

T000034790

MONO1201115591

발간등록번호
11-1541000-000746-01

과제번호 307015-3

보안과제(), 일반과제(●)

이끼류의 고소득 상품화 기술개발

(Industrialization of moss bioresources as a novel cash
ornamental plant substituting for rice)

일송환경복원(주)

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “이끼류의 고소득 상품화 기술 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010년 11월 14일

주관연구기관명 : 일송환경복원(주)

주관연구책임자 : 김 용 규

연 구 원 : 김 경 훈

연 구 원 : 고 정 현

연 구 원 : 김 용

연 구 원 : 김 성 진

협동연구기관명 : 순천대학교

협동연구책임자 : 허 재 선

연 구 원 : 전 해 숙

연 구 원 : 류 정 애

연 구 원 : Li Chang Tian

연 구 원 : Wang Xin Yu

협동연구기관명 : 전남농업기술원

협동연구책임자 : 김 희 곤

연 구 원 : 윤 봉 기

연 구 원 : 황 인 택

연 구 원 : 조 경 철

연 구 원 : 김 정 근

연 구 원 : 기 광 연

연 구 원 : 서 종 분

연 구 원 : 신 길 호

연 구 원 : 김 양 진

연 구 원 : 류 미 현

요 약 문

I. 제 목

이끼류의 고소득 상품화 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

FTA에 의한 농산물 시장 개방에 대응하여 논농사 대체용 고소득 작물로서의 이끼류(선대류) 재배 생산을 위하여 국내 자생 이끼류를 중심으로 산업화 유망종 선발, 품종개발, 대량증식 기술개발, 번식체확보 기술개발, 연중생산기술 개발을 통한 이끼류 재배 생산 인프라를 구축하고 산업적 활용이 미진한 이끼류(선대류)의 다양한 활용방안을 도출하여 이끼류의 산업적 활용화 기술개발 및 사업화를 실시함으로써 이끼류의 대규모 소비 수요처 창출에 따른 새로운 소득원으로서 이끼류의 고부가 작물화 달성

III. 연구개발 내용 및 범위

□ 이끼류의 고부가 제품 개발 및 실용화 기술개발

- 옥상 및 인공구조물 적용 가능한 제품 개발
 - 옥상 및 인공구조물 상부에 적용 가능한 이끼의 생육환경 도출
 - 옥상 등 인공구조물 상부에 적용하기 위한 단위 모듈형 저류형 옥상녹화 시스템 개발
- 이끼 방음벽 및 수직벽체 적용시스템 개발
 - 이끼 방음벽 및 수직벽체에 적합한 이끼의 생육환경 도출
 - 이끼 방음벽(수직벽체) 시스템 개발
 - 수직면과 경사면에 동시 적용 가능한 제품 개발
- 기 개발된 바닥, 수직녹화시스템의 실내 적용을 위한 시스템 개발
- 재배 및 증식을 위한 대량 생산 시스템 구축

□ 산업화 유망 이끼류 자원선발 및 대량증식기술개발

○ 산업화 유망 이끼류 자원 확보 및 선발과 특성평가

- 국내 자생 이끼류 수집 및 생물자원 확보
- 국외 물이끼류 수집 및 생물자원 확보
- 자생지 생태환경 조사 및 생리적 특성 규명
- 활용 용도별 (관상 및 조경) 산업화 유망 이끼류 선발
- 선발 이끼류의 번식체 개발을 위한 포자 및 영양번식체 확보

○ 선발 이끼류의 대량증식기술 개발

- 선발 이끼류의 포자이용 대량번식 조건 규명
- 포자 배양체의 인공재배를 통한 생태적응성 평가 및 기반 기술 확보
- 물이끼류 영양번식체 제조 기술 개발
- 건생 이끼류의 매트 seedling 제조 기술 개발

□ 산업화 유망 이끼류의 양액재배 및 노지재배 연중생산기술 개발

○ 양액재배를 이용한 이끼류 제품화 기술개발

- 식물공장형 재배시스템을 이용한 이끼류 제품 개발

○ 선발 이끼류의 노지재배 연중 생산을 위한 재배기술개발 및 작부 체계화

- 영양번식체를 이용한 최적 식재 방법 개발
- 연중생산 가능 최적 재배 및 관리기술 개발
- 건생 이끼류의 연중생산 가능 작부체계 확립

○ 대량생산 시스템 농가실증실험

IV. 연구개발결과

- 이끼식물을 이용한 일반형 옥상녹화 시스템의 보습층 소재 및 두께를 검증한 실험에서 모래 또는 모래와 건조물이끼를 혼합한 용토에서 서리이끼(*Rhacomitrium canescens*)와 털깃털이끼(*Hypnum plumaeforme*)를 이용한 식생매트에서 초기 피복도는 다소 차이나 발생하였으나 1년이 경과하면서 모든 실험구에서 100% 피복도를 이루었다.
- 일정기간 생육시킨 서리이끼(*Rhacomitrium canescens*)만을 사용한 이끼매트를 수태 및 펠라이트를 이용한 보습층에 형성한 결과 생육이 잘 유지되고 있다.
- 이끼식물을 이용한 저류형 옥상녹화 시스템의 경우 수태를 이용한 모세관식 시스템이 적합한 것으로 판단된다. 그러나 서리이끼(*Rhacomitrium canescens*)의 경우 과습으로 인한 해를 입는 것으로 밝혀졌고, 습생이끼인 물이끼(*Sphagnum spp.*)의 경우 저류형 옥상녹화 시스템에 가장 적합한 이끼로 평가된다.
- 이끼식물과 타식물과 혼합식재시 타감작용으로 식물상호간 피해가 우려되나, 세덤식물 및 관목류와 혼합식재시 타감작용은 크게 나타나지 않는 것으로 판단되었다. 초본류와의 혼합식재시 발생할 수 있는 상호영향은 연구가 필요하다.
- 옥상녹화를 비롯한 수평면녹화에 적합한 이끼는 양지성 혹은 반음지성 이끼들로 판단되고 이러한 이끼들의 생육에 영향을 미치는 미기후(microclimate) - 수분, 광, 바람 등의 조건을 만들어주는 최종 제품을 개발하였다.
- 이끼를 이용한 수평면 녹화제품인 모스페블(moss pebble)의 경우 인공지반이나 자연지반에서도 사용가능하며, 조경 및 건축, 인테리어 소재로도 이용되어질 것으로 기대된다.
- 3차원 망상체에 보습재와 이끼를 결합시킨 이끼매트의 경우 지속적인 물 공급이 피복도에 가장 영향을 많이 미쳤으나, 여름철 고온다습한 환경에서 이끼가 검붉게 변하는 현상이 관찰되었다. 이 현상은 고온 다습한 환경에서 과습에 의한 곰팡이균 등의 발생이 원인이며, 살균소독제 및 농약을 통해 제거가 가능하였고, 검붉게 변한 이끼가 다시 재생되는 것이 관찰되었다.
- 수평면으로 개발된 모스페블(moss pebble)을 이용하여 수직면 및 경사면에도 적용가능하다. 망으로 된 금속 프레임 내부에 모스페블을 채운 후 녹화하고 싶은 수직벽 또는 경사면에 설치함으로써 이끼를 이용한 녹화가 가능하다.
- 실내 적용을 위한 시스템의 경우 식생배지로 부직포의 사용은 과습에 의한 해가 있었으며, 수분 흡수 소재를 이용한 수분공급에서는 초기에 이끼가 건조되는 현상이 발생하였다. 수분흡수 소재를 이용한 방식으로 다양한 시스템(수조일체형, 수조매립형, 벽체형) 및 다양한

디자인으로 생산가능할 것으로 판단이 되며, 실내에 적용되는 이끼로는 흰털이끼 (*Leucobryum glaucum* (Hedw.) Angstr.), 패랭이우산이끼(*Conocephalum conicum* (L.) Dum), 산주목이끼(*Plagiothecium nemorale* (Mitt.) Jaeg.), 덩굴초롱이끼(*Plagiomnium maximoviczii*), 쥐꼬리이끼(*Myuroclada maximoviczii* (Borc.) Steere et Schof.)가 적합한 것으로 나타났다.

- 수경베드를 이용한 모세관식 수분공급에 의한 증식법은 큰솔이끼(*Polytrichum commune* Hedw.) 및 물이끼(*Sphagnum* spp.)에서 가장 적합한 방식으로 판단되며, 털깃털이끼(*Hypnum plumaeforme*)의 경우에는 비닐하우스 내에서 스프링클러를 이용하여 1일 3회 30분 관수로 수경베드를 이용한 번식보다 약 3배가 빠른 결과가 나왔다.
- 서리이끼(*Rhacomitrium canescens*)의 경우 비닐하우스 증식은 수경베드를 이용한 모세관식 수분공급 방식과 스프링클러에 의한 수분공급 방식 모두 과습에 의한 해가 발생하여 적합한 방식이 아닌 것으로 판단되나, 초기 정착에는 어느 정도 도움이 되는 것으로 인식된다.
- 이끼매트 생육 및 이끼의 증식을 위한 노지재배에 있어서 잡초방근이 가장 중요한 문제로 대두된다. 생육된 이끼매트의 경우 현장적용시 잡초 발생에 의한 이끼제품의 품질저하 및 유지관리비용의 증대를 가져온다. 털깃털이끼(*Hypnum plumaeforme*)의 경우 인삼재배 방식을 모방한 차광막을 설치한 후 증식하는 시스템에서 증식이 가능하며, 서리이끼(*Rhacomitrium canescens*)의 경우 노지에 노출시켜 관수만 함으로써 쉽게 증식시킬 수 있었다.
- 지난 2년간 국내외에서 1,000종 이상의 이끼를 수집했다. 제주도에서 수집된 물이끼(*Sphagnum palustre*)는 산업적으로 대량재배를 위한 가능성이 있는 자원으로 판단한다. 솔이끼(*Polytrichum* sp.)와 나무이끼(*Climacium dendroides*) 또한 같은 목적으로 선발되었다.
- 엽체절편을 이용한 영양번식체를 증식방법은 다양한 배지와 호르몬 처리를 한 저면식 공기 부양 액체 배양 시스템을 통해 개발되었다.
- 새로운 증식법은 일본의 기술보다 바이오메스(Biomass)생산량과 새로운 두상체(capitula)의 형성에 효과적이다. 물이끼의 대량재배 방법은 증식배지를 조정함으로써 개발되었다.
- 100% 건조수태를 대체하는 배지로는 톱밥(50~70%)와 건조물이끼(30~50%)로 구성된다. 1년간 재배 후 건조수태를 100% 이용한 것보다 대체배지를 이용했을 때 물이끼의 생체량이 1.7배 이상 높은 것으로 나타났다. 이끼매트 재배기술 또한 솔이끼의 대량생산을 위한 개발되었으며, 새로운 기술을 적용한 현장 실험은 현재 진행 중이다.
- 털깃털이끼의 생육에 가장 적합한 용토는 피트모스로 83%의 피복율을 보였으며 다음으로 바크용토가 66%였으며 백수태나 코코피트는 용토로 적합하지 않았다.

- 알루미늄 증착 75%의 차광된 하우스내에서 심지가 없는 단순한 바닥접촉의 경우는 수분공급이 원활하지 않아 피복률이 떨어지며 두상관수방법으로 미스트 및 포그관수에서 피복률을 64%이상으로 유지 할수 있었다.
- 피트모스용토에 입식하여 양액농도별로 처리하였을 때 털깃털이끼와 서리이끼의 생육은 EC 0.5~0.8dS/m이하에서 양호한 생육을 하였으며 EC 1.0dS/m 이상에서는 조류가 먼저 번식하여 이끼의 생육이 불량하거나 고사하였다.
- 털깃털이끼에서는 조성성분의 비율에 관계없이 비슷하게 생육하였으며 서리이끼의 경우에는 N-P-K의 비율이 8-4-8, 16-4-8 로 질소의 비율과 칼륨의 비율이 같았을 때 피복률 높았다.
- 광 파장은 계절이 바뀔에 따라서 400nm 근처의 청색광과 540~700nm 부분의 광파장이 계절별로 차이가 보이고 있으며 봄, 여름으로 진행될수록 청색광 영역은 많아졌으며 630nm 부분은 여름에 줄어드는 경향을 보였다. 10월은 청색광 및 적색광 영역 모두에서 광량이 줄어드는 경향을 보였다.
- 자연광 투과에 비하여 음지와 반음지는 340~680nm 부분까지의 광량이 1/3수준이하로 떨어지는 경향이었으며 자연광에는 420nm와 520~640nm 부분이 상대적으로 많았으며 35%의 차광망 아래에서는 자연광의 1/3수준으로 파장별 광량이 떨어졌다.
- 이끼재배에 적합한 이랑 규격은 140~150cm 두둑 폭에 60cm 벵 육묘용 모판을 사용하는 것이 작업성 및 이끼 증식에 적합한 것으로 판단되었다.
- 재배용 상자는 벵 증묘용 육묘상자의 길이방향 양쪽 끝의 1/3지점에 틈을 만들어 심지를 넣고 모판 바닥에도 수평심지와 방근시트를 수평으로 한겹씩 깔아 사용하는 것이 적합하였다.
- 관수방법은 미스트나 포그는 시설내 습도를 유지하는 용도로 사용하고 모판상자 바닥의 심지와 바닥밑으로 수직으로 내린 심지가 물흡통에 침지되어 수분을 끌어올리는 저면 관수방법이 가장 적합하였다.
- 경영비 절감측면에서는 이랑에 PE필름을 피복하고 타이폰 점적관수라인을 설치하고 보온덮개를 피복하여 심지이용 모판을 설치하는 관수방법이 가장 좋았다.
- 털깃털이끼 및 서리이끼 모두 습도가 높은 80%처리에서 신초수가 많았으며 피복률도 다소 높은 경향이였다. 온도의 경우에 있어서는 25℃와 30℃ 처리간의 차이를 보이지 않았다. 따라서 이끼의 재배에서는 습도가 주된 요인인 것으로 판단되었다.
- LED 램프의 광파장에 대한 털깃털이끼의 생육은 적색광 660~670nm의 파장에서 70%, 청색광 430~440nm의 파장의 단독처리에서는 40%의 피복률로 적색광에서 생육이 양호하였으며 적색광 + 청색광을 4:1비율로 처리한 시험구에서는 적색광에서와 같이 70%의 피복율을 보였다.

- 피트모스 용토에서 털깃털이끼 및 서리이끼에서 피복도가 각각 91%와 83%였으며 마사토에서는 92%와 70%로 피트모스를 대체할 정도의 생육을 보였다.
- 노지재배에 적합한 관수방법으로는 이랑에 PE필름을 피복하고 타이푼 점적관수라인을 설치한 후 보온덮개를 피복하여 심지이용 모판을 설치하는 관수방법으로 피트모스용토에 입식량 120g을 사용시 93%로 피복률이 가장 좋았으며 생산성도 가장 양호하였다.
- 재배용 모판에 증식용으로 이끼를 입식할 때 입식량은 120g이상에서 입식 후 1달 이내에 털깃털이끼는 75%, 서리이끼는 67% 이상을 피복률을 유지하는 경향이였다
- 털깃털이끼와 서리이끼에서는 차광유무에 따른 생육의 차이는 인정되지 않았으며 물이끼에서는 160g을 입식하여 35%로 차광하였을 때 피복률 78%로 높았으며 차광처리에서 신초수도 많아지는 경향이였다.
- 벼 재배용 농업용수와 벼를 재배하고 있는 논외 물을 5월 중순 채취하여 분석한 결과 농업용수는 EC 0.24dS/m 이하였고 논물의 경우는 다소 높았으나 전체적인 성분으로는 지하수의 성분과 비슷한 경향이였으며 이끼를 재배한 결과 생육에 차이를 보이지 않았다.
- 상품성을 유지하기 위해서는 차아염소산나트륨 0.03%로 살균처리 후 16℃이하의 온도에 80일간 저장하였을 때 털깃털이끼는 25%, 서리이끼는 51%이하로 고사면적률을 줄일 수 있었다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

본 연구의 주요 연구성과는 기술이전, 특허 및 디자인, 학술발표, 홍보 등 다양하게 성과활용을 실시 또는 예정에 있으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 「이끼류의 고부가 제품개발 및 실용화 기술개발」과 관련하여 개발된 기술은 주관연구기관이자 참여기업인 일송환경복원(주)로 기술이전을 계획 중이며, 일송환경복원(주)는 관련기술 및 제품의 수출을 위한 해외법인을 설립 중이다.
- 「산업화 유망 이끼류 자원선발 및 대량증식기술개발」과 관련하여 개발된 「이끼의 생장부위 엽체 절편을 저면공기부양식 배양시스템을 이용하여 배양함으로써 단기간에 활력이 높은 영양변식체 대량 확보」 기술과 「물이끼 재배를 위하여 고가인 건조수태를 100% 이용하는 일본특허기술에 비하여 수태 사용량을 30%까지 줄여 훨씬 경제적이면서 보다 많은 물이끼 생산이 가능한 톱밥함유 대체배지 개발」 기술은 산업체 기술이전을 계획 중에 있다.
- 「식생매트 및 이를 이용한 녹화구조물」(특허출원 제10-2008-0090148호), 「녹화용매트 조립구조물 및 이를 이용한 녹화시스템」(제10-2009-0086504호), 「이끼식물의 재배 방법 및 이를 위한 재배기」(10-2009-0093460) 이상 3건의 국내 특허출원을 완료했고, 「조경용 식생모듈」(PCT/KR2010/008766)과 관련하여 국내 및 국제 특허출원을 완료하였다. 또한 「조경용 식생자갈」(30-2010-0052792~4)과 관련된 디자인 3건을 국내 출원하였다.
- 영농기술보급과 관련하여 농촌진흥청 홈페이지 「털깃털이끼 증식을 위한 초기 입식에 적합한 용토」와 「조경용 소재 털깃털이끼 대량증식에 적합한 국산용토」(2010)에 대한 홍보물을 기재하였다.
- 「이끼류의 고부가 제품개발 및 실용화 기술개발」과 관련하여 개발된 기술 및 제품은 2011년도를 기점으로 국내외 전시회 출품을 계획 중이다.

SUMMARY

I . Title

Industrialization of moss bioresources as a novel cash ornamental plant substituting for rice

II . Objectives and significance of the research

In response to the opening of agricultural markets after the FTA, as a novel cash ornamental plant substituting for rice, the purpose of cultivate and product moss through moss grows on the domestic selection, breeding, development of mass propagation techniques, development of propagule secure technology and development of all year round production technology produce moss infra structure, and by introducing a variety of ways to use moss, by conducting technology development and commercialization for industrial use, the aim is to achieve the high-value crops as a new source of income by creating a large-scale consumption and demand.

III . Contents and scope

- Development of high added-value product and commercialization technology using moss
- Product development to be applicable on man-made structures such as roof
 - Derivation of moss growing environment to be applied on man-made structures such as roof
 - Development of water storage type moss modular unit garden system to be applied on man-made structures such as roof
- Development of application system for moss noise-barrier and moss vertical wall.
 - Derivation of moss growth environment suitable for moss noise-barrier and moss vertical wall
 - Development of moss noise-barrier (vertical wall) system
 - Development of modular unit greening system using moss to be applied to the slope and vertical

- Development of indoor application system using the developed vertical and horizontal greening system.
- Construction of mass production system for cultivation and growth
- Development of mass production technology and collection of potential candidates of moss species for industrial application**
- Collection of moss bioresources
- selection of potential candidates of moss species for industrial application
- Development of mass production technology for moss propagules
- Development of mass cultivation technology for moss production
- Year round stable production of promising mosses for industrialization in hydroponic and outdoor cultivation**
- Development of moss products using hydroponics
 - Development of products with cultivation system of a plant factory type
- Development of cultural techniques cropping system for year-round stable production of selected moss
 - Optimum planting method with vegetative
 - Optimum cultural and managerial techniques for year-round stable production of moss
 - Optimum harvest technique
 - Establishment of cropping system for year-round stable production of dried moss
- Farm field test with mass propagation system of moss

IV. Results and suggestions

- In the experiment to verify moisture-absorbing materials and thickness of standard moss roof system, revegetation rate of plot installed vegetation mat using *Rhacomitrium canescens* and *Hypnum plumaeforme* on sand medium and the dried sphagnum medium mixed with sand showed slight difference in coverage at early stage, but after a year, revegetation rate of all plots were 100%.
- The growth and development of moss mat cultivated during certain period using only *Rhacomitrium canescens* on moisturizing layer used dried sphagnum and perlite has been well maintained.
- Capillary system using dried sphagnum seemed to be the most suitable for water storage type Moss Roof System. However, the system using *Rhacomitrium canescens* is damaged by flooding stress, Sphagnum is most suitable moss in that system
- While cross injury between plants were concerned due to allelopathy effect if a mixture of moss and other plant were planted, but when planted moss with sedums or shrubs, allelopathy effect does not appear significantly. Another research about the cross-effects that can be occurred when it is planted with herbs is needed.
- It is believed that the most suitable moss for horizontal greening including green roof system is sunny-oriented moss or half shaded-oriented moss. We developed the final products(moss pebble) that can create microclimate which will have an potential effect on the growth of moss - like water, light, wind and other conditions
- Moss pebble that horizontal greening products using moss is applicable to the artificial or natural ground. Also, it is expected to be used as a material for landscape, architecture and interior design purpose.
- In case of moss mat combined with 3D-reticula formation mat and moisturizing material, coverage ratio was mostly affected by water supply. But it was observed that moss colored into black and red in summer that is hot and humid. This phenomenon is the cause of the fungus that caused by humidity in hot and humid environment, also it can be removed through disinfectant and pesticide, and black and red colored moss was back to green.

- Moss pebble products developed for the horizontal surface is applicable to the vertical surface and the slope. Vertical wall and slope can be greened by installing the metal net frame filled with moss pebble.
- In case of indoor greening system, the use of non-woven fabric medium caused over-humid damage, water supply system using water-absorbing material caused dried moss during early stage. Different type and variety of designs using water-absorbing material can be produced, *Leucobryum glaucum* (Hedw.) Angstr., *Conocephalum conicum* (L.) Dum), *Plagiothecium nemorale* (Mitt.) Jaeg., *Plagiomnium maximoviczii*, *Myuroclada maximoviczii* (Borcz.) Steere et Schof. appeared to be suited for interior.
- Moss growing system of water-supply using capillary tube in hydroponic beds is the most appropriate way *Polytrichum commune* Hedw. and *Sphagnum* spp. and a way to growth *Hypnum plumaeforme* in greenhouses using a sprinkler irrigation system one day to 30 minutes three times about 3 times faster than using the hydroponic bed.
- *Rhacomitrium canescens* both using a hydroponic bed and using sprinkler water supply system damaged caused by excess water was supplied, both system does not seem appropriate way, In the early settlement of moss will help to some
- When growing moss mats and moss in open field, weed control is the most important issues. If the applied field in those grown moss mats, weeds caused reduction quality of moss mat and increase of maintenance costs. By installing shade like Ginseng growing system, *Hypnum plumaeforme* can be grown in these systems.
- More than 1,000 moss materials were collected from oversea and inland during the last 2 years. Sphagnum moss (*Sphagnum palustre*) collected from Jeju island was selected as a potential moss bioresource for mass cultivation in industrial scale. Two moss species of *Polytrichum* sp. and *Climacium dendroides* were also selected for the same purpose.
- Asexual propagation method with use of thallus fragments were developed in submerged air lifting culture system adding various media and plant hormones.
- The novel propagation method were more effective than Japanese method in terms of biomass production and new capitula formation. Mass cultivation methods were developed for Sphagnum moss production with modification of cultural medium.
- The new medium was composed of thaw dust (50 -70 %, v/v) and dried Sphagnum (30-50 %, v/v), instead of 100% dried Sphagnum. Much higher (1.7 times) Sphagnum biomass was produced in the new medium than 100% dried Sphagnum after 1 year

cultivation. Moss mat cultivation technique was also developed for mass production of *Polytrichum* sp.. Field performance test of the novel techniques is now under going.

- As a substrate for the growth of moss *Hypnum plumaeforme* peatmoss showed covering degree of 83%, and then bark, white sphagnum moss, cocopeat in that order.
- In plastic house shaded with 75% aluminium shading net, moss covering degree was decreased in floor contacting type without a wick below moss propagating tray because water supplied insufficiently. However, in overhead irrigation with mist and fog system, propagating tray was covered moss of 64%.
- The growth of moss *Hypnum plumaeforme* and *Rhacomitrium canescens* as affected by the concentration of nutrient solution were better in EC 0.5~0.8dS/m than EC 1.0 dS/m, which algae formed before moss growth.
- Moss *Hypnum plumaeforme* was raised similarly regardless of the component of nutrient solution. On the other hand, moss *Rhacomitrium canescens* was grew up faster in the plot of N-P-K (8-4-8), which was the same ratio of nitrate and potassium, than other treatments
- As light wavelength changed according to the season, quantities of 400nm blue light and 540 to 700nm lights varied with the seasons. In spring and summer, blue light regime increased and 630nm light regime decreased especially in summer. In October, blue and red light regimes tended to be decreased.
- The intensity of natural light in shady and semi shady spots decreased one third level of sunny spot. Natural light widely distributed in 420nm and 520~640nm. Under 35% shading net, the intensity of light decreased one third level of natural light.
- Suitable ridge size for moss propagation was 140~150cm soil bed laying 60cm rice seedling bed. Propagating tray was comprised of bottom watering system with absorption fabric and wick.
- Fog and mist system can maintain humidity in the plastic house and bottom watering system was good for propagating tray with absorption fabric and wick in moss propagation. In the economic aspects, the greatest irrigation method was bottom watering system with lagging cover above drop irrigation line on the ridge covered PE film.
- The number of shoot and covering degree of moss *Hypnum plumaeforme* and *Rhacomitrium canescens* were better in high humid condition (80%) than in other

treatments. The growth of moss *Hypnum plumaeforme* and *Rhacomitrium canescens* as affected by temperature were not different from temperature between 25°C and 30°C. Therefore, humidity was the main factor in moss growth.

- The covering degree of moss *Hypnum plumaeforme* according to the wavelength of LED was 70% in 660~670nm red light and 40% in 430~440nm in blue light. Mixed light with red and blue (4:1) showed 70% covering degree similar with red light.
- The covering degrees of moss *Hypnum plumaeforme* and *Rhacomitrium canescens* were 91% and 83% in peatmoss, respectively. Also decomposition of granite showed 92% and 83% covering degrees which can alter peatmoss for mass propagation of moss in outdoor.
- In outdoor moss propagation, the greatest irrigation method was bottom watering system with lagging cover above drop irrigation line on the ridge covered PE film similar with the system of plastic house. In this condition, 120g moss planted on peatmoss showed 93% covering degree.
- The quantity of planting was the best in 120g which showed 75% and 67% covering degree of moss *Hypnum plumaeforme* and *Rhacomitrium canescens* in a month respectively.
- The growth of moss *Hypnum plumaeforme* and *Rhacomitrium canescens* was not significantly different from shading net or not. But 160g *Sphagnum spp.* planted showed many shoot generation and 75% covering degree with 35% shading net.
- Electrical conductance of agricultural water was below 0.24 dS/m and lower compared to that of field water. components of agricultural water was similar with underground water. the growth of moss was not different from them.
- Dying area was 25% and 51% in moss *Hypnum plumaeforme* and *Rhacomitrium canescens* when they were stored in 16 °C cold room during 80 days after treated sterilization with 0.03% sodium hypochloride for maintaining marketability of moss

V. Conclusions and utilization

The major results of this research are expected to be used in related industry by technology transferring and submitting as patent and design right, conference presentations, public relation. Overall conclusions and utilizations on this study are as follows.

- The results on 「Development products with high added-value and technology to commercialization using moss」 are expected to be transferred to participating companies "Il song ERT. CO. LTD,." on 2011, Il song ERT. CO. LTD., has established foreign corporation.
- The results on 「Development of mass production technology and collection of potential candidates of moss species for industrial application」 are expected to be transferred to related industry on 2011
- Patent on 「Substrate for cultivating moss and frame structure of growing moss plant」 (submitting number 10-2009-0086504), and patent on 「Assembling structure for planting mat and green roof system using the same」 (submitting number 10-2009-0086504), patent on 「Mass propagation method and mass production」 (submitting number 10-2009-0093460) was submitted. Also Patent on 「Vegetation module for landscape」 (submitting number PCT/KR2010/008766) was submitted as domestic and international patent. design right on 「Vegetation pebble for landscape」 (submitting number 30-2010-0052792~4) was submitted.
- On 2010, for technology diffusion, in Rural Development Administration website technical data about 「an initial medium for *hypnum plumaeforme* growth 」 and 「Appropriate domestic medium for *hypnum plumaeforme* mass cultivation」 have been published.
- Technology and products developed 「Development products with high added-value and technology to commercialization using moss」 are willing to be submitted to national and international exhibitions on 2011
- We will organize training and education program for farmers who want to cultivate mosses as new cash crop with aid of local agriculture centers.

CONTENTS

Chater 1. Introduction	22
A. Significance	22
B. Objectives	24
Chapter 2. Research development status	26
A. Present technologies developed in domestic	26
B. Present technologies developed in Foreign countries	27
C. Present patent registered and submitted about moss	28
Chapter 3. Results and discussions	29
A. Development products with high added-value and technology to commercialization using moss	29
1. Development moss greening roof system	29
a. Development part of techonology for the design of the unit module and material performance test	29
b. Design of the unit module and realistic modeling	52
c. Rooftop standard module production	64
2. Development of application system for moss noise-barrier and moss vertical wall	75
a. Development part of techonology for the design of the unit module	75
b. Design of the unit module and realistic modeling	127
c. Design of final model	136
3. Development of indoor application system using the developed vertical and horizontal greening system	138
a. Indoor moss wall modeling using drip irrigation	138
b. Indoor vertical moss modeling using moisture-absorbing material	141
4. Construction of mass production system for cultivation and growth	151
a. Preliminary experiment for growth of mosses collected in a small	151

b. Greenhouse proliferation using hydroponic beds	153
c. Greenhouse proliferation using mini sprinkler	156
d. Outdoors proliferation using shade	159
e. Outdoors proliferation using fountain irrigation	161
B. Development of mass production technology and collection of potential candidates of mass species for industrial application	163
1. Collection of potential candidates of moss species for industrial application	163
2. Collection <i>Sphagnum</i> bioresource from oversea and inland	178
3. Identification of mass propagation conditions using moss spore	179
4. Identification of mass propagation conditions using moss propagule	181
a. Identification of mss propagation method using propagule	181
b. Identification of mss propagation method using thallus fragments	183
5. Development of technology to manufacturing <i>sphagnum</i> propagule	186
a. Selection of sites of propagule and medium	186
b. Development of growth stimulating hormone and optimal concentration	189
c. Excellence of technology to manufacturing <i>sphagnum</i> mass propagule	192
6. Development of <i>sphagnum</i> mass cultivation	193
a. Selection of medium to replace dried <i>sphagnum</i>	193
b. Identification of amount of used medium to replace dried <i>sphagnum</i>	197
c. Verification experiment for <i>sphagnum</i> mass cultivation	200
d. Field performance test for <i>sphagnum</i> cultivation	208
C. Year round stable production of promising mosses for industrialization in hydroponic and outdoor cultivation	210
1. Moss propagation technique using by hydroponic system	210
A. Propagation method with cultivation system of a plant factory type	210
(1) Characteristics of moss growth	210
(2) Production of seedling moss in outdoor cultivation	216
(3) Adaptability of moss in hydroponics	221
2. Year-round production of moss in outdoor cultivation	225
A. Environment of cultivation	225

(1) Environments of natural habitat and cultivation land	225
(2) Standard irrigation method for improving productivity	231
(3) Moss growth according to the control of environment	236
B. Mass propagation in outdoor cultivation	239
(1) Irrigation method for propagation of moss in outdoor cultivation	239
(2) Moss propagation in paddy field and upland	247
(3) Storage method for maintaining marketability of moss postharvest	249
3. Farm field test	250
Chapter 4. Research goal attainment and contribution to related area	252
Chapter 5. Plan for application of research results	255
Chapter 6. Informations of scientific techniques collected from foreign countries during the research	257
Chapter 7. References	258

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	21
제 1 절	연구개발의 필요성	22
제 2 절	연구개발의 목적	24
제 2 장	국내외 기술개발 현황	26
제 1 절	국내 연구개발 기술 현황	26
제 2 절	국외 연구개발 기술 현황	27
제 3 절	이끼관련 특허 등록 및 출원 현황	28
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	29
제 1 절	이끼류의 고부가 제품 개발 및 실용화 기술개발	29
1.	이끼식물을 이용한 옥상녹화 시스템 개발	29
가.	단위모듈 설계를 위한 부분 기술 개발 및 소재 성능 실험	29
나.	단위모듈 디자인 및 실사모형 제작	52
다.	일반형 옥상녹화 모듈 제작	64
2.	이끼방음벽(수직벽체)에 적용가능한 시스템 개발	75
가.	단위모듈 디자인을 위한 부분기술 개발	75
나.	단위모듈 디자인 및 실사모형 제작	127
다.	최종모듈 디자인	136
3.	기개발된 바닥, 수직, 경사면 녹화시스템의 실내적용을 위한 시스템 개발	138
가.	점적관수 시스템을 이용한 실내 이끼벽 제작	138
나.	수분 흡수 소재를 이용한 실내용 수직 이끼 모듈 제작	141
4.	재배 및 증식을 위한 대량 생산 시스템 구축	151
가.	소규모로 채취한 이끼류의 예비 증식 실험	151
나.	수경재배용 베드를 이용한 비닐하우스내 증식	153
다.	미니스프링클러를 이용한 비닐하우스내 증식	156
라.	차광막을 이용한 노지 증식	159

마. 분수식 관수시스템을 이용한 노지 증식	161
제 2 절 산업용 유망 이끼류 자원산발 및 대량증식 기술개발	163
1. 산업화 유망 국내의 이끼 생물자원 탐색	163
2. 국내의 물이끼(Sphagnum) 생물자원 수집	178
3. 이끼류의 포자이용 대량번식 조건 규명	179
4. 이끼류의 영양번식체를 이용한 대량번식 조건 규명	181
가. 영양번식체를 이용한 대량번식방법 도출	181
나. 엽체절편법을 이용한 대량번식방법 도출	183
5. 물이끼 영양번식체 제조기술 개발	186
가. 번식체 부위 및 배양 배지 선발	186
나. 성장촉진 호르몬 및 최적 농도 개발	189
다. 개발된 물이끼 대량 번식체 제조기술의 우수성	192
6. 물이끼 대량재배 기술개발	193
가. 건조 수태 대체 배지 선발	193
나. 건조 수태 대체 배지 최적 사용량 도출	197
다. 물이끼 대량재배를 위한 실증실험	200
라. 물이끼 재배를 위한 현장 적용 실험	208
7. 건생이끼류 매트 seedling 제조 기술 개발	209
제 3 절 산업화 유망 이끼류의 양액재배 및 노지재배 연중생산 기술개발	210
1. 수경재배시스템을 이용한 이끼 생산기술	210
가. 식물공장형 재배시스템을 이용한 재배방법 구명	210
(1) 이끼 생육 특성	210
(2) 노지재배용 이끼 종묘 생산 방법	216
(3) 양액재배 적용성 구명	221
2. 연중생산을 위한 노지재배 기술개발	225
가. 재배환경구명	225
(1) 자생지 환경 및 재배환경 조사	225
(2) 생산성 향상을 위한 재배단위 규격화	231
(3) 재배환경 조절에 따른 생육 구명	236

나. 노지재배 대량생산 방법 구명	239
(1) 노지재배 증식 및 관수방법	239
(2) 논·밭 이용 증식방법	247
(3) 수확 후 상품성 유지를 위한 최적 저장조건	249
3. 현장실증연구	250
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	252
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	255
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	257
제 7 장 참고문헌	258

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 국내 이끼류(선태류)의 전반적인 산업적 이용 현황과 시장규모

- 고등식물과 달리 포자로 번식하는 이끼류는 은화식물에 속하는 하등녹색식물로 전 세계적으로 약 15,000 종 정도 보고. 한국에는 선태류 500여종과 태류 200여종 보고. 열대지역에서 극지방, 고산지역에 이르기까지 광범위하게 분포하며, 다양한 환경에 서식하는 미활용 생물자원임.
- 그럼에도 불구하고 대부분 경제적으로 활용되지 않고 있지만 물이끼속 (Sphagnum)에 속하는 이끼는 경제적으로 가장 중요하게 취급 : 연료, 토퍼어리 제작용 수태, 원예용 보습재, 보장재 및 천연 항균제로 활용.
- 최근에는 이끼의 생리적 특성을 활용하여 원예용뿐 만 아니라 환경적으로 이용하기 위한 갖가지 시도가 이루어지고 있어 그 경제적 가치가 점점 증가하고 있음.
- 국내에서 이용되고 있는 건생 이끼의 경우 자연 상태에서 채취 하거나 중국 등지에 수입하여 사용.
- 생이끼의 국내 수요를 충족하기 위하여 산지에서 불법채취가 이루어지고 있어 환경파괴와 멸종의 위험성이 제기되고 있어 인위적인 재배기술이 필요한 실정.
- 원예용 소재로서 잘 알려진 수태는 자연 상태에서 채취한 후 건조시킨 물이끼로 주로 뉴질랜드, 칠레 등에서 전량 수입되어 판매되고 있는 대표적인 이끼 부산물 상품.
- 이끼를 이용한 산업은 시장규모가 작고 수요가 불안정하여 대규모 증식, 재배나 새로운 이끼 품종 개발의 필요성이 크지 않은 실정으로 국내에서 자생 이끼를 이용한 뚜렷한 산업적 활용이 매우 제한적.
- 1997년 이래 2006년까지 국내에 수입된 이끼관련 제품 (대부분이 수태임)의 수입액은 연간 최소 USD 440,000 (1998년도)에서 최대 USD 1,020,000 (2006년)으로 극히 미미한 수준.

이끼류 수출입 현황(관세청 수출입물량 통계자료)

	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년
수입물량(kg)	714,185	247,062	378,173	365,686	397,273
수입액(\$)	781,767	632,174	921,044	928,048	1,020,783
증감율		-19%	31.3%	0.7%	9.9%

- 이끼는 독특한 생존 방식으로 인해 원예적 이용을 넘어 환경을 개선시킬 가능성이 높은 소재로 4~5년 전부터 일본 등을 중심으로 새로운 제품들이 개발되고 있으며, 북유럽 국가들을 중심으로 이끼 유래 천연 기능성 물질 개발과 실용화에 대한 많은 연구와 제품

이 등장.

2. 이끼의 대규모 수요처로서의 무기화된 도시의 옥상, 벽면, 경사면 및 실내조경 등의 환경 친화적 이용을 위한 이끼류의 산업적 활용 기술 및 제품 개발의 필요성

- 도시 녹화는 지구 온난화, 도시의 열섬현상, 도시 경관생태학적 필요성, 에너지 문제 등과 같은 주요 도시환경문제 해결책의 하나로 제시되고 있음.
- 높은 지가와 과밀화되는 한국적 도시 상황은 도시에서 새로운 녹지공간 확보를 어렵게 하고 있음.
- 도시의 무기환경(無機環境)을 녹화하기 위한 제도적 지원 (옥상정원 조성 시 보조금 지급, 생태면적을 제도 도입 등)과 새로운 제품 개발이 지속적으로 증가. 하지만 전형적인 옥상 조경기법과 재료 등은 높은 건설비용, 유지 관리의 어려움 등으로 인해 이의 활성화에 어려움이 상존.
- 현재 옥상녹화에 사용되는 식물(잔디, 초화류, 세덤류 등)과 달리 이끼류(선태식물)은 4억 5천만년전 무기물만 존재하던 지구의 옥상지역(대기 온도 240℃ 이상, CO₂ 98%, O₂ 0%, 600기압 등)에 출현한 최초의 식물로 극심한 조건에서 생존 가능한 식물이며, 보통의 식물이 생존할 수 없는 곳에서도 서식하면서 광합성 등을 통해 대기정화 및 도시미기상 조절 효과가 매우 큰 식물임.
- 이끼는 녹색식물이면서도 뿌리가 없고, 몸 전체에서 대기 중의 수분과 양분을 흡수하여 생활하고, 이끼 내부와 외부의 수분 포텐셜을 빠른 속도로 평형 시키는 식물 (desiccation - tolerant plants)로 도시의 옥상, 벽면, 지붕 등의 열악한 환경에 적응하여 생존 가능.
- 또한 토양과 같은 생육기반이 불필요(하중 문제 해소)하며, 햇빛과 수분이 공급되는 장소에선 유지관리가 비교적 수월하고, 광합성 작용을 통해 대기정화 효과, 산소공급, 도심온도 상승 억제, 심미적 효과, 건물 내구성 증대 등 다양한 효과를 유발하여 도시녹화를 위한 새로운 식물 소재로서 그 경제성과 성장성이 기대되고 있음.
- 대부분의 시간을 실내에서 보내는 현대인의 생활패턴과 자연주의 지향적 성향 증가로 실내조경에 대한 수요가 최근 들어 급격히 늘고 있고 이끼류를 활용한 실내조경의 필요성 증가에도 불구하고 적당한 이끼종 선발이나 설치 및 유지관리 시스템 개발에 대한 기술적 제한 때문에 아직 본격적으로 활성화가 이루어지지 않고 있음.
- 외부 공간 녹화에 비하여 상대적으로 설치 및 유지, 관리가 용이하고 또한 실내공기정화 능력이 뛰어난 이끼종 선발 및 이용과 같은 기능성이 강화될 때 현재의 실내조경 시장 규모를 훨씬 뛰어 넘는 경제적 효과가 발생할 것으로 예상.

제 2 절 연구개발의 목적

1. 논농사 대체용 고소득 작물로서 이끼류 산업화

- 향후 미국, 유럽공동체, 중국, 일본 등과의 자유무역협정(FTA) 체결에 따른 농산물시장 개방은 거스를 수 없는 시대적 흐름.
- 주요 농산물인 쌀시장의 경우에도 장기적으로 관세철폐, 수입쿼터제 폐지 등으로 국내산 쌀의 가격 경쟁력 상실은 불가피.
- 다양한 쌀생산 농가 손실 보전 정책에도 불구하고 농촌사회의 안정화와 한국농업의 경쟁력 확보를 위해서는 논농사를 대체할 수 있는 고소득 작물 개발을 통한 쌀생산 농가의 타작물의 전환이 근본적인 해결책임.
- 대체용 작물 개발시에 가급적이면 현재의 논농사 형태를 그대로 유지할 수 있는 대체 작물 개발을 통하여 논의 공익적 기능 및 환경보전적 기능을 유지 강화함으로써 향후 예상되는 농업 및 환경관련 국제협상에서 유리한 입지를 확보 하는 것이 국가 전략적으로 필요.
- 다른 대체 작물에 비하여 이끼류는 원예작물화, 품종개발, 대량재배 및 산업화 부분에서 국내외적으로 태동기에 해당되는 blue ocean 영역으로 성공에 따른 보상이 큰 농업 부분.

▪ 논농사 대체용 이끼류의 고부가 작물화를 위해서는 이끼류의 다양한 활용용도 개발에 따른 농가생산 이끼의 안정적 소비 기반 구축이 선결되어야 함. 이를 위해서는 다음과 같은 연구개발이 필요함.

- 1) 활용용도에 부합하는 산업화 유망 이끼류 생물자원 확보
- 2) 산업화 유망 이끼류의 품종개발을 위한 관련 기반 기술개발
- 3) 산업화 유망 이끼류의 안정적 생산기반 구축을 위한 재배기술 개발 및 작부체계 확립
- 4) 농가생산 이끼류의 대량 소비를 위한 다양한 활용용도에 부합하는 제품 및 기술개발을 통한 산업화 추진

▶ 따라서 논농사 대체용 고소득 작물로서의 이끼류의 성공적 활용을 위해서는 위해서 인급한 자원 확보에서 실용화 관련 기반기술 및 원천기술개발까지를 아우르는 종합적이고 체계적인 연구가 필요

2. 연구의 목적

- 이끼류의 산업적 활용 방안 도출과 이를 실현시키기 위한 관련 기술개발을 통하여 이끼의 새로운 수요처를 창출해 내고, 이끼의 수요 증가를 충족시킬 수 있는 이끼의 대량 증식 및 재배기술을 개발하여 농가에 이전함으로써 FTA에 의해 위축될 수밖에 없는 논농사를 대체할 수 있는 새로운 소득 작물로의 성공적 전환을 위한 시도를 실시하여 농가의 새로운 소득 창출로 연결될 수 있도록 하는 연구개발의 선 순환적 구조 정착이 본 연구

를 추진하는 목적

- 본 연구의 성공적 수행을 통해 1) 농민에게는 국내외적으로 경쟁력을 지닌 새로운 소득 작물 제공, 2) 산업체에는 이끼 활용 관련 사업 수익 및 신규 사업 창출, 3) 지자체 및 정부에게는 농업, 환경 및 에너지 문제를 해결하는 정책 대안 제시, 4) 연구자들에게는 국내외적으로 이끼류 관련 연구 분야에서 선도적 위치 점유 등의 연구 성과 공유가 기대
- 이러한 연구 필요성은 시대적 상황과 국가 주요정책 및 성장동력과 정확하게 부합하기 때문에 아직도 초보적 수준에 머물고 있는 국내 이끼류 관련 연구기술개발에 대한 집중적인 투자와 종합적 지원이 절대적으로 필요

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 연구개발 기술 현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
한국지의류연구센터	한국산 및 남극산 선태류 자원수집 및 유지관리, 생리활성검증	한국산 선태류 생물D/B 구축, 항균활성물질 확인
원예연구소 고랭지시험장	한국산 이끼 자원수집 및 번식방법 개발	솔이끼, 나무이끼 대량증식
국립수목원	한국산 선태류 자원수집 및 유지관리	표본 보관
일송환경복원(주)	풀이끼 대량증식 및 배양 성공, 이끼를 이용한 벽면 및 사면녹화 공법 개발	기술도입, 특허 출원 및 사업화
일송환경복원(주)	서리이끼, 털이끼 대량증식 및 재배 기술개발	재배실시 중
고려대학교	선태류 <i>Physcomitrella patens</i> 의 particle bombardment를 이용한 GFP형질전환	<i>Physcomitrella patens</i> 의 형질전환
고려대학교	퍼옥시나이트라이트에 대한 세포보호 활성을 갖는 이끼 추출물 및 이를 유효성분으로 함유하는 퍼옥시나이트라이트 생성억제	특허출원
고려대학교	수퍼옥사이드 음이온 라디칼에 대한 생성 억제활성을 갖는 이끼 추출물 및 이를 유효성분으로 함유하는 수퍼옥사이드 음이온 라디칼 생성억제용 조성물	특허출원
고려대학교	이끼의 조직배양을 이용한 문자 및 캐릭터 생산 방법	특허출원
고려대학교	피스코미트렐라 파텐스 (<i>Physcomitrella patens</i>)의 엽록체 형질전환 벡터	특허출원
레인보우스케이프(주)	암면 이끼 녹화방법	특허출원
원예연구소 고랭지시험장	산업화 가능한 이끼류 선발	연구보고서
원예연구소 고랭지시험장	나무이끼의 삼목 번식기술	연구보고서
원예연구소 고랭지시험장	이끼 재배시 적정 pH 및 시비	연구보고서

제 2 절 국외 연구개발 기술 현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
독일 RFW University of Bonn	이끼류(선류)로부터 항균활성물질 탐색	항균활성우수 이끼류 선발
독일	단백질성 물질의 생산을 위한 방법	국제특허
노르웨이 Norwegian University	물이끼로부터 생선보존제 추출 및 규명	Sphagnan 물질 규명 및 처리방법 도출
독일 Freiburg University	이끼의 조직배양, 원형질체 제조, 발생연구	이끼 원형질체 제조 및 재생기법 확립
스웨덴 Uppsala University	물이끼 영양번식 방법 개발	호수생태복원에 활용
일본 moss catch system 山形	이끼 영양 번식 및 녹화방법 개발	특허 취득 사업화
일본 Tokushina Bunri 대학	선태류 유래 terpenoids, phenolics compound 화학적 구조 동정	선태류 유래 신규물질 발견 및 생리활성 검증
일본 moss world inc.	이끼를 이용한 벽면 녹화기술	사업화
일본 Hiroshima 대학	아시아 선태류 자원수집 및 유지관리 이끼 공생 조류 자원 확보 및 생리활성검증	아시아 선태류 생물D/B 구축, 선태류및 조류 연구 및 산업화 자원공급
일본극지연구소	남극권 선태류 자원수집 및 유지관리	남극권 선태류 생물D/B 구축, 극한환경 적응 연구
영국 Leeds 대학	선태류 <i>Physcomitrell patens</i> 의 형질전환 및 돌연변이 세포주 개발	<i>Physcomitrell patens</i> 의 유전자 기능 분석을 위한 연구소재 제공
영국 Kew 식물원	선태류의 수집 및 보존	선태류의 기내 배양 및 초저온보존을 통한 현지의외보존
유고 Belgrade 대학	이끼류의 기내배양에 적합한 배지 규명	

제 3 절 이끼관련 특허 등록 및 출원 현황

1. 등록된 이끼 관련 특허

발명의 명칭	출원인	등록 일자
이끼 조형물 제조방법	황정권	2010
암면 이끼 녹화방법	레인보우스케이프주식회사	2006
이끼벽과 실내식물을 이용한 공기청정용 실내정원 시스템	건국대학교 산학협력단	2008
이끼 벽을 이용한 실내조경 시스템	건국대학교 산학협력단	2008
이끼의 조직배양을 이용한 문자 및 그림 캐릭터 생산방법	학교법인고려중앙학원	2004
육상 녹화시스템	주식회사 서울나무병원	2007
조경물	마승희	2010

2. 출원된 이끼 관련 특허

발명의 명칭	출원인	출원 일자
이끼의 치묘생산방법, 이끼매트의 생산방법 및 이끼의 치묘	가부시키가이샤 히어로	2005
이끼식물재배기 및 이것을 이용한 이끼식물 등의 양생방법	시무라 미쓰하루 일송환경복원 주식회사	2007
물이끼 재배기	일송환경복원 주식회사	2005
인조잔디에 이끼를 접목시킨 녹화 조경자재	코오롱글로벌주식회사	2008
자동급수 이끼화분	이해영	2008
늘 푸른 비단이끼 생육방법	최현춘	2008

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 이끼류의 고부가 제품개발 및 실용화 기술개발

1. 이끼식물을 이용한 옥상녹화 시스템 개발

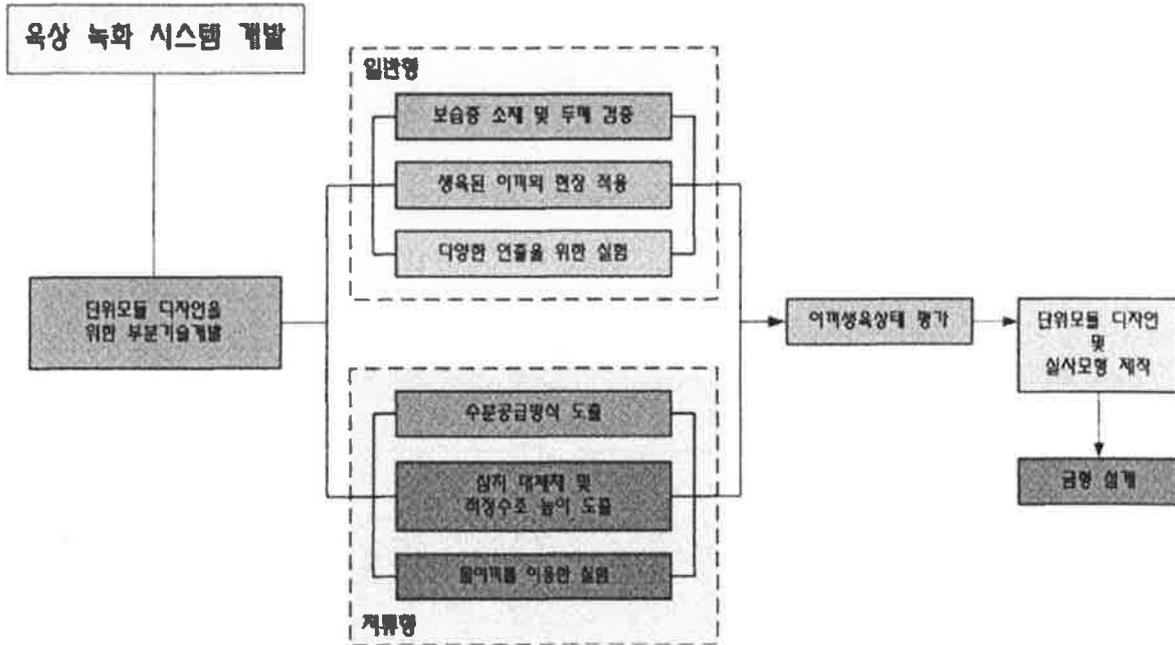


그림 1. 옥상 녹화 시스템 개발 연구 흐름도

가. 단위 모듈 설계를 위한 부분 기술 개발 및 소재 성능 실험

(1) 일반형 옥상 녹화시스템

빗물 등을 저류하는 기능을 가진 옥상 녹화시스템과 비교하여 일반형 옥상 녹화시스템은 설치 장소의 특수성, 하중 문제 등의 관점에서 사용되는 보다 보편화된 옥상녹화방법이다. 이끼를 이용한 일반형 옥상녹화시스템은 콘크리트(특히 시멘트 독성으로 인한)의 영향, 보습기능 미비, 옥상 표면과 이끼층과의 결합 방법, 시공의 어려움 등이 장애 요소로 지적되어 왔다. 이 중 보습층은 이끼의 생육 환경을 형성시킬 뿐만 아니라 독성을 가진 콘크리트와 이끼를 격리시키는 효과도 기대할 수 있기에 반드시 해결해야 할 과제의 하나이다.

일반형 옥상 녹화시스템을 개발하기 위해 선결 과제로 ① 이끼 매트 하부의 보습층 소재 및 적정 두께 설정, ② 생육된 이끼의 현장 적용성 파악, ③ 다양한 연출을 위한 실험 등을 실험실 규모로 수행하였으며, 일부는 대규모로 현장 적용을 실시하였다.

(가) 보습층 소재 및 두께 검증 실험

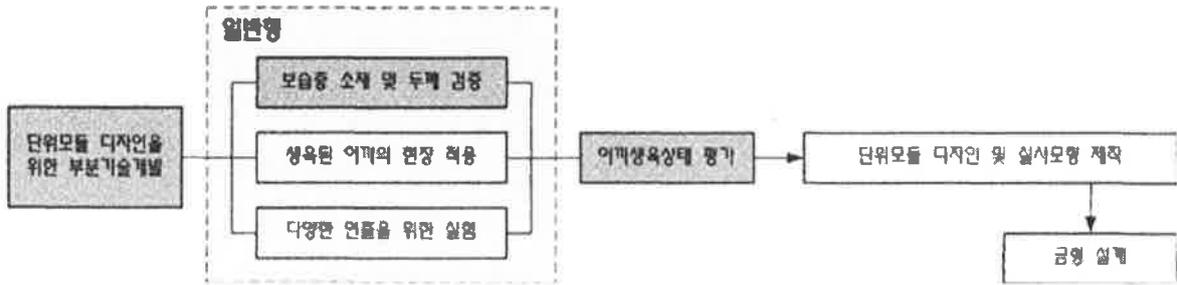


그림 2. 연구흐름도(보습층 소재 및 두께 검증을 통한 이끼 생육상태 평가)

본 주관기관은 당해 연구과제 수행 이전에 다양한 보습기능을 갖는 재료를 실험해 왔다. 이 결과 수태(水苔)가 여러 관점에서 효과적이라는 것을 확인하였으나 가격이 고가이고, 분해로 인해 부피 변화와 보습 기능 저하가 발생하기에 이를 대체할 소재가 요구되었다. 또한 보습층의 두께는 하중의 증가와 직결되기에 이끼 생장에 필요한 적절한 두께의 파악이 요구된다. 보습층은 수분을 지속적으로 보유하는 능력을 갖추어야 할 뿐만 아니라 과습에 의한 피해를 막기 위해 배수성도 동시에 갖추고 있어야 한다.

○ 실험 개요

구 분	내 용
기 간	2008년 7월 - 계속
장 소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	보습층 소재 (2종류) × 두께 (2종류) × 3 (반복)
공시재료	<i>Racomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼)
측 정	피복도 (사진 촬영에 의한 육안 판독)

실험구는 30cm × 30cm × 두께 3 / 6cm 프레임에 보습층을 모래(유형 A), 모래와 수태를 7 : 3으로 혼합한 것(유형 B) 으로 채운 후 이끼 매트를 상부에 부착하였다(그림 3, 4).

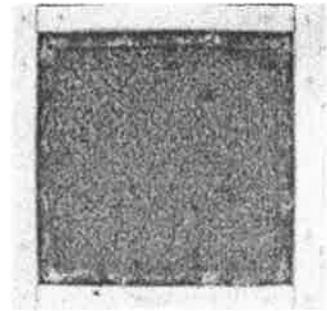
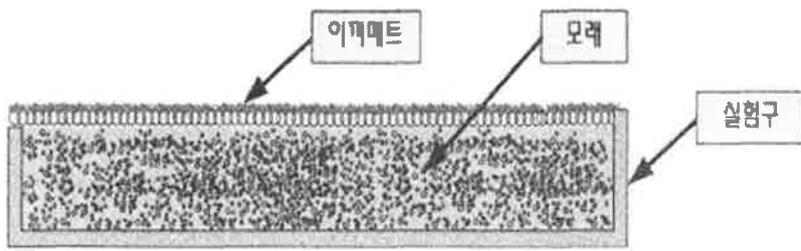


그림 3. 유형 A - 모식도 및 실험구

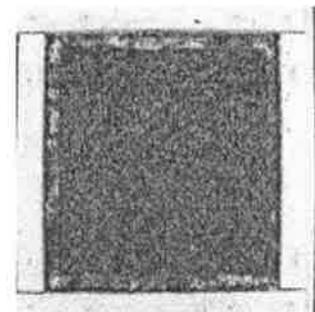
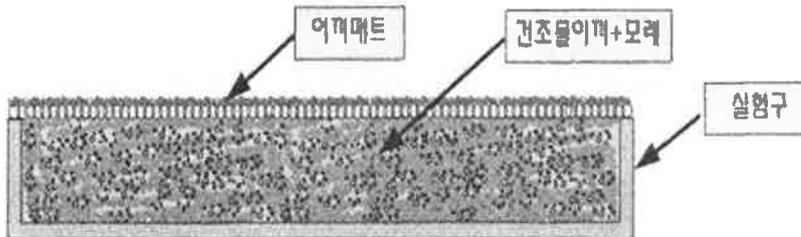


그림 4. 유형 B - 모식도 및 실험구

○ 결 과

2008년 8월말 현재, 전반적으로 모래를 보습층으로 한 유형 A가 모래와 수태가 혼합된 유형 B보다 피복도가 높게 나타났다(표 1). 또한 보습층 두께 3cm인 실험구가 6cm인 실험구보다 유형 A와 유형 B 모두에서 피복도가 높았으며, 유형 A, 두께 3cm의 실험구에서 가장 높은 피복도를 보였다. 단기간 모니터링 결과 전면피복을 이루는데는 다소 실험구마다 차이가 발생하였으나, 설치 후 1년이 경과한 시점에 대부분의 실험구에서 100% 피복이 이루어졌다. 특히 보습층으로 모래와 수태를 혼합한 실험구에 비해 모래만을 사용한 실험구의 생육이 더 좋은 것으로 나타났다.

표 1. 각 유형별 생육상태 비교

유형	설치 직후	설치후 20일	설치후 40일	설치후 1년
유형 A 보습층 모래	3cm			
	6cm			
유형 B 보습층 수태+모래	3cm			
	6cm			

(나) 일정 기간 생육된 이끼의 현장 적용 실험

설치 장소의 열악한 환경으로 인해 초기 이끼 생장이 늦어져 초기 피복도가 낮은 것이 이끼 제품의 문제점으로 자주 지적된다. 이 문제점의 해소를 위해 이끼를 일정기간 성장시킨 후 제품으로 출하하는 것이 제품에 대한 만족도를 높일 수 있으나 성장된 이끼가 새로운 환경에 노출되었을 때 오히려 적응성이 떨어질 염려가 있기에 이에 대한 검토가 필요하다.

