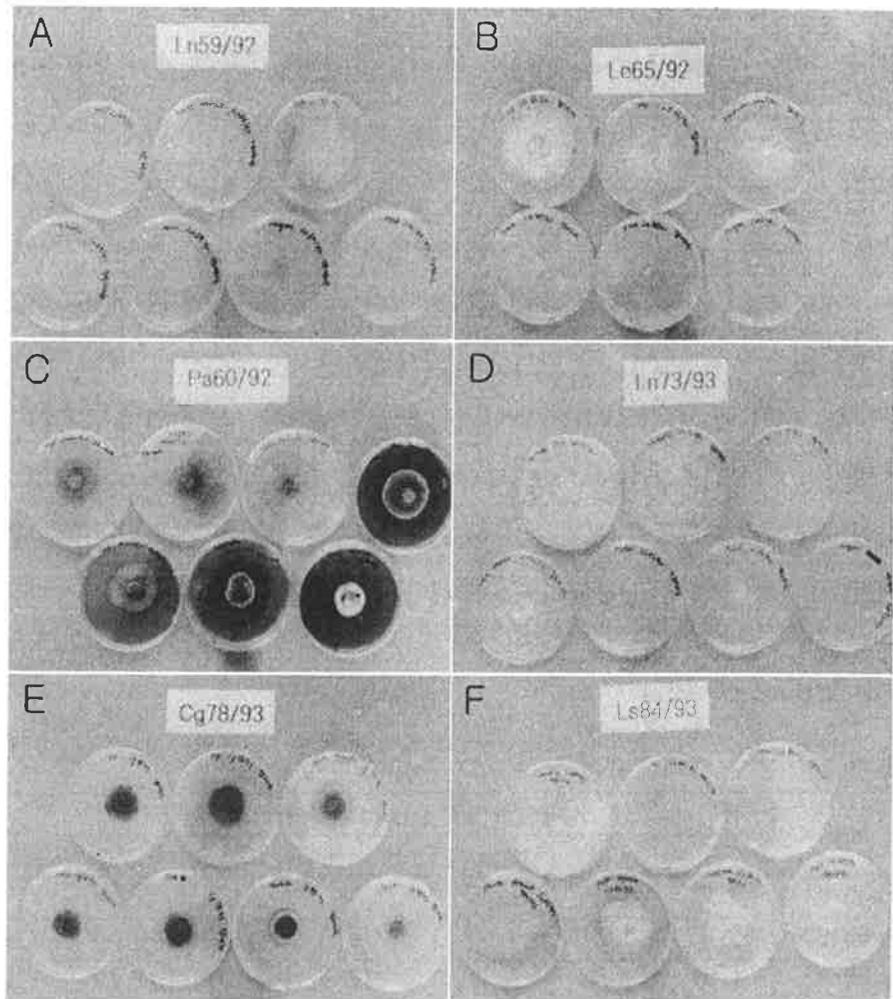
균근을 효율적이며 대량으로 생산해 내기 위하여는 각 균근균이 요구하는 영

양 요구 특성을 분석해야 한다. 따라서, 배지 조성을 달리하는 총 7종의 인공배지를 공시하여 각균균의 군사생장량을 비교 분석하였다. 그 결과 <표 3-5>에서 보는바와 같이 균균별로 선호하는 배지는 다양하였는데, 즉 PDA배지에서는 *Lepista* sp. 및 민자주방망이버섯(Ln73/92)이, FDA배지에서는 젓비단그물버섯이, Hagem배지에서는 알버섯 및 모래발버섯(FR91004)이, Hamata배지에서는 *Cenococcum geophilum* 및 황소비단그물버섯이, YPGA에서는 자갈버섯이 양호한 군사생장을 나타내었으며, 그 외의 민자주방망이버섯(Ln59/92) 및 3종의 혼시메지(Ls71/92, Ls84/93, FRI91043)는 MP배지에서 군사생장이 양호하였다. 2종의 민자주방망이버섯 분리주는 선호하는 배지에 있어서 약간의 차이를 나타내었으나, 혼시메지의 경우는 3종의 분리주 모두 같은 종류의 배지를 선호하는 특성을 나타내었다. 한편, 몇몇 균균의 공시 배지에서의 성장량 및 군사 성장 특성은 <사진 3-3>에 나타내었다.

<표 3-5> 공시 배지에서의 균균의 군사 성장량 비교

Strain	Diameter of mycelial growth(cm) on						
	PDA	FDA	Hagem	Hamata	MMN	MP	YPGA
Ln59/92	3.12	1.16	1.06	2.87	1.39	3.84	2.92
Le65/92	3.33	1.51	0.69	2.47	2.32	2.65	2.45
Pa60/92	1.97	2.60	2.39	1.25	3.12	2.10	1.11
Ls71/92	4.34	1.61	1.90	4.22	3.14	4.87	4.37
Ln73/92	5.91	2.25	0.82	5.74	5.13	5.55	5.24
Cg78/93	1.55	1.00	0.83	2.17	1.49	1.49	1.49
Ls84/93	4.79	2.43	2.21	4.70	3.45	5.47	4.73
91007	1.61	2.38	1.84	1.96	1.48	1.71	1.51
91017	2.08	2.27	2.68	1.26	2.53	1.23	2.15
91040	1.06	0.57	0.90	2.04	1.58	1.95	1.85
91043	3.79	2.04	2.35	4.65	2.13	5.10	4.65
91002	3.69	2.32	2.24	3.83	3.09	3.95	4.42
91004	1.27	1.55	1.88	1.10	0.83	1.77	1.45

* after 10days



〈사진 3-3〉 25℃에서 배양시 각종 배지가 각 공시 균근균의 군사
 성장에 미치는 영향

아울러 군사 성장에 가장 큰 영향을 미치는 영양원들로 알려진 탄소원 및 질
 소원의 종류를 달리하여 한천배지를 제조하고, 그 때의 군사성장 특성을 분석함
 으로서 각 균근균의 군사 배양에 적합한 배지를 개발하고자 하였다.

탄소원 배지의 제조는 1.5% agar-peptone(10mg/10ml)배지에 각 공시 탄소원

을 공히 0.1g/ml 혼합하여 제조하였고, 질소원 배지의 제조는 1.5% agar-sucrose(0.1g/10ml) 배지에 각 공시 질소원을 공히 10 mg/ml 혼합하여 제조하였으며, 여기에 각 균근균의 접종원을 접종 배양하여, 그 때의 균사 성장량을 비교 분석하였다.

〈표 3-6〉은 탄소원 종류별 균근균의 균사성장량으로, 공시한 대부분의 균근균들은 공시한 탄소원들 중에서 glucose를 선호하는 것으로 나타났으며, 그외에 maltose 및 sucrose를 선호하는 균들도 있었다. 〈표 3-7〉은 질소원 종류별 균근균의 균사성장량으로 peptone 및 ammonium sulfate에서 최고의 균사생장을 나타내는 균들이 각각 3종이 있었으며, asparagine에서 균사생장이 양호한 균이 2종 및 urea 및 potassium nitrate에서 균사 생장이 최고인 균근균이 각각 1종으로 밝혀졌다.

〈표 3-6〉 탄소원이 균근균의 균사 성장에 미치는 영향

Strain	Diameter of mycelial growth(cm) on peptone-agar media containing					
	Sucrose.	Maltose	Xylose	Arabinose	Glucose	Fructose
Ln59/92	1.44	1.54	0.72	0.74	1.63	1.15
Pa60/92	0.54	0.62	0.45	0.62	0.91	0.73
Ln71/92	0.59	2.12	2.17	2.05	2.62	2.43
Ln73/92	1.91	1.97	1.69	1.47	1.73	1.38
Cg78/93	0.98	0.96	0.61	0.45	1.01	0.89
Ln84/93	2.36	2.21	1.82	1.74	0.45	0.45
91017	0.74	1.38	0.45	0.45	1.39	1.15
91040	0.54	0.48	0.45	0.45	0.76	0.45
91043	1.71	1.56	1.57	1.75	2.66	1.91
91002	1.98	2.24	0.82	0.45	1.77	1.75
91004	0.68	0.46	0.45	0.45	0.92	0.45

* after 7days

〈표 3-7〉 질소원이 균근균의 균사 생장에 미치는 영향

Strain	Diameter of mycelial growth(cm) on sucrose-agar media containing				
	Urea	Potassium nitrate	Ammonium slufate	Asparagine	Peptone
Ln59/92	1.33	1.34	1.44	1.35	1.57
Pa60/92	0.58	0.85	0.89	0.45	0.72
Ls71/92	0.45	2.28	1.90	2.69	2.65
Ln73/92	1.97	1.84	1.73	1.22	2.09
Cg78/93	0.45	0.93	0.81	0.94	0.95
Ls84/93	0.45	2.00	1.55	2.04	0.45
91017	0.45	1.89	1.93	0.46	1.00
91040	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
91043	0.48	1.77	1.74	0.45	0.45
91002	2.82	2.18	2.04	2.05	2.04
91004	0.45	1.54	1.78	2.01	1.32

* after 7days

4. 유용 균근균의 선발 및 배양체계 확립

위의 실험 결과로부터 수집된 자료를 기초로 하여 균사 생장이 비교적 양호한 균근균을 선발하고, 이들을 대상으로 비탈면 안정에 사용될 수종중의 하나인 참싸리에서의 균근 형성을 *in vitro*에서 비교 분석하여 유용 균근을 1차적으로 선발하고자 하였다. 〈표 3-8〉은 지금까지의 실험결과를 토대로 하여 작성한 각 공시 균근균의 최적의 배양 조건을 정리한 것이다.

한편, 〈사진 3-4〉 I-A는 무균상태로 0.7% 한천배지에서 발아시킨 참싸리의 실생묘로서, 종자의 표면살균은 1일동안 흐르는 수돗물에서 수세한 다음, 70% ethanol에서 2-3분 및 30% H₂O₂에서 30분간 살균한 후, 0.7%한천배지에 정치시켜 실온에서 발아시켰으며, 이 때 약 5일 후부터 발아되기 시작하였다.

참싸리에의 균근 형성은 시험관 및 배양접시를 이용하여 실험하였는데, 〈사진 3-4〉 I-B에서 보는바와 같이 시험관에서의 균근형성은 직경 3.4cm, 길이

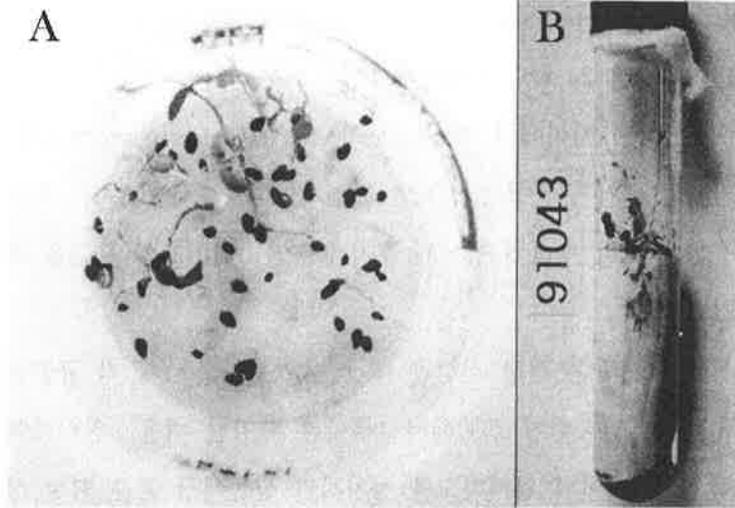
19cm의 시험관 내부 측면을 길이 8cm의 whatman filter paper로 싸고, 그 안쪽에 peat moss와 vermiculate를 같은 양으로 혼합하여 채운 다음, agar를 제외한 MP 배지를 1/10희석하여 20 m씩 첨가하여 1시간 autoclave하였다. 그 다음, filter paper와 시험관 측면 사이에서 각 균근균의 접종원(4.5mm)을 실생묘의 뿌리 부근에 위치시켜 실온에서 균근형성 정도를 관찰하였다. <사진 3-4> I-B는 접종 후 약 1개월 후에 참싸리 뿌리에 형성된 혼시메지 (FRI91043)의 균근을 하나의 예로 보여주고 있다.

배양 접시에서의 균근 형성 실험은 MP 배지(0.7% agar)에 각 균근균의 접종원을 2줄로 6-7곳에 접종하여 25℃에서 1주일간 배양한 다음, 참싸리의 실생묘의 뿌리가 배양 균사 사이에 위치하도록 정치시켜 실온에서 균근 형성 정도를 관찰하였다. <사진 3-4> II-A 는 혼시메지(Ls71/92) 균근균에 의하여 참싸리뿌리에 형성된 균근을 보여 주고 있으며, II-B 는 민자주방망이버섯(Ln59\92)으로, 균사생장은 왕성하나 참싸리 뿌리에 균근이 형성되지 않았음을 알 수 있다.

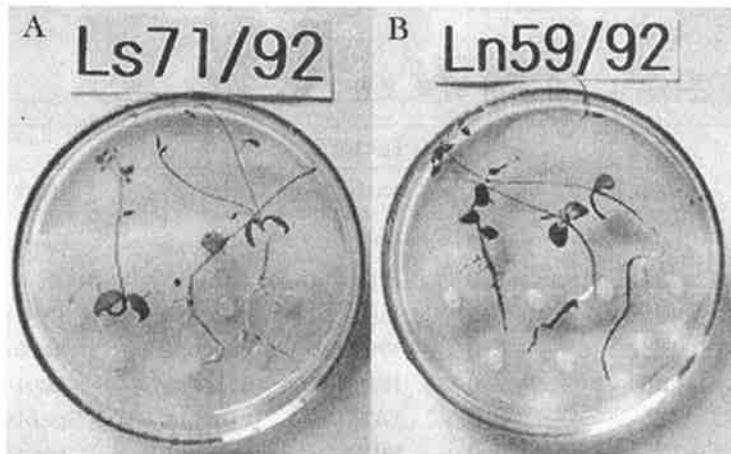
<표 3-8> 균근균의 균사 배양 최적 조건

Strain	Factors				
	Temp. (°C)	pH	Media	Carbon	Nitrate
Ln59/92	25	8.0	MP	glucose	peptone
Le65/92	25	7.0	PDA		
Pa60/92	25	6.0	FDA	glucose	(NH ₄) ₂ SO ₄
Ls71/92	25	6.0	MP	glucose	asparagine
Ln73/92	25	7.0	HAMATA	maltose	peptone
Cg78/93	25	8.0	HAMATA	glucose	peptone
Ls84/93	25	6.0	MP	sucrose	peptone
91007	25	7.0	FDA		
91017	20	6.0	HAGEM	glucose	(NH ₄) ₂ SO ₄
91040	25	6.0	HAMATA	glucose	(NH ₄) ₂ SO ₄
91043	25	5.0	MP	glucose	KNO ₃
91002	25	7.0	YPGA	maltose	urea
91004	30	6.0	HAGEM	glucose	asparagine

< I >



< II >



<사진 3-4> 균근균 입공 접종 실험(종자 살균하여 0.7% 한천 배지에서 무균적으로 발아시킨 참싸리 종자를(I-A)를 시험관 (I-B) 및 배양 접시 (II)에서의 균근 인공 접종. 배양 접시에서의 균근 형성 참싸리 뿌리 (II-A) 및 균근 비형성 참싸리 뿌리 (II-B).

제 4 절 균근균의 인공접종기술 개발

1. 균근균 및 식물종에 따른 접종방법별 효과 비교

-참싸리에 있어서 균근 형성 특성-

균근균 및 식물종에 따른 접종방법별 효과 분석에 공시한 균근균은 아래 <표 3-9> 에서 보는 바와 같이 전년도 실험 결과 선발된 균근균을 위주로, 특히 활엽수종에서부터 분리한 균근균을 사용하였으며, 공시식물종은 비탈면 도입식생 선정 실험결과로부터 참싸리를 1차 공시 식물로 선정하였다.

<표 3-9> 공시 균근균의 종류

학명 (Scientific name)	균주번호	버섯이름
<i>Lepista nuda</i>	Ln73/92	민자주방망이버섯
<i>Lyophyllum shimeji</i>	FRI91043	혼시메지 (땅지만가닥버섯)
<i>Rhizopogon rubescens</i>	FRI91017	알버섯
<i>Hebeloma cylindrosporum</i>	FRI91002	자갈버섯
<i>Lepista nuda</i>	Ln59/92	민자주방망이버섯
<i>Lepista sp.</i>	Le65/92	
<i>Lyophyllum shimeji</i>	Ls84/93	혼시메지 (땅지만가닥버섯)
<i>Lyophyllum shimeji</i>	Ls71/92	혼시메지 (땅지만가닥버섯)
<i>Suillus granulatus</i>	FRI91007	젓비단그물버섯

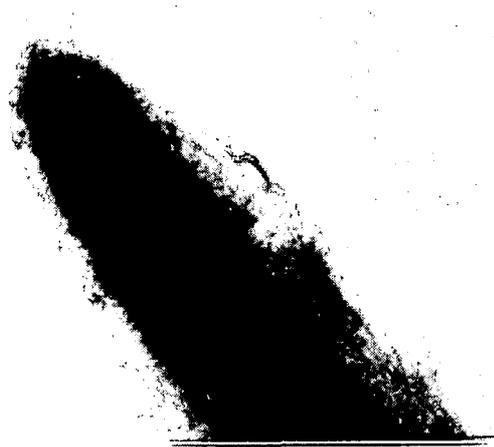
균근 형성을 위하여, 전술한 바와 같이 소독 처리한 종자는 조직배양 용기 (Phytagon, Sigma)의 water-agar(0.7%) 배지상에 정치하여 암처리를 하지 않고 실온의 자연광 상태에서 발아시켰다. 한편, 균근균의 페트리접시를 이용한 인공접종은 Burgess와 Malajczuk 등(1994) 및 Brundrett 등(1996)의 방법을 변형하여 실시하였다. 즉, MP배지에서 배양한 균근균의 균사 접종원을 페트리

접시의 water-agar(0.7%) 배지에 접종하여 25-30℃ 배양기내에서 1주일간 배양한 다음, 소독한 종자로부터 발아한 실생묘를 접종원 사이에 정치시켜 실온의 자연광 상태에서 증식시켰다. 한편, 시험관을 이용한 균근균의 인공접종은 Norris 등(1994)의 방법에 따라 실시하였다. 즉, 20x3.5 cm의 시험관(PYREX Cat No. 9825) 내부 벽면을 Whatman filter paper를 이용하여 시험관의 10cm 부위까지 감싸고 그 안에 peat moss-vermiculite를 1 : 1(v/v)로 채워 넣은 다음, 약 20 ml의 수돗물을 첨가하여 1시간 동안 고압멸균하였다. 그 다음 MP 배지에서 배양한 균근균의 균사 접종원 및 소독한 종자로부터 발아한 실생묘를 위의 살균한 시험관의 유리벽면과 filter paper 사이에 정치시키고, aluminum foil로 시험관 외부를 filter paper 상단까지 감싼 다음, 실온의 자연광 상태에 정치하여 증식시켰다. 균근 형성 유무 및 식물 뿌리조직내의 균근 특성은 증식 약 1개월 후에 Brundrett 등(1990, 1996)의 방법에 따라 실시하였다. 즉, 균근균을 무균적으로 접종한 후 약 1개월간 증식시킨 실생묘목의 뿌리 조직을 hand section으로 횡단하여 절편을 제작하였으며, 이들 절편을 10% KOH에 옮겨 80℃에서 5시간 처리하고 수세하여 0.03% Chlorazol black E 염색액(lactic acid, glycerine, water 1 : 1 : 1)으로 60℃에서 3시간 염색한 다음, 50% glycerine으로 마운트하여 현미경으로 관찰하였다.

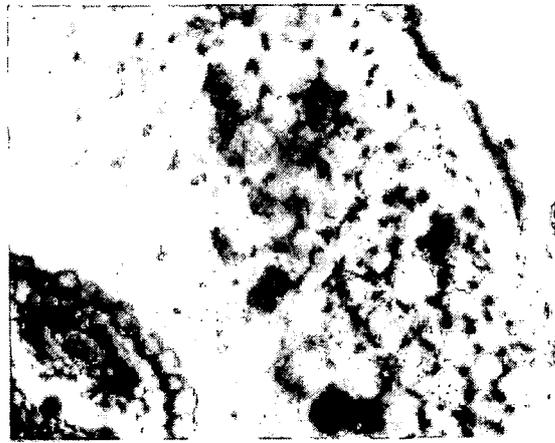
그 결과, 혼시메지로 접종한 참싸리의 뿌리 표피는 균사층(hyphal mantle)이 발달해 있었으며 <사진 3-5>, hand section에 의하여 이 조직의 횡단 단편을 관찰하였을 때, 세포 간극에 Hartig net가 형성되어 있음을 확인할 수 있었다 <사진 3-6, 3-7>. 반면, 그외의 공시 균근균들의 균사로 접종한 참싸리의 뿌리 표피에서는 현재까지 혼시메지와 같이 높은 효율로 균근을 형성하는 균근균은 확인하지 못하였다. 이와 같은 현상은 시험관 및 페트리접시를 이용한 균근균의 접종실험 모두 동일한 결과를 나타내었다(자료 생략).

참싸리를 이용한 균근 형성 실험의 결과, 균근균과 식물간의 기주 특이성이

있음이 확인되었는데, 즉 공시 균근균중에서는 혼시메지가 참싸리에 용이하게 균근을 형성하는 것으로 밝혀졌다. 따라서, 특정 식물종에 균근을 형성시킬 경우는 먼저 식물종과 균근균과의 공생능력의 판별이 선행되어야 하는데, 이 경우 본 실험에서 이용한 균근균의 인공접종법 등과 같은 방법을 이용하면, 단시간에 손쉽게 균근 형성능을 판별할 수 있을 것으로 확인되었다.



〈사진 3-5〉 혼시메지에 의하여 뿌리 표면에 hyphal mental을 형성한 참싸리 실생묘



〈사진 3-6〉 참싸리 뿌리의 횡단 단편으로 세포 간극사이에 형성된 Hartig net



〈사진 3-7〉 〈사진 3-6〉의 확대

2. 균근균의 접종원 형태별 효과 비교

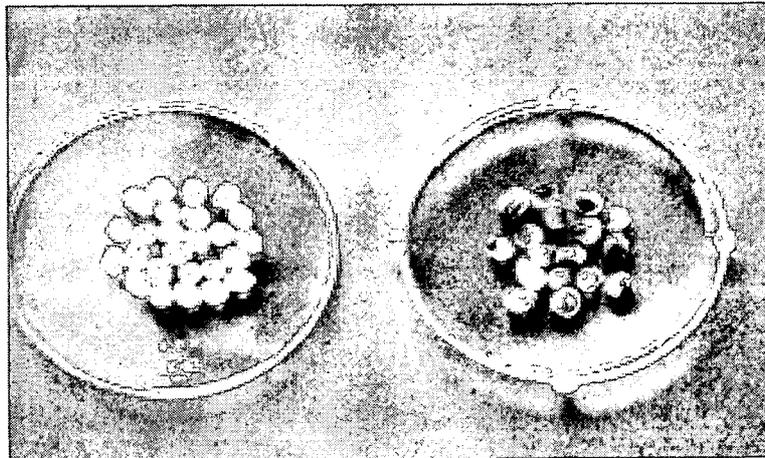
-혼시메지 및 참싸리종자의 과립화와 이 때의 군사활성 및 발아율 검정-
균근균의 접종원 형태별 효과분석에 사용한 식물종은 비탈면 도입식생 선정 실험결과로부터 참싸리를 공시 식물로 선정하였으며, 공시 균근은 배양학적 특성 분석 및 참싸리와의 균근 형성 실험 결과로부터 혼시메지를 공시하였다.

참싸리의 종자 소독은 Nordam과 Fortin(1982) 및 Brundrett 등(1996)의 방법에 준하여 실시하였다. 즉, 참싸리 종자를 수돗물에서 1일간 수세한 후 70% ethanol로 10초간 1회, 30% 과산화수소 용액(H_2O_2)에서 20초간 2회 및 5% 차아염소산나트륨 ($NaOCl$)에서 20분간 소독한 후, 멸균 증류수로 수세하여 실험에 사용하였다.

균근균의 접종원은 Le Tacon 등의 방법(1985)에 따라 군사체를 과립상태로 제조하였다. 즉, 혼시메지의 군사를 MP-0.3% agar 배지에서 약 10-15일간 진

탕배양한 후, 저속원심분리(10,000 rpm, 10분)에 의하여 균사만을 회수하였으며, 이 균사 25g을 증류수 100 ml에 현탁하였다. 균사 현탁액은 100 ml의 4% sodium alginate와 blender를 이용하여 혼합한 후, 0.5M 염화 칼슘 용액에 피펫을 이용하여 한방울씩 떨어뜨려 immobilization(과립화) 하였다. 한편, 참싸리 종자의 균사 코팅은 균사 및 sodium alginate혼합액에 참싸리 종자를 투입한 후 염화 칼슘 용액에 떨어뜨려 제조하였으며, 참싸리 종자의 균사 코팅시에 MS 배지를 첨가하기도 하였다. 균근균의 접종원 형태별 참싸리의 발아 효과는 5 X 5 cm의 원예용 묘판을 이용하여, 사토, 마사토 및 원예용 상토에서, 25℃의 growth chamber에서 측정하였다.

그 결과, 과립상태로 제조한 혼시메지 균사체 접종원 <사진 3-8>의 활력은 4℃에 보관하였을 경우, 약 4개월간 유지됨을 확인할 수 있었으며(자료 생략), 혼시메지 균사체로 코팅한 참싸리 종자의 발아력은 제조 1개월 후까지도 대조구와 차이를 나타내지 않고 유지되었다 <표 3-10> .

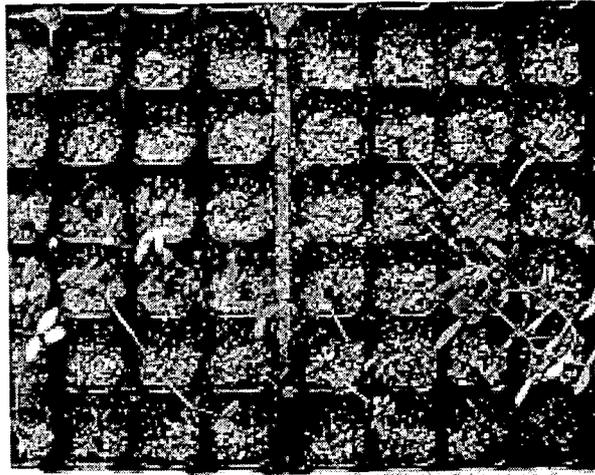


<사진 3-8> sodium alginate로 immobilization하여 과립상태로 제조한 혼시메지의 균사체(왼쪽) 및 이것으로 코팅한 참싸리 종자(오른쪽)

〈표 3-10〉 혼시메지 군사체로 코팅한 참싸리 종자의 발아율

제조후	종자처리 coating (Ls71/92 + 종자 + MS)	control (무처리 종자)
7일	3*	3
14일	4	3
21일	3	4
28일	3	4
35일	3	3

혼시메지 군사체로 코팅한 종자의 경우, 사토에서 대조구에 비하여 발아시기도 빨랐으며, 코팅시 MS배지를 첨가하였을 경우는 발아율도 높음을 확인할 수 있었으나(〈사진 3-9〉, 〈표 3-11〉), 원예용 상토에서는 군사체 코팅 종자와 대조구 사이에서는 발아력의 차이를 인정할 수 없었다(〈표 3-12〉). 이것은 영양원이 풍부한 경우의 토양에서는 특별히 종자를 군사체 및 MS배지로 코팅할 필요가 없음을 의미하는 것이나, 실제로 우리나라 산지 비탈면에서 많이 볼 수 있는 토양조건인 마사토에서의 군사체 코팅 종자의 발아력을 조사해 본 결과, 발아시기가 다소 뒤지기는 하였으나 원예용 상토에서와 동일한 발아력을 보여(〈표 3-13〉), 비교적 열악한 토양조건인 비탈면의 식생 조성시에는 군사체 코팅 종자를 이용함으로써, 식생안정 증진효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.



〈사진 3-9〉 접종원 형태별 참싸리의 발아 실험

〈표 3-11〉 사토에서의 혼시메지 접종원 형태별 참싸리의 발아율

종자처리 파종후	coating (Ls71/92+종자+MS)	coating (Ls71/92+종자)	control (무처리 종자)
5일	0*	0	0
6일	5	1	0
7일	8	1	0
8일	9	3	1
9일	10	3	3

* 각 처리당 16립의 종자를 파종하였을 경우의 발아수

〈표 3-12〉 원예용 상토에서의 혼시메지 접종원 형태별 참싸리의 발아율

종자처리 파종후	coating (Ls71/92+종자 + Ms)	coating (Ls71/92 + 종자)	control (무처리 종자)
5일	1*	3	0
6일	2	3	1
7일	3	3	2
8일	3	3	3
9일	3	3	3

* 각 처리당 16립의 종자를 파종하였을 경우의 발아수

〈표 3-13〉 MS배지를 첨가한 혼시메지 균사체로 코팅한 참싸리 종자의 원예용 상토 및 마사토에서의 발아율

파종후	토 양	원예용 상토	마 사 토
4일		1*	0
5일		3	1
6일		4	3
7일		7	4
8일		9	5
9일		9	8
10일		9	9
11일		9	9
12일		9	9

* 각 처리당 16립의 종자를 파종하였을 경우의 발아수

3. 대량 접종 및 균근식물 생산체계 확립

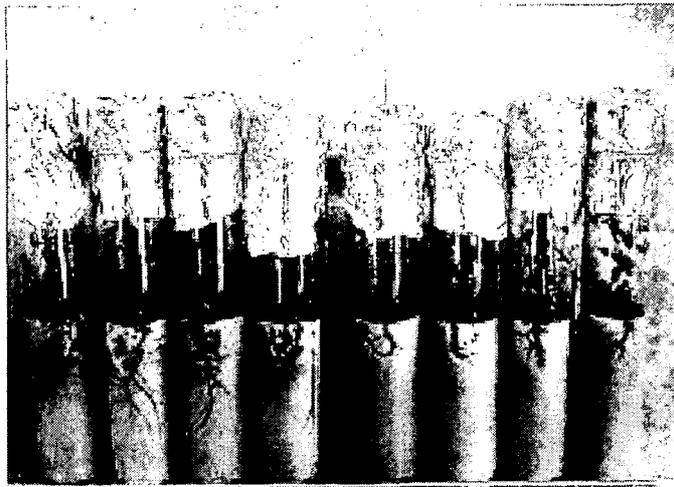
가. 시험관에서의 접종 및 균근식물 생산

시험관에서의 혼시메지 균근균-참싸리 실생묘의 인공접종은 앞서 언급한 바와 같이 Norris 등(1994)의 방법에 따라 실시하였다. 즉, 20x3.5 cm의 시험관(PYREX Cat No. 9825) 내부 벽면을 Whatman filter paper를 이용하여 시험관의 10cm 부위까지 감싸고 그 안에 peat moss-vermiculite를 1 : 1(v/v)로 채워 넣은 다음, 약 20 ml의 수돗물을 첨가하여 1시간 동안 고압멸균하였다. 그 다음 살균한 참싸리 종자로부터 발아한 후 3-5일째되는 실생묘를 시험관의 유리벽면과 filter paper 사이에 하나의 시험관당 2주씩 대칭방향으로 정치시키고, 그 뿌리 주위에 MP배지에서 배양한 균근균의 균사체 agar disc(직경 0.5cm) 4개를 접종한 다음, aluminum foil로 시험관 외부를 균근균 및 참싸리 뿌리부위에 광이 차단되도록 filter paper 상단까지 감싼 후, 식물생장상(25°C, 상대습도 60%) 내에서 1개월간 증식시켰다(〈사진 3-10〉). 균근 형성 식물은 사토-vermiculite(3 : 1, v/v)의 원형 포트(6 X 18 cm)에 20주씩 이

식하여 역시 동일한 조건의 식물생장상에서 증식시키면서 그 때의 성장 특성을 관찰 분석하였다.

그 결과, <표 3-14>에서 보는 바와 같이 혼시메지 접종 참싸리 실생묘는 뿌리의 생장이 다른 시험구에 비하여 상당히 촉진됨을 확인할 수 있었으며, 이들의 성장량 (생체 길이 및 중량)을 측정한 결과에서도 혼시메지 접종묘목의 성장 촉진효과를 확인할 수 있었다. 또한 T/R율은 혼시메지 접종 묘목이 상당히 낮아, 뿌리부위의 발육 촉진효과가 두드러짐을 알 수 있었다.

한편, 이상과 같이 시험관에서 혼시메지 균근균을 접종한 참싸리묘목을 사토의 원형 포트에 이식하여 계속 증식 시켰을 경우, 고사한 묘목이 전혀 없이 양호한 활착율을 나타내었다(<사진 3-11>). 이 방법은 다른 방법에 비하여 잡균의 오염 없이 균근 묘목을 생산해 낼 수 있는 가장 확실한 방법이긴 하지만, 비교적 많은 시간과 경비가 소요되는 시험관에서의 수작업이기 때문에, 실용화 단계에서는 묘목 생산의 자동화가 이루어져야할 필요가 있을 것으로 판단된다.

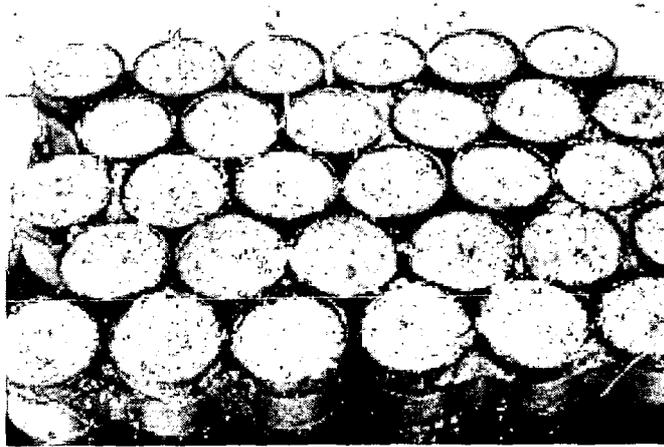


<사진 3-10> 시험관에서의 참싸리 실생묘에 혼시메지 균근균의 접종
혼시메지 접종구(왼쪽) 및 대조구(오른쪽)

〈표 3-14〉 시험관에서 혼시메지 균사체를 접종한 참싸리묘목의 성장 특성

Inoculation Type	Seedling Height(cm)			Seedling Weight(g)						Top/Root Ratio (Dry weight Basis)
	Shoot	Root	TOTAL	Fresh Weight			Dry weight			
				Shoot	Root	TOTAL	Shoot	Root	TOTAL	
1*	3.62	6.90	10.52	32.50	21.24	53.74	8.70	4.72	13.42	1.84
2	3.30	2.80	6.1	30.12	8.62	38.74	7.54	1.85	9.39	4.08
3	3.26	2.75	6.0	29.88	8.46	38.34	7.25	1.78	9.03	4.07

- * 1. 혼 시메지 (*Lyophyllum shimeji*, Ls71/92)
 - 2. 젓비단그물버섯 (*Suillus granulatus*, FRI91007)
 - 3. Control.
- * 각 수치는 13주의 참싸리 묘목으로부터의 측정치의 평균임



〈사진 3-11〉 시험관에서 혼시메지 균균을 접종한 참싸리 실생묘를 포트에 이식 2주후의 모습

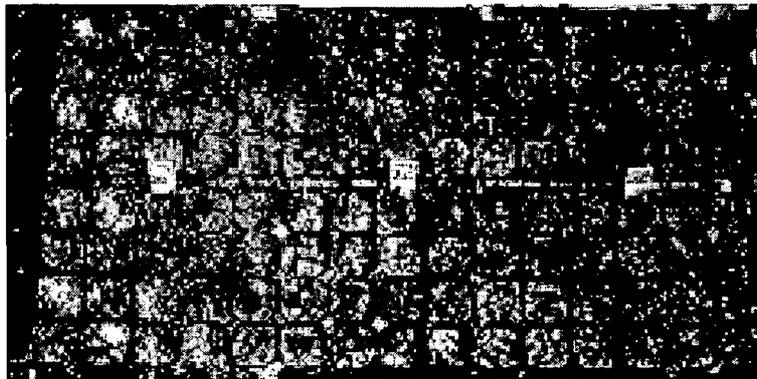
나. 혼시메지 균사체 및 MS 배지로 코팅한 참싸리 종자의 직파에 의한 균근식물 생산

혼시메지 균사체 및 MS 배지로 코팅한 종자의 제조는 앞서 언급한 바와 같

은 방법으로 제조하였다. 즉 약 40일간 MP 액체 배지에서 진탕배양한 균사체로 alginic acid를 이용하여 MS배지 함유 코팅 종자를 제조하였다. 제조된 코팅 종자는 멸균한 사토-vermiculite(3 : 1, v/v)의 원예용 사각형 소형 포트(3×3×5cm)에 20립씩 파종하였으며, 식물생장상(25℃, 상대습도 60%) 내에서 발아 및 증식시켰으며(〈그림 3-12〉), 파종 1개월 후 발아 증식 중인 실생묘의 성장 특성을 조사 분석하였다.

그 결과, 〈표 3-15〉에서 보는 바와 같이 대조구에 비하여 균근균 접종구의 성장촉진 효과가 다소 인정되었으며, T/R율도 혼시메지 접종 묘목이 낮아, 근계 발육 촉진효과도 확인할 수 있었다.

본 방법은 묘목 이식이 불가능한 지역의 경우, 직파에 의한 식생도입시 적용가능한 방법으로, 무처리 종자에 비하여 발아 및 활착율을 높일 수 있을 것으로 추정된다. 단 이러한 코팅종자는 장시간 실온에서 보관할 수 없는 단점이 있으며, 실제 적용시에는 자동화에 의한 대량 생산체계가 확립되어야 할 것이다.



〈사진 3-12〉 혼시메지 균사체 및 MS 배지로 코팅한 종자의 직파에 의한 균근식물의 증식

〈표 3-15〉 혼시메지 균사체 및 MS 배지로 코팅한 참싸리종자의 직파 1개월 후의 생장 특성

Inoculation Type	Seedling Height(cm)			Seedling Weight(g)						Top/Root Ratio (Dry weight Basis)
	Shoot	Root	TOTAL	Fresh Weight			Dry weight			
				Shoot	Root	TOTAL	Shoot	Root	TOTAL	
1*	4.71	4.61	9.32	49.70	7.13	56.83	11.67	3.16	14.83	3.69
2	5.65	4.05	9.70	48.93	7.00	55.93	11.48	2.93	14.41	3.92

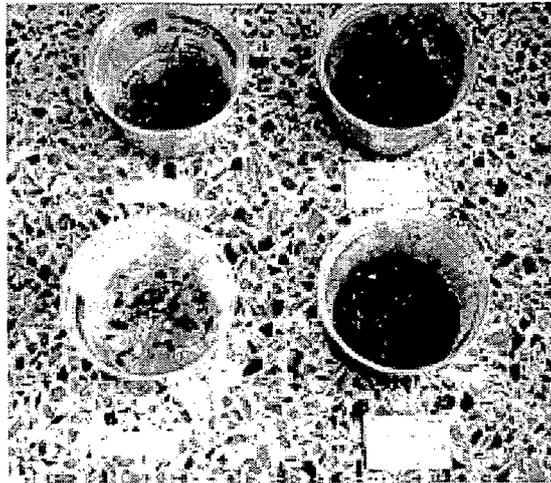
- * 1. 참싸리종자의 alginic acid에 의한 코팅(혼 시메지 균사체+MS+참싸리 종자)
2. Control

다. 조직배양용기에서의 접종 및 균근식물 생산

조직배양용기(SIGMA Cat. No. P 5682, 12 X 7.5 cm)에서의 균근 접종은, peat moss-vermiculite(1 : 1, v/v) - 0.3% agar 50 ml를 배양용기에서 고압 멸균하여 배지를 제조하였고, 이 배지상에 MP배지에서 배양한 균근균의 균사체 agar disc(직경 0.5cm) 10개를 접종하여 25℃에서 약 10일간 배양하였으며, 살균한 참싸리 종자로부터 발아한 후 3일째되는 실생묘를 위의 배양용기 상에 30주씩 이식 정치하여 식물생장상(25℃, 상대습도 60%) 내에서 증식시켰다. 참싸리 실생묘 이식 20일 후, 균근 형성 식물은 사토-vermiculite(3 : 1, v/v)의 원예용 사각형 소형 포트(3 X 3 X 5 cm)에 15주씩 이식하여 역시 동일한 조건의 식물생장상에서 증식시키면서 그 때의 생장 특성을 관찰 분석하였다. 그 결과, 〈사진 3-13〉에서 보는 바와 같이 비교적 간단한 방법으로 작은 용기내에서 대량의 참싸리 균근 묘목을 접종 및 생산할 수 있는 방법으로 판단되었다. 단, 단점으로는 시험관에서의 접종방법에 비하여 잡균의 오염 발생율이 높으므로, 균근균의 접종 배양 및 참싸리의 발아 이식시의 오염 방지에 각별한 주의가 요구된다.

한편, 이 방법에 의하여 접종한 참싸리 균근 묘목을 사토 포트에 이식한 다음 10일 후, 일부를 수거하여 생장 특성을 조사 분석한 결과, 〈표 3-16〉에

서 보는 바와 같이 대조구에 비하여 혼시메지 접종구의 성장 촉진 효과가 있음이 인정되었으며, T/R율은 혼시메지 접종 묘목이 낮아, 대조구 묘목에 비하여 근계 발육이 양호함을 확인할 수 있었다.



〈사진 3-13〉 조직배양용기에서의 접종 및 균근식물의 증식

〈표 3-16〉 조직배양용기에서 혼시메지 균근균을 접종한 참싸리묘목을 사토 포트에 이식, 10일후의 성장 특성

Inoculation Type	Seedling Height(cm)			Seedling Weight(g)						Top/Root Ratio (Dry weight Basis)
	Shoot	Root	TOTAL	Fresh Weight			Dry weight			
				Shoot	Root	TOTAL	Shoot	Root	TOTAL	
1*	5.93	4.07	10.00	43.14	12.16	55.30	4.84	1.26	6.10	3.84
2	5.25	3.53	8.78	42.84	9.20	52.04	4.78	1.12	5.90	4.27

* 1. 혼 시메지 (*Lyophyllum shimeji*, Ls71/92)

2. Control.

* 각 수치는 5주의 참싸리 묘목으로부터의 측정치의 평균임

제 5 절 균근균의 형성과 환경요인과의 상관관계 분석

1. 임상별 균근균의 분포 특성

우리나라 자생 균근균의 분포 특성 및 기주식물 별(임상별) 균근균의 분포 특성을 조사하기 위하여 강원대학교 주위에 위치한 산림을 대상으로 균근균의 채집 및 분류 동정을 실시하였다.

조사지는 강원도 홍천군 동산면 봉명2리의 강원대학교 산림과학대학 학술림 및 강원도 춘천시 효자2동 강원대학교내림 이었으며, 조사기간은 1998년 6월부터 1999년 11월까지였다. 조사 방법은 소나무(강원대학교 교내림 및 학술림), 잣나무(강원대학교 학술림), 일본잎갈나무(강원대학교 학술림), 및 참나무림(강원대학교 교내림 및 학술림)을 대상으로 외관상 특성으로 균근균으로 추정되는 임상별 자실체 형성 고등균류를 채집한 후, 갓의 형태 및 색깔, 주름의 특성, 포자문의 색, 턱받이 및 대의 유무, 포자의 형태 및 크기 등, 일반적인 고등 균류의 분류 key에 따라 분류 동정을 실시하였으며, 이들 중 균근균으로 보고된 종만을 선별하여 정리하였다. 단, 본 연구실에서 분류 동정이 불가능한 약 10여종의 균류에 대하여는 본 조사 대상에서 제외하였다.

그 결과 <표 3-17>에서 보는 바와 같이 총 8과 13속 24종의 비교적 많은 수의 균근균이 분포하는 것을 확인할 수 있었는데, 광대버섯류 및 일부 무당버섯류는 침 침엽수림에서 흔히 발견되는데 반하여, 그들버섯류는 수로 침엽수에서, 그리고 싸리버섯류는 참나무림 내에서만 발견되었다. 특히 피꼬리버섯 및 흰편빵버섯은 본 조사에서는 침엽수 중에서도 소나무림 내에서만 발견되어 기주 특이성의 가능성이 있을 것으로 추정되나, 본 연구는 비교적 짧은 조사기간과 한정된 지역에서의 채집이 이루어진 관계로 기주 특이적 균근균의

선발이나 임상별 균근균의 분포 특성을 규정하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

한편, 본 실험에 사용하고 있는 땅지만가닥버섯(=혼시메지, *Lyophyllum shimeji*)은 우리나라에 자생하는 것으로는 보고되어 있지만, 본 조사 기간 중에는 발견하지 못하였으며, 오래전부터 대표적인 외생균근으로 세계적으로 많은 실험에 사용되어 온 모래밭 버섯도 역시 발견하지 못하였다. 따라서, 앞으로는 본 조사 결과와 같이 우리나라에 풍부하게 자생하고 있는 균근균의 활용 가능성에 대한 보다 적극적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각하며, 한편으로는 우리나라에서는 자생하지 않거나 분포 빈도가 적은 유용 균근균의 경우는 외국에서 균주를 분양 도입 받아서라도 적극적인 활용 방안을 모색하는 것이 바람직 할 것으로 생각한다.

<표 3-17> 기주 수종 (임상)별 균근균의 종류

Scientific name (Korean Name)	Host
<i>Laccaria amethystina</i> (자주줄각버섯)	소나무, 잣나무
<i>L. tortilis</i> (밀줄각버섯)	잣나무, 잣나무
<i>Amanita pantherina</i> (마귀광대버섯)	소나무, 잣나무, 참나무류
<i>A. longistriata</i> (긴골광대버섯아재비)	잣나무, 소나무, 참나무류
<i>A. rubescens</i> (점박이광대버섯)	참나무속, 잣나무
<i>Suillus luteus</i> (비단그물버섯)	소나무, 잣나무
<i>S. granulatus</i> (젓비단그물버섯)	잣나무, 잣나무
<i>Xerocomus chrysenteron</i> (마른산그물버섯)	낙엽송, 잣나무
<i>Boletus edulis</i> (그물버섯)	잣나무, 소나무
<i>B. erythropus</i> (붉은대그물버섯)	소나무, 잣나무
<i>Leccinum aurantiacum</i> (등색겉겉이그물버섯)	소나무, 잣나무
<i>L. extremorientale</i> (겉겉이그물버섯)	소나무
<i>Gyroporus castaneus</i> (흰들레그물버섯)	참나무류
<i>Russula delica</i> (푸른주름무당버섯)	소나무
<i>R. emetica</i> (냄새무당버섯)	소나무, 참나무류
<i>R. pseudodelica</i> (흰무당버섯아재비)	잣나무, 소나무
<i>R. senecis</i> (흙무당버섯)	소나무, 참나무류
<i>Lactarius volemus</i> (배젓버섯)	소나무, 참나무류
<i>Ramaria botrylis</i> (싸리버섯)	참나무류
<i>R. flava</i> (노랑싸리버섯)	참나무류
<i>R. formosa</i> (붉은싸리버섯)	참나무류
<i>Cantharellus cibarius</i> (피꼬리버섯)	소나무
<i>Sarcodon aspratus</i> (향버섯)	참나무류
<i>Kobayasia nipponica</i> (흰편빵버섯)	소나무

2. 토성과 균근 형성과의 상관관계 분석

1, 2년차 연구 결과로부터 선발된 땅지만가닥버섯(=혼시메지, *Lyophyllum shimeji* <Ls71/92>) 및 참싸리를 이용하여 실험실 내에서의 각 토양 조건에 따른 종자의 발아율에 의하여 토성과 균근 형성과의 상관관계를 분석하였다.

참싸리의 종자 소독은 Nordam과 Fortin(1982) 및 Brundrett 등(1996)의 방법에 준하여 실시하였다. 즉, 참싸리 종자를 수돗물에서 1일간 수세한 후 70% ethanol로 10초간 1회, 30% 과산화수소 용액(H_2O_2)에서 20초간 2회 및 5% 차아염소산나트륨($NaOCl$)에서 20분간 소독한 후, 멸균 증류수로 수세하여 실험에 사용하였다.

균근균의 접종원은 1,2년차의 연구 결과에 따라서, Le Tacon 등의 방법(1985)에 따라 종자 및 균사체를 과립상태(immobilization)로 제조하였다. 즉, 땅지만가닥버섯의 균사를 MP-0.3% agar 배지에서 약 10-15일간 진탕배양한 후, 저속원심분리(10,000 rpm, 10분)에 의하여 균사만을 회수하였으며, 이 균사 25g을 1/10 MS 배양액 100 ml에 현탁하였다. 균사 현탁액은 blender를 이용하여 100 ml의 4% sodium alginate와 혼합한 후 참싸리 종자를 투입하여, 0.5M 염화 칼슘 용액에 피펫을 이용하여 한방울씩 떨어뜨려 immobilization(과립화) 하였다. 균근균에 의한 참싸리의 발아 효과는 5 X 5 cm의 원예용 묘판을 이용하여, 원예용 상토, 사토 및 임도 개설 비탈면으로부터 채취한 마사토를 공시하여, 25C의 growth chamber에서 파종 후 9일까지의 발아율을 1일 간격으로 측정하였다.

그 결과, <표 3-18>에서 보는 바와 같이 과립상태로 제조한 땅지만가닥버섯-참싸리 종자 과립의 발아율은 원예용 상토, 사토 및 마사토 모든 경우에서 대조구(무처리 종자)보다 높았는데, 원예용 상토의 경우에는 두 처리구간의 발아율은 큰 차이가 없었으나, 특히 마사토의 경우에는 비교적 큰 차이를 나타내었다. 단, 본 실험은 5반복으로 실시하였는데, 각 반복 실험 별

발아율은 일정치가 않고 다소 많은 차이(최대 약 40%)가 있었다. 전체적으로 볼 때, 본 균근균 처리 종자는 원예용 상토와 같이 토양 조건이 양호한 경우 보다는 마사토와 같이 토양 조건이 불량한 경우에 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단되며 따라서, 본 연구의 특성상 실제 균근균을 활용할 비탈면의 토성이 마사토가 많은 점을 감안 할 때, 현장에의 적용 시에도 좋은 효과가 있을 것으로 기대된다.

〈표 3-18〉 토양 종류별 균근 처리 참싸리 종자의 발아율

파종 후(일)	종자 유형	토양 종류별 발아율(%)		
		원예용 상토	사 토	마 사 토
5	A ¹⁾	19 ¹³⁾	6	6
	B ²⁾	0	0	0
6	A	25	31	19
	B	6	0	0
7	A	44	50	25
	B	19	6	0
8	A	56	56	31
	B	38	19	6
9	A	56	63	50
	B	44	31	19

- 1) 참싸리 종자와 땅지만가닥버섯 (혼시메지) 균사체를 과립화 한 것
- 2) 대조구로서 무처리 참싸리 종자
- 3) 5반복 실험의 평균 발아율 (15립 파종 / 1회 실험)

3. 개량피복재가 균근균 형성에 미치는 영향

땅지만가닥버섯 균사체 -참싸리 종자 과립 및 균근 접종 참싸리 묘목을 본 연구과제의 주 연구 주제인 개량 피복자재 처리 비탈면에 적용하였을 경우의 발아율 및 묘목 생존율에 미치는 영향에 관하여 분석하였다.

땅지만가닥버섯 균사체 -참싸리 종자 과립은 위에서 언급한 바와 동일한 방

법으로 제조하였으며, 균근 접종 참싸리 묘목은 2년차 연구에서 기 보고된 방법에 따라 육성하였다. 즉, MP-0.7% agar 50 ml를 배양용기 분주 및 고압 멸균한 후, 여기에 25C MP배지에서 배양한 균근균의 균사체 agar disc(직경 0.5cm) 10개를 접종하여 25℃에서 약 10일간 배양한 다음 살균한 참싸리 종자로부터 발아한 후 7일째되는 실생묘 20주씩을 배양 용기에 이식하여 식물생장상(25℃, 광주조건 8시간, 상대습도 60%) 내에서 7일간 증식시켜, 육안으로 균근 형성이 확인된 것을 5 X 5 cm의 원예용 묘판에 이식하여, 1주간 온실에서 증식시킨 다음 균근 접종 묘목으로 공시하였다. 땅지만가닥버섯 균사체 -참싸리 종자 과립의 효과 검정은 피복자재를 설치한 1X1m의 마사토 비탈면(경사도 약 30도)에 땅지만가닥버섯 -참싸리 종자 과립 및 무접종 종자 각 200립씩을 파종한 후, 40일 까지의 발아율 측정하였으며, 균근 접종 참싸리 묘목의 효과 검정은 위와 동일한 조건의 피복자재 설치 비탈면에 균근 접종 묘목 및 무접종묘목 각 50주씩 이식한 후, 5일 간격으로 20일 후까지의 생존율을 조사하였다.

그 결과 <표 3-19> 및 <표 3-20> 에서 보는 바와 같이 전반적으로 균근 처리 종자의 발아율 및 묘목의 생존율이 대조구 (균근 무처리 묘목) 보다 높았다. 단, 종자 발아의 경우는 일단 피복자재 하에서 종자가 발아되었어도 어린 묘목이 자력으로 피복자재를 뚫고 피복자재 상부로 나오는데 상당시간이 소요되었으며, 따라서 본 결과는 파종 후 40일까지의 피복자재를 뚫고 나온 종자의 발아 수 만을 표시하였다. 또한, 본 종자 파종 및 묘목 식재 시기는 2000년 6월 중순으로 종자 파종 및 묘목 식재 이후, 고온 건조한 기후가 계속 되었으므로 종자 발아율 및 묘목의 생존율의 저하에 많은 영향을 주었을 것으로 추정된다.

〈표 3-19〉 피복재 처리 비탈면에서의 균근 처리 참싸리 종자의 발아율

파종후(일)	발 아 율(%)	
	균근처리 종자	무처리종자
40	8.5	5

〈표 3-20〉 피복재 처리 비탈면에서의 균근 접종 참싸리 묘목의 생존율

이식 후(일)	생 존 율(%)	
	균근접종묘목	무접종묘목
5	58	34
10	58	30
15	54	24
20	54	16

제 6 절 균근균의 실제 적용 및 효과 분석

1. 균근균 형성 식물의 생리, 생태학적 특성분석

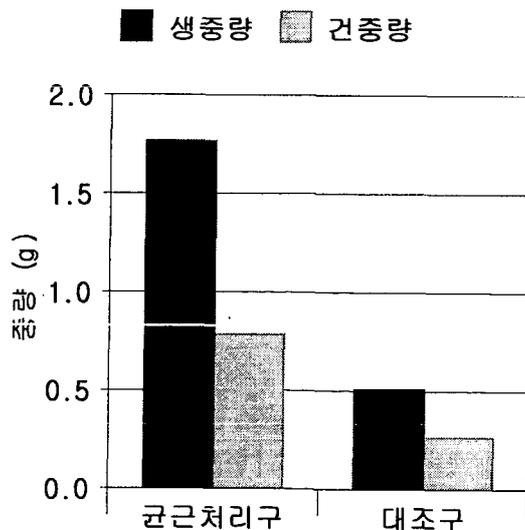
땅지만가닥버섯 균근 처리 실생묘를 피복재 무처리 및 피복자재 처리 비탈면에 이식하여 일정 기간 육성시킨 후의 각 묘목의 건조량 및 T/R ratio 등의 기초적인 생리 생태적 특성을 분석하고자 하였다

땅지만가닥버섯 균근 접종 참싸리 묘목은 전술한 방법에 따라 육성하였다. 즉, MP-0.7% agar 50 ml를 배양용기에 분주 및 고압 멸균한 후, 여기에 25C MP배지에서 배양한 균근균의 균사체 agar disc(직경 0.5cm) 10개를 접종하여 25℃에서 약 10일간 배양한 다음 살균한 종자로부터 발아한 후 7일째되는 참싸리 실생묘 20주씩을 배양 용기 1개 에 이식하여 식물성장상(25℃, 광조건 8시간, 상대습도 60%) 내에서 7일간 증식시켜, 육안으로 균근 형성이 확인된 것을 5 X 5 cm의 원예용 묘판에 이식하여, 1주간 온실에서 증식시킨 다음 균

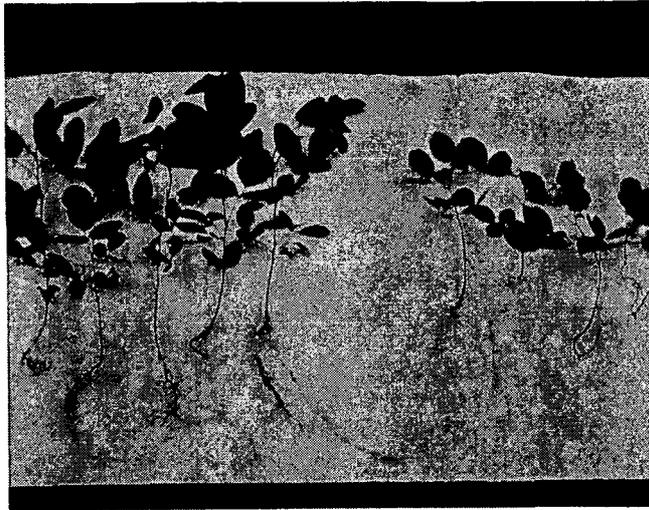
근 접종 묘목으로 공시하였다. 한편, 대조구로서 사용할 묘목은 균근 접종을 제외하고는 위와 동일한 과정으로 육성한 묘목을 공시하였다. 적용 비탈면의 조건은 종자 과립의 효과 검정 시와 동일하였고, 이식 묘목 수는 각 시험구 당 50주였으며, 증량 측정은 이식 30일 후에 각 5주씩을 임의로 선발하여 측정하였다. 건조량은 70℃에서 48시간 각 묘목을 건조한 후 측정하였다.

그 결과, 균근 처리구와 대조구간의 각 묘목의 증량은 생증량 및 건조량에서 균근 접종 묘목이 대조구 보다 우수하였다(〈그림 3-1〉). 또한 건조량을 대상으로 한 T/R 율도 균근 처리 묘목이 5.08로 5.75의 대조구에 비하여 뿌리의 생육이 우수하다는 사실이 입증되었다(〈표 3-21〉, 〈사진 3-14〉).

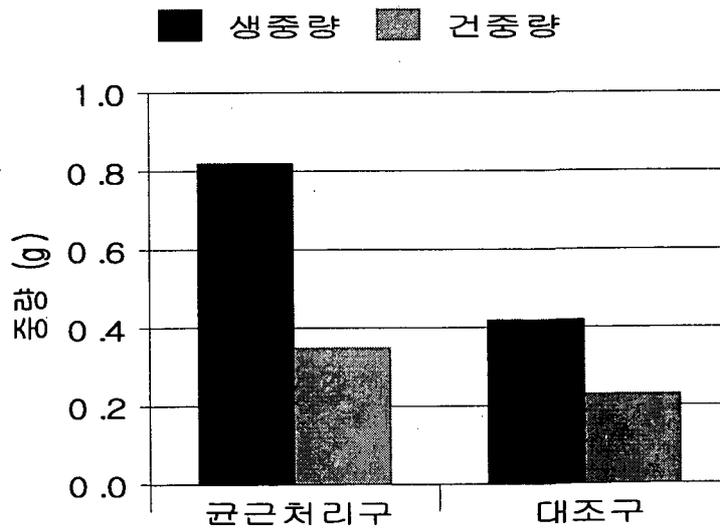
또한, 피복자재 처리 비탈면에서의 균근 접종 묘목의 이식 25일 후의 균근 처리구와 대조구 각 처리 묘목의 증량 역시 생증량 및 건조량에서 균근 접종 묘목이 대조구 보다 우수하였으며(〈사진 3-16〉), 건조량을 대상으로 한 T/R 율도 균근 처리 묘목이 3.38로 3.60의 대조구에 비하여 뿌리의 생육이 우수함이 확인되었다(〈표 3-21〉).



〈그림 3-1〉 나지(피복자재 무처리) 비탈면에 있어서 균근처리 묘목의 증량



〈사진 3-14〉 나지 비탈면에 식재한 균근처리(왼쪽) 및 무처리 묘목(오른쪽)

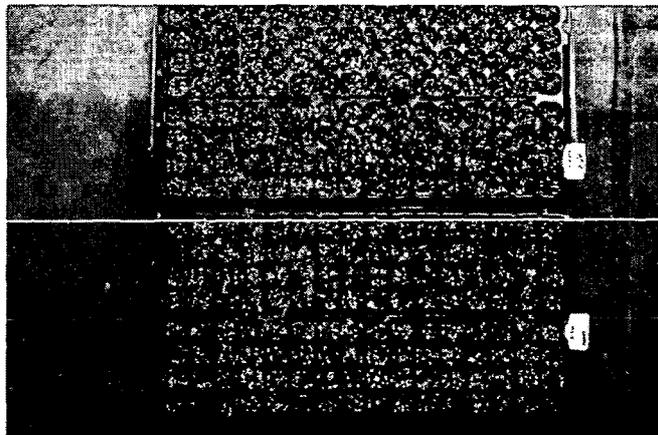


〈그림 3-2〉 피복자재 처리 비탈면에 있어서 균근처리 묘목의 중량

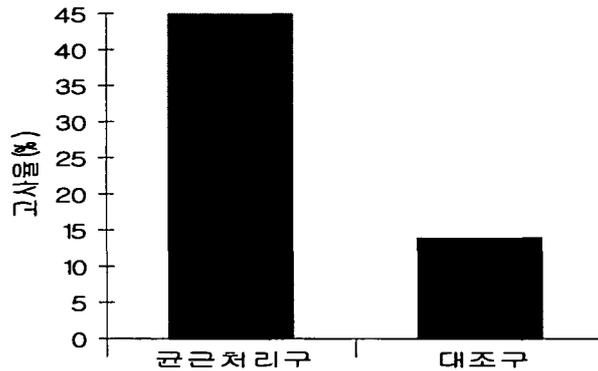
〈표 3-21〉 균근 접종 묘목의 중량 및 T/R 을 비교

균근 및 피복자재 처리 유 / 무		중 량 (g)						Top/Root Ratio (건중량 기준)
		생 중 량			건 중 량			
		지상부	지하부	TOTAL	지상부	지하부	TOTAL	
균근 접종구	피복재 처리구	0.67	0.15	0.82	0.27	0.08	0.35	3.38
	나 지	1.52	0.25	1.77	0.66	0.13	0.79	5.08
대조구	피복재 처리구	0.36	0.06	0.42	0.18	0.05	0.23	3.60
	나 지	0.44	0.07	0.51	0.23	0.04	0.27	5.75

한편, 균근 실생묘의 토양 병해에 대한 저항성을 조사하기 위하여, 전술한 방법으로 육성한 균근 실생묘를 3X3cm의 원예용 묘판에 이식한 후, 과습한 상태로 토양 습도를 인위적으로 조절하면서(〈사진 3-15〉), 그 때의 모잘록병의 발생율을 분석한 결과 그림 18과 같이 균근 처리 실생묘가 무처리 묘목에 비하여 모잘록병에 의한 고사율이 훨씬 낮게 나타남으로서, 균근 처리 실생묘가 무처리 묘목에 비하여 토양 병해에 대한 높은 저항성을 갖는 것으로 확인되었다.