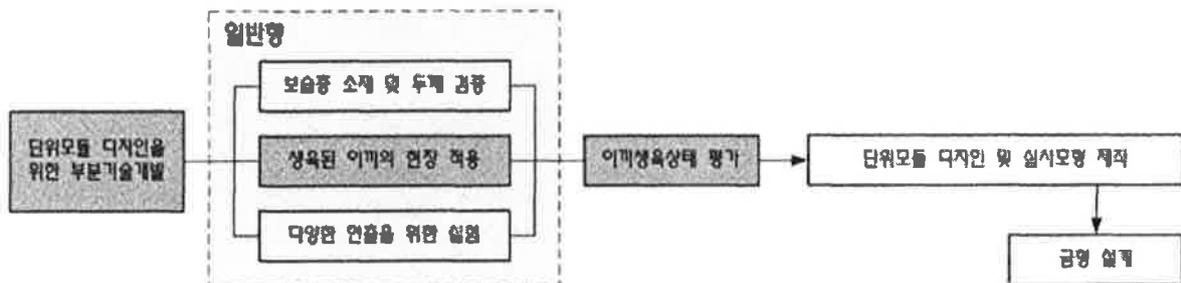


그림 5. 연구흐름도(생육된 이끼의 현장 적용을 통한 이끼 생육상태 평가)

○ 실험 개요

구분	내용
기간	2008년 4월 - 계속
장소	- 실험실 규모 - 일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인 - 현장 적용 - 조선히텔, 서울
실험구	- 실험실 - 1㎡ (단위모듈 50cm×50cm×7cm 4개) - 현장 적용 - 200㎡
공시재료	<i>Rhacomitrium canescens</i> (서리이끼)
측정	생육상태 (육안 판독)

50cm×50cm×7cm의 단위모듈에 수태로 보습층을 형성하고 길이 3cm 정도 생육된 서리이끼 매트를 상부에 고정하였다(그림 6). 현장적용에는 배수판위에 부직포를 설치한 후 펠라이트로 일정두께를 조성해주었다. 이 위에 단위모듈을 설치하고 단위모듈에 1차적으로 펠라이트를, 2차적으로 수태를 보습층으로 형성해 주었다.

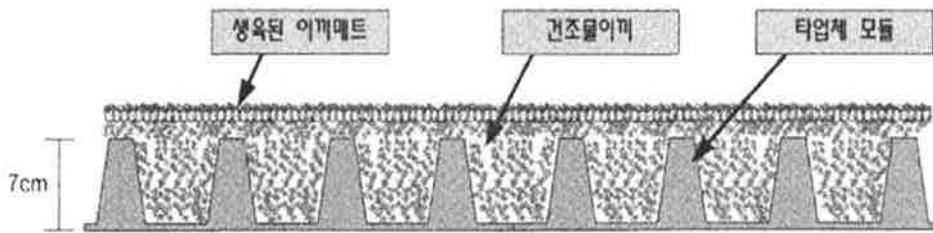


그림 6. 생육된 이끼매트를 이용한 옥상 등 구조물 상부 적용 모식도

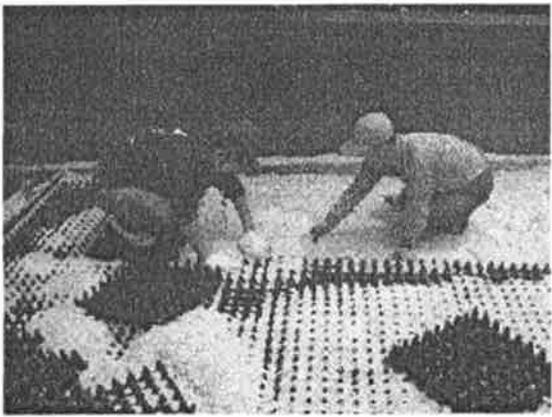
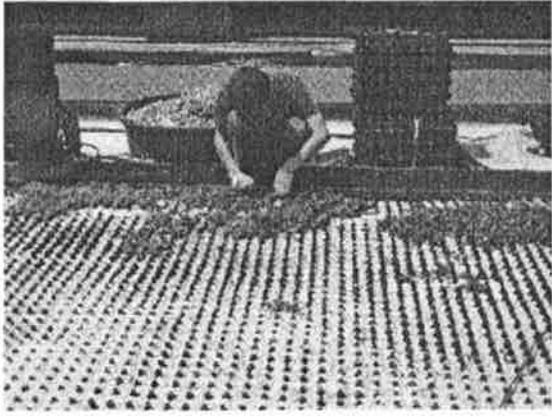


그림 7. 생육된 매트를 이용한 시스템, 경기도 용인, 2008년 4월



그림 8. 생육된 이끼 매트 상세사진, 경기도 용인, 2008년 9월

표 2. 시공과정

	
<p>1) 펄라이트 포설</p>	<p>2) 단위모듈 설치 및 1차 보습층(펄라이트) 충전</p>
	
<p>3) 2차 보습층(수테) 충전</p>	<p>4) 2차 보습층(수테) 충전 완료</p>
	
<p>5) 생육된 이끼매트 모듈에 결합</p>	<p>6) 이끼 고정망 설치</p>

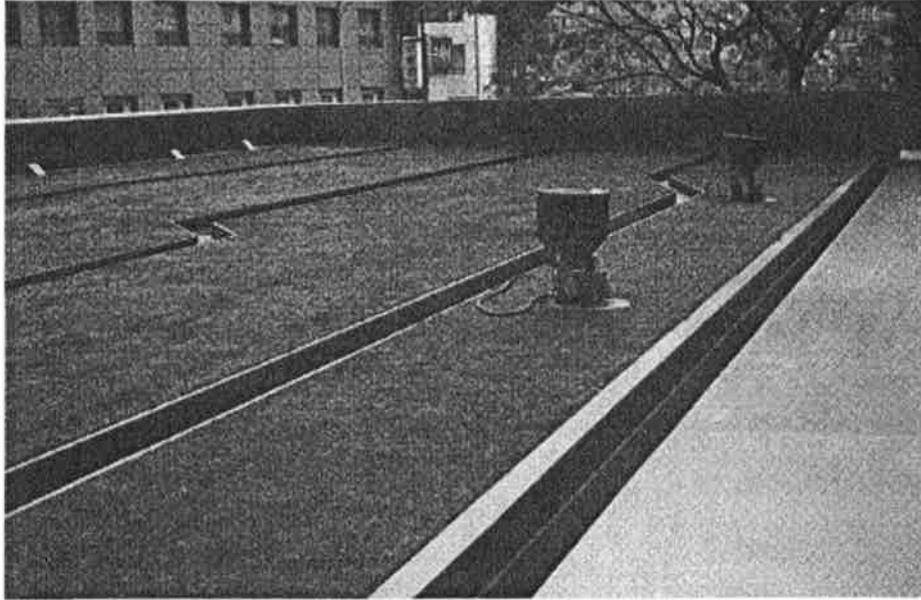


그림 9. 생육된 매트 of 현장 적용(시공직후), 조선힬텔, 서울 2008년 5월

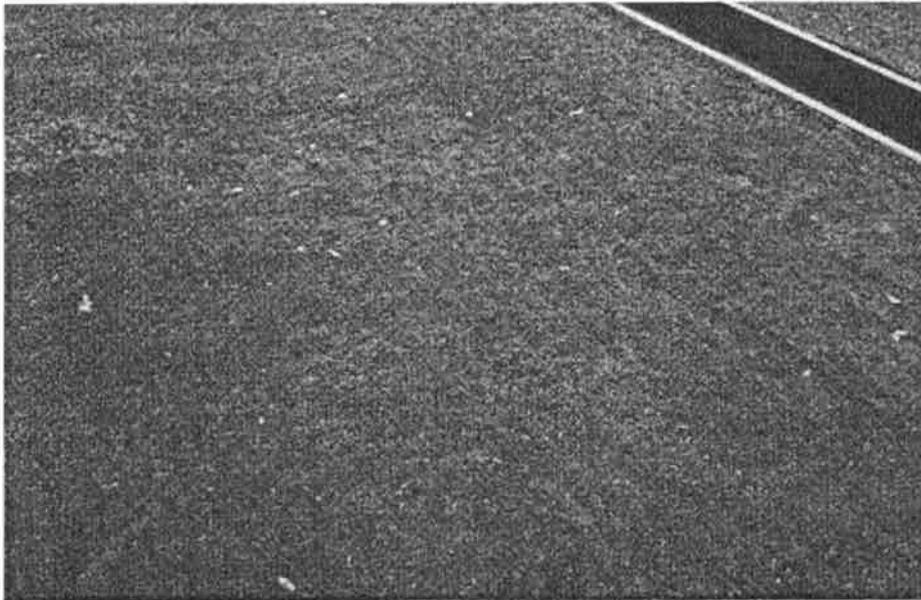


그림 10. 생육된 이끼 매트 상세사진(시공직후), 조선힬텔, 서울 2008년 5월

○ 결 과

현장 적용 결과, 생육된 매트가 변화된 환경에 쉽게 적응됨이 확인되었다. 신규제작 이끼매

트는 이끼의 환경적응기간과 생육기간이 동시에 필요하기 때문에 상당한 시간을 요하나 생육된 매트 의 경우 설치시 훼손된 부분이 짧은 시간에 회복되는 것이 관찰되었다(그림 11). 그러나 재배기간 동안 침투한 잡초종자의 발아로 제초작업이 필요하였다. 시공 후 2년 2개월이 경과한 시점에 모니터링 결과 일부 서리이끼가 갈변하는 부분이 발생하였으며, 시공현장의 양 옆에 위치한 나무에 의해 그늘이 지는 부분에서는 서리이끼의 생육이 저조하고, 태류(우산이끼류)가 번식되는 것을 관찰되었으나 전체적으로 서리이끼가 현장에 적응하여 생육이 잘 되고 있는 것으로 판단되었다.

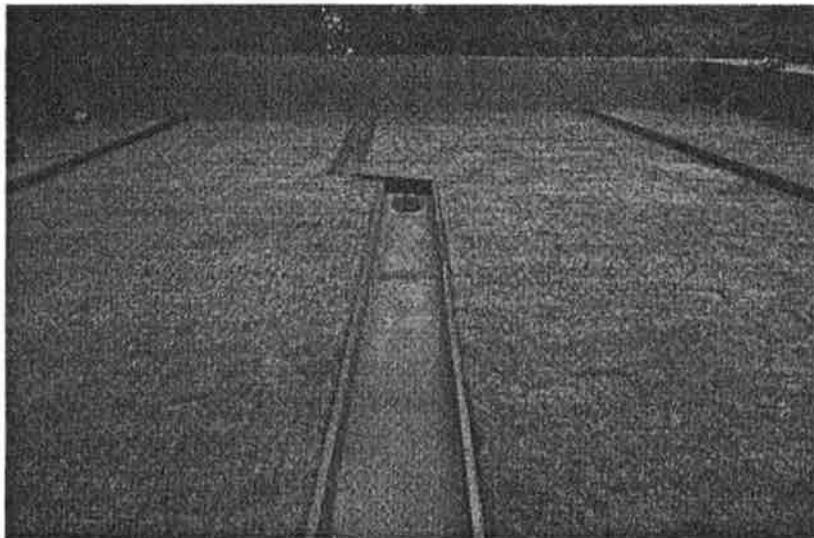
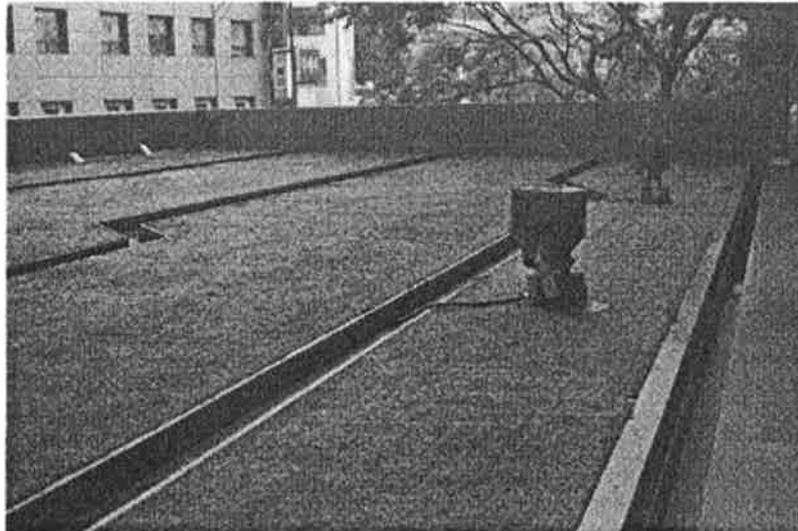


그림 11. 생육된 이끼 매트 전경 (3주후), 조선포텔, 서울 2008년 6월

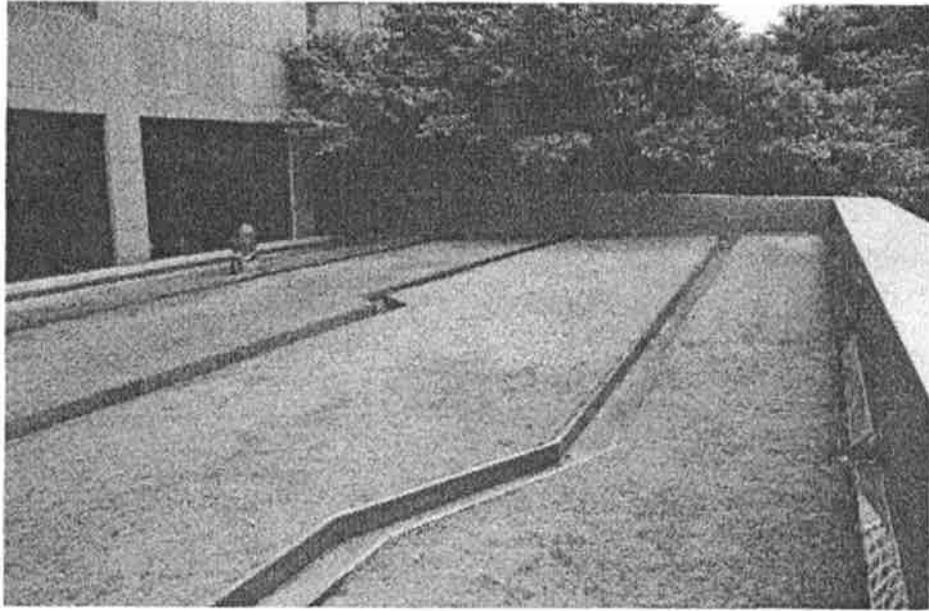


그림 12. 생육된 이끼매트 전경(2년 2개월 경과), 조선포텔, 서울 2010년 7월

(다) 다양한 연출을 위한 실험

보습층이 일정한 두께로 형성되는 것 보다는 자연 상태에서의 지형과 같이 높낮이가 서로 다르도록 연출하는 것이 단위 모듈 내에서 가능한 지를 시제품을 제작하여 확인하였다.

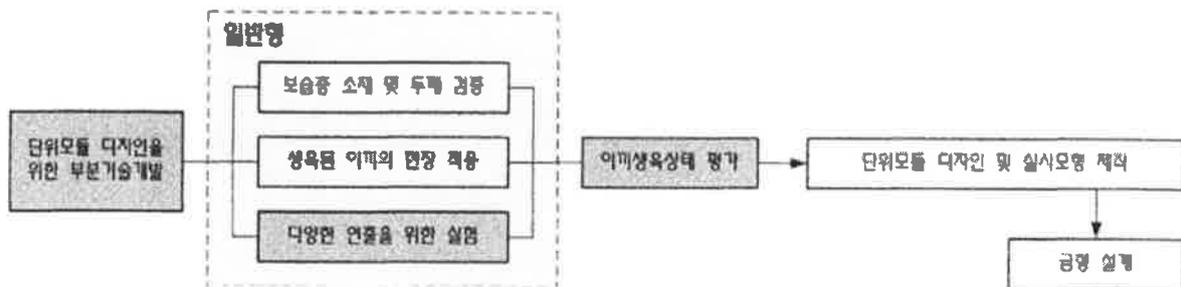


그림 13. 연구흐름도(다양한 연출을 위한 실험)

○ 실험 개요

구분	내용
기간	2008년 6월 - 계속
장소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	0.25m ² (단위모듈 50cm×50cm×3cm 2개)
공시재료	<i>Rhacomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼)
측정	생육상태 (육안 관독)

50cm×50cm×3cm의 단위모듈에 수태를 보습층으로 채운 후 보습층의 두께를 달리하고 상부에 이끼 매트 덮어 고정하였다(그림 14, 15). 보습층의 두께가 3cm로 일정한 대조구와 보습층의 높이를 달리 처리한 것으로 구분하여 이끼의 생육상태를 관찰하였다.

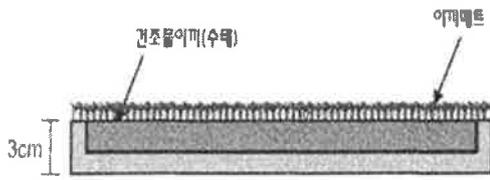


그림 14. 평면형 모듈

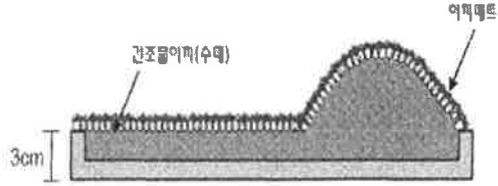


그림 15. 입체형 모듈

○ 결 과

보습층 두께를 달리했을 때 수태에 보유된 수량의 차이는 상부 이끼매트 생육에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 초기 녹화는 입체형에서 빠르게 진행되나 90일 전후에서는 두 모듈의 녹화 상태에서 확인한 차이를 나타내지 않았다. 단위모듈 내에서 높낮이를 서로 다르게 연출한 실험에서도 마찬가지로 특징할만한 녹화 속도의 차이를 발견하지 못했다.

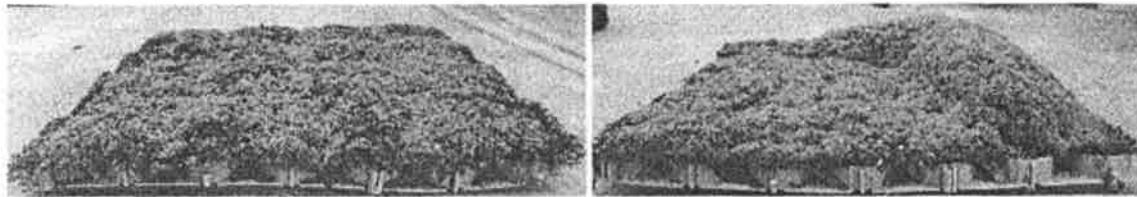


그림 16. 평면형과 입체형 모듈의 생육상태, 2008년 8월, 좌측: 평면형, 우측: 입체형

표 3. 생육 관찰

구분	설치 직후	설치 후 60일 경과	설치 후 90일 경과
평면형			
입체형			

(2) 저류형 옥상 녹화 시스템

빗물 등을 저류하여 재활용하고자 하는 요구는 '생태면적율' 개념을 도입하는 핵심 요소로 온난화, 열대야, 도심 홍수 등 최근 도시가 직면하고 있는 환경 문제를 완화하고자 하는 노력의 하나이다. 본 연구에서는 이러한 추세에 부응하고 보다 친환경적인 제품의 개발을 위해 빗물 등을 저류시켜 이를 이끼 생육에 재활용하는 시스템을 개발하고자 한다.

저류형 옥상녹화시스템의 개발을 위해서는 몇 가지 선결해야할 과제들이 있는데 하부에 설치된 수조에 저장된 물을 상부로 끌어 올려 이끼에 공급함에 있어 ① 효과적인 '수분공급 방식'을 결정하는 것이다. 다음으로 ② 적정한 수조 높이 ③ 심지용(수분이동 목적) 소재 등에 대한 실험 결과가 도출되어야 저류형 옥상녹화시스템의 기본 단위 모듈을 디자인할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 선결과제의 해결방안의 모색과 함께 물이끼의 적용 가능성도 검토하고자 한다.

(가) 수분공급 방식 도출

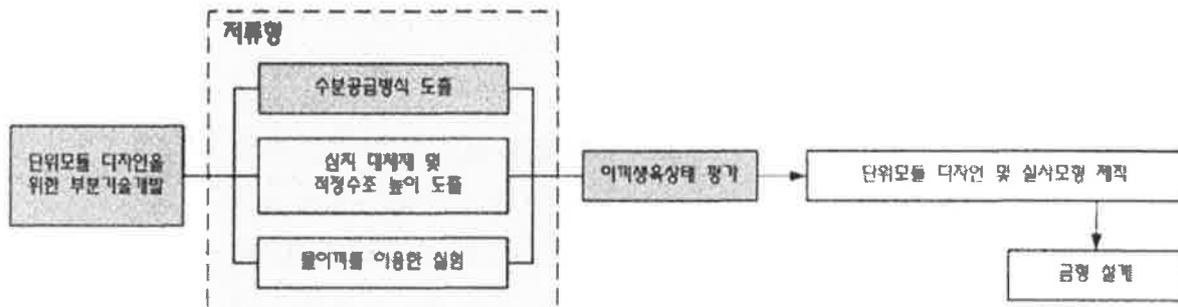


그림 17. 연구흐름도(수분공급 방식에 따른 이끼 생육상태 평가)

○ 실험 개요

구 분	내 용
기 간	2008년 5월 - 계속
장 소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	1m × 1m × 0.1m수조 2개 (2가지 유형)
공시재료	<i>Rhacomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼)
측 정	생육상태 (육안 판독)

수분공급방식은 하부 수조에 저류된 강우를 수태의 모세관 현상을 이용하여 상부 보습층에 공급되도록 하는 '모세관 현상을 이용한 수분공급 방식'(이하 '모세관식'이라 칭함, 그림 18)과 수중 모터를 이용 상부로 물을 이송하여 보습층에 공급하는 '강제 물 순환 방식'(이하 '강제식'이라 칭함, 그림 19)으로 구분하여 효과적인 수분공급방식을 선택하고자 했다.

‘모세관식’은 50cm × 50cm × 10cm 단위모듈을 수조에 설치하고 상부 5cm는 수태 보습층으로 하부 5cm는 수태로 심지를 설치하여 수조의 강우를 상부 보습층으로 이동시키도록 설계하였다(그림 18). ‘강제식’은 10W의 수중모터를 수조에 설치하여 수조에 저류된 강우를 측면 상단에 설치된 수로로 이송토록 하였다. 최상단의 높이가 10cm, 최하단의 높이가 5cm가 되게 수로에서부터 경사면을 만들고 그 상부에 건조물이끼 보습층을 조성하였다. 보습층 상부에는 이끼매트를 고정하였다(그림 19).

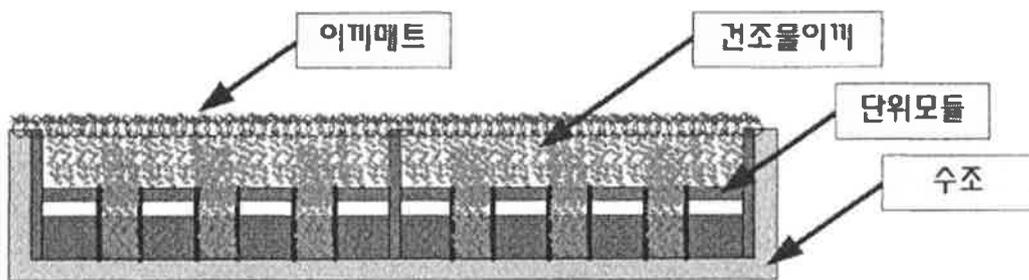


그림 18. 모세관식 기본모듈

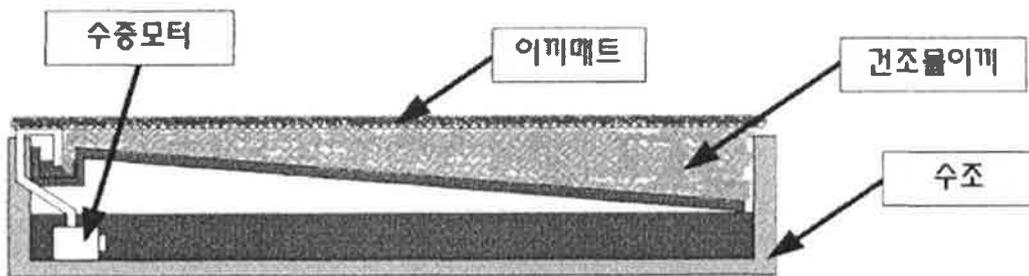


그림 19. 강제식 기본 모듈

○ 결 과

‘모세관식’이 ‘강제식’보다 초기 이끼매트 생육이 원활함을 확인하였다(그림20). ‘모세관식’은 40일이 지나면서 이끼매트 피복도가 80%이상 이 되었으며, ‘강제식’은 60일이 경과하면서 피복도가 80%이상 도달했다. ‘강제식’에서 초기 생육이 원활하지 못한 이유는 과습으로 인한 것으로 추정된다(그림 21).

모세관식은 강제식에 비해 초기 생육도 왕성하고 자연현상을 이용하므로 추가적인 에너지 공급이 필요치 않는 친환경적인 방식이지만 심지로 이용하는 수태는 시간이 지남에 따라 분해되어 모세관현상이 저하될 우려가 있기에 이를 대체할 수 있는 소재가 요구된다.

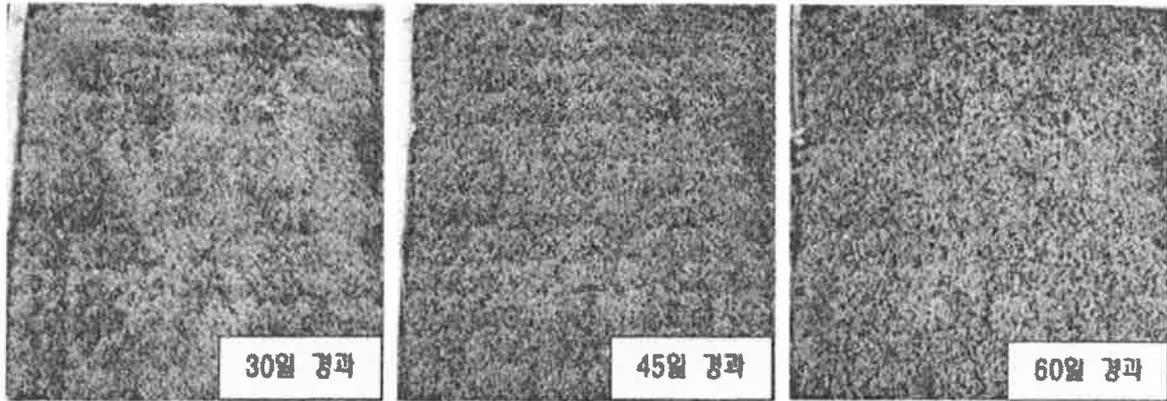


그림 20. 모세관식에서의 이끼 생육상태

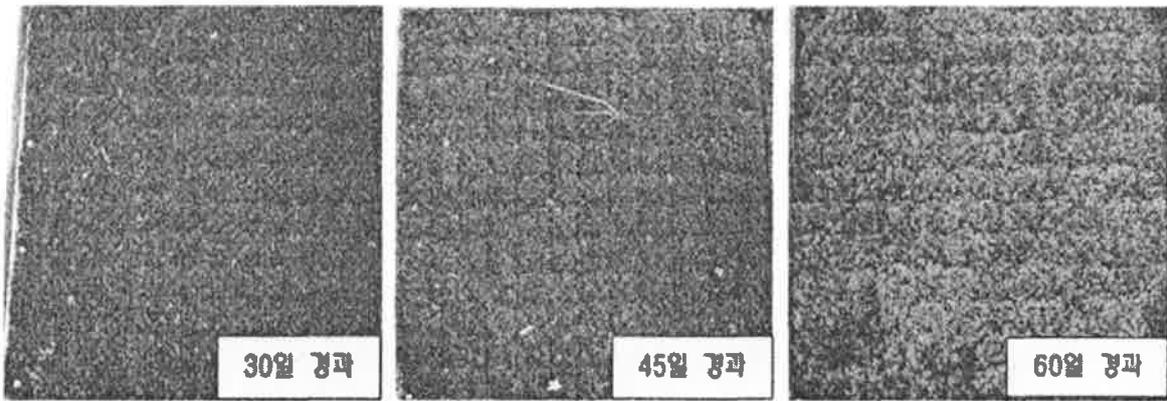


그림 21. 강제식에서의 이끼 생육상태

(나) 심지 대체재 및 적정 수조 높이 실험

모세관식 수분 공급방식의 수태 심지는 보습 및 수분 흡수능이 탁월하나 조직이 분해되는 단점이 있다. 따라서 내구성을 가진 심지 대체재의 탐색 및 성능 실험과 이와 관련된 적절한 수조 높이를 설정하기 위한 실험이 수행되었다.

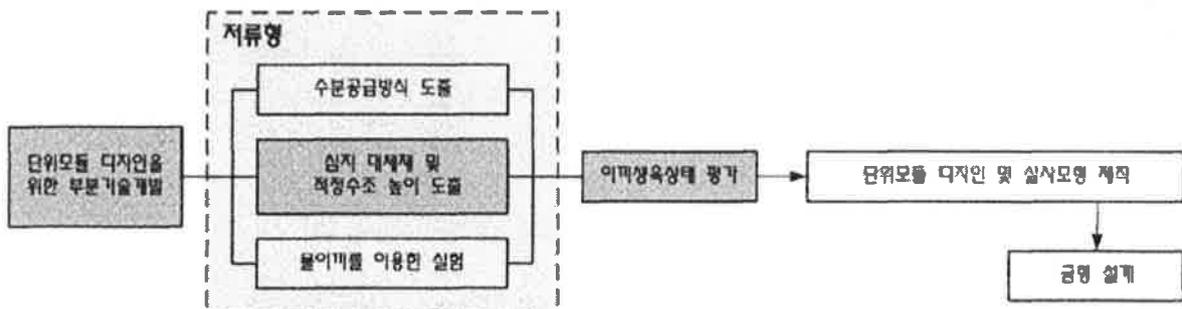


그림 22. 연구흐름도(심지 대체재 및 적정 수조 높이에 따른 이끼 생육상태 평가)

○ 실험 개요

구분	내용
기간	2008년 7월 - 계속
장소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	대체재 (2종류) × 수조 높이 (2종류) × 3(반복)
공시재료	<i>Rhacomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼)
측정	생육상태

수태 심지를 이용하는 기존 방식(대조구)과 농업용 흡수천을 이용하여 수조를 감싸고 중앙에 흡수천을 늘어뜨려 수조에 저류된 물을 상부로 끌어 올리도록 한 방식(실험구)으로 구분하여 재료의 차이에 따른 이끼의 생육을 비교해 보았다(그림 23, 24). 흡수천은 수경 양액 재배시 포트에 양액을 공급하는데 사용되는데 수직으로 10cm정도 수분을 끌어올릴 수 있고 수평으로는 무한정 수분흡수가 가능하여 수태를 대체할 수 있을 것으로 판단되었다.

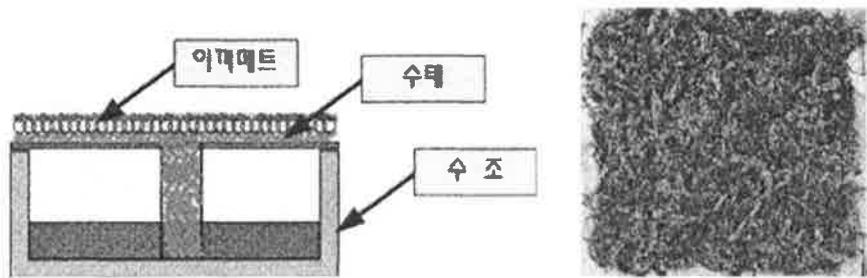


그림 23. 심지 대체재 성능 실험(대조구)

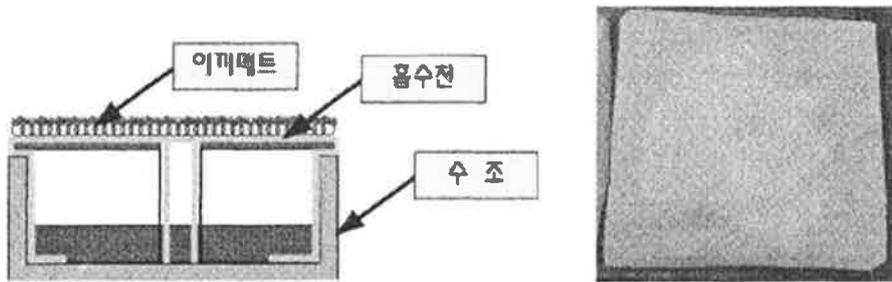
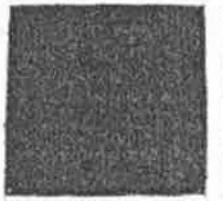
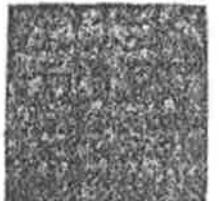
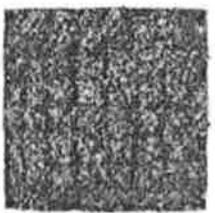
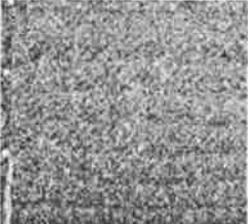
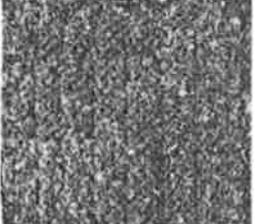


그림 24. 심지 대체재 성능실험(실험구)

○ 결 과

수태 심지가 흡수천 심지보다 이끼 생육에 유리한 것으로 나타나고 있으며, 수조 높이도 3cm인 경우가 6cm인 경우보다 이끼매트 피복도가 더 높은 것으로 나타났다(표 4).

표 4. 심지 소재와 수조 높이에 따른 이끼 생육상태

Type		설치 직후	설치 후 40일	설치 후 60일
수태 심지	3cm			
	6cm			
흡수천 심지	3cm			
	6cm			

(다) 물이끼를 이용한 저류형 옥상 녹화 시스템

bog와 fen으로 구분되는 이탄습지는 지구 토양 탄소의 1/3가량을 저장하고 있는 탄소저장고 역할을 하고 있다. bog를 형성시키는 물이끼는 독특한 생리적, 생태적 특성을 지닌 식물로써, 도심의 인공지반에 물이끼 습지를 조성함으로써 심미적, 시각적 효과뿐만 아니라 물 순환, 탄소 저감 등의 환경적 효과도 기대할 수 있다.

본 연구는 물이끼를 옥상 녹화 시스템에 도입하기 위한 기초실험이다.

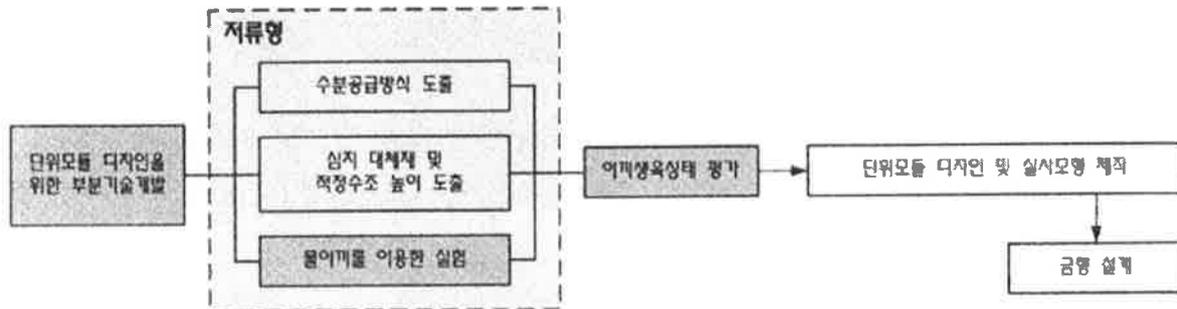


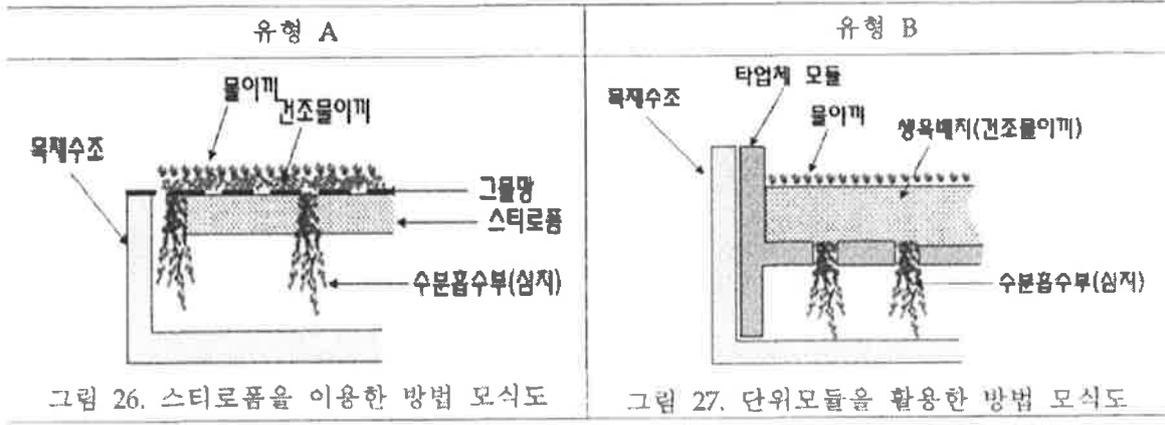
그림 25. 연구흐름도(물이끼를 이용한 저류형 옥상 시스템 적용가능성 실험)

○ 실험 개요

구분	내용
기간	2007년 12월 - 계속
장소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	1.5m × 1m × 0.1m 수조 2개
공시재료	<i>Sphagnum palustre</i> (물이끼)
측정	생육상태

물이끼를 이용한 옥상 녹화 시스템 개발을 위해 2가지 방법을 사용하였다.

- 유형 A. 스티로폼을 이용한 방법
부력이 있는 스티로폼을 이용하여 수태로 심지와 배지를 조성한 시스템(그림 25)
- 유형 B. 단위모듈을 활용한 방법
구멍이 뚫려있는 단위모듈에 수태로 심지와 배지를 조성한 시스템(그림 26)



1.5m×1.0m×0.1m의 수조에 A 유형은 스티로폼 위에 2cm 두께의 수태를 깔고 심지가 수조 밑바닥에 닿게 조성하였다. 그 위에 3cm간격으로 물이끼를 식재하였다(그림 26). B 유형은 수태로 보습층 5cm 를 형성하고 5cm 심지가 수조 바닥에 닿도록 조성하였다(그림 27).

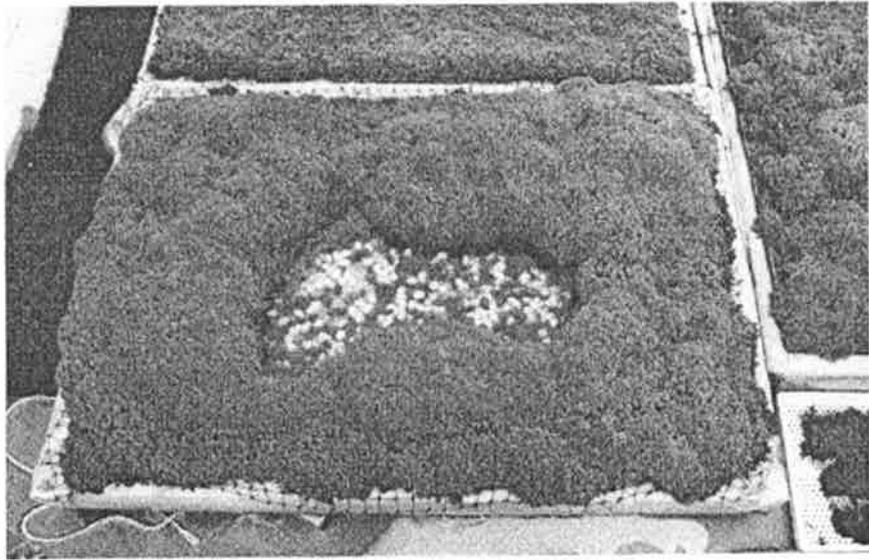


그림 28. 스티로폼을 이용한 저류시스템 (10개월 경과)

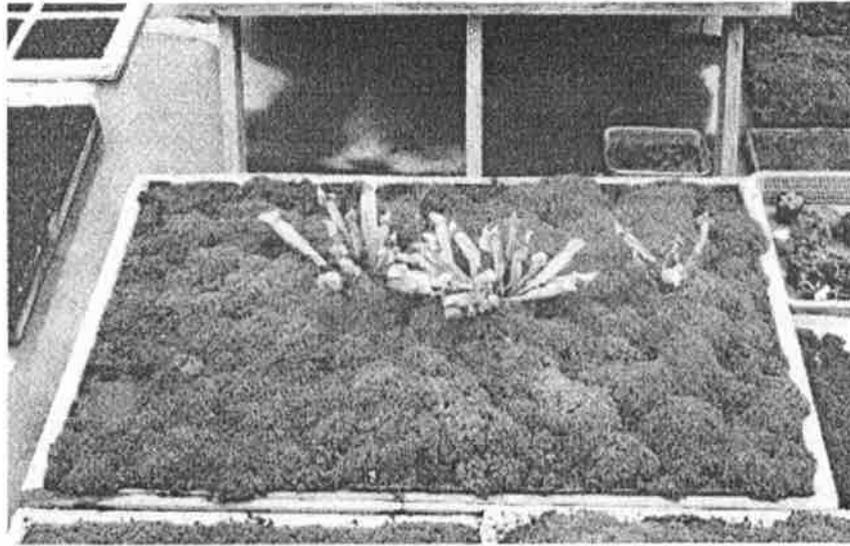
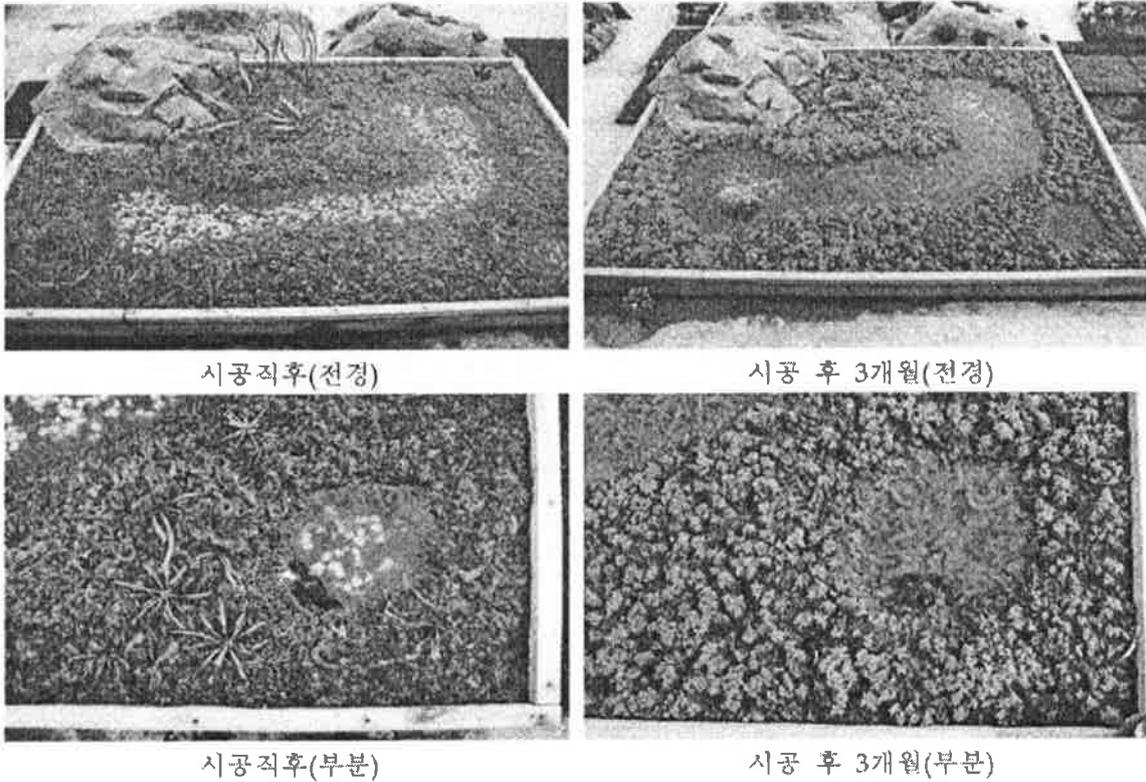


그림 29. 단위모듈을 이용한 저류시스템 (10개월 경과)

○ 물이끼 정원 시제품 제작



시공직후(전경)

시공 후 3개월(전경)

시공직후(부분)

시공 후 3개월(부분)

그림 30. 물이끼 정원

(3) 옥상 및 인공지반에 적용 가능한 제품개발을 위한 추가 연구

본 주관연구기관은 이끼의 다양한 활용 방안에 대한 연구를 목적으로 1차년도에 옥상 및 인공지반에 적용 가능한 제품을 개발하고자 하였다. 1차년도 심사결과 핵심적인 종합의견을 정리하면 ① 이끼류는 타 식물과 혼합식재시 타감 작용으로 인해 식물상호간 피해가 우려됨으로 식물 생태학적 지위성 여부에 관한 연구 필요, ② 벽면이나 경사면은 인간이 사용하지 못하는 공간이어서 이끼의 단용 식재가 가능하지만 옥상에 활용 시 인간이 사용하는 공간에 대한 이끼의 활용방안에 관한 연구가 필요하다는 것이었다.

2차년도에는 1차년도에 제작된 단위모듈을 검증하고 다양한 옥상 및 인공지반에 적용 가능한 방안을 검토하고자 하였다.

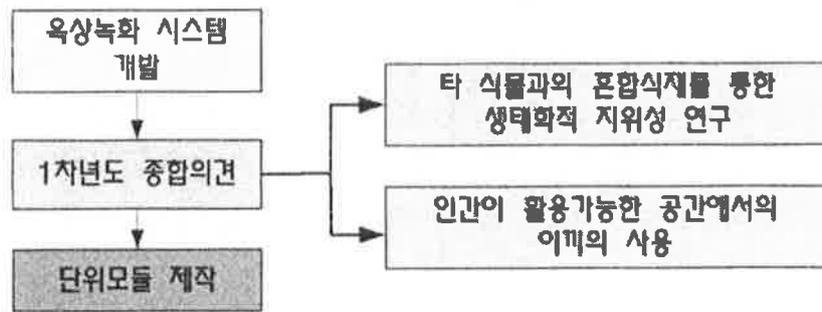


그림 31. 연구흐름도

(가) 타식물과 혼합식재 (생태학적 지위성 연구)

일반적으로 선태식물은 땅 위에서 자라거나 살아 있는 나무 및 죽은 식물 위에서 자란다. 어떤 선태식물은 바위 표면에서 자라기도 하고 물속에서 자라기도 한다. 그러나 지속적으로 수분과 어느 정도의 햇빛을 받아야 하며 온도와 대기습도도 적당해야 잘 자란다. 몇몇 종만이 건조나 냉해에 강하다.

일부 선태식물은 제한된 수분이나 대기 중에 있는 무기물을 사용해버려 종자식물이 이를 흡수하지 못하게 하는 경우도 있고, 어떤 경우에는 선태식물층이 물의 침투를 줄이고 빨리 증발시켜서 특정 종자식물의 수분흡수를 저해시킴으로써 숲의 식생조성을 간접적으로 조절하기도 한다.

본 주관연구기관은 이끼를 타식물과 혼합 식재 해본 경험이 있다. 경량형 옥상녹화 소재로 이용되고 있는 세덤류와 혼용 식재해본 결과 이끼류가 세덤류에 대해 타감 작용을 하는 것은 관찰할 수 없었다. 오히려 세덤류의 번식에 의해 이끼류가 영향을 받는 것으로 판단되었다. 세덤류의 경우 번식속도가 왕성하고 이끼 서식지가 그들이 지게 되면서 생육 상태가 좋지 않음을 관찰할 수 있었다(그림 32).

이끼류와 관목류를 혼용식재한 현장의 경우 일반적으로 상호간의 타감 작용은 거의 없는 것

으로 관찰되었다. 정원 피복용으로 이끼를 사용할 경우 관목류에 의해 직사광선을 피하게 되고 습윤을 더 오래 유지할 수 있게 되어 오히려 이끼의 생육이 더 좋은 것으로 판단되었다. 역삼동 개인주택의 증정에 관목류와 함께 서리이끼와 털깃털이끼를 적용하였다. 시공 후 3달이 경과된 시점에서 털깃털이끼의 경우 관목류 주변에서 생육상태가 더 좋았으며, 서리이끼의 경우 그 차이가 없는 것으로 관찰되었다(그림 33, 34).

옥상녹화에 사용되는 초본류와의 혼용식재는 아직까지 실험해 본 경험이 없었다. 향후 연구 개발 제품을 통해 초본류와의 혼용식재를 통해 상호간의 생태학적 지위성에 관련된 연구를 실행할 예정이다.

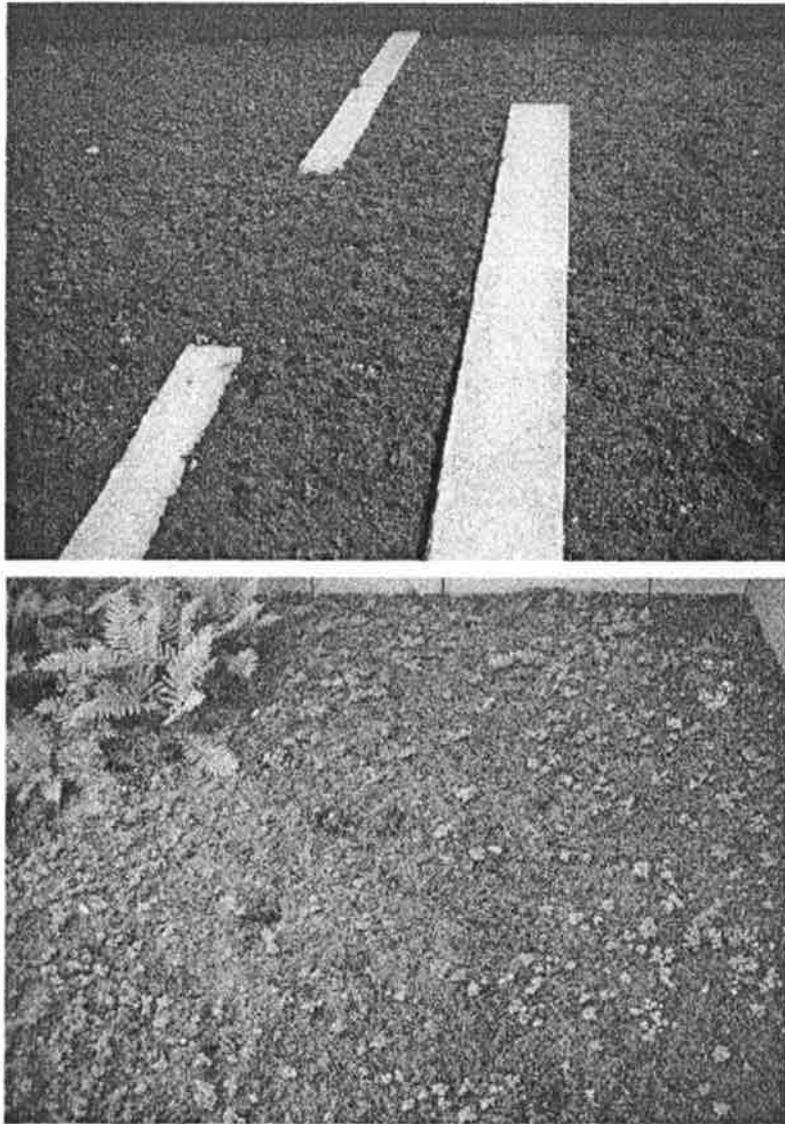


그림 32. 세덤류와 혼용식재된 이끼, 창원시 두산중공업, 2007년 6월



그림 33. 중정(中庭)에 조성된 관목류와 함께 조성된 이끼, 역삼동 개인주택, 2009년 6월

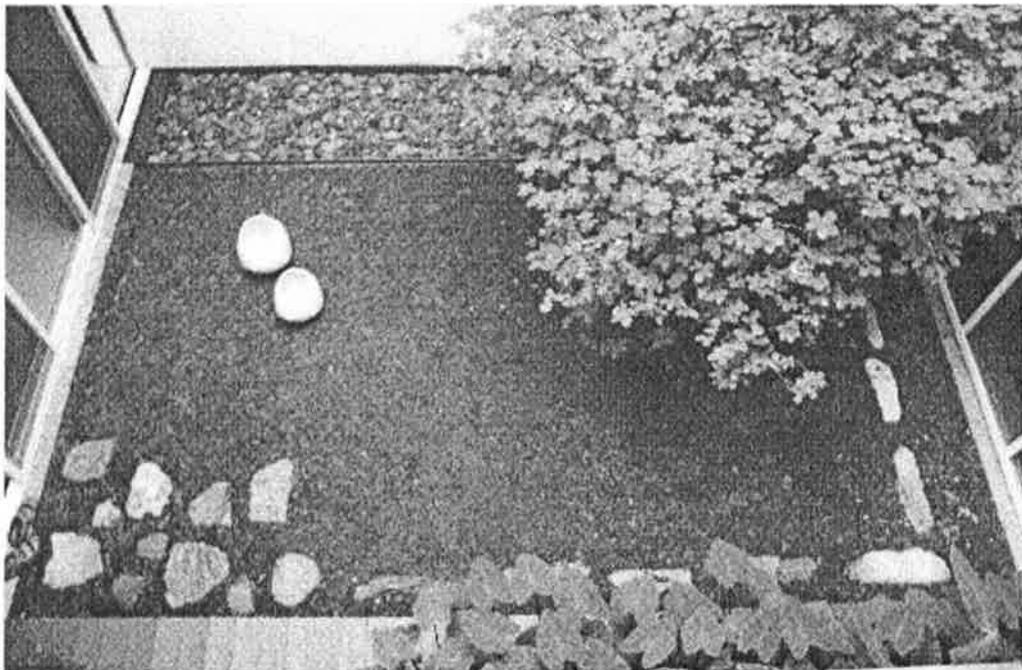


그림 34. 중정(中庭)에 조성된 관목류와 함께 조성된 이끼, 역삼동 개인주택, 2009년 6월

(나) 인간이 사용하는 공간에 대한 이끼의 활용방안에 대한 연구

수직벽면이나 경사면과 달리 수평면은 인간이 가장 많이 활용하는 공간이다. 수평면에 대한 이끼 녹화와 관련하여 현재까지 다양한 활용방안을 검토 중이다.

도로변 보도블럭이나 판석사이의 토양에 이끼가 착생하여 성장하는 것은 흔하게 발견된다 (그림 35). 이는 도심의 인공적인 공간에 자연의 아름다움을 접목시킬 수 있는 가능성을 보여 준다.

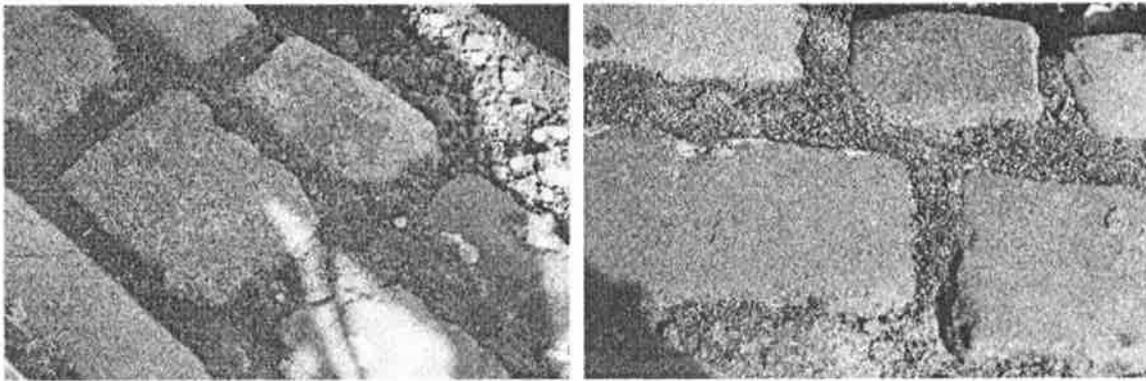


그림 35, 도로변 판석사이에 낀 이끼

본 주관연구기관은 판석으로 포장된 길의 심미적 효과를 높이기 위해 판석사이에 이끼를 식재해 보았다(그림36).

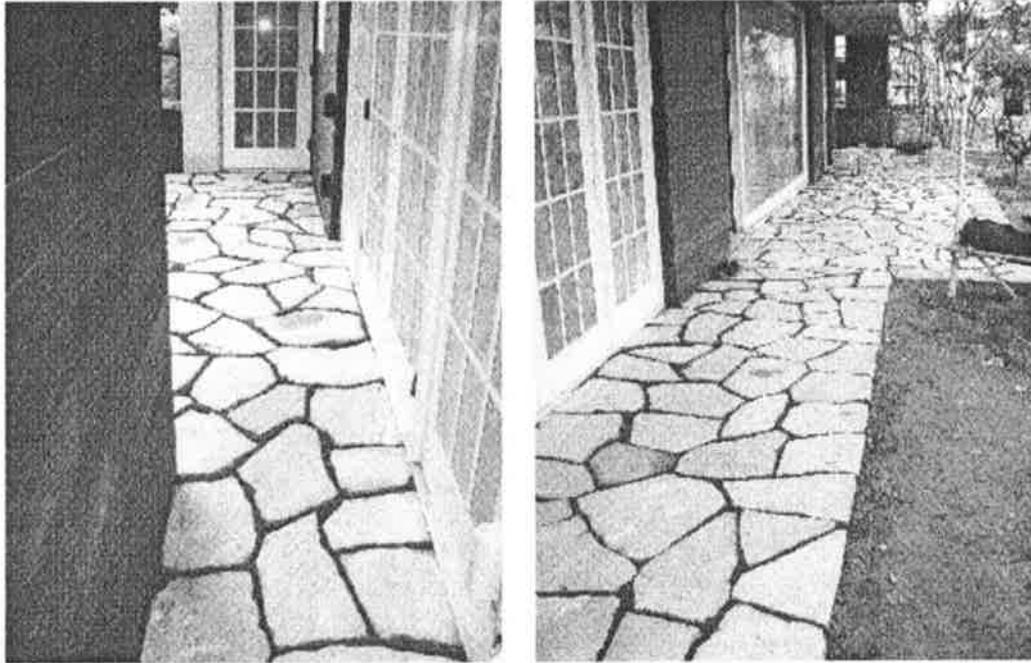


그림 36. 관석사이에 식재된 이끼, 서울시 역삼동, 2008년 8월

아직까지 많은 연구가 되어있지 않지만 이끼를 이용하여 인간이 활용하는 공간에 심미적 효과를 높이는 방안은 많을 것으로 판단된다. 현재까지는 일부 조형물과 함께 이끼를 전면피복함으로써 디자인적 효과를 높이려고 하였다. 앞으로는 다양한 조경연출을 통해 조형물, 식물 등의 공간구성 요소들을 함께 고려한 활용방안 연구의 진행을 계획 중이다.

나. 단위모듈 디자인 및 실사모형 제작

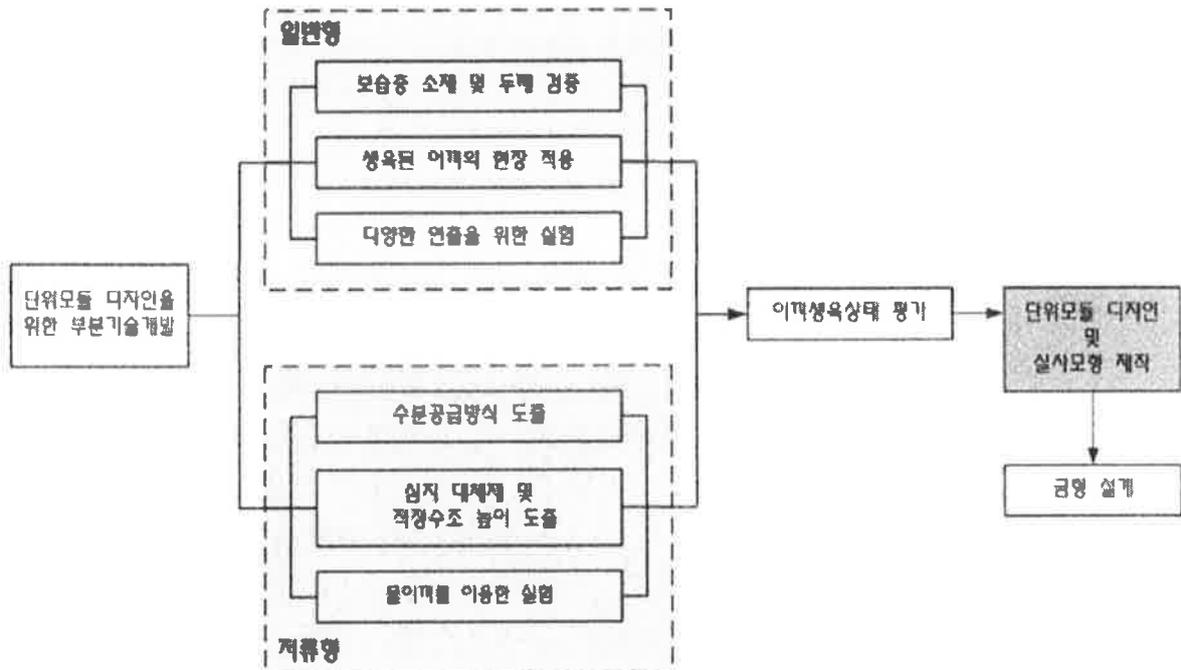


그림 37. 연구흐름도(단위모듈 디자인 및 실사모형 제작)

(1) 1차 기본 구상

육상 등 인공구조물 상부를 녹화하기 위해 녹화단위를 특정 모듈로 표준화하는 이유는 높은 생산성, 시공 편의성, 공사기간 단축 등이 그 이유이다. 일반형과 저류형 육상 녹화시스템을 서로 다른 단위모듈을 설계하여 금형을 제작하는 것은 경제성 뿐 만 아니라 호환성 등에서도 불리하기에 비교적 단순한 기능을 요하는 '일반형'을 기반으로 여기에 필요한 기능을 투입하여 조립함으로써 '저류형' 단위모듈을 완성하는 방식을 택하였다. 이렇게 함으로써 금형 제작 비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 저류형과 일반형을 병행하여 사용할 수 있게 되어 적용의 범용성을 확보할 수 있기 때문이다.

단위 모듈을 설계함에 있어 다음의 사항을 고려하여 설계하였다.

- 일반형과 저류형의 병행사용 가능성
- 제품 제작 및 시공의 편리성
- 다양한 디자인 연출 가능성
- 제품의 완성도

(2) 일반형 녹화시스템 기본 구상

본 연구에서 개발한 단위모듈은 이중 프레임 구조로 내부 프레임에 이끼매트를 연결하고 외부 프레임을 위에서 눌러 끼움으로써 완성된다. 이 방식은 이끼 매트가 설치될 장소가 옥상, 지붕 등의 인공 지반일 경우와 모래, 흙 등의 자연 지반일 경우에 모두 설치 가능하도록 고안되었다. 콘크리트 등과 같은 곳에 설치될 경우 내부 프레임은 바닥면이 막힌 구조를 띠게 되고 이 내부에 보습제를 충전함으로써 이끼 판넬이 완성된다(그림 37). 자연지반일 경우는 토양이나 모래 등을 활용할 수 있기에 내부 프레임은 바닥면이 없는 형태가 되어 설치가 가능하다(그림 38).

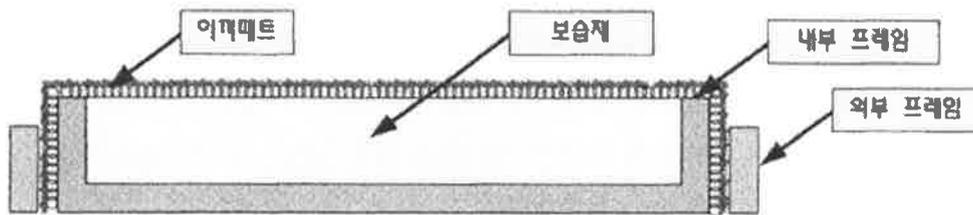


그림 38. 일반형 단위모듈 모식도 (A 유형)



그림 39. 일반형 단위모듈 모식도 (B 유형)

본 시스템의 활용성을 보다 높이기 위해 내부 프레임은 상부에 적층을 할 수 있도록 하여 입체감을 줄 수 있도록 하였으며, 이는 토심을 높이는 효과를 가져와 다른 식물의 식재가 가능하여 다양한 연출이 가능하도록 설계하였다(그림 40)

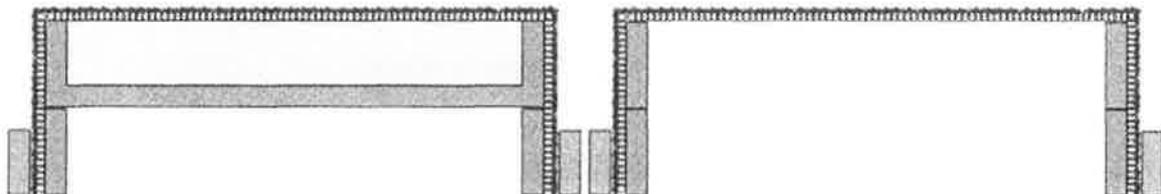


그림 40. 적층된 A 유형

그림 41. 적층된 B 유형

이중 프레임 구조는 외부프레임이 이끼가 완전히 착생하기 전까지 시각적으로 노출된다. 취향에 따라서 프레임이 선호도를 떨어뜨릴 수도 있기에 외부프레임이 노출되지 않도록 하는 방식도 적용 가능하다(그림 41, 42).



그림 42. 외부프레임이 노출되지 않는 유형

(3) 저류형 녹화시스템 기본 구상

저류형은 A 유형 내부 프레임을 두 개 겹침으로써 완성된다. 하부에 설치된 프레임은 수조 역할을, 상부의 프레임은 보습층을 형성하는 구조로 상부프레임의 하부에 구멍을 뚫어 심지가 하부 수조에 연결되는 방식이다(그림 43).

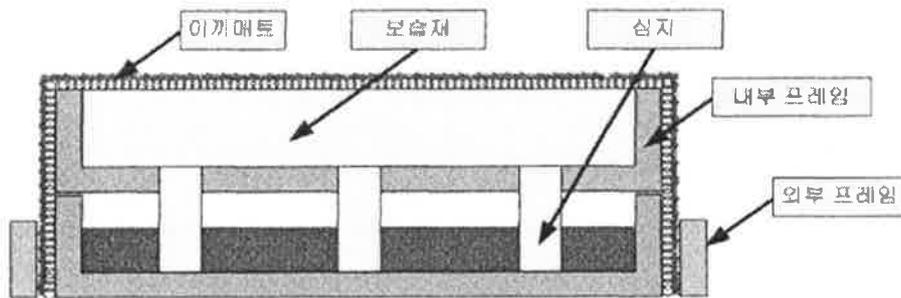


그림 43. 저류형 단위모듈 모식도

외부 프레임이 노출되지 않도록 하려면 하부는 수조기능을 해야 하기에 이끼 매트를 고정할 수 없고 보습층에 이끼 매트를 고정하면 프레임이 없는 저류형 옥상녹화시스템도 설치 가능하다(그림 44, 45).

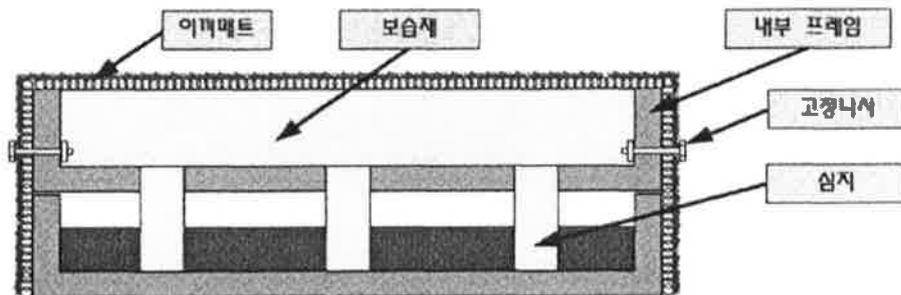


그림 44. 외부프레임이 노출되지 않는 저류형 녹화시스템 모식도

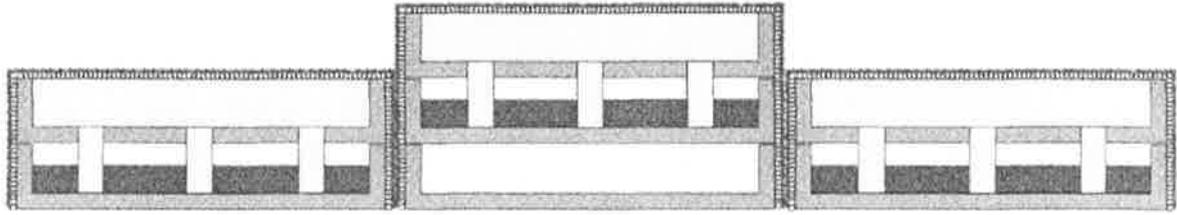
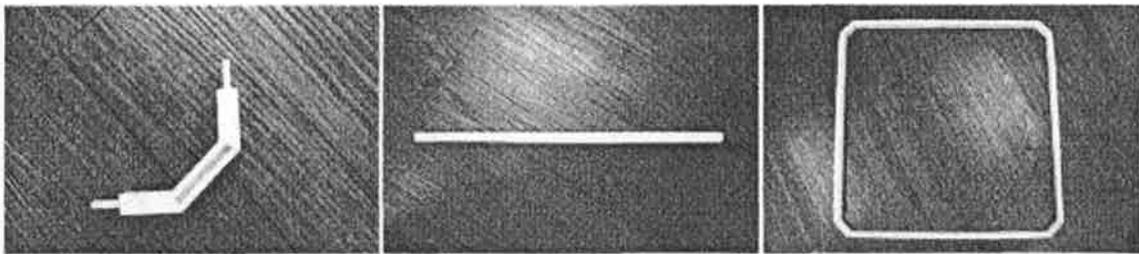


그림 45. 단위 모듈 적층으로 조성한 저류형 녹화시스템 모식도

(4) 기본 설계

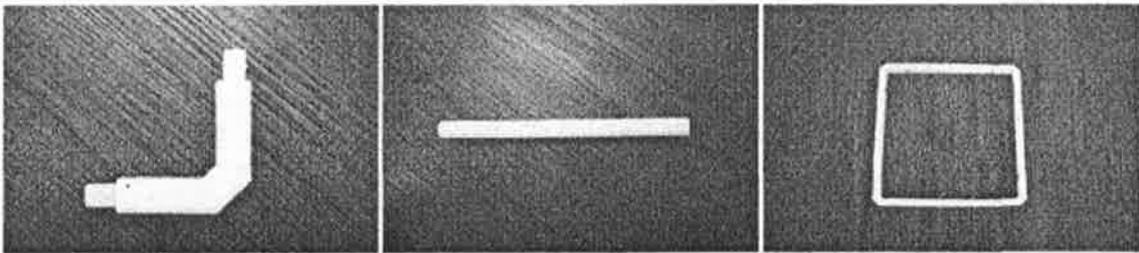
(가) 내·외부 프레임 설계

설치되는 장소에 따라 다양한 사이즈의 프레임이 필요하나 이를 모두 금형으로 제작하는 것은 비경제적이기 때문에 내·외부 프레임은 프레임 모서리(그림46-1, 47-1)와 파이프(그림 46-2, 47-2)로 분리되어 이를 연결함으로써 완성되도록 하였다(그림46-3, 47-3). 가장 간단한 형태인 일반형 B 유형은 상기한 방식으로 간단히 조립하여 완성할 수 있다. 일반형 A 유형은 내부프레임에 수조(그림 46)를 결합하고 외부 프레임을 끼움으로써 완성된다. 저류형은 수조를 이층으로 적층하고 상부의 보습층에 구멍을 뚫어 심지를 설치하고 하부 수조에 적층한 후 외부프레임을 끼우면 완성된다.



1) 외부프레임 모서리 2) 외부프레임 파이프 3) 외부프레임 완성

그림 46. 외부프레임 구성과 연결조립



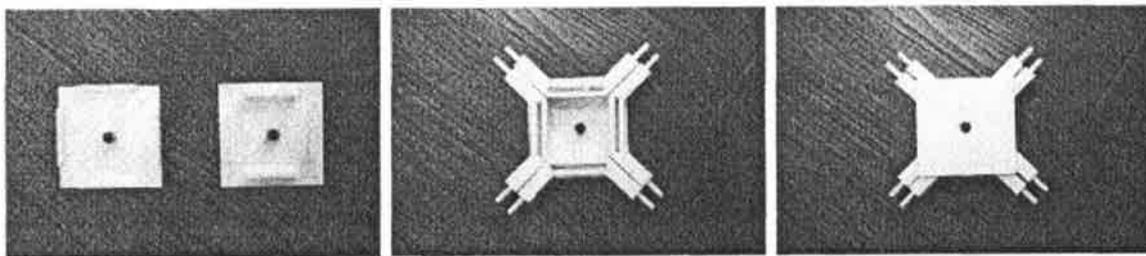
1) 내부프레임 모서리 2) 내부프레임 파이프 3) 내부프레임 완성

그림 47. 내부프레임 구성과 연결조립

내부프레임과 외부프레임은 모서리에 파이프를 끼움으로써 연결되게 되어있다. 외부프레임의 모서리는 모듈간의 연결을 위해 상부에는 덮개를 끼울 수 있게 홈이 있으며(그림 46-1), 내부프레임은 적층이 가능하도록 요철형으로 만들어졌다(그림 47-1). 또한 내부프레임의 모서리 부분은 적층시 2차 고정을 위해 연결핀이 삽입가능토록 구멍이 뚫려 있는 구조이다.

(나) 연결부위 설계

단위모듈과 바닥면과의 연결은 고정판(그림 48-1 左)을 에폭시 등 접착제나 앵카로 지반에 고정한다. 고정판에 외부프레임을 끼우고(그림 48-2), 덮개를 씌운 후 나사로 연결하여 완성된다(그림 48-3).



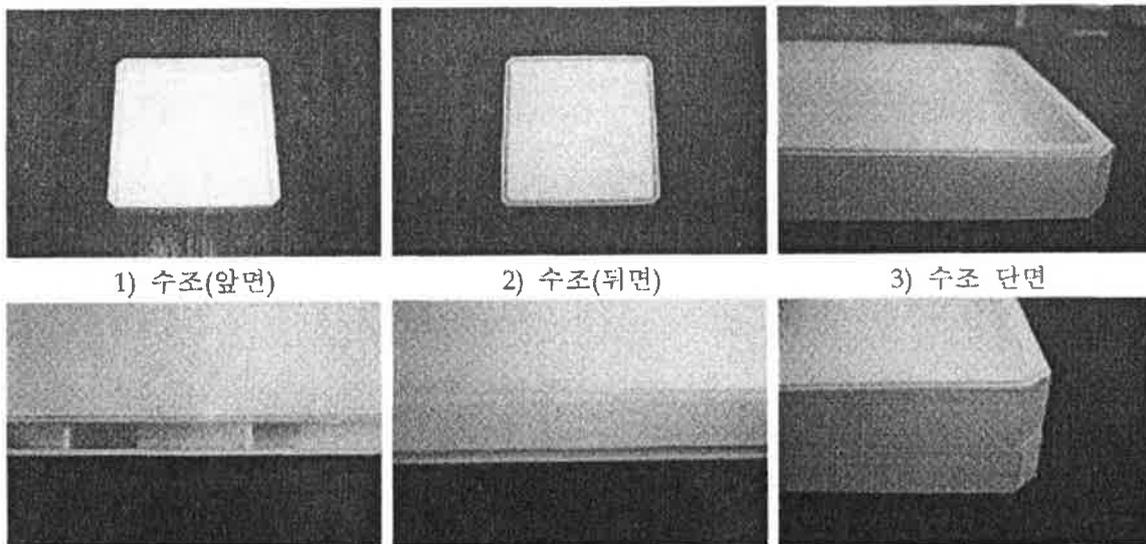
1) 연결유닛(左;고정판, 右;덮개)

2) 연결유닛과 외부프레임 연결

3) 덮개 연결

그림 48. 단위모듈간 연결 및 바닥고정

(다) 수조 설계



1) 수조(앞면)

2) 수조(뒤면)

3) 수조 단면

4) 수조 테두리 뒷면 구조

5) 수조 테두리 앞면 구조

6) 수조의 적층

그림 49. 수조 상세

수조는 내부프레임의 크기와 같게 제작된다. 수조의 테두리 또한 적층이 가능하도록 요철(凹凸)형으로 만들어졌으며, 수조의 밑 바닥면은 구멍을 뚫어 심지 삽입이 가능토록 하였다(그림

49).

본 연구에서 개발한 단위모듈은 장점을 요약하면 다음과 같다.

- 보습층의 두께 조절 가능(유형 A와 유형 B의 결합)
- 일반형과 저류형이 병행 사용가능
- 적층방식에 의한 높낮이 조절로 다양한 연출 가능
- 외부프레임 색깔과 모듈 크기 조절을 통한 다양한 디자인 연출 가능
- 내부프레임과 이끼메트 연결로 단위모듈 가장자리 깔끔한 처리 가능
- 현장 설치 시공이 용이

(5) 실사 모형 제작

(가) 1차 실사모형제작

실사모형은 내·외부 프레임의 두께와 프레임간의 적정 간격을 도출할 목적으로 제작되었다. 실험결과 이끼메트의 고정과 지지를 위한 프레임의 두께는 외부 내부프레임은 10mm, 내·외부 프레임 간격은 5~10mm사이가 적당한 것으로 나타났다.

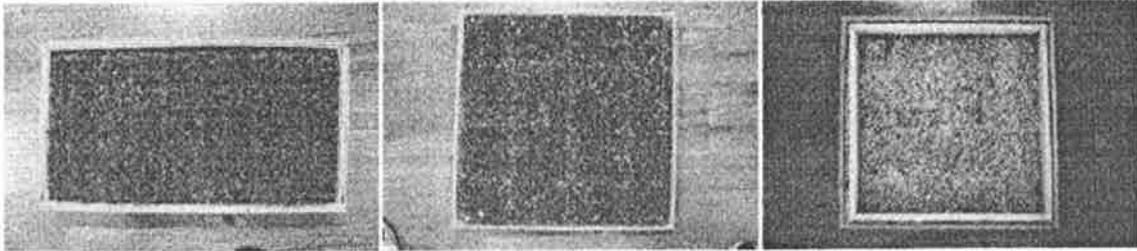


그림 50. 내·외부 프레임만으로 이끼메트를 고정

(나) 2차 실사모형제작

단위모듈간, 단위모듈과 바닥면과의 연결을 함에 있어 연결부위의 외부노출을 최소화하고 단위모듈간 견고한 연결을 위해 모서리에 연결 장치를 설치한 예이다(그림 51).

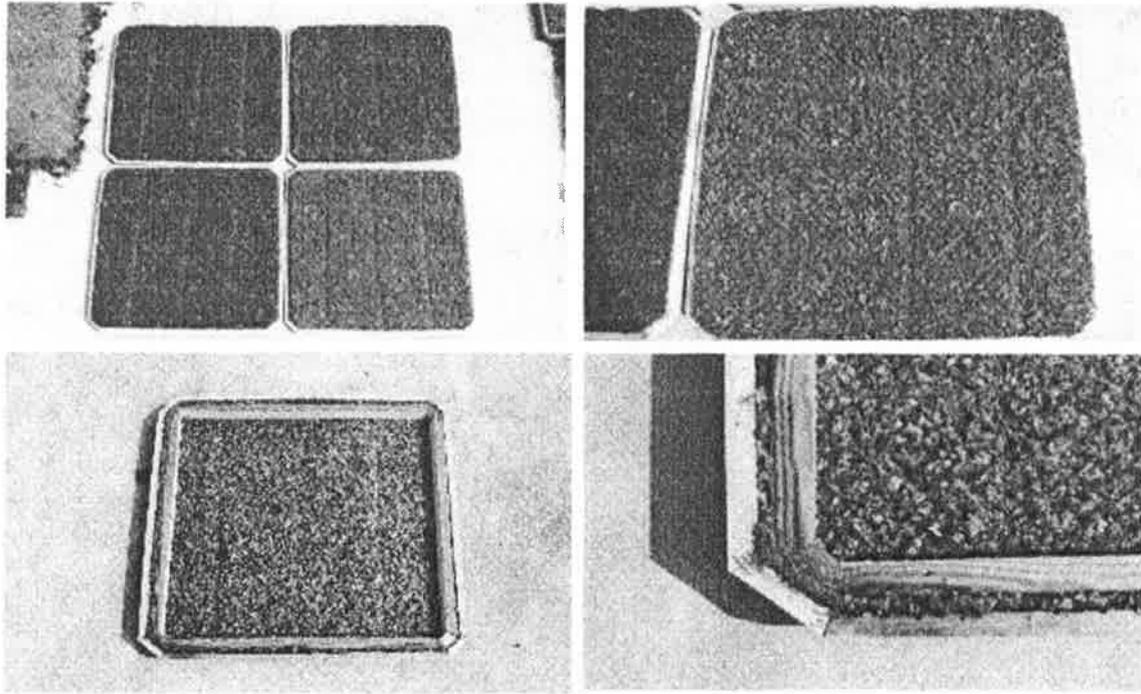


그림 51. 단위모듈간 연결을 위해 모서리 부분을 고안함

(다) 3차 실사 모형 제작 및 설치

1, 2차 실사모형 제작 결과 나타난 단점을 보완하고 다양한 연출을 목적으로 실사모형을 제작하였다. 3차 실사모형제작에서는 ① 내부프레임과 외부프레임 간의 다양한 높이 차이를 가진 이끼 식생판 제작, ② 외부프레임의 두께 보강 ③ 내부 프레임만을 이용한 일반형 단위모듈 제작 등의 편점에서 수행되었다.

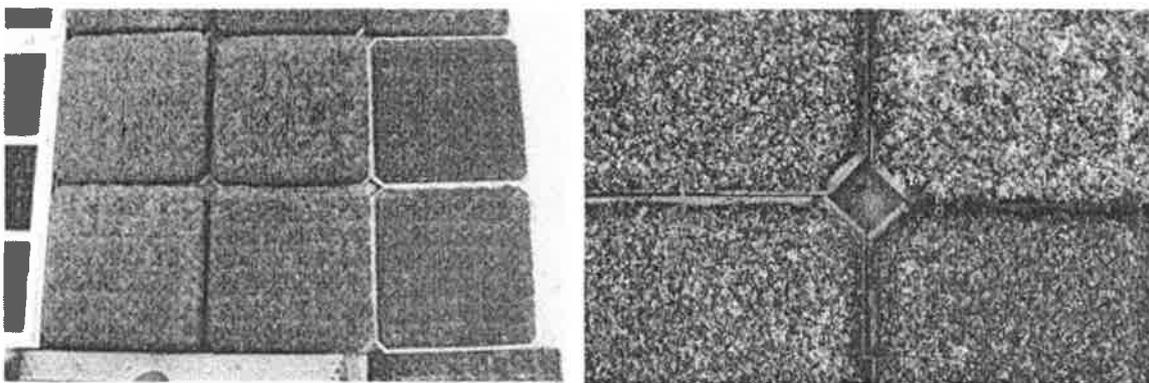


그림 52. 내·외부프레임의 연결을 통해 제작된 실사모형

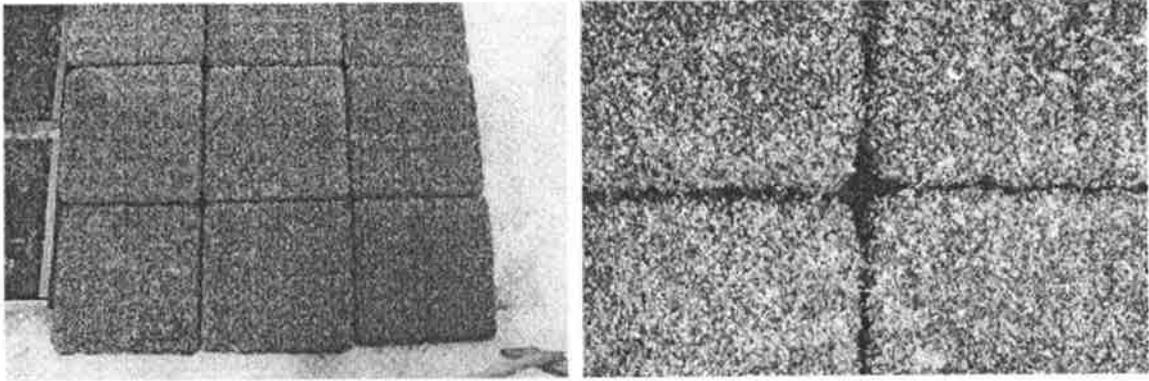


그림 53. 내부프레임만을 활용한 실사모형



그림 54. 높낮이 조절을 통한 연출

(라) 설치 후 모니터링 결과

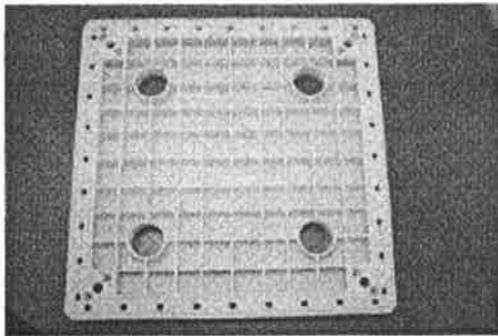
3차 실사 모형을 설치 후 모니터링 결과 상기 모형의 문제점들이 나타났다. 시간이 경과하면서 모형 중앙부분에서 이끼매트가 처지는 현상이 발견되었으며, 테두리 부분의 이끼들이 갈변하여 생육이 불량한 것이 관찰되었다. 매트 중앙부분이 처지는 현상은 이끼가 생육하면서 이끼매트의 자체 하중이 증가하여 이끼를 고정하고 있는 3차원 망매트 자체가 가지고 있는 탄성에 의해 처지는 것으로 추정된다. 테두리 부분의 갈변현상은 과습에 의한 것으로 추측되며 이는 실사 모형을 목재를 이용하여 제작하였기 때문에 바닥면에 있는 수분을 목재가 흡수하여 다른 부분에 비해 테두리부분의 이끼가 과습되어 생육이 불량한 것으로 판단된다.

(6) 단위 모듈 제작 및 검증

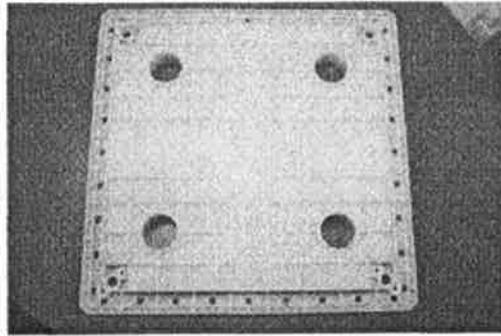
1차년도에 실시모형 제작 및 모니터링 결과를 바탕으로 장점 및 단점을 보완하여 2차년도에 설계를 완료하고 mock-up을 만들었다.

육상녹화 시스템에 사용되는 제품의 구성은 ㉠ 이끼 식생판(그림 55), ㉡ 이끼매트 결속구(그림 56), ㉢ 식생수조(그림 57), ㉣ 수조 및 식생판 연결구(그림 58)로 구성된다.

(가) 1차 기본구상

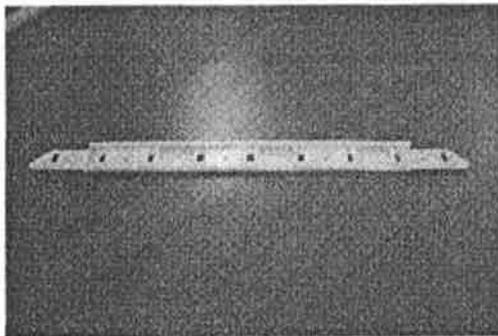


이끼 식생판 전면부

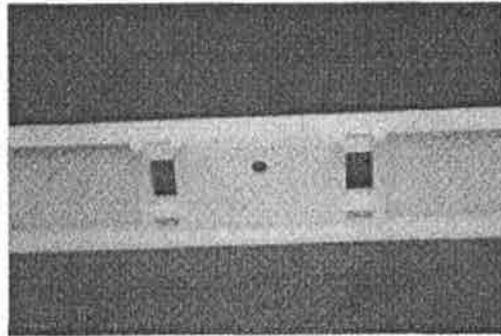


이끼 식생판 후면부

그림 55. 이끼 식생판

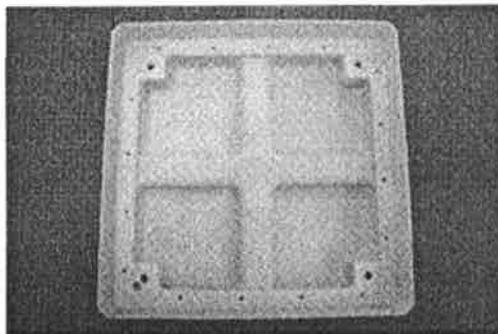


이끼매트 결속구 전면부

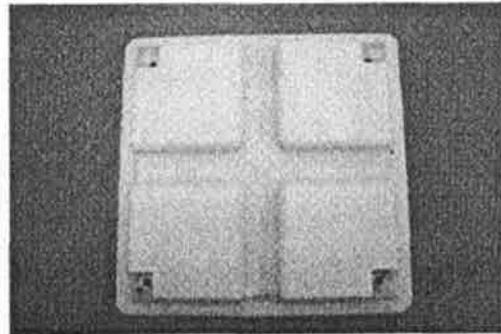


이끼매트 결속구 상세

그림 56. 이끼매트 결속구

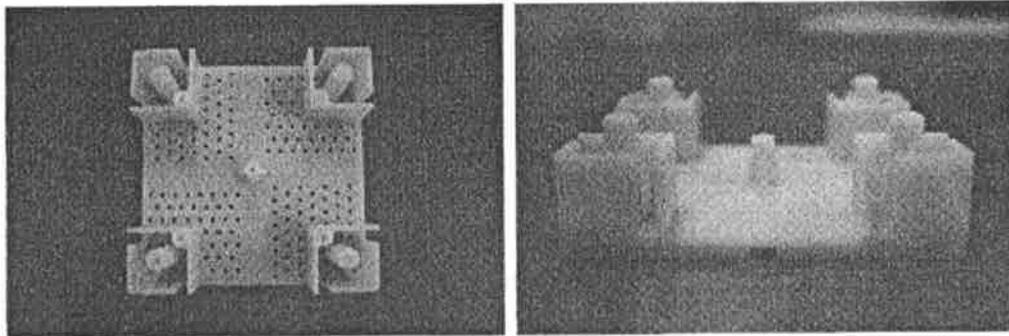


수조 모듈 전면부



수조모듈 후면부

그림 57. 수조모듈

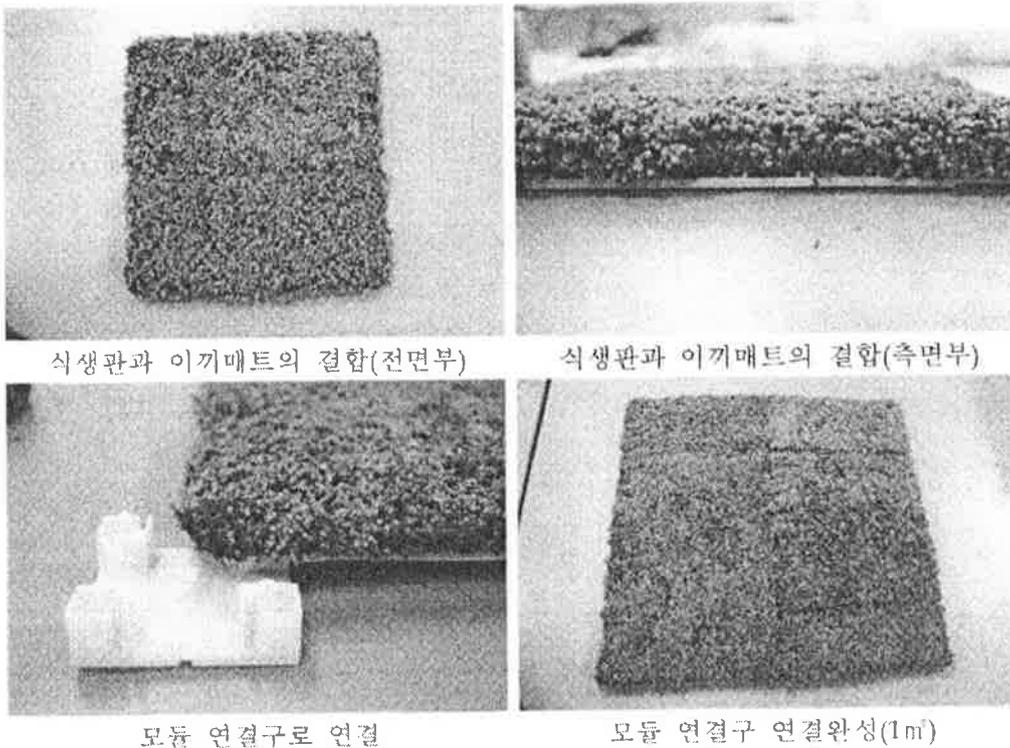


모듈 및 식생판 연결구 전면부

모듈 및 식생판 연결구 측면부

그림 58. 모듈 및 식생판 연결구

이끼매트를 식생판 상부에 놓고 접은 후 이끼매트 결속구로 고정된다. 가장자리 처리를 깔끔하게 함으로써 제품의 완성도를 높였다. 또한 이끼매트 식생판은 이끼생육에 적합하게 배수 및 보습기능을 유지하게 설계되었다. 이끼매트가 결합된 식생판은 모듈연결구에 의해 연결이 된다(그림 59).



식생판과 이끼매트의 결합(전면부)

식생판과 이끼매트의 결합(측면부)

모듈 연결구로 연결

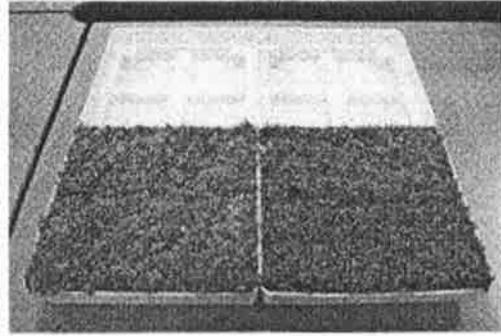
모듈 연결구 연결완성(1㎡)

그림 59. 바닥용 이끼 식생 모듈

또한 이끼 식생모듈은 수조에 연결이 된다(그림 60), 수조는 식생포트로도 사용가능하게 하였으며, 하단부에 관수파이프가 통과하도록 설계되었다(그림 61).

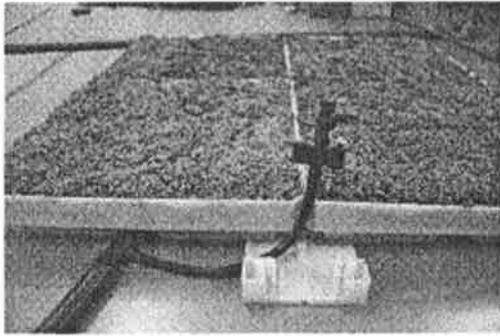


수조에 이끼식생판 연결(측면부)



수조에 이끼식생판 연결(전면부)

그림 60. 이끼 식생모듈과 수조의 연결



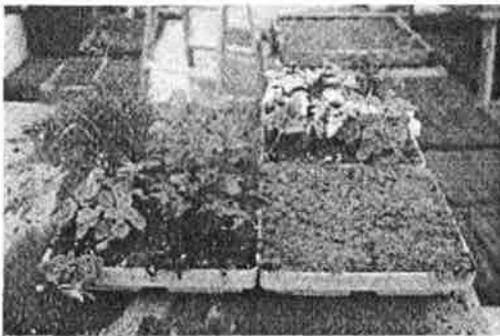
관수 파이프 연결



미니 스프링클러

그림 61. 관수 시스템

수조에 초화류 식재, 또는 이끼식생모듈만으로도 옥상녹화가 가능하고 식재배치 및 이끼식생모듈을 조합한 다양한 연출도 가능하다(그림 62).



이끼와 초화류를 이용한 연출



식생포트로 사용되는 수조

그림 62. 다양한 연출

(나) 전문가들의 의견

본 제품에 대해 조정설계 및 시공에 종사하는 3명의 전문가에게 의견을 구했다. 의견을 종합해보면 다음과 같다.

- 스프링클러가 노출되는 것은 미관을 해치기 쉬우므로 없애거나, pop-up 스프링클러를 사용하는 것이 좋을 듯함.
- 토심 10cm의 경우 옥상녹화의 최소 토심으로 야생초 또는 초화류 식재에는 적합하겠지만, 오히려 혼합식재시 이끼의 가치가 떨어질 것으로 판단된다. 또한 토심 10cm의 경우 쉽게 건조된다는 사실을 인지해야 함.
- 바닥면에 적용시 곡선처리가 가능한지의 여부가 중요하다. 설계시 변수가 많이 존재하므로 이런 변수에 대한 대체방안이 있어야 함.
- 저류시스템의 경우 빗물이나 관수에 의한 물 공급시 일정 부분은 저류되게 하고 나머지는 overflow되게 해야 물이 썩지 않을 것임.
- 딱딱한 재질보다는 좀더 유연한 재질로 제작된 모듈이 바닥면에 적용할 경우 바닥면의 상태에 구애를 받지 않아 시공편리성을 가져올 것임.

다. 일반형 옥상녹화 모듈 제작

(1) 기본 구상 배경

3년의 연구결과 저류형 시스템의 경우 습생이끼인 물이끼(*sphagnum spp.*)에서 가장 최적합한 시스템으로 판단되고 서리이끼와 같은 양지성 이끼에는 적합하지 않는 시스템으로 판단되었다. 서리이끼의 경우 저류형 시스템에서는 특히 여름철 과습에 의해 곰팡이가 발생하여 이끼의 생육이 불량해지는 것을 관찰할 수 있었다.

대부분 옥상녹화를 비롯한 수평면 녹화에 최적합한 이끼는 양지성 및 반음지성 이끼이다.

3차 년도에는 이러한 이끼 생육에 가장 적합한 제품을 개발하고자 하였다. 또한 이 제품은 제품 생산자의 입장에서가 아닌 설계자 및 소비자 입장에서 모든 변수를 고려하여 어느 장소(자연지반, 인공지반 등)에서나 어느 위치(바닥면, 수직면, 경사면)에서도 사용할 수 있는 제품을 개발하고자 하였다.

2차 기본 구상에서 개발된 바닥용 이끼 식생모듈은 정형화된 사각형 제품으로 곡선으로 설계된 디자인에 적용이 어려우며, 입체감이 떨어진다. 이끼 카페트를 생각하는 소비자들의 욕구는 충족시킬 수 있으나 이끼제품이 목표하는 자연친화적인 환경설계의 기능은 떨어진다고 할 수 있다.

현 시대의 조경 및 건축 디자인의 주요 컨셉은 자연을 담는, 자연을 모방하는 디자인을 추구하고 있다. 또한 누구나 쉽게 설계에 도입할 수 있고 연출이 가능하며, 사용할 수 있는 제품 개발이 요구된다.

(2) 기본 구상

인공지반(옥상)에 설치한 이끼매트의 경우 이끼매트의 제봉부분에서부터 이끼가 뚫고 먼저 올라오는 것을 관찰하였다. 시간이 지나면서 제봉부분이 아닌 동일한 환경에서도 이끼매트에서 제봉되어 밀착되어있던 부분에서 이끼가 가장 먼저 뚫고 올라왔으며 시간이 지나면서 다른 부분에서도 이끼의 생육이 시작되는 것을 관찰 수 있었다.



그림 63. 제봉 부분의 이끼 생육



그림 64. 들에 자생한 이끼

또한 자연에서 돌에 이끼가 착생하여 생육하고 있는 것을 보면 (그림 64)에서처럼 돌의 움푹 파인 부분에서 이끼가 착생하여 퍼지는 것을 알 수 있다. 이 두 가지 사실을 통해 (그림 65)과 같이 움푹 파인 부분에 일반적으로 물이 모이고 이 부분이 다른 부분에 비해 이끼가 생육하기에 적합한 조건을 만들어주는 것으로 판단되었다. 인공적으로 제작된 이끼매트와 자연에서 관찰되는 현상을 통해 3차 년도에 개발하고자 하는 이끼를 이용한 수평면 녹화의 모듈 시스템에 대한 구조적 해결에 대한 아이디어를 제공하였다.

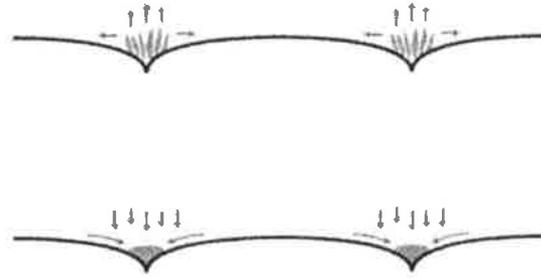


그림 65. 움푹 파인 곳의 수분공급 및 이끼생육 모식도

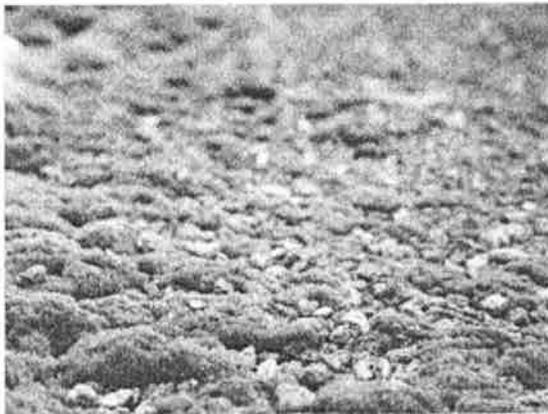


그림 66. 자갈사이에서 콜로니를 형성하는 이끼



그림 67. 자연에서 볼 수 있는 자갈

자갈이 깔린 바닥면에 이끼포자가 날아와 이끼 군락을 형성하고 있는 (그림 66)을 통해 자갈 또는 조약돌(pebble)에 이끼를 도입하는 발상을 얻었다. 자갈의 유기적 형태뿐만 아니라 자갈들 사이에서 형성되는 미세기후가 이끼가 자라기에 적합한 환경을 만들어주는 것으로 판단된다.



그림 68. 자갈 또는 조약돌의 이용

모들의 형태 또한 정방형의 평면 판넬 형태가 아닌 주먹 크기의 입체적 제품의 경우 다양한 활용이 가능 할 것으로 판단되었다. 일반적으로 자갈 또는 조약돌의 이용분야는 건축 및 조경, 인테리어의 소재 등 다양하다. 또한 개인적인 수준의 사용에서부터 대규모 공사 수준으로도 이용되어지며, 단일의 이용에서부터 복수의 이용까지 다양한 스케일로 디자인에 활용된다. 자갈의 기하학적 구조(geometry)는 우리에게 다양한 장점을 제공한다.

<자갈의 구조가 주는 장점>

1. 유연성 - 구조적 적용(Flexibility structural adaptation)
2. 다양성 - 지속가능한 적용(diversity sustainable adaptation)
3. 심미적 - 예술적 제공(aesthetic artistic presentation)

(3) 1차 디자인

(가) 자갈의 형태에 대한 연구

본 연구기관이 개발하고자 하는 이끼자갈(moss pebble)은 단위객체 하나만으로도 이끼의 생육을 도울 수 있는 구조이어야 하며, 내부에 이끼가 삽입되어 이끼가 생육되어 자라면서 이끼가 낀 자갈의 형태를 유지하는 것을 특징으로 하는 것이어야 한다. 또한 각 객체들이 서로 겹쳐있어도 내부의 이끼의 생육을 도와야 하는 구조이어야만 한다.

1차적으로 시중에서 장남감으로 유통되는 그물망구조의 원형 공에 이끼를 충전했다. 그물망구조가 뿌리가 없는 이끼를 잡아주기에는 적합하였으나 완전한 구 형태는 쉽게 굴러 적합한 구조가 아님을 알게 되었다.

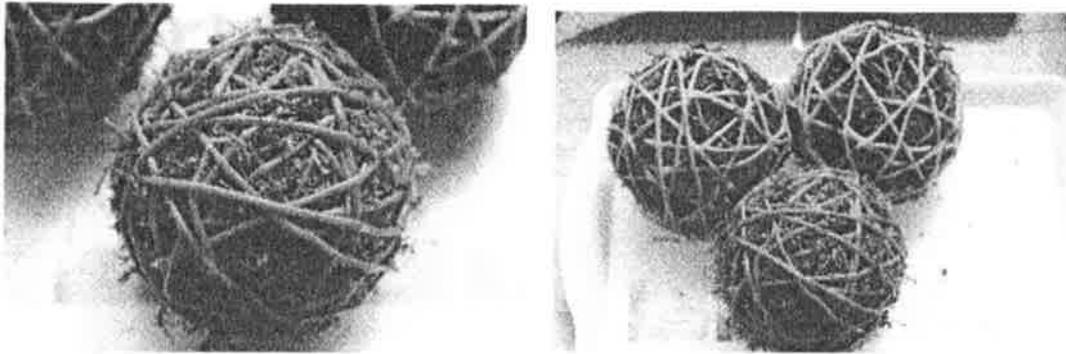


그림 69. 원형 실타래 모형의 장남감 공에 이끼 충전

자갈모양 및 제품에 대한 디자인은 하버드 디자인대학(Harvard University Graduate School of Design)과 공동연구로 진행되었다. 제품의 모양은 자갈과 가장 유사하게 만들어내고자 하였다. 또한 바닥면에 어떤 방향으로 놓이더라도 독립적으로 세워질 수 있는 구조가 용이한 것으로 판단되었다. 원과 삼각형의 조합에서 가장 자갈과 유사한 모양을 선택하였으며, 이를 3차원적으로 가공하였다.

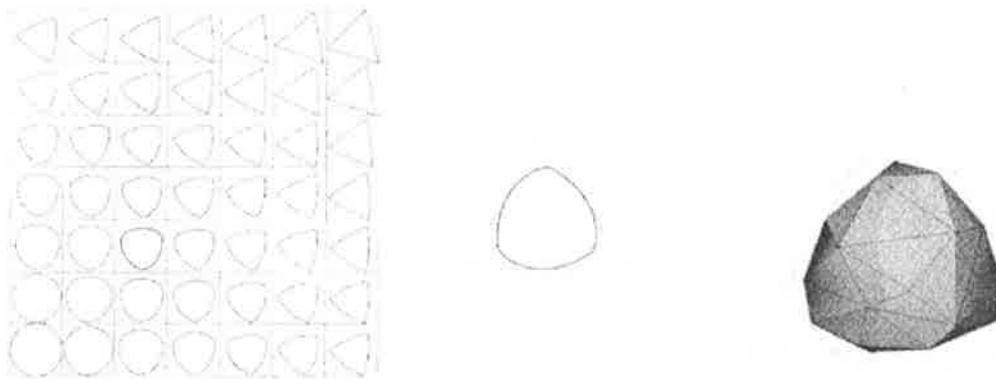


그림 70. 자갈모양의 도출

각진 부위와 표면을 보다 부드럽게 처리하여 자연적인 느낌을 주도록 디자인 했으며, 스스로 세워질 수 있도록 3개의 평평한 면을 만들었다. 놓여진 방향에 따라 다양한 형태를 띠게 된다.

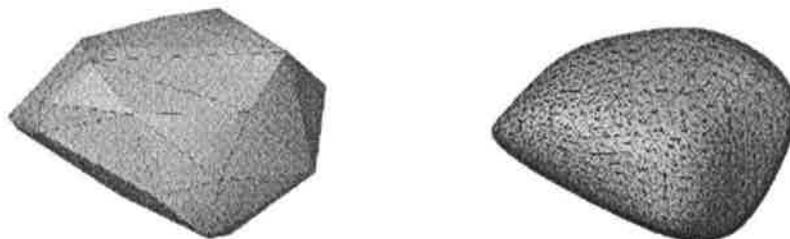


그림 71. 자갈 표면 처리

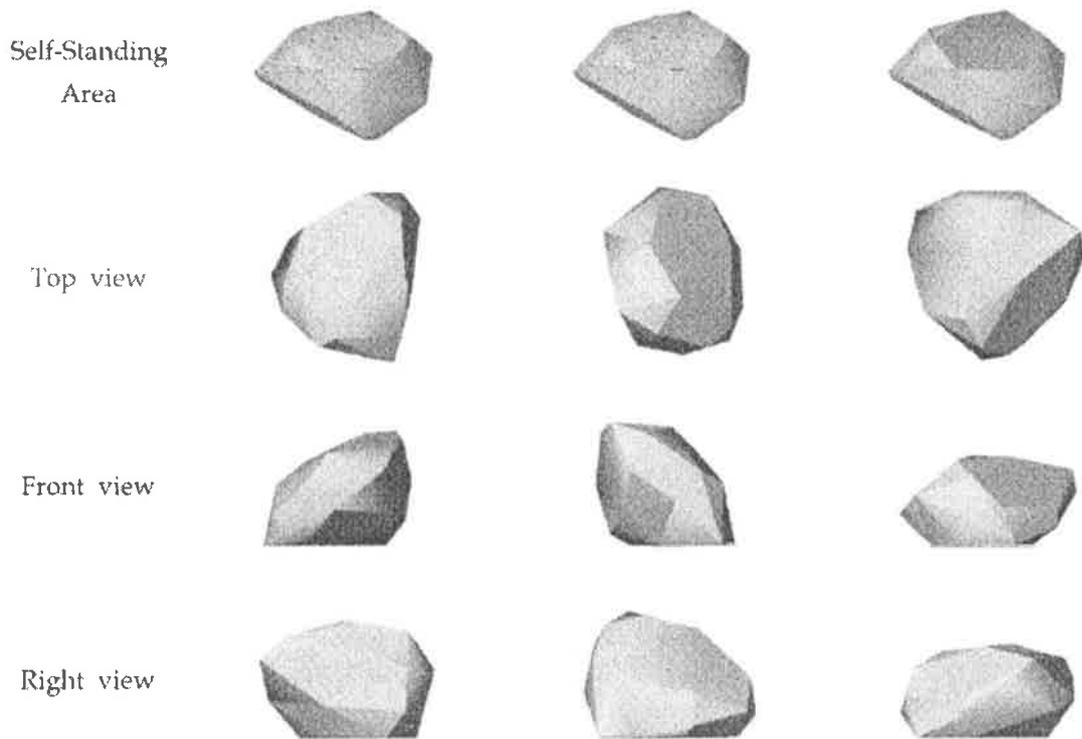


그림 72. 3개의 Self-standing면과 다양한 시점에서의 형태

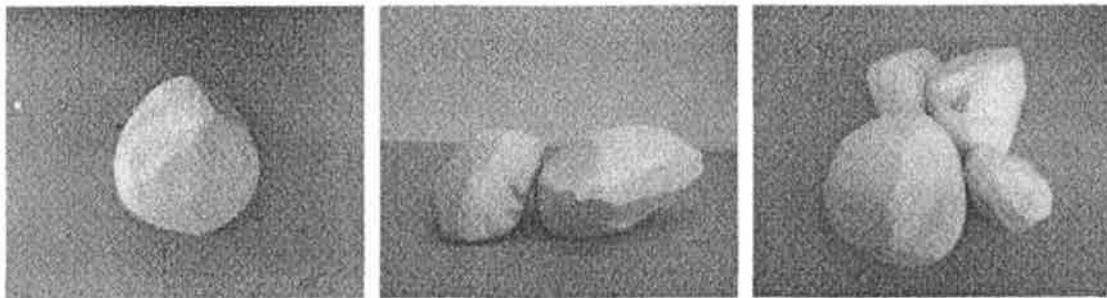


그림 73. 스티로폼을 이용한 자갈모양에 대한 고찰

(나) 시제품 제작에 대한 연구

내부에 이끼를 넣었을 경우 뿌리가 없는 이끼를 잡아주고 이끼의 생육에 적합할 것으로 판단되는 4가지의 형태의 외부면 구조를 디자인 하였다. 첫 번째의 경우는 장남감과 같은 실타래 구조로 되어있어 금형으로 제작이 불가능하였고, 두 번째 구조의 경우 이끼가 생육되는 면적이 적은 형태로 제외시켰다. 세 번째 구조와 네 번째 구조를 mock-up으로 제작하여 내부에 이끼를 채워보았다.

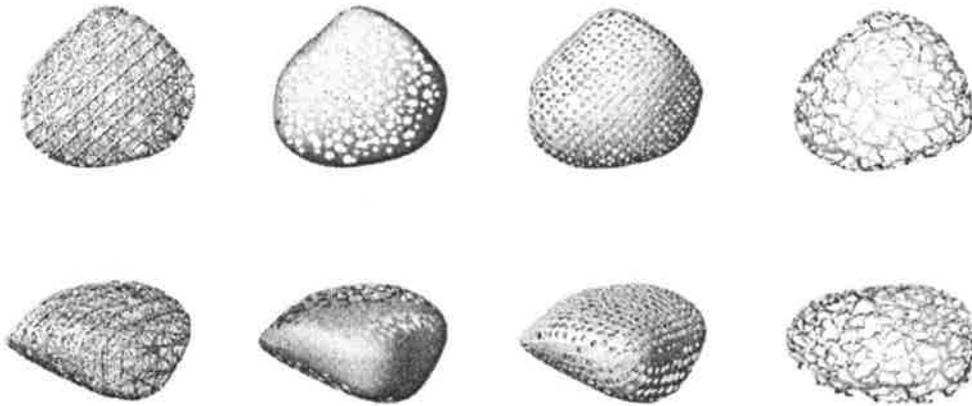


그림 74. 자갈모형의 외부 표면 구조 디자인

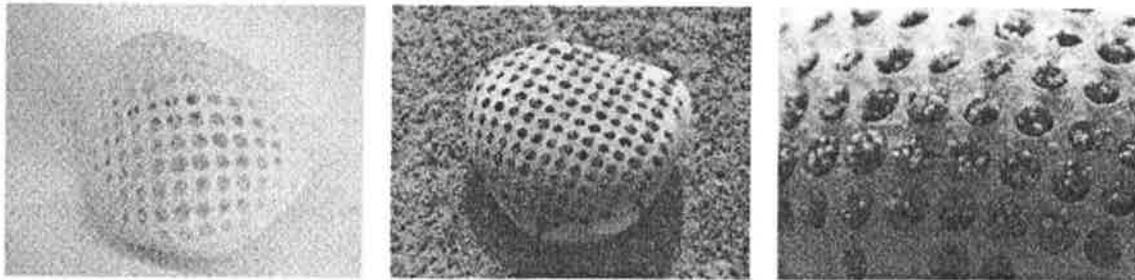


그림 75. 외부 표면이 원형 구멍 구조로 된 시제품 제작

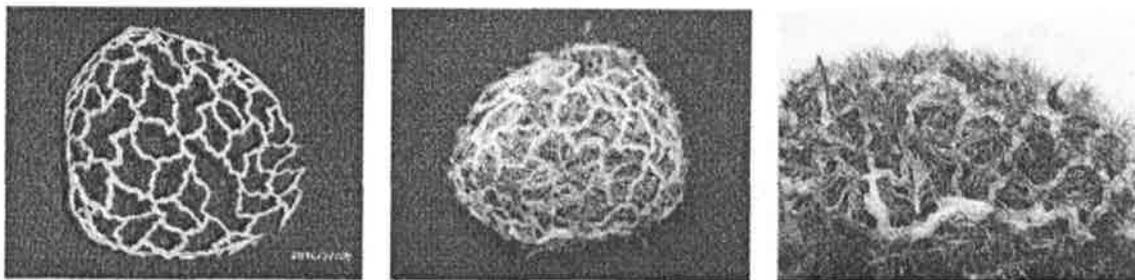


그림 76. 외부표면이 불규칙적 라인구조를 가진 시제품 제작

세 번째 구조는 면에 구멍이 뚫려 있는 형태로 빗물이 쉽게 내부로 유입되지 않았으며, 이끼 생육면적이 부족하였다. 네 번째 구조는 빗물의 유입은 원활하고 이끼생육면적이 넓으나, 구조물의 강도가 매우 약하였다. 구조적 강도와 빗물의 유입, 이끼 생육면적 등을 고려한 2차 디자인이 필요하였다.

(4) 2차 디자인

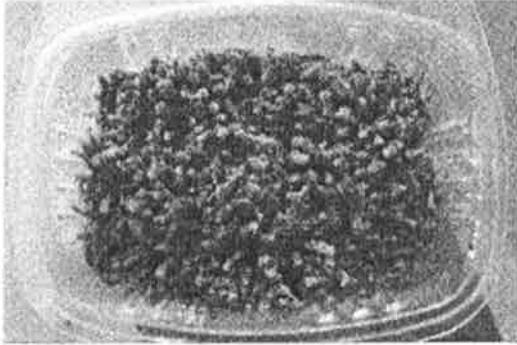


그림 77. 습윤상태의 서리이끼

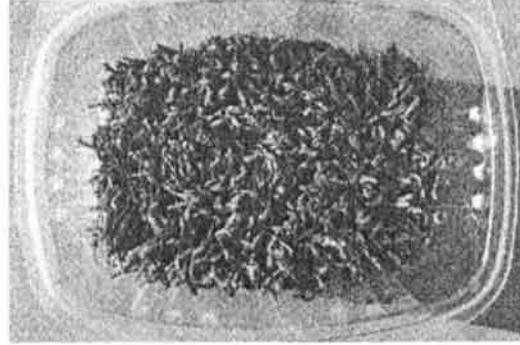


그림 78. 건조상태의 서리이끼

이끼는 건조(desiccation)에 대한 강한 내성(tolerance)을 갖도록 진화된 대표적인 변수성 식물(poikilohydric plant)이다. 관속식물은 영구 위조점(permanent wilting point)을 갖기 때문에 일정수준의 수분이 유지되지 않으면 생명을 잃지만, 이끼는 임시 위조점(temporary wilting point)을 갖고 있어 건조에 강한 생리적 특성을 지니고 있다. 변수성 식물이란 수분을 조절할 수 있는 기관이 없어 외부와 식물 내부의 수분 포텐셜(water potential)을 빠르게 평형에 이르게 하는 식물이다. 외부와 수분 조건이 맞지 않으면 몸 안에 있는 수분을 버려 신진대사를 중단한 채 가사상태(假死狀態)에 빠진다. 잔디와 달리 이끼는 극심하게 축고 건조한 기간에는 어두운 녹색을 띠며 수축되어 건디어 내다가 여름철 강우에 쉽게 밝은 녹색으로 변하는 것을 볼 수 있다. 이끼식물은 공기 중으로부터 수분과 영양분을 흡수하기 때문에 수분(moisture), 산성도(acidity), 그늘(shade)의 조건만 충족되면 생육이 가능하다. 이끼의 생육에 있어 핵심은 바로 이끼 주변에 형성되는 미기후(microclimate) 또는 미세기후(Nano-climate)라 판단된다.

2차 디자인의 중점은 이끼의 생육에 도움이 되는 미세기후를 인위적으로 형성, 즉 물과 바람, 그늘을 만들어줌으로써 보다 이끼의 생육 및 정착에 유리한 조건을 만들어주고자 하였으며, 구조적 안정성을 피하였다.