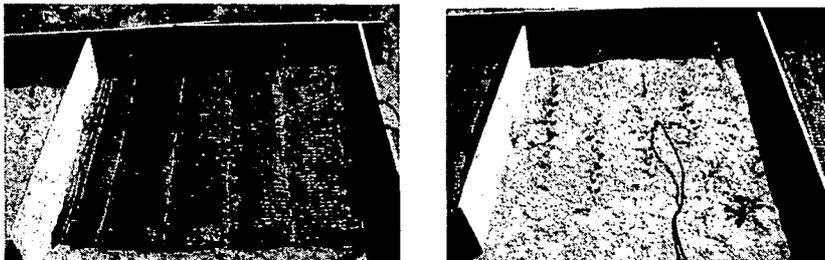
〈사진 3-15〉 균근 접종 참싸리 실생묘(아래) 및 무처리 실생묘(위)



〈그림 3-3〉 균근 처리구와 대조구 실생묘의 모잘록병에 의한 고사율

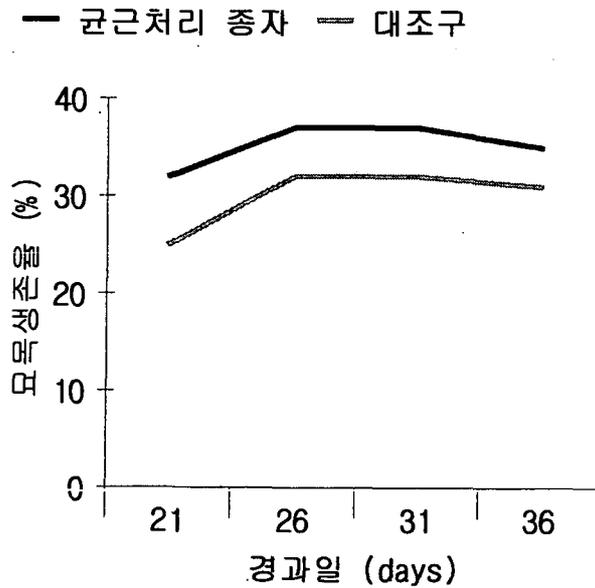
2. 균근 식물과 비탈면 안정과의 상관관계 분석

참싸리 종자 - 균근의 과립화(immobilization) 및 균근 접종 참싸리 묘목은 전술한 바와 같은 방법으로 제조하였으며, 식생 안정 효과 검정은 피복자재 처리구 및 나지(피복자재 무처리구)를 각각 1X1m의 마사토 비탈면(경사도 약 30도)에 설정한 다음, 땅지만가닥버섯 - 참싸리 종자 과립 각 200립씩을 파종한 후, 약 20일 후부터 36일까지의 발아한 묘목의 생존율을 조사하였다. 파종 시기는 2000년 8월 초순 및 2001년 7월 초순 2회에 걸쳐서 실시하였다. 땅지만가닥버섯 균근 접종 참싸리 묘목 역시 전술한 방법에 따라 육성하였으며, 공시 비탈면 이식 묘목 수는 각 시험구 당 50주였다(〈사진 3-16〉)

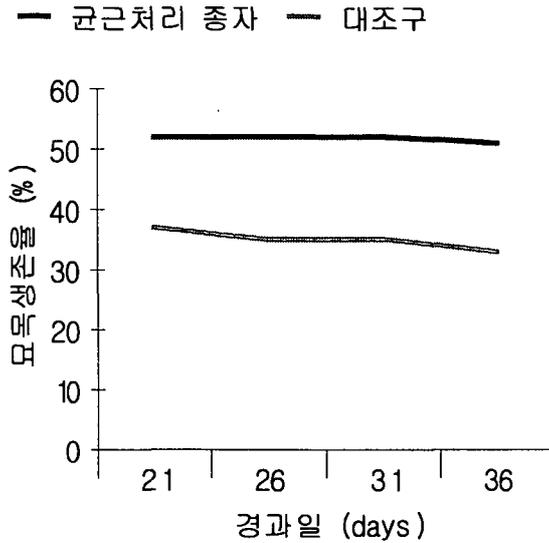


〈사진 3-16〉 피복자재 처리 비탈면(오른쪽) 및 피복자재 무처리 비탈면(왼쪽)에서의 균근 처리 참싸리 실생묘의 이식

균근 처리 종자 및 묘목의 비탈면 안정 효과는, 각 처리 종자 및 실생묘의 생존율을 조사 분석에 의하여 검정하였는데, <그림 3-4>에서 보는 바와 같이 나지에서의 발아묘의 생존율은 피복자재 처리구 보다는 낮았지만, 동일한 나지에서는 균근 처리 종자가 무처리 종자보다 다소 높은 발아묘의 생존율을 나타내었다. 한편, 피복자재 처리구에서는 균근 처리 종자 및 무처리 종자 모두 전반적으로 나지에서의 발아율 보다 높았으며, 피복자재 처리구 내에서는 균근 처리 종자의 발아묘의 생존율이 무처리 종자의 발아묘의 생존율 보다 높게 나타났다 (<그림 3-5>). 따라서, 참싸리 종자는 균근 처리 과립 상태로 파종하고 피복자재를 처리하였을 경우에 종자의 발아율 및 생존율을 향상시킴으로서 비탈면 식생 안정에 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

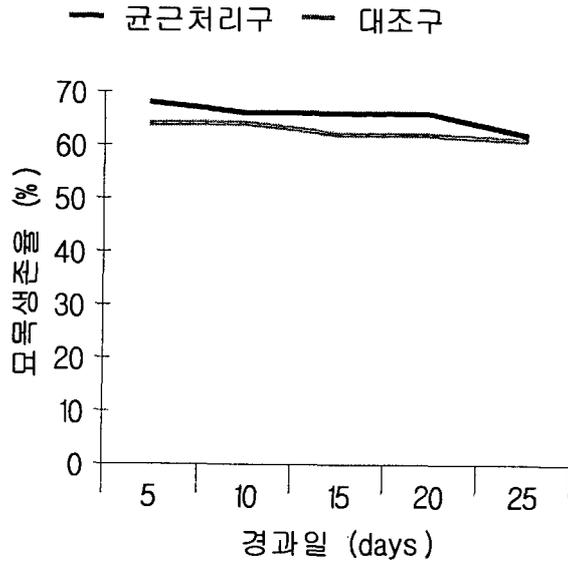


<그림 3-4> 나지(피복자재 무처리) 비탈면 에서의 균근 -참싸리 종자의 시간 경과에 따른 발아묘의 생존율 변화

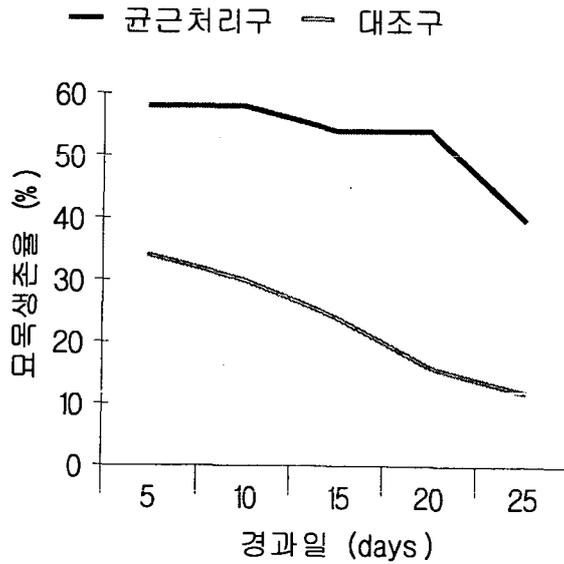


〈그림 3-5〉 피복자재 처리 비탈면에서의 균근-참싸리 종자의 시간 경과에 따른 발아묘의 생존율 변화

〈그림 3-6〉은 나지 (피복자재 무처리) 에서의 균근 접종 묘목의 이식 후 25일간의 시간 경과에 따른 묘목의 생존율의 결과로서, 균근 처리구와 대조구 간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 피복자재 처리 비탈면에서의 균근 접종 묘목의 이식 후 25일간의 시간 경과에 따른 묘목의 생존율은 균근 처리구가 대조구에 비하여 월등한 생존율을 나타내어, 균근 처리 참싸리 묘목은 피복 자재를 사용하여 이식할 경우 비탈면 식생 안정에 효과가 보다 증가되는 것으로 확인되었다(〈그림 3-7〉). 단, 공시한 피복자재가 묘목 이식용으로 개발된 것이 아니기 때문에 묘목을 이식할 때 묘목의 뿌리가 공기 중에 노출되어 고사하거나 생육이 불량해지는 경우가 발생하여 전반적으로 나지 보다 피복자재 처리구에서의 생존율 및 중량이 낮게 나타났으므로, 피복자재를 이용하여 비탈면에 묘목을 이식할 경우에는 묘목 이식에 적합하도록 피복자재를 개량할 필요성이 있는 것으로 판단된다



<그림 3-6> 나지 (피복자재 무처리) 에서의 평균 접종 묘목의 시간 경과에 따른 생존율 변화



<그림 3-7> 피복자재 처리 비탈면에서의 평균 접종 묘목의 시간 경과에 따른 생존율 변화.

이상과 같은 균근균 처리 종자 및 실생묘의 활용은 1장 및 3장의 연구에서 그 효율성이 인정된 피복자재 및 식생 밀도에 의한 비탈면의 물리적 안정 효과의 실험 결과와 함께, 비탈면의 식생 안정에 큰 효과가 있는 것으로 인정되었다.

제 7 절 인용문헌

- Abbott, L. K. and Malajczuk, N. 1994. Management of mycorrhizal in agriculture, horticulture and forestry. Kluwer Academic Pub., Dordrecht, 238p.
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. and Malajczuk, N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR, Canberra Australia.
- Brundrett, M., Murase, G. and Kendrick, B. 1990. Comparative anatomy of roots and mycorrhizae of common Ontario trees. Canadian Journal of Botany 68: 551-578.
- Burgess, T. and Malajczuk, N. 1994. Variation in mycorrhizal development and growth stimulation by 20 *Pisolithus* isolates inoculated on to *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. New Phytologist 127 : 731-739.
- Dixon, R. K., Wright, G. M., Behrn, G. T., Teskey, R. O. and Hinckley, T. M. 1980. Water deficits and root growth of ectomycorrhizal white oak seedling. Can. J. For. Res. 10 : 545-548.
- Duchesne, L. C., Perterson, R. L. and Ellis, B. E. 1988. Pine root exudate stimulates the synthesis of antifungal compounds by the

- ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus*. *New Phytol.* 108(4) : 471-476.
- Ezaki, T., Marumoto, T., Hayakawa, S., Okabe, H., Yamamoto, K. and Chun, K. W. 1997. Forest regeneration utilizing mulching sheet and mycorrhizal fungi. *J. Agric. Meteorol.* 52(5) : 617-620.
- Harley, J. L. and Smith S. E. 1983. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press, New york 483p.
- Iwan, H. and Zak, B. 1979. Acid phosphatase activity of six ectomycorrhizal fungi. *Can. J. Bot.* 57: 1203-1205.
- Kim, J. J. and Lee, K. J. 1990. Effects of inoculation with mycorrhizal fungi, *Pisolithus tinctorius* and *Glomus* sp. on the rooting of *Quercus acutissima* Carr. cuttings at various ortet ages. *Jour. Korean For. Soc.* 79(3): 302-308.
- Ko, M. G. and Lee, K. J. 1988. Effects of simulated acid rain on the growth of *Pinus rigida* X *taeda* seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi, *Pisolithus tinctorius* and *Suillus luteus*. *Jour. Korean For. Soc.* 77(4): 453-459.
- Koo, C. D., Lee, K. J. and Yim, K. B. 1982. Growth stimulation of Pines by artificial inoculation with mycorrhizal fungus, *Pisolithus tinctorius*. *Jour. Korean For. Soc.* 55: 22-29.
- Kucey, R. M. N. and Paul, E. A. 1982. Carbon flow, photosynthesis and N₂ fixation in mycorrhizal and nodulated Faba Beans (*Vicia fava* L.). *Soil Bio. Biochem.* 14 : 407-412.
- Lee, K. J. Kim, J. J. 1994. Effects of *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizal inoculation on *in vitro* rooting of tissue-cultured

- Quercus acutissima* Carr. and of cutting of *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. Jour. Korean For. Soc. 83(4): 531-539.
- Lee, K. J. and Kim, Y. S. 1983. A comparative study on the composition of ectomycorrhizal fungi in pine and popular stands. Kor. J. Mycol. 11 : 9-13.
- Lee, K. J. and Kim, Y. S. 1986. Host range and host specificity of putative ectomycorrhizal fungi collected under ten different artificial forest types in Korea. Agric. Res. Seoul Natl. Univ. 11(2) : 41-47.
- Lee, K. J. and Kim, Y. S. 1987. Host specificity and distribution of putative ectomycorrhizal fungi in pure stands of twelve tree species in Korea. Kor. J. Mycol. 15: 48-67.
- Lee, K. J. and Koo, C. D. 1983. Taxonomic distribution of ecto- and endomycorrhizae among woody species in Korea. Jour. Korean For. Soc. 59: 37-45.
- Lee, K. J., Koo, C. D. and Shim, S. Y. 1981. Survey of ectomycorrhizal in the selected woody species in Korea. Jour. Korean For. Soc. 52: 50-57.
- Marx, D. H. 1972. Ectomycorrhizae as biological deterrent to pathogenic root infection. Ann. rev. Phytopathol. 10 : 429-454.
- Marx, D. H. 1973. Growth of ectomycorrhizal and nonmycorrhizal shortleaf pine seedlings in soil with *Phytophthora cinnamomi*. Phytopathology 63: 18-23.
- Marx, D. H. 1980. Tree host range and world distribution of the ectomycorrhizal fungi *Pisolithus tinctorius*. Can. J. Microbiol. 23 :

217-223.

- Marx, D. H. and Artman, J. D. 1979. *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae improve survival and growth of pine seedling on acid coal spoils in Kentucky and Virginia. Reclamation Review 2 : 23-31.
- Marx, D. H. and Bryan, W. C. 1971. Influence of ectomycorrhizae on survival and growth of aseptic seedlings of loblolly pine at high temperature. Forest Sci. 17 : 31-41.
- Marx, D. H., Morris, W. G. and Mexal, J. G. 1978. Growth and ectomycorrhizal development of loblolly pine seedlings in fumigated and nonfumigated nursery soil infested with different fungal symbionts. Forest Sci. 24 : 193-203.
- Menge, J. a. 1983. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. Can. J. Bot. 61: 1015-1024.
- Meyer, F. H. 1973. Distribution of ectomycorrhiza in native and manmade forest. In Ectomycorrhizae (ed. Marks, G.,C. and Kozlowski, T. T., ed.). Academic Press, 25 : 567-586.
- Miller, O. K. Jr. 1982. Taxonomy of ecto-and ectendomycorrhizal fungi. In Method and Principles of Mycorrhizal Research (N. C. Schenck, ed.). Amer. Phytopathol. Soc. p91-101.
- Molina, R., Massicotte, H. and Trappe, J. M. 1992. Speccificity phenomena in mycorrhizal symbioses : community-ecological consequences and practical implication. In : Allen M. J (ed.), Mycorrhizal functioning an integrative plant-fungal process. Chapman&Hall, New york, 357-423.
- Navratil, S. and Rochon, G. C. 1981. Enchanced root and shoot

- development of poplar cuttings induced by *Pisolithus tinctorius* inoculum. Can. J. For. Res. 11 : 844-848.
- Nordam, P. and Fortin, J. A. 1982. Comparison of six surface sterilizing agents for axenic germination of *Alnus crispa*(Ait) Pursh. Canadian Journal of Forest Research 12 : 1003-1005.
- Norris, J. R., read, D. J. and Varma, A. K. 1994. Techniques for mycorrhizal research -Method in Microbiology-. Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publishers. New York. 75-105p.
- Okabe, H., Ezaki, T., Marumoto, T., Hayakawa, S. and Akama, K., 1994. Application of symbiotic microorganisms to revegetation (I) Management of ectomycorrhizal fungi. Jpn. Soc. For. Env. 36: 55-63.
- Okabe, H., Marumoto, T., Ezaki, T. and Yamamoto K. 1997. Effectiveness of mycorrhizal association in revegetation. J. Agric. Meteorol. 52(5) : 609-612.
- Ohta, A. 1997. Ability of ectomycorrhizal fungi to utilize starch and related substrates. Mycoscience 38: 403-408.
- Ohta, A. 1998. Culture condition for commercial production of *Lyophyllum shimeji*. Mycoscience 39: 13-20.
- Ohta, A. 1994(a). Production of fruit-bodies of a mycorrhizal fungus, *Lyophyllum shimeji*, in pure culture. Mycoscience 35: 147-151.
- Ohta, A. 1994(b). Some cultural characteristics of mycelia of a mycorrhizal fungus, *Lyophyllum shimeji*. Trans. Mycol. Soc. Japan 31: 323-334.
- Stroo, H. F. and Alexander. M. 1985. Effect of simulated acid rain on mycorrhizal infection of *Pinus strobus* L. Water Air Soil Pollut. 25:

여 백

제 4 장 도로 비탈면 안정을 위한 간벌 소경 재 이용 방안 개발

제 1 절 서 론

1. 연구의 필요성

산지 비탈면에 개설되고 있는 임도는 임업의 경쟁력을 제고 및 산업화를 위한 필수적인 시설로 인식되고 있다. 이와 같은 임도는 산림이 지니는 경제적인 문제의 해결뿐 만 아니라 산림의 공익적 측면에 있어서도 그 기능을 유지·증진시키기 위하여 그 역할이 더욱더 요구되고 있는 실정이다. 이에 산림휴양기능의 증진, 산림풍치관광기회의 제공, 산림재해에 예방 및 이에 즉각적인 대처 등을 위한 도로로써의 기능도 포함하고 있다.

그러나 임도의 구성물질인 토양 및 암석에 대한 고려없이 임도의 배치, 개설, 유지, 보수 등의 계획 및 작업을 하는 것은 임도의 유지보수에 상당한 비용이 소모될 가능성이 크다. 임도는 산악지에 대부분 토공작업으로 시설되고 있기 때문에 임도의 절·성토사면의 구조적인 안정문제는 임도 본래의 기능에 매우 큰 영향을 끼치게 된다. 이러한 문제는 사면붕괴 및 토사유출 등과 같은 재해와 직접적인 관련이 있기 때문에, 이런 산지 비탈면의 안정화에 대한 요구는 매우 높다고 할 수 있다. 특히, 임도사면에 있어서 절토부 보다는 성토사면에서의 구조적 안정문제가 일반적으로 더 문제시되고 있고, 발생규모도 크기 때문에 성토사면에 대한 사면안정 대책이 시급한 실정이다. 또한 유지보수 시 시공하고 있는 각종 사면안정을 위한 구조물도 임도사면의 구조적, 토

질 및 지반 특성 등을 고려하여 제 2의 사면붕괴나 토사유출이 발생하지 않도록 사전에 계획·시공하여야 할 것이다. 그러나 현실적으로 공사단비나 복구비용의 제한으로 인해 일반도로의 비탈면과 같은 정도의 안정시설물의 투입을 기대하기는 어렵다. 따라서 보다 경제적이고 효과적인 재료를 이용한 안정공법의 검토가 요구되어지고 있다. 특히 산지에서의 개발행위는 생태계의 파괴 및 야생동물의 서식지 파괴, 경관의 파괴 등으로 오인되고 있으므로 이에 대한 대책 또한 고려하여 종합적이고 경제적인 안정공법의 개발이 필요하다.

2. 연구의 목적

도로 비탈면의 붕괴는 토양의 물리적 성질에 따라 양상이 다르게 나타난다. 또한 사면의 붕괴는 그 운동의 복잡성으로 인해 다양한 분류가 이루어지고 있으며, 대표적인 분류기준은 활동의 형태, 물질의 종류, 활동속도, 활동정도, 지형학적 형태와 위치, 기후요소, 지질, 활동시기 등으로 크게 구분된다(Brunsdan과 Prior, 1984). 이러한 사면붕괴의 원인은 잠재적 원인과 직접적 원인으로 크게 나눌 수 있다. 잠재적 원인으로서는 지각구조, 지질, 토질, 지형 등이고, 직접적인 원인으로서는 강우, 응설, 지하수, 침식, 지진 등과 같은 자연적 원인과 절·성토공사 및 댐 건설과 같은 인위적 원인을 들 수 있다(洪元杓, 1987). 이와 같이 붕괴발생에 있어 강우, 토양특성, 지형은 사면붕괴를 관여하는 중요한 요인이며, 특히 예상되는 강우강도와 강우지속시간에 대한 예지는 사면붕괴를 경고하기 위한 기준이 된다(Crosta, 1998).

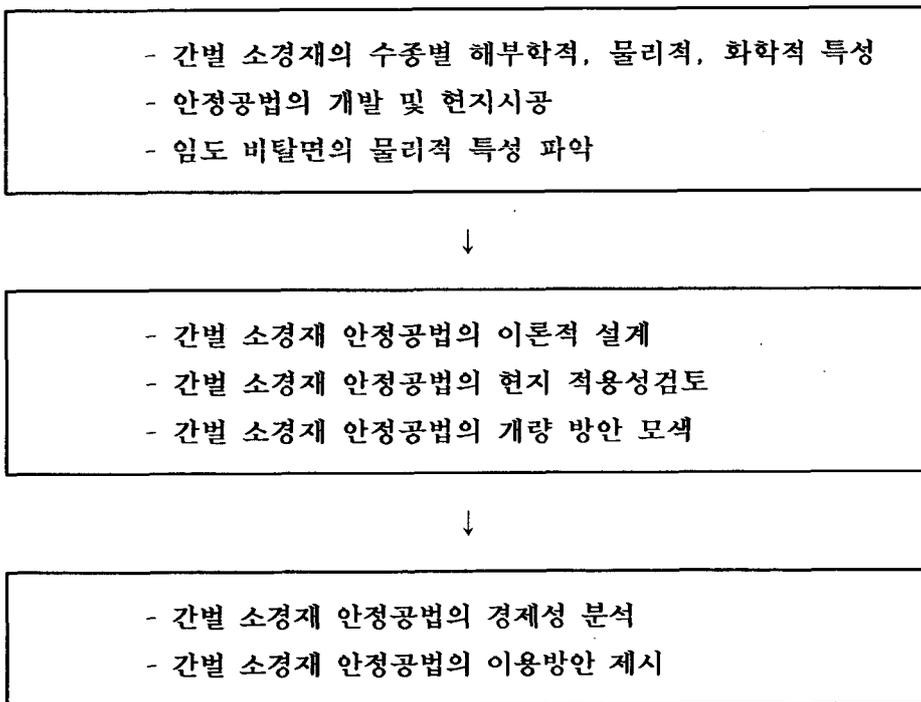
우리나라 중부이남에 많이 분포하고 있는 점질토 지반인 경우 약한 지반으로 인하여 지반침하등의 현상으로 대규모의 지반이동활동 및 산사태가 일어나는 경우가 많다. 그러나 대부분의 우리나라 산림토양은 대부분 화강 풍화토로서 대규모의 산사태보다는 소규모의 표층붕괴가 주류를 이루고 있다. 따라서

이런 표층붕괴의 예방책으로 환경친화형 소재인 간벌소경재를 이용하여 빗물의 유하속도 감소 및 토양 고정 능력이 비교적 우수한 목책이나 격자틀공법 등의 친환경적이고 경제적인 사면안정공법이 요구된다고 할 수 있다. 그러나 이러한 공법에 대한 설계기준과 공법에 사용되는 국산 소경재의 물리적 특성과 공법적용 시 시간경과에 따른 강도의 변화 등에 대한 자료가 전무한 실정이다. 또한 현재 산지 비탈면에서 적용되고 있는 공법의 대부분이 사면의 구성물질인 토양의 물리적 특성을 제대로 고려하지 않은 채 일률적으로 적용하고 있다. 이로 인해 예방차원에서 이루어져야 할 안정공법 등도 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 강우 시 우수의 유하에 의하여 발생하는 표층토에 대한 유실을 최소화 할 수 있는 방법으로 기존의 제안된 목책공법에 격자틀 형식의 표층토 안정화 공법을 도입하여 자연적인 식생 침입을 조기에 유도하고 경관미를 살린 녹색임도 구현을 목표로 본 연구를 수행하고자 한다. 이에 간벌 소경재를 이용한 목책 공법과 격자틀 공법의 검토와 그에 따른 안정해석, 기능평가 등을 수행하며 또한 간벌소경재 세워놓기 공법을 통해 식생의 조기도입효과에 대한 평가와 현장에서의 적용을 위한 경제적인 분석도 실시하는 것을 목적으로 본 연구를 수행하였다.

3. 연구내용 및 체제

도로 비탈면의 안정화에 대한 연구는 대부분 일반도로의 안정화에 관한 연구가 주류를 이루고 있었고 대부분이 식생공에 관한 표층토 안정화에 대한 내용이 대부분이었다. 그러나 본 연구에서는 일반도로 비탈면의 적용뿐만 아니라 현재 낮은 시설단가로 인해 제대로 된 사면 처리를 하지 못하고 있는 임도 사면의 안정화에도 적용할 수 있는 경제적이고 환경 친화적인 안정공법의 개발과 적용에 대해서 연구하였다. 현재 산림청의 산지자원화 정책이후 대부분

의 산림은 간벌 단계에 접어들어 갔거나 접어들고 있다. 따라서 이를 통해 생산되는 간벌소경재의 활용은 또 다른 자원 재생의 한 방법이며 임업의 생산의 육고취 및 관련분야의 활성화로 연결될 가능성이 크다. 또한 도로 비탈면의 안정화 자재로서의 활용은 친환경적인 도로건설과 경제적인 도로건설에 한 몫을 하는 셈이다. 이에 본 연구에서는 소경간벌재를 이용한 도로 비탈면의 안정화 공법의 개발과 적용을 중심으로 다음과 같은 흐름으로 연구를 수행하였다.



제 2 절 연구방법

1. 간벌 소경재의 수종별 해부학적, 물리적, 화학적 특성

잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.), 낙엽송(*Larix leptolepis* G.), 신갈나무(*Quercus mongolica* F.), 굴참나무(*Quercus variabilis* Bl.) 의 소경재를 공시목으로 선정하여, 벌채 직후의 건전재(이하 표준목이라 함)와 사방사업용재로 4개월간(1998년4월~8월) 사용한 재(이하 사방용재 A라함)의 두가지 종류의 원목을 재료로 사용하였다.

가. 해부학적 성질

각 수종의 3단면 절편의 프레파라트를 제작하여 광학현미경에 부착된 화상분석시스템으로 구성세포의 특징을 조사하였다. 또한 X선회절법에 의하여 셀룰로오스 결정의 구조를 조사하였다.

나. 물리학적 성질

1) 함수율 및 밀도 측정

KS F 2202-1965에 의해 측정하였다. 시료는 심·변재로 구분하고 흠에 묻힌 부분과 묻히지 않은 부분을 구분하여 각각 3개씩의 시료를 제작하여 식(1)과 식(2)에 의하여 함수율 및 밀도를 측정하였다.

$$\text{함수율(\%)} = [(W_g - W_o) \times 100] / W_o \text{ ----- (1)}$$

여기에서 W_g 는 건조전 중량, W_o 는 건조후 중량이다.

$$\text{밀도(g/cm}^3\text{)} = W_0 / V \text{ ----- (2)}$$

여기에서 W_0 는 전건중량, V 는 건조전 부피이다.

2) 수축률 및 팽윤율 측정

KS F 2201, 2203에 따라 시편을 제작하여 실험하였으며, 시편은 심·변재로 구분하고 흠에 묻힌 부분과 묻히지 않은 부분을 구분하여 각각 5개씩의 시료를 제작하여 식(3)과 식(4)에 의하여 수축률 및 팽윤율을 측정하였다.

$$\text{수축률} = (l_2 - l_3) \times 100 / l_2 \text{ ----- (3)}$$

$$\text{팽윤율} = (l_2 - l_1) \times 100 / l_1 \text{ ----- (4)}$$

여기에서 l_1 : 기건상태의 길이, l_2 : 침적후의 길이, l_3 : 전건상태의 길이이다.

3) 종압축강도 측정

KS F 2201, 2202, 2206에 따라 시편을 제작하여 실험하였으며, 시편은 심·변재로 구분하고 흠에 묻힌 부분과 묻히지 않은 부분을 구분하여 각각 4개씩의 시료를 제작하여 식(5)에 의하여 실험하였다. 만능강도측정기(Instron 1175)를 사용하였으며 시료는 기건상태로 유지했다.

$$\sigma_c = P_c / A \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \text{ ----- (5)}$$

여기에서 P_c : 최대하중(kgf), A : 가압단면적(cm^2) 이다.

다. 화학적 성질

각각의 시편을 분쇄기를 사용하여 목분을 제작하고 40mesh에 통과시킨 후 함수율을 측정하였다. 목분은 95%의 에탄올을 사용하여 95℃ 이상에서 탈지하여 추출물의 함량을 측정하였으며, 탈지목분을 시료로 이용하여 홀로셀룰로오스 정량분석 실험을 실시하였다. 홀로셀룰로오스의 정량분석은 아염소산 나트륨법(Wise's method)에 따라 수행하였으며 시편은 심·변재로 구분하고 흙에 묻힌 부분과 묻히지 않은 부분을 구분하여 실험하였다.