빗물이나 관수에 의한 수분 공급시 페블 내부로 물이 쉽게 유입이 될 수 있게 하였으며, 미세한 공기흐름 또는 바람에 의해 쉽게 수분이 증발되는 것을 방지하게 위해 언덕을 만들어주었고, 또한 이 언덕을 통해 자연광이 강한 조건에서 그늘을 만들어줌으로써 수분 증발을 최소화할 수 있는 구조를 디자인하게 되었다. 또한 자갈이 어떤 방향으로 세워지더라도 이러한 기능을 수행할 수 있는 구조로 만들었다.

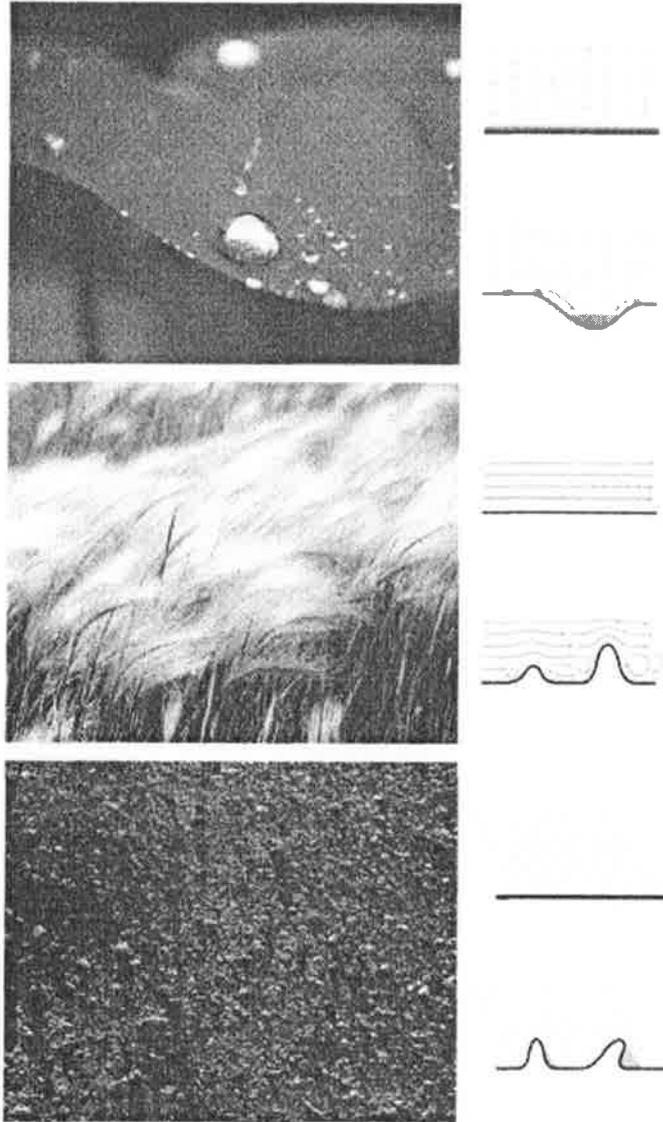


그림 79. 미세환경에 대한 디자인적 고찰(수분, 바람, 빛)

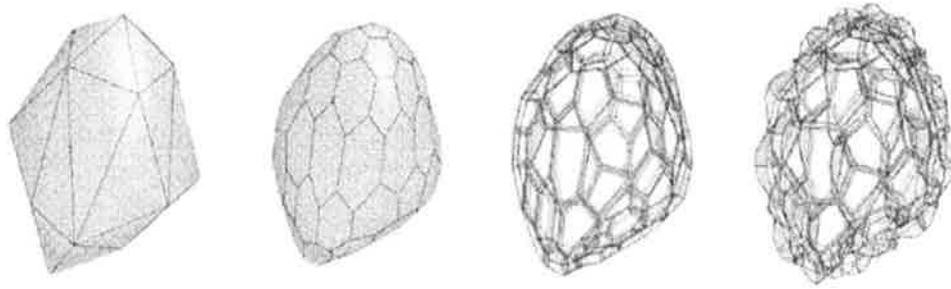


그림 80. 미세환경을 고려한 모스페블의 형태에 관한 디자인 도출

페블은 1차적 기능인 내부에 들어간 이끼를 잡아주는 그물망 구조로, 이끼생육면적이 되도록 넓게, 그리고 어떤 방향으로 세워지더라도 물을 모우고 바람 및 광을 차단해주는 기능을 갖도록 디자인 하였다. 이러한 특성을 가진 3개의 제품에 대한 디자인을 완료하였고 시제품 (mock-up)을 제작하였다.

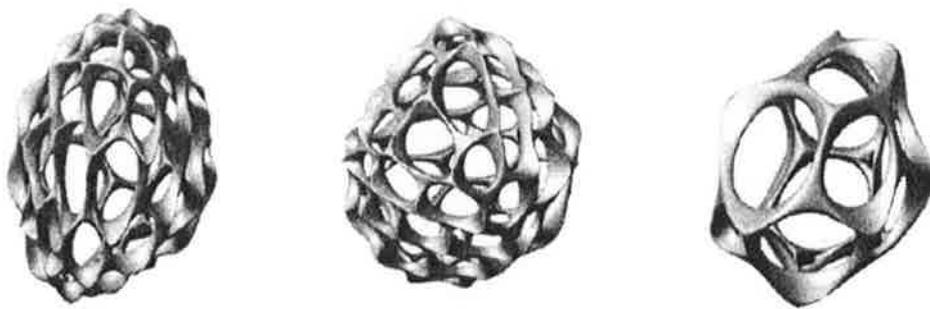


그림 81. 3가지 type의 모스페블 최종 디자인

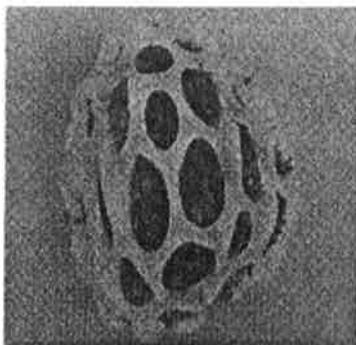


그림 82. 제품타입 1

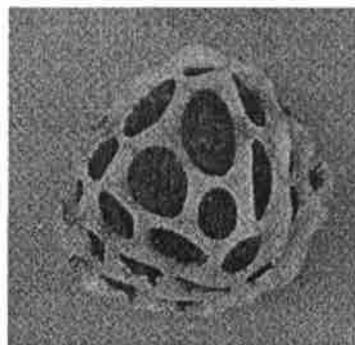


그림 83. 제품타입 2

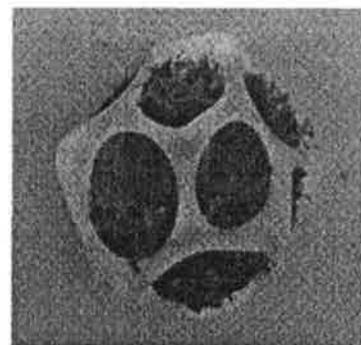


그림 84. 제품타입 3

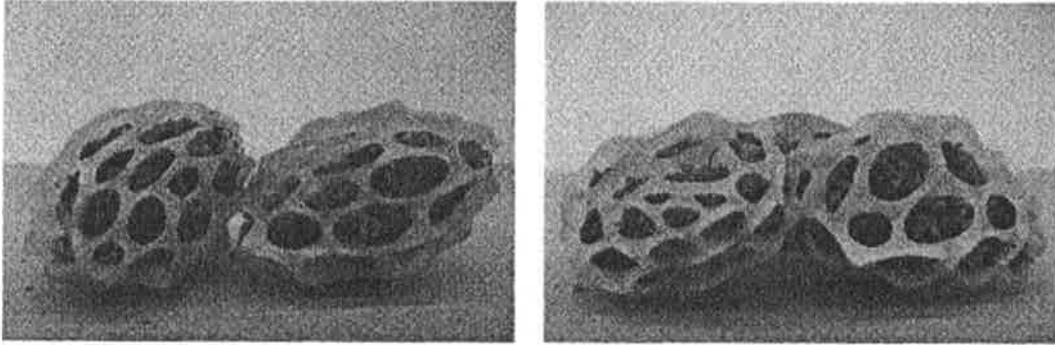


그림 85. 모스페블 최종 mock-up

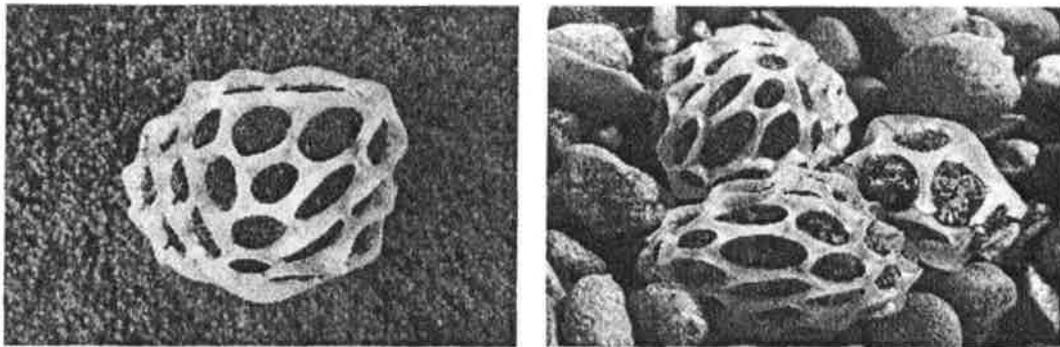


그림 86. mock-up제품을 이용한 연출

(5) 제품 개발 완료

3차 년도에 개발된 제품명 '모스페블(moss pebble)'은 쉽게 바닥면에 자갈을 깔듯이 적용하여 이끼를 이용한 수평면 녹화를 할 수 있는 시스템이다. 모스페블 내부에는 이끼에 적합한 식생기반 및 생육된 이끼를 집어넣어 줌으로써 자연적으로 이끼가 생육할 수 있으며, 필요에 따라서는 포설된 모스페블 하단부에 관수라인을 설치하고 pop-up 스프링클러를 달아 모스페블에 인위적인 수분공급 또한 가능한 제품이다. 그리고 바닥면의 종류(콘크리트의 인공지반 또는 흙으로 된 자연지반)에 구애받지 않으며, 주먹크기의 작은 제품이므로 여러 개의 모스페블을 이용하여 연출하고자 하는 다양한 형태의 디자인을 만들어 낼 수 있다. 또한 책상 위에 놓인 하나의 화분처럼 모스페블 하나의 제품을 가지고도 활용가능하다. 모스페블은 다양한 색상으로도 제작 가능하므로 이끼가 모스페블 구조물을 감싸기 전까지는 모스페블 구조물의 색상을 이용한 디자인적 연출도 가능하다.



그림 87. 최종 제품 모스페블

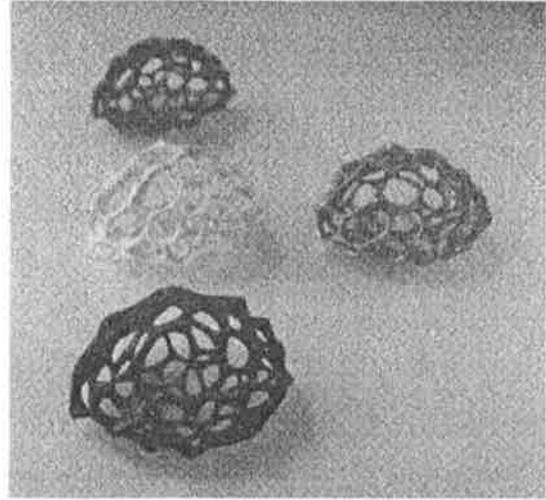


그림 88. 다양한 색상의 모스페블

2. 이끼방음벽(수직벽체) 시스템에 적용 가능한 시스템 개발

본 주관기관의 2차년도 연구개발 목표는 이끼류를 이용한 기존에 설치된 방음벽 또는 수직벽체에 적용 가능한 녹화시스템을 개발하는 것이다. 소음차단을 목적으로 설치된 방음벽은 주변 환경과의 이질감, 흡음재의 환경적 폐해 및 흡음성능 저하, 마멸 등에 의한 더러움 등으로 도시경관을 저해하고 있다. 이에 따라 방음벽 녹화를 통해 흡음성능을 일정부분 개선하고 도시미관의 질을 높이려는 시도가 증가하고 있다. 현재 많은 지자체에서 도시생태계 개선추진에서 방음벽 녹화를 시행하고 있지만 방음벽 하단에 식물을 식재할 수 있는 최소한의 자연지반 및 식재기반 설치공간이 확보된 곳에서만 가능하고 사용되는 덩굴식물의 종이 일정해 도로경관의 다양성을 저해하며, 녹화시 장기간의 시간이 소요되며, 겨울철에는 낙엽이 지면서 앙상한 가지만 남아 오히려 방음벽의 황량함을 더욱 가중시키는 문제점을 안고 있다.

현재 개발된 식생방음벽은 ① 매트형으로 사전 제작된 식생블록을 목재나 철재 등의 지지구조체 사이에 적층하거나, 기존 방음벽의 전면에 토양을 마련하고 다양한 식물을 식재하여 방음벽과 식물이 일체로 되어 녹화효과와 경관미를 높여주는 벽면형 식생방음벽, ② 목재나 철재 등의 지지구조체에 투명방음판을 설치하고 그 양면에 식물이 식재된 화분형 방음판을 혼합 설치하여 일부 투시된 공간 확보와 더불어 다양한 식물을 식재할 수 있는 화분형 식생방음벽, ③ 화분형 식생방음벽과 벽면형 식생방음벽을 혼합 설치하는 것으로 다양한 식물의 식재와 더불어 일부 투시된 공간 확보를 할 수 있는 혼합형 식생방음벽이 있다.

이러한 식생방음벽은 시공과 동시에 녹화가 가능하다는 장점을 지녔으나 유지관리차원에서 많은 문제점을 가지고 있다. 지속적인 관수가 이루어지지 않거나 식재토양의 양분이 고갈되었을 경우 식물의 생육이 좋지 않을 수 있으며 심지어 고사되는 경우가 발생하여 도시 경관을 오히려 해치는 역효과가 발생할 수 있다. 또한 전정작업 없이 방치시켰을 경우 식물이 과생장하여 도로변에 침범함으로써 사람이나 차량의 통행에 불편을 가져올 수 있다. 따라서 빈번한 식물의 교체, 주기적인 전정작업 및 양분공급, 지속적인 관수 등 관리비용이 발생하는 단점이 발생한다.

당해년도 연구 개발은 자연 현상에서 관찰되는 이끼의 생태적 특성 - 식생 기반 없이도 무기환경에서 성장하는 능력 - 을 이용하여 기존 방음벽의 문제점을 극복하는 한편, 건물의 수직벽면에도 적용가능한 제품을 개발하고자 하였다.

가. 단위모듈 디자인을 위한 부분 기술 개발

수직벽체에 적용가능한 이끼모듈 시스템을 개발하기 위해 선결과제로 ① 적정 수분공급 방식을 도출, ② 보습층의 소재를 검증, ③ 다양한 연출을 위한 실험, ④ 생육된 이끼매트를 적용하는 실험을 수행하였으며, 일부는 대규모 현장에 적용하여 검증을 거쳤다. 이러한 일련의 실험을 통해 도출된 문제점 및 개선방안을 종합하여 단위모듈화를 위한 시제품 제작 및 최종 제품을 개발하였다.

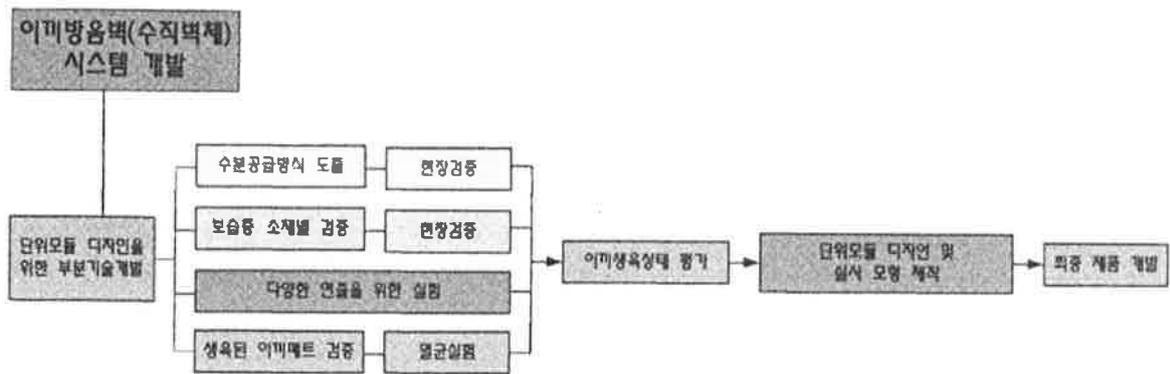


그림 89. 이끼방음벽(수직벽체) 시스템 개발 연구 흐름도

(1) 수분공급 방식 도출 및 현장 검증

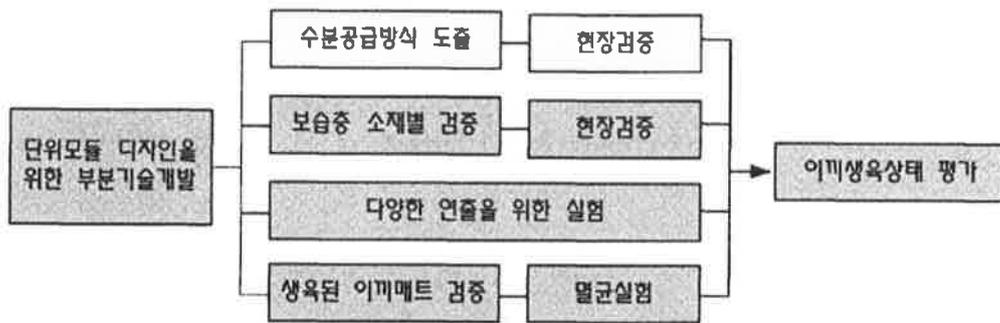


그림 90. 연구흐름도(수분공급 방식 도출 및 현장검증을 통한 이끼 생육상태 평가)

일반적으로 스프링클러나 지중식 저면관수에 의해 수분을 공급하는 옥상녹화시스템과 달리 수직면에 적용 가능한 수분공급방식은 한계가 있다. 당사가 기존에 사용하였던 점적관수파이프를 상단에 설치하여 수직면에 적용하는 수분공급방식은 현장의 여건에 따라 많은 문제점을 안고 있다. 대상면적의 크기, 공급수압 등 고려해야 할 요소가 많았다. 대상면적이 길 경우 관수가 시작되는 부분과 끝나는 부분에 균일한 관수가 이루어 지지 않고, 공급 수압이 약할 경우 끝나는 부분까지 관수가 공급되지 않아 관수구획을 나누어야 하는 어려움이 있었다.

○ 실험개요

구분	내용
기간	2009년 3월 ~ 6월
장소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	실험구 - 각각 2㎡(평면형, 굴곡형), 경기도 용인
광시재료	<i>Racomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼)
측정	생육상태(사진촬영에 의한 육안 판단)

실험구는 2m(W)×2m(H)의 목재 프레임을 설치한 후 전면부에 평면형 매트(유형 A)와 굴곡형 매트(유형 B)를 설치하였다. 수직면에 이끼매트를 적용하는 경우는 수평면에 적용하는 경우에 비해 수분유실이 더 빠르므로, 그림과 같이 수중모터에 의해 상단부 U형관에 공급된 물이 흡수부직포에 의해 흡수되어 이끼매트에 수분을 공급하고 다시 수조로 모여 계속하여 물이 순환하는 시스템을 사용하였다(그림 91).

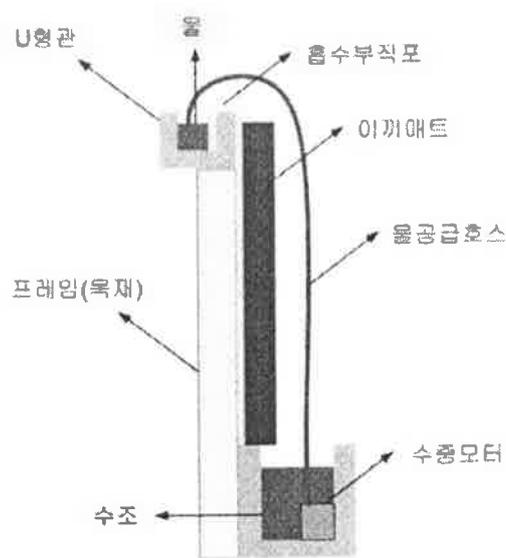
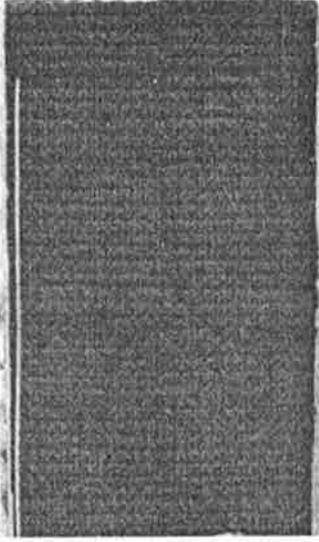
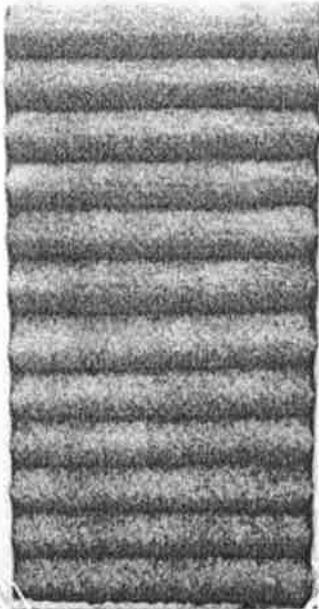
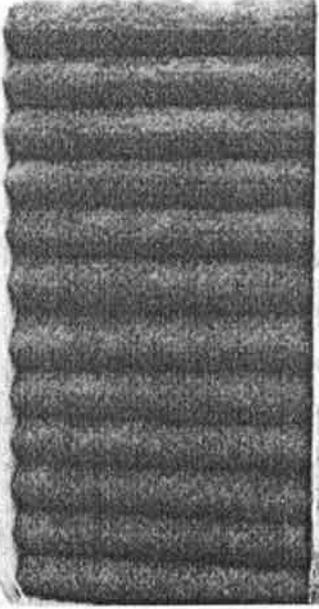
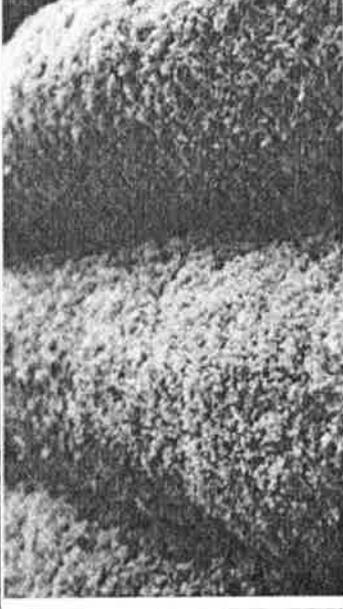


그림 91. 물 순환시스템을 이용한 수분공급 방식 모식도

○ 결과

시공후 3개월이 경과된 시점에서 관찰결과, 평면형, 굴곡형 모두 이끼 생육상태가 양호하였으나, 서리이끼의 경우 굴곡형에서 골이 파진 부분에서 생육이 미흡했고, 털깃털이끼의 경우에는 이 부분에서 생육이 왕성했음을 관찰하였다. 또한 흡수부직포에 의한 수직벽면 관수방법으로 수직면 전면관수의 가능성을 보았다. 하지만 하단부에 설치된 수조에 지속적으로 물을 공급해야 한다는 단점이 있었다.

표 5. 각 유형별 생육상태 비교

	시공 후	시공후 3개월	시공후 3개월 상세사진
유형A 평면형			
유형B 굴곡형			

○ 현장 적용 개요

구 분	내 용
기 간	2009년 6월 - 계속
장 소	일송환경복원(주) 공장 건물 벽면, 충북 청원군, 서남방향
대상면적	40㎡, 이끼종류(2종류)
공시재료	<i>Rhacomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼)
측 정	생육상태(사진촬영에 의한 육안 판단)

물 순환시스템에 의한 수직면 수분공급방식을 이용하여 현장적용 실험을 실시하였다(그림 92). 상단부에는 서리이끼를 하단부에는 털깃털이끼를 사용하였으며 기존에 사용한 이끼매트(건조물이끼를 보습층으로 사용한 매트)와 구조적으로 비슷하게 다른 시공방법을 사용하여 이끼녹화를 실시했다. 수중모터(65W, 2개)를 설치하여 최상단에서 양 옆으로 흘러 다시 아래로 모이게 설계하였으며, 하부 수조에 물이 없을 경우 상수도가 공급되게 하였다(그림 94).

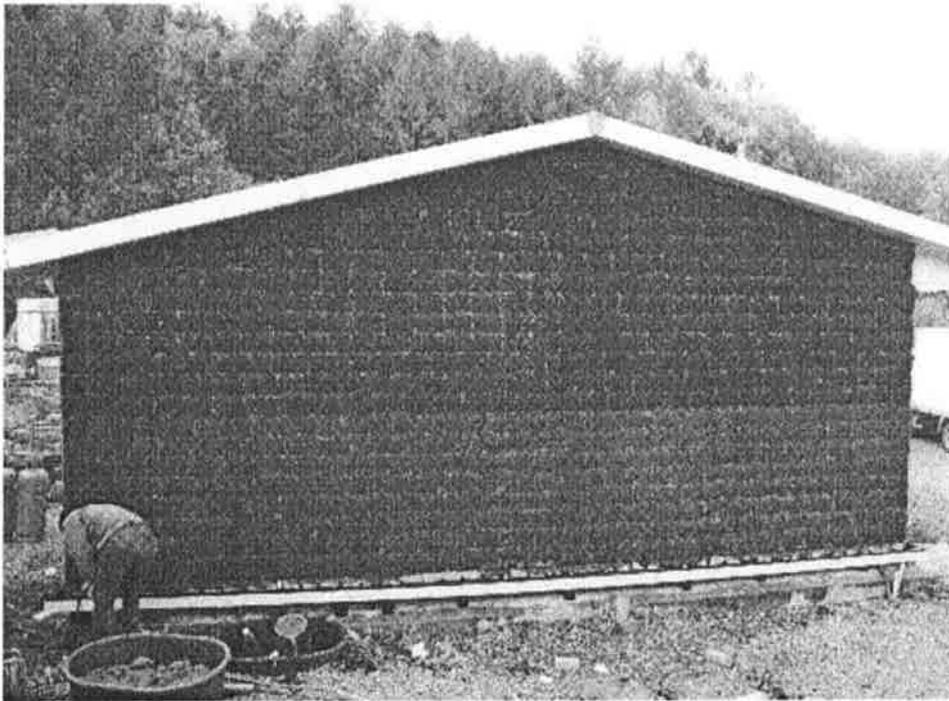


그림 92. 물 순환 시스템을 이용한 수직면 수분공급 방식 현장 적용(시공직후), 충북 청원군, 2009년 6월



그림 93. 현장 적용 측면사진(시공직후),
충북 청원군, 2008년 6월

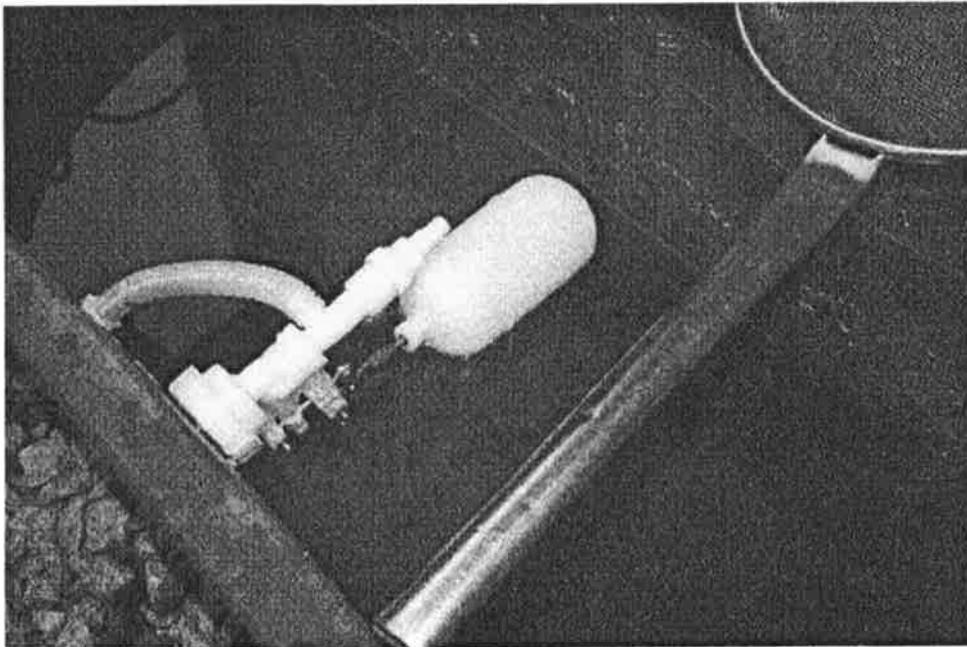


그림 94. 수조 물공급 시스템, 충북 청원군, 2009년 6월

○ 현장 적용 결과

현장 적용 결과, 단기간에 걸친 모니터링 결과이긴 하지만 물순환 시스템에 의한 수직면 수분

공급방식으로도 이끼 생육이 가능함을 다시 확인할 수 있었고, 서리이끼에 비해 털깃털이끼의 생육이 더 활발함을 관찰할 수 있었다. 기존에 사용한 이끼매트와 구조적으로 비슷하지만 다른 방식으로 이끼를 식재하였으나 효과를 거두었다. 또한 부력제를 이용한 물공급 시스템을 하부 수조에 설치함으로써 수조에 지속적인 물공급이 이루어졌다.

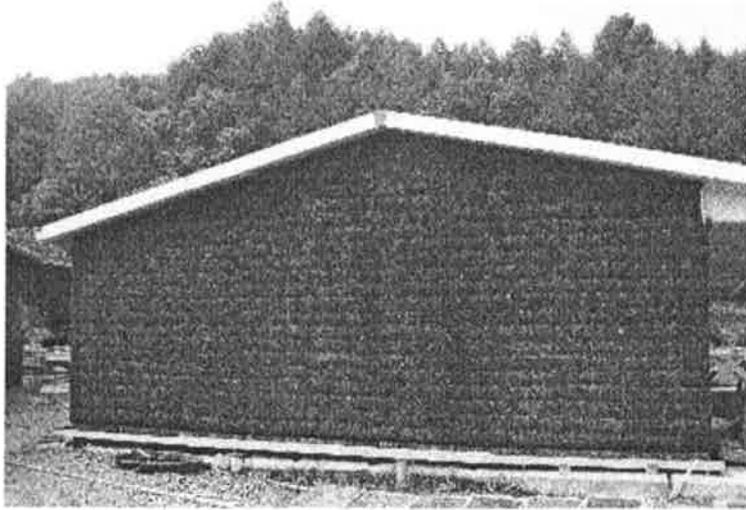


그림 95. 시공후 1개월 경과(전면사진), 충북 청원군, 2009년 8월



그림 96. 시공후 1개월 경과(측면사진), 충북 청원군, 2009년 8월

(2) 보습층 소재별 검증 및 현장 검증

수직면에 물을 공급할 경우는 수평면에 물을 공급하는 경우에 비해서 중력에 의해 더 빠르게 아래쪽으로 물이 흐르게 되어 보습층의 소재에 따라 이끼매트의 수분보유량이 다르며, 이는 이끼의 생육에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

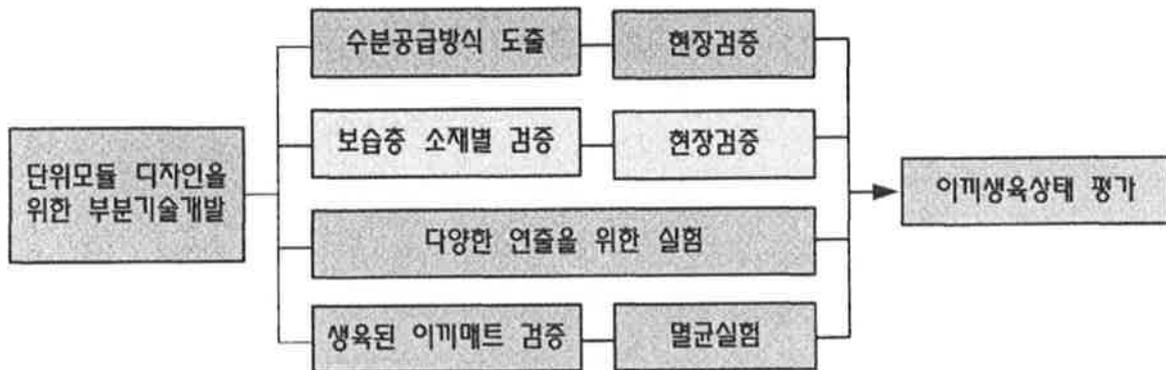


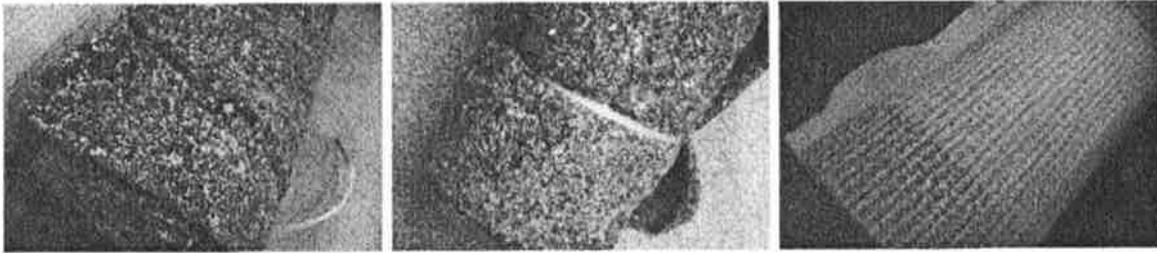
그림 97. 연구흐름도(보습층 소재별 검증 및 현장검증)

수직면의 경우 매트와 이끼생육에 적절한 수분을 보유하고 있는 것이 중요하다. 당사(일송환경복원(주))가 기존에 사용하고 있던 이끼 식생매트의 경우 건조물이끼(수태)를 보습제로 사용하였으나 그 가격이 고가이며, 분해로 인해 부피 변화와 보습기능의 저하가 발생하기에 이를 대체할 소재가 요구되었다. 또한 보습층은 수분을 지속적으로 보유하는 능력을 갖추어야 할 뿐만 아니라 과습에 의한 피해를 막기 위해 배수성도 동시에 고려해야 하므로 보습층의 소재에 대한 검토가 필요하였다.

○ 실험개요

구분	내용
기간	2009년 3월 - 계속
장소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	보습층 소재(3종류)×매트 상부 종류(2종류)×보습재유무(2종류)×3반복
공시재료	<i>Rhacomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼)
측정	피복도(사진촬영에 의한 육안 판단)

복합부직포(보온덮개)는 농업용, 공업용, 산업용으로 동과방지 덮개, 비닐하우스 덮개, 임시도로 포장, 축사 보호덮개, 공사현장 등에서 많이 사용되는 자재로 일반적으로 가뭄에는 수분을 유지시켜주며 장마에는 토사유출 방지 및 배수가 잘 되며 부패성이 없는 특징을 갖고 있다. 본 실험구에는 3종류의 복합부직포(보온덮개)를 사용하였다(그림 98).



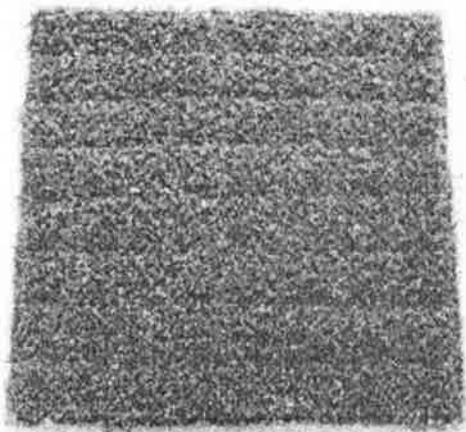
복합부직포 A

복합부직포 B

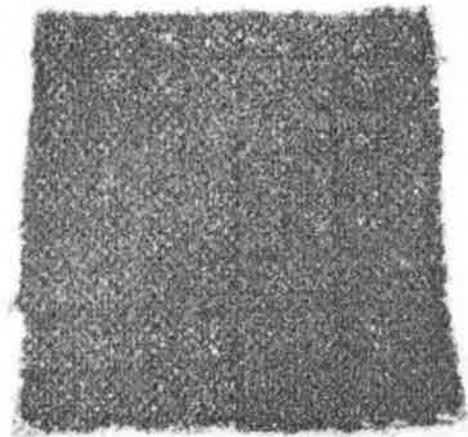
복합부직포 C

그림 98. 실험에 사용한 복합부직포(보온덮개) 종류

또한 상부매트를 기존에 사용하던 Enkamat를 앞, 뒤를 구분하여 이끼의 생육을 비교하고자 하였다. Enkamat는 3차원 망상체로 이끼를 잡아주는 역할을 한다. 기존의 매트를 그대로 사용한 A유형과 열압착으로 한쪽 면의 표면을 평평하게 가공한 B유형으로 구분하여 실험하였다(그림 11). 이와 함께 보습제(건조물이끼) 사용유무에 따른 이끼의 생육차이를 비교하고자 하였다(그림 12).

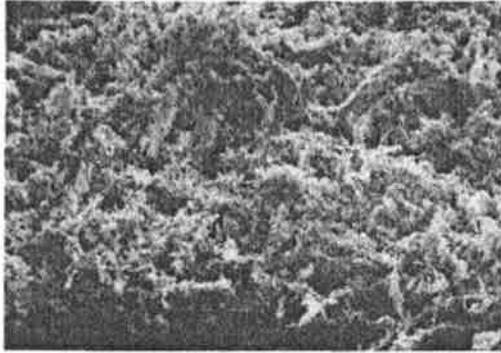


Enkamat A(열압착면 無)

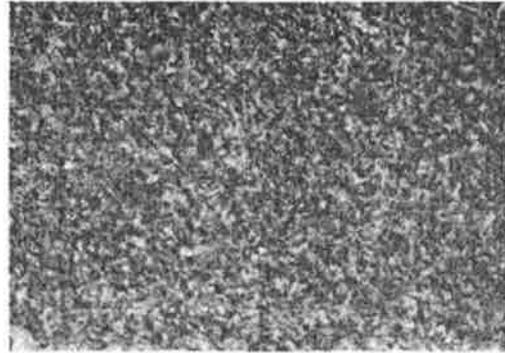


Enkamat B(열압착면 有)

그림 99. 실험에 사용한 Enkamat의 유형



보습제(건조물이끼) 有



보습제(건조물이끼) 無

그림 100 보습제 유무에 대한 유형

유형을 정리하면 표 5과 같다.

표 5. 각 유형별 조합

유형	내 용
유형 A	복합부직포 A + Enkamat A + 보습제 無
유형 B	복합부직포 A + Enkamat B + 보습제 無
유형 C	복합부직포 B + Enkamat A + 보습제 無
유형 D	복합부직포 B + Enkamat B + 보습제 無
유형 E	복합부직포 C + Enkamat A + 보습제 無
유형 F	복합부직포 C + Enkamat B + 보습제 無
유형 G	복합부직포 A + Enkamat A + 보습제 有
유형 H	복합부직포 A + Enkamat B + 보습제 有
유형 I	복합부직포 B + Enkamat A + 보습제 有
유형 J	복합부직포 B + Enkamat B + 보습제 有
유형 K	복합부직포 C + Enkamat A + 보습제 有
유형 L	복합부직포 C + Enkamat B + 보습제 有

실험에 사용되는 매트는 각 유형별로 50cm×50cm 크기로 3개씩 제작하였다.

실험구는 6m(W)×1.8m(H)의 복제 구조물을 설치한 후 방수처리를 하고, 복합부직포를 1차적으로 설치하였다. 이는 최상단에 점적관수를 할 경우 수분공급을 전체 실험구에 원활하게 보내기 위함이다. 여기에 각 유형별로 제작된 mat를 전면에 설치하였으며, 관수는 1일 1회 30분 점적 관수 하였다(표 6, 그림 101).

표 6. 실험구 조성 과정

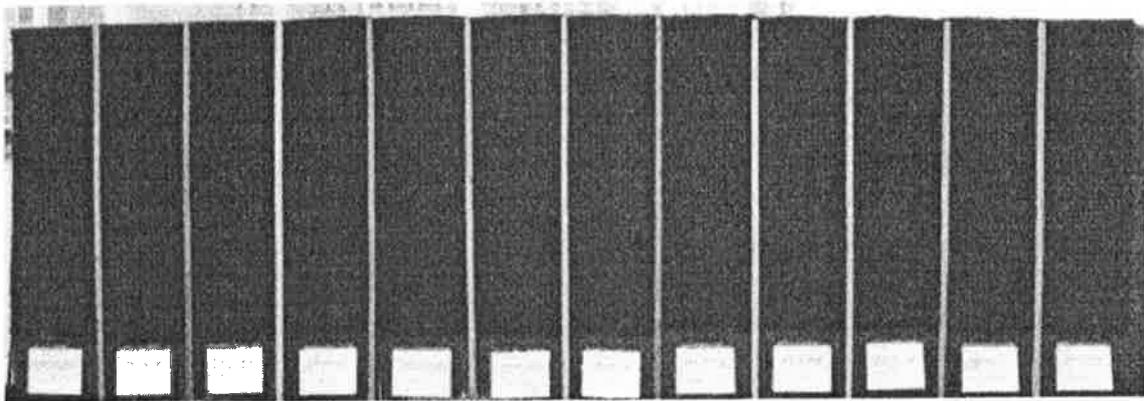
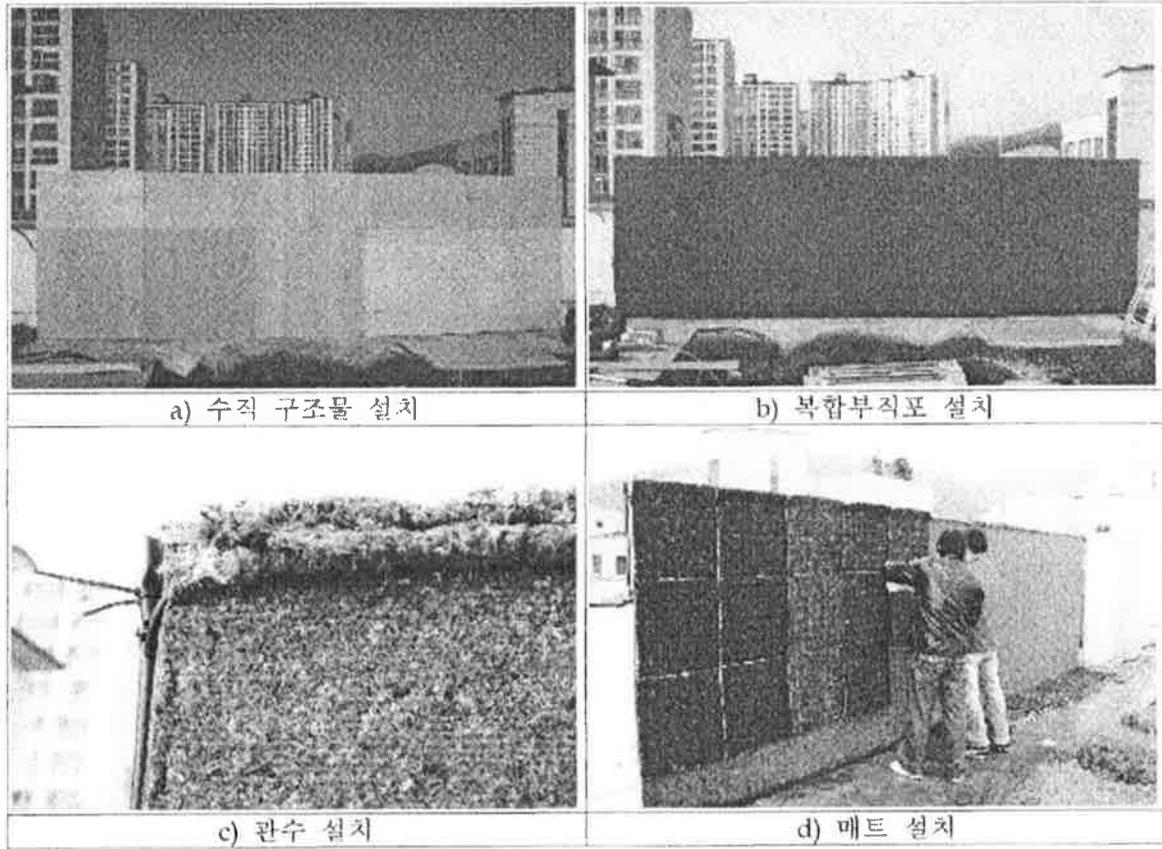


그림 101. 실험구 전경, 일송환경복원(주) 옥상, 2009년 3월

○ 결 과

실험구 조성 후 2달 정도가 되었을 때 각 유형별 피복율을 조사하였다(표 7).

표 7. 각 유형별 피복율

유형	유형A			유형B			유형C			유형D			유형E			유형F		
피복율	47	38	35	15	22	15	30	40	20	15	17	14	38	38	30	12	20	10
평균	40.0			17.3			30.0			15.3			35.3			14.0		
유형	유형G			유형H			유형I			유형J			유형K			유형L		
피복율	35	45	45	5	15	15	47	48	40	15	17	5	20	50	45	20	10	10
평균	41.7			11.7			45.0			12.3			38.3			13.3		

각 유형별 평균 피복율을 그래프로 나타내보았다(그림 102).

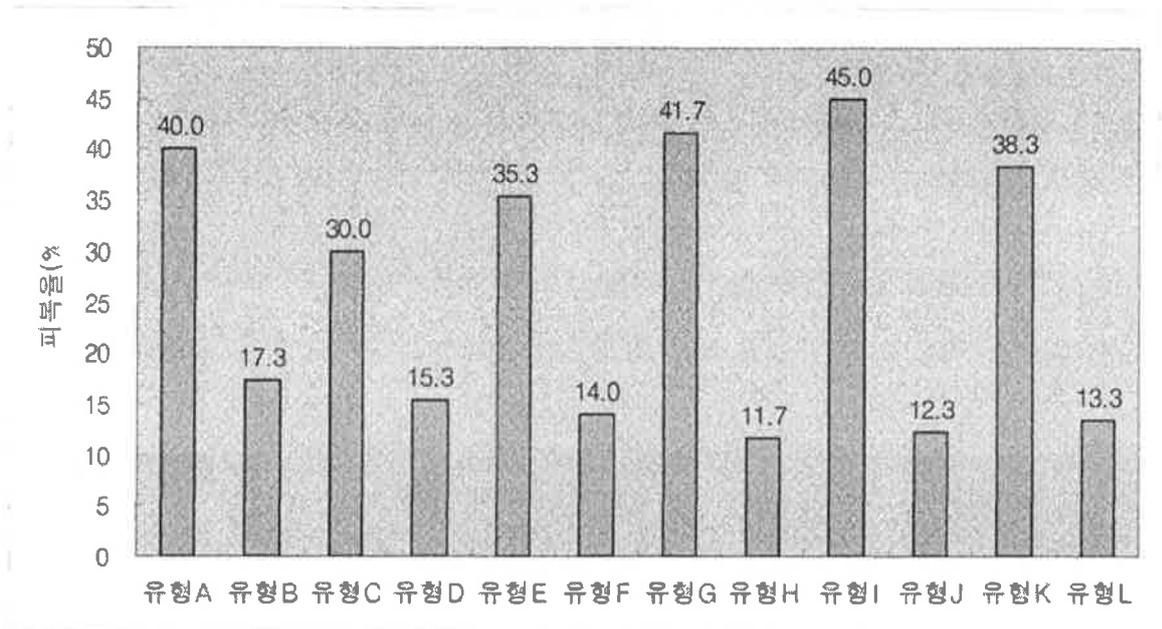


그림 102. 각 유형별 평균 피복율

유형I(복합부직포B+Enkamat A+보습재有)가 평균피복율 45%로 가장 피복율이 좋은 것으로 나타났다. Enkamat는 각 유형별로 열압착면이 없는 A형이 열압착면이 있는 B형보다 피복율이 높았으며, 열압착면이 없는 경우는 보습재가 없는 것이 피복율이 더 높았고, 열압착면이 있는 경우는 보습재가 있는 것이 더 높게 나왔다. 보습재가 없는 경우에 열압착면이 없을 때 복합부직포는 A>C>B순으로 피복도가 높았고, 열압착면이 있을 때는 복합부직포 B>A>C순으로 나타났다. 보습재가 있는 경우는 열압착면이 없을 경우 C>A>B순으로, 열압착면이 있을 경우는 B>C>A순으로 피복도가 높았다.

표 8. 유형 A(복합부직포 A + Enkamat A + 보습재 無)

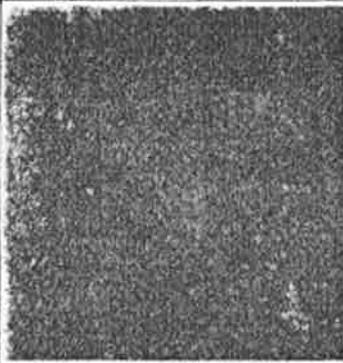
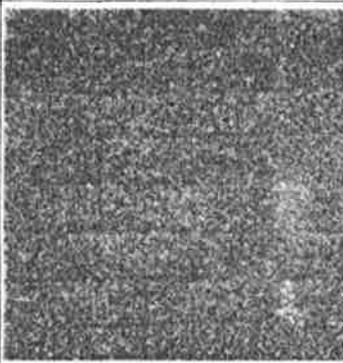
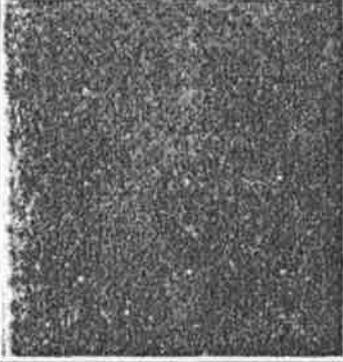
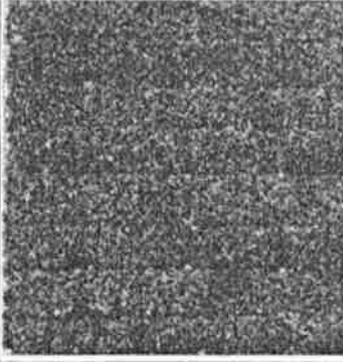
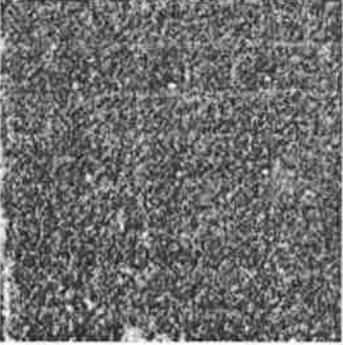
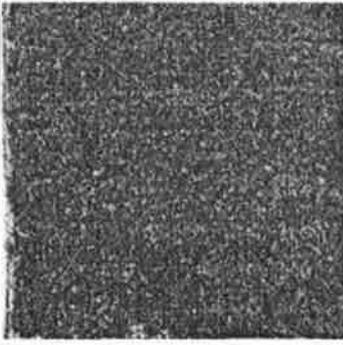
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 9 유형 B(복합부직포 A + Enkamat B + 보습재 無)

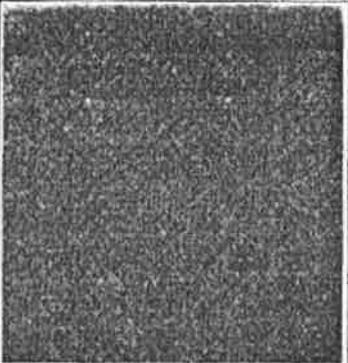
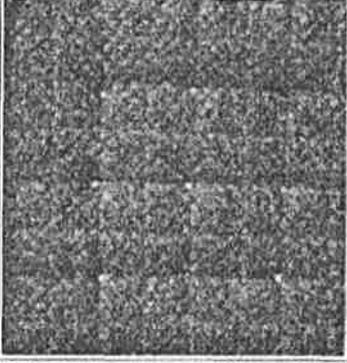
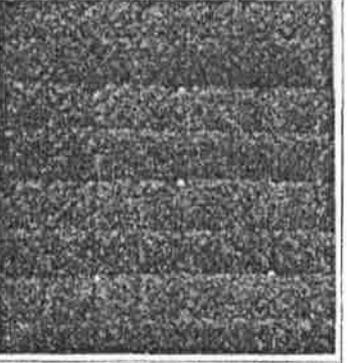
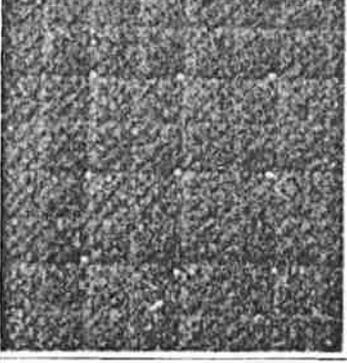
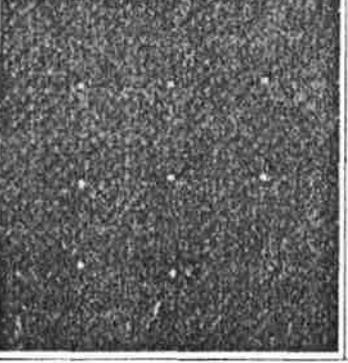
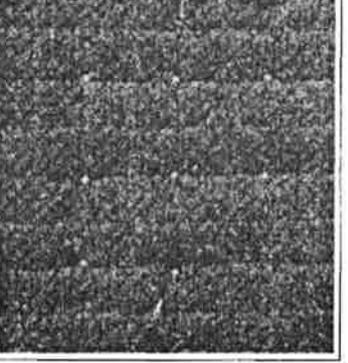
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 10. 유형 C(복합부직포 B +Enkamat A + 보습재 無)

	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 11. 유형 D(복합부직포 B + Enkamat B + 보습재 無)

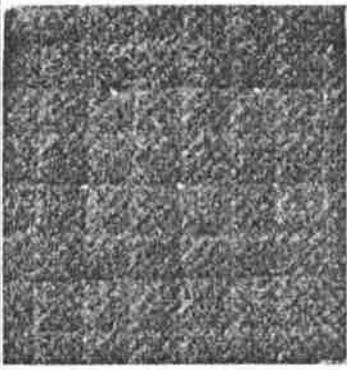
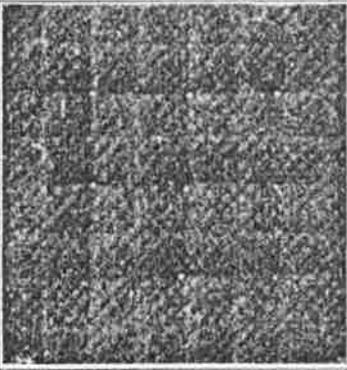
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 12. 유형 E(복합부직포 C + Enkamat A + 보습재 無)

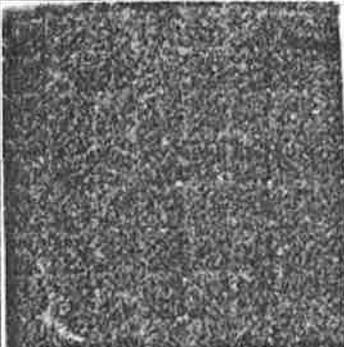
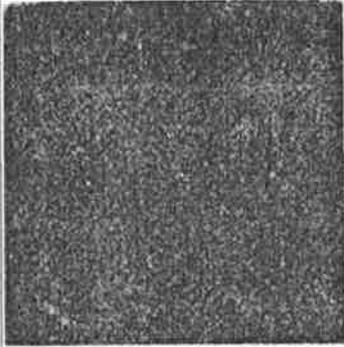
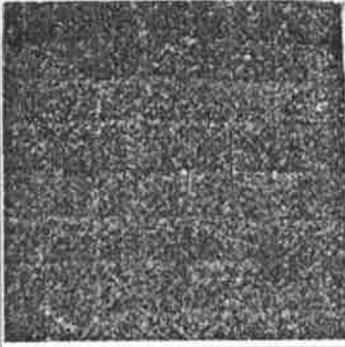
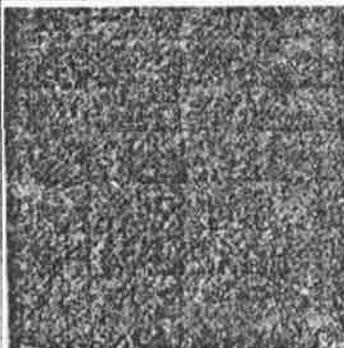
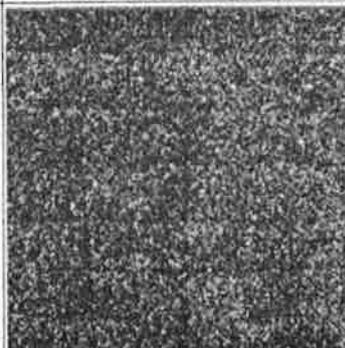
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 13. 유형 F(복합부직포 C + Enkamat B + 보습재 無)

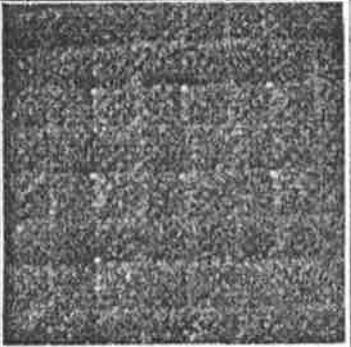
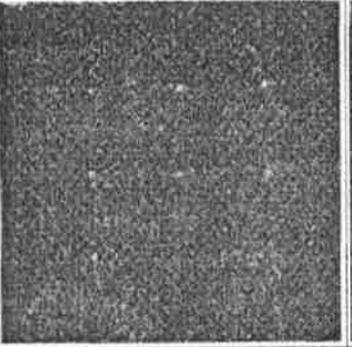
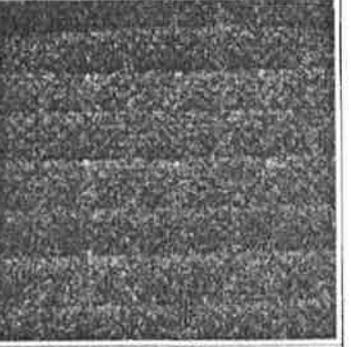
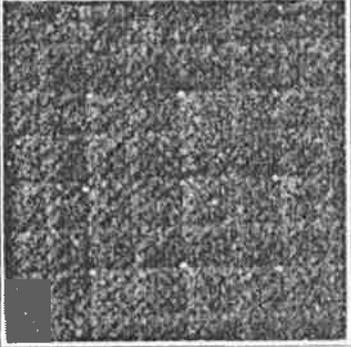
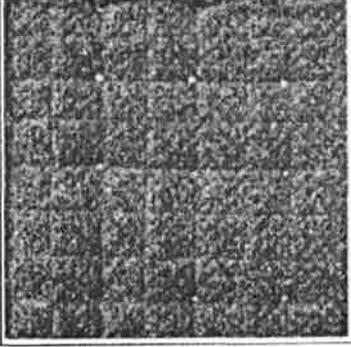
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 14. 유형 G(복합부직포 A +Enkamat A + 보습재 有)