2. 안정공법의 개발 및 현지시공

경제적이고 친환경적인 공법의 개발 및 적용을 위해서 성토사면의 경우에는 간벌소경재를 이용한 목책공법 및 격자틀 공법을 고려하였으며 절토사면의 경우에는 절토면의 특성상 절개된 후 토양의 유실이 많기 때문에 이를 줄여주고 초본과 목본등의 도입을 유도하는 간벌재 세워 놓기 공법을 적용하였다. 특히 간벌재 세워 놓기 공법에 대한 것은 안정해석과 적용성 등의 이론적 해석이 불가능하기 때문에 실제로 현장에서의 적용을 통해 안정성에 대한 가능성을 평가하였고 나머지 성토사면에 적용가능한 목책공법과 격자틀공법은 이론적인 안정해석과 평가를 통해 현장에서의 적용가능성 등을 평가하였다.

가. 간벌재 세워놓기 공법

1) 시공조건 및 대상 사면의 특성

간벌재 세워놓기 공법의 적용은 강원대학교 산림과학대학 부속연습림의 2임반 사소반의 임도절토비탈면을 대상으로 간벌소경재의 4개 수종별(잣나무 *Pinus koraiensis* S. et Z., 낙엽송 *Larix leptolepis* G., 신갈나무 *Quercus mongolica* F., 굴참나무 *Quercus variabilis* Bl.), 토성별(토사지역, 호박돌 토사지역)로 0.0018ha(가로 3m×세로 6m)의 조사구를 총 8개(수종별×토성별) 및 대조구를

설정하였으며, 이들 지역을 대상으로 임도절토사면을 대상으로 간벌소경재 세
 위농기공법을 적용하였다(<사진 4-1>).



<사진 4-1> 간벌소경재를 이용한 세위농기 공법의 적용

간벌소경재의 길이는 3m로서 임도 절토비탈면을 3m씩, 상단과 하단으로 구분
 하여 간벌소경재를 설치하였다. 절토비탈면의 하부, 상단과 하단사이에는 안정
 성을 확보하기 위하여 횡목을 설치하였다. 그 설치기간은 1998년 4월 20일부터
 24일로 4일간에 걸쳐서 임목을 벌도, 수집, 공법을 적용하였다. 공법이 적용된
 임도 절토 비탈면의 물리적 특성은 다음 <표 4-1> 과 같다.

<표 4-1> 임도절토사면의 물리적 특성치

특성치 조사구	사면길이 (m)	사면물매 (°)	토양경도 (kg/cm ²)	사면방위	토 성
조사구 I	9	40	2	S 60° W	토사
조사구 II	6	45	5	S 60° W	호박돌 토사

또한 임도절토비탈면 안정공법에 소요된 간벌소경재의 현황은 <표 4-2> 와
 같다

〈표 4-2〉 수종별·조사구별 평균직경(cm) 분포

수 종 \ 조사 구	조사구 I	조사구 II	평 균
잣 나 무	11.7	10.6	11.2
낙 엽 송	10.6	11.5	11.1
신 갈 나 무	10.1	10.1	10.1
굴 참 나 무	11.7	11.7	11.7

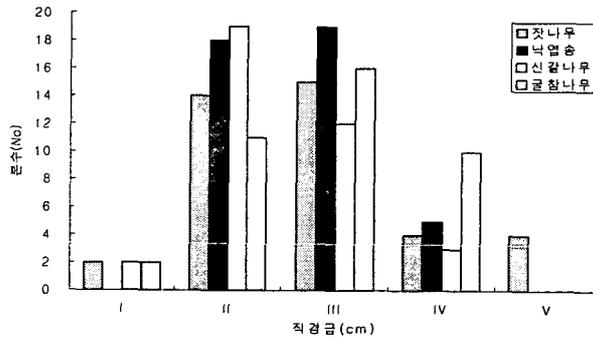
조사구 I에서의 수종별 평균직경을 살펴보면, 잣나무 평균직경은 11.7cm(최소 6.0cm, 최대 21.0cm)로서 표준편차 3.84, 낙엽송 평균직경은 10.6cm(최소 6.5cm, 최대 15.7cm)로서 표준편차 2.42, 신갈나무 평균직경은 10.1cm(최소 5.8cm, 최대 16.5cm)로서 표준편차 2.80, 굴참나무 평균직경은 11.7cm(최소 4.5cm, 최대 18.0cm)로서 표준편차 3.46이다. 조사구 II에서 잣나무 평균직경은 10.6cm(최소 5.4cm, 최대 21.5cm)로서 표준편차 3.38, 낙엽송 평균직경은 11.5cm(최소 4.8cm, 최대 18.0cm)로서 표준편차 3.3, 신갈나무 평균직경은 10.1cm(최소 5.0cm, 최대 18.0cm)로서 표준편차 2.90, 굴참나무 평균직경은 11.7cm(최소 6.5cm, 최대 17.5cm)로서 표준편차 2.92로서 전체의 평균직경은 잣나무 11.2cm, 낙엽송 11.1cm, 신갈나무 10.1cm, 굴참나무 11.7cm이다.

또한 조사구별·수종별로 각 직경급마다의 본수현황을 살펴보면 〈표 4-3〉과 같다.

〈표 4-3〉 수종별·조사구별 직경(cm) 분포

수종		직경급					계
		I	II	III	IV	V	
조사구 I	잣나무	2	14	15	4	4	39
	낙엽송	0	18	19	5	0	42
	신갈나무	2	19	12	3	0	36
	굴참나무	2	11	16	10	0	39
조사구 II	잣나무	1	18	16	5	1	41
	낙엽송	3	12	14	10	0	39
	신갈나무	1	21	13	4	0	39
	굴참나무	0	14	16	8	0	38

주) I:6cm이하, II:6~10cm, III:10~14cm, IV:14~18cm, V:18cm이상

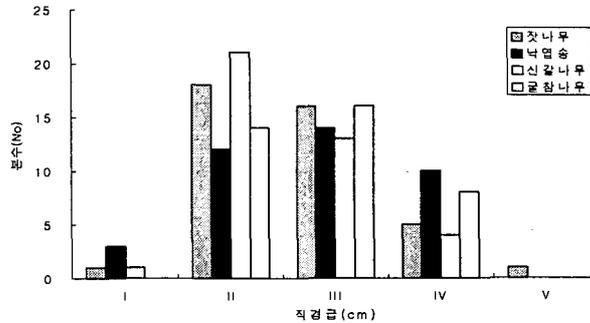


〈그림 4-1〉 수종별 직경분포의 현황(조사구 I)

(I:6cm이하, II:6~10cm, III:10~14cm, IV:14~18cm, V:18cm이상)

조사구 I에서 잣나무는 6~10cm가 14본, 10~14cm가 15본으로 전체의 74.4%를 차지하고 있으며, 낙엽송 및 신갈나무도 6~14cm가 전체의 88.1%, 86.1%를, 굴참나무는 6~10cm가 11본, 10~14cm가 16본, 14~18cm가 10본으로 전체의 92.3%를 점유하고 있으며(〈그림 4-1〉), 조사구 II에서는 잣나무는 6~14cm가 34본으로 전체의 82.9%를 차지하고 있으며, 낙엽송은 6~10cm가 12

본, 10~14cm가 14본, 14~18cm가 10본으로 전체의 92.3%를 점유하고 있으며, 신갈나무 및 굴참나무는 6~14cm가 34본과 30본으로 전체의 87.2%, 78.9를 점유하고 있다(〈그림 4-2〉).



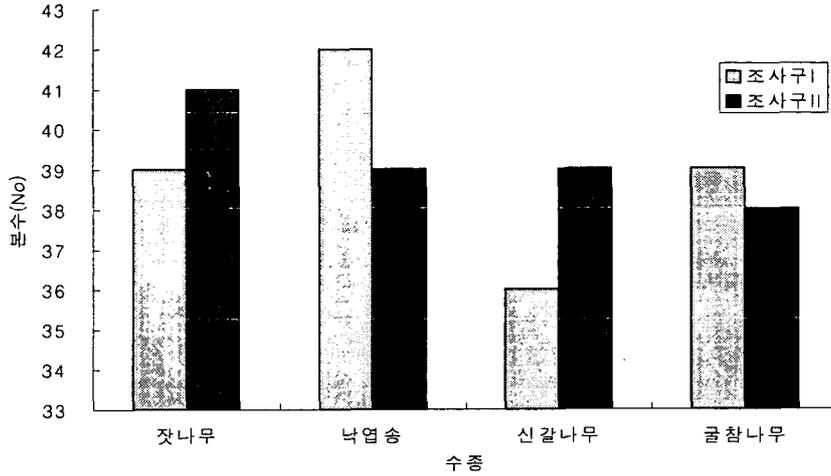
〈그림 4-2〉 수종별 직경분포의 현황(조사구 II)

(I : 6cm이하, II : 6~10cm, III : 10~14cm, IV : 14~18cm, V : 18cm이상)

수종별·조사구별 본수 분포는 〈표 4-4〉 및 〈그림 4-3〉과 같으며, 조사구 I 및 II에서 사용된 잣나무 총본수는 80본(평균본수 40본), 낙엽송 총본수는 81본(평균본수 40.5본), 신갈나무 총본수는 75본(평균본수 37.5본), 굴참나무 총본수는 77본(평균본수 38.5본)으로 나타났다.

〈표 4-4〉 수종별·조사구별 본수(No) 분포

수종	조사구		계
	조사구 I	조사구 II	
잣 나무	39	41	80
낙엽 송	42	39	81
신갈 나무	36	39	75
굴참 나무	39	38	77

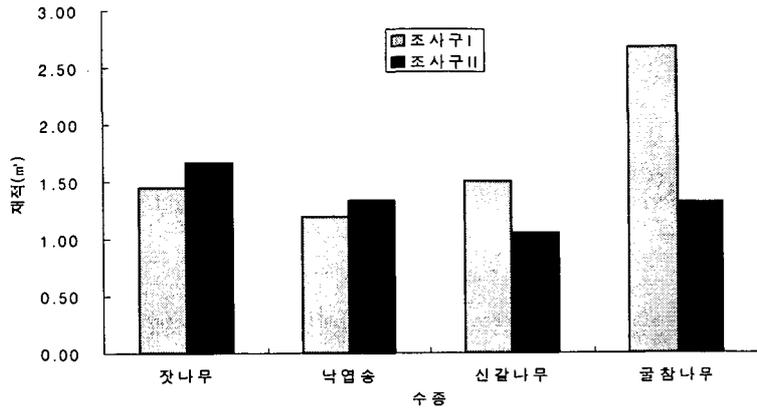


〈그림 4-3〉 수종별·조사구별 본수 분포 현황

수종별·조사구별 재적분포를 살펴보면, 〈표 4-5〉 및 〈그림 4-4〉와 같다. 조사구 I에서는 굴참나무가 2.677㎡으로, 조사구 II에서는 잣나무가 1.665㎡으로 가장 많이 사용되었으며, 수종별 총재적은 잣나무가 3.111㎡(평균재적 1.56㎡), 낙엽송이 2.533㎡(평균재적 1.267㎡), 신갈나무가 2.556㎡(평균재적 1.278㎡), 굴참나무가 3.998㎡(평균재적 1.999㎡)으로 나타났다.

〈표 4-5〉 수종별·조사구별 재적(㎡) 분포

수종 \ 조사구	조사구 I	조사구 II	계
잣 나무	1.446	1.665	3.111
낙 엽 송	1.197	1.337	2.533
신 갈 나 무	1.506	1.050	2.556
굴 참 나 무	2.677	1.320	3.998



〈그림 4-4〉 수종별·조사구별 재적분포 현황

또한 수종별·재적급별 본수분포를 살펴보면 〈표 4-6〉 과 같다.

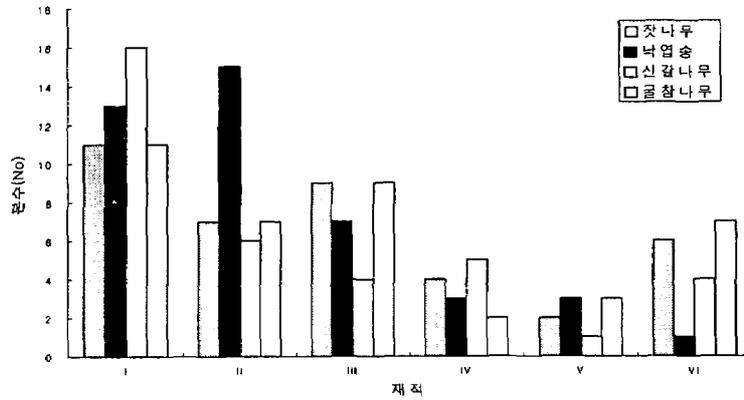
〈표 4-6〉 수종별·재적급별 본수분포

수종 \ 재적급		I	II	III	IV	V	VI	계
		조사구 I						
조사구 I	잣나무	11	7	9	4	2	6	39
	낙엽송	13	15	7	3	3	1	42
	신갈나무	16	6	4	5	1	4	36
	굴참나무	11	7	9	2	3	7	39
조사구 II	잣나무	17	9	5	5	1	4	41
	낙엽송	12	5	7	7	6	2	39
	신갈나무	14	12	7	3	1	2	39
	굴참나무	9	9	7	5	3	5	38

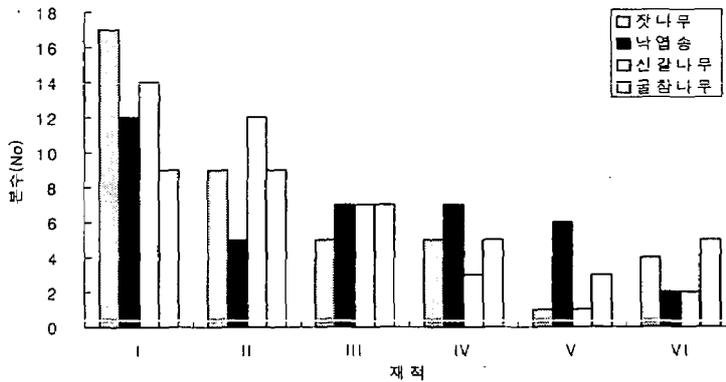
주) I : 0.020㎡이하, II : 0.021 ~ 0.030㎡, III : 0.031 ~ 0.040㎡, IV : 0.041 ~ 0.050㎡, V : 0.051 ~ 0.060㎡, VI : 0.061㎡이상

조사구 I에서 잣나무, 낙엽송 및 굴참나무는 I·II·III직경급이 각각 69.2%, 83.3%, 69.2%를 점유하고 있으며, 신갈나무는 I·II직경급이 22본으로 전체의 61.1%를 차지하고 있으며(〈그림 4-5〉), 조사구 II에서는 I·II

직경급이 26본으로 63.4%, 낙엽송은 I·III·IV직경급이 26본으로 66.7%, 신길나무와 굴참나무는 I·II·III직경급이 84.6%, 65.8%를 점유하고 있다(〈그림 4-6〉).



〈그림 4-5〉 수종별·재적급별 본수분포(조사구 I)
 (I : 0.020㎡이하, II : 0.021~0.030㎡, III : 0.031~0.040㎡,
 IV : 0.041~0.050㎡, V : 0.051~0.060㎡, VI : 0.061㎡이상)



〈그림 4-6〉 수종별·재적급별 본수분포(조사구 II)
 (I : 0.020㎡이하, II : 0.021~0.030㎡, III : 0.031~0.040㎡,
 IV : 0.041~0.050㎡, V : 0.051~0.060㎡, VI : 0.061㎡이상)

2) 간벌재 세워놓기 공법의 안정성 평가 방법

간벌재 세워 놓기 공법의 안정성 평가는 임도비탈면의 절토부분에 시공되어 있기 때문에 토사의 유출량, 또는 침식량 등과 같은 물리적인 안정에 의한 직접적인 평가보다는 식생침입 등에 의한 간접적인 방법에 의해 공법의 안정성을 평가하였다. 1998년부터 2001년도까지의 식생침입의 현황을 조사하였다.

나. 목책 공법

1) 시공 대상 사면토양의 물리적 특성

목책공법은 절토사면에 적용된 세워놓기 공법과는 달리 물리적인 파괴에 대한 안정율을 이론적으로 계산할 수 있기 때문에 그 계산에 필요한 토양의 물리적인 강도 정수들의 조사를 통해 목책공법에 대한 여러 사항을 검토하였다.

조사지역으로는 강원도 춘천 가리산 일대의 임도성토사면을 대상으로 하였다. 이 지역의 토질특성을 파악하기 위하여 흙의 함수량시험(KS F 2306), 흙의 비중시험(KS F 2308), 흙의 입도시험(KS F 2302)을 실시하였으며, 또한 흙의 직접전단시험을 실시하여 흙의 전단강도를 측정하고 그에 대한 강도정수를 산출하였다. 흙의 함수량시험은 각 조사지점별로 임도성토사면 3개소 및 원지반 1개소에서 토양캔으로 채취하였다. 또한 채취된 토양을 0.01g 정도를 가진 저울을 사용하여 무게를 측정한 후 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 Dry Oven에서 24시간 이상으로 건조시켜 무게를 측정한 후, 흙의 함수량과 건조중량과의 비를 백분율로 표시하여 흙의 함수비(w)를 산출하였다. 흙의 비중시험은 각 조사지점 별로 임도성토사면 3개소에서 채취한 교란시료를 건조시켜 No 4번체를 통과시킨 후에 사용하였다. No 4번체를 통과한 시료를 10g 정도 취하여 비중병에 넣고, 토양공극사이의 기포를 완전히 제거한 후 4°C 물의 단위중량과의 비를 산출하였다.

이때 비중은 다음과 같은 식에 의하여 산출하였다.

$$G_s = \frac{W_s \times k}{W_s + (W_a - W_b)} \quad \text{----- (6)}$$

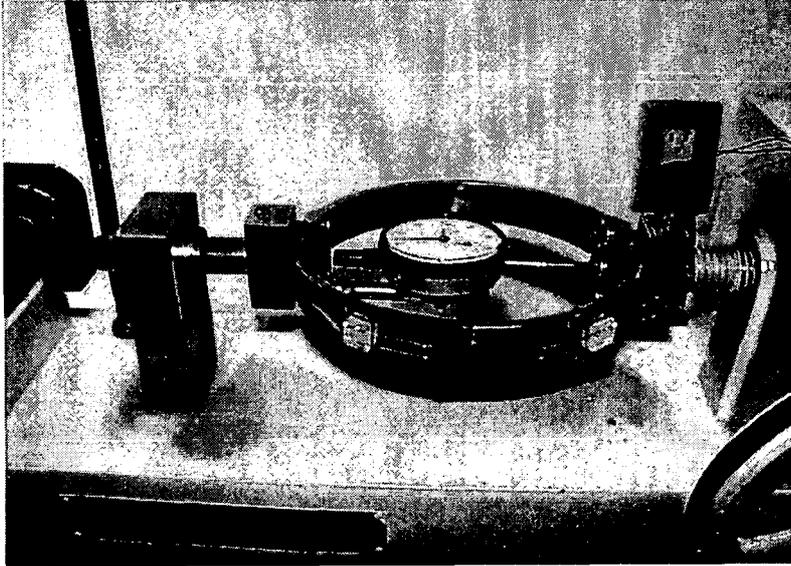
여기서, W_s : 비중병 + 흙의 건조무게(g), W_a : 비중병 + 증류수의 무게(g), W_b : 흙의 건조무게 + 증류수의 무게(g), κ : 온도보정계수

또한 흙의 함수비와 비중시험의 결과로부터 간극비(e), 건조단위중량(γ_d), 포화단위중량(γ_{sat}) 등을 산출하였다. 계산된 건조단위중량(γ_d)은 SAS(Statistical Analysis System)의 분산분석(ANOVA)을 실시하여 각 조사지점별, 조사지점내의 위치별 건조단위중량에 대한 유의성 검정을 실시하였다.

임도 성토사면에서 채취한 토양의 특성과 공학적 분류를 위해 흙의 입도시험(KS F 2302)을 실시하였다. 흙의 입도시험을 위해 No. 4, 10, 20, 40, 60, 200 체를 사용하여 각 체에 남은 토양시료의 중량비로서 각체의 통과백분율을 구한 뒤, 입경가적곡선을 그려 각 조사지점별로 삼각좌표법에 의한 토성과 균등계수(C_u), 곡률계수(C_g)를 산출한 후 ASTM(American Society for Testing Materials)에서 흙의 공학적 분류법으로 채택하고 있는 통일분류법(USCS)에 의하여 토질을 분류하였다.

임도 성토사면에서 채취한 토양의 강도정수 c , ϕ 를 구하기 위해 임도사면에서 채취한 토양을 직접전단실험을 실시하였고, 실험조건은 임도사면의 조건과 같은 상태로 토양시료가 전단될 때 배수가 되는 압축배수시험(CD)으로 하였다. 토양파괴 및 변형에 대한 자료는 직접전단시험기의 프로빙링에 스트레인 게이지를 설치하여(〈사진 4-2〉) 전단중의 시간변화에 따른 변형율을 자료수집장치(DAQCard-1200, NI)를 통하여 얻도록 하였으며, 자료수집프로그램은 NI사의 LABView Ver 5.1을 이용하여 초당 1개씩의 data를 얻도록 프로그래

밍 하였다. 얻어진 data는 Mohr-Coulomb의 파괴이론에 의해 c , ϕ 를 구하였다.

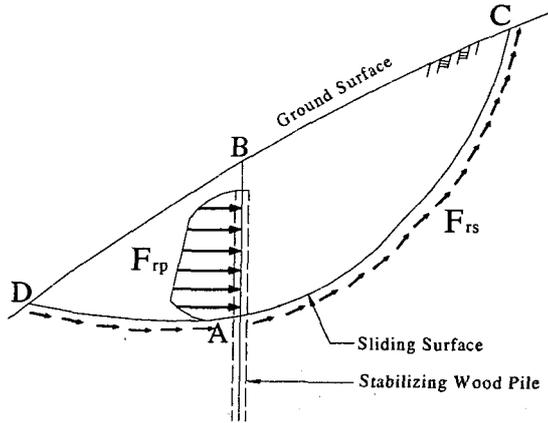


〈사진 4-2〉 토양전단 변형 및 전단력을 측정하기 위한 프로빙링

2) 토질역학적 특성을 고려한 안정해석과 목적공법의 설계

일반적으로 임도성토사면은 크게 무한사면과 유한사면으로 분류할 수 있다. 유한사면은 자연적 인위적으로 형성된 활동면의 깊이가 사면의 높이에 비해 비교적 클때를 말하며 통상적으로 Fellenius법, Bishop법등의 사면안정해석법을 적용하여 해석한다.

목책이 관입된 사면의 안정에 대해서는 〈그림 4-7〉 과 같이 활동토괴 CADBC가 미끄러져 내려가려는 힘 F_d 혹은 모멘트 M_d 와 이에 저항하려는 힘 F_r 혹은 모멘트 M_r 의 비로 안정을 검토할 수 있다.



〈그림 4-7〉 임도성토사면 붕괴역지 목책공법의 적용

여기서, 저항력 힘 F_r 혹은 저항모멘트 M_r 은 토괴가 활동시 발생하는 마찰력 및 점착력에 의한 전단 저항력 F_{rs} 혹은 저항 모멘트 M_{rs} 와 목책에 의한 저항력 F_{rp} 혹은 저항 모멘트 M_{rp} 로 나눌 수 있다. 또한 여러개의 목책이 일렬로 설치된 경우에는 모든 목책열의 측방저항반력을 사면활동의 전단저항력에 가산하여 전체의 저항력으로 한다. 따라서, 사면의 안정에 대한 안전율 $(F_s)_{slope}$ 는 다음 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$(F_s)_{slope} = \frac{F_r}{F_d} = \frac{F_{rs} + F_{rp}}{F_d} \text{----- (7)}$$

위의 식(7)에서의 F_{rs} 및 F_d 는 통상의 무한사면해석에 있어서의 해석법에 의하여 얻어지며, F_{rp} 는 목책 한 개당의 측방토압식

$$\sum F_y = 0 ; (S + dS) - S - q(x, y) \cdot dx + f(x) \cdot dx = 0$$

$$\therefore \frac{dS}{dx} = q(x, y) - f(x) \text{-----} (8)$$

의 $f(x)$ 항에 해당하는 저항력과 목책배면의 지반반력식은 식(9)와 같다.

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + E_s \cdot y = f(x) \text{-----} (9)$$

여기서 x : 임의의 깊이, y : 깊이 x 에 대한 목책의 휨 변위, EI : 목책재료의 휨강성 E_s : 지반의 변형계수, $f(x)$: 목책에 작용하는 토괴의 분포하중

위의 식(9)중의 $E_s \cdot y$ 항에 해당하는 저항력)을 목책중심간격으로 나눈 값을 이용하여 산출된다. 식(7)의 안전율이 소요안전율보다 큰 경우 사면의 안정이 얻어질 수 있게 된다. 만약 활동 파괴면이 원호일 경우에는 식(10)을 이용한다.

$$(M_s)_{slope} = \frac{M_r}{M_d} = \frac{M_{rs} + M_{rp}}{M_d} \text{-----} (10)$$

이와 같이 각종 성토사면의 안정해석법이 있으나, 붕괴사실, 토질이 균일한 상태로 가정하여 유효응력법과 비슷한 분할법을 이용하여 붕괴사면에 대한 안정해석을 실시하였다.

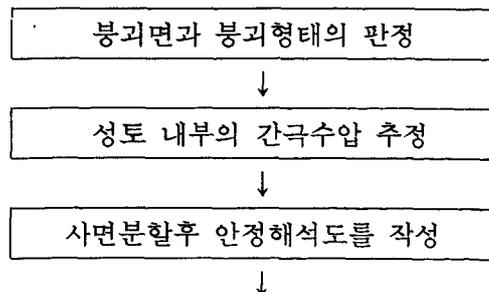
$$F_s = \frac{(\sum N - \sum U) \tan \phi + \sum c}{\sum T} \text{-----} (11)$$

여기서 F_s : 안전율, N : 각 분할편의 붕괴면 수직응력 (t/m), T : 각 분할편의 붕괴면 접선응력 (t/m), l : 각 분할편의 붕괴면 길이 (m), U : 각 분할편의 붕괴면에 작용하는 간극수압 (t/m), ϕ : 붕괴면 재료의 내부마찰각 ($^\circ$), C : 붕괴면 재료의 점착력 (t/m²)

위의 변수중에서 N , T , l 에 관한 것은 비교적 쉽게 결정할 수 있지만 U , ϕ , C 의 결정에 대해서는 많은 곤란이 있다. 정확한 사면안정해석을 하기 위해서는 토질실험에 의해서 각각의 값을 구하여야 하지만 임도사면에서 흐트러지지 않은 시료를 채취하는 것 자체가 불가능하고, 비록 흐트러지지 않은 시료를 채취했다라도 토양의 강도정수는 부분에 따라 편차가 크고, 어떤 위치의 시료에 대한 시험값으로서 전체를 대표할 수 없다. 따라서 일반 현상의 사면 안정을 F_0 를 추정하여 이것으로부터 역산해서 C - $\tan \phi$ 도를 그려서 C , ϕ 의 어느 한쪽을 지정하고 다른 한쪽을 구하는 방법이 사용되어 진다. 이와 같은 이유로 실제에 안정해석에서는 대상지역의 토질에 대한 물리적 성질을 문헌이나 보고자료를 통하여 안정해석의 자료로 이용하는 경우가 많다.

그러나 본 연구에서는 임도 사면에서 채취한 교란 토양시료를 조사된 밀도 조건으로 다진 후 직접전단 시험을 통해 강도정수(ϕ , C)를 구하여 사면안정 해석에 이용하였다.

일반적으로 분할법에 의한 사면의 안정해석은 다음과 같은 순서에 의해 이루어진다.



안정해석도에 의한 안정해석표작성



안정해석표에 의해 안정해석

또한 목책공법을 적용하기 위해 대상사면의 안정해석을 상기와 같은 안정해석에 의해 안전율이 1보다 작았다면 목표안전율 F'_s 를 1 이상으로 계획하고 목책공법을 검토하여야만 할 것이다. 따라서, 붕괴가 예상되는 사면에서 목책공법의 위치 및 허용응력을 검토한다. 목책공법이 적용된 경우에는 목책의 부담하중이 고려되어야 하므로 안정해석식은 다음 식(12)와 같이 산출할 수 있다.

$$F'_s = \frac{(\sum N - \sum U)\tan\phi + \sum \ell \times c + P/D}{\sum T} \text{----- (12)}$$

식(12)으로부터 안전율 F'_s 를 목표로 하는 안전율 F'_s 로 바꾸어 P 를 구하면

$$P = [F'_s \cdot \sum T - (\sum N - \sum U)\tan\phi - c \times \sum \ell] \times D \text{-- (13)}$$

여기서의 P 는 안전율을 1 이상으로 하였을 때 목책이 받는 부담하중이다.

따라서 목책이 축방토압으로부터 안전하기 위해서는 항(杭)의 전단력과 휨 모멘트에 대한 검토가 필요하다. 목책이 받는 최대전단력을 S_{max} 라고 한다면 $S_{max} = P \cos\alpha$ 라고 할 수 있다. 여기서 α 는 목책 시공지점에서의 붕괴면 경

사각이다. 따라서 목책이 전단력에 의해서 파괴가 되지 않기 위해서는 아래의 조건을 만족하여야 한다.

$$S_{\max} \leq \tau S \cdot A_p \text{ ----- (13)}$$

여기서 τS = 목책의 허용전단력(kg/cm²), A_p = 목책의 단면적(cm²) = $\frac{\pi}{4} * d^2$ d = 목책직경(cm)

또한 목책이 받는 최대 휨모멘트를 M_{\max} 라고 한다면 $M_{\max} = P \cos \alpha \frac{h}{3}$ 라고 할 수 있다. 여기서, h 는 붕괴면으로부터 상부의 목책길이(cm)이다. 따라서 휨 모멘트에 의해서 파괴가 되지 않으려면 아래의 조건을 만족하여야 한다.

$$S \geq \frac{M_{\max}}{Z_e} \text{ ----- (14)}$$

여기서 S = 목책의 허용 휨응력도(kg/cm²) , Z_e = 목책의 단면계수(cm³)

$$\frac{\pi d^3}{32} = 0.982 d^3$$

다. 격자틀공법

1) 격자틀공법의 안정해석을 위한 흙의 강도정수 결정

임도의 성토사면에 주로 적용할 간벌소경재를 이용한 격자틀 공법의 안정해석시 사용되는 흙의 강도정수 산출하기 위한 시험은 임도사면에서 채취한 공

시시료에 대해 직접전단실험(KS F 2343)을 실시하였다. 본 연구에서의 실험조건은 No. 4번체 통과시료에 대해 임도사면의 현장밀도조건으로 다짐을 실시한 후, 압밀배수시험(Consolidated Drained Test, CD)으로 실험을 실시하였고, 구속압력은 수직방향으로 9.905kg, 39.880kg, 71.610kg으로 변화시켜 수직응력과 전단강도와의 관계를 구하여 점착력(c)와 내부마찰각(ϕ)을 다음과 같이 Mohr-Coulomb의 파괴이론에 의해 산출하였다.

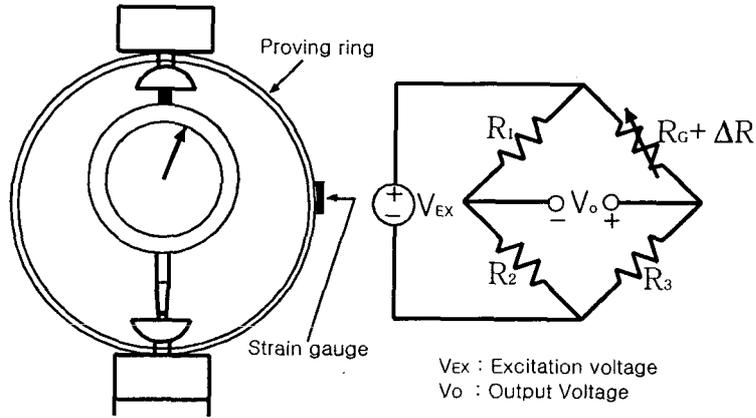
$$\tau_f = c + \sigma_f \tan \phi \text{----- (15)}$$

여기서 τ_f : 흙의 전단강도(kgf/cm²), σ_f : 연직응력(kgf/cm²), c : 점착력(kgf/cm²)

일면전단시험은 직접전단시험의 일종으로 수직력을 가한 공시체의 윗측 또는 아래측 부분에 수평력을 가하여, 하나의 전단면을 따라 흙을 전단하는 것이다. 그러나 본 연구수행에서 사용한 수동식 재래형 직접전단시험기는 그 계측이 상당히 어렵고, 측정자의 숙련도에 따라서 상당한 오차가 발생할 수 있다. 따라서 토양파괴 및 변형에 대한 데이터를 <그림4-8> 과 같이 직접전단시험기의 proving ring에 strain gauge를 설치하여 proving ring의 표면에서 발생하는 응력변화에 따라 변화되는 strain gauge의 저항값 변화를 wheatstone bridge를 이용하여 전압으로 출력하게 해주는 전단응력변환기를 제작하였다. 측정은 수평변위가 8mm에 달할 때까지 proving ring의 표면에서 발생하는 전단응력에 대한 전압을 측정하여 전단력을 측정하였다. 또한 전단응력변환기의 전압에 의한 토양전단력 산출식은 靜的狀態에서 실험적으로 구하였으며, 그 식은 다음과 같다.

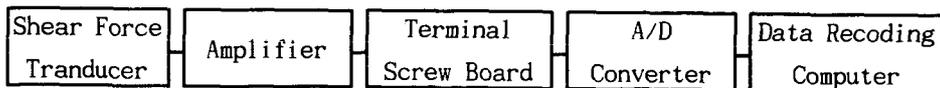
$$S = 409.58 V + 0.268 \text{ ----- (16)}$$

여기서 S : 전단력(kgf), V : 출력전압(Voltage)



<그림 4-8> 전단력 변환기와 브릿지 회로의 배열

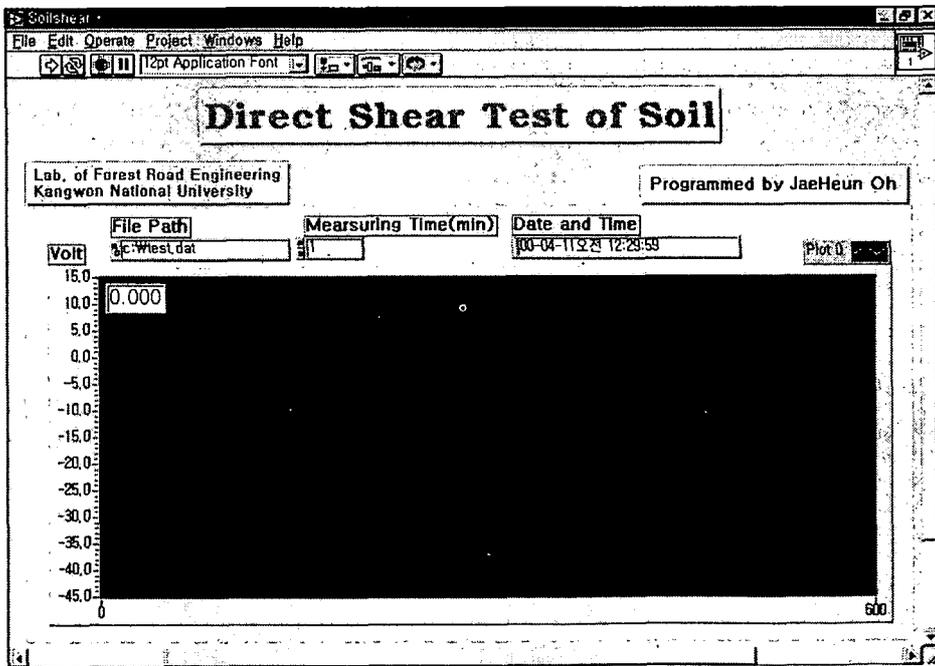
또한 연속적인 자료의 측정과 저장을 위해 사용된 측정장비의 계측 흐름도는 <그림 4-9> 와 같으며, 각 장비의 사양은 <표 4-7> 과 같다. 또한 자료 수집프로그램은 LabVIEW Ver 5.1(National Instruments Co.)을 이용하여 초당 1개씩의 data를 얻도록 프로그래밍하여 전단시험을 실시하였다(<그림 4-10>).



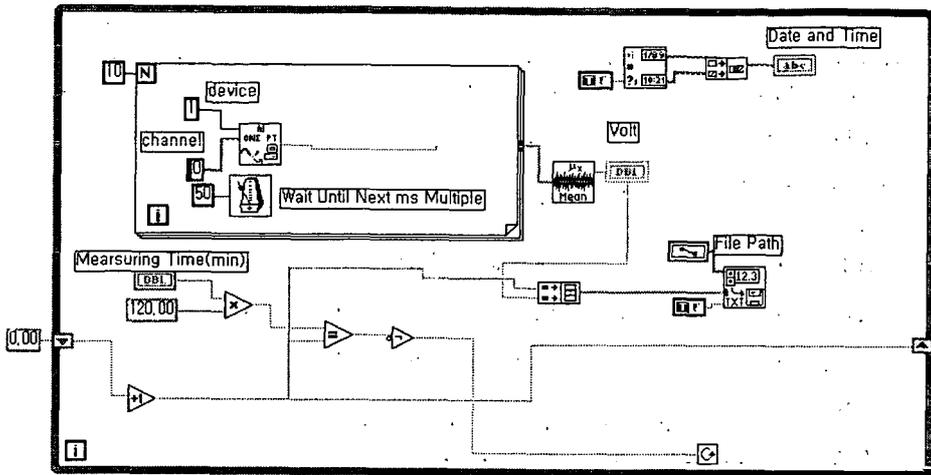
<그림 4-9> 전단강도 측정을 위한 측정장비의 흐름도

〈표 4-7〉 토양직접전단시험에 사용된 계측장비의 제원

Instruments	Maker / Model	Capacity
Strain gauge	KYOWA / KFG-2-120-D16-11	120Ω
Bridge box	KYOWA / DB-120	120Ω
Terminal screw board	National Instrument / SCB-68	16ch
Amplifier	KYOWA / WGA-710A	
A/D converter	National Instrument / DAQCARD-AI-16XE-50	16ch
Computer	Samsung / Sens 520	P-120
Programing Language	National Instrument / LabVIEW VER 5.1	



〈그림 4-10〉 토양의 전단강도 평가를 위한 전단시험용 프로그램의 실행화면



〈그림 4-11〉 토양의 전단강도 평가를 위한 전단시험용 프로그램의 흐름도

2) 격자틀 공법의 안정해석 방법

격자틀 공법의 주된 설치 목적은 인공사면에 대한 표면 침식방지가 주목적이 되겠지만 이것도 인공사면에 설치되는 하나의 구조물이므로 그 자체에 대한 안정성은 검토하여야 할 것이다. 따라서 〈그림 4-12〉와 같은 경우에 사면의 붕괴가 발생하지 않으려면 다음과 같은 활동안전율을 고려할 수 있다.

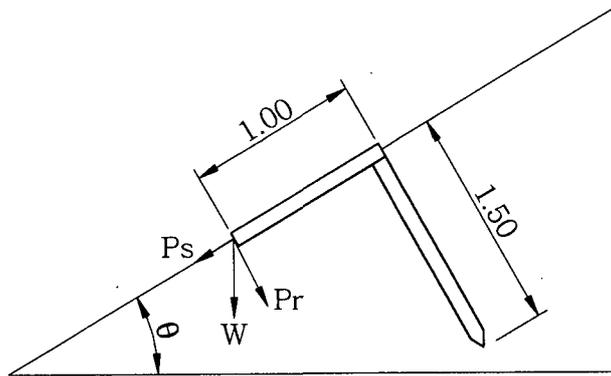
$$P_P / P_S' > 1 \rightarrow \text{안정}$$

$$P_P / P_S' < 1 \rightarrow \text{불안정}$$

여기서, P_P 는 Rankine의 토압이론에 의한 토압을 말하고 P_S' 는 활동면에 대한 마찰저항을 고려한 인공사면방향의 분력을 말한다. 일반적으로 Rankine의 토압이론은 다음과 같은 기본적인 가정하에 성립한다. 따라서 본 연구에서 고려하고 있는 안정해석의 조건도 이와 같은 조건으로 가정 할 수

있다.

- (1) 사면내의 흙은 균질하고 등방성인 반무한체이다.
- (2) 중력만이 작용하며 지반은 소성평형상태에 있다.
- (3) 토압은 지표면에 평행하게 작용한다.
- (4) 지표면에 작용하는 하중은 등분포하중이다.



〈그림 4-12〉 임도성토사면에 설치된 격자틀 공법의 자유선도

따라서 간벌재를 이용한 격자틀공법의 경우 전토압 P_P 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_P = \frac{1}{2} K \gamma H^2 - 2cH\sqrt{K} \text{-----} (16)$$

여기서, K = 토압계수, γ = 흙의 단위중량, H = 토압을 받는 구조물의 길이, c = 사면내 흙의 점착력

또한 이에 대해 토양을 포함한 격자틀 한 구획에 대한 사면방향분력 P_S 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_S = W \sin \theta$$

그러나, 이 토괴의 활동에 대한 마찰저항을 고려할 수 있으므로 그것에 대한 힘은 격자틀을 포함한 토괴의 사면직각방향의 힘에 사면내부 흙의 내부마찰각을 고려하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_R' = W \cos \theta \tan \phi$$

따라서 마찰저항을 고려하여 격자틀을 포함한 격자틀 내부의 흙의 증량에 의한 사면방향의 분력 P_S' 는 다음과 같다.

$$P_S' = P_S - P_R \tan \phi$$

여기서 격자틀목과 토양을 고려한 전중량 W 는 목재의 체적과 비중을 곱하여 구한 격자틀목의 증량과 흙의 체적과 단위체적 증량을 곱하여 구한 흙의 전중량을 더한 값이다. 따라서 격자틀 공법을 적용하는 구간의 토질역학적 특성과 시공하는 격자틀목의 특성을 잘 이해하고 있어야 한다. 그러나 격자틀목의 경우 전체 토괴활동에 미치는 영향이 토질에 비해 상대적으로 작으므로 수중에 따른 차이는 거의 없을 것으로 판단된다.

위에서 구한 P_P 와 P_S' 를 이용하여 앵커목을 이용한 격자틀공법의 시공시 활동안전율은 다음과 같다.

$$FS = \frac{(0.5K\gamma H^2 - 2cH\sqrt{K})b}{P_S - P_R \tan \phi} \quad (17)$$

여기서 토압계수 $K = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$ 이며, ϕ 는 흙의 내부마찰각, H 는 앵커목의 길이(m), b 는 앵커목의 직경(m)이다.

제 3 절 간벌소경재의 해부학적, 물리적 화학적, 성질

1. 해부학적구조

가. 현미경적 구조

1) 잣나무: 연륜내에서 조재에서 만재로의 이행은 점진적이고 박벽의 에피델리움세포로 둘러싸인 수직 및 수평수지구가 존재함. 가도관의 길이는 2000-5000 μm . 교분야 벽공은 창상형임.

2) 낙엽송: 연륜내에서 조재에서 만재로의 이행은 급진적이고 후벽의 에피델리움세포로 둘러싸인 수직 및 수평수지구가 존재함. 가도관의 길이는 2000-5500 μm . 교분야 벽공은 가문비형임.

3) 신갈나무: 도관이 연륜주위로 배열한 환공재이며 도관내에 타이로시스가 존재함. 조재부 도관의 접선방향직경은 120-300 μm . 도관요소의 길이는 180-560 μm . 목섬유의 길이는 800-1800 μm .

4) 굴참나무: 도관이 연륜주위로 배열한 환공재이며 도관내에 타이로시스가 존재함. 조재부 도관의 접선방향직경은 150-300 μm . 도관요소의 길이는 190-550 μm . 목섬유의 길이는 1000-2000 μm .

나. 초현미경적 구조

1) 상대결정화도(%): 잣나무 50-60, 낙엽송 45-50, 굴참나무 및 신갈나무 50-60.

2) 결정의 폭: 모든 수종에서 약 3.0 nm

3) 미결정의 배향성: 잣나무 20-30, 낙엽송 25-35, 굴참나무 및 신갈나무

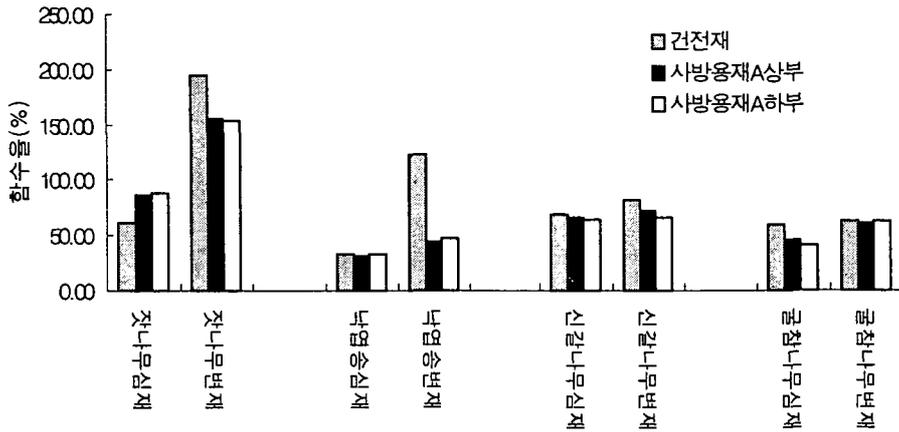
2. 물리학적 성질

가. 함수율 및 밀도

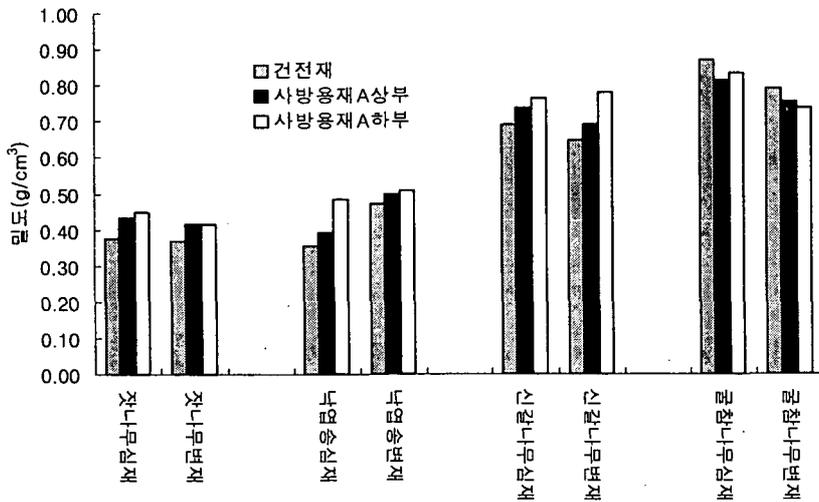
KS F 2202-1965에 의해 측정된 결과는 <표 4-8> 과 같이 건전재의 함수율에 있어 침엽수재인 낙엽송과 잣나무는 변재부가 심재부보다 3-4배이상 높았다. 반면 활엽수재인 굴참나무와 신갈나무에서는 변심재간에 큰 차이가 없었다. 사방용재로 사용후도 함수율의 변화는 거의 없었는데 이것은 우기에 노천에 방치되었던 때문으로 생각된다. 건전재의 밀도는 침엽수재보다 활엽수재가 높았다. 굴참나무를 제외한 모든 수종에서 사방용재로 사용후 밀도가 다소 증가하는 것으로 나타났다.

<표 4-8> 수종별 함수율 및 밀도

특 성 수 종		건전재		사방용재 A			
		함수율 (%)	밀도 (g/cm ³)	흡에 문힌 부분		흡에 문히지 않은 부분	
				함수율 (%)	밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	밀도 (g/cm ³)
잣 나무	심재	61.98	0.37	88.79	0.45	85.96	0.43
	변재	194.61	0.37	154.56	0.42	155.14	0.42
낙엽송	심재	32.50	0.36	33.70	0.49	31.09	0.39
	변재	122.34	0.47	47.21	0.51	44.21	0.50
신갈나무	심재	69.18	0.69	65.24	0.76	66.34	0.74
	변재	82.14	0.65	65.92	0.78	71.62	0.69
굴참나무	심재	59.44	0.87	41.60	0.83	45.92	0.82
	변재	62.62	0.79	62.59	0.74	60.85	0.75



〈그림 4-13〉 수종별 함수율 변화



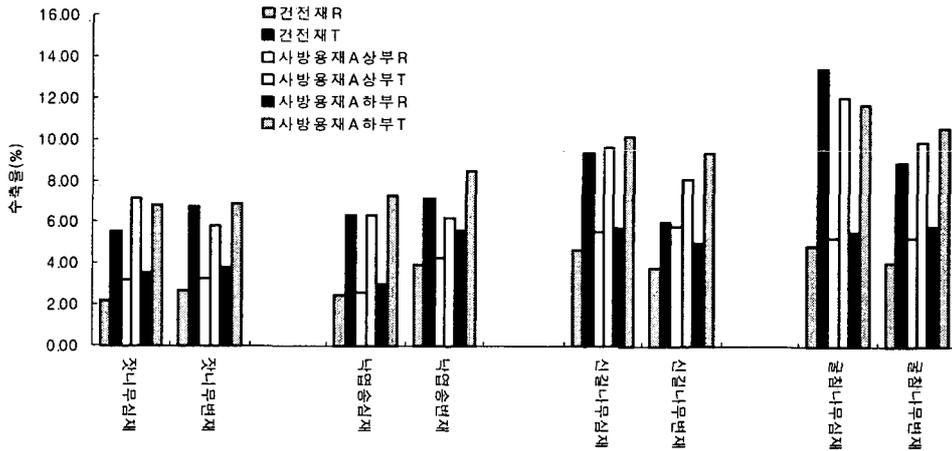
〈그림 4-14〉 수종별 밀도의 변화

나. 수축을 및 팽윤을

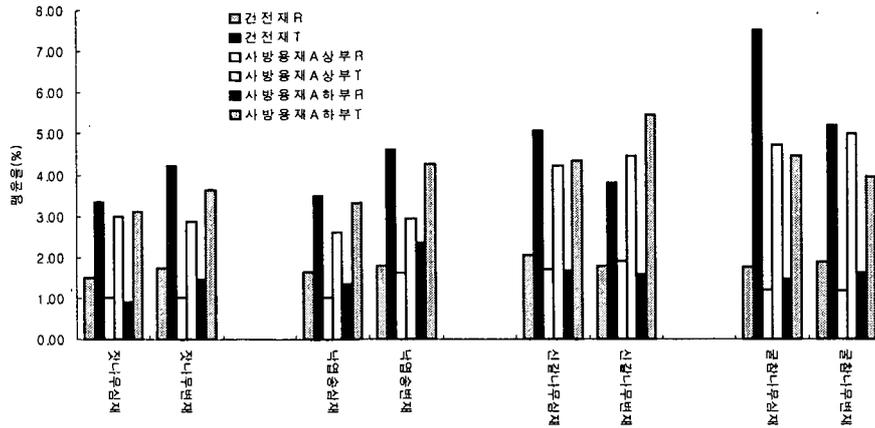
침엽수와 활엽수재 공히 접선방향(T)의 수축을 및 팽윤율이 방사방향(R)의 그것보다 2배이상 큰 값을 보여주어 이방성을 나타냈다. 사방용재 A는 건전재에 비해 수축율이 다소 증가하는 현상을 보여주었다.

〈표 4-9〉 수종별 수축률 및 팽윤율(단위 : %)

수종	특성	건진재				사방용재 A							
		수축율		팽윤율		흠에 묻힌 부분				흠에 묻히지 않은 부분			
						수축율		팽윤율		수축율		팽윤율	
		R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T
잣나무	심재	2.21	5.58	1.50	3.35	3.53	6.81	0.91	3.11	3.21	7.18	1.02	2.99
	변재	2.71	6.76	1.73	4.22	3.84	6.91	1.46	3.64	3.31	5.79	1.03	2.86
낙엽송	심재	2.46	6.35	1.64	3.50	3.04	7.31	1.36	3.30	2.63	6.37	1.04	2.61
	변재	3.93	7.15	1.80	4.60	5.60	8.55	2.34	4.24	4.28	6.25	1.64	2.93
신갈나무	심재	4.71	9.40	2.05	5.08	5.75	10.16	1.67	4.34	5.22	9.67	1.70	4.23
	변재	3.83	6.00	1.79	3.80	5.01	9.40	1.57	5.45	5.85	8.08	1.92	4.44
굴참나무	심재	4.89	13.46	1.76	7.49	5.55	11.69	1.46	4.45	5.32	12.06	1.19	4.73
	변재	4.09	8.91	1.88	5.19	5.80	10.55	1.64	3.96	5.27	9.88	1.16	4.99



〈그림 4-15〉 사방용재 A의 수축률 변화.



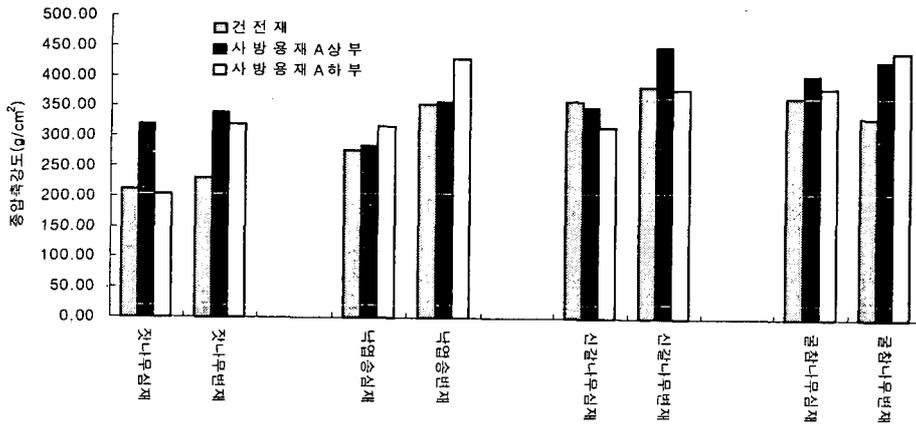
〈그림 4-16〉 사방용재 A의 팽윤률 변화

다. 종압축강도

〈표 4- 10〉에서와 같이 침엽수재보다는 활엽수재의 종압축강도가 다소 높았으며 사방용재로 사용후 다소 강도가 증대된 것으로 나타났다. 이러한 물성의 변화는 사방용재로 사용에 의해 물성의 변화가 일어난 것이 아니고 사용한 시료의 특성에 의한 것으로 해석하는 것이 바람직한 것으로 생각된다. 목재는 환경이나 개체 등에 의해 그 성질의 변동성이 크게 나타나기 때문이다.

〈표 4-10〉 수종별 종압축 강도

특 성		건전재 종압축강도 (g/cm ²)	사방용재 A	
			흡에 묻힌 부분	
			흡에 묻히지 않은 부분	
수 종		종압축강도(g/cm ²)	종압축강도(g/cm ²)	종압축강도(g/cm ²)
잣 나무	심 재	211.67	204.19	319.97
	변 재	230.72	320.22	338.72
낙엽송	심 재	276.80	317.69	284.00
	변 재	354.67	429.82	357.61
신갈나무	심 재	357.97	316.84	348.35
	변 재	383.86	379.90	449.95
굴참나무	심 재	365.67	381.87	403.57
	변 재	333.61	443.62	429.09



〈그림 4-17〉 수종별 종압축강도의 변화

3. 화학적 성질

〈표 4-11〉 과 같이 아염소산 나트륨법(Wise's method)에 의해 추출한 결과 심재부가 변재부보다 추출물 함량이 높은 것으로 나타났다. 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 나타내는 홀로셀룰로오스는 침엽수재보다 활엽수재가 다소 높은 함량을 가지고 있는 것으로 생각된다.

〈표 4-11〉 건전재의 화학적 성질

수종	기건함수율(%) (추출전)	유기용매(에탄올)추출물(%) [(추출물/전건목분)×100]	Hollocellulose(%) [(Hollocellulose/전건탈지목분)×100]	
잣나무	심재	13.0	6.60	71.45
	변재	12.4	4.42	72.75
낙엽송	심재	12.9	3.15	71.75
	변재	11.4	1.46	75.20
신갈나무	심재	13.4	4.93	78.20
	변재	13.3	4.32	75.40
굴참나무	심재	15.1	3.38	79.65
	변재	11.2	2.33	78.25

또한 임도절토비탈면의 안정공법에 사용된 간벌소경재의 화학적 분석을 실시한 결과는 <표 4-12> 와 같다. 사방용재 A는 건전재에 비하여 홀로셀룰로오스의 양이 다소 증가된 것으로 나타났으며, 신갈나무의 경우에는 추출물의 양도 다소 감소된 것으로 나타났다. 홀로셀룰로오스의 양이 증가된 이유의 하나로서는 미생물이 목재내에 침입해 리그린을 분리시킨 것으로 판단된다.

<표 4-12> 사방용재의 화학적 성질

수 종	기건함수율(%) (추출전)		유기용매(에탄올)추출물(%) [(추출물/건전목분)×100]		Hollocellulose(%)	
	상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부
잣나무 심재	10.6	11.0	5.28	6.46	75.4	72.9
변재	10.3	10.3	3.98	4.87	72.6	75.8
낙엽송 심재	10.5	10.2	3.10	3.17	74.8	76.5
변재	12.5	9.7	1.82	1.88	77.8	76.8
신갈나무 심재	14.0	15.6	2.82	2.61	83.7	85.0
변재	10.3	11.8	1.53	1.84	81.1	82.2
굴참나무 심재	16.5	12.7	2.75	3.32	79.2	79.3
변재	14.8	15.6	1.91	2.13	81.5	81.3

주) 상부: 흙에 묻히지 않은 부분, 하부: 흙에 묻힌 부분

제 4 절 간벌소경재 안정공법의 적용성 검토

1. 통나무 세로세워놓기 공법

가. 1998년도 비탈면의 식생침입 현황 분석

사면안정공법 적용대상지의 식생침입은 1998년 8월 20일에 조사를 실시하였으며, 그 결과는 <표 4-13> 과 <표 4-14> 와 같다.

조사구 I의 경우 간벌재 수종에 따라 침입하는 식생은 잣나무 처리구에서

식생의 종류 및 개체수가 가장 높게 나타났으며, 대조구와 낙엽송 처리구에 침입하는 개체수는 유사한 값을 나타내고 있다. 그러나 참나무류의 신갈나무와 굴참나무 처리구에서는 종류수 및 개체수에서 기타 처리구와 차이를 보여주고 있다. 그러나 조사구 II의 경우에는 각 처리구에 침입하는 식생의 종류수는 커다란 차이를 나타내지 않은 것으로 나타났으나, 개체수에 있어서는 조사구 I과는 반대로 참나무류의 신갈나무와 굴참나무 처리구에서 많은 개체수가 출현하였으며 기타의 처리구에는 적게 출현하였다.

〈표 4-13〉 수종별에 따른 식생출현 현황(조사구 I)

жат 나무	앞갈나무	신갈나무	굴참나무	대 조 구
좀담의장풀(2) 버드나무(1) 좀담의장풀(8) 바보여뀌(3) 미꾸리뉘시(1) 차풀(1) 큰까치수영(6) 제비쑥(1)	큰까치수영(18)	좀담의장풀(2) 새(4)	좀담의장풀(2)	방동사니(9) 새(2) 좀담의장풀(4)

〈표 4-14〉 수종별에 따른 식생출현 현황(조사구 II)

жат 나무	앞갈나무	신갈나무	굴참나무	대 조 구
장구채(1) 좀담의장풀(3) 좀담의장풀(1) 새(1) 기름새(1) 도꼬로마(2)	산딸기(2) 좀담의장풀(1) 왜제비꽃(1) 새(2)	제비쑥(2) 좀담의장풀(1) 새(20) 참(1) 제비쑥(1) 주름조개풀(3)	산딸기(1) 새(4) 주름조개풀(4) 새(19) 주름조개풀(7)	달맞이꽃(2) 큰까치수영(2) 주름조개풀(1) 강아지풀(4) 구절초(5)

따라서 조사구 I과 조사구 II의 간벌재 수종에 따른 처리구의 식생침입현황을 조사한 결과, 처리기간이 매우 짧기 때문에('98년 4월 20일경~8월 20일, 4개월)처리구간별로 명백한 차이를 인정하는 것이 어려워 장기간의 관찰이 요구된다. 또한 각 처리구에 침입한 식생은 모든 처리구에서 5%이하의 낮은 피복률을 나타냈으며 출현하는 식생으로는 13과 17속 17종 변종의 총 18종

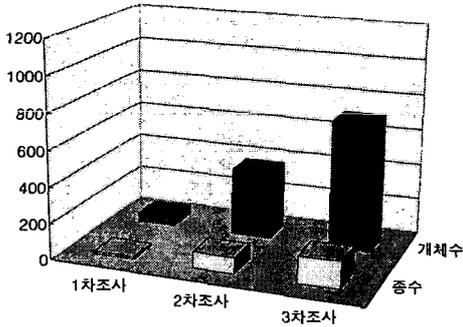
류가 침입한 것으로 나타났으며(〈표 4-15〉), 다른 지역과 비교해 볼 때, 매우 낮은 출현종을 나타냈다. 이와 같은 원인으로는 처리구의 설치시기가 늦어 지난해에 생산된 종자의 산포가 매우 낮았던 것에 기인된다고 사료되며 종자가 대량으로 생산되는 가을을 포함하여 1년 이상이 경과된다면 많은 종류 및 개체수가 침입하는 높은 식생피복율을 나타낼 것으로 판단된다.