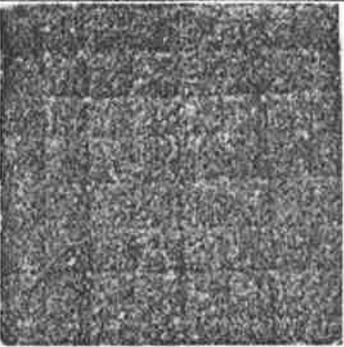
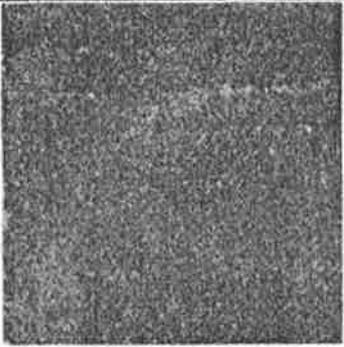
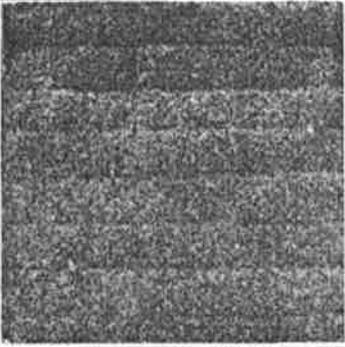
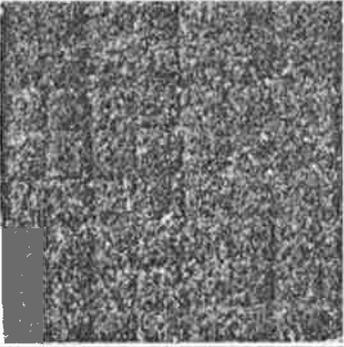
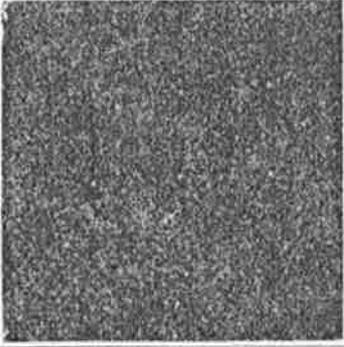
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 15. 유형 H(복합부직포 A + Enkamat B + 보습재 有)

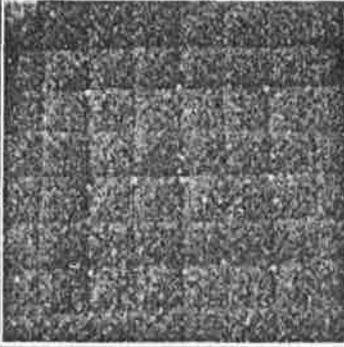
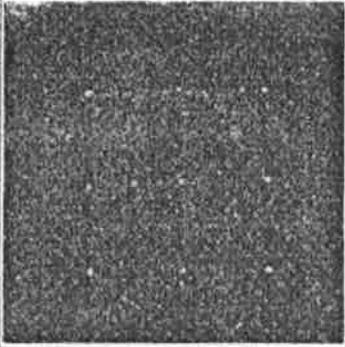
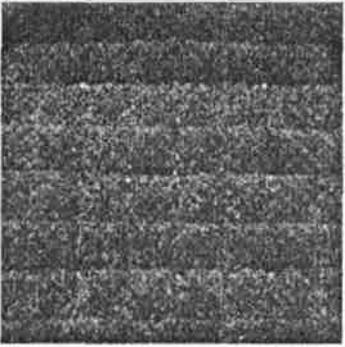
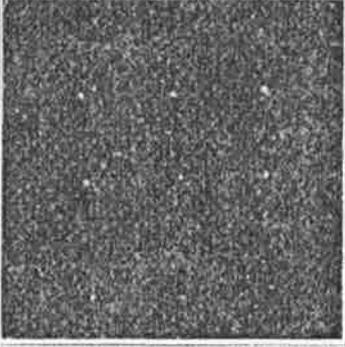
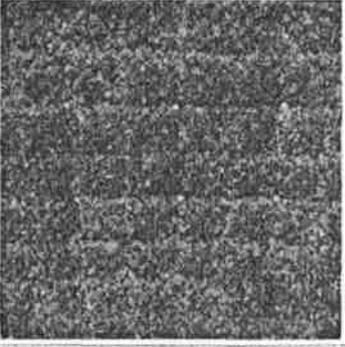
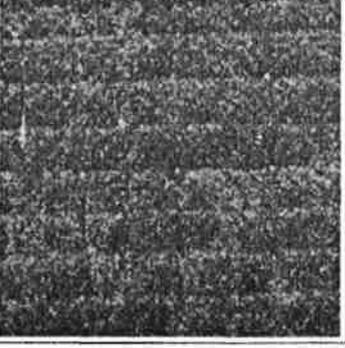
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 16. 유형 I(복합부직포 B + Enkamat A + 보습재 有)

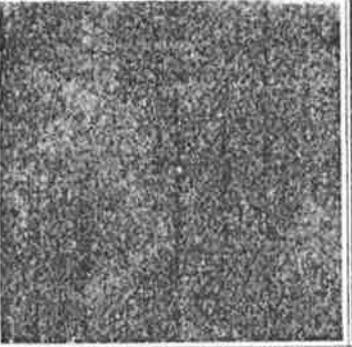
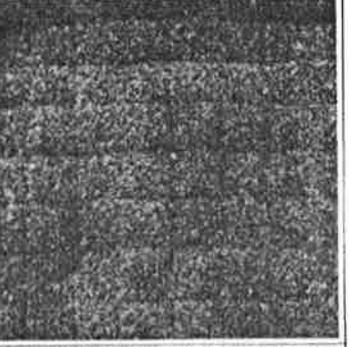
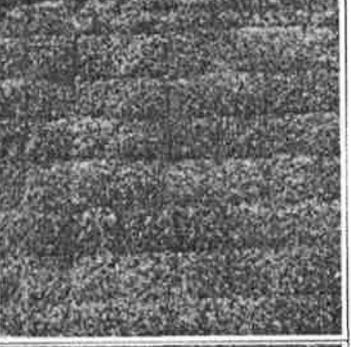
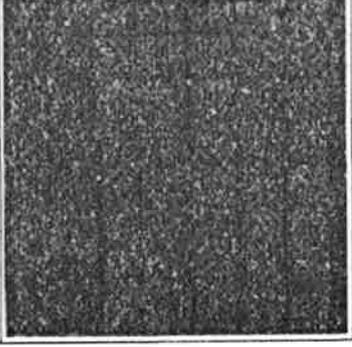
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 17. 유형 J(복합부직포 B + Enkamat B + 보습재 有)

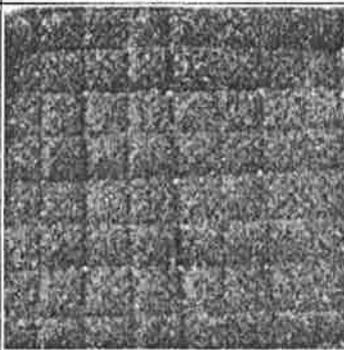
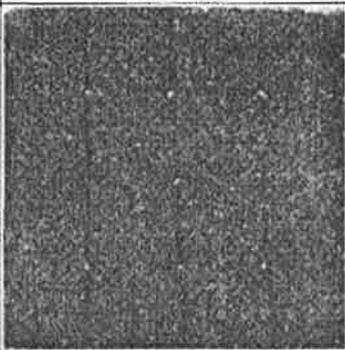
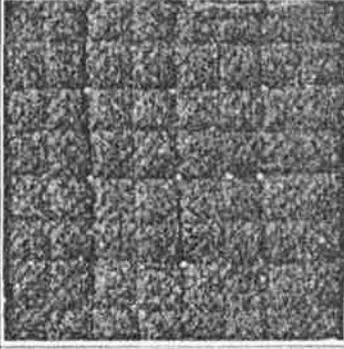
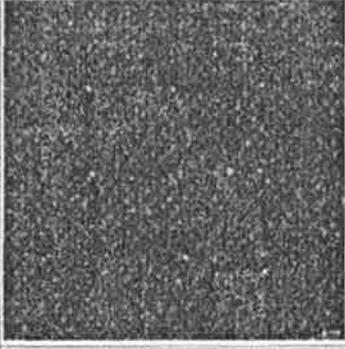
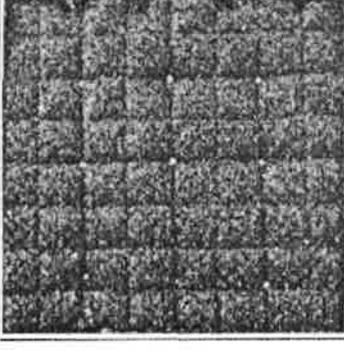
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 18. 유형 K(복합부직포 C + Enkamat A + 보습재 有)

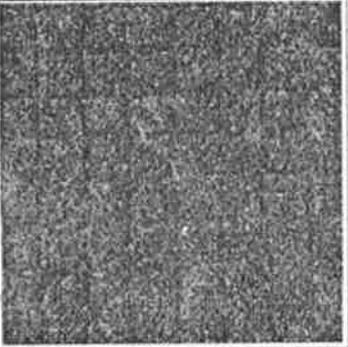
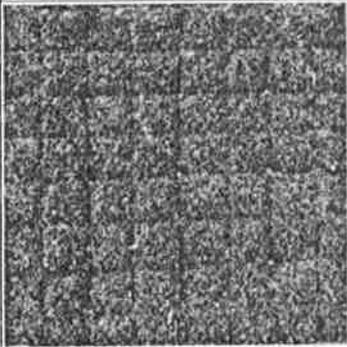
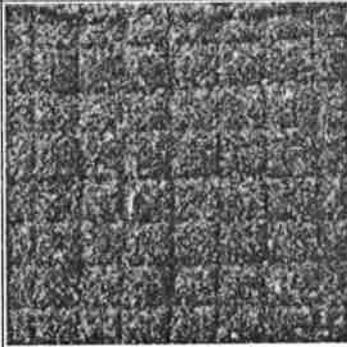
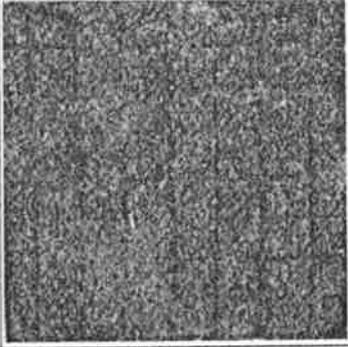
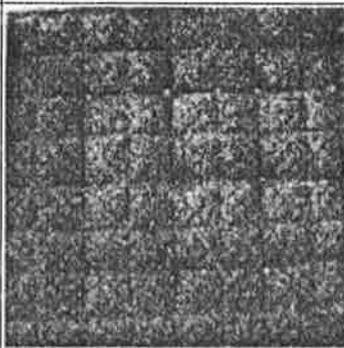
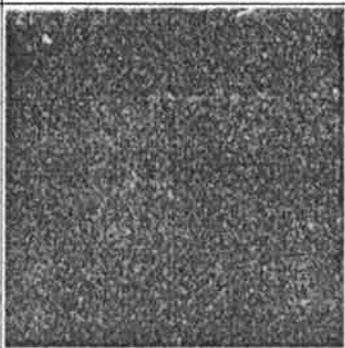
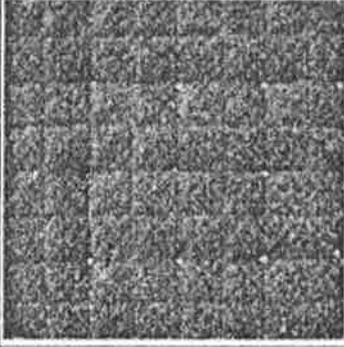
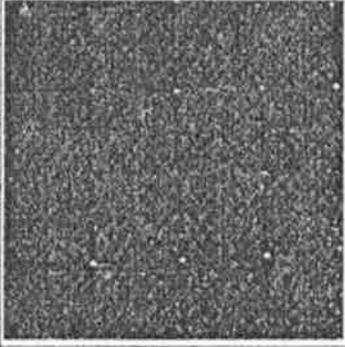
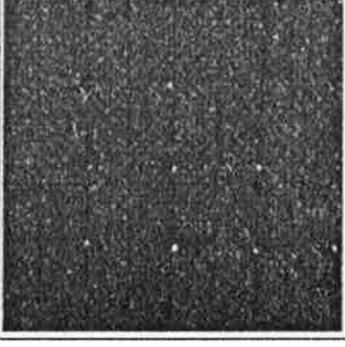
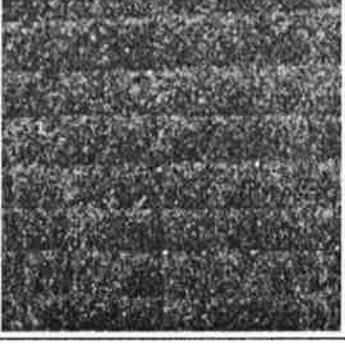
	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

표 19. 유형 L(복합부직포C +양카매트B + 보습재 有)

	3월 23일	4월 20일	5월 15일
반복1			
반복2			
반복3			

○ 현장 적용 개요(실외 수직벽)

구분	내용
기간	2009년 5월 - 계속
장소	포스코 아파트, 경기도 평택시
대상면적	40㎡
공시재료	Rhacomitrium canescens(서리이끼), Hypnum plumaeforme(털깃털이끼),
측정	피복도 및 생육상태(사진촬영에 의한 육안 판단)

보습층 소재별 검증 실험을 통해 도출된 복합부직포를 사용한 수직벽면 녹화방식을 현장에 적용하였다. 당 현장은 아파트 지하주차장 옹벽으로 수직벽면을 대리석 타감으로 하였는데, 그 중간 중간을 이끼녹화를 통해 무미건조한 벽면을 개선하고자 하였다. 총 12개의 단위로 구획이 되었다.

이끼녹화공간에 목재 프레임을 설치하여 대리석과 평행을 맞추고 방수를 위해 방수시트를 설치하였다. 수직면 수분공급을 원활하게 하기 위해 1차 복합부직포를 설치하고, 각 구획된 단위 상단에 점적관수 파이프를 설치하였다. 최종적으로 이끼매트를 연결나사핀으로 고정하고 정리함으로써 시공을 완료하였다(표 103, 104).

표 20. 현장 설치과정

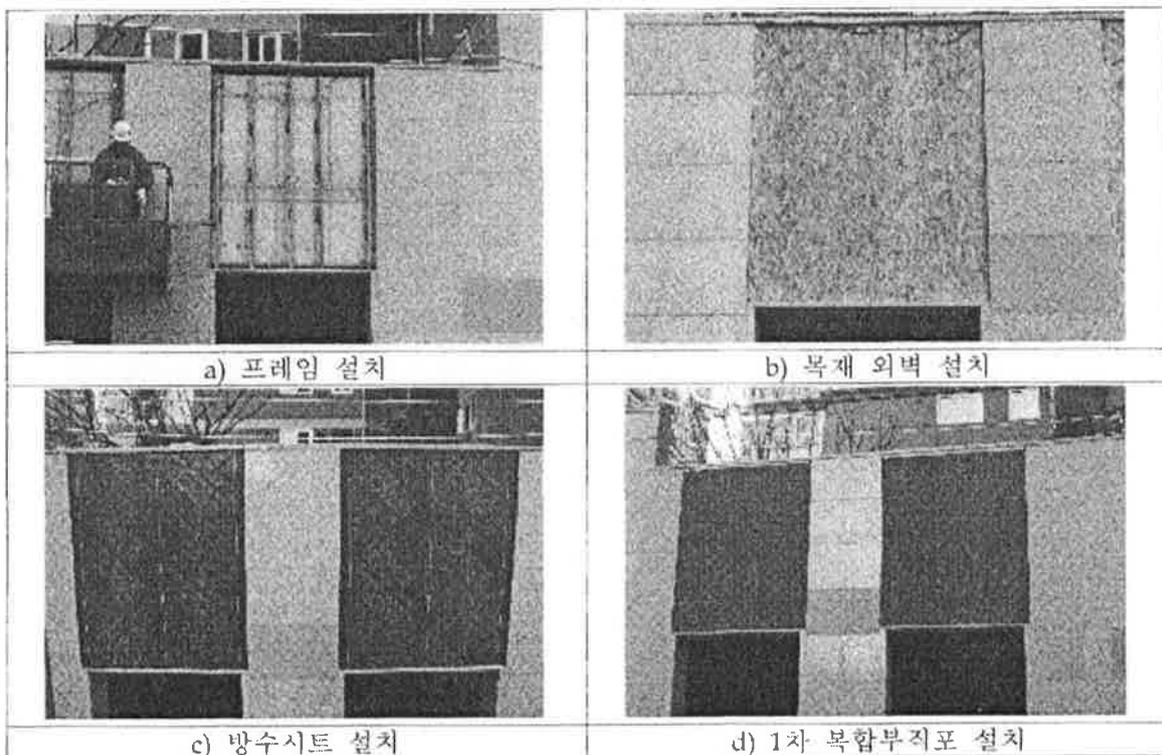


표 21. 현장 설치 과정(계속)

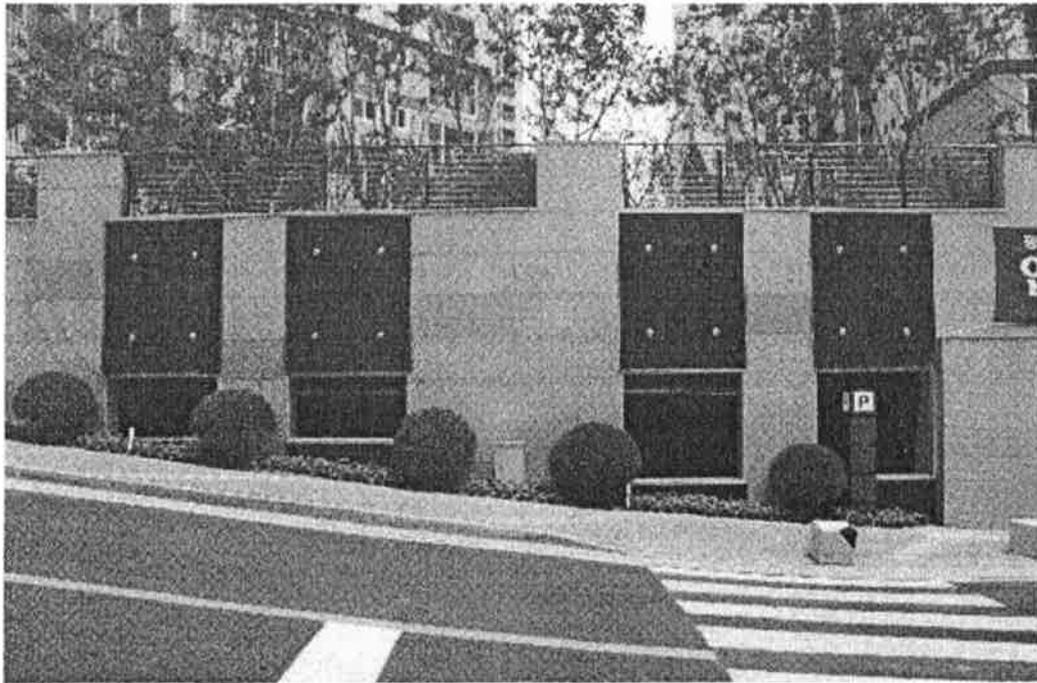
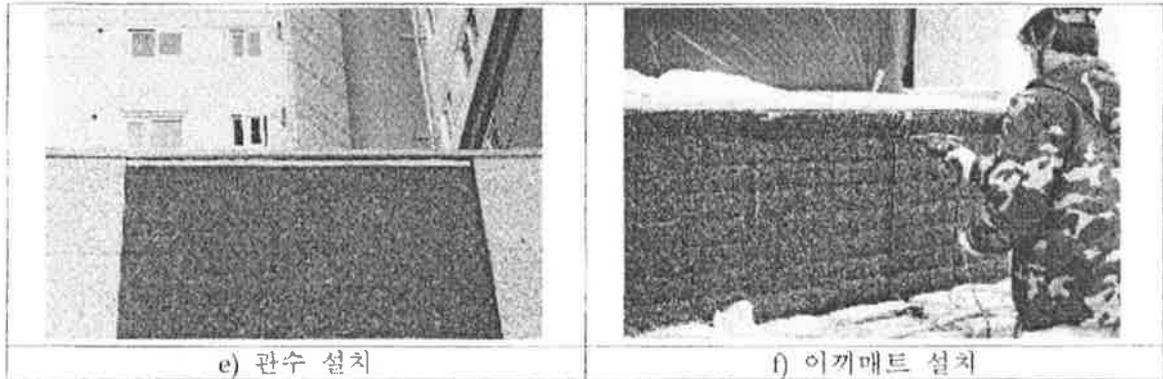


그림 103. 검증된 보습층 소재를 이용한 현장적용(A면), 경기도 평택시, 2009년 5월

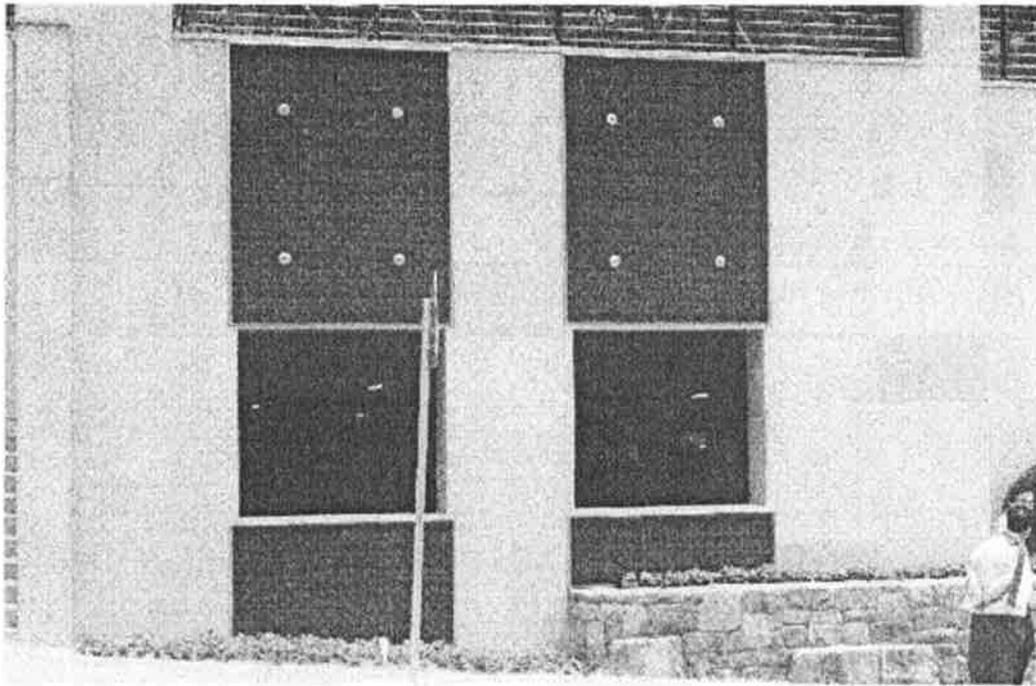


그림 104. 검증된 보습층 소재를 이용한 현장적용(B면), 경기도 평택시, 2009년 5월

○ 결 과

2009년 8월 현재, 전반적으로 이끼생육이 느림을 확인할 수 있었다. 특히 상단부에 위치한 6개의 면적은 전체적인 피복도가 20%에 머물렀고, 하단부의 경우는 상단부에 비해 피복도가 더 높았다. 선행실험에 비해 피복도가 낮은 이유를 살펴 본 결과 지속적인 관수가 이루어지지 않음을 확인 할 수 있었다. 초기 제작된 이끼매트의 경우 이끼의 탈락을 방지하기 위해 설치된 Enkamat를 뚫고 나올 정도의 생육에는 상당한 시간이 소요되는데 이때 관수가 중요한 역할을 한다. 특히 수평면에 비해 수직벽면의 경우 강우에 영향을 덜 받고 수분보유시간이 더 낮음을 고려할 때 지속적인 관수의 필요성이 대두된다.

또한 수직면에 적용시 현장의 관리여건을 고려하여 일정기간 생육시킨 매트 사용을 고려할 필요가 있다. 일정기간 생육시킨 매트의 경우 초기 제작된 매트에 비해 적은 양의 관수만으로 생육을 유지시킬 수 있어 비교적 관리가 쉬울 것으로 판단된다.

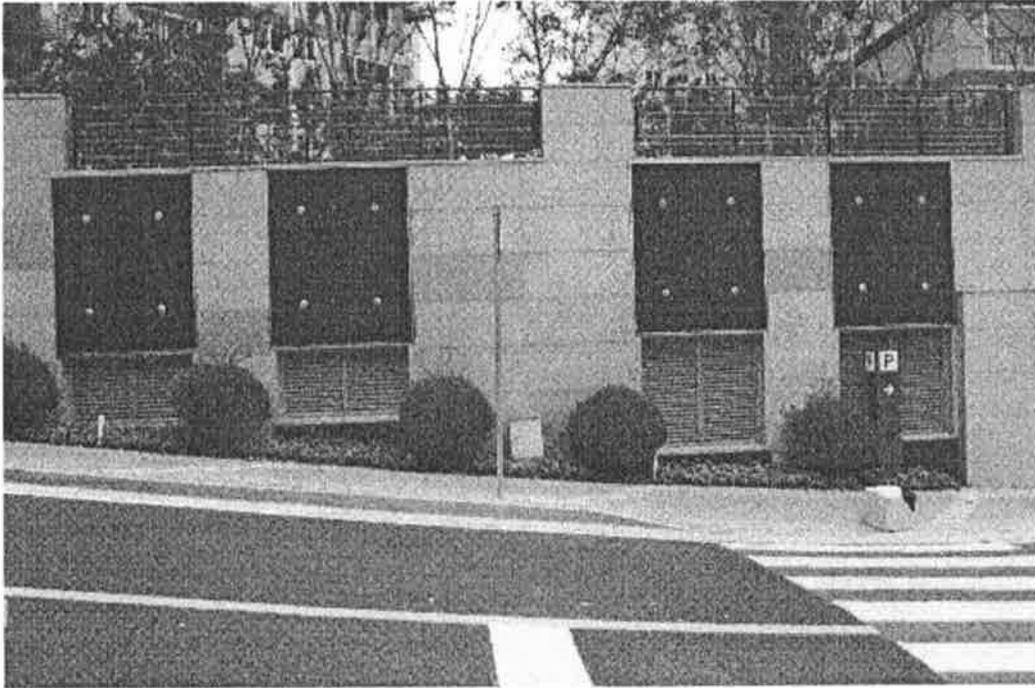


그림 105. 시공후 3개월 경과(A면), 경기도 평택시, 2009년 8월

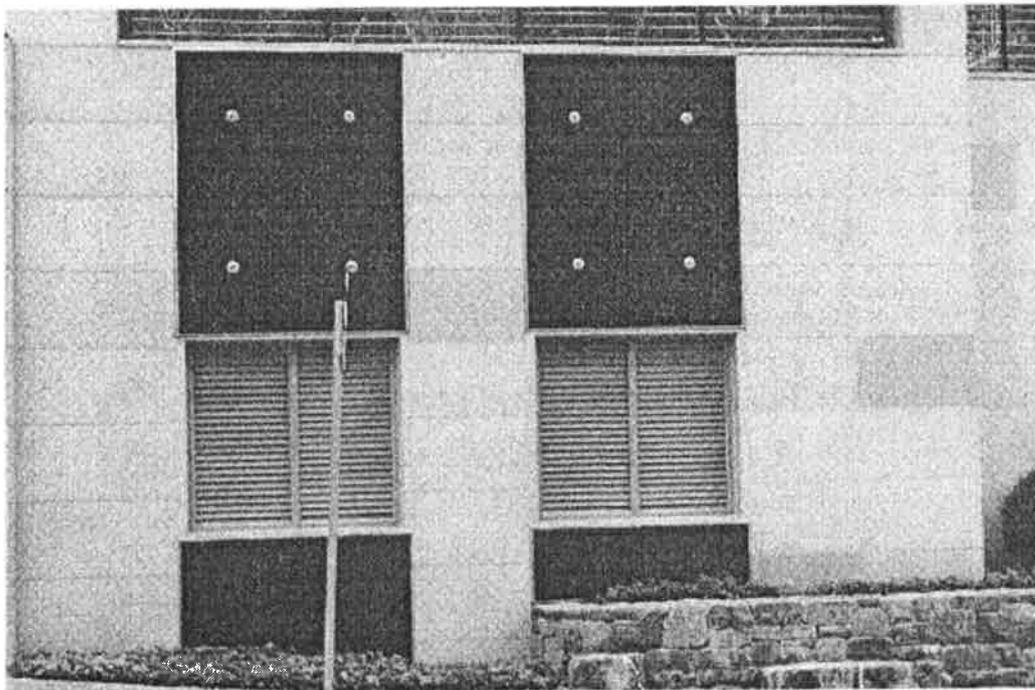


그림 106. 시공후 3개월 경과(A면), 경기도 평택시, 2009년 8월

(3) 다양한 연출을 위한 실험

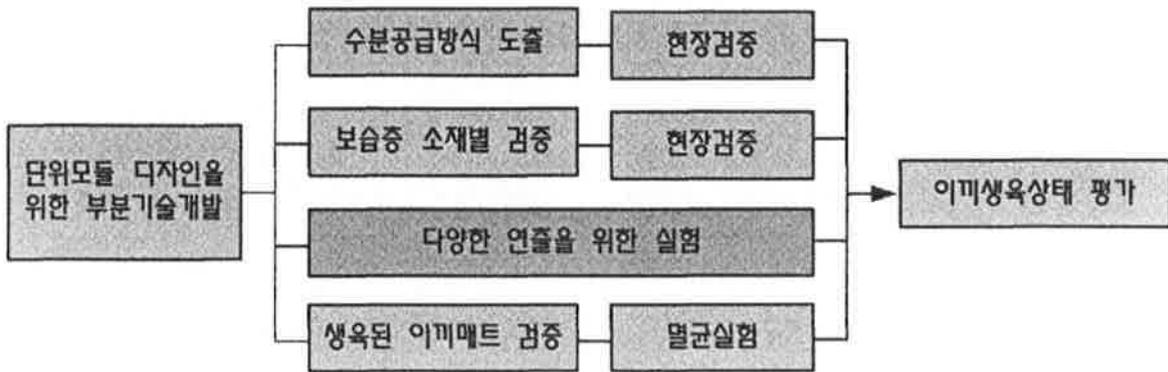


그림 107. 연구흐름도(다양한 연출을 위한 실험)

기존의 벽면녹화의 방법은 크게 2가지로 대별된다. 하나는 덩굴식물을 바닥면에 식재하여 벽면에 설치된 유인선을 따라 생육하게 하는 방법과 식생포트를 수직면에 설치하여 녹화하는 방법이 있다. 전자가 후자에 비해 전면피복에 많은 시간이 소요되는 단점이 있으나 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 그러나 두 가지 방법 모두 겨울철에는 녹화가 쉽게 되지 않는다는 단점이 있다.

이러한 단점들을 극복하고자 이끼 식생매트와 식생포트 연결가능성을 검토하고자 하였다.

○ 실험개요

구 분	내 용
기 간	2009년 6월~계속
장 소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	6m', (이끼매트 면적 6m', 식재면적 3m')
공시재료	<i>Rhacomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼)
측 정	피복도(사진촬영에 의한 육안 판단)

당사가 보유하고 있는 식생 수조(그림108, 109)를 활용하여 실험구를 조성하였다. 식생수조 전면부에 이끼매트가 설치되는데 이끼매트의 하단부가 식생수조에 들어가 보습층으로 사용된 건조물이끼(수태)의 수분흡수능을 이용하여 매트에 수분을 공급한다. 물을 저장할 수 있는 식생수조 내부에 토양을 충전하여 초화류를 식재하였고, 각 수조 전면부에는 이끼매트를 설치하였다.

관수는 실험구 최상단 수조에 관수파이프를 설치하여 토양이 충전된 수조는 수조 아래쪽의 배수구멍을 통해 하단부 수조에 물을 공급하고, 토양이 충전 되지 않은 수조는 가득 찰 경우 overflow되어 하단부 수조로 물이 공급되게 설계하였다.

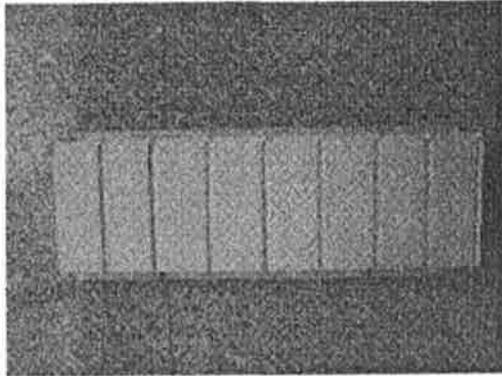


그림 108. 식생수조 전면부

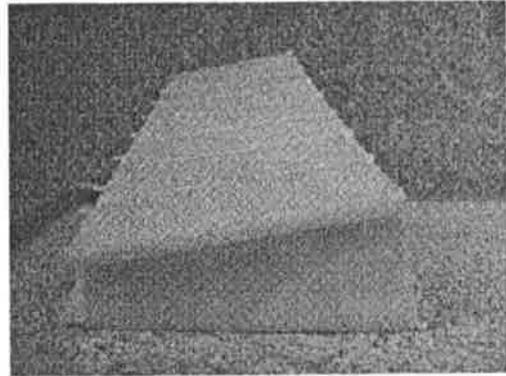


그림 109. 식생수조 측면부

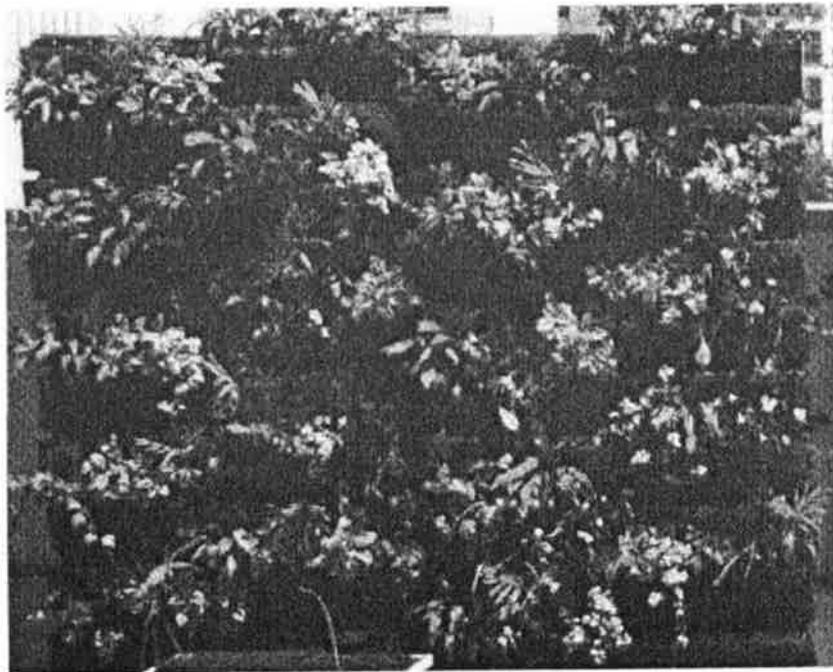


그림 110. 시공직후, 일송환경복원(주) 옥상, 2009년 6월

○ 결 과

이끼매트와 식재를 병행한 실험결과 털깃털이끼의 경우 식재된 식물에 의해 영향을 많이 받지 않는 반면, 서리이끼의 경우 색이 조금 변색되는 것이 관찰되었다. 이는 식재된 식물에 의해 빛이 차단되어 양지성 이끼인 서리이끼의 생육이 불량한 것으로 추정된다.

그러나 설치 후 3개월이 경과하였지만 이끼매트와 식재된 초화류 모두 상태가 양호함을 확인하였다. 또한 수조 배열을 통한 수직면에 대한 다양한 연출의 가능성도 확인되었다(그림 111). 향후 수직면에 적용 가능한 초화류의 선별과 식물과 병행 사용가능한 이끼의 선별이 요구된다.

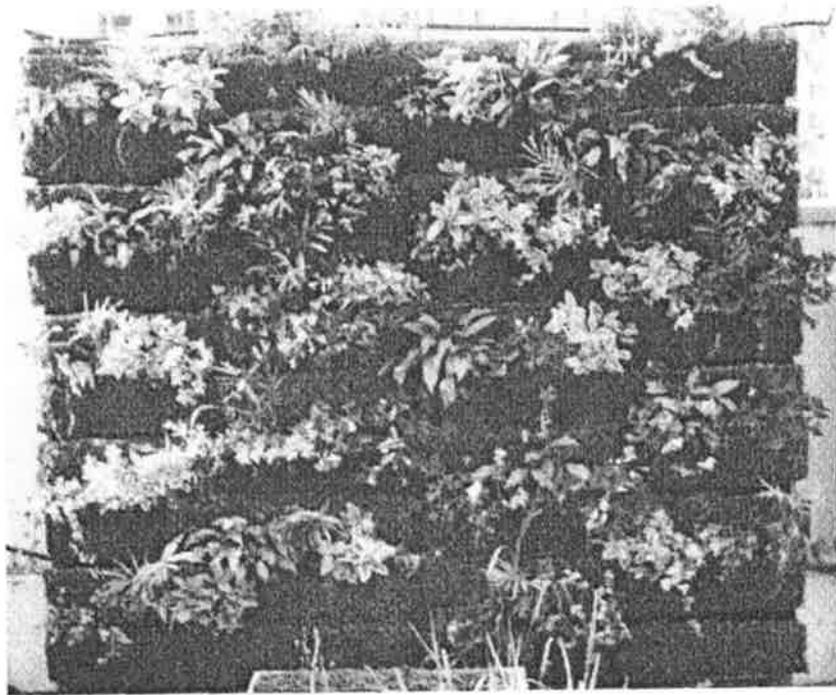


그림 111. 시공후 3개월, 일송환경복원(주) 옥상, 2009년 9월

(4) 생육된 매트물 이용한 실험

설치 장소의 열악한 환경으로 인해 초기 이끼 생장이 늦어져 초기 피복도가 낮은 것이 이끼 제품의 문제점으로 자주 지적된다. 이 문제점 해소를 위해 이끼를 일정기간 성장시킨 후 제품으로 출하하는 것이 제품에 대한 만족도를 높일 수 있으나 성장된 이끼가 새로운 환경에 노출 되었을 때 오히려 적응성이 떨어질 염려가 있기에 이에 대한 검토가 필요하다.

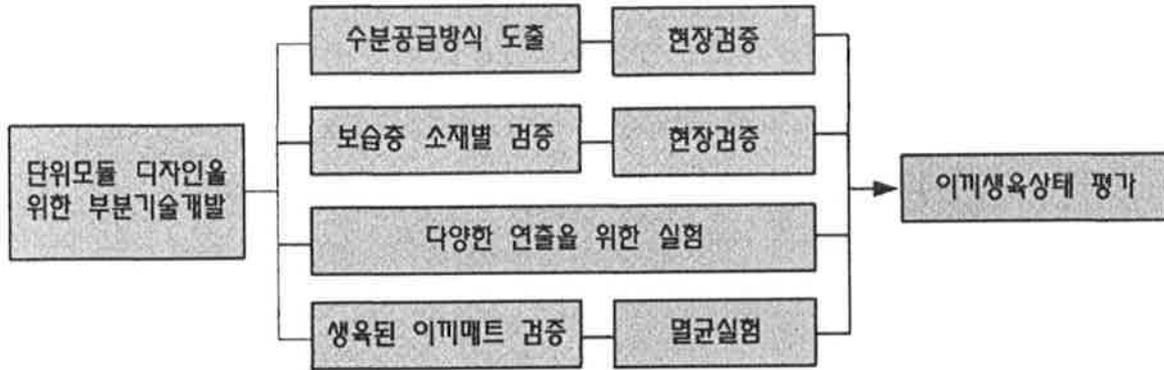


그림 112. 연구흐름도(생육된 이끼매트 검증 및 멸균실험)

○ 실험개요

구 분	내 용
기 간	2009년 4월
장 소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	실험구 - 각각 2m ² , 보습층 유형(3종류)
공시재료	<i>Rhacomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼)
측 정	생육상태(사진촬영에 의한 육안 판단)

실험구는 1m×2m 크기의 목조외벽 3개를 설치한 후, 복합부직포(보온덮개)를 이용하여 보습층을 각 유형(표 22)별로 조성하였다. 전면에는 50cm×17cm로 제작하여 1년간 생육시켜 100%피복된 이끼매트를 부착하였다. 관수는 1일 1회 30분 점적관수하였다.

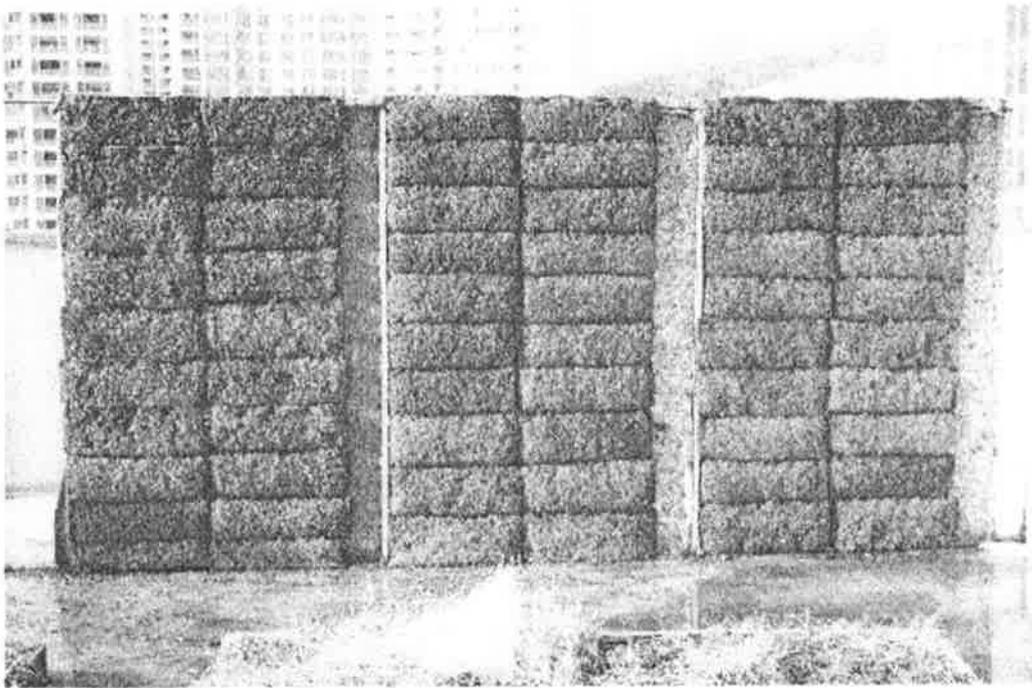
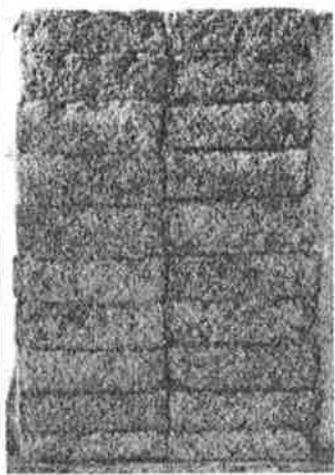
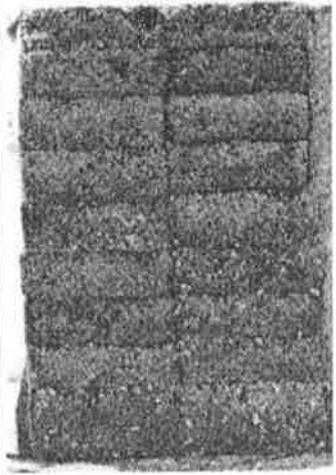
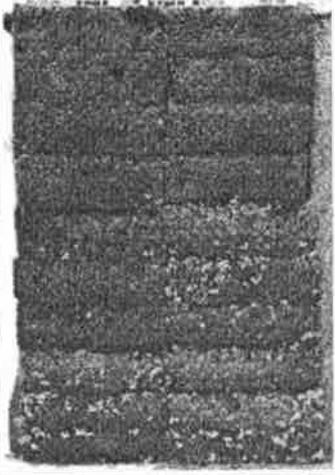
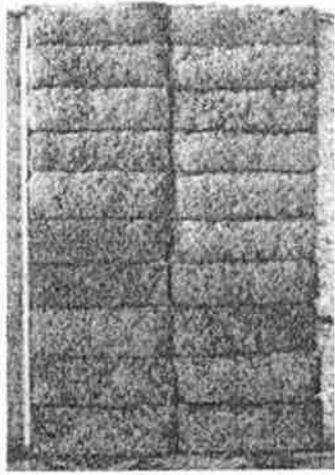
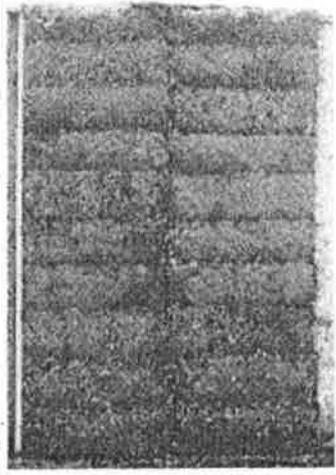
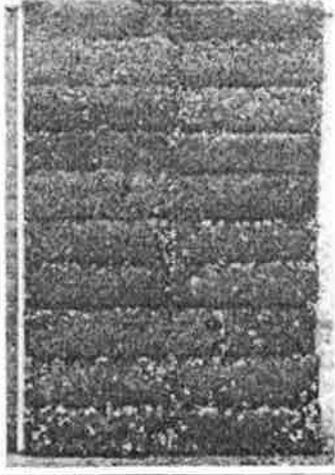
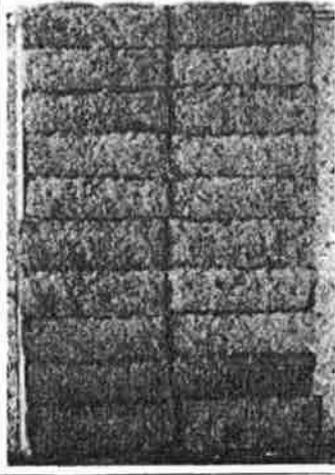
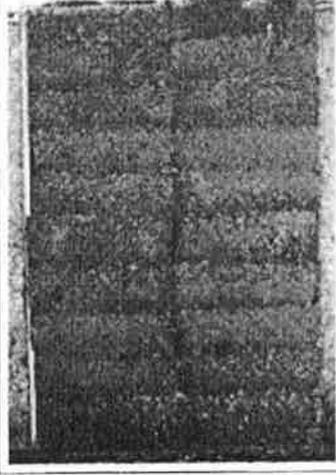


그림 113. 생육된 이끼매트 검증 실험 전경, 일송환경복원(주) 옥상, 2009년 4월

표 22, 보습층 조성 유형

유형	조 합
유형 A	복합부직포 A형 + 복합부직포 A형
유형 B	복합부직포 A형 + 복합부직포 B형
유형 C	복합부직포 B형 + 복합부직포 B형

표 23. 생육관찰

	시공직후	1달 경과	2달 경과
유형 A			
유형 B			
유형 C			

○ 결 과

실험구 조성 후 한 달이 경과한 시점에 생육된 이끼매트에 검붉은 반점들이 발생하기 시작하였다. 두 달이 경과한 시점에는 그 면적이 넓어져 이끼매트 전체가 검붉게 변했음을 관찰할 수 있었다(표 23). 또한 수평면에 적용되었던 생육된 이끼매트와 같이 이번 실험에서도 노지에서 재배된 이끼 매트 속에 있었던 잡초의 종자가 지속적인 수분공급으로 발아가 되는 현상이 발생하였다.

원인을 찾기 위해 건강한 서리이끼(*Racomitrium canescens*) 개체와 검붉게 변한 개체를 전자현미경으로 관찰한 결과 검붉게 변한 개체에서는 건강한 서리이끼에서 발견되지 않았던 박테리아와 곰팡이 균사체가 발견되었다(그림 114, 115). 순천대학교 허재선 교수 연구팀의 도움을 얻어 검붉게 변한 서리이끼에서 4종류의 곰팡이와 4종류의 박테리아를 동정하였다.



그림 114. 이끼와 균사체 사진, ×1200배

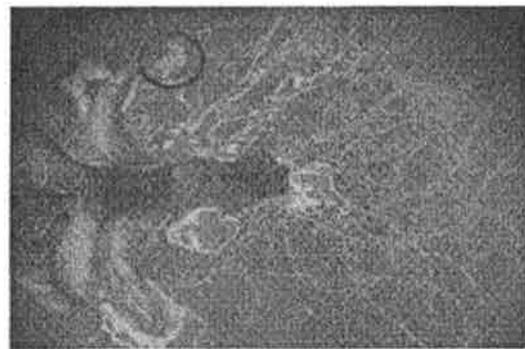
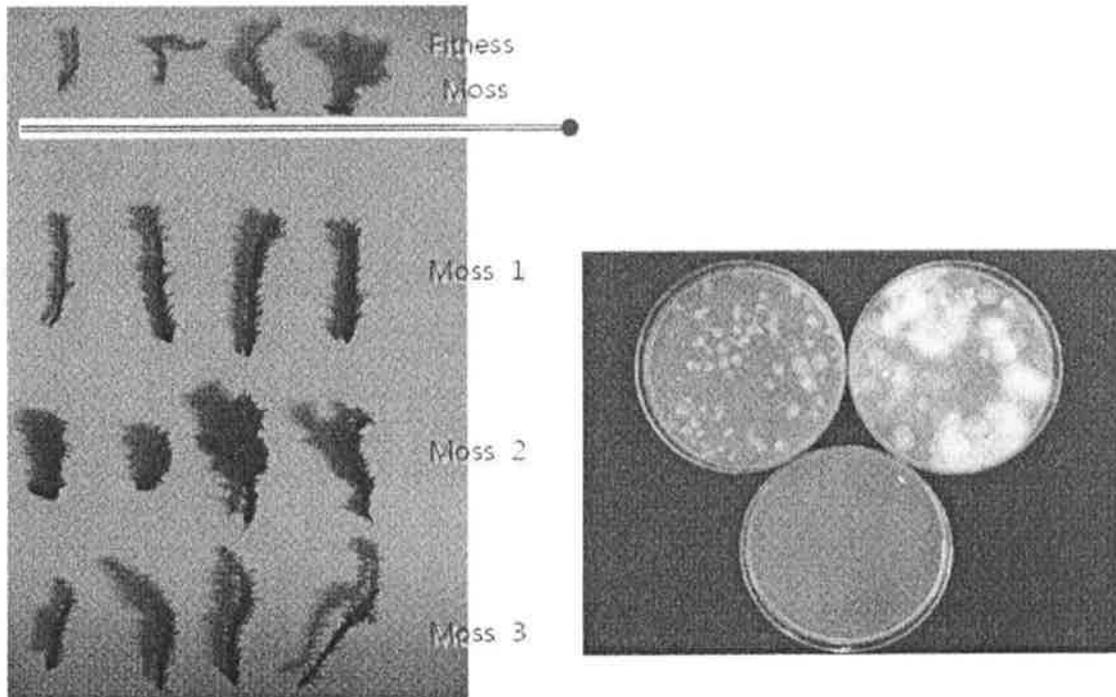


그림 115. 박테리아(빨간색 원)

(5) 곰팡이와 박테리아 제거 실험

곰팡이와 박테리아 제거 실험은 2가지 방법으로 실험이 이루어졌다. 첫 번째 방법은 순천대학교 허재선 교수의 실험실에서 수행되었으며, 곰팡이와 박테리아의 동정 및 이를 제거할 수 있는 약제도출에 초점을 맞추고 실험이 이루어졌다. 두 번째는 일상생활에서 쉽게 구매하여 사용할 수 있는 살균 소독제를 이용하여 감염된 이끼매트에 직접 살포하여 곰팡이 및 박테리아에 감염된 이끼매트가 회복되는지 여부를 조사하였다.

(가) 감염된 이끼의 곰팡이 및 박테리아 동정 및 약제도출



감염된 이끼 moss 1, 2, 3에서 추출한 곰팡이와 박테리아를 증식시켜 동정하였다. moss 1에서는 2종의 곰팡이(*Hypocrea viridescens*와 *Fusarium* sp.)와 2종의 박테리아(*Bacillus* sp.와 *Bacillus thuringiensis*)가 검출되었으며, moss 2에서는 2종의 곰팡이(*Curvularia trifolii*와 *Macrophomina phaseolina*)와 1종의 박테리아(*Bacillus megaterium*)가 검출되었다. moss 3에서는 곰팡이는 발견되지 않았으며 2종의 박테리아(*Pseudomonas putida*와 *Bacillus megaterium*)가 검출되었다.

표 24. 곰팡이 균 및 박테리아 동정결과

	Serial Num.	NCBI	Homology	Comment
Fungi	MPF0901-1	<i>Hypocreaviridescens</i>	98%	
	MPF0902-1	<i>Fusarium</i> sp.	96%	
	MPF0902-2	<i>Curvularia trifolii</i>	98%	구근부패병, 붉은반점병
		<i>Macrophominaphaseolina</i>	97%	참깨병
Bacteria	MPB0901-1	<i>Bacillus</i> sp.	99%	고추 phytophthora-Blight disease
	MPB0901-3	<i>Pseudomonasputida</i>	99%	논토양에서분리
	MPB0902-1	<i>Bacillus thuringiensis</i>	99%	오디근권분리 ; 식중독균
	MPB0902-2	<i>Bacillus megaterium</i>	99%	
	MPB0902-3	<i>Bacillus megaterium</i>	99%	

표 25. 곰팡이균 증식

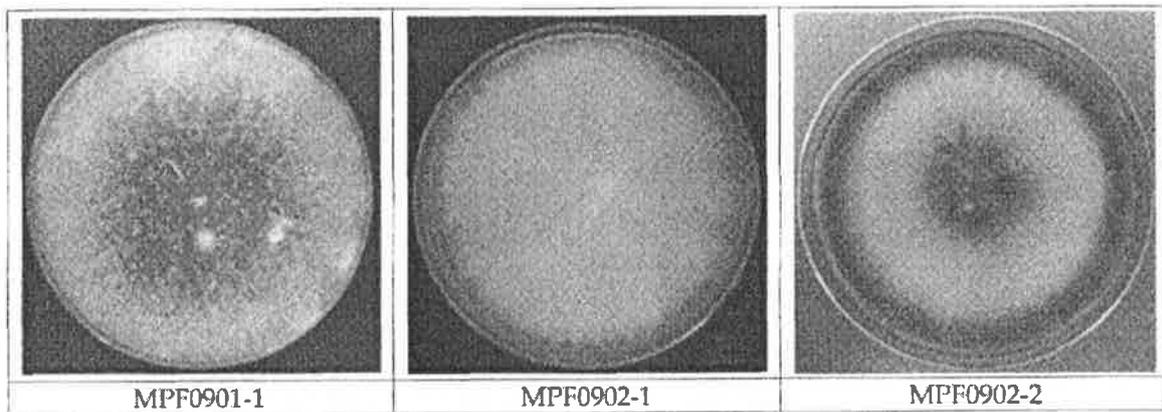


표 26. 박테리아균 증식

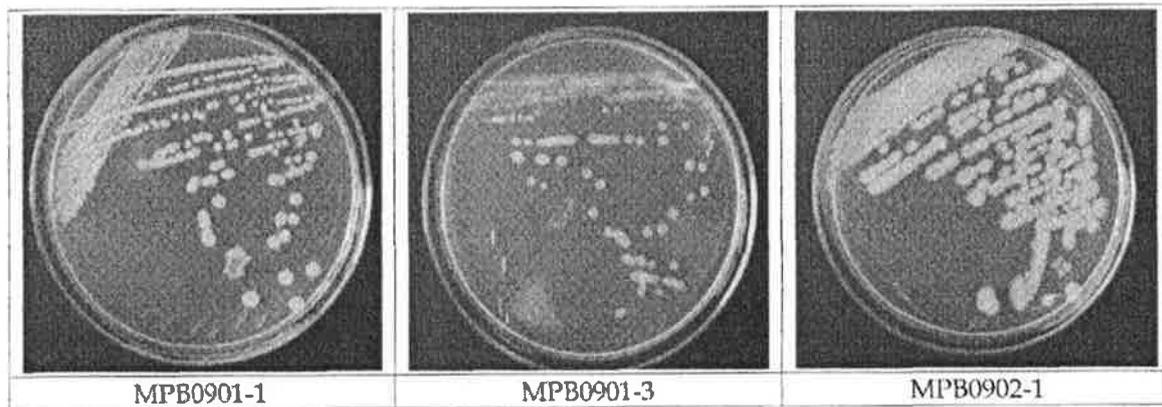
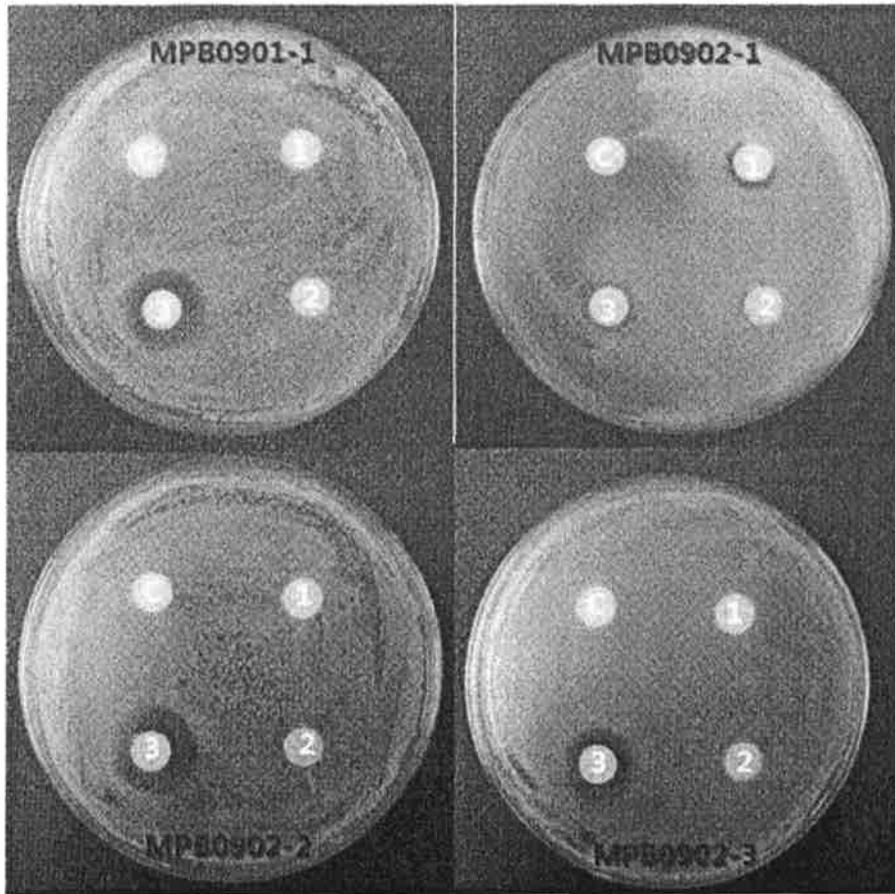
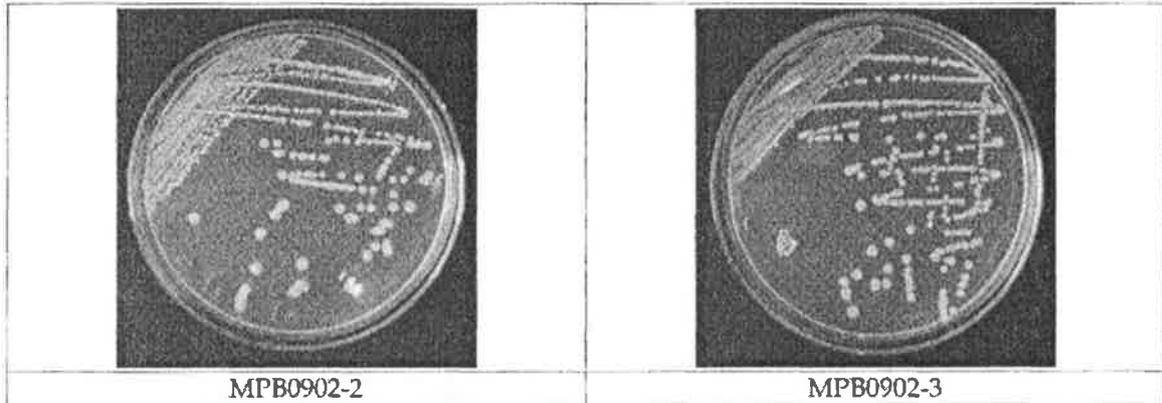


표 27. 박테리아균 증식(계속)



<상표명>

- C : control**
- 1 : 안타**
- 2 : 아미스타랍**
- 3 : 베푸란**

그림 116. 박테리아 제거 약제선발

쉽게 구할 수 있는 대표적인 약제 3종을 이용하여 각 처리구에서 검출된 박테리아에 대한 제거 능력을 테스트한 결과 베푸란(이미녹타딘트리아세테이트 액제)을 처리한 실험구에서 대부분 박테리아가 제거되는 것을 관찰할 수 있었다. *Bacillus thuringiensis*가 검출된 MPB0902-1 실험구에서는 안타와 베푸란을 사용한 경우 이 박테리아가 비슷하게 제거되었다.