〈표 4-15〉 임도절토비탈면에 침입한 출현종의 현황

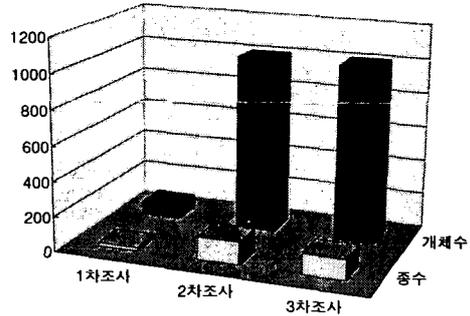
국명	학명	비고
벼과(Gramineae)		
기름새	<i>Spodiopogon contulifer</i>	Plot-2
강아지풀	<i>Setaria viridis</i>	Plot-2
주름조개풀	<i>Oplismenus undulatifolius</i>	Plot-2
사초과(Cyperaceae)		
새	<i>Arundinella hirta</i>	Plot-1, 2
방동사니	<i>Cyperus amuricus</i>	Plot-1
닭의장풀과(Commelinaceae)		
좀닭의장풀	<i>Commelina coreana</i>	Plot-1, 2
마과(Dioscoreaceae)		
도꼬로마	<i>Dioscorea tokoro</i>	Plot-2
버드나무과(Salicaceae)		
버드나무	<i>Salix koreensis</i>	Plot-1
마디풀과(Polygonaceae)		
바보여뀌	<i>Persicaria pubescens</i>	Plot-1
미꾸리낙시	<i>P. sieboldii</i>	Plot-1
석죽과(Caryophyllaceae)		
장구채	<i>Melandryum firmum</i>	Plot-2
장미과(Rosaceae)		
산딸기	<i>Rubus crataegifolius</i>	Plot-2
콩과(Leguminosae)		
차풀	<i>Cassia mimosoides</i> var. <i>nomame</i>	Plot-1
제비꽃과(Violaceae)		
왜제비꽃	<i>Viola japonica</i>	Plot-2
바늘꽃과(Onagraceae)		
달맞이꽃	<i>Oenothera odorata</i>	Plot-2
앵초과(Primulaceae)		
큰까치수영	<i>Lysimachia clethroides</i>	Plot-1, 2
국화과(Compositae)		
제비쑥	<i>Artemisia japonica</i>	Plot-1, 2
구절초	<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	Plot-2

나. 1999년도 비탈면의 식생침입 현황 분석

간벌소경재를 이용한 절토사면의 조기피복 유도 공법의 핵심은 절토사면의 표층토의 침식을 방지하여 자연식생의 침입시 종자의 유실을 최대한 방지하도록 하는 것이다. <그림 4-18> 과 <그림 4-19> 에서와 같이 시공후 2년차 까지 지속적인 식생의 종수 증가와 개체수 증가를 관찰할 수 있었으며 호박들토사구간의 경우에는 1년이 지난후 거의 피복상태가 안정화되었으며 무처리구에 비해 상당히 큰 차이를 보이고 있었다.



<그림 4-18> 간벌소경재 세워농기공법의 토사구간 절토사면의 식생피복변화



<그림 4-19> 간벌소경재 세워농기공법의 호박들구간 절토사면의 식생피복변화

따라서 간벌소경재를 이용한 세워농기 공법은 식생피복의 조기유도에 어느 정도 효과적이며 시공적후에도 경관적인 미를 살릴 수 있는 장점을 가진 공법이라고 할 수 있다. 또한 성토면보다는 절토면에 적용가능한 공법이며 시공자재가 환경친화적인 소재로 일정기간이 경과하면 자연적으로 분해되므로 생태계에 대한 영향이 매우 적을 것으로 판단된다. 그러나 시공자체에 소요되는 간벌재의 양이 많기 때문에 절토된 임도노선 전체에 시공하기는 어렵고 자연피복이 용이하지 않은 호박들이나 연암, 경남지역의 임도노선구간에 적용하는

것이 바람직할 것으로 판단된다.

다. 2000년도 비탈면의 식생침입 현황 분석

간벌소경재를 이용한 세워놓기공법을 적용한 임도 비탈면의 식생 피복 현황을 3차 조사한 결과 가로 횡목을 기준으로 처리구간의 상부와 하부의 피복율은 대부분 하부가 더 좋은 것으로 나타났다. 그러나 그 차이는 아주 적기 때문에 무시하여도 무방할 것이며 개체수에 있어서도 큰 차이를 보이고 있지 않기 때문에 큰 문제점은 없는 것으로 판단된다. 또한 수종선택에 있어서도 <표 4-16> 과 <표 4-17> 에서 보는바와 같이 토사구간인 경우에 침엽수나 활엽수의 차이 없이 비교적 고르게 피복되어 있음을 알 수 있지만 호박들 토사구간의 경우에는 참나무류의 활엽수종의 간벌재가 피복효과가 침엽수종 보다 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 호박들 토사와 같이 절토면의 침입이 비교적 활발하고 초본류의 식생침입이 용이하지 않은 구간에 대해서는 침엽수종의 간벌재보다는 활엽수종의 간벌재를 적용하는 것이 더 효과적일 것으로 판단된다.

<표 4-16> 간벌 소경재를 이용한 비탈면의 피복 현황(토사구간)

조사구	잣나무		일본잎갈나무		신갈나무		굴참나무	
	상부	하부	상부	하부	상부	하부	상부	하부
피복률(%)	45	50	55	65	45	65	40	80

<표 4-17> 간벌소경재를 이용한 비탈면의 피복 현황(호박들 토사구간)

조사구	잣나무		일본잎갈나무		신갈나무		굴참나무	
	상부	하부	상부	하부	상부	하부	상부	하부
피복률(%)	25	30	30	25	65	85	90	95

또한 각 조사구별로 식생의 출현상황은 <표 4-18>, <표 4-19> 와 같다.
 또한 다음의 종은 1, 2차 조사후 사라진 종을 뜻한다(사라진 식물종 : 여우주머니, 고려엉겅퀴, 차풀, 강아지풀, 석류풀, 새, 추가된 종 : 산딸기, 산뽕나무, 꿩이사초, 흰여뀌, 독갈, 환삼덩굴, 버드나무, 붉은서나물, 쇠서나물, 미국썩부쟁이).

<표 4-18> 각 조사구별 식생 출현 현황(토사구간)

조사구 식물명	1	2	3	4	5	6	7	8	대조구	
									상	하
물봉선	1	1			1		8	3		
산썩바귀	7	1	5	3	3	5	5	2		
큰까치수영	1	13	1	17	1					
미꾸리낙시	8	15	3	27	1	2	14	21		○
좁담의장풀	2	4	3				4	2		○
주름조개풀	35	16	15	4	28	25	15	20		○
붉은가시딸기	2	1	2	1	1	1	4			
들깨풀	7	9	32	8	14		5			
돌콩	1									
방동사니					1					
세잎양지꽃			1							
뿔미나리	7		1	2				2		○
봄여뀌	2		9							○
제비썩			1				3	1		○
달맞이꽃		5		4	4		2	2		
물오리나무		1		1				1		
갯나무		1		1	1					
새팔					1	1	1			
왕고들빼기	2		3			1				
맑은대썩				1	1					
더위지기			2	2	1	2	1	4		○
쇠풀								3		
쥐다래	1		2		1	1				○
산썩	1	2		3	1			1		○
호랑버들	1	3	4	2	3	2	2	3		
독새풀			6		6	13				○
참취	10	1	7	8	10	7	2	3		
취										○
망초		1		3		4				

참싸리						1				
제비꽃										○
장구채							2	2		○
가는쑥부쟁이							4	2		○
산딸기	1								○	
산뽕나무	1		1							
괭이사초		2	2			1	1			
흰여뀌		3			14	8	19			
뚝갈					1		1	1		○
환삼덩굴					1					
버드나무						2				
붉은서나물						3	1	10		○
쇠서나물							1	2		
미국쑥부쟁이								1		
합 계	18 (90)	17 (79)	19 (100)	16 (87)	21 (95)	17 (79)	20 (95)	20 (86)	5	12

〈표 4-19〉 각 조사구별 식생 출현 현황(호박들 토사구간)

조사구 식물명	조사구								대조구	
	1	2	3	4	5	6	7	8	상	하
산쑥바귀	1				2	1	2			○
미꾸리낙시								6		○
좁담의장풀	1	1		5			2	2		○
주름조개풀		8	6	8	5					
차풀	1									
돌콩			1		1		1			
제비쑥	4	2	4		4	2	1	3	○	
달맞이꽃	4	4	5	2	1	4		6		
강아지풀					3				○	○
새팔	1		1	1	2	2		1		○
왕고들빼기						1				
맑은대쑥	1		7	6	1			2		
산쑥	3		2	2	4	3	3	3	○	○
호랑버들	1	1				1				○
취					3	1	3	1	○	
망초	2				2	19				
환삼덩굴	1			1						
참싸리							1			
제비꽃	3	1								
장구채								3		

큰기름새	28	15							○	
도꼬로마	1		3							
산딸기		1	3	4	9		10			
개망초				1						
산뽕나무				1		2				
산국			7		3	2	6	9	○	○
영아자								6	○	
붉나무			1		4					
억새						1				
조팝나무					1					
알록제비꽃					1					
버드나무										○
절국대	1									
조개풀	7	10		12	70	100	250	220		○
쑥부쟁이	1	4	3	2						
층층이꽃		1	1							
붉은가시딸기		1		2						
물레나물		1								
물봉선		2					1	1		
층층나무			2							○
미국쑥부쟁이			1							
핑의비름				1						
괭이사초				1						
며느리배꼽					2			1		
괭이밥								1		
뚝새풀										○
합 계	17 (61)	14 (52)	15 (47)	15 (49)	18 (118)	13 (139)	11 (280)	15 (265)	7	12

- 사라진 종: 며느리밀씻개, 갈퀴나물, 큰까치수영, 들깨풀, 방동사니, 세잎 양지꽃, 뫓미나리, 바보여뀌, 물오리나무, 새, 나래새, 고마리, 메꽃, 새콩, 눈괴불주머니, 사철쑥,

- 추가된 종: 조개풀, 쑥부쟁이, 층층이꽃, 붉은가시딸기, 물레나물, 물봉선, 층층나무, 미국쑥부쟁이, 핑의비름, 괭이사초, 며느리배꼽, 괭이밥, 뚝새풀

라. 2001년도 비탈면의 식생침입 현황 분석

〈표 4-20〉에서 〈표 4-23〉까지의 결과를 살펴보면 현재 처리 4년차를 경과하는 중에도 토사구간은 피복율이 50 - 85%로 비교적 수종에 따른 큰 편차를 보이지 않고 양호한 상태를 유지하고 있었다. 또한 침엽수 보다는 활엽수 쪽의 사면에서 더욱 양호한 피복율을 보이고 있으며 이는 호박돌 토사 구간에서도 마찬가지로 나타나고 있으나, 그 편차는 토사구간보다는 훨씬 더 크게 나타났다. 이것은 대량의 강우나 사면의 토사이동을 가능하게 외적인 요인이 작용하였을 경우 토사 구간보다는 호박돌 토사구간에서 안정에 대한 상대적인 한계값들이 차이가 크게 날 것으로 판단된다. 호박돌 토사 구간에서 잘 안정된 것은 그 안정에 대한 한계값이 크고 잣나무와 낙엽송과 같이 애초부터 안정이 잘 되지 않았던 구간에서는 안정에 대한 한계값이 상대적으로 작아졌기 때문이다. 즉 호박돌 토사 구간은 토사구간과는 달리 한번 안정되기는 어렵지만 한번 잘 안정이 되면 그 안정도가 다른 구간에 비해 큰 것으로 예측이 된다. 반면 토사구간은 토사의 함유율이 많은 구간으로 전체적으로 효과가 비슷하게 나타나는 것으로 판단된다.

〈표 4-20〉 간벌 소경재를 이용한 비탈면의 피복 현황(토사구간)

조사구	잣나무		일본잎갈나무		신갈나무		굴참나무	
	1	2	3	4	5	6	7	8
피복율(%)	55	50	60	65	50	65	55	85

〈표 4-21〉 각 조사구별 식생 출현 현황(2001년)

조사구 식물명	1	2	3	4	5	6	7	8	대조구	
									상	하
물봉선	7	1			7		17	10		○
산솨바귀		3	1	4	3	2				
큰까치수영	3	22	2	35	7					
미꾸리낙시	15	1	2	16		10	7	20		○
좁담의장풀	5									○
주름조개풀	40	13	30	13	30	30	50	40		○
붉은가시딸기	2	1	10	1	4	3	5			
들깨풀	20		40	4	15		6			
돌콩	4			3	4	7				
세잎양지꽃			2							
뫓미나리	7	1	3	1		1		1	○	○
봄여뀌										○
제비쑥	1		1		3		8	3	○	○
달맞이꽃		6	1		7		3	4		○
물오리나무		1		1				1		
갓나무		4		1		7				
새팻					7	2	5	5		
왕고들빼기				1						○
맑은대쑥				2	3		3			
더위지기	5		10	2	5	4	5	8		○
쇠풀				6				3		
쥐다래		1	2		2	3	4		○	
산쑥	3	1		3			2	10	○	
호랑버들	2	2	4	1	4	2	2	4	○	
뚝새풀					15	11			○	
참취	7	1	8	11	5	7	6	4		
참								1	○	
망초		1		3		8				
참싸리						1				
제비꽃								1		○
장구채							1			○
가는쑥부쟁이							4			○
산딸기	3							1	○	
산뽕나무	1		1			1				
괭이사초		2	3			1	1			
뚝갈					1		2	1		○
환삼덩굴										○
버드나무				1	1	1				
붉은서나물						2	2	6		○

쇠서나물							1			
미국쪽부쟁이								4		
산국								2		○
마타리								2		
나래새								1		
싸리							1			○
노박덩굴								1		
큰기름새	1		12							○
읍나무		1								
물박달			1			1				
고사리							1			
강아지풀										○
조개풀										○
복사나무										○
층층나무										○
합계	17 (126)	17 (62)	18 (133)	19 (109)	18 (123)	20 (104)	22 (136)	23 (133)	10	21

- 사라진 식물종 : 방동사니, 흰여뀌
- 추가된 종 : 산국, 마타리, 나래새, 싸리, 노박덩굴, 큰기름새, 읍나무, 물박달나무, 고사리, 강아지풀, 조개풀, 복사나무, 층층나무

<표 4-22> 간벌 소경재를 이용한 비탈면의 피복 현황(호박들토사구간)

조사구	잣나무		일본잎갈나무		신갈나무		굴참나무	
	1	2	3	4	5	6	7	8
피복율(%)	25	30	30	25	65	85	90	95

<표 4-23> 각 조사구별 식생 출현 현황

식물명	조사구								대조구	
	1	2	3	4	5	6	7	8	상	하
산씀바귀				1						○
미꾸리낙시						3		8		○
졸담의장풀								2		○
주름조개풀	20	20	5	10	15					
차풀	1	1								
들콩		1					6			
제비쑥	5	4	13	3	20	2	8	3	○	
달맞이꽃	3	2	3	8				7		
강아지풀									○	○

새팔	3	1	5	2	8	2	13	5		○
맑은대썩	2	2	4	6	4	4		4		
산썩	15		4	6	6	8	3	4	○	○
호랑버들	1	1		2		2				○
썩					4	1	5	4	○	
망초	2					3				
제비꽃	4	2	3	3		2				
장구채						2		2		
큰기름새	40	9							○	
도꼬로마	2	2	5		2	1	3			
산딸기	2	5	5	6	6		5	4		
개망초				4	3				○	
산뽕나무		2		1		2		1		
산국			3		2	2	5	8	○	○
큰까치수영	3									
세잎양지꽃	1									
고사리	2	1		2						
나래새				1						
들깨풀					2					
황고사리					1					
콩제비꽃					1					
싸리							4			
사철썩						1				
새콩										○
영아자								5	○	○
붉나무			1		4					
억새						2	7			
조팝나무					1					
알록제비꽃					1					
버드나무										○
조개풀		8		30	75	120	250	250		○
층층이꽃		1	1							
붉은가시딸기		1		2						
물레나무		2								
물봉선		1					4	3		○
층층나무			2	1		1				○
미국썩부쟁이			1							
괭이사초	6		7	4	11		5			
며느리배꼽								1	○	
괭이밥								1		
뚝새풀										○
합계	17 (112)	19 (66)	15 (62)	18 (92)	18 (166)	17 (158)	13 (318)	17 (312)	9	15

- 사라진 종 : 왕고들빼기, 참싸리, 환삼덩굴, 절국대, 속부쟁이, 평의비름
- 추가된 종 : 큰까치수영, 세잎양지꽃, 고사리, 나래새, 들깨풀, 황고사리, 콩제비꽃, 새콩, 싸리, 사철쭉

2. 목적공법

가. 시공 대상 사면토양의 물리적 특성

목적공법이 적용가능한 사면은 어느 정도의 토심을 가진 성토부가 효과적인 것이다. 따라서 성토부 흙의 기본적인 성질을 알기 위하여 건조밀도를 산출한 결과 원지반은 풍화암 사면에서, 임도성토 상부 및 중간부는 호박돌토사, 하부는 토사사면에서 높게 나타났으며, 각 조사사면의 건조밀도와 위치별 건조밀도의 차이를 파악하기 위해 조사사면의 종류와 토양채취장소를 변수로 하여 그 주효과 및 각 변수간의 상호작용에 대한 효과를 분석하였다(〈표 4-24〉). 분석 결과 사면의 종류별 건조밀도는 5% 유의수준에서 모두 차이가 없는 것으로 나타났고, 토양 샘플위치별 건조밀도 및 사면의 종류와 토양샘플위치의 상호작용에 대한 차이도 있는 것으로 분석되었다. 따라서 사면의 건조밀도는 토양샘플 위치에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다.

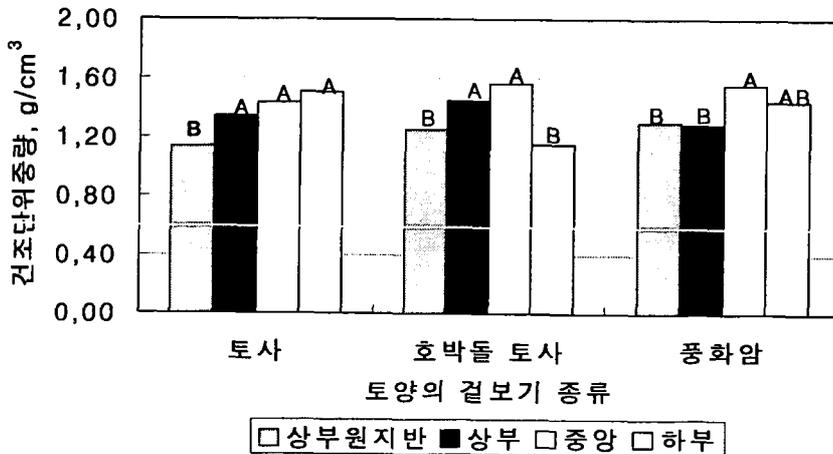
〈그림 4-20〉 과 같이 각 조사사면 위치별 건조밀도 차이를 파악하기 위해 5% 유의수준에서 Duncan의 다중검정을 실시한 결과, 토사사면에서는 사면의 상·중·하부에서 건조밀도가 같은 것으로 분석되었고, 호박돌토사 사면에서는 상·중부의 건조밀도가 같았고, 하부와 원지반에서 건조밀도가 같게 나타났다. 또한 풍화암 사면에서는 원지반과 사면의 상부에서 건조밀도가 같게 분석되었다. 그러나 일반적인 경향이 사면의 중앙부분에서 건조밀도가 큰 것으로 보아 성토상부의 토괴중량으로 인한 자연다짐효과가 나타난 것으로 사료되며, 토사사면의 경우, 하부에서 건조밀도가 큰 것은 임도의 구조적인 요인으로 인해 상대적으로 성토량이 많아져 하부까지 다짐효과가 미친 것으로 판단된다. 그러나 성토사면의 건조밀도를 자갈질이나 사질토의 최적함수비 조건

에서 다졌을 때의 건조밀도가 일반적으로 1.60~2.16임을 감안한다면, 전체적으로 낮은 수준이므로 임도사면의 안정성을 위하여 충분한 다짐이 필요할 것으로 사료된다. 일반적으로 다짐의 회수가 증가할수록 효과가 크고, 같은 에너지로 다짐을 실시할 때, 조립이고 입도분포가 양호할수록 최대 건조단위 중량은 크고 최적함수비는 작아지므로, 임도사면에 물을 뿌린 후 다짐을 실시한다면 보다 양호한 다짐효과가 나타날 것으로 사료된다.

〈표 4-24〉 임도사면의 건조단위중량에 대한 각 요인별 분산분석표

요 인	자유도	제공합	평균제공	분산비
겉보기 토양 종류	2	0.01399	0.00699	0.64
샘플링 위치	3	0.37543	0.12514	11.45
겉보기 토양 종류 * 샘플링 위치	6	0.31389	0.05231	4.79
잔 차	24	0.26233	0.01093	
계	35	0.96565		

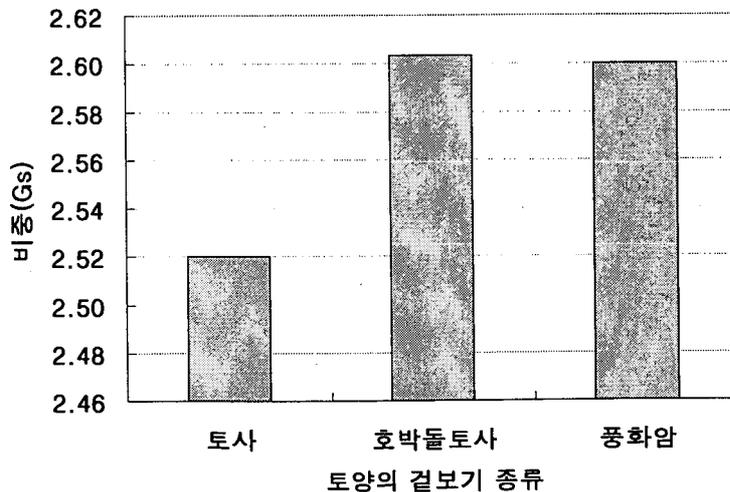
* 같은 문자로 표시된 것은 던컨의 다중검정(유의수준 5%)에 의해 유의적인 차이가 없음을 나타냄



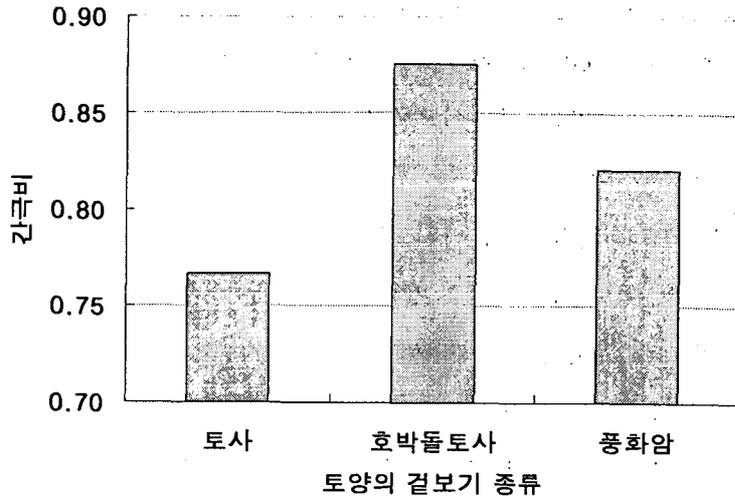
〈그림 4-20〉 토양종류별 토양채취위치에서의 건조밀도의 비교

비중시험 결과는 <그림 4-21> 과 같이 토사지역이 2.52로 가장 작았으며, 호박돌토사에서는 2.60으로 가장 큰 것으로 나타났다. 포화단위중량과 간극비는 건조밀도와 비중과의 관계식으로부터 산출되어진 값으로 <그림 4-22> , <그림 4-23> 과 같다. 간극비는 호박돌토사의 경우에 0.88, 포화단위중량은 풍화암에서 1.88로 가장 크게 나타났다.

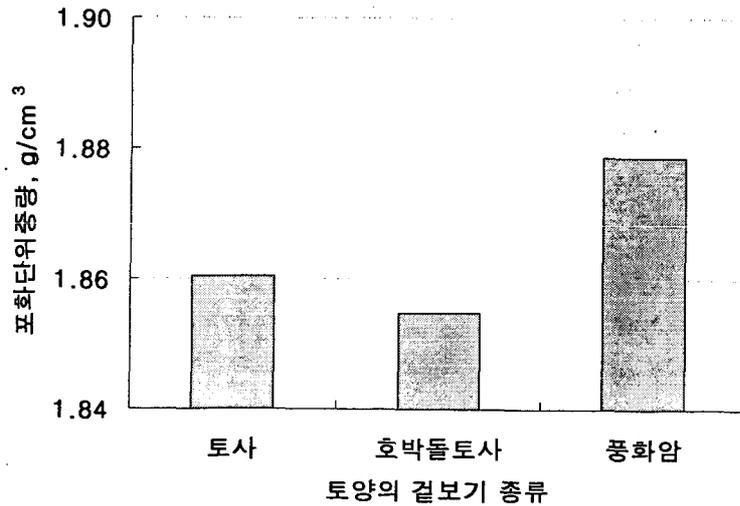
이상과 같이 건조밀도가 크고 비중이 크다는 것은 포화단위중량이 크게 나타나므로 강우로 인하여 유수가 침투할 경우 침투할 경우 단위중량이 가장 큰 풍화암에서의 토괴중량이 가장 크게 되므로 침투가능의 가능성이 커진다고 할 수 있다. 따라서 포화단위 중량이 작은 경우, 상대적으로 포화단위 중량이 큰 사면보다 안정할 것으로 판단된다.



<그림 4-21> 임도사면의 토양종류별 비중



〈그림 4-22〉 임도사면 토양종류별 간극비



〈그림 4-23〉 임도사면 토양종류별 포화단위중량

또한 임도성토사면의 토질은 입도시험분석결과에 따라 삼각좌표에 의한 미농무성(USDA)분류법에 의해 3개소 모두 사질토로 분류되었으며, 〈표 4-25〉,

〈표 4-26〉과 같이 균등계수 및 곡률계수를 기준으로, ASTM(American Society for Testing Materials)의해 채택되고 있는 통일분류법으로 토질의 분류한 결과, 토사사면은 상(SW), 중(SW), 하(SP), 호박돌 토사 사면은 상(SP), 중(GP), 하(GP), 풍화암 사면은 상(SP), 중(SP), 하(GP)로 나타났다.

본 연구에서는 이를 기준으로 하여 토사사면은 SW, 호박돌토사 사면은 GP, 풍화암 사면은 SP로 재분류하여 사면의 특성을 파악하였다.

〈표 4-25〉 임도성토사면 토양종류별 채취위치에서의 토양의 균등계수

	상	중	하
토 사	19.57	14.16	13.02
호박돌토사	16.61	56.88	110.27
풍화암	24.36	21.65	56.15

〈표 4-26〉 임도성토사면 토양종류별 채취위치에서의 토양의 곡률계수

	상	중	하
토 사	2.00	1.56	0.74
호박돌토사	0.57	0.50	0.94
풍화암	0.58	0.40	0.59

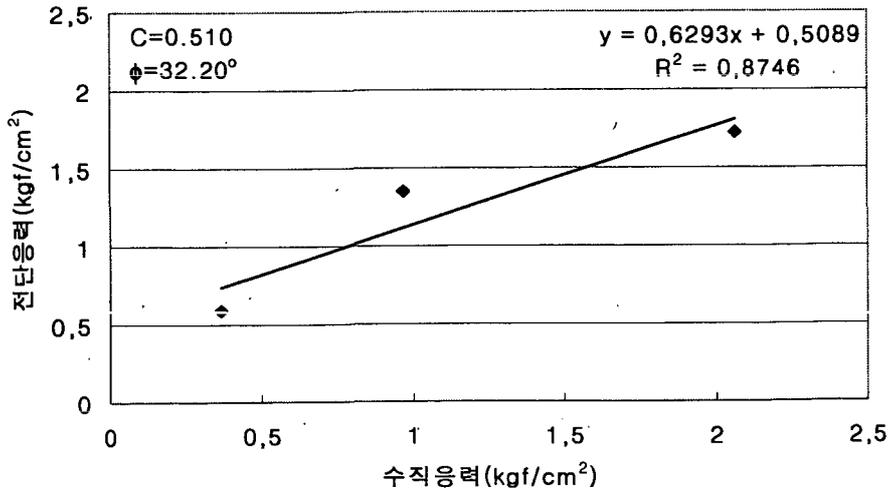
일반적으로 입도분포가 불량한 흙인 경우에 균등계수와 곡률계수가 작으므로 토립자의 크기가 비교적 비슷한 것으로써 토립자끼리의 접촉면적이, 균등계수와 곡률계수가 큰 것에 비해 작아지지만 강우에 의해 성토내부 토괴가 포화될 경우, 토립자 사이의 수분에 의해 토립자간의 마찰저항이 줄어들어 토괴 자체에 전단파괴가 일어날 가능성이 커진다고 할 수 있다.

또한 건조밀도가 최적함수비 조건에서 다짐을 실시할 경우, SW인 경우 1.76~ 2.03사이이고, SP인 경우 1.60~ 1.92사이이며, GP인 경우 1.84~ 2.00사이인 점을 감안한다면, 본 연구결과의 성토면 건조밀도를 위 수준의 95% 정도

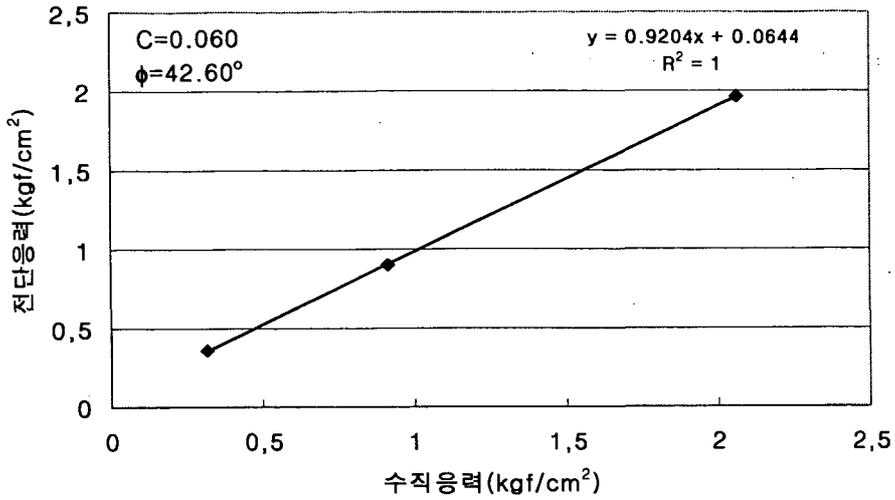
까지 다짐을 실시하여 높여줌으로써 입도성토사면 내부로 침투되는 수분의 경로를 차단한다면, 성토내부의 포화를 방지할 수 있으므로 전단파괴에 대한 안정성을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 흙의 공학적 분류법에 의해 성토사면의 안정성을 상대적으로 평가할 수 있으며, 입도개설시 노선선정 및 기설입도의 사면안정공법의 설계에 흙의 토질역학적 특성을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

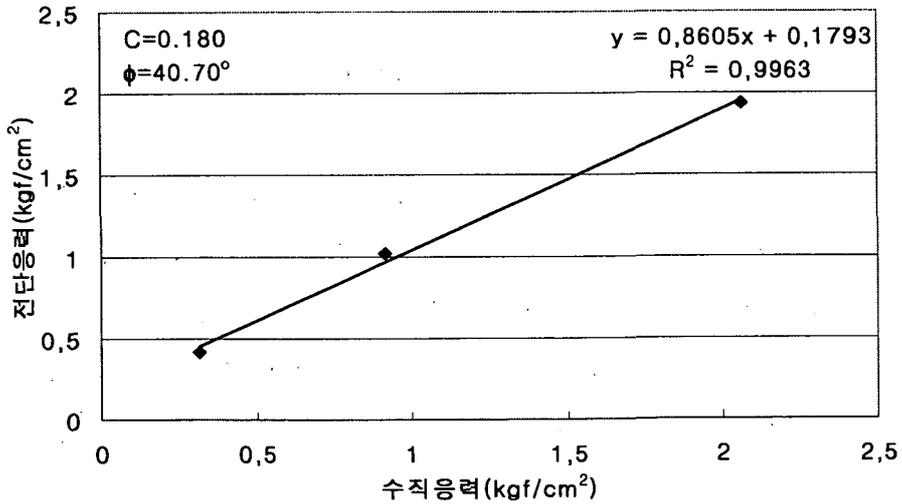
또한 흙의 분류에서 결정된 SW, GP, SP의 토양을 포화시킨 상태에서 직접전단실험을 한 결과 <그림 4-24~26> 과 같이 점착력은 SW에서 0.510으로 가장 높게 나타났고, 내부마찰각은 SP에서 42.60° 로 가장 크게 나타났다. 이것은 함수율의 수준에 따라 다르게 나타나지만 본 실험의 결과로는 입도분포가 가장 양호한 SW에서 점착력이 높게 나타났고, 내부마찰각도 SW에서 가장 높게 나타나리라고 예상했지만 SP에서 가장 크게 나타난 것으로 보아 함수율의 영향으로 입자사이의 마찰저항이 다소 감소된 것으로 사료된다.



<그림 4-24> SW 토양의 Mohr-Coulomb 파괴 곡선



〈그림 4-25〉 SP 토양의 Mohr-Coulomb 파괴 곡선

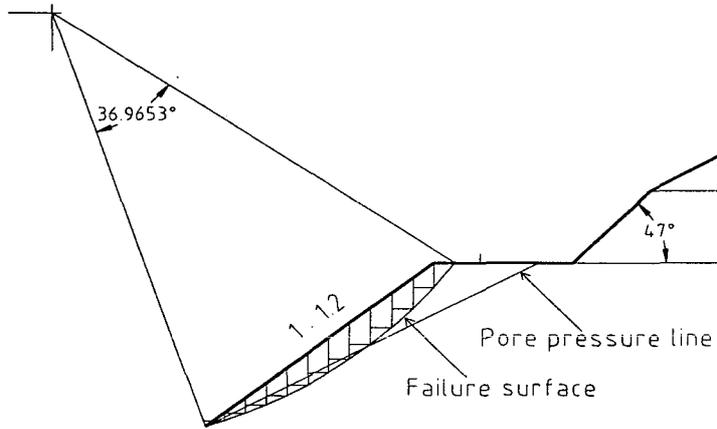


〈그림 4-26〉 GP 토양의 Mohr-Coulomb 파괴 곡선

나. 목책공법 시공 모의사면의 안정해석

토양의 물리적인 특성실험을 통해 얻은 토양의 강도정수 c , ϕ 를 적용하여

〈그림 4-27〉 과 같이 성토경사가 40° (1 : 1.2)이고, 사면길이가 14.36m, 산지경사가 30° 인 모의사면에 적용한 안정해석 결과는 〈표 4-27〉, 표 〈4-28〉 과 같다.



〈그림 4-27〉 임도사면의 안정해석도

〈표 4-27〉 과 같이 임도사면에서도 임도 노폭의 확보를 위해 사면상부로 갈수록 상대적으로 성토량이 많아져 토괴의 중량자체가 증가하는 경향이 있으므로 상부에 2단으로, 하부에 1단으로 목책공법을 적용하였다. 이것은 임도사면의 상부에는 간극수압이 작용하는 것이 적고, 하부로 갈수록 간극수압의 영향을 많이 받기 때문에 수직응력의 영향이 상부보다 적다고 할 수 있다.

따라서 현재 국내에서 생산되고 있는 간벌재의 임령이 2영급 정도이므로 토괴자체의 중량을 고려할 때 상기의 조건이 적합하다고 판단된다. 그러나 하부 또는 상부에만 목책을 설치한다면 강우시 토괴자체의 중량을 견디지 못하고 붕괴가 발생하는 경우가 많이 생길 것으로 사료된다. 현재 보편적으로 설치하고 있는 목책의 시공위치가 노폭의 확보를 위해 상부에만 국한되어 있으므로,

대규모 붕괴의 가능성이 높다고 할 수 있다.

따라서 임도개설 초기에 식생공 등을 이용한 사면안정을 실시하여도 물리적인 안정을 도모하기 위해서는 임도사면자체 토괴의 전단파괴를 방지할 수 있는 목적공법의 적용이 가장 현실적이라고 할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 임도사면 붕괴에 관한 기초조사를 통해 얻은 자료중 가장 붕괴의 위험성이 높은 사면의 형태를 통해 얻은 목적의 시공기준을 선택하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

<표 4-27> 분할법에 의한 임도사면 안정해석표

Slice No.	Area (m ²)	Angle(°)	W(t)	sin α	cos α	T(t/m)	N(t/m)	l(m)	U(t/m)
1	0.66	53.00	1.24	0.80	0.60	0.99	0.75	1.66	
2	1.50	49.09	2.82	0.76	0.65	2.13	1.85	1.53	
3	1.77	45.46	3.33	0.71	0.70	2.37	2.33	1.43	
Σ						5.49	4.93	4.61	0.00
4	1.92	42.05	3.61	0.67	0.74	2.42	2.68	1.35	
5	1.96	38.82	3.68	0.63	0.78	2.31	2.87	1.28	0.09
Σ						4.73	5.55	2.63	0.09
6	1.92	35.73	3.61	0.58	0.81	2.11	2.93	1.23	0.29
7	1.79	32.76	3.37	0.54	0.84	1.82	2.83	1.19	0.42
8	1.59	29.88	2.99	0.50	0.87	1.49	2.59	1.15	0.47
9	1.32	27.09	2.48	0.46	0.89	1.13	2.21	1.12	0.46
10	1.00	24.36	1.88	0.41	0.91	0.78	1.71	1.10	0.39
11	0.61	21.69	1.15	0.37	0.93	0.42	1.07	1.08	0.26
Σ				+++		7.75	13.34	6.87	2.29
12	0.18	19.22	0.34	0.33	0.94	0.11	0.32	1.06	0.08

또한 현장 조사를 통해 얻은 붕괴된 임도사면의 구조적 형태중 가장 위험성

이 높은 구조적 형태의 사면을 토양종류별로 안정해석을 실시한 결과, 안전율이 1.15~1.20까지 인 것으로 나타났다(〈표 4-28〉). 안전율이 1이상이면 일단 물리적으로 안정한 것으로 판단되나, 일반적으로 토목 시공에서 적용하고 있는 안전율이 1.3 - 1.5로 설정하여 구조물을 설계하고 있으므로 본 연구에서는 안전율을 1.5로 하여 간벌소경재의 목책설계를 실시하였다.

〈표 4-28〉 토양 종류에 따른 임도사면의 안전율

토양종류	함수율 (%)	내부 마찰각 (ϕ)	점착력 (C)	안전율
SW	23.72	32.20	0.510	1.20
SP	22.89	42.60	0.060	1.15
GP	23.61	40.70	0.180	1.18

다. 목책공법의 효과분석

목책공법을 적용하기 위해 대상사면의 목표안전율 F_s 를 1.5 이상으로 계획하고 목책공법의 적용을 검토하였다. 목책으로 사용되는 간벌소경재는 4종류(신갈, 낙엽송, 잣나무, 소나무)를 대상으로 SW인 토양인 경우 허용 휨강도와 전단강도가 〈표 4-29〉와 같을 때 목책의 배치간격 및 직경을 계산하였다(〈표 4-30~33〉).

〈표 4-29〉 목책으로 이용하는 목재의 허용 휨 강도 및 전단강도

Species	허용 휨 강도(kg/cm ²)	허용전단강도(kg/cm ²)
<i>Q. mongolica</i>	81.0	14.1
<i>L. leptolepis</i>	98.3	13.8
<i>P. koraiensis</i>	96.5	12.0
<i>P. densiflora</i>	93.4	13.0

〈표 4-30〉 낙엽송 목책의 배치간격에 따른 원목직경

목책의 시공위치	목책의 간격 (m)	부담하중 (kg)	Smax (kg)	직경 (cm)	Mmax (kg-cm)	직경 (cm)
A	1.0	2,784.55	1,953.10	13.42	65,103.47	18.89
	1.5	4,176.83	2,929.66	16.44	97,655.21	21.63
	2.0	5,569.10	3,906.21	18.98	130,206.95	23.80
	2.5	6,961.38	4,882.76	21.23	162,758.68	25.64
B	1.0	2,310.79	1,620.81	12.23	54,026.84	17.75
	1.5	3,466.19	2,431.21	14.98	81,040.26	20.32
	2.0	4,621.58	3,241.61	17.29	108,053.68	22.37
	2.5	5,776.98	4,052.01	19.34	135,067.09	24.10
C	1.0	1,158.39	812.51	8.66	27,083.50	14.10
	1.5	1,737.59	1,218.76	10.60	40,625.26	16.15
	2.0	2,316.79	1,625.01	12.24	54,167.01	17.77
	2.5	2,895.98	2,031.26	13.69	67,708.76	19.14

〈표 4-31〉 신갈나무 목책의 배치간격에 따른 원목직경

목책의 시공위치	목책의 간격 (m)	부담하중 (kg)	Smax (kg)	직경 (cm)	Mmax (kg-cm)	직경 (cm)
A	1.0	2,784.55	1,953.10	13.28	65,103.47	20.15
	1.5	4,176.83	2,929.66	16.26	97,655.21	23.07
	2.0	5,569.10	3,906.21	18.78	130,206.95	25.39
	2.5	6,961.38	4,882.76	21.00	162,758.68	27.35
B	1.0	2,310.79	1,620.81	12.10	54,026.84	18.94
	1.5	3,466.19	2,431.21	14.82	81,040.26	21.68
	2.0	4,621.58	3,241.61	17.11	108,053.68	23.86
	2.5	5,776.98	4,052.01	19.13	135,067.09	25.70
C	1.0	1,158.39	812.51	8.57	27,083.50	15.04
	1.5	1,737.59	1,218.76	10.49	40,625.26	17.22
	2.0	2,316.79	1,625.01	12.11	54,167.01	18.95
	2.5	2,895.98	2,031.26	13.54	67,708.76	20.42

〈표 4-32〉 잣나무 목책의 배치간격에 따른 원목직경

목책의 시공위치	목책간격 (m)	부담하중 (kg)	Smax (kg)	직경 (cm)	Mmax (kg-cm)	직경 (cm)
A	1.0	2,784.55	1,953.10	14.40	65,103.47	19.01
	1.5	4,176.83	2,929.66	17.63	97,655.21	21.76
	2.0	5,569.10	3,906.21	20.36	130,206.95	23.95
	2.5	6,961.38	4,882.76	22.76	162,758.68	25.80
B	1.0	2,310.79	1,620.81	13.11	54,026.84	17.86
	1.5	3,466.19	2,431.21	16.06	81,040.26	20.45
	2.0	4,621.58	3,241.61	18.55	108,053.68	22.51
	2.5	5,776.98	4,052.01	20.73	135,067.09	24.25
C	1.0	1,158.39	812.51	9.28	27,083.50	14.19
	1.5	1,737.59	1,218.76	11.37	40,625.26	16.24
	2.0	2,316.79	1,625.01	13.13	54,167.01	17.88
	2.5	2,895.98	2,031.26	14.68	67,708.76	19.26

〈표 4-33〉 소나무 목책의 배치간격에 따른 원목직경

목책의 시공위치	목책간격 (m)	부담하중 (kg)	Smax (kg)	직경 (cm)	Mmax (kg-cm)	직경 (cm)
A	1.0	2,784.55	1,953.10	13.83	65,103.47	19.22
	1.5	4,176.83	2,929.66	16.94	97,655.21	22.00
	2.0	5,569.10	3,906.21	19.56	130,206.95	24.21
	2.5	6,961.38	4,882.76	21.87	162,758.68	26.08
B	1.0	2,310.79	1,620.81	12.60	54,026.84	18.06
	1.5	3,466.19	2,431.21	15.43	81,040.26	20.67
	2.0	4,621.58	3,241.61	17.82	108,053.68	22.75
	2.5	5,776.98	4,052.01	19.92	135,067.09	24.51
C	1.0	1,158.39	812.51	8.92	27,083.50	14.35
	1.5	1,737.59	1,218.76	10.93	40,625.26	16.42
	2.0	2,316.79	1,625.01	12.62	54,167.01	18.08
	2.5	2,895.98	2,031.26	14.10	67,708.76	19.47

일반적으로 설치된 목책의 파괴는 전단에 의한 파괴보다는 휨에 의한 파괴가 대부분이고 원목의 허용직경도 휨에 의한 직경산출이 더 크게 나타났다. 따라서 시공시 휨에 의한 파괴를 기준으로 목책을 시공한다면 보다 안정할 것으로 판단된다. 수종별 목책의 배치간격에 따라 휨 파괴에 대한 원목직경을

계산한 결과, 낙엽송은 14.10~17.35cm, 신갈나무는 15.04~27.35cm, 잣나무는 14.19~25.80cm, 소나무인 경우에는 14.35~26.08cm로 나타났다.

그러나 이것은 일반적인 산림토양의 종류인 SW토양에 대한 사면의 안정공법 적용이므로 추후 계속되는 연구를 통해 다양한 토질별, 임도의 구조적 형태별, 간벌소경재의 종류별로 안정공법의 설계기준이 필요할 것이다. 또한 안전율 1.5를 기준으로 하여 원목직경을 계산하였기 때문에 임도사면의 물리적인 안정에 매우 효과적일 것으로 판단된다. 또한 힘에 의한 파괴가 발생하기 전에 이 목책공법의 주요 목적이 표층붕괴에 대한 방지를 주요목적으로 하고 있기 때문에 실제 시공시에는 전단에 의한 파괴만을 고려해서 횡목을 2단이나 3단으로 설치하는 것이 바람직할 것이다. 힘에 의한 파괴는 하부의 지반층이 단단한 경우에 적용할 수 있기 때문에 현실적으로 강우가 시작되어 토괴의 포화가 시작되면 하부 지반층이 힘에 의한 모멘트를 저항할 만큼의 지지력을 가지지 못하기 때문이다. 따라서 목책에 의한 사면의 안정화를 고려할 때는 전단에 의한 파괴만을 고려해도 표층붕괴에 대한 예방책으로는 충분할 것이다. 실제 계산해낸 값들은 유한 사면의 원형파괴를 기준으로 계산되어 있기 때문에 실제 표층붕괴의 파괴깊이보다는 훨씬 큰 토괴가 움직여 파괴되는 것을 전제로 하고 있기 때문에 전단에 의한 것만을 고려해도 무방할 것으로 판단된다. 또한 현실적으로 직경이 20cm 이상 되는 간벌재를 길이 4 - 5m 씩 인력에 의해 타설한다는 것은 거의 불가능하기 때문이다.

3. 격자틀공법

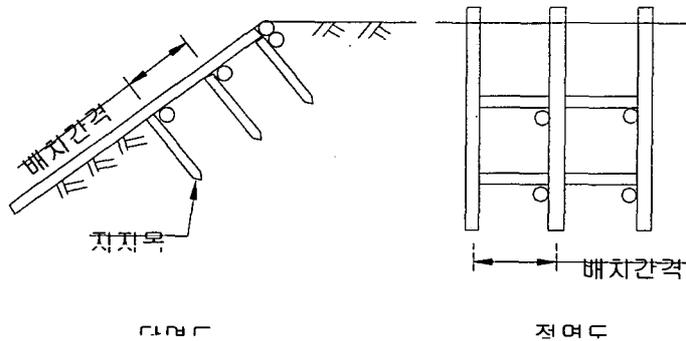
가. 격자틀 공법의 설계조건 검토

사면에 격자틀공법을 설치하는 목적은 불안정한 자연사면 및 절·성토사면의 표면침식 풍화방지 등이 사면전체의 붕괴를 미연에 방지하는 것에 있다.

따라서 격자틀공법을 설치하는 조건에는 주변환경과의 조화가 유지된 사면전체의 미관이 필요하다. 사면에 격자틀공법을 설치하는 경우는 사면주변의 지형, 지질, 위치적인 환경 또는 주변구조물과의 경관적인 조화를 고려해야 한다. 또한 사면이 지닌 특이성에 의해 격자틀공법의 차이가 있다. 여기서 각각의 사면에 대해서 설치목적은 나타내면 일반적으로 다음의 4가지로 나눌 수 있다.

- 1) 비교적 안정한 물매의 토사사면 : 표면토의 붕락·침식 등의 표층처리대책
- 2) 급물매의 임반 및 박리퇴적층의 사면 : 표층암반의 풍화·박리·낙석등의 방지대책
- 3) 불안정사면·밀립붕락사면 : 불안정한 심토층을 포함한 형상변화 방지대책
- 4) 형상이 변한 기설사면 구조물의 보수·보강 : 기설사면구조물 등의 배후의 불안정토층을 포함한 형태 변화방지대책

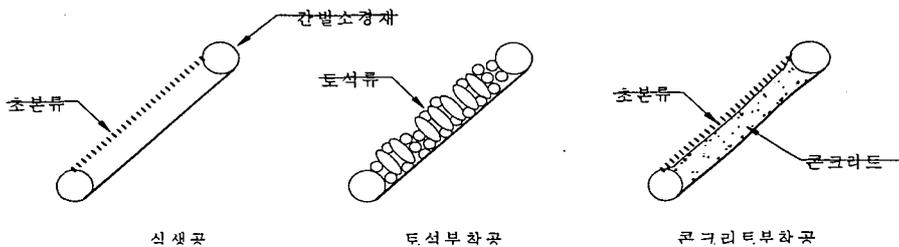
격자틀공법을 사면에 설치할 때 구조물 자체의 이동방지수단으로서 이용되는 것에는 철재빔, lockbolt, 앵커가 있다. 이들 수단의 선정에 대해서는 사면의 특이성을 고려하여 선정하여야 한다.



<그림 4-28> 격자틀공법의 정단면도

표층토 붕괴방지를 위해 제안된 간벌재를 이용한 격자틀공법은 <그림 4-28> 에서와 같이 바둑판 모양으로 간벌재를 종횡으로 설치하고 그 교차점에 사

면과 수직방향으로 지지목을 타설하는 공법이다. 배치간격은 약 1m 내외가 바람직하며 종횡목으로 설치되는 간벌소경재의 길이는 약 3m 정도로 우리나라 목재 조재 길이를 고려한다면 9자에서 12자 정도 즉 2.7m에서 3.6m 정도가 될 것이다. 또한 말구직경은 10cm 내외의 간벌소경재를 이용하며, 지지목으로 사용할 간벌소경재는 길이가 약 1.5m 정도로 현장에서 인력에 의한 타설이 가능하도록 설계하였다. 사면의 길이가 길어질 경우 사면하부에서는 설치가 용이하지 않기 때문에 1.5m의 길이로 해머나 기타 타설 도구를 이용하여 현장에서 인력에 의한 시공이 가능하도록 한 것이다. 또한 현재 고려중인 1m의 배치간격은 임도사면 토양의 물리적 성질(단위체적중량)을 고려한 해석이기 때문에 1m 내외의 배치간격이 될 예정이다. 그러나 시공하는 사면의 위치나 토질의 상태 등을 고려하여 적절히 시공하고자 한다. 종횡목의 연결은 현장에서의 시공이 용이하도록 볼트너트 또는 철사를 이용해서 연결하는 방식을 채택할 예정이다. 격자틀 공법의 시공은 종·횡목을 방사 식으로 조립하여 성토사면부로 투입하며 일정면적이 적용되었으면 자리를 잡아 앵커목으로 격자틀 자체의 안정성을 도모하도록 한다. 격자틀 자체의 시공이 완료된 후에는 격자틀 내부 표층토의 침식 및 유실방지를 위해 식생공이나 주위의 표석 등을 함께 시공하며 암이 많은 구간에서는 콘크리트 타설후 식생공을 동시에 병행하는 것이 바람직하다.



〈그림 4-29〉 격자틀 공의 내부 표층토 보호공

나. 격자틀공법에 적용할 토양의 물리적 성질 파악

토질과 흙의 분류에 따라 임도성토사면에 대한 내부마찰각과 점착력의 시험 결과는 <표 4-34>와 같다. 전체적으로 화성암지역에서는 내부마찰각은 $29.51^{\circ} \sim 41.82^{\circ}$ (평균 38.25°), 점착력은 $0.03\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 0.38\text{kg}/\text{cm}^2$ (평균 $0.24\text{kg}/\text{cm}^2$)로 나타났고, 변성암지역의 내부마찰각은 $21.43^{\circ} \sim 41.43^{\circ}$ (평균 36.13°), 점착력은 $0.05\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 0.44\text{kg}/\text{cm}^2$ (평균 $0.24\text{kg}/\text{cm}^2$)로 나타나 모암별로는 커다란 차이를 보이지 않았으며, 함수율에 따른 내부마찰각과 점착력의 변화에 대해서도 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다. 그러나 林炳祚(1974)와 朴炳基(1974)에 따르면 화강풍화토의 경우 최적함수비 상태는 약 15%수준이며, 이때에 내부마찰각과 점착력이 최대가 되고 이를 경계로 함수비가 증가할수록 점착력과 내부마찰각은 감소한다고 하였고, 특히 점착력의 변화가 심하다고 하였다. 이는 강우에 의한 임도성토사면 흙의 포화시 내부마찰각과 점착력은 더욱 감소할 것으로 판단되며 붕괴가능성이 더 커질 수 있을 것으로 판단된다.

우리나라 화강풍화토의 강도정수에 대한 기존연구결과, 내부마찰각과 점착력에 대해 Lee(1993)는 $41^{\circ} \sim 49^{\circ}$ 와 $0.14\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 0.32\text{kg}/\text{cm}^2$, 박병기(1974)는 30° 와 $0.31\text{kg}/\text{cm}^2$, 林炳祚(1981)는 39° 와 $0.295\text{kg}/\text{cm}^2$, 이문수와 이광찬(1999)은 연직응력 $0.32\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하에서는 $50^{\circ} \sim 63^{\circ}$ 와 $0.12\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 0.21\text{kg}/\text{cm}^2$, 연직응력 $0.32\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상에서는 $34.22^{\circ} \sim 49.76^{\circ}$ 와 $0.30\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 0.35\text{kg}/\text{cm}^2$, 또한 일본의 임도를 대상으로 한 연구에서 木村 등(1972)은 $29.08^{\circ} \sim 42.33^{\circ}$, $0.252\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 0.516\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 결과를 제시한 바 있다. 이와 같이 강도정수는 풍화도, 실험조건 등에 따라서 변화가 나타날 수 있으며, 이와 같은 문제에 대하여 Schoenemann과 Pyles(1984)는 동일 조건의 토질이라 할 지라도 강도정수는 조사지 별로 많은 차이가 발생한다고 하였고, 통계적인 방법에 의한 강도정수를 결정을 제안한 바 있다.

이에 본 연구에서는 mohr-column의 파괴곡선상에서 수직응력이 저구속 압력

인 구간에서는 직선적으로 증가하는 것이 아니라 곡선 즉, 2차 함수의 형태로 변화하기 때문에 직선적으로 구한 점착력의 값을 1/2하여 구하였다.

이와 같이 새롭게 구한 흙의 강도정수를 통하여 표층붕괴에 대한 안정성을 검토하고 그에 따른 격자틀공법의 안정성을 평가하는데 이용할 수 있을 것이다.

〈표 4-34〉 토질분류에 따른 임도사면토양의 강도정수

모암의 종류	토질분류	내부마찰각, ϕ ($^{\circ}$)	점착력, c (kg/cm^2)	함수율 (%)
화성암	토사	40.49	0.24	3.60
		38.45	0.38	3.42
		40.21	0.18	13.38
		29.51	0.27	15.41
	호박돌토사	37.92	0.37	6.70
		37.39	0.19	6.30
		41.82	0.13	14.57
		39.41	0.25	13.96
	풍화암	35.35	0.33	8.42
		45.31	0.03	7.68
		36.82	0.20	14.19
		35.89	0.35	14.56
연암	37.28	0.27	5.72	
	41.66	0.10	5.11	
	37.91	0.17	15.31	
	36.66	0.38	14.84	
변성암	토사	40.94	0.14	6.93
		36.31	0.35	6.26
		41.43	0.05	14.28
		37.86	0.27	13.71
	호박돌토사	34.47	0.44	5.77
		39.91	0.12	5.44
		40.92	0.11	13.94
		38.68	0.27	13.91
	풍화암	21.43	0.36	7.82
		29.16	0.27	7.26
		36.32	0.13	14.64
		35.76	0.20	14.50
연암	33.77	0.35	10.13	
	36.35	0.19	9.86	
	37.41	0.23	14.54	
	37.30	0.37	12.97	

제 5 절 간벌 소경재 안정공법의 개량 방안 모색

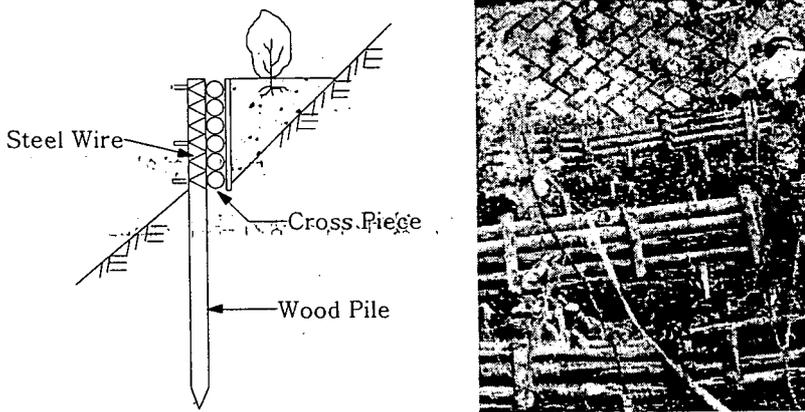
1. 임도성토사면 내부의 간극수압을 줄이는 방법

비탈면의 붕괴메카니즘 중에서 붕괴에 직접적인 원인은 현재까지 밝혀진 내용으로는 강우에 의한 토괴자체의 포화로 인해 토괴의 단위중량이 증가하고 이로 인해 전체적인 전단저항력의 약화로 사면의 붕괴 또는 산사태가 발생한다고 알려져 있다. 그러면 이로 인한 요인중 단위체적 증가의 원인이 되는 강우의 토괴내 흡수를 어느 정도 해결한다면 단위체적 증가에 대한 현상을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 이를 위한 방법은 토괴내부로 우수가 침투되지 못하도록 하는 방법과 침투되어 들어가 우수를 빨리 유하시키는 2가지 방법을 고려할 수 있을 것이다. 토괴내부로 흡수되는 우수의 양을 줄이기 위한 방법은 표토층을 압밀 또는 다짐을 실시하여 공극자체를 줄여 내부로 침투되는 우수의 양을 줄일 수 있다. 그러나 이는 표토 유출수의 양을 증가시키는 원인이 되고 이는 표면 침식의 가속화로 이어질 가능성이 많기 때문에 적절한 방법이 될 수 없을 것으로 판단된다. 따라서 대부분의 산림토양이 화강풍화토이기 때문에 상대적으로 공극량이 크고 사질의 함유량이 많고 점질의 양이 적기 때문에 토괴내부의 간극수압을 줄일 수 있는 배수공법을 동시에 적용하는 것이 바람직 할 것이다. 또한 임도의 측구 및 주변 배수시설에 대한 정기적인 유지보수가 병행되어야 할 것이며 배수 시설자체도 간벌재를 활용한 배수시설을 계획하는 것도 바람직할 것이다.

2. 식생을 첨가한 목책공법

<그림 4-30> 과 같이 호박돌 토사나 경암, 연암지역의 임도사면인 경우는

사면의 전단파괴가 일어날 가능성도 크지만 우수에 의한 침식에 의해 목책의 주변 지반이 영향을 받는 경우가 있으므로 목책의 주변지반을 안정화시킬 수 있는 식생공의 도입이 요구되고 있다. 또한 임도개설초기에 형성되는 임도사면의 나지화는 주위경관을 해칠 뿐 아니라 토사 유출이 발생되므로 시공시에 목책공법의 적용과 함께 식생공을 도입하여 임도사면의 안정을 도모하여야 한다.



〈그림 4-30〉 식생을 첨가한 목책공법



〈사진 4-3〉 목책공법과 사면보호공의 시공

또한 <사진 4-3> 과 같이 사면 녹화용 매트를 이용하여 향토초본종이나 목본 등의 종자를 비료와 함께 시공하면 조경에 사면 피복의 효과와 안정효과를 기대할 수 있으며 향토종의 선택으로 주위 생태계를 배려한 친환경적인 안정 공법의 잇점이 있다.

3. 격자틀 공법의 개량방안

간벌재를 이용한 격자틀공법의 특성상 시공구조물자체의 안정성은 격자틀 규모가 1m × 1m 로 시공할 예정이기 때문에 문제가 없을 것으로 판단되며 단지 앵커목의 시공에 있어서 토사구간이 아닌 호박돌 토사, 연암, 경암지역의 임도는 어렵기 때문에 현장에서의 적용에 있어서는 앵커목의 재료로 간벌재가 아닌 다른 재료도 고려해야 할 것으로 판단하고 있다. 현재 고려되는 앵커재료로는 철재빔과 lockbolt 등이며 설치사면에 일률적으로 적용하는 것이 아니라 국소적으로 토질상황을 고려하여 시공하는 것이 바람직 할 것이다. 그러나 앵커목의 용도자체가 격자틀의 이동방지 수단이 되기 때문에 격자틀하나마다 일률적으로 시공할 필요는 없을 것이며 토질특성을 고려하여 배치하는 것이 합리적이라고 할 수 있다. 현재 예상되는 큰 문제점은 없을 것으로 사료된다. 그러나 사면의 길이가 길어질수록 격자틀 자체의 중량이 증가하기 때문에 자칫 안정공법으로 인한 사면의 붕괴를 초래 할 수 있기 때문에 이런 경우 시공 자재의 단위중량과 흙의 단위체적 중량, 점착력, 내부마찰각 등의 값을 이용한 안정해석을 실시하여 판단할 수 있을 것이다. 또한 목적공법과 마찬가지로 그림4-35에서와 같이 격자틀 내의 토양 유실을 최소화하고 초본의 조기도입을 유도하기 위한 보조 공법이 격자틀 공법의 안정성을 더욱 향상시킬 것으로 판단된다.