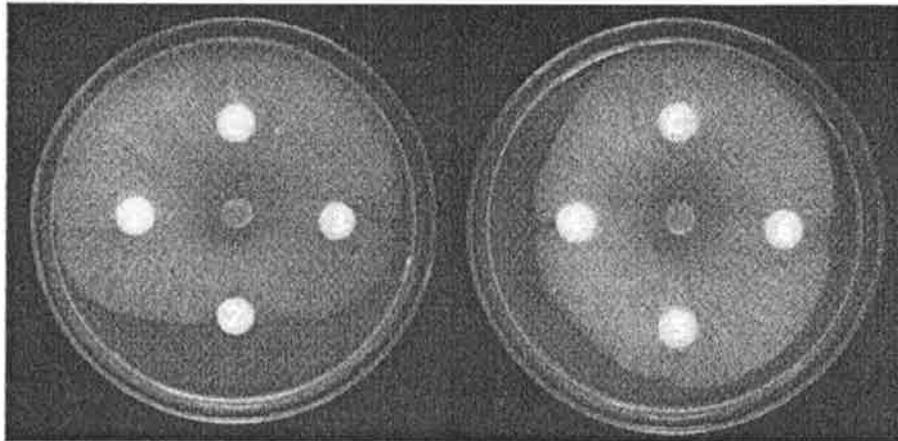


그림 117 MPF0901-1(C-control, 1-안타, 2-아미스타탑, 3-베푸란, 4-동부훼나리, 5-프린트, 6-오티바)

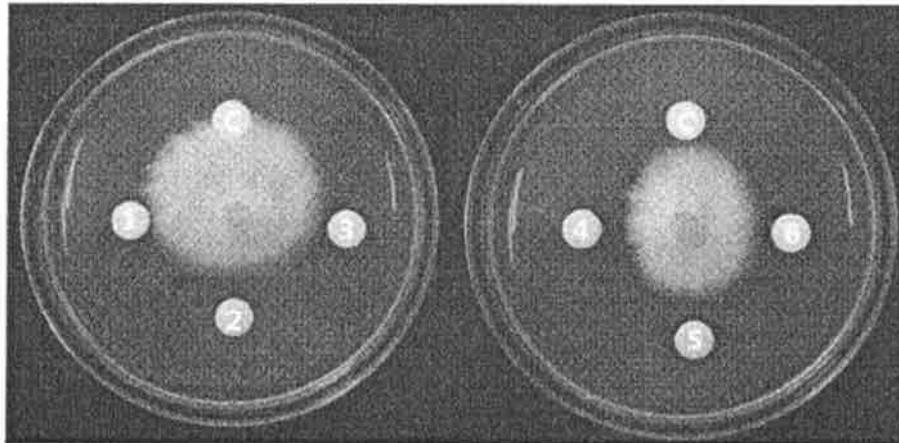


그림 118 MPF0902-1(C-control, 1-안타, 2-아미스타탑, 3-베푸란, 4-동부훼나리, 5-프린트, 6-오티바)

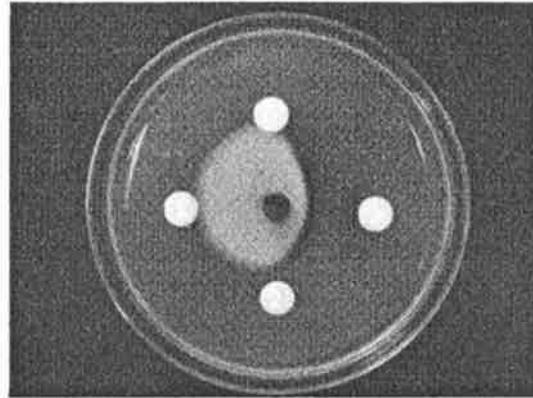


그림 119 MPF0902-2(C-control, 1-안타, 2-아미스타탐, 3-베프란)

검출된 곰팡이 균의 살균 및 방제를 위한 실험에서는 총 6가지의 약제를 사용하여 각 실험구의 곰팡이를 억제하는 효과를 관찰하였다. 아미스타탐 약제는 3개의 실험구 모두에서 곰팡이 발생을 억제하였으며, 베프란 약제는 MPF0902-2 실험구에서 탁월한 억제 효과가 발생하였다.

(나) 살균소독제를 이용한 감염된 이끼매트 살균 실험

○ 실험개요

구 분	내 용
기 간	2009년 6월~7월
장 소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	이끼매트(20cm×20cm, 4반복) × 시약 3종
공시재료	<i>Rhacomitrium canescens</i> (서리이끼)
측 정	생육상태(사진촬영에 의한 육안 판단)

50cm×50cm 배수판 위에 20cm×20cm 크기의 균사로 검붉게 변한 이끼매트를 4반복 설치하였다(그림 122, 123). 상기에 관찰된 균사는 강알카리성 시약에 멸균되는 것을 예비실험결과로부터 도출하였다.

본 실험은 일상생활에서 강력살균소독제로 쓰이는 ① 락스(차아염소산나트륨, NaClO), ② 소다(탄산수소나트륨, NaHCO₃), ③ 수산화나트륨(NaOH)를 사용하였다. 각 시약별로 희석량을 달리하여 주 1회, 4주에 걸쳐 투약했으며, 관수는 매일 2회 상부 관수하였다. 매주 희석된 시약의 pH를 측정하였으며, 6주간 사진촬영을 통해 가장 빠르게 회복되는 매트를 조사하였다.

각 시약은 수돗물 1ℓ에 희석하여 4반복 실험구에 균일하게 투약했으며, 수돗물 및 각 시료의 평균 pH는 (그림 120)과 같다.

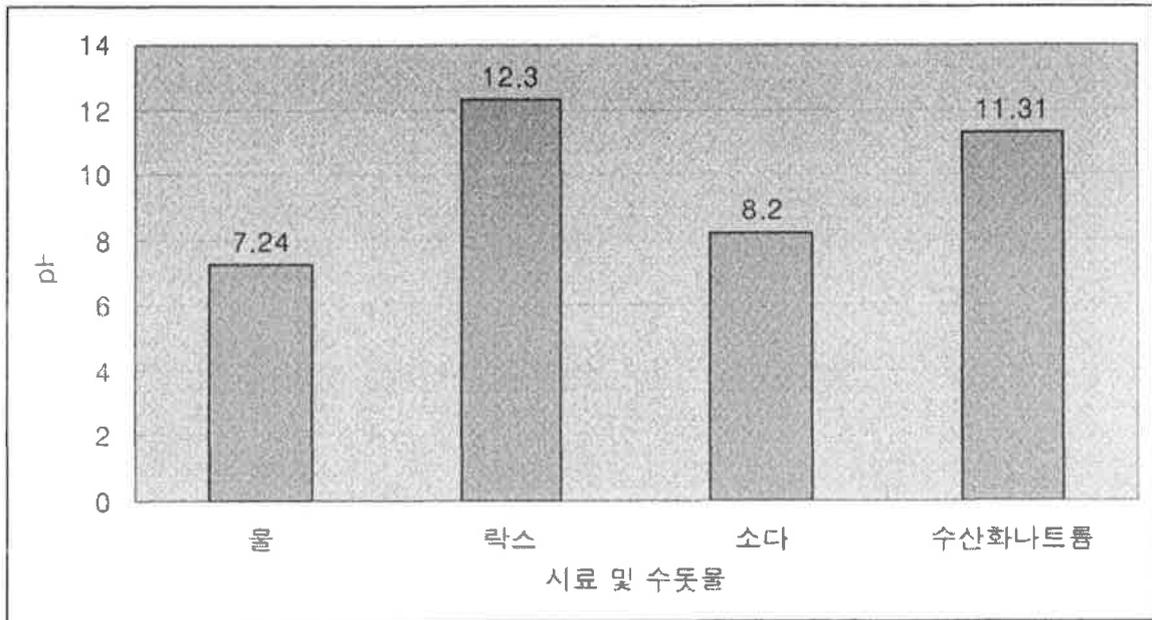


그림 120. 회석 전 각 시약의 pH

각 시약을 수돗물에 회석한 후 조사한 pH는 그림 121와 같다.

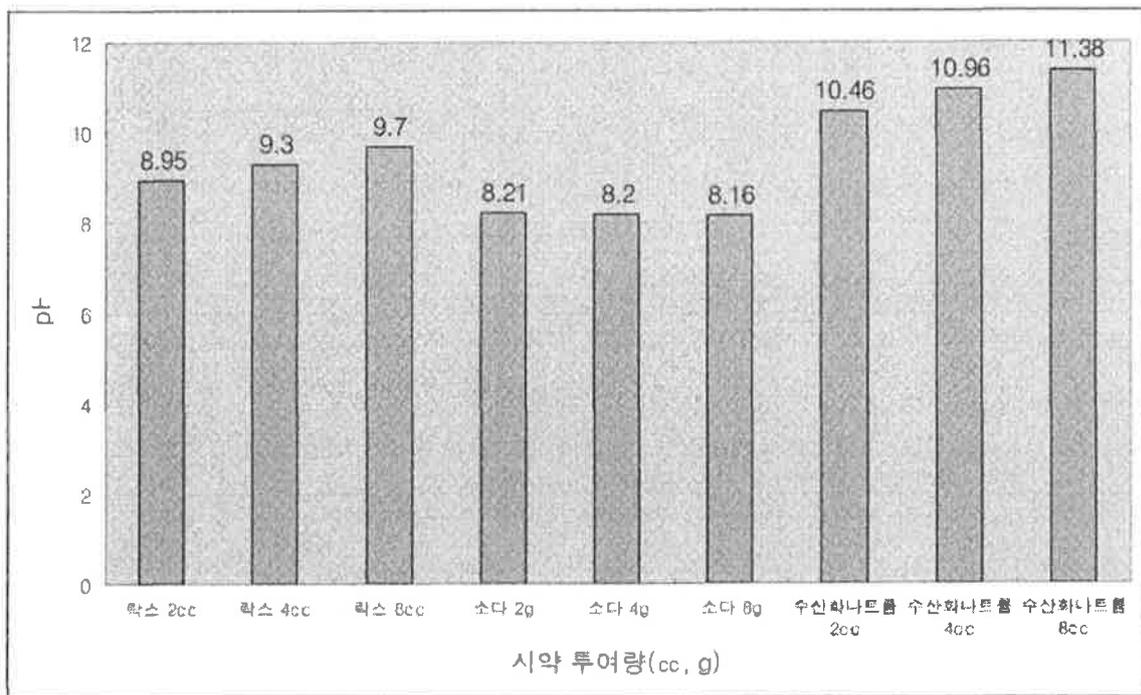


그림 121. 회석 후 각 시약의 pH

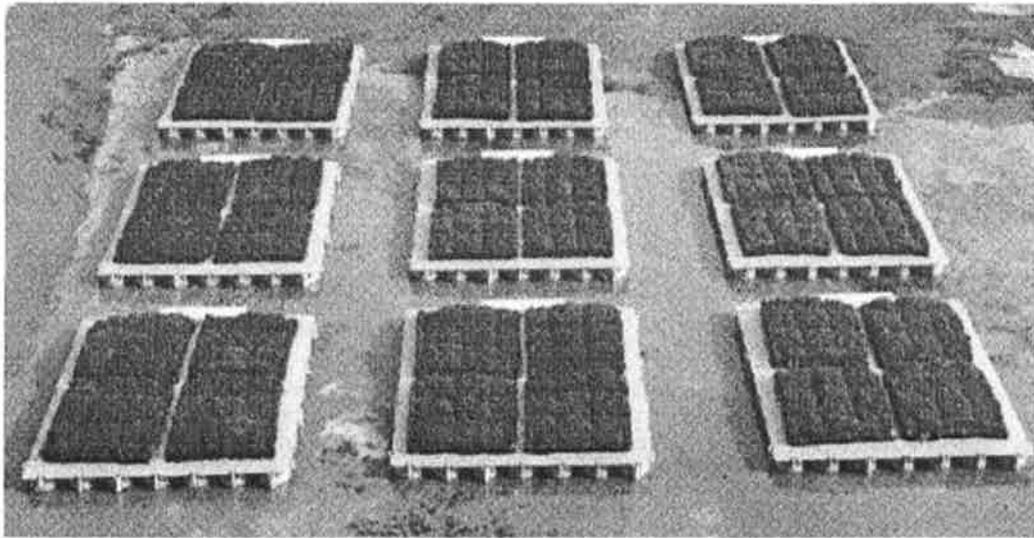


그림 122. 실험구 전경, 경기도 용인시, 2009년 6월

①	②	①	②	①	②
③	④	③	④	③	④
차아탄산나트륨-NaClO 2cc ①		차아탄산나트륨-NaClO 4cc ②		차아탄산나트륨-NaClO 8cc ③	
①	②	①	②	①	②
③	④	③	④	③	④
탄산수소나트륨 NaHCO ₃ 2g ④		탄산수소나트륨 NaHCO ₃ 4g ⑤		탄산수소나트륨 NaHCO ₃ 8g ⑥	
①	②	①	②	①	②
③	④	③	④	③	④
수산화나트륨 NaOH 2cc ⑦		수산화나트륨 NaOH 4cc ⑧		수산화나트륨 NaOH 8cc ⑨	

그림 123. 각 실험구 배치도

○ 결 과

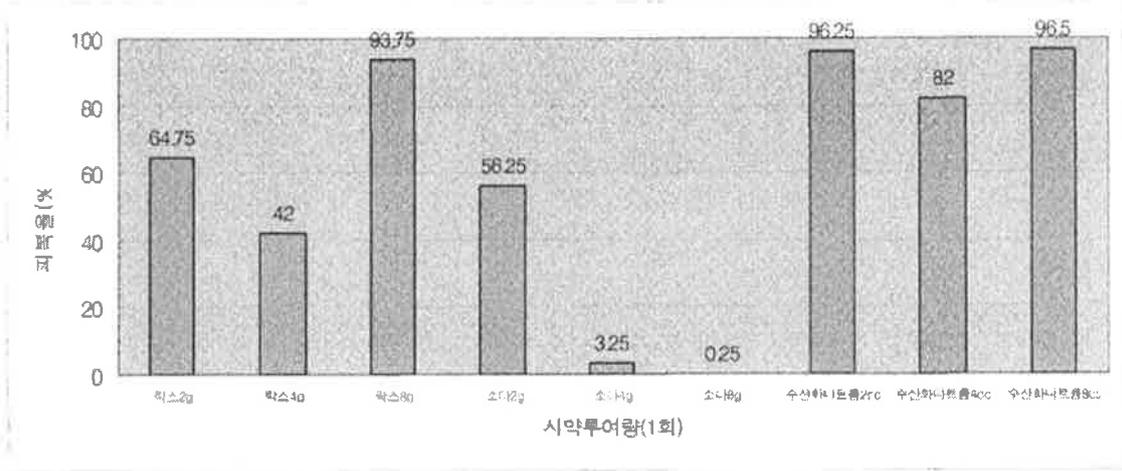


그림 124. 시약처리후 평균 재생피복율

단기 실험결과임을 감안하더라도 주 1회 4번의 시약처리만으로도 균사체에 오염된 이끼 매트가 쉽게 재생되는 것을 육안으로 확인하였다(표 28). 차아염소산나트륨(락스)의 경우 8cc에서 전체면적 중 93.75%피복되어 가장 이끼의 재생속도가 빨랐으며, 수산화나트륨은 2cc(96.25%), 4cc(82%), 8cc(96.5%) 모두에서 쉽게 재생되는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 탄산수소나트륨(소다)의 경우는 효과가 거의 없었으며 오히려 더 검붉게 변하는 것을 확인할 수 있었다. 결론적으로 pH10 이상의 시약이 투여되었을 경우 균사체로 오염된 이끼매트의 재생이 가능함을 확인할 수 있었다.

표 28. 시약처리후 각 실험구 재생피복율(%)

시약	반복	피복율 (%)	평균 피복율 (%)	시약	반복	피복율 (%)	평균 피복율 (%)	시약	반복	피복율 (%)	평균 피복율 (%)
락스 2g	1	59	64.75	소다 2g	1	60	56.25	수산화 나트륨 2cc	1	97	96.25
	2	50			2	55			2	96	
	3	75			3	55			3	94	
	4	75			4	55			4	98	
락스 4g	1	38	42	소다 4g	1	6	3.25	수산화 나트륨 2cc	1	85	82
	2	55			2	4			2	80	
	3	45			3	2			3	88	
	4	30			4	1			4	75	
락스 8g	1	92	93.75	소다 8g	1	0	0.25	수산화 나트륨 2cc	1	97	96.5
	2	93			2	1			2	93	
	3	95			3	0			3	99	
	4	95			4	0			4	97	

표 29. 시약처리 후 이끼 생육상태

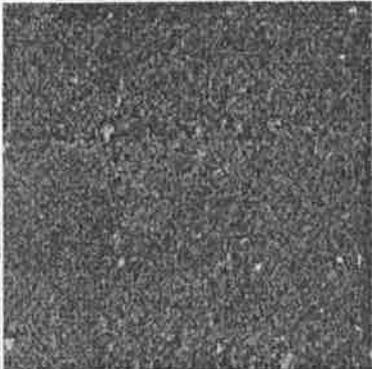
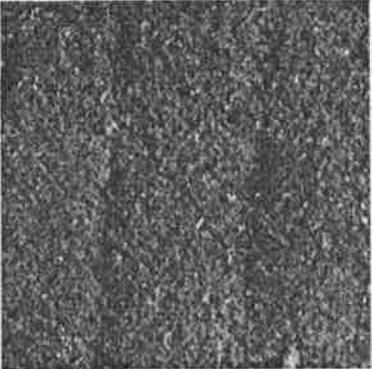
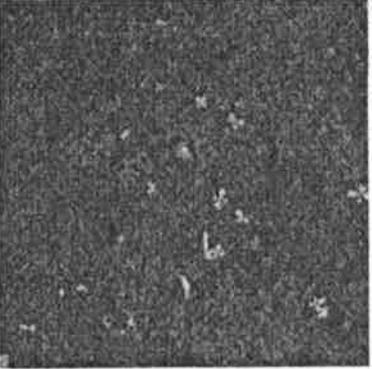
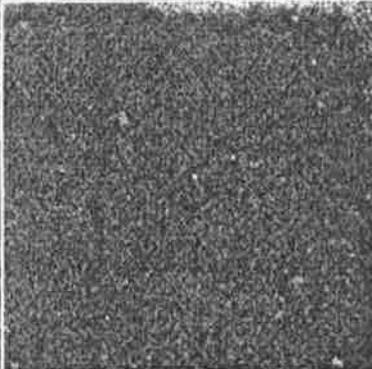
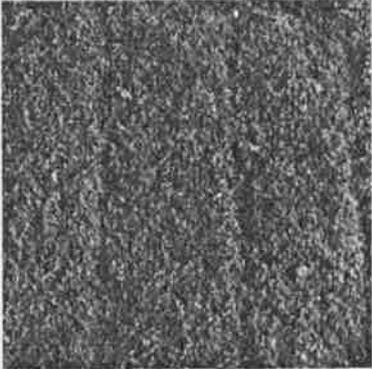
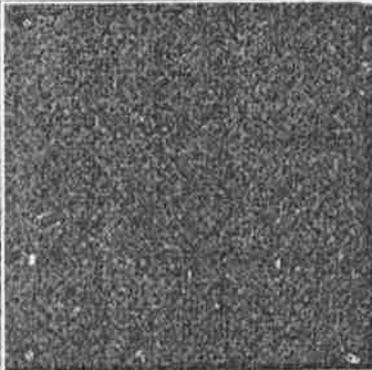
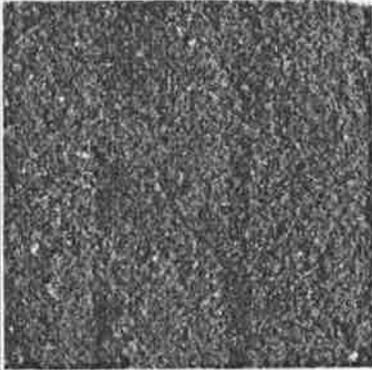
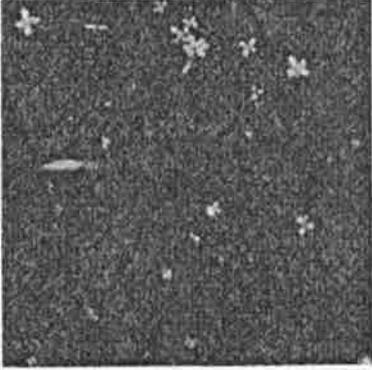
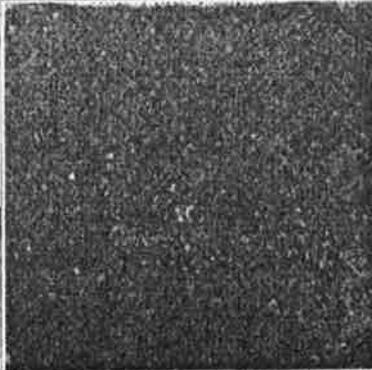
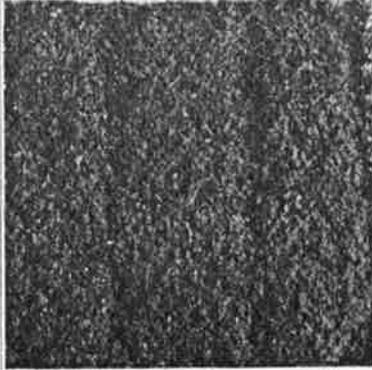
락스 2cc		
6월 10일	6월 22일	7월 20일
		
		
		
		

표 30. 시약처리 후 이끼 생육상태(계속)

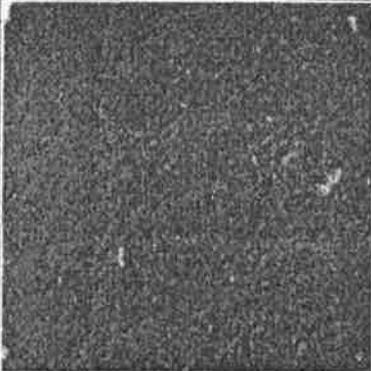
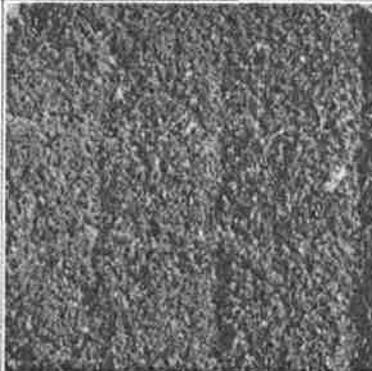
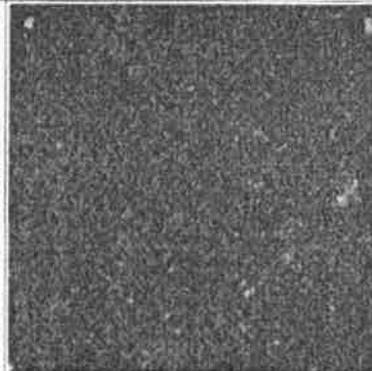
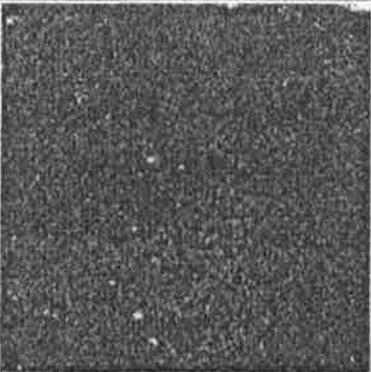
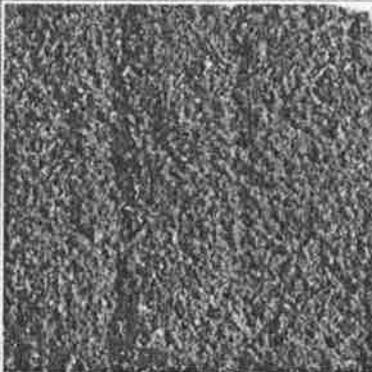
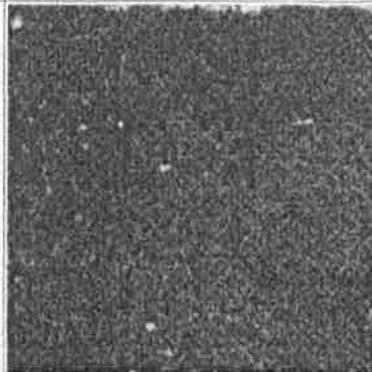
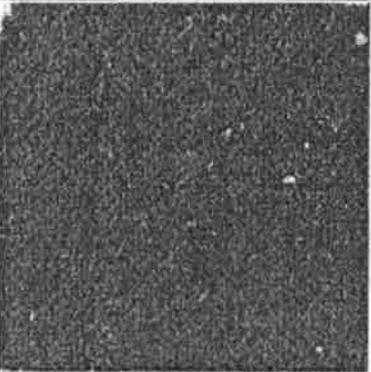
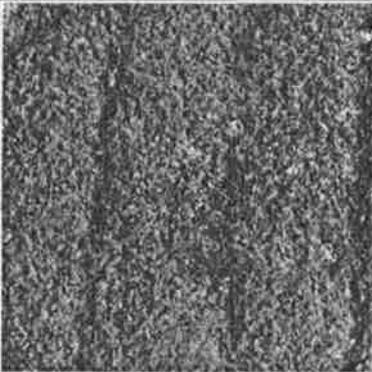
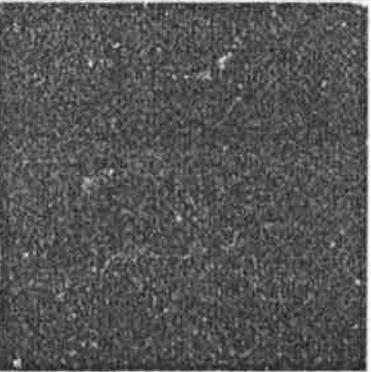
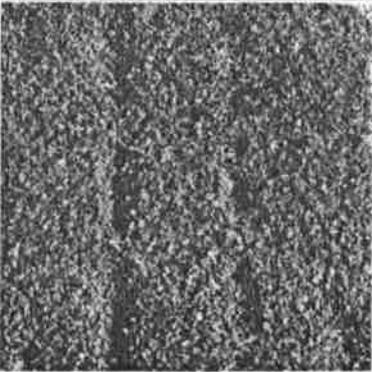
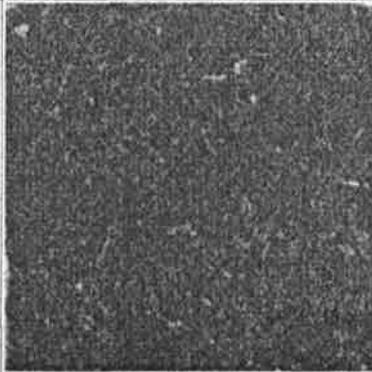
락스 4cc		
6월 10일	6월 22일	7월 20일
		
		
		
		

표 31. 시약처리 후 이끼 생육상태(계속)

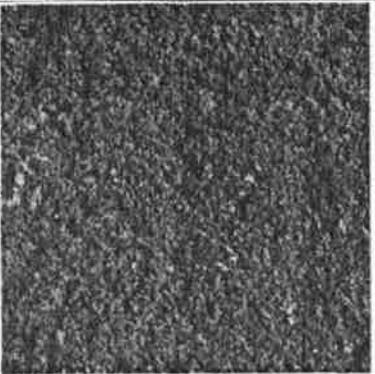
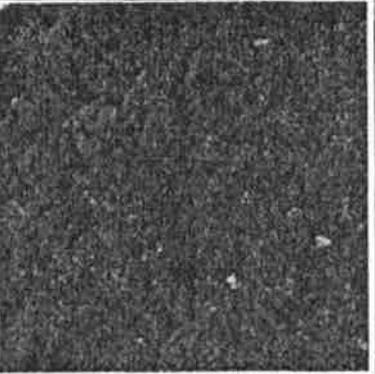
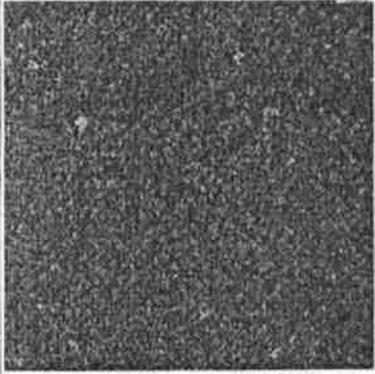
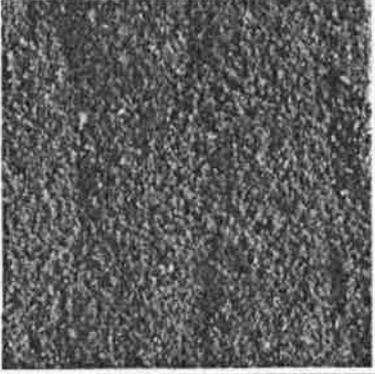
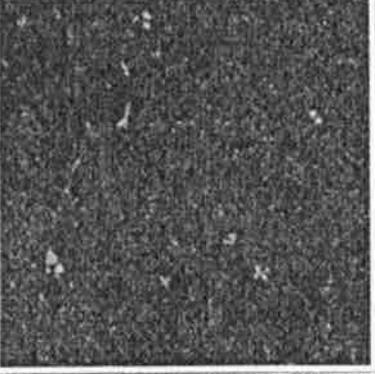
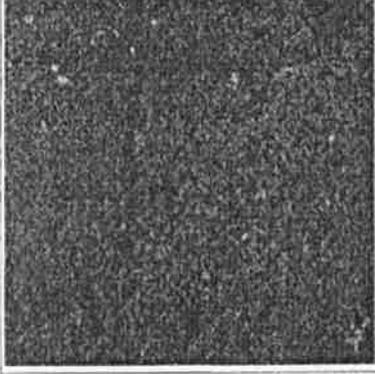
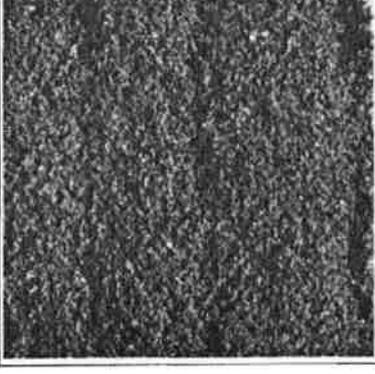
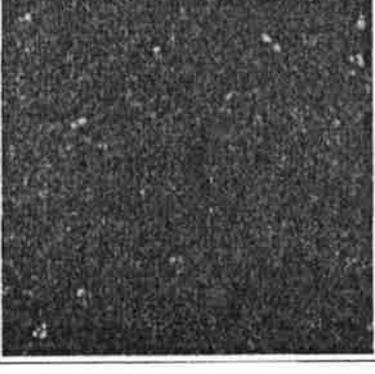
락스 8cc		
6월 10일	6월 22일	7월 20일
		
		
		
		

표 32. 시약처리 후 이끼 생육상태(계속)

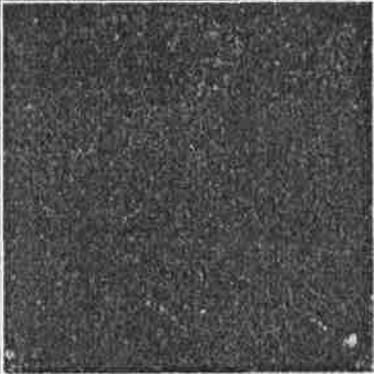
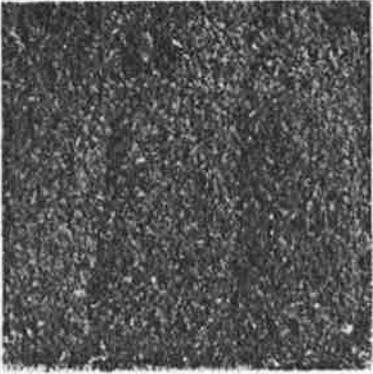
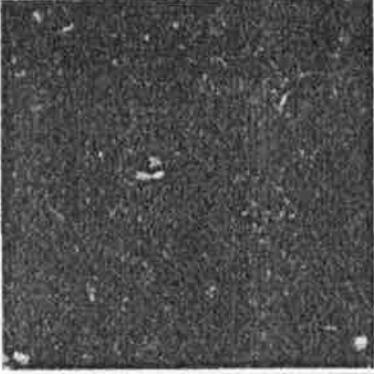
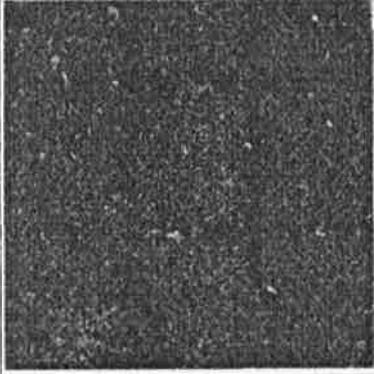
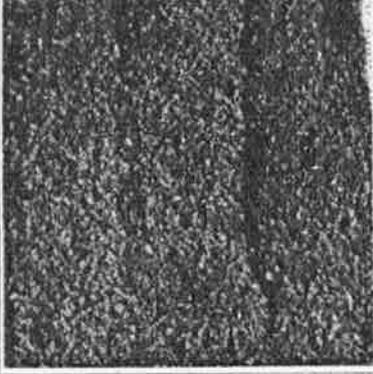
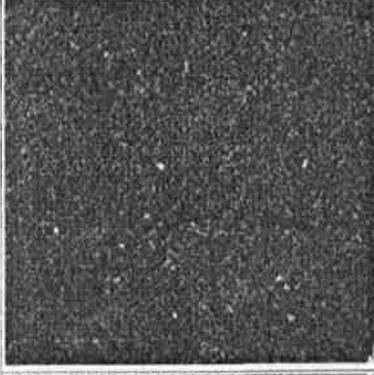
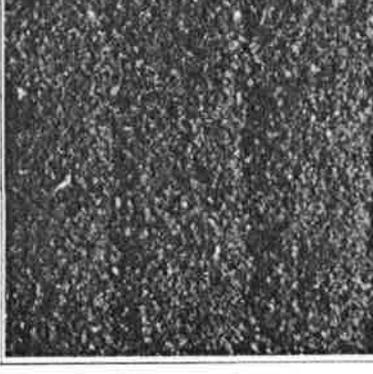
탄산수소나트륨(소다) 2g		
6월 10일	6월 22일	7월 20일
		
		
		
		

표 33. 시약처리 후 이끼 생육상태(계속)

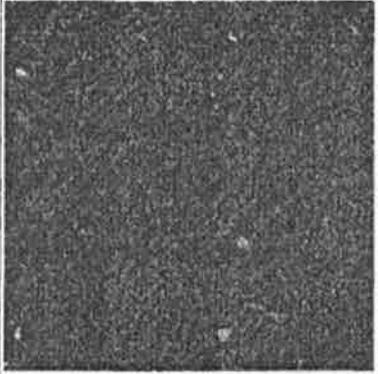
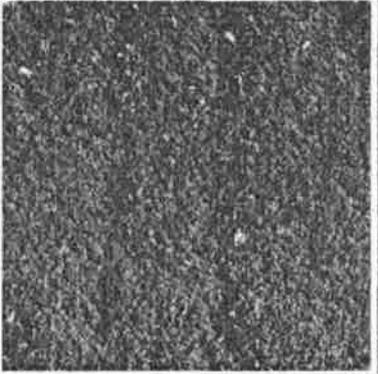
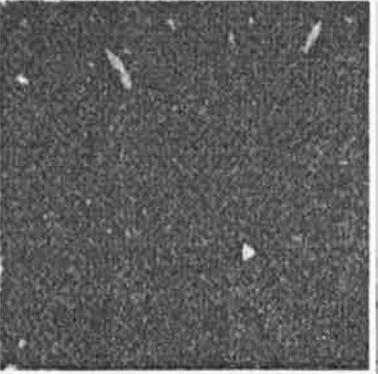
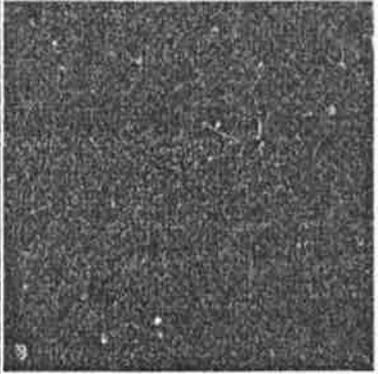
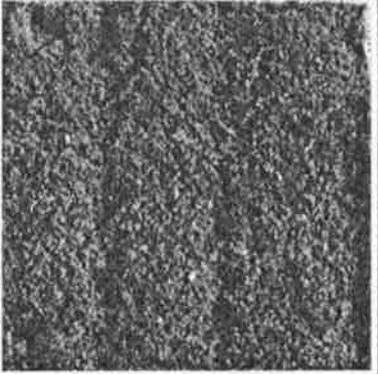
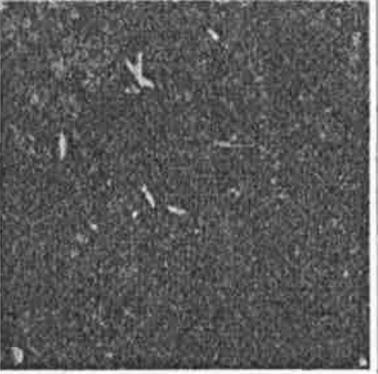
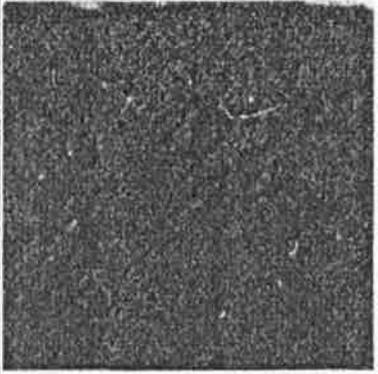
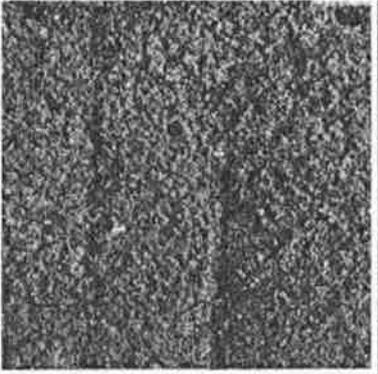
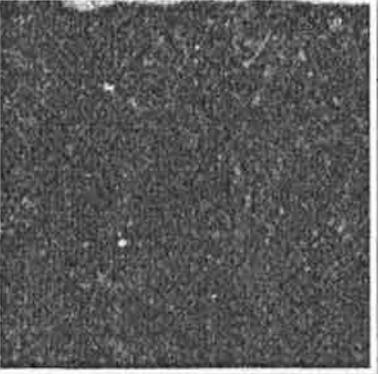
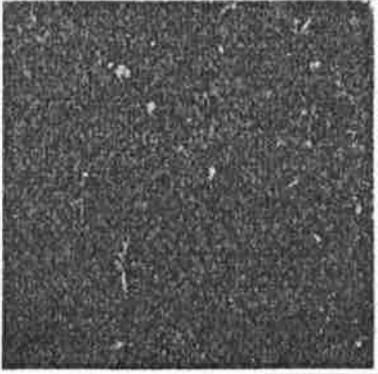
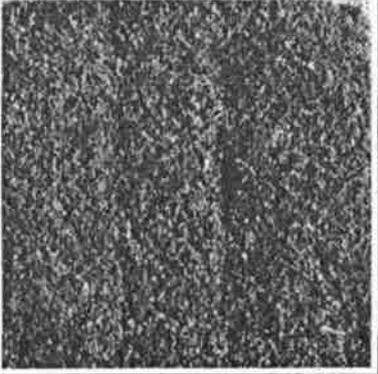
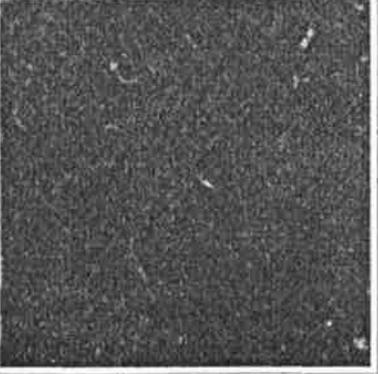
탄산수소나트륨(소다) 4g		
6월 10일	6월 22일	7월 20일
		
		
		
		

표 34. 시약처리 후 이끼 생육상태(계속)

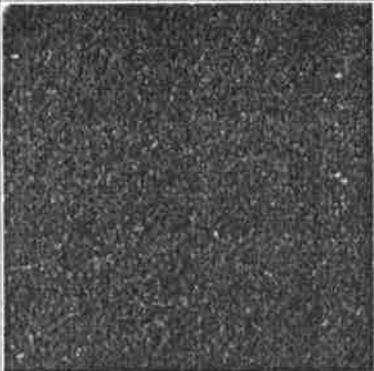
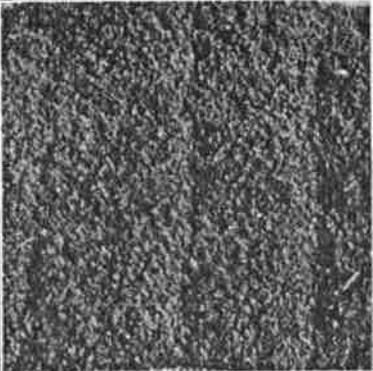
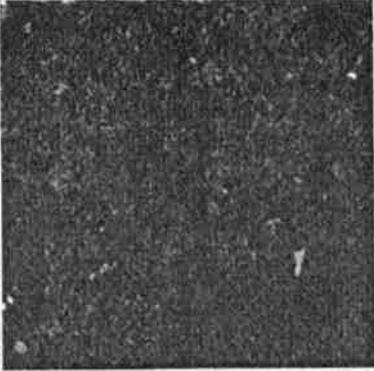
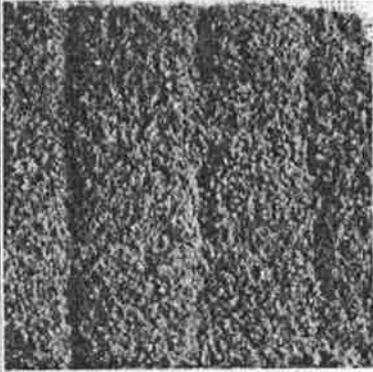
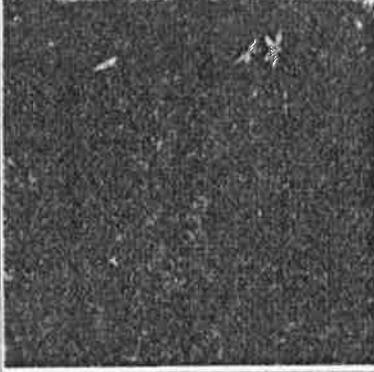
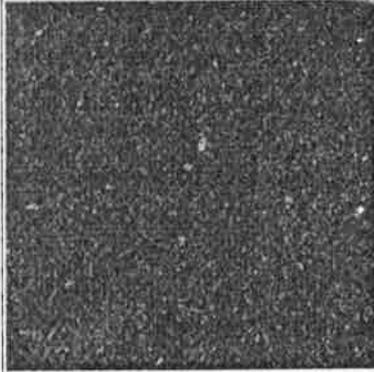
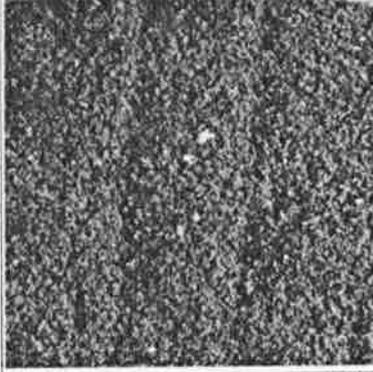
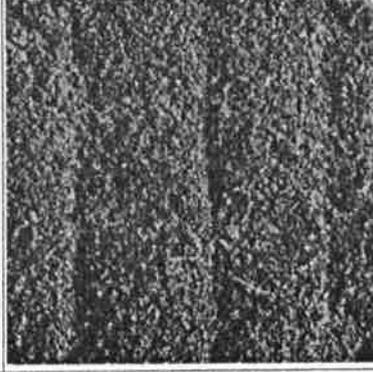
탄산수소나트륨(소다) 8g		
6월 10일	6월 22일	7월 20일
		
		
		
		

표 35. 시약처리 후 이끼 생육상태(계속)

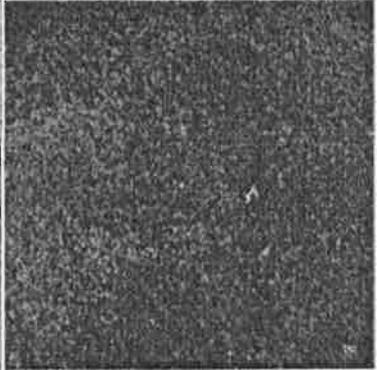
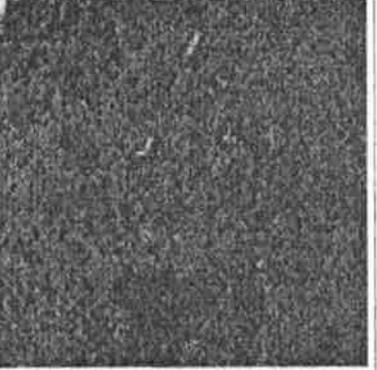
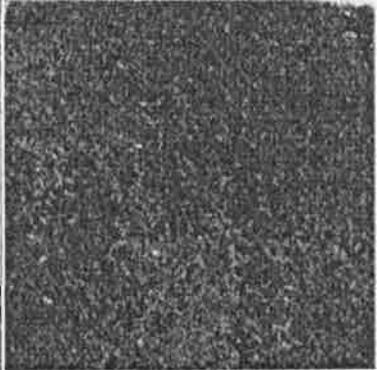
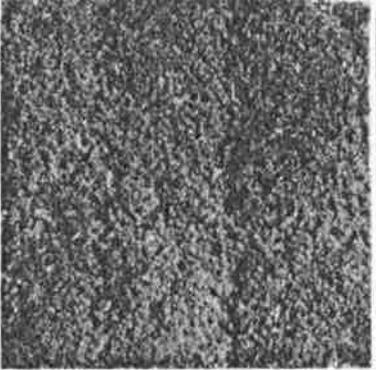
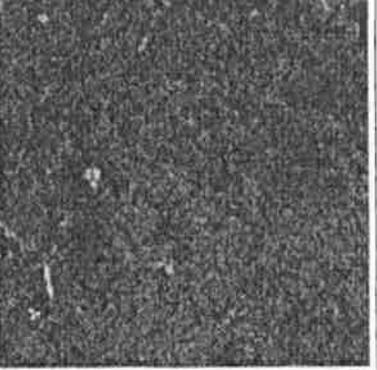
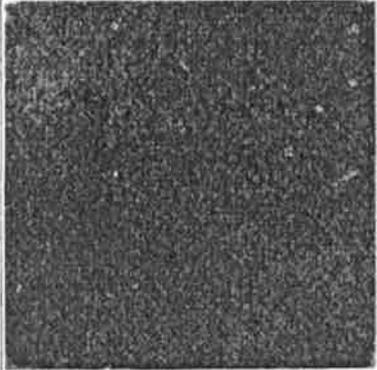
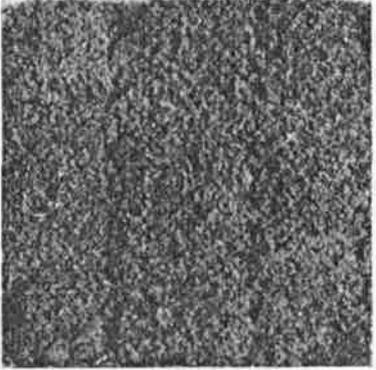
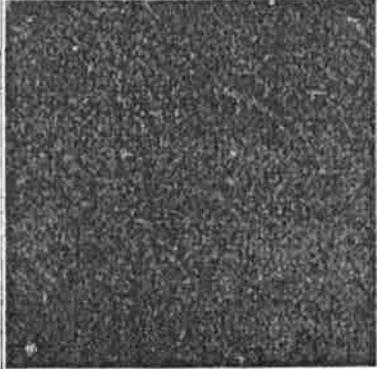
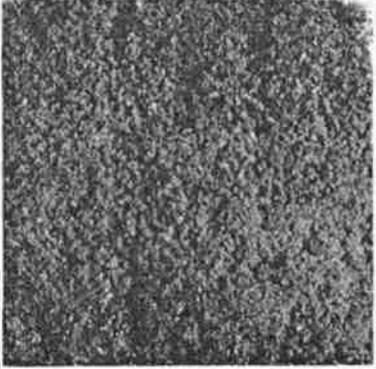
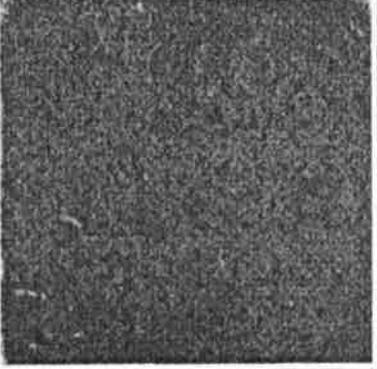
수산화나트륨 2cc		
6월 10일	6월 22일	7월 20일
		
		
		
		

표 36. 시약처리 후 이끼 생육상태(계속)

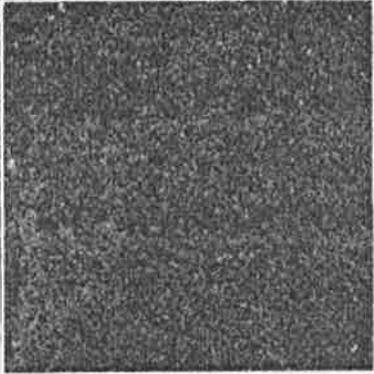
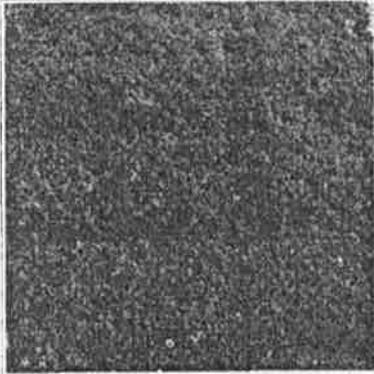
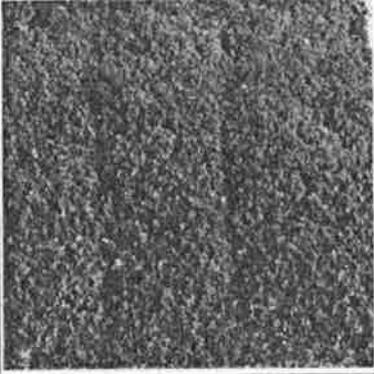
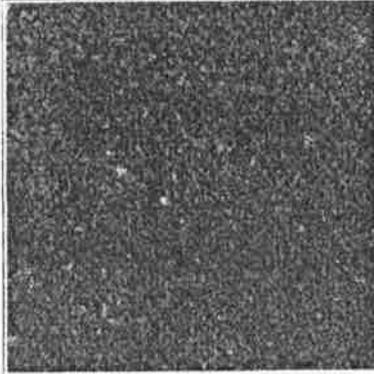
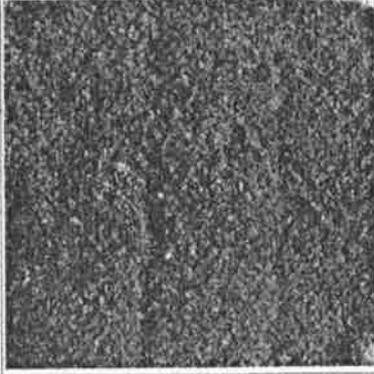
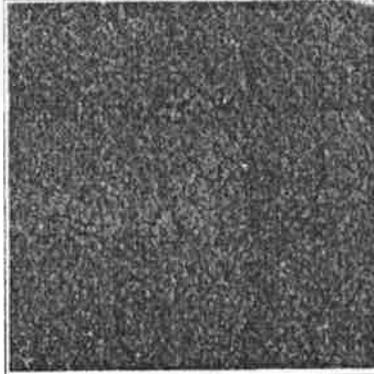
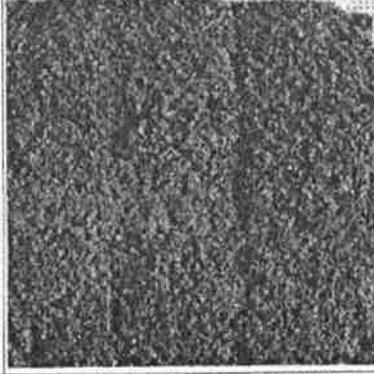
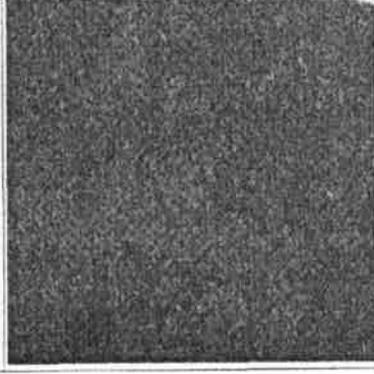
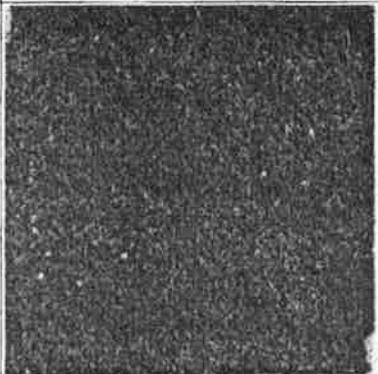
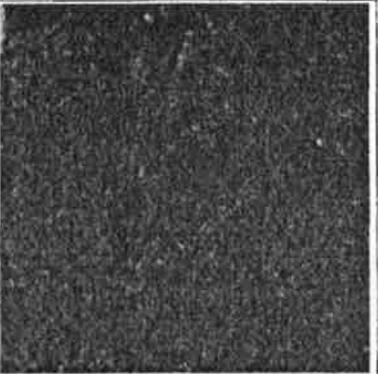
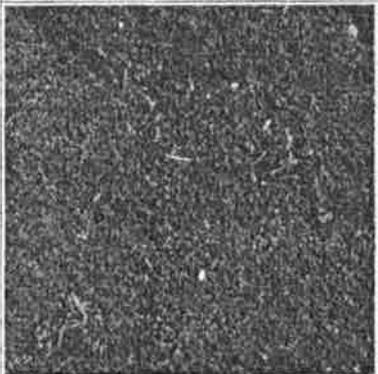
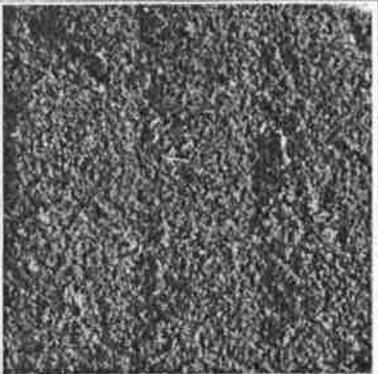
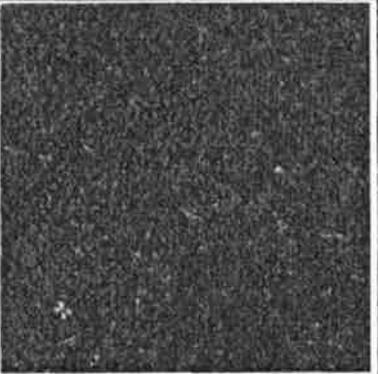
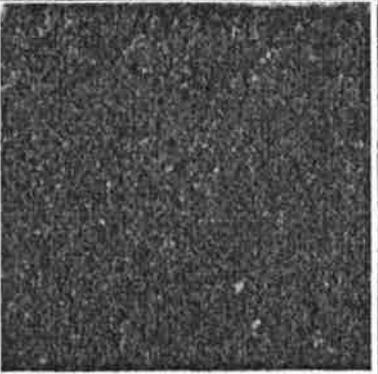
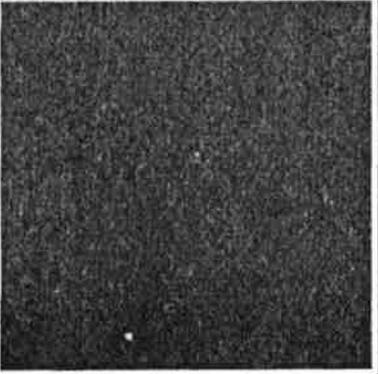
수산화나트륨 4cc		
6월 10일	6월 22일	7월 20일
		
		
		
		

표 37. 시약처리 후 이끼 생육상태(계속)

수산화나트륨 8cc		
6월 10일	6월 22일	7월 6일
		
		
		
		

나. 단위 모듈 디자인 및 실사모형 제작

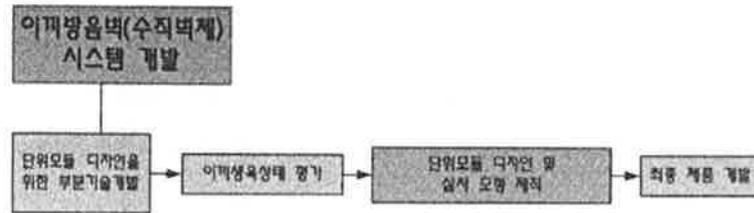


그림 125. 연구흐름도(단위모듈 디자인 및 실사모형 제작)

(1) 1차 기본적인 구상

수평면과 달리 수직벽체는 이끼를 포함한 모든 식물이 생육하기에 가장 열악한 환경을 가지고 있다고 할 수 있다. 이끼 또한 여러 가지 문제점들이 도출되었다. 기존 이끼매트를 이용한 수직벽체 녹화의 경우 ① 단조로운 디자인, ② 이끼의 탈락, ③ 지나친 수분공급에 의한 곰팡이균 등의 오염, ④ 이끼 생육의 부진 등이 문제가 되었다. 단위모듈을 설계함에 있어 이러한 문제점들을 고려하였다.

지나친 수분공급에 의한 곰팡이균의 오염을 막기 위해서는 인위적인 관수시스템 도입보다는 자연적인 우수에 의해 이끼가 생육하는 방법을 선택하였다. 국내의 환경은 수직벽체에 관수시스템을 도입하기에 어려운 환경이다. 관수시스템의 도입은 겨울철 관수가 불가능한 자연 환경적 제약, 시공대상지의 제약, 유지관리 비용의 증가 등의 비용적 제약 등을 가져온다. 또한 생육된 이끼매트를 이용하여 녹화를 할 경우 여름철 고온다습의 환경과 겨울철 저온건조의 환경을 조절해야하는 문제가 발생한다.

우리나라는 사계절 비가 균일하게 내리지 않는 환경이다. 자연적인 우수에 의해 수분공급을 하기 위해서는 비 맞는 면적을 확대할 필요가 있다. 또한 빗물에 의한 자연적 수분공급시 상단부의 모듈에서부터 물이 타고 내려와 최하단부의 단위모듈까지 수분공급이 용이하게 하여야 한다.

평판형의 이끼매트가 가지는 디자인적 단조로움을 피하기 위해 다양한 디자인 모듈을 이용한 시제품을 제작했다. 높이가 서로 다른 원기둥 및 정사각기둥의 단위모듈을 이용하여 입체적인 디자인이 가능하게 2가지 형태로 제작하였다.