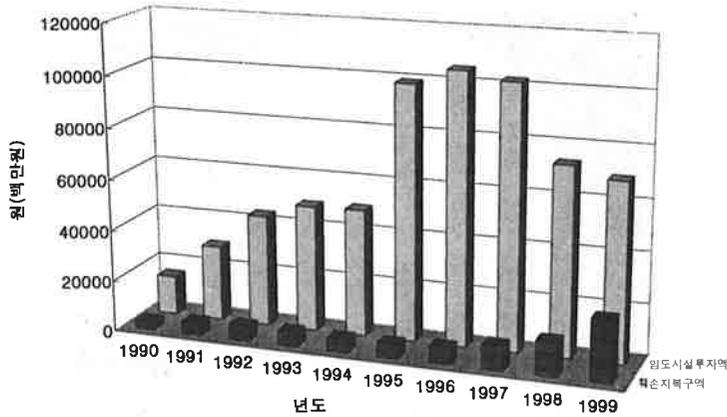


〈사진 4-4〉 매트를 동시에 시공한 격자를 공법

제 6 절 간벌 소경제 공법의 경제성분석 및 이용방안

1. 간벌소경제 안정공법의 경제성 검토

간벌소경제 안정공법을 고려하는데 있어서 가장 중요한 요인은 안정성에 있겠지만 산지에서 개설되는 임도의 경우에는 산지 비탈면의 안정화를 위한 충분한 시공단비가 책정되지 않기 때문에 경제적인 면을 고려하지 않을 수 없다. 그러나 사면안정에 대한 대책 없이 도로개설에만 치중하다보면 차후 우리나라와 같이 우기에 집중호우가 발생하는 경우에는 대규모 산사태, 붕괴 등으로 인한 재해의 가능성이 커진다. 또한 도로복구 및 산지안정화에 대한 2차적인 시공이 필요하게 되므로 이로 인한 복구에 대한 막대한 비용이 소모되게 될 가능성이 크다. 또한 〈그림 4-31〉 과 같이 임도시설 투자액에 대한 것은 1998년을 기점으로 오히려 줄어들은 반면 산지 훼손지에 대한 복구비용은 계속적으로 증가하고 있는 것으로 보아 지금까지 개설된 임도에 대한 안정성이 문제가 되고 있음을 간접적으로 확인할 수 있는 것이다.



〈그림 4-31〉 임도시설투자액과 산지훼손지복구 투자액

따라서 본 연구는 현재 임도 비탈면에 대한 복구 방법 중 가장 많이 적용되고 있는 공법인 흙막이 공법중 돌망태 공법과 산돌 쌓기 공법과의 비교를 통해 예방적인 차원에서의 간벌재 이용공법의 경제성을 판단하였다.

복구공사에서도 목책과 같은 흙막이 공법과 바자 얹기 공법 등을 적용할 수 있지만 현재 고려중인 목책과 같은 방법이고 기본적으로 복구공법의 적용에는 비탈면 고르기 및 기타 기계의 투입이 추가로 이루어지기 때문에 예방적인 차원에서의 간벌재를 이용한 목책공법이 당연히 경제성이 있으므로 이것에 대한 것은 고려하지 않았다. 또한 그 이외에 녹화공법에 대해서는 현실적으로 임도 비탈면에서는 극히 일부 경관적인 면을 주요시하는 구간에만 적용되고 있어 가장 대표적인 녹화공법 몇 가지와 절토면에서 적용 가능한 간벌재 세워놓기 공법과의 비교를 통해 경제성을 분석하였다.

가. 목책공법의 시공단가의 계산

일반적으로 적용되고있는 임도비탈면의 목책공법은 성토면의 상부에만 일부 적용되고 있어 그 효과를 기대하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서 고려하고 있는 목책공법은 표층붕괴에 대한 안정시설물로서의 효과를 추구하기 위해 임

도면으로부터 성토량이 상대적으로 많은 상부와 중부 하부 3곳으로 나누어 시공을 하도록 고려하였으며 이용되는 간벌재도 잣나무, 소나무, 낙엽송, 참나무의 4가지를 고려하여 시공 단위면적당의 소요단가를 계산하였다.

간벌재를 이용한 목책공법의 시공공정은 비탈면고르기, 간벌재의 이동과 운반, 말뚝 다듬기, 말뚝용 간벌재의 꺾질벗기기, 말뚝 박기, 횡목설치 등의 순서로 고려해 볼 수 있으며 공정에 대한 세부적인 내역은 다음과 같다.

모든 계산은 단이 시설길이 당으로 계산한 후 최종적으로 단위면적에 대한 것으로 환산하였다. 또한 모든 공정에 대한 계산기준이 되는 모의 사면은 목책공법의 안정해석 및 적용시 사용한 것과 동일한 것을 사용하였다.

1) 목책공법의 소요 간벌재 및 재료비의 산정

간벌재 가격은 원목국산재가격(2001년 10월기준)으로 <표 4-35> 와 같다.

<표 4-35> 원목 국산재의 가격

품명	규격	가격(원/㎡)
잣 나무	2 등	108,000
소 나무	2 등	128,000
낙엽 송	2 등	102,430
참 나무	2 등	96,000

따라서 1m 간격으로 횡목을 3단으로 사면의 상부, 중부, 하부에 각각 목책을 시공하는 경우를 기준으로 시공구간 1m 당의 간벌재 소요량을 계산하였다. 또한 우리나라의 경우 목재의 조재를 3, 6, 9, 12자 (0.9, 1.8, 2.7, 3.6m)로 하므로 길이는 이것을 기준으로 하였다. 사면의 목책 시공 위치별, 수종별 소요량과 가격은 <표 4-36> 과 같다. 이 경우 횡목의 직경은 0.15m로 하였으며 시공위치별 수종별 직경은 목책공법의 안정해석에 의해 구해진 값(<표 4-30~33>)을 기준으로 산정하였다.

〈표 4-36〉 안정해석에 의한 설치위치별 수종별 간벌재의 소요재적

수종	설치위치	간벌재의 소요재적 (m ³ /시공구간(m))			가격 (원/시공구간(m))
		말뚝용	횡목용	합계	
잣나무	상부	0.0554	0.0530	0.1084	11,707
	중부	0.0358	0.0530	0.0888	9,590
	하부	0.0057	0.0530	0.0587	6,340
소나무	상부	0.0554	0.0530	0.1084	13,875
	중부	0.0358	0.0530	0.0888	11,366
	하부	0.0057	0.0530	0.0587	7,513
낙엽송	상부	0.0478	0.0530	0.1008	10,325
	중부	0.0305	0.0530	0.0835	8,553
	하부	0.0057	0.0530	0.0587	6,013
참나무	상부	0.0478	0.0530	0.1008	9,677
	중부	0.0305	0.0530	0.0835	8,016
	하부	0.0057	0.0530	0.0587	5,635

또한 말뚝 고정 후, 횡목을 말뚝에 고정시키는 작업시 필요한 철선은 PVC 코팅이 되어 있는 #8 철선을 사용하는 것으로 재료비 계산을 하였다. 평균 직경이 14cm 인 말뚝과 횡목을 X 자 형으로 교차시켜 고정시키는 경우에는 개당 1.75m 가 소요되며 끝부분을 꼬아서 묶어주기 위해서는 최소 양단 합쳐 30cm 이상이 소요되며 직경의 불균형을 고려할 때 총 2m 정도가 적합할 것으로 사료된다. 그런데 총 3개의 횡목을 고정시켜야 하므로 이 철선의 단가가 240원/m 이므로 3을 곱하고 시공구간당 3곳(상부, 중부, 하부)에 설치하므로 또 3을 곱하면 (2m * 240원 * 3 * 3) 4320원/시공구간(m)이 된다.

2) 목책 공법의 소요인부계산

말뚝 박기를 위해 소요되는 인력작업은 크게 말뚝 및 횡목운반, 바닥파기, 말뚝 다듬기, 말뚝 꺾질벗기기, 말뚝 박기, 횡목설치로 구분할 수 있다.

우선 목책공법의 시공을 위해 하는 말뚝 및 횡목의 운반은 사방사업기준 공정표상에서 기준되어 있는 폐목산엄기를 기준으로 산정하였다. 따라서 말뚝

및 횡목운반은 $1.857 \text{ 개}/\text{m}^*60\text{개}/\text{인} = 0.0310 \text{ 인}/\text{시공구간}(\text{m})$ 이 된다. 바닥파기에 있어서는 폭 0.3m 로 깊이 0.5m 로 할 때 단위구간당 0.15㎡이므로 사방사업 공정표에 의거 계산하면 $0.15\text{㎡}*0.26\text{인}/\text{㎡} = 0.039\text{인}/\text{단위시공구간}(\text{m})$ 이 소요된다. 말뚝 다듬기에 있어서는 토목적산기준에 의거 계산을 하였다.

고려되어지는 간벌재의 직경이 9 - 14 cm 이므로 말구가 15cm 이고 길이가 4m 인 경우가 적산기준표상에서 가장 적합하여 적용하였으며 그때의 소요인부는 말뚝 10개당 0.22인이 소요되므로 목책공법의 적용구간 당(1m 당)소요인부로 환산하였다. 현재 말뚝으로 소요되는 간벌재는 1m 당 1개이기 때문에 0.022인/시공구간(m)이 된다. 또한 간벌소경재를 이용한 목책공법에 이용되는 기초말뚝을 타설하는 경우에 인력에 의한 작업을 고려할 경우 관입되는 간벌소경재와 토양과의 마찰을 줄이기 위해 수피부분을 벗겨내는 것이 바람직하다. 이 작업은 토목 적산기준(〈표 4-36〉)에 의하면 말뚝길이 m 당으로 소요인부가 정해져 있기 때문에 직경별로 적용을 해보면 다음과 같다.

〈표 4-37〉 목책공법용 기초말뚝의 꺾질벗기기 소요인부 기준(말뚝길이 m당)

말구(cm)	9	12	15	18	21	24	27	30
인부(인)	0.005	0.007	0.008	0.010	0.012	0.014	0.015	0.017

사면의 상부에서는 수종별로 직경이 13 - 14cm급이 필요하고, 중부에서는 12 - 13cm, 하부에서는 9cm 정도의 직경급이 필요하고 각각 길이는 3.6m, 2.7m, 0.9m를 적용하였다. 그 결과 상부는 0.0288인, 중부는 0.0189인, 하부에서는 0.0045인으로 계산되어 목책적용구간 1m당 꺾질벗기기의 소요인부수는 0.0522인으로 산정하였다.

말뚝 박기에 있어서는 토목적산기준에 의거 말뚝 1개당 0.027인이 소요되므로 상·중·하로 3단으로 설치하기 때문에 0.081인/적용구간(m)이 소요된다.

3) 간벌재 이용 목책공법의 작업기준 공정표의 작성

간벌재 이용 목책공법의 재료비 및 작업공정별 소요인원계산을 토대로 작업 기준 공정표를 작성하였다(〈표 4-37〉). 그러나 다른 공법과의 경제성 판단을 위해서는 현재 사방사업기준공정 및 적산기준에 명시되어 있는 단위의 단가로 환산해 주어야 하기 때문에 목책공법의 경우는 단위 면적당의 소요공사 단비로 환산하였다(〈표 4-38〉).

〈표 4-38〉 간벌재 이용 목책공법시공 구간 1m 당 단가표

명칭	치수	수량	단위	단가(원)	금액(원)	적요
간벌재	잣나무	0.2559	m ³	108,000	27,637	표 4-36 참조
	소나무	0.2559	m ³	128,000	32,755	
	낙엽송	0.2430	m ³	102,430	24,890	
	참나무	0.2430	m ³	96,000	23,328	
철선	#8, PVC	18	m	240	4,320	횡목, 말뚝을 교차시켜고정
특별인부		0.0195	인	51,490	1,004	보통인부 15:1
보통인부	소계	0.2932	인	37,052	10,864	
		0.0200	인			말뚝 만들기 및 다듬기
		0.0522	인			말뚝 꺾질벗기기
		0.0810	인			말뚝 박기
		0.0700	인			횡목설치
		0.0310	인			말뚝 및 횡목운반
계	잣나무				43,825	
	소나무				48,943	
	낙엽송				41,078	
	참나무				39,516	

단위면적당의 단가표로 환산하기 위해서 본 단가표의 기준이 되는 모의사면의 치수를 기준으로 환산하였다. 사면장이 14.36m인 사면을 기준으로 하였기 때문에 단위시공구간 1m는 14.36m²로 볼 수 있다. 따라서 〈표 4-38〉에서 구한 값을 14.36m²로 나누어 단위면적당의 단가표를 완성하였다.

〈표 4-39〉 간벌재 이용 목책공법 1㎡ 당 단가표

명칭	치수	수량	단위	단가(원)	금액(원)	적요
간벌재	잣나무	0.2559	㎡	108,000	1,924	표 4-36 참조
	소나무	0.2559	㎡	128,000	2,281	
	낙엽송	0.2430	㎡	102,430	1,733	
	참나무	0.2430	㎡	96,000	1,624	
철선	#8, PVC	18	m	240	301	횡목, 말뚝을 교차시켜고정
특별인부		0.0195	인	51,490	50	보통인부 15:1
보통인부	소계	0.0204	인	37,052	756	
		0.0014	인			말뚝 만들기 및 다듬기
		0.0036	인			말뚝 꺾질벗기기
		0.0056	인			말뚝 박기
		0.0049	인			횡목설치
		0.0022	인			말뚝 및 횡목운반
		0.0027	인			바닥파기
계	잣나무				3,031	
	소나무				3,388	
	낙엽송				2,840	
	참나무				2,731	

나. 간벌재 세워놓기 공법의 시공단가의 계산

간벌재 세워 놓기 공법은 현재 현장에서의 적용이 본 연구가 처음이기 때문에 시공에 대한 공정 및 단가표에 대한 기준이 없다. 따라서 먼저 이에 대한 산정이 있어야 다른 공법과의 비교를 통해 경제성 여부를 판단 할 수 있을 것이다. 모든 산정기준은 현재 적용되어 있는 사면의 규모를 기준으로 산정하였고 가격 및 소요인부의 산정은 정해진 기준에 의거 산정하도록 하였다. 또한 대략적인 간벌재 세워놓기 공법의 시공순서는 간벌재의 운반, 횡목고정용말뚝 다듬기, 횡목매설 및 고정용 바닥파기, 횡목 설치 및 말뚝 박기, 간벌재 세워놓기의 시공과 같으며 이를 기준으로 공정표 및 단가표를 작성하였다.

1) 간벌재의 소요량과 가격산정

본 연구에서 시공된 간벌재의 직경급은 평균 10.1 - 11.7cm였다. 따라서 직

경급 11cm의 간벌재를 사용하는 경우를 기준으로 소요량을 산정하였다. 또한 인력으로 시공하는 것을 기준하였기 때문에 적용가능한 사면장은 6 - 9 m 정도의 절토사면이 될 것으로 판단한다. 따라서 본 연구에서 시공한 간벌재의 길이는 3m 였지만 현장에서 간벌재의 수확시 조재 길이는 0.9, 1.8, 2.7, 3.6m 이므로 간벌재의 소요량계산은 3.6m 크기의 간벌재를 이용하는 것을 기준하였다. 시공방법은 3.6m의 간벌재를 중간에 횡목을 대고 2단으로 간벌재를 시공하는 것으로 하였기 때문에 단위시공 구간당 소요되는 간벌재의 소요량은 다음과 같이 된다. 종방향으로 세우는 간벌재는 3.6m 횡목당 30개씩 * 2단 = 60 개가 필요하다면 3.6m 의 구간에서 3.6m * 32개(아래위 횡목 2개) + 0.9 * 2개(말뚝용) 가 필요하다. 따라서 총 3.6m의 구간에 1.1119㎡의 간벌재가 소요되고 이를 단위 면적당의 소요량으로 환산하면 현재 길이 3.6m 의 구간에 피복되는 면적은 3.6m * (7.2m + 0.22m) = 26.712㎡ 이므로 이를 적용하면 0.0416㎡/단위면적(㎡) 이 된다. 또한 이를 기준으로 단위면적당의 간벌재 소요량에 대한 가격은 다음 <표 4-39> 와 같다.

<표 4-40> 간벌재 세워농기공법의 단위면적당 간벌재 소요량과 가격

수종	소요재적(㎡)	단가(원/㎡)	가격(원/㎡)
잣나무	0.0416	108,000	4,492
소나무	0.0416	128,000	5,325
낙엽송	0.0416	102,430	4,261
참나무	0.0416	96,000	3,994

2) 소요인부의 산정

간벌재 세워농기 공법의 시공을 위해 하는 말뚝 및 횡목의 운반은 사방사업 기준 공정표상에서 기준되어 있는 폐목 산엽기를 기준으로 산정하였다. 따라서 말뚝 및 횡목운반은 10.5 개/m * 60개/인 = 0.1759 인/시공구간(m) 이 된다. 이것을 단위면적 당으로 나누면 0.1759 인/시공구간 ÷ 7.42㎡ = 0.0237

인/㎡이 소요된다. 바닥파기에 있어서는 폭 0.2m 로 깊이 0.05m 로 할 때 단위구간 당 0.01㎡이므로 사방사업 공정표에 의거 계산하면 $0.01\text{㎡} * 0.26\text{인}/\text{㎡} = 0.0026\text{인}/\text{단위시공구간(m)}$ 이 소요된다. 그러나 시공구간 1m 당 시공 면적이 7.42㎡이므로 0.00035인/㎡이 소요된다. 말뚝 다듬기에 있어서는 토목적 산기준에 의거 계산을 하였다. 고려되어지는 간벌재의 직경이 11 cm 이므로 말구가 12cm 이고 길이가 3m 인 경우가 적산기준표상에서 가장 적합하여 적용 하였으며 그때의 소요인부는 말뚝 10개당 0.17인이 소요되므로 목책공법의 적용구간 당 소요인부로 환산하였다. 현재 말뚝으로 소요되는 간벌재는 1m 당 0.56개이기 때문에 0.0095인/시공구간(m)이 된다. 말뚝박기는 토목 적산기준에 의거 말뚝 1개당 0.027인이 소요되므로 $0.027\text{인}/\text{개} * 0.056\text{개}/\text{m} = 0.0015\text{인}/\text{적용구간(m)}$ 이 소요된다. 단위면적 당으로 환산하면 0.0002인/㎡이다. 또한 간벌재 세우기는 폐목 산엽기 공정표에서 폐목 엽기 작업을 기준으로 하여 환산하였다.

〈표 4-41〉 간벌재 이용 세워농기 공법 1㎡ 당 단가표

명칭	치수	수량	단위	단가(원)	금액(원)	적요
간벌재	잣나무	0.0416	㎡	108,000	4,492	표 4-39 참조
	소나무	0.0416	㎡	128,000	5,325	
	낙엽송	0.0416	㎡	102,430	4,261	
	참나무	0.0416	㎡	96,000	3,994	
특별인부		0.0023	인	51,490	118	보통인부 15:1
보통인부	소계	0.0350	인	37,052	1,297	
		0.0237	인			말뚝 및 횡목운반
		0.0004	인			바닥파기
		0.0013	인			말뚝 다듬기
		0.0002	인			말뚝 박기
	0.0094	인			간벌재 세우기	
계	잣나무				5,907	
	소나무				6,740	
	낙엽송				5,676	
	참나무				5,409	

표에서와 같이 간벌재를 이용한 목책공법보다는 단위 면적당 소요되는 단가가 약간은 비싼 것으로 산정되었지만 절토면과 같이 안정화나 기타 안정공법의 적용이 어려운 경우에는 효과적인 공법이 될 것으로 판단한다.

다. 다른 안정공법과의 경제성 비교

현재 본 연구에서 제시한 간벌재의 안정공법은 단순한 경제적인 평가를 통한 경제성을 판단하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. 그 이유는 본 연구에서 제시한 간벌소경재 이용안정공법은 환경친화적인 자재의 사용으로 인하여 주위환경과의 조화 등 경관적인 미를 고려한 환경친화적인 공법이기 때문이다. 이로 인한 무형의 가치는 경제적인 평가항목에서 제외되었기 때문에 그것으로 인한 것까지 고려한다면 매우 잇점이 많은 공법이라고 하겠다.

또한 환경친화적인 자재이므로 시간의 경과시 재료자체의 강성이 약화된다는 단점이 있다. 그러나 그 이전에 사면상의 피복 등으로 인한 사면자체의 안정성이 도모되는가에 대한 연구는 연구기간의 제약으로 인해 본 연구에서 실시하지 못했다. 지속적인 연구와 그에 대한 평가가 필요할 것으로 사료된다. 그러나 모든 안정공법이 유한한 것은 아니기 때문에 시공당시의 시공단위당의 단가비교를 통해 어느 정도의 경제성에 대한 판단은 가능하다.

현재 산림청에서 제시하고 있는 안정공법 및 복구공법, 사방시설공법의 공정기준은 그 자체만으로도 서로 비교가 불가능하게 되어 있다. 서로 적용기준에 대한 단위시공의 단위가 개소 및 길이, 면적, 체적 등으로 다양화 되어있어 실제 복구공법의 계획 및 검토시에 경제적인 판단이 어렵게 되어있다. 추후 이런 것에 대한 통일적인 기준안의 제시가 요구된다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이전에 언급한 바와 같이 산지사방 및 훼손지 복구사업에서 가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 들망태형 옹벽과 비교하여 보았다.

일반적으로 돌망태 복구공법에 대한 공정 및 단가표는 돌망태형 옹벽 m^3 을 기준으로 작성되어 있거나 1개소당의 기준으로 작성되어 본 연구에서 제시한 간벌재 이용공법과의 비교가 쉽지 않다. 또한 사방사업기준 공정표에 제시되어 있는 기준도 1ha 의 면적당 2개소에 돌망태 흙막이를 적용하도록 규정되어 있어 사면의 구성물질, 형태, 경사 등 붕괴와 관련된 주요인자는 전혀 고려되지 않은 채 일률적으로 적용되고 있다. 그러나 2000년 산림청의 채광채석지의 적정복구비용산정에 관한 연구를 살펴보면 돌망태형 옹벽 $1m^3$ 당 79,251원이 단가로 제시되어 있다. 일반적으로 사면의 복구공법에 적용되는 돌망태의 크기가 가로, 세로, 높이 1m의 것을 2단으로 적용한다는 것을 볼 때 단위 시공 길이당의 단가와 비슷하다고 할 수 있다.

따라서 현재 본 연구에서 제시하고 있는 공법과 비교해서 본 연구에서 제시하고 있는 간벌재 이용공법의 경우가 매우 경제성이 있는 것으로 판단된다. 또한 기타 절토면에 적용가능한 녹화공법은 단가가 4000 -5000원/ m^2 으로 본 연구에서 제시한 간벌재 세워놓기 공법과 비슷한 수준이나 이러한 공법은 식생토나 매트 등을 고정시킬 또 다른 공법을 요구하기 때문에 상대적으로 경제적이지 못할 것으로 판단된다.

2. 간벌소경제 안정공법의 이용방안

가. 성토면의 간벌재 이용안정공법

목책공법과 격자틀공법 등의 안정공법을 제시하였지만 무엇보다도 가장 중요한 것은 불안정사면에 대한 올바른 안정진단과 적절한 설계이다. 현재 산림청에서 제시하고 있는 모든 안정공법 및 사방시설물의 적용은 공학적인 계산 근거에 따른 객관적인 근거가 미약하다. 따라서 일률적으로 적용되어지고 있으며 그에 따른 2차 3차의 복구가 요구되고 있으며 이로 인한 유지보수비의

손실은 커져가고 있다. 따라서 이러한 성토면의 안정시설들은 먼저 적용사면의 안정검토와 그에 다른 적절한 설계를 통해 안정공법의 적용이 이루어져야 한다. 또한 주위의 환경과 조화롭게 설계가 이루어져야 할 것이며 추가공법의 적용시에도 자연환경과 조화로운 시설물의 적용이 이루어져야 한다. 본 연구에서 제시한 간벌소경재를 이용한 목책공법과 격자틀공법의 안정성 검토와 추가시공에 대한 부수적인 지침을 고려하여 시공한다면 안정성 및 환경친화적인 비탈면 시공에 좋은 본보기가 될 것으로 판단된다.

나. 절토면의 간벌재 이용 안정공법

절토면은 그 특성상 암이 많고 침식에 매우 약한 특징을 보이고 있다.

따라서 침식량의 감소와 조기 피복 등의 2가지 잇점을 가진 간벌재 세워 놓기 공법은 그 이용적인 면에서 잠재력이 매우 크다고 할 수 있다. 앞으로 간벌재의 이용확대와 친환경적인 임도시설물의 확대 등으로 그 이용방안에 대한 가능성은 매우 크다고 할 수 있다. 특히 도로와 인접한 곳과 주위경관의 파괴가 우려되는 곳에 시설되는 임도 특히 마사토 지역 등의 피복이 곤란한 지역에 친환경적인 소재를 이용하여 경제적인 시공을 꾀할 수 있기 때문이다.

앞으로 피복이 곤란하거나 침식이 심한 임도 절토비탈면에는 매우 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

제 7 절 참고문헌

金翔圭. 1996. 土質力學의 基本原理. 東明社. 371pp.

대한지질학회. 1999. 한국의 지질. 시그마프레스. 802pp.

박병기, 강병선, 이강일, 이광찬, 임은상. 1997. 화강토의 전단강도 및 변형

- 특성. 韓國地盤工學會誌 13(4) : 117-195.
- 朴炳基. 1973. 花崗岩質風化土의 特性研究 -光州地域花崗岩質風化土의 物理的 特性을 中心으로-. 大韓土木學會誌 21(4) : 37-50.
- 朴炳基. 1974b. 花崗岩風化土의 剪斷特性研究 -主로 Dilatancy 特性에 대한 研究-. 大韓土木學會誌 22(3) : 55-66.
- 白榮植. 1988. 斜面安定(II). 大韓土質工學會誌 4(2) : 74-104.
- 산림청. 2000. 사방사업 기준 공정표
- 산림청. 2000. 채광·채석지의 적정 복구비용 산정 등에 관한 연구. 충남대 농업과학연구소. 315pp
- 임업연수원. 1997. 임도(신규)반 -'97교육교재-. 임업연수원. 622pp.
- 全仁植. 1995. 建設標準품셈. 建設研究所. 1052pp.
- 지병윤, 오재현, 전근우, 차두송. 1999. 임도성토사면의 토질역학적 특성에 관한 연구. 한국임학회하계총회 및 학술연구발표회. 170-171.
- 지병윤, 오재현, 차두송. 2000. 임도성토사면의 토질역학적 특성과 안정해석. 한국임학회지 89(2) : 275-284.
- 지병윤. 2000. 林道盛土斜面的 崩壞診斷 및 安定工法에 關한 研究. 강원대학교 박사 학위논문. 201pp.
- 車斗松, 池炳潤. 1999. 數量化II類에 의한 林道 盛土斜面的 崩壞要因 評價 및 豫測. 韓國林學會誌 88(2) : 168-169.
- 차두송, 김남훈, 최인화, 지병윤. 1998. 간벌소경재가 임도비탈면 안정에 미치는 효과. 1998년 한일공동심포지엄. 121-133.
- 차두송, 김남훈, 지병윤, 오재현. 1999. 간벌소경재를 이용한 임도성토사면의 안정공법 개발. 한일공동심포지엄. 55-68
- 차두송, 지병윤. 1999. 춘천 가리산지역 임도성토사면의 붕괴위험예측. 한국 임학회하계총회 및 학술연구발표회. 168-169.

- 차두송, 박완근, 지병윤, 오재현. 2001. 산불피해지의 사면안정을 위한 간벌 소경재의 이용방안. 동해안산불피해지역 2차 산림피해방지기술 개발 심포지엄. 23-37.
- 최태호. 2000. 최신 토목 적산. 구미서관. 461pp.
- 洪元杓, 金潤遠, 金翔圭, 韓重根, 金 마리아. 1990. 降雨로 기인되는 우리나라 斜面滑動의 豫測. 大韓土質工學會誌 6(2) : 55-63.
- 申潤植. 1989. 地すべり工學 -理論と實踐-. 山海堂. 102pp.
- 木村和弘, 千野敦義, 酒井信一. 1972. 林道の關する研究III -盛土工法の關する研究 (第一報). 信州大學農學部演習林報告 9 : 71-97.
- 日浦啓全. 1992. 斜面崩壞に關する研究 -崩壞タイプと斜面内水收支について-. 高知大學演習林報告 第9号 : 53-62.
- 上飯坂 實. 1953. 林道の破壞防止に關する研究. 岩手大學農學部報告 1: 255-260.
- 土質工學會 編. 1983. 土の試驗實驗書. 土質工學會. 267pp.
- 土砂災害對策研究會編. 1983. 土砂災害の豫知と對策. 土質工學會. 357pp.
- 高谷精二. 1987. のり面保護工の基礎と應用. 山海堂. 162pp.
- Brunsdon, D. and D. B. Prior. 1984. Slope Stability. John Wiley & Sons, New York. 620pp.
- KS F 2302
- KS F 2303
- KS F 2304
- KS F 2308
- KS F 2324
- KS F 2343
- Kirkby, M. J. 1976. Hydrological slope models: the influence of climate

- in Derbyshire, E. (ed). Geomorphology and climate. Wiley. 247-67.
- Lafren, J. M. and Colvin, T. S. 1981. Effect of crop residue on soil loss from continuous row cropping. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs. 24. 605-609.
- LaHusen, R. G. 1984. Characteristics of Management-Related Debris Flows, Northern California. Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability : 139-145.
- Lambe, T. W. 1951. Soil testing for Engineers. John Wiley & Sons, Inc. 165pp.
- Lee, C. Y., T. S. Hull and H. G. Poulos. 1995. Simplified pile-slope stability analysis. Computer and Geotechnics 17 : 1-16.
- Lee, S. G. 1993. Geotechnical Characterization of Weathered Granite Soil in Korea. Journal of the Korean geotechnical society 9(3) : 5-21.
- Leshchinsky, D. 1990. Slope Stability Analysis : Generalized Approach. Journal of Geotechnical Engineering 16(5) : 851-866.
- Leshchinsky, D. and C. C. Huang. 1992. Generalized Slope Stability Analysis : Interpretation, Modification, and Comparison. Journal of Geotechnical Engineering 118(10) : 1559-1576.
- Meyer, L. D and Wischmeier, W. H. 1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water, Transaction of the ASAE 18 : 905-911
- Morgan, R. P. C., Morgan, D. D. V. and Finney, H. J. 1984. A predictive model for the assessment of soil erosion risk', Journal of Agricultural Engineering Research, 30 : 245-253.

Quansah, C. 1981. The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport, Journal of soil science. 32 : 215-224