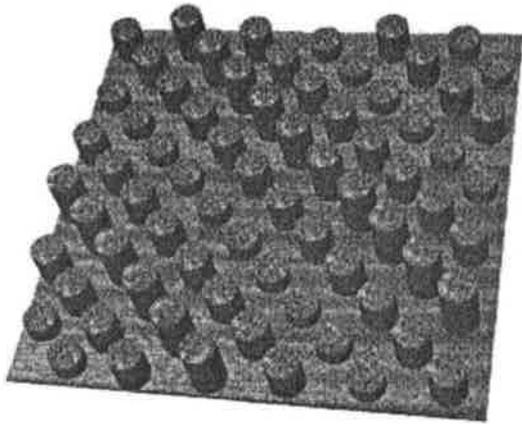


그림 126. Type 1(원기둥 구조)

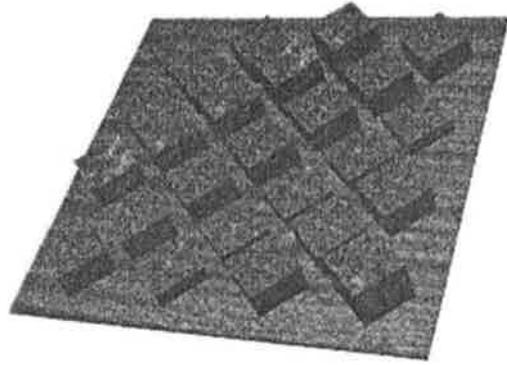


그림 127. Type 2(정사각기둥 구조)

시제품은 제작하기 쉬운 목재를 이용하여 제작해보았다. 높이가 서로 다른 3종류의 목재 모듈에 이끼매트를 감싼 후 1m×1m의 평판에 결합하여 단위모듈화 하였다.

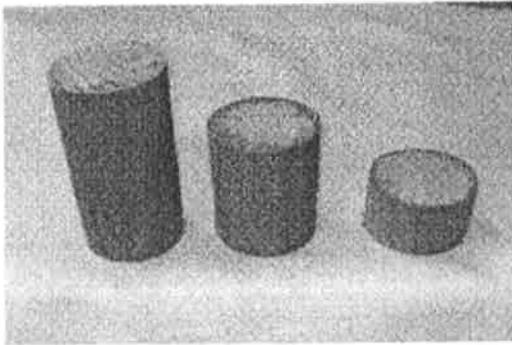


그림 128. 원기둥 구조물

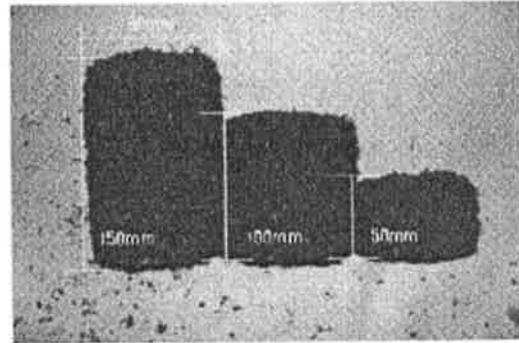


그림 129. 원기둥 구조물이 이끼매트 결합

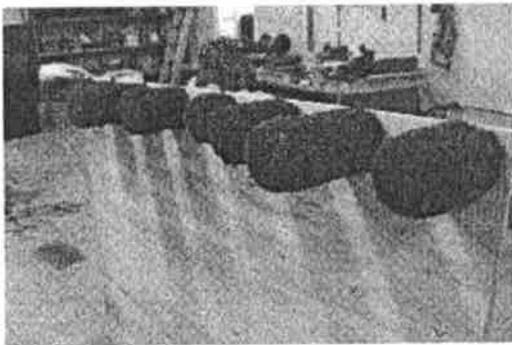


그림 130. 평판에 원기둥 구조물 연결

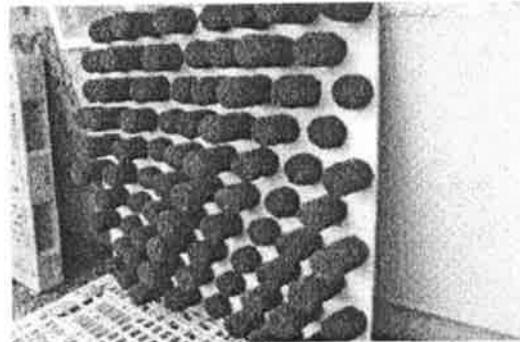


그림 131. 원기둥 단위모듈 완성

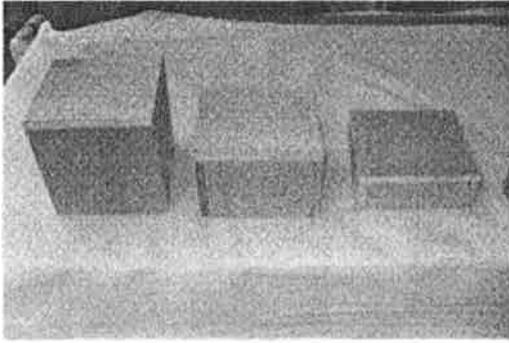


그림 132. 정사각기둥 구조물

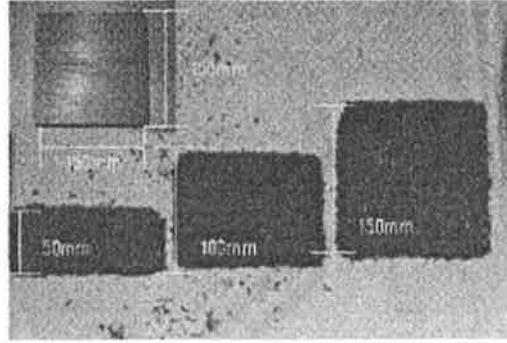


그림 133. 이끼매트 결합

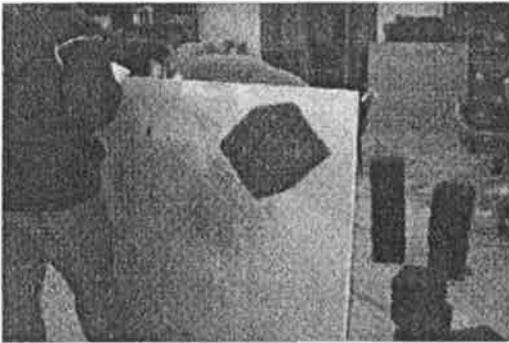


그림 134. 평판에 정사각기둥 결합

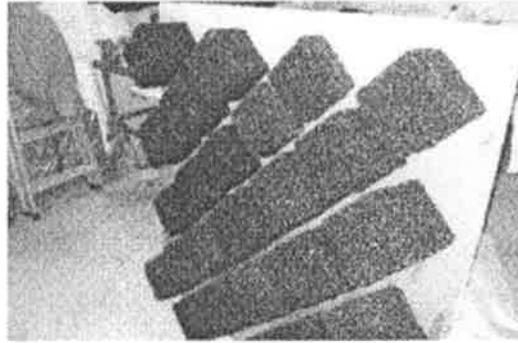


그림 135. 정사각기둥 단위모듈 완성

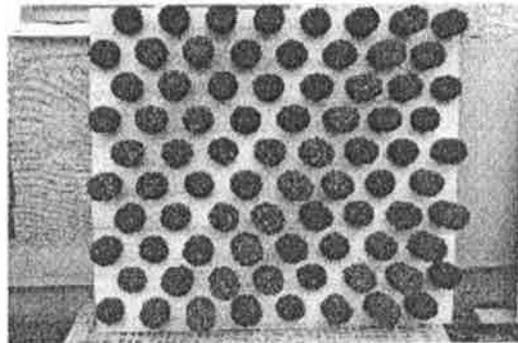
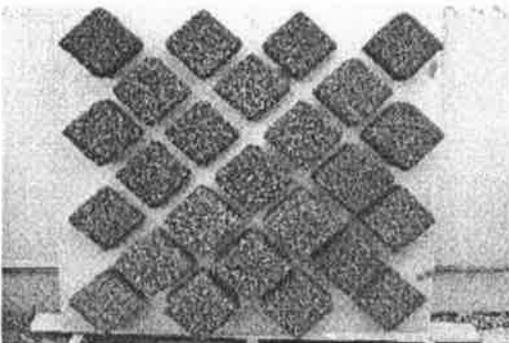
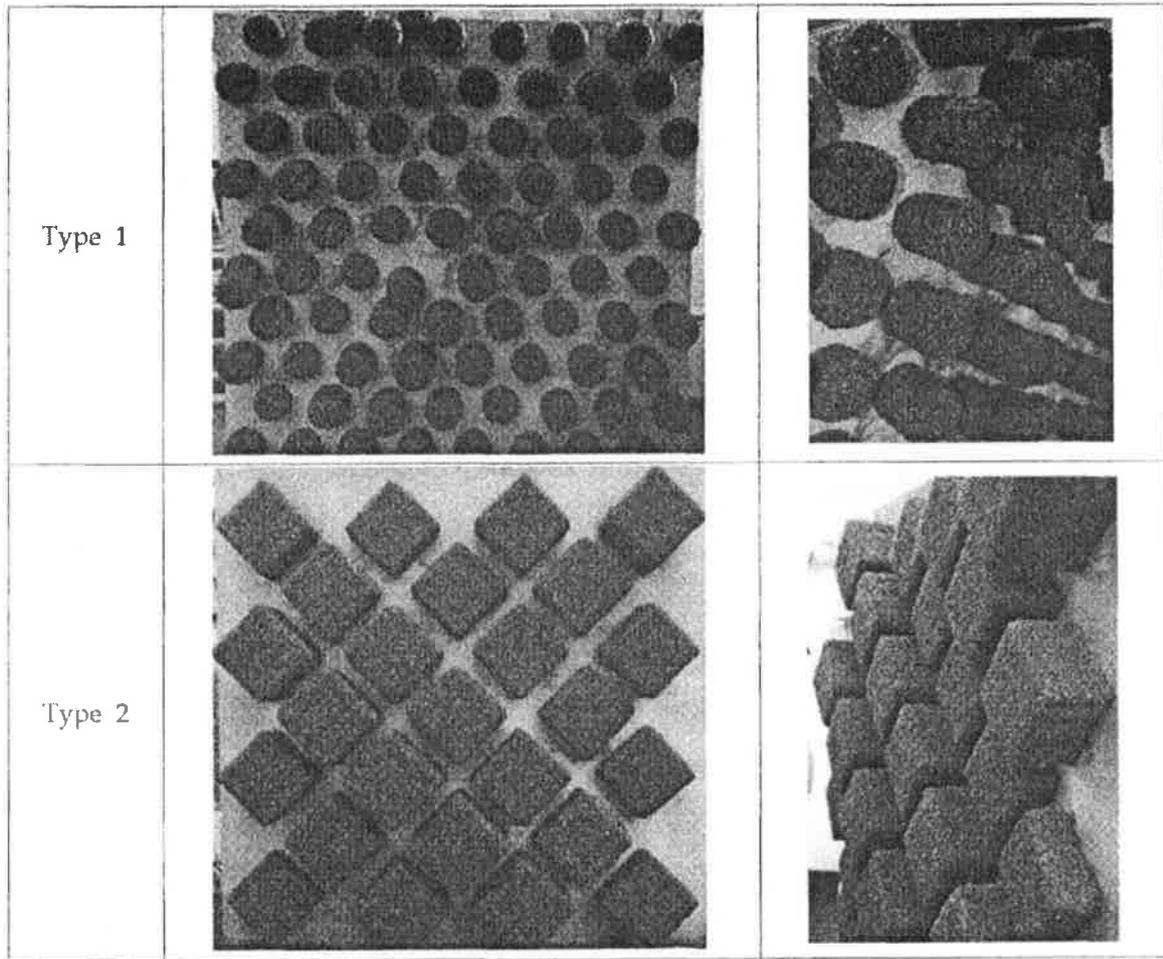


그림 136. 단위 구조물 설치

제작 후 3개월 경과시 자연관수(빗물)에 의존한 경우 빗물을 받는 최 상단부와 높이가 높은 구조체에서부터 생육이 원활한 것으로 관찰되었다. 높이가 높은 상단부의 구조물에 의해 가려지는 부분과 정사각기둥 구조물의 수직면의 이끼 생육이 다소 저조한 것을 알 수 있었다. 이는 빗물 공급이 원활하지 않았기 때문으로 판단된다.

표 38. 제작후 3개월 경과



(2) 2차 기본 구상

2차적으로 구상한 수직벽체의 모듈은 <그림 137>과 같다. 높낮이 조절이 가능한 원통형의 구조체에 이끼매트를 적용한 방식이다. 이 방식의 경우 상단부에 내리는 빗물이 보다 쉽게 최하단부까지 공급이 되게 하고 빗물이 맞지 않거나 공급되지 않는 수평면을 없앤 디자인이다. 또한 평판형의 식생매트의 디자인적 밋밋함도 해결하였으며, 생육된 이끼매트를 이용하여 자연관수에 의해 생육유지만 되게끔 설계하였다.



그림 137. 2차 기본 구상

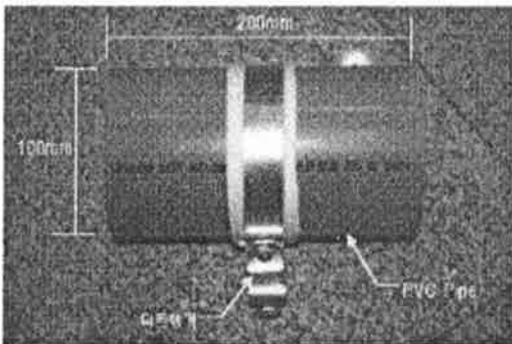


그림 138. 원형 모듈

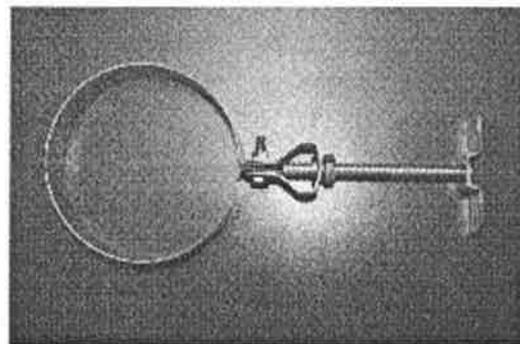


그림 139. 원형 모듈 고정과 높이조절이 가능하게 하는 시스템

주변에서 쉽게 구할 수 있는 자재를 이용하여 시제품을 제작하였다. 직경 100mm, 길이 200mm의 PVC 배수파이프와 벽체 또는 천정에 파이프를 고정하는 행거를 이용하였다. 행거는 볼트형태로 된 철봉의 길이조절을 통해 벽체와 파이프간의 거리 조절이 가능한 것을 선택하였다. 단위구조물은 제작은 우선 1m×1m의 평판에 행거를 고정시키는 고정핀을 정확한 위치에 설치하고 설치된 고정핀에 높이가 서로 다른 볼트를 결합한 후 여기에 이끼매트가 씌워진 원통구조물을 연결함으로써 완성된다(표 39).

표 39. 제작과정

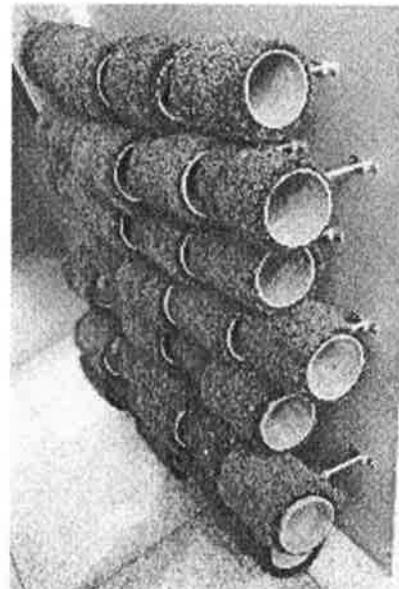
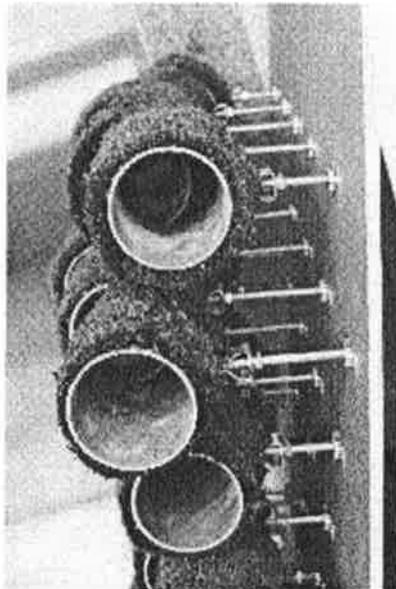
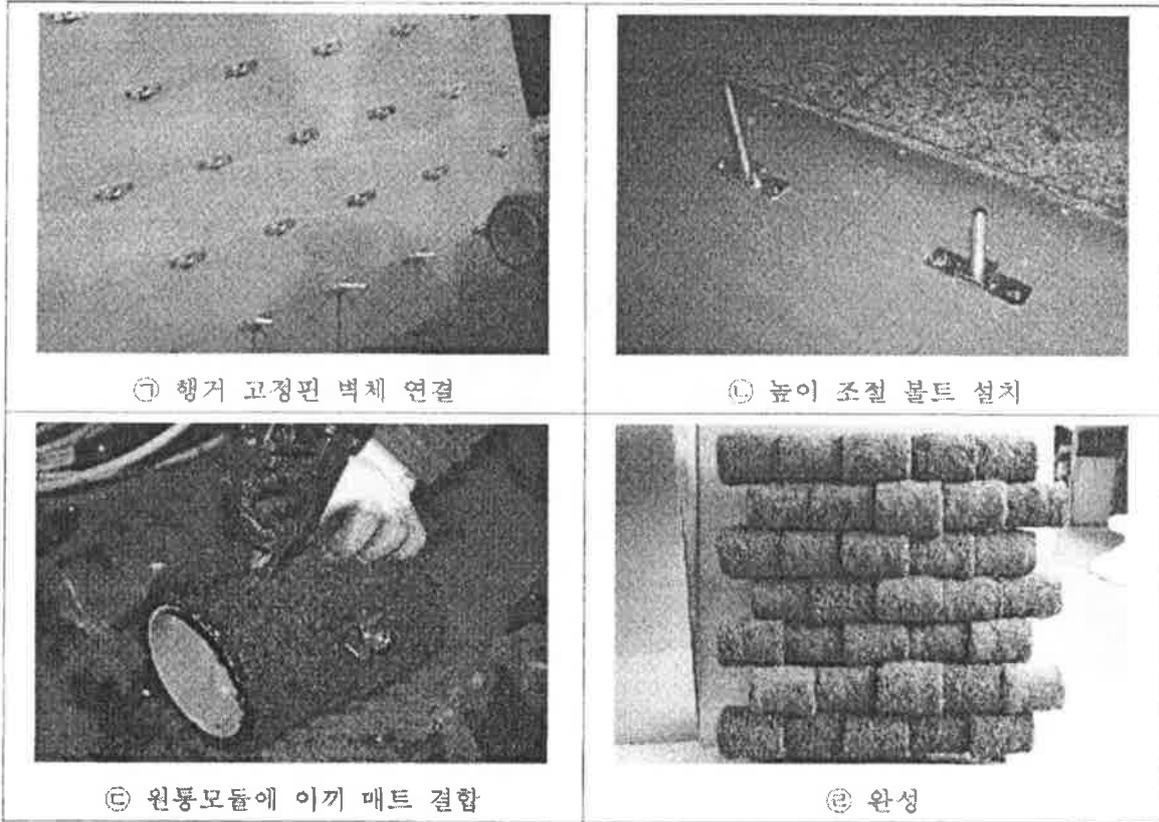


그림 140. 완성된 2차 단위모듈

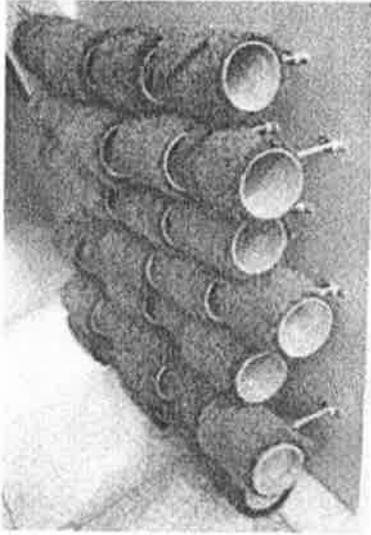


그림 141. PVC파이프
노출부위

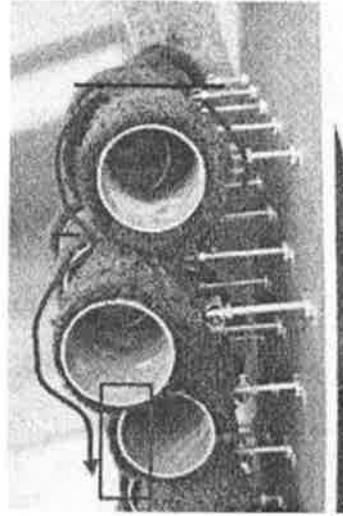


그림 142. 빗물의 흐름

(3) 시제품 제작 결과

제작 결과 많은 문제점들이 나타났다. 첫 번째 문제는 PVC파이프의 측면 노출이다(그림 141). 정면에서는 보이지 않으나 옆에서 보면 노출되는 문제는 이끼매트를 넓게 만들어 파이프 안쪽으로 집어넣어 파이프를 감쌈으로 해결될 수 있을 것이다. 두 번째 문제는 매트 두께의 비균일성으로 인한 연결시 어려움이다. 생육된 매트를 균일한 것으로 사용하지 않았을 경우 원통 모듈 연결시 모듈 상호간 거리차이가 발생하여 연결에 문제가 되었다. 세 번째 문제는 비 맞는 면적 및 수분공급이다. (그림 142)을 보면 실제 비가 올 경우 파란색 선 부분만큼 비를 맞아 젖게 된다. 빗물의 흐름이 녹색선이 되고 빨간색 박스 부분은 빗물 공급이 원활하지 않았다. 이를 해결하기 위해서는 PVC파이프와 같은 면이 막혀있는 구조물이 아닌 방형태의 원통구조를 이용할 경우 쉽게 해결될 것으로 판단된다.

(4) 3차 기본 구상

3차 기본구상에서는 빗물흐름문제의 해결책으로 망 타입을 고려하였다. 망으로 제작된 모듈 내부의 이끼에 비가 올 경우 빗물 공급이 원활하게 이루어지는 지를 보기위해 격자크기 및 모양이 다른 3가지 Type의 망을 이용하여 제작해 보았다. 망 구조물의 내부에 서리이끼를 포설하고 이끼가 망과 밀착되도록 부직포를 내부 충전시켜 이를 벽체에 결합시켰다. 제작 후 특별한 유지관리 없이 자연관수에만 의존하게 하고 모니터링을 하였다.



그림 143. 3가지 타입의 망

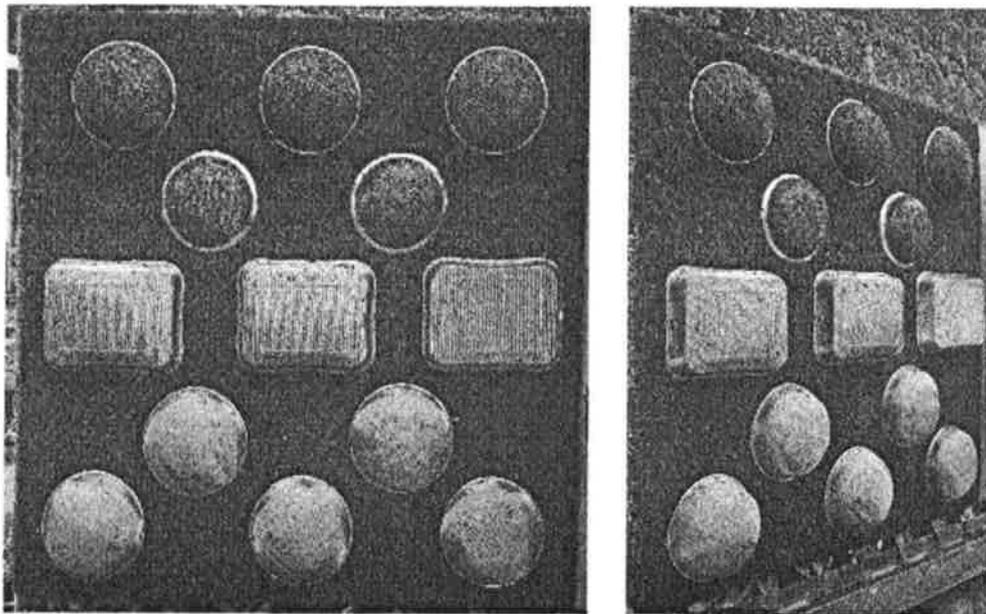


그림 144. 제작 직후

제작 후 3개월 경과시 모니터링 결과 격자크기가 큰 반구모형에서는 서리이끼가 망을 뚫고 나와 망을 60% 이상 피복하였다. 격자크기가 조밀한 반구와 사각모듈은 망을 뚫고 나오기가 쉽지 않아 피복이 늦어지는 것으로 판단되었다. 특히 사각모듈의 경우 수직면에서도 이끼가 뚫고 나오는 것이 특징이었으며, 각 모듈에서 최상단부의 이끼의 생육이 더딘 이유는 내부에 충전된 부직포가 하중에 의해 아래쪽으로 처짐으로써 상단부의 이끼가 망과 밀착이 되지 않아 생육이 되었어도 망 밖으로 뚫고 나오지 못하였기 때문으로 관찰되었다.

이 결과를 통해 망 구조 형태가 수직면에 설치되었을 경우 빗물의 공급을 원활하게 하여 이끼의 생육에 도움이 되는 것을 도출할 수 있었다. 빠른 회복도를 가져올 수 있게 하기 위해서는 적절한 망 크기 도출과 내부 이끼를 외부 망에 밀착시키는 방법을 보완하여야 할 것이다. 이 두 가지를 보완하면 수직벽체에 이용 가능한 제품이 개발될 것으로 판단된다.

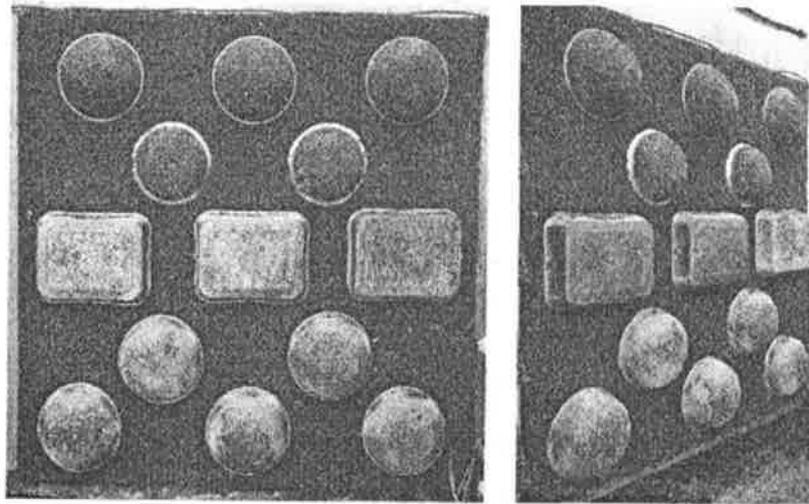


그림 145. 제작 후 3개월 경과

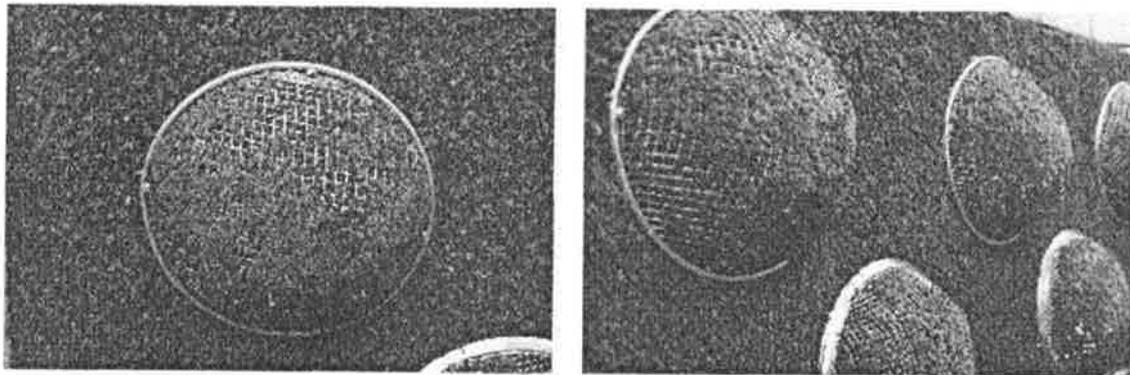


그림 146. 상세사진

다. 최종 모듈 디자인

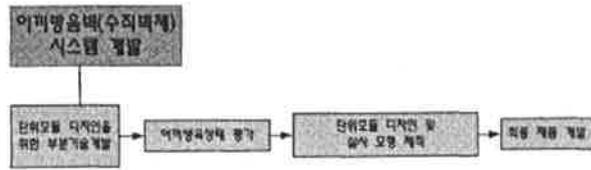


그림 147. 연구흐름도(최종 제품 개발)

최종 모듈 디자인은 수평면 녹화를 위해 개발된 모스페블(moss pebble)를 이용하여 수직벽 녹화를 하는 방법으로 하였다. 모스페블의 경우 망구조 형태로 상단부에서 하단부까지 수분공급이 원활하게 이루어질 것이며, 내부에 충전된 이끼는 페블에 밀착되어 빠른 피복 효과를 가져올 것이다.

모스페블을 수직벽체에 적용하는 방법은 계비온을 이용한 구조물에서 아이디어를 얻었다. 계비온은 돌을 철망 구조물 내부에 설치한 구조물로 철망구조물에 모스페블을 채움으로써 수직벽체에 이끼를 이용한 녹화가 가능할 것으로 판단된다. 모스페블의 경우 돌로 채워진 계비온보다는 무게도 가벼워 하중문제에 따른 철망의 배부름 현상도 적고 구조적 안정성 부분도 어느정도는 해결할 것이다. 또한 철망 구조물을 쉽게 설치가 가능한 일정크기-예를 들어 1m × 0.5m 크기의 단위모듈화 할 경우 기존 방음벽 및 교각의 난간, 건축물의 수직벽, 펜스 등 다양한 수직면에 적용 가능할 것으로 판단된다.

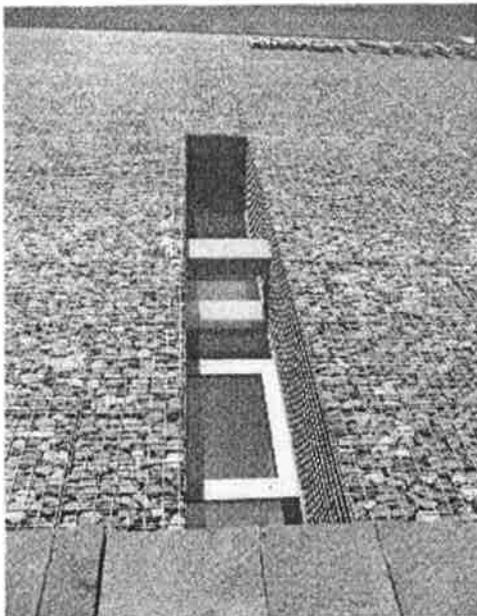


그림 148. 계비온을 이용한 수직벽 구조물

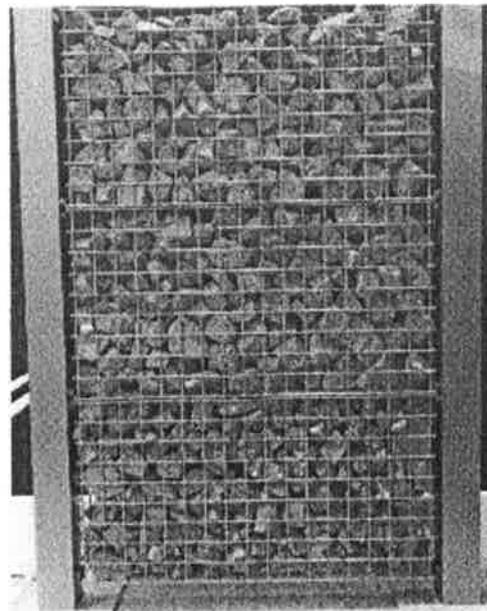


그림 149. 계비온을 이용한 펜스

현재 모스페블을 이용하여 수직벽면 및 경사면에 이끼녹화모듈을 적용하기 위한 금속재질로 된 망 형태의 프레임을 개발하고 있다. 이 프레임은 외부면에 부착하기 쉽고, 프레임 상호간에 결속하기 쉬운 방법으로 개발예정이며, 또한 프레임의 금속 망이 많이 노출되지 않게 하여 모스페블이 만들어내는 디자인적 효과를 강조할 수 있게 만들 예정이다.

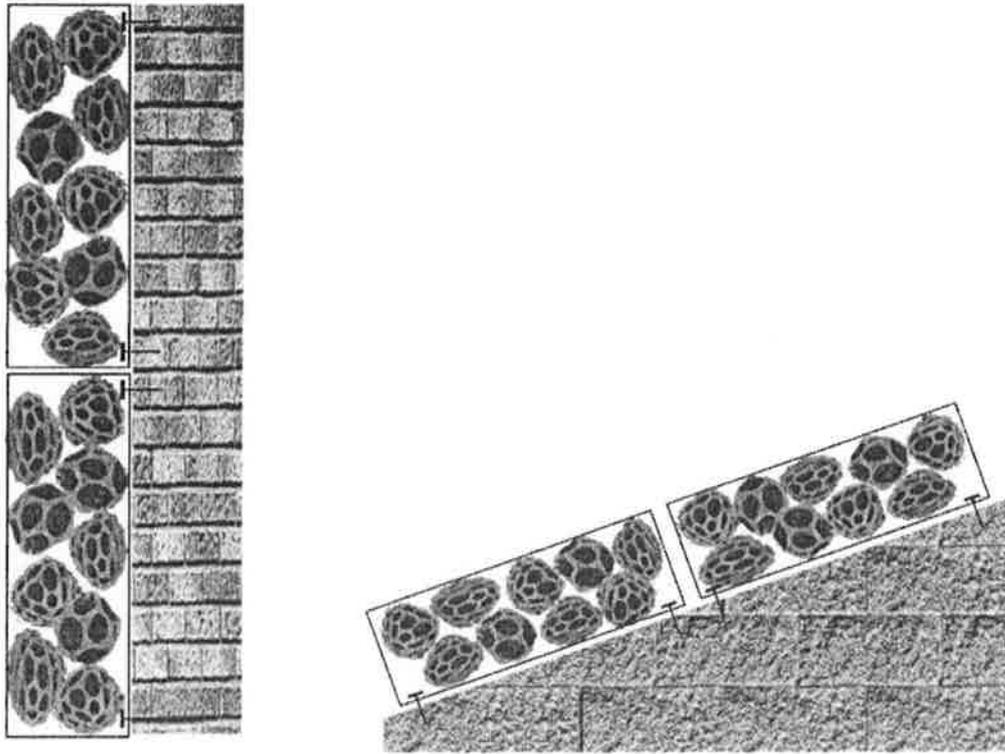


그림 150. 모스페블을 이용하여 수직면 및 경사면에 적용한 예시 단면도

3. 기 개발된 바다, 수직, 경사면 녹화시스템의 실내적용을 위한 시스템 개발

최근 사무실, 로비, 거실 및 점포 등의 건축 내부공간에 식물을 이용한 녹화에 대한 관심이 증대되고 있다. 실내에 적용가능한 식물소재로 이끼 또한 많은 연구가 진행되어 2007년도 건국대학교 산학협력단에서 이끼의 실내적용과 관련된 「이끼벽과 실내식물을 이용한 공기청정용 실내정원 시스템」, 「이끼벽을 이용한 실내 조정 시스템」, 「벽면녹화용 이끼블록·판넬 및 그 제조방법」 등의 특허를 출원하였다. 2010년도 「실내조정 설계를 위한 지피용 이끼류의 온열환경성능 평가」에서 실내조정 소재로서의 이끼류 기능에 관한 연구도 진행되었다.

본 연구기관 또한 이끼를 이용한 수직벽에 초점을 맞춰 연구를 진행하였다.

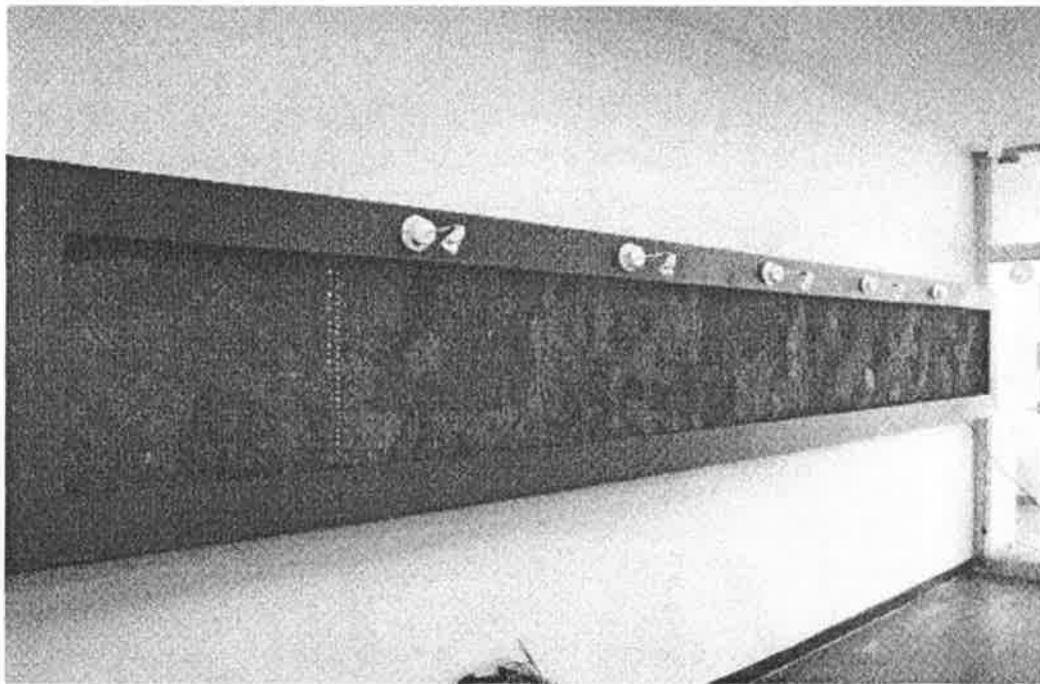
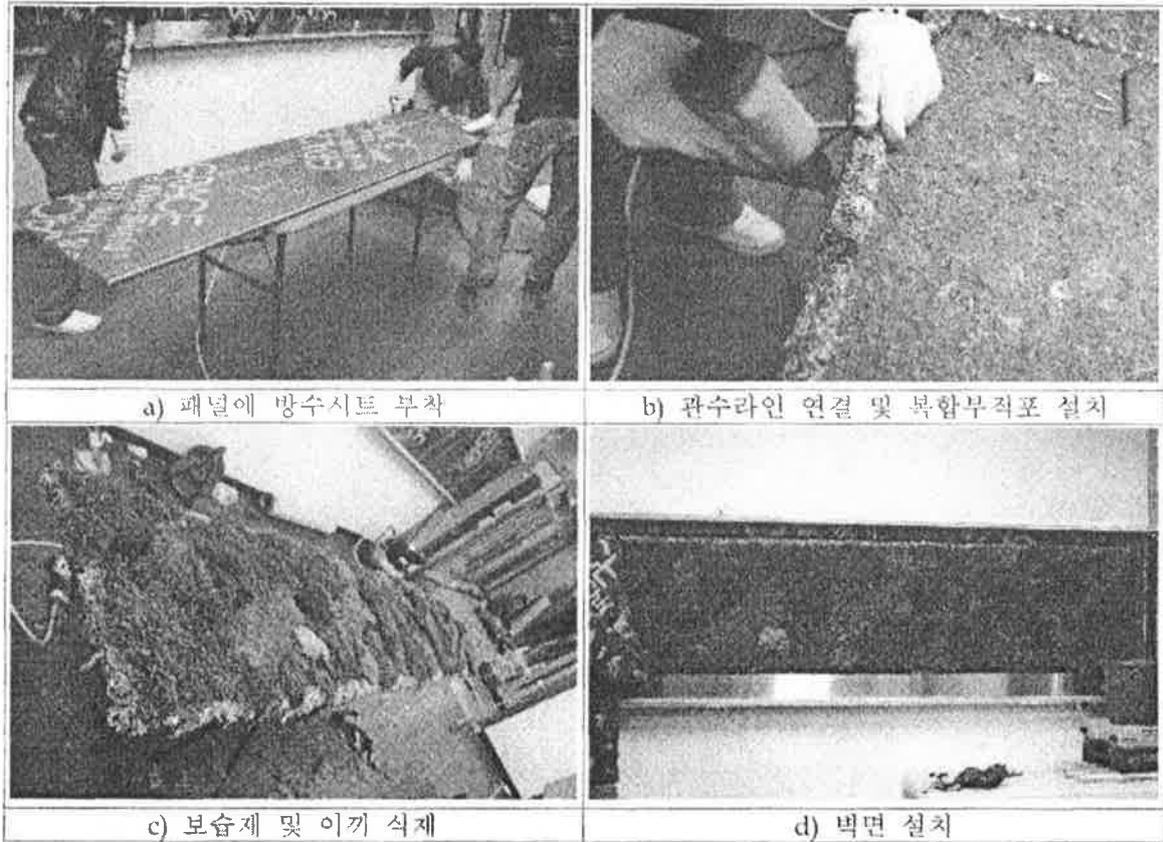
가. 점적관수 시스템을 이용한 이끼 실내 수직벽 제작

○ 현장 적용

구 분	내 용
기 간	2009년 6월 - 계속
장 소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
대상면적	1m×6m
공시재료	<i>Racomitrium canescens</i> (서리이끼), <i>Hypnum plumaeforme</i> (털깃털이끼), <i>Polytrichum commune</i> (솔이끼), <i>Miyabea fruticella</i> (깃털이끼) <i>Climacium japonicum</i> (나무이끼) 등
측 정	생육상태 (사진촬영에 의한 육안 판단)

외부 수직면에 적용되었던 방식과 동일하게 실내공간에 옮겨 조성을 해보았다. 실내공간에는 미적효과를 높이기 위해 다양한 이끼를 선별하여 식재하였고, 조명을 설치하였다(표 40). 관수 방법은 하단부에 설치된 stainless 흡통에 수중모터를 설치하여 하부 수조에 저장된 물을 상단부에 설치된 점적관수라인을 통해 수직면에 수분을 공급하는 물순환시스템을 이용하였다.

표 40. 실내 수직벽 조성과정



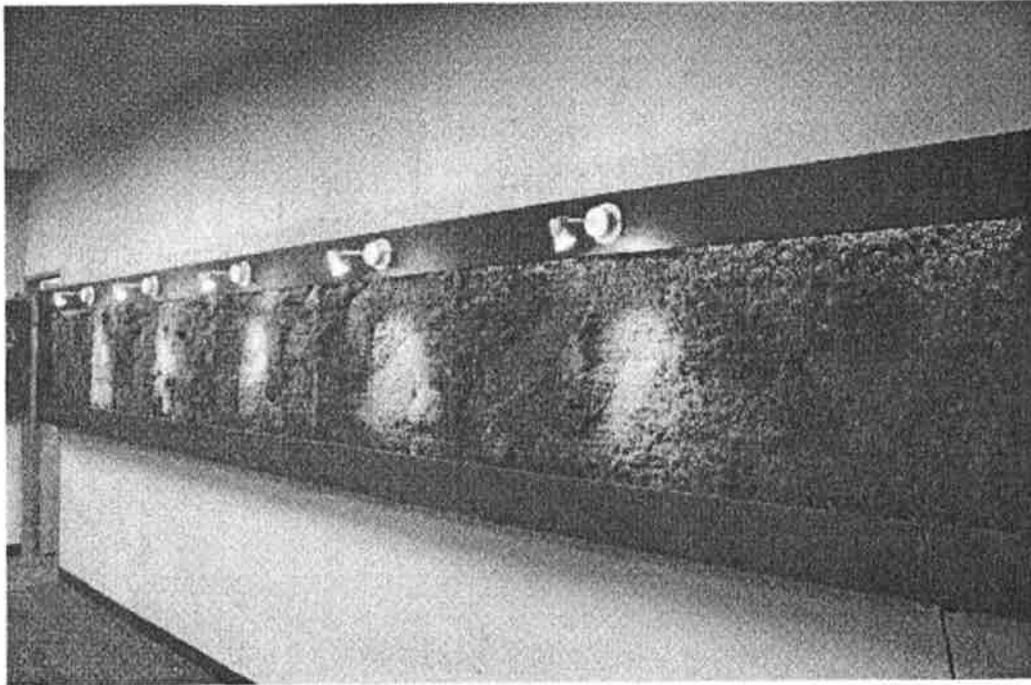


그림 151 검증된 보습층 소재를 이용한 현장적용, 일송환경복원(주) 사무실,
2009년 6월

○ 결 과

선별된 다양한 이끼를 실내 벽면에 적용한 결과 심미적 효과는 얻을 수 있었다. 그리고 물순환 시스템을 이용한 수분 공급방식으로 일부 이끼의 생육유지도 가능했다. 제작 후 2개월이 경과한 시점부터 일부 이끼가 검붉게 변하기 시작하여 시간이 지날수록 그 면적이 확대되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 점적관에 의해 지나치게 많은 수분이 이끼에게 공급되어 발생한 문제로 판단된다. 복합부직포 또한 과습조건을 만들어 곰팡이 발생을 유도하는 또 다른 이유로 판단된다.

향후 실내공간의 광 및 온도, 습도 등 환경조건에 적합한 이끼의 선별실험이 필요하고 또한 적정 수분공급방식의 도출이 요구된다.

나. 수분 흡수 소재를 이용한 실내용 이끼 모듈 제작

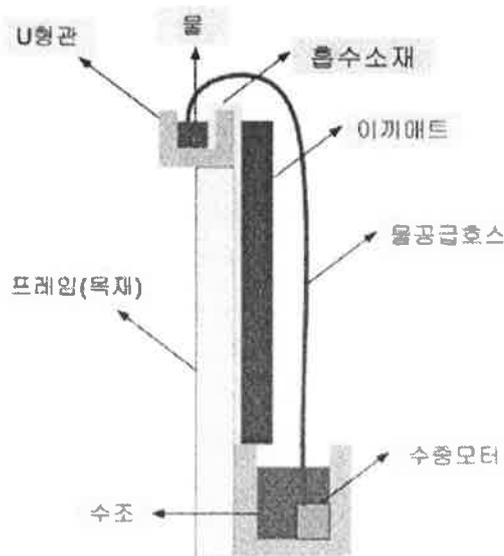


그림 152. 수분 흡수 소재를 이용한 수직벽 녹화 시스템

본 연구기관이 2차년도에 수행한 수직벽 시스템 개발과 관련한 연구 중 수분 흡수 소재를 이용한 수직벽 녹화 시스템을 이용하여 실내용 제품개발에 이용하고자 하였다.

수분 흡수 소재에 의한 적정한 수분공급과 이끼의 생육에 적합한 광조건을 만들어주는 데 핵심을 두고 다양한 이끼를 적용하여 실내에 적합한 이끼를 도출하고자 하였다. 구조적 형태에 따라 크게 3가지 type으로 구분지어 제작하였다.

첫 번째 type은 하단부에 수조(어항)을 설치하여 수조에서부터 수중모터를 이용하여 전면부에 부착된 이끼평판에 수분을 지속적으로 공급하여 이끼를 생육시키는 시스템이다(수조일체형). 두 번째 type은 하단부의 수조의 노출을 없애고자 이끼평판 뒤쪽에 또는 옆 프레임쪽에 수조를 매립한 형태이다(수조매립형). 세 번째 type은 수조가 노출이 되지만 벽체에 거치되는 형태로 제작되었다(벽체형).

○ Type 1 - 수조일체형

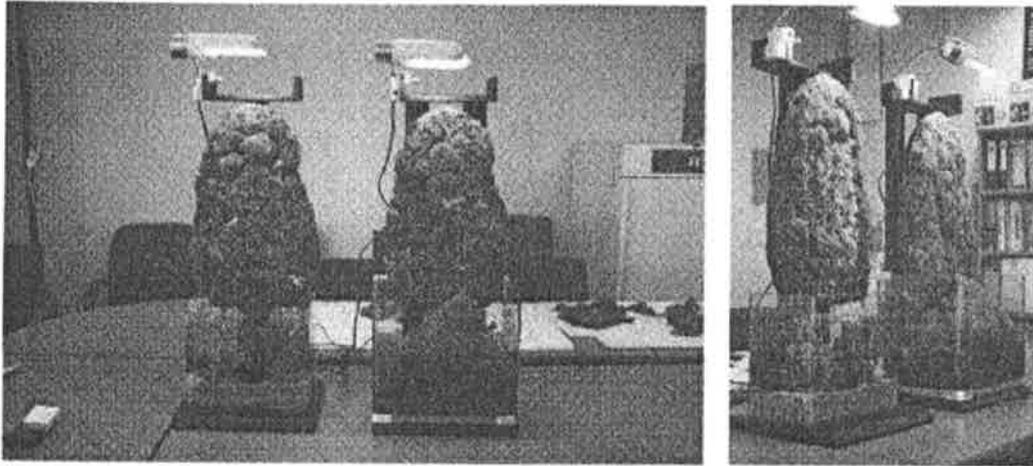


그림 153. 수조일체형 실내 이끼 제품, 2010년 5월 제작

수조 일체형은 수족관과 이끼판넬을 결합한 제품이다. 하단부에 수조관을 만들어 관상어를 끼울 수도 있으며 수족관의 물을 이끼판넬에 공급하여 이끼를 생육시키는 시스템이다. 이끼판넬은 다양한 형태로 제작이 가능하며 사용되는 이끼에 따라 다양한 연출도 가능하다.

사용된 이끼는 계곡 또는 천변 주변에 서식하는 습지성 이끼 위주로 채집하여 실험하였다. 철사이끼(*Bryumcapillare* Hedw.), 구슬이끼(*Bartramia pomiformis* Hedw. var. *elongata* Turner.), 덩굴초롱이끼(*Plagiomnium maximoviczii*), 쥐꼬리이끼(*Myuroclada maximoviczii* (Borcz.) Steere et Schof.), 패랭이우산이끼(*Conocephalum conicum* (L.) Dum)를 사용하였다.

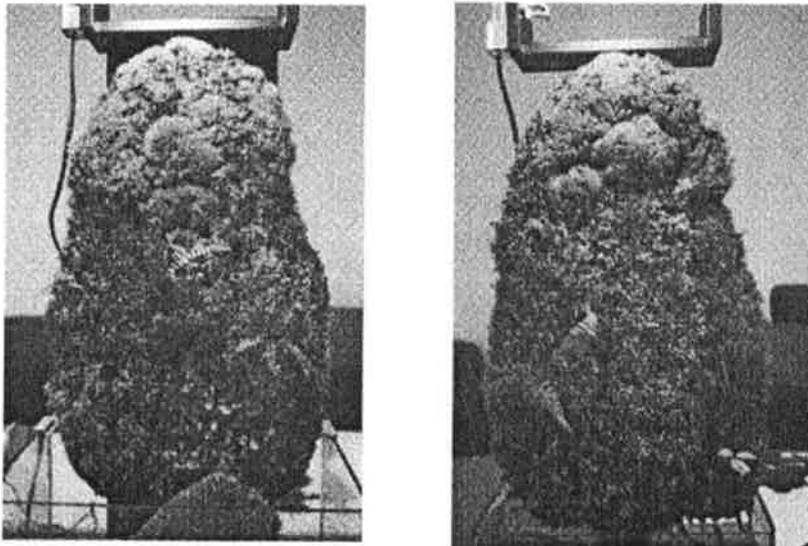
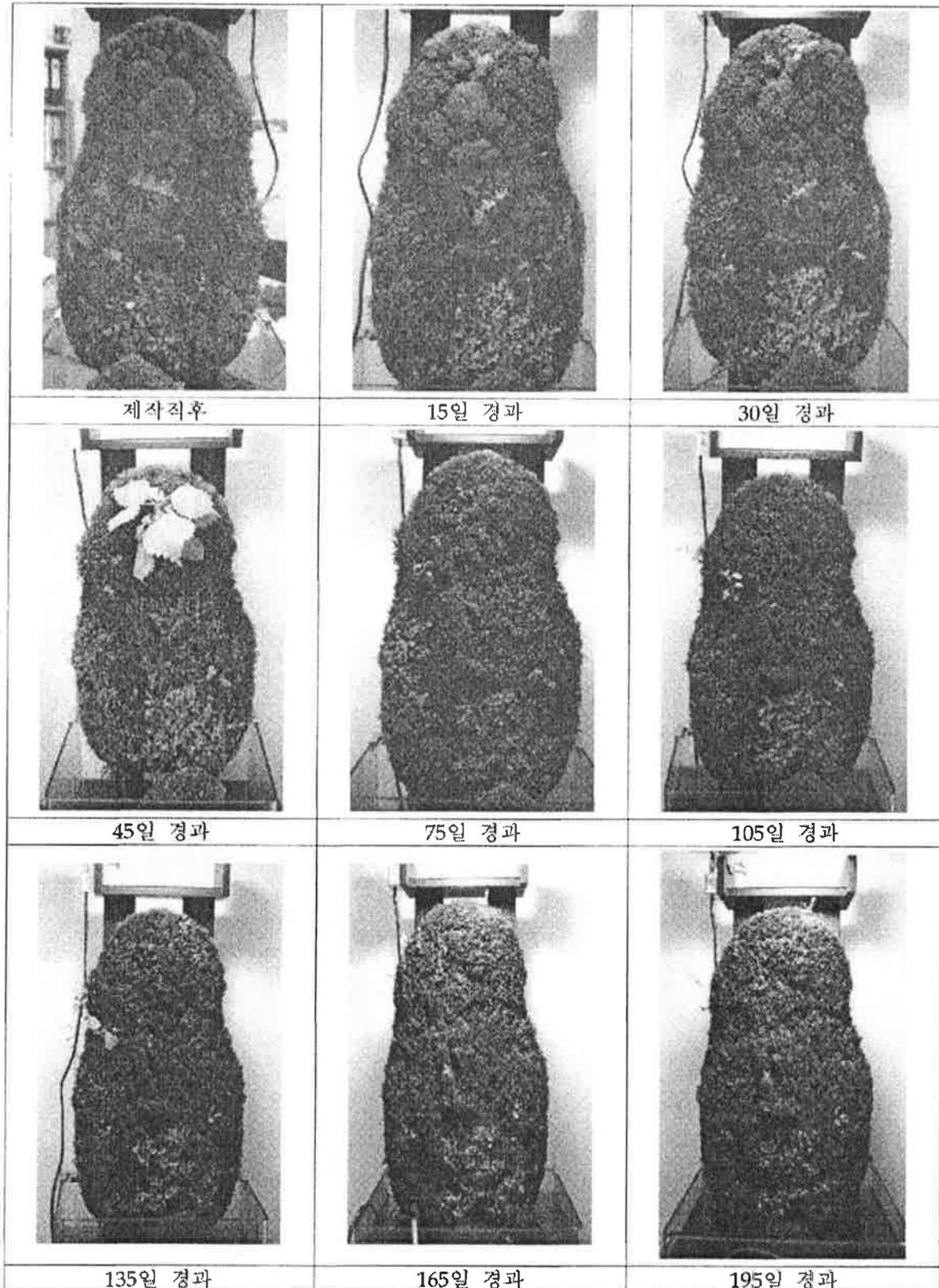


그림 154. 다양한 이끼를 이용한 연출

표 41. 모니터링 - Type 1



○ 모니터링 결과

약 6개월이 넘는 모니터링 결과 적용한 이끼별 생육상태를 파악하였다. 약 15일 경과시점부터 철사이끼의 한쪽 끝 부분이 노랗게 변하기 시작하면서 시간이 지날수록 점점 더 넓어지는 것을 관찰할 수 있었다. 구슬이끼 또한 경우 한 달이 경과한 시점에서부터 끝 부분이 노랗게 변하는 것을 관찰할 수 있었다. 하지만 초기에 외부로 들어가 있던 구슬이끼의 경우 점점 노랗게 변하기 시작하였으나 그 안쪽에서부터 새로운 구슬이끼 싹이 나오기 시작하였다. 이끼와 같이 식재한 고사리류의 경우 생육상태가 초기부터 매우 불량하였다. 패랭이우산이끼의 경우 그 생육이 매우 양호하였다. 쥐꼬리이끼와 덩굴초롱이끼의 경우 또한 초기에 이끼의 끝부분이 노랗게 변하였으나 더 이상의 진행은 없었으며, 싹이들이 파랗게 올라오는 것을 확인할 수 있었다.

○ Type 2 - 수조매립형

하단부에 노출되는 수조를 없애기 위해 ①이끼 판넬 뒤쪽에 수조 공간을 만들어 전면부의 이끼 판넬에 수분을 공급하는 시스템 ② 이끼판넬 주변 프레임에 수조공간을 만들어 이끼 판넬에 수분을 공급하는 시스템을 제작하였다. 사용된 이끼는 흰털이끼(*Leucobryum glaucum* (Hedw.) Angstr.), 구슬이끼(*Bartramia pomiformis* Hedw. var. *elongata* Turner.), 덩굴초롱이끼(*Plagiomnium maximoviczii*), 쥐꼬리이끼(*Myuroclada maximoviczii* (Borcz.) Steere et Schof.), 깃털이끼(*Thuidium kanedae*), 패랭이우산이끼(*Conocephalum conicum* (L.) Dum), 주름솔이끼(*Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv.)를 이용하였다.

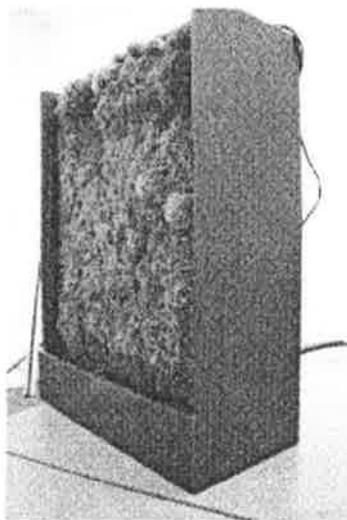


그림 155. 수조를 이끼판넬
뒤부분 매립(후방 수조
매립형), 2010년 6월 제작

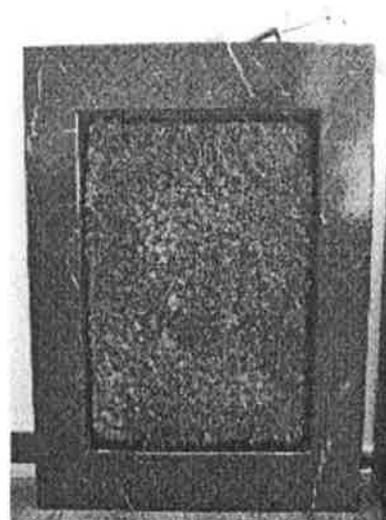


그림 156. 수조를 이끼판넬
측면 프레임에 매립(측면 수조
매립형), 2010년 7월 제작

표 42. 모니터링 - Type 2 후방 수조 매립형

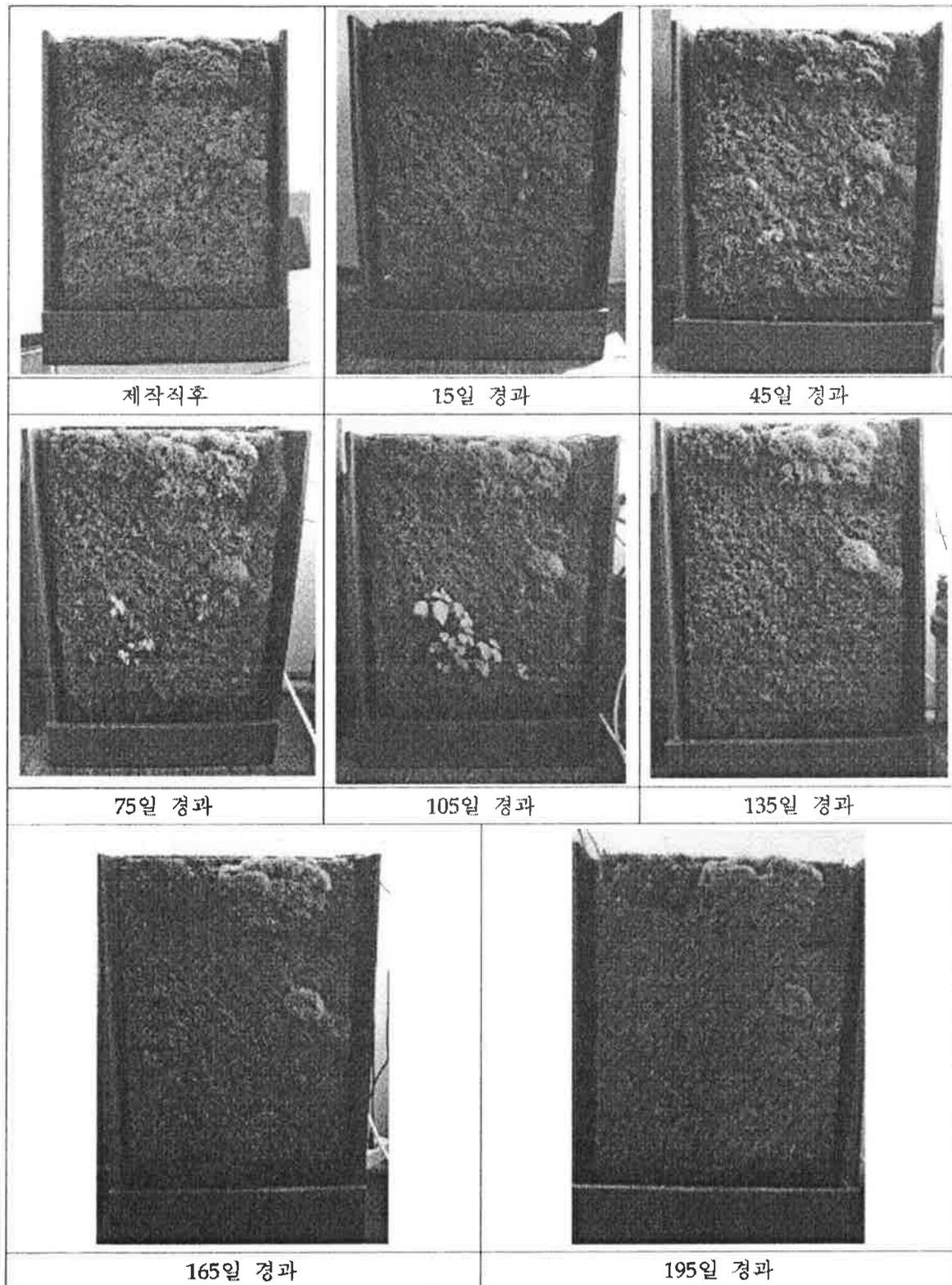
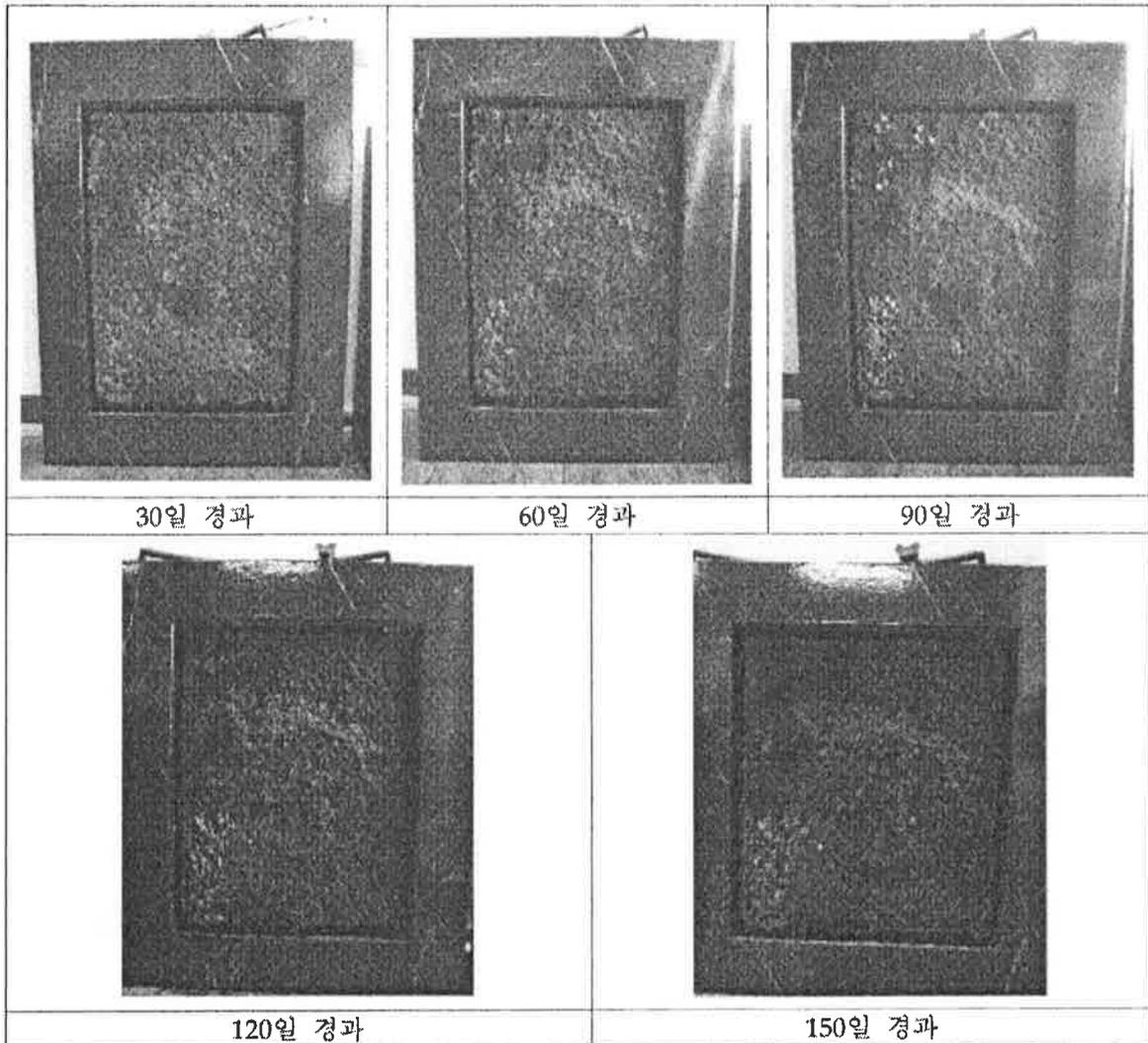


표 43. 모니터링 - Type 2 측면 수조 매립형



○ 모니터링 결과

매립형의 경우 상단부에 광원을 설치하지 않았다. 두가지 타입의 매립형 모두 이끼생육에 있어 비슷한 양상을 보였다. 15일 경과시에는 대부분의 이끼의 상태가 양호하였다. 45일 경과시 구슬이끼와 덩굴초롱이끼, 쥐꼬리이끼의 끝부분이 건조되어 노랗게 변하는 것이 관찰되었다. 충분히 관수 공급이 되지 않은 이유 때문으로 판단된다. 75일 경과시에는 노랗게 변한 구슬이끼 사이로 새로운 구슬이끼가 다시 나와 회복되는 것이 관찰되었으며, 시간이 지날수록 덩굴초롱이끼와 쥐꼬리 이끼의 끝부분이 변색되는 부분이 점점 넓어졌지만 이들 이끼 또한 안쪽에서부터 새롭게 돌아나기 시작하였다. 흰털이끼의 경우 계속해서 녹색을 유지함이 관찰되어 이 시스템에 가장 적합한 이끼로, 솔이끼의 경우 15일 경과시부터 갈변하여 더 이상 회복되지 않는 것으로 가장 부적합한 이끼라 판단된다. 깃털이끼의 경우 끝부분에서 약간의 건조현상을 보였지만 생육이 양호한 것으로 관찰되었다.

○ Type 3 - 벽체형

벽체형의 경우 태극모양과 사각모양의 2가지 형태로 제작하였다. 이끼모듈을 벽체에 직접 연결시키고 수조를 벽체 뒤쪽으로 설치하여 직접적으로 노출되지 않게 하였다. 사각모양의 벽체형에는 추가적으로 산주목이끼(*Plagiothecium nemorale* (Mitt.) Jaeg.)를 추가하였다. 가장 최근에 제작된 태극모양의 경우 초기부터 순환관수와 별도로 살수기를 이용하여 주 2~3회 전면관수를 실시하였고, 사각모양의 경우도 제작 후 4개월 경과시부터 전면관수를 별도로 실시하였다.

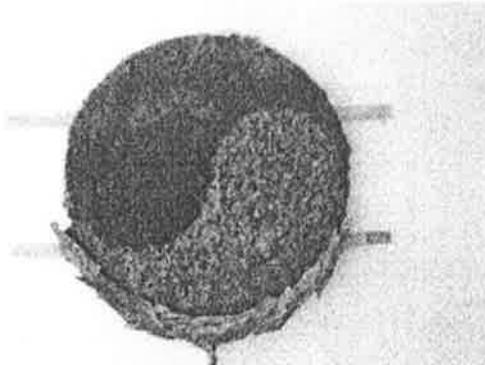


그림 157. 벽체형(태극모양), 2010년 10월 제작

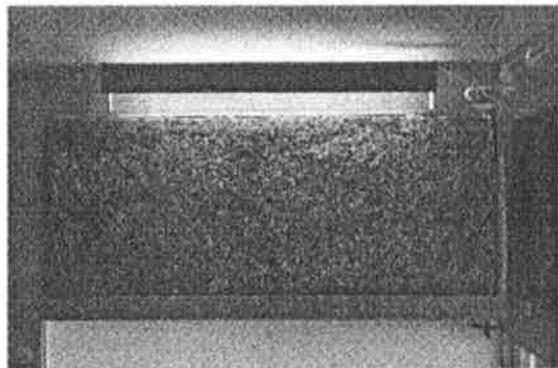


그림 158. 벽체형(사각모양), 2010년 5월 제작

○ 모니터링 결과

사각모양의 벽체형의 경우 초기 15일 동안은 광을 설치하지 않았다. 이 기간동안 구슬이끼 및 철사이끼의 경우 생육상태가 불량하였으며, 패랭이우산이끼와 덩굴초롱이끼 및 쥐꼬리이끼의 경우는 생육상태가 양호하였다. 30일 경과시 모니터링 결과 철사이끼는 새롭게 신초가 나오기 시작하였으나, 덩굴초롱이끼 및 구슬이끼와 쥐꼬리이끼는 전반적으로 생육이 불량해졌으며, 수조에서 물이 공급되는 좌측 부분은 파습에 의해 덩굴초롱이끼의 생육이 극도로 불량한 것으로 관찰되었다. 상단부에 도입한 구슬이끼의 경우 105일 경과시부터 다시 신초들이 돌아나는 것을 볼 수 있었으며, 전면관수를 시작하고 난 135일 후 모니터링 결과 좌측의 파습으로 생육이 불량했던 덩굴초롱이끼 또한 신초들이 나오기 시작하였으며, 전체적으로 모든 이끼에 있어서 신초들이 자라나면서 안정화단계에 접어든 것으로 판단되었다. 산주목이끼의 경우 생육이 다른 이끼에 비해 더디었으나 갈변현상은 관찰되지 않았다.

태극모양의 경우 제작 초기에 빠르게 쥐꼬리이끼 및 덩굴초롱이끼의 일부 끝부분이 건조하게 말라버리는 현상이 관찰되었으나 살수기를 이용한 전면 관수 결과 사각형의 벽체보다 더 빠르게 모든 이끼에서 새로운 잎들이 돋아났다.

건조한 실내 조건하에서 수분공급배지에 밀착되지 않는 이끼의 끝부분에서는 건조현상이 발생되고 밀착된 부위에서는 신초들이 나오는 것이 관찰되었다. 또한 쥐꼬리이끼와 덩굴초롱이끼, 구슬이끼의 경우는 제작 후 노랗게 변색되나 신초들 또한 빠르게 돌아나는 특징을 보였다.

흰털이끼와 패랭이우산이끼, 산주목이끼가 상기 시스템에 가장 적합한 이끼로 판단된다.

표 45. 모니터링 - 벽체형(사각모양)

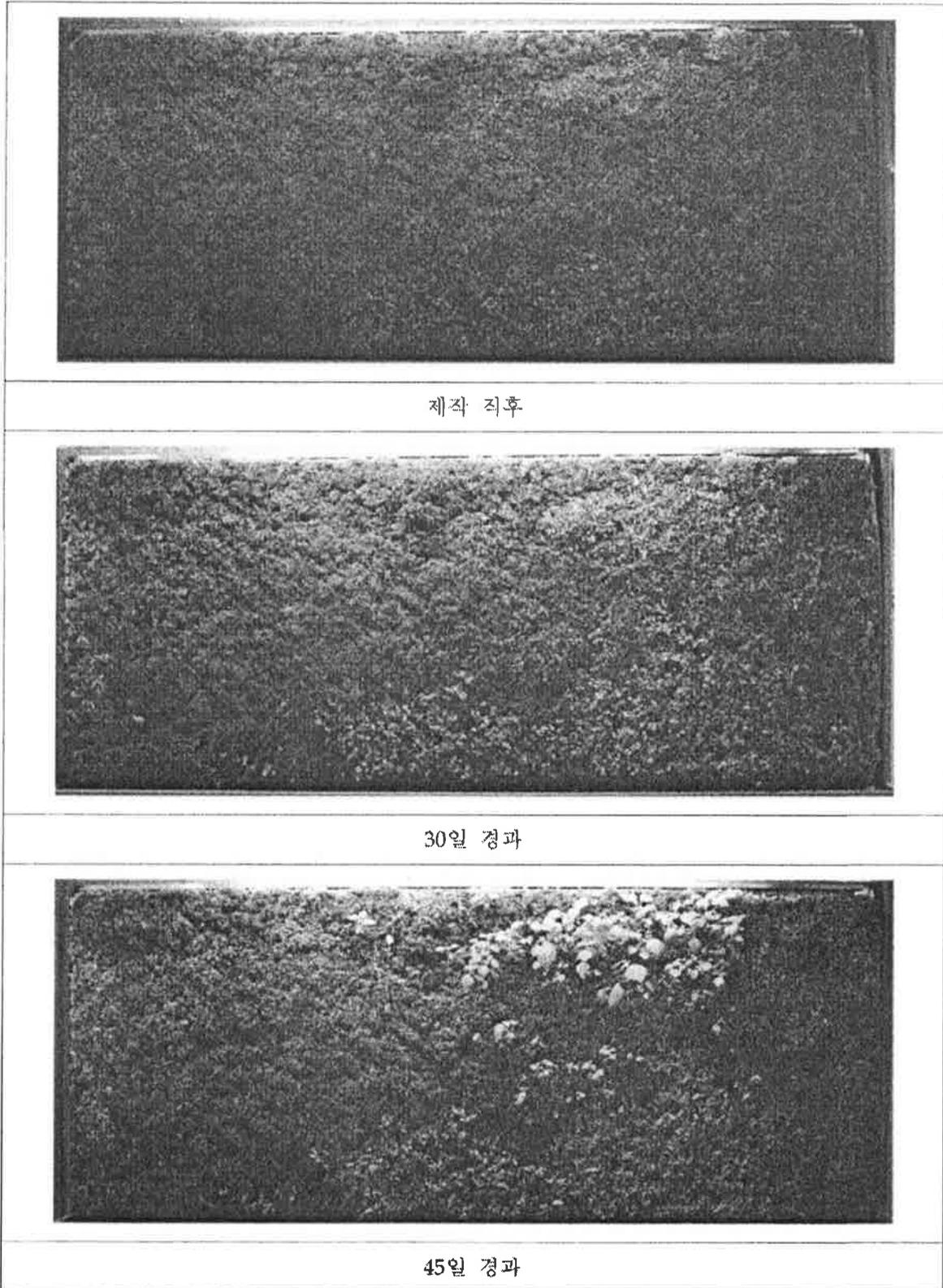


표 46. 모니터링 - 벽체형(사각모양), 계속

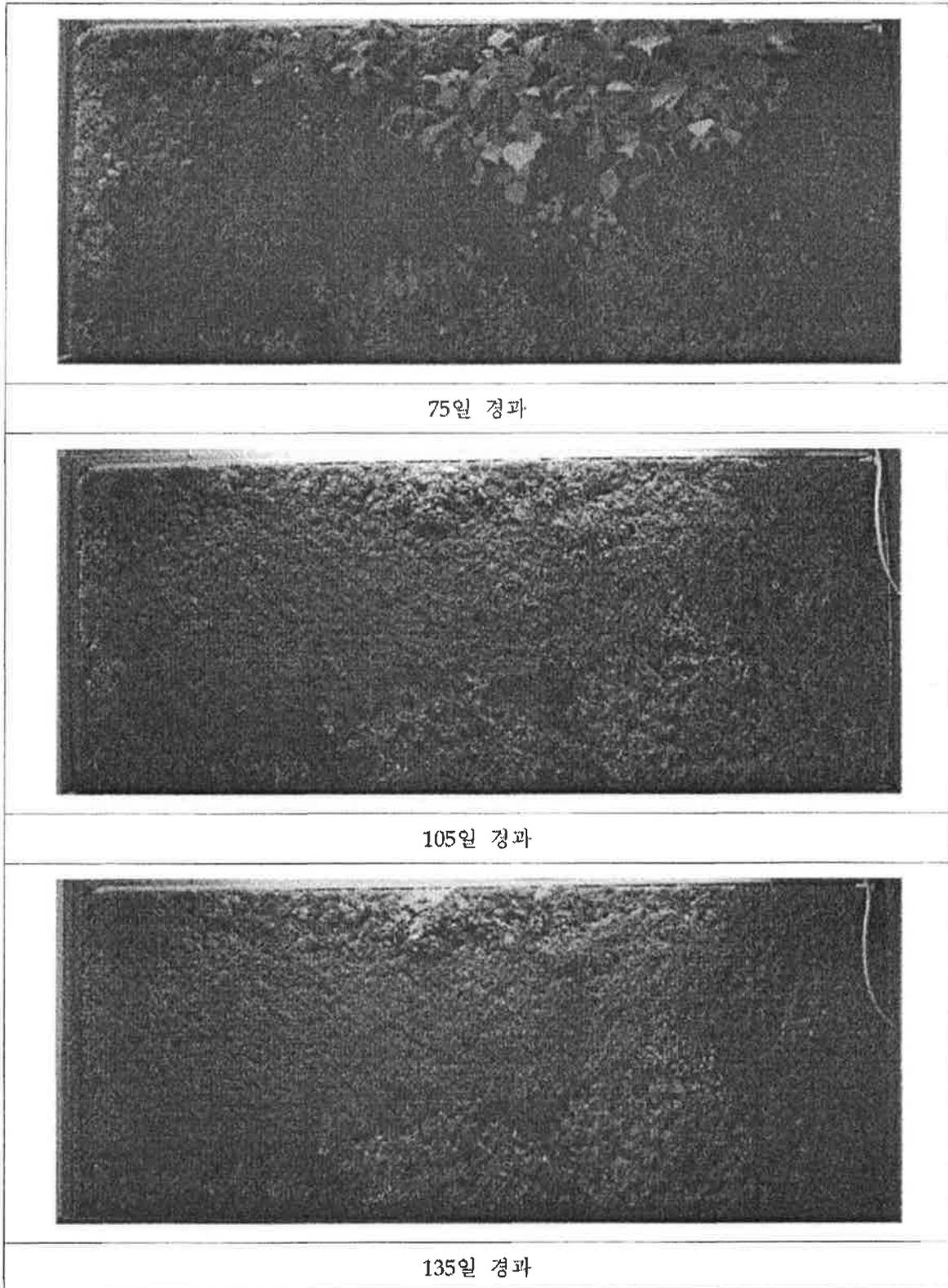


표 47. 모니터링 - 벽체형(사각모양), 계속

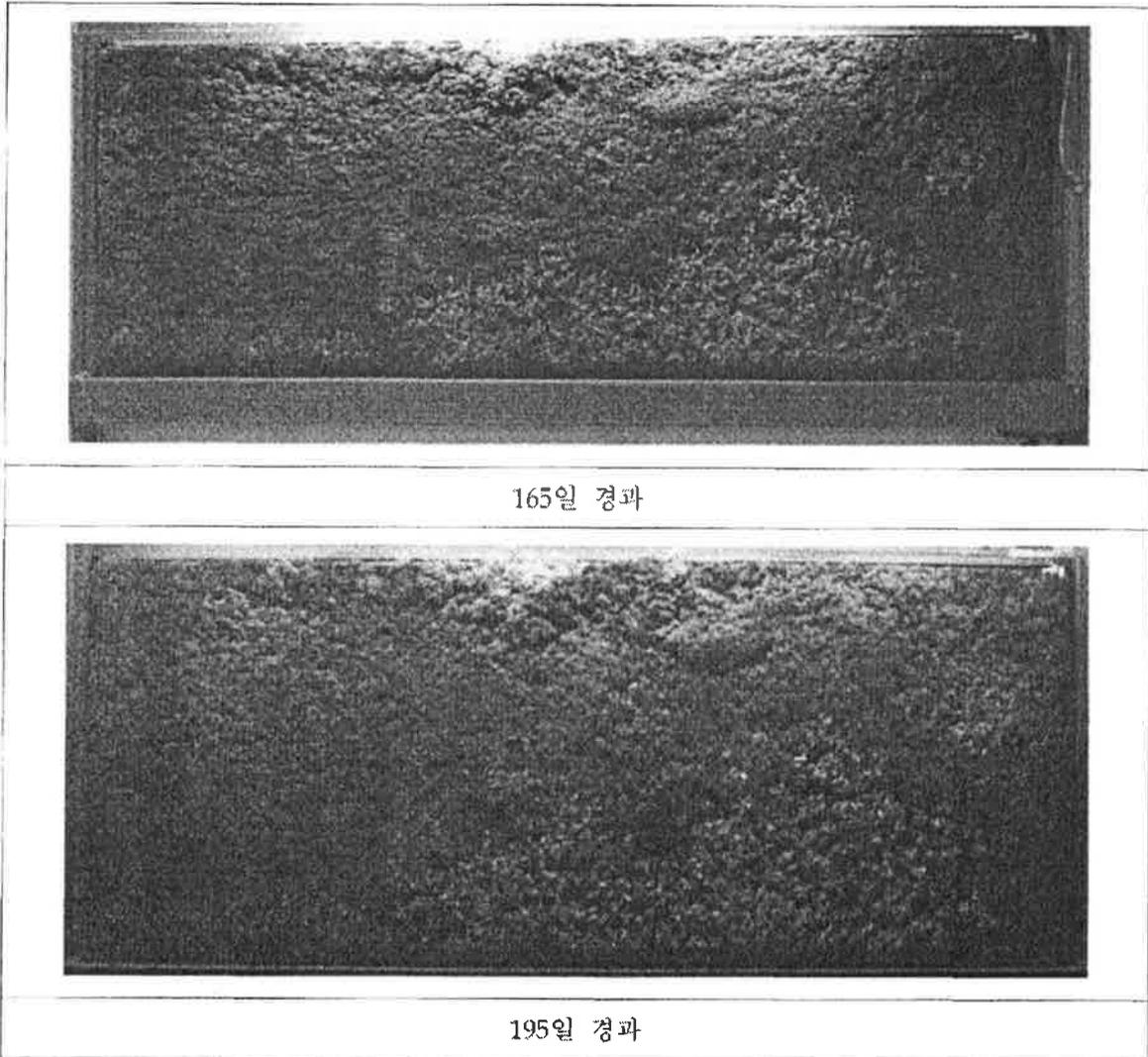


표 48. 모니터링 - 벽체형(태극모양)



4. 재배 및 증식을 위한 대량 생산 시스템 구축

가. 소규모로 채취한 이끼류의 예비 증식 실험

소량의 큰술이끼와 깃털이끼를 채종하여 증식하기 위한 예비실험을 실시하였다. 큰술이끼는 수분공급 방식에 따른 생육차이를, 깃털이끼는 보습층 소재에 따른 생육차이를 고찰하였다.

○ 실험 개요

구 분	내 용
기 간	2008년 6월 - 계속
장 소	일송환경복원(주) 사무실 옥상, 경기도 용인
실험구	큰술이끼 - 수분공급(2방식) × 3반복 깃털이끼 - 보습층 조성(2방식) × 3반복
공시재료	<i>Polytrichum commune</i> Hedw.(큰술이끼), <i>Thuidiaceae</i> (깃털이끼 속)
측 정	생육상태 (육안 판독)

큰술이끼는 수분공급 방식에 따른 생육상태를 비교하고자 실험구 A는 가정용 수경재배기에 수태로 심지 및 보습층을 조성하여 모세관식 수분공급을 하였고(그림 159), 실험구 B는 모판에 수태 보습층을 조성하고 1일 2회 관수 하였다(그림 160).

깃털이끼는 보습층 조성에 따른 생육상태 비교실험을 하였다. 실험구 C는 모래, 실험구 D는 수태를 사용하여 보습층을 조성하였다.

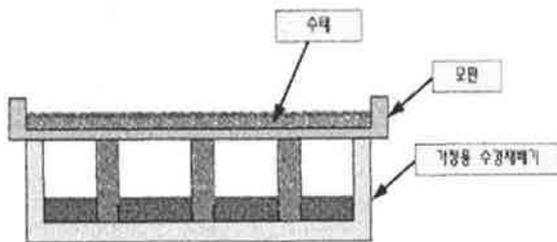


그림 159. 모세관식 수분공급 방식(실험구 A)

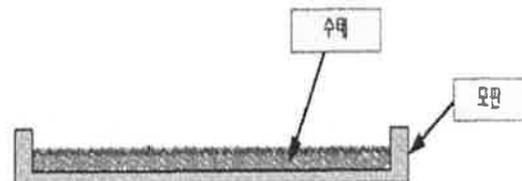


그림 160. 지상 관수(실험구 B)

○ 결 과

실험구 A에서 큰술이끼 생육이 왕성한 것으로 관찰되었다(표 49). 실험구 A는 하부수조에 수분이 지속적으로 공급되어 일정한 환경이 유지된 반면, 실험구 B는 관수 시점에 따라 생육배지가 습윤과 건조를 반복하는 조건을 지니는데 이런 생육환경의 차이가 큰술이끼의 생육차이를 가져온 것으로 사료된다.

보습층 소재의 차이에 따른 생육차이는 고찰되지 않았으나 실험구 C에서 일부분이 갈변하는 현상이 관찰되었다.

표 49. 수분공급 방식 및 배지조성에 따른 큰솔이끼와 깃털이끼의 생육 상태 비교

		1주 경과	3주 경과	6주 경과	9주 경과
큰솔 이끼	모세 관식 수분 공급 (실 험구 A)				
	지상 관수 (실 험구 B)				
깃털 이끼	모래 보습 층 (실 험구 C)				
	수태 보습 층 (실 험구 D)				

나. 수정제배용 베드틀 이용한 비닐하우스 내 증식

수정제배용 베드틀 이용한 건조물이끼(수태)의 모세관식 수분 공급방식으로 3가지 이끼류의 증식 포지를 조성하였다.

(1) 증식포장 개요

설치시기	2008년 7월 22일
장 소	충북 청원군 낭성면 비닐하우스
면 적	144㎡(18m×8m) (농업용 수정제배 베드 2단 5줄)
증식모판	- 서리이끼 - 농업용 모판 208개 - 털깃털이끼 - 농업용 모판 208개 - 물이끼 - 농업용 모판 104개

(2) 증식용 이끼 모판 제작 순서

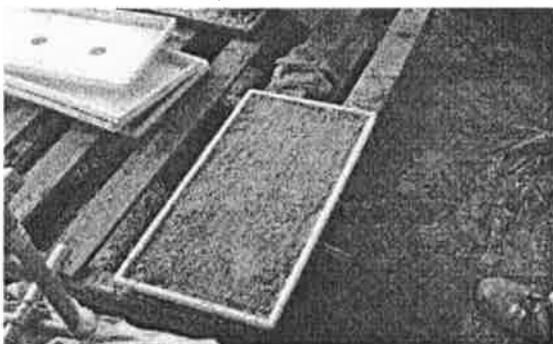
- ㉠ 모판에 심지 설치 → ㉡ 모판에 수태 포설 → ㉢ 수태위 모래 포설 → ㉣ 이끼 포설
→ ㉤ 수압을 이용한 이끼 고정



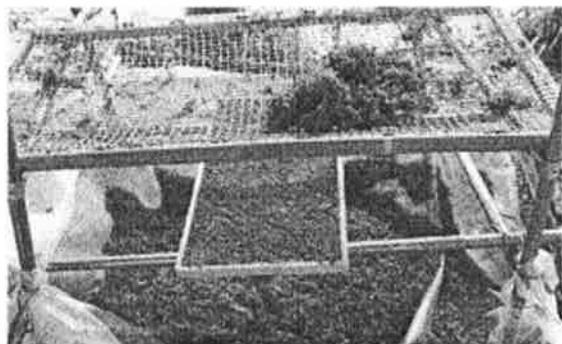
a) 심지 설치



b) 수태 포설



c) 모래포설



d) 이끼 포설

그림 161. 이끼 증식 모판 제작과정

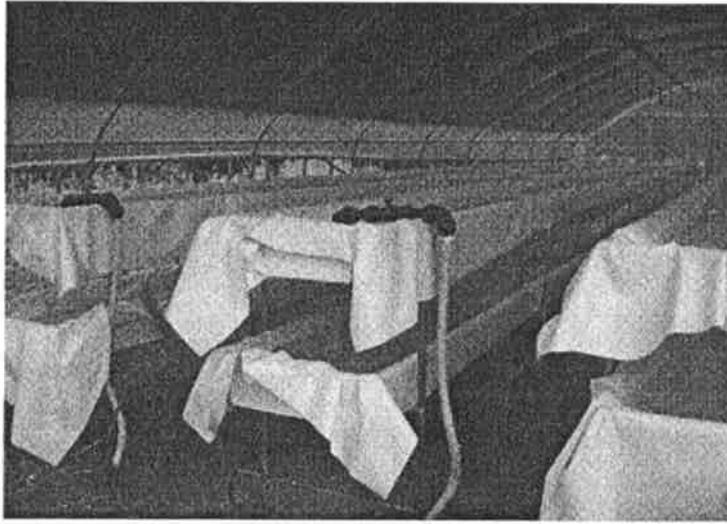


그림 162. 수경베드 및 관수장치



그림 163. 이끼증식 모관 설치

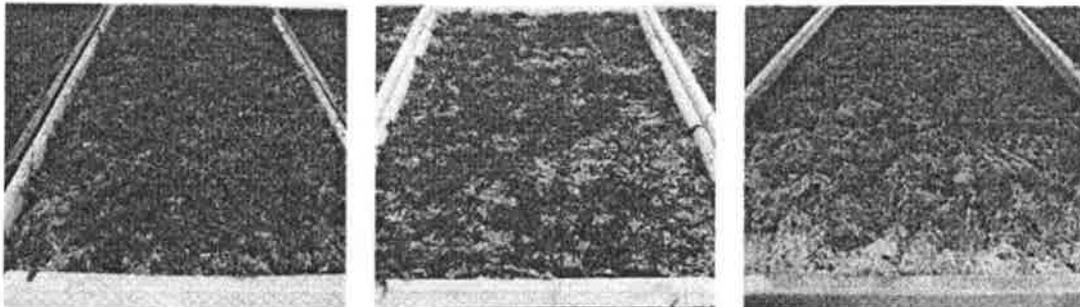


그림 164. 이끼증식 (左;털깃털이끼, 中;서리이끼, 右;물이끼)

(3) 설치비용 산정

인건비	성인남자	70,000원×3인×10일	2,100,000원
	성인여자	50,000원×3인×2일	300,000원
재료비	수태	5kg×20개=500,000원	500,000원
	모래	30,000원	30,000원
	수경배드 및 관수장치 설치	방수천 : 700,000원 하우스과이프 : 1,600,000원 수경재배배드 : 1,200,000원	3,500,000원
	모판	520개*1,000원	520,000원
경비	유류비, 식대 등		500,000원
총 설치비용			7,450,000원
※ 하우스제작 비용 및 이끼비용 계상 안함			

(4) 조성 결과

이끼 증식 후 6개월 경과시 털깃털이끼 및 물이끼의 생육은 원활하였으나 서리이끼의 생육은 매우 불량하였다. 털깃털이끼의 경우 뗏장형태를 형성하기는 하였으나 생육 속도가 예상보다 늦어 수경배드를 이용한 모세관식 수분공급 방식은 초기 이끼 착생을 위해 이용되고 일정기간이 지난 후 노지로 내보내야 할 것으로 판단된다. 물이끼의 경우는 노지에서 관찰되는 진녹색의 물이끼에 비해 그 색깔이 연녹색을 띠고 있고 잎의 가장자리가 겹겹이 타는 현상이 관찰되었다. 서리이끼의 경우 대부분의 재배모판에서 검붉은 현상이 나타나 과습으로 인한 해를 입은 것으로 판단된다.

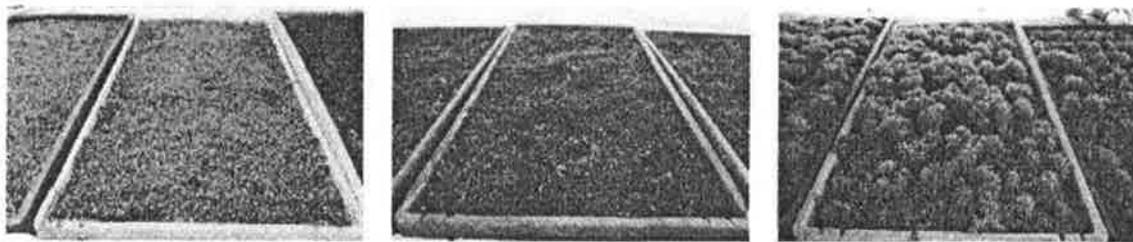


그림 165. 이끼 증식후 6개월 경과 (左;털깃털이끼, 中;서리이끼, 右;물이끼)

다. 스프링클러를 이용한 비닐하우스 내 증식

2차 년도에는 비닐하우스 내에 미니 스프링클러를 이용한 관수 시스템을 도입하여 모판에 이끼를 증식시키는 실험을 실시하였다. 하우스 파이프를 이용하여 이끼판 거치대를 설치한 후 모판에 각종 식생기반재를 1차적으로 포설한 후 그 위에 서리이끼와 털깃털이끼를 그물망에 갈아 넓게 포설하였다.

(1) 증식포장 개요

설치시기	2009년 6월 14일
장 소	충북 청원군 낭성면 비닐하우스
면 적	120㎡(15m×8m) (모판 2set씩 4줄, 2단)
증식모판	- 서리이끼 - 농업용 모판 320개 - 털깃털이끼 - 농업용 모판 320개

(2) 증식포장 조성



그림 166. 증식거치대 설치

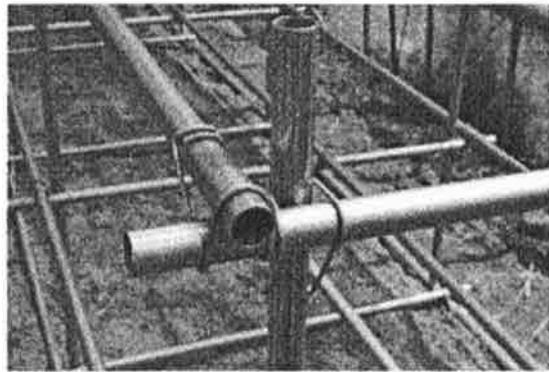


그림 167. 하우스파이프를 이용한 거치대 조립

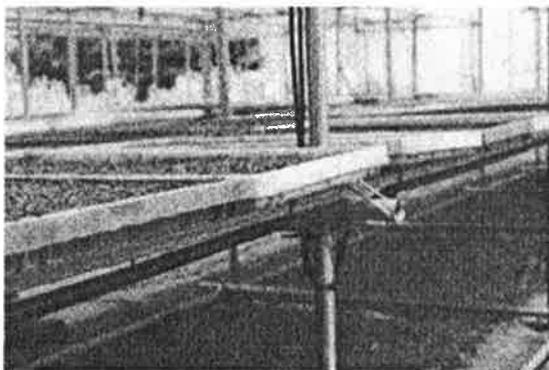


그림 168. 이끼증식용 모판 설치



그림 169. 이끼 증식용 모판 설치 완료

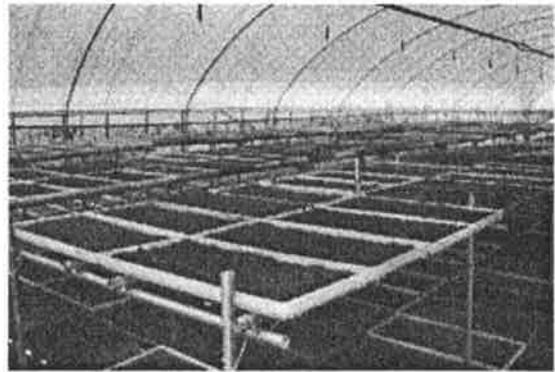
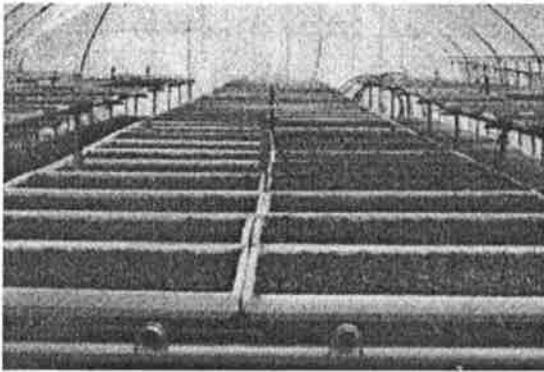


그림 170. 미니 스프링클러를 이용한 관수(1) 그림 171. 미니 스프링클러를 이용한 관수(1)

(3) 설치비용 산정

인건비	성인남자	70,000원×2인×2일	280,000원
		70,000원×4명×3일	840,000원
	성인여자	50,000원×3인×2일	300,000원
재료비	모래	80,000원(2ton)	80,000원
	중식거치대	하우스파이프 및 연결자재	2,000,000원
	관수자재	관수파이프, 미니스프링클러, 농업용 모터 등	700,000원
	모관	640개×1,000원	640,000원
경비	유류비, 식대 등		600,000원
총 설치비용			5,440,000원
※ 하우스제작 비용 및 이거비용 계상 안함			

(4) 중식포장 조성 결과

농업용 관수 타이머를 설치하여 1일 9시, 12시, 6시에 3회 30분씩 관수하였다. 아래 그림은 조성 후 2개월 10일이 지난 시점에 찍은 사진이다.

털깃털이끼의 경우는 서로 얽혀 뗏장 형태를 이루고 있는 형태로 보아 수경베드를 이용한 방식에서 6개월이 경과한 시점과 2차 년도에 조성한 방식에서 2개월이 경과된 시점의 상태가 비슷한 것으로 관찰되었다. 수경베드를 이용한 방식에서 보다 약 3배 정도 빠르게 증식되는 것으로 판단된다. 서리이끼의 경우 포설된 이끼에서 새로운 신훈이 나오기는 하였으나, 일부 이끼에서 과습에 의해 검붉게 변하는 현상이 관찰되었다. 이는 서리이끼와 털깃털이끼가 동일한 관수시스템에서 동시에 재배가 불가능하다는 것을 밝혔다.

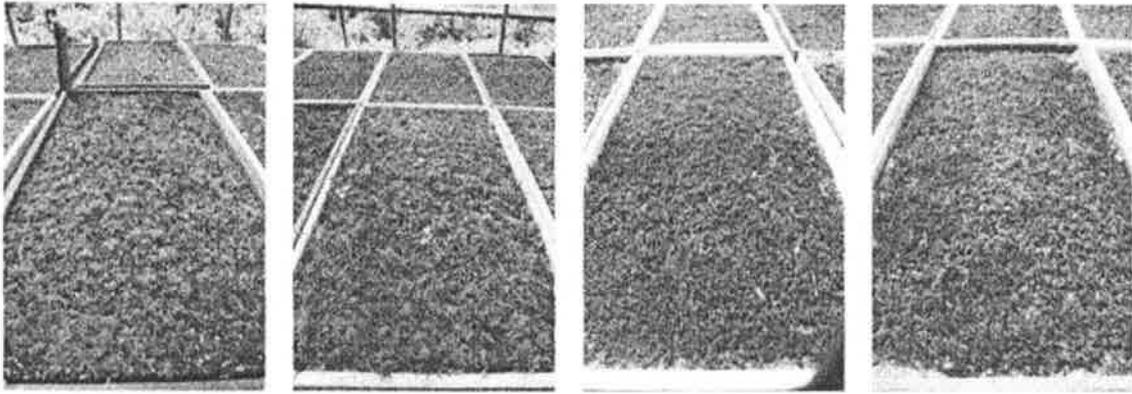


그림 172. 털깃털이끼 생육상태(2개월 경과)

그림 173. 서리이끼 생육상태(2개월 경과)

라. 차광막을 이용한 노지증식

2차 년도에는 서리이끼와 털깃털이끼의 대량 재배를 위한 노지 재배 시스템을 구축하고자 하였다. 털깃털이끼의 경우 반음지성 이끼이므로 인삼재배 방식을 모방하여 상부에 50% 차광률을 가진 차광막을 설치하였다. 초기 이끼 착생을 위해 1달 정도 스프링클러를 이용한 관수를 실시하였고, 그 이후부터는 자연 강우에 의존하였다.

(1) 증식포장 개요

설치시기	2009년 7월 13일
장 소	충북 청원군 낭성면 인근 노지
면 적	350㎡ (35m×10m), 모판 2개씩 × 5라인 설치, 모판증식은 1개 라인 이용
증식모판	털깃털이끼 - 농업용 모판 200개

(2) 증식포장 조성

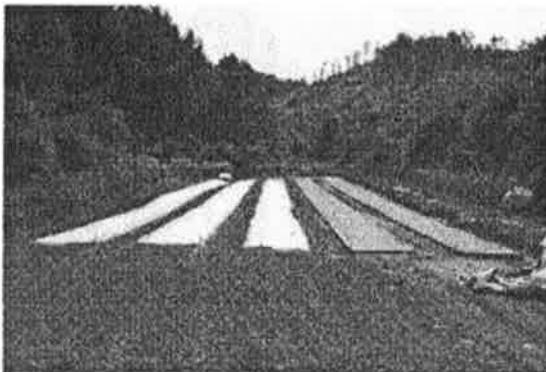


그림 174. 노지 정리 및 방근 부직포 설치

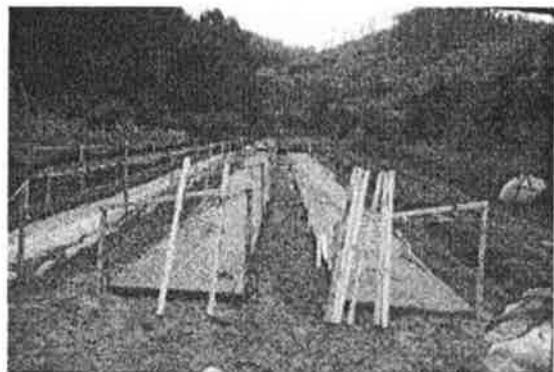


그림 175. 차광막 설치



그림 176. 조성완료

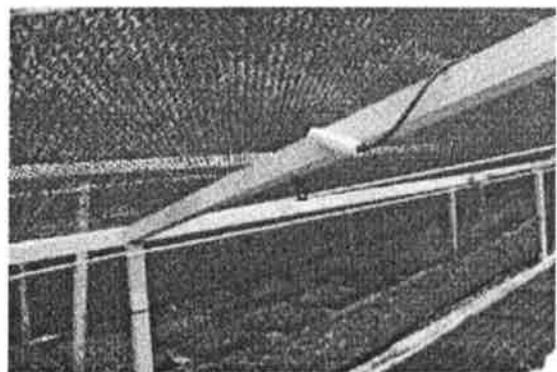


그림 177. 스프링클러

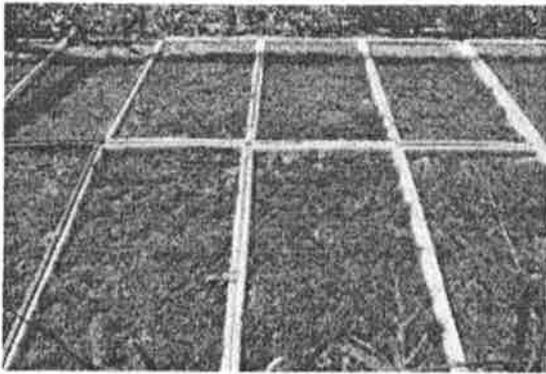


그림 178. 생육중인 털기털이끼

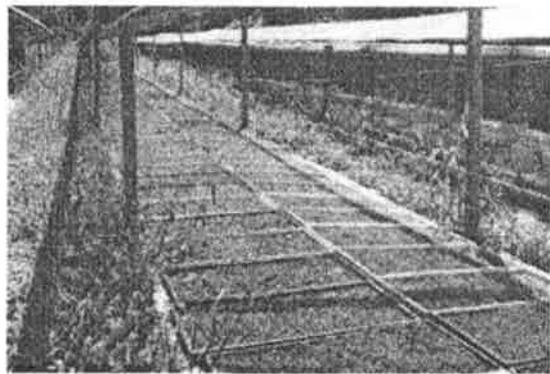


그림 179. 증식포지의 털기털이끼

(3) 설치비용 산정

인건비	성인남자	70,000원×2인×2일	280,000원
		70,000원×4명×4일	1,120,000원
	성인여자	50,000원×3인×1일	150,000원
재료비	방부목	비섯재배식 차광막 설치용	500,000원
	차광막	차광막 및 고정자재 등	250,000원
	관수자재	관수파이프, 미니스프링클러, 농업용 양수기 등	650,000원
	모판	200개×1,000원	2000,000원
경비	유류비, 식대 등		645,000원
총 설치비용			5,595,000원
※ 노지 조성 및 임대 비용 및 이끼비용 제상 안함			

(4) 증식포장 조성 결과

초기 한 달간 스프링클러를 이용한 물 공급을 제외하고 특별한 관리를 하지 않았다. 두껍게 멧장형태를 이뤄 인삼 등의 포장용으로 충분한 상품가치를 가질 정도가 되기까지는 약 1년이 소요되었다. 인위적인 수분 관리만 지속된다면 빠른 생산도 가능할 것으로 보인다.

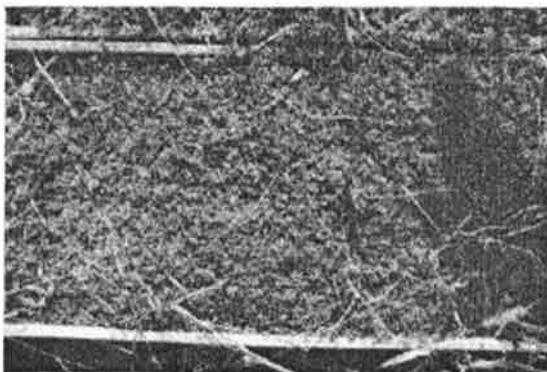


그림 180. 조성후 1년 경과

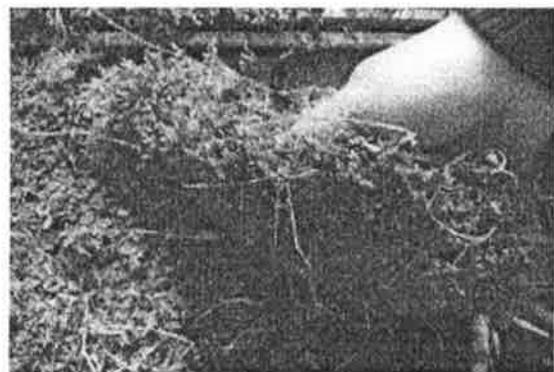


그림 181. 멧장 형태를 이룬 털기털이끼

마. 분수식 관수 시스템을 이용한 노지 증식

3차 년도에는 서리이끼를 증식시키기 위한 노지 재배구를 설치하였다. 2차년도 노지 재배구에서 발견되었던 잡초문제를 해결하기 위해 2차로 조성된 노지는 노지정리 후 제초제를 1차적으로 포설 한 후 전 면적에 방근시트를 깔아 잡초발생을 억제하였다. 관수는 딸기재배에서 사용되는 관수호스를 사용하였다. 서리이끼의 경우 수직생장이 이루어지므로 모판이 아닌 삼목상자를 이용하였으며, 조류 등에 의한 피해를 줄이기 위해 상단부에 망(bird-net)을 설치하였다.

서리이끼의 경우 배수가 원활해야 과습에 의한 피해를 줄일 수 있을 것이므로, 식생기반재 선택에 주안점을 두고 설치하였다.

(1) 증식포장 개요

설치시기	2010년 9월 10일
장 소	충북 청원군 낭성면 인근 노지
면 적	약 1,000m ²
증식모판	서리이끼 - 농업용 삼목상자 2,000개

(2) 증식포장 조성



그림 182. 방근시트 설치

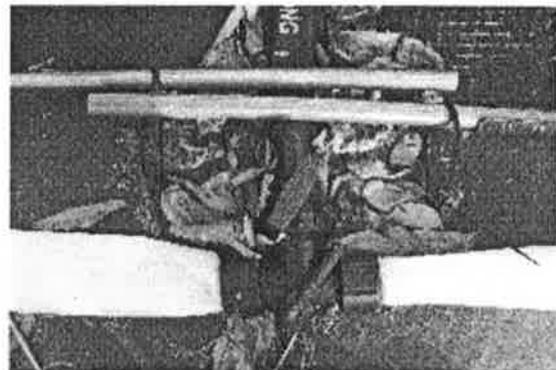


그림 183. 관수라인 설치

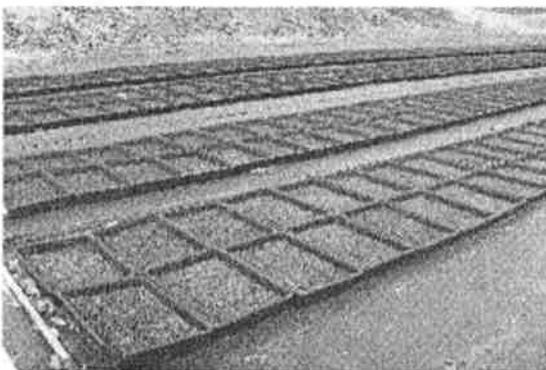


그림 184. 설치완료



그림 185. 관수

(3) 설치비용 산정

인건비	성인남자	70,000원×3인×3일	630,000원
		70,000원×4명×4일	1,120,000원
	성인여자	50,000원×4인×5일	1,000,000원
재료비	모래	강모래 6ton	240,000원
	삼목상자	농업용 삼목상자 2,000개×1,500원	3,000,000원
	방근시트 및 버드넷	2MX100M×12E	1,200,000원
	관수지재	관수파이프, 미니스프링쿨러, 농업용 양수기 등	700,000원
	고정판	플라스틱 고정판 3,200X100원	320,000원
경비	유류비, 식대 등		975,000원
총 설치비용			9,185,000원
※ 노지 조성 비용 및 이끼비용 계상 안함			

(4) 증식포장 조성 결과

1일 1회 오전에 약 20분간 관수를 실시하였다. 설치 후 한 달 경과한 시점에 모니터링 결과 서리이끼가 정착되어 신초가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 아직 제배 초기라 특별히 문제가 되는 것은 없는 것으로 판단된다.

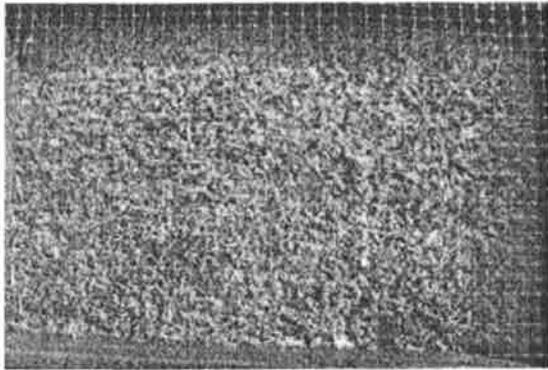


그림 186. 설치 후 한달 경과(1)

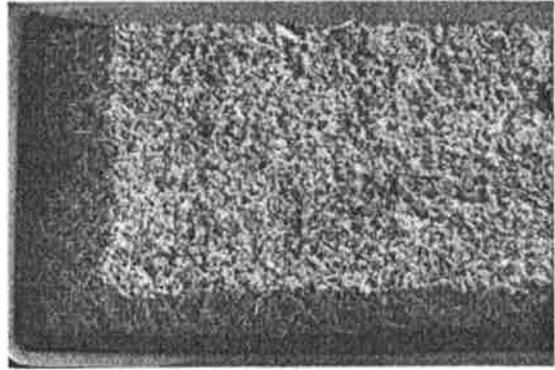


그림 187. 설치 후 한달 경과(2)

제 2 절 산업용 유망 이끼류 자원선발 및 대량증식기술개발

1. 산업화 유망 국내의 이끼 생물자원 탐색

1차년과 2차년에 걸쳐 국내의 다양한 서식지로부터 1000여점을 확보하여 산업화 유망 이끼 종 선발 실시

가. 강원도 가리왕산

- 표본 수 : 66점
- 24과 36속 35종
- 미등정 선강 : 2점
- 미보고 선태식물 : Lunulariaceae의 *Lunularia cruciata*
- 주요 선태식물 : *Brachythecium*, *Bryum*, *Hedwigia*, *Hylocomium*, *Plagiomnium*, *Polytrichum*, *Schistidium*

Polytrichum, *Schistidium*

표본번호	학 명	기물 사진번호
M08012	Mniaceae <i>Plagiomnium vesicatum</i>	M08012
M08013	미등정 선강	M08013
M08014	Brachytheciaceae <i>Rhynchostegium riparioides</i>	M08014
M08016	Brachytheciaceae <i>Brachythecium rivulare</i>	M08015
M08017	Fissidentaceae <i>Fissidens dubius</i>	M08016
M08018	Polytrichaceae <i>Atrichum undulatum</i>	M08017
M08019	Grimmiaceae <i>Schistidium</i>	M08018
M08020	Dicranaceae <i>Dicranella</i>	M08019
M08021	Hylocomiaceae <i>Hylocomium splendens</i>	M08020
M08022-1	Sphagnacea <i>Spagnum</i>	M08022-1
M08022-2	Climaciaceae <i>Pleuroziopsis ruthenica</i>	
M08022-3	Hylocomiaceae <i>Hylocomium pyrenaicum</i>	
M08022-4	Hylocomiaceae <i>Hylocomium splendens</i>	M08022-3
M08022-5	Polytrichaceae <i>Polytrichum formosum</i>	
M08023	Dicranaceae <i>Dicranum</i>	
M08024	Polytrichaceae <i>Polytrichum formosum</i>	M08023
M08025-1	Dicranaceae <i>Dicranella</i>	M08024
M08025-2	Bartramiaceae <i>Bartramia pomiformis</i>	M08025-1
M08025-3	Dicranaceae <i>Dicranum scoparium</i>	M08025-2
M08026	Bartramiaceae <i>Bartramia pomiformis</i>	M08025-3
M08027	Hypnaceae <i>Ptilium crista-castrensis</i>	M08027
M08028	Climaciaceae <i>Pleuroziopsis ruthenica</i>	M08028
M08029	Leucobryaceae <i>Leucobryum juniperoideum</i>	M08029
M08030	Hypnaceae <i>Callicladium haldanianum</i>	M08030

표본번호	학 명		기물	사진번호
M08031	Mniaceae	Trachycystis	flagellaris	M08031
M08032	Hypnaceae	Hypnum		M08032
M08033	Thuidiaceae	Herpetineuron	toccoae	M08033
M08034-1	Polytrichaceae	Pogonatum	urnigerum	M08034-1
M08034-2	Hedwigiaceae	Hedwigia	ciliata	M08034-2
M08035	Ptilidiaceae	Ptilidium	pulcherrimum	M08035
M08036	Amblystegiaceae	Pleurozium	schreberi	M08036
M08037	Ditrichaceae	Ditrichum	pallidum	M08037
M08038	Hylocomiaceae	Hylocomium	splendens	M08038
M08039	Grimmiaceae	Grimmia	pilifera	M08039
M08040	Hedwigiaceae	Hedwigia	ciliata	M08040
M08041	Frullaniaceae	Frullania	brotheri	M08041
M08042	Polytrichaceae	Polytrichum	formosum	M08042
M08043	Bryaceae	Pohlia	flexuosa	M08043
M08044	Funariaceae	Funaria	hygrometrica	M08044
M08045	Bryaceae	Bryum		M08045
M08046	Bryaceae	Bryum		M08046
M08047	Brachytheciaceae	Myuroclada	maximowiczii	M08047
M08048	Lunulariaceae	Lunularia	cruciata	M08048
M08049	Funariaceae	Funaria	hygrometrica	M08049
M08050	Bryaceae	Bryum		M08050
M08051	Pottiaceae	Didymodon		M08051
M08052	Mniaceae	Plagiomnium	acutum	
M08053	Brachytheciaceae	Brachythecium	rivulare	
M08054-1	Fabroniaceae	Schwetschkeopsis	fabronia	
M08054-2	Pottiaceae	Didymodon		
M08055	Grimmiaceae	Schistidium		M08055
M08056	Frullaniaceae	Frullania	ericoides	M08056
M08057	Polytrichaceae	Atrichum	undulatum	
M08058	Thuidiaceae	Anomodon	minor	M08058
M08059	Grimmiaceae	Grimmia		M08059
M08060	Brachytheciaceae	Brachythecium	populeum	
M08061	Mniaceae	Plagiomnium	acutum	M08061
M08062	Bryaceae	Bryum	cyclophyllum	M08062
M08063	Brachytheciaceae	Brachythecium	rivulare	M08063
M08064	Grimmiaceae	Schistidium	rivulare	M08064
M08065	Hedwigiaceae	Hedwigia	ciliata	M08065
M08066	Bryaceae	Bryum		M08066
M08067	Brachytheciaceae	Brachythecium	rivulare	M08067
M08068	Lejeuneaceae	Lejeunea	japonica	M08068
M08069	Pottiaceae	Barbula		M08069
M08070		미동정 선강		

나. 강원도 두타산

- 표본 수 : 50점
- 19과 32속 32종
- 미동정 선장 : 1점
- 미보고 선대식물 : Leskeaceae의 Leskeella nervosa
- 주요 선대식물 : Brachythecium, Leskeella, Schwetschkeopsis

표본번호	학 명		기물	사진번호
M08071	Grimmiaceae	Grimmia	pilifera	
M08071-1	Grimmiaceae	Racomitrium	lanuginosum	M08071
M08072		미동정 선장		M08072
M08073	Leskeaceae	Okamuraea	hakoniensis	M08073
M08074	Calypogeiaceae	Calypogeia		M08074
M08075	Brachytheciaceae	Brachythecium		M08075
M08076	Hypnaceae	Hypnum		M08076
M08077	Bryaceae	Bryum		M08077
M08078	Mniaceae	Mnium	lycopodioides	M08078
M08079	Mniaceae	Rhizomnium	hattorii	M08079
M08080	Bryaceae	Bryum	pseudotriquetrum	M08080
M08081	Hypnaceae	Callicladium	haldanianum	M08081
M08082	Pottiaceae	Weissia	planifolia	M08082
M08083	Leucodontaceae	Leucodon		M08083
M08084	Brachytheciaceae	Brachythecium	populeum	M08084
M08085	Fabroniaceae	Schwetschkeopsis	fabronia	M08085
M08086	Entodontaceae	Entodon	luridus	M08086
M08087	Mniaceae	Trachycystis	ussuriensis	M08087
M08088	Mniaceae	Mnium	lycopodioides	M08088
M08090	Brachytheciaceae	Bryhnia	trichomitria	M08090
M08091	Plagiochilaceae	Plagiochila	ovalifolia	M08091
M08092	Thamnobryaceae	Thamnobryum	subseriatum	M08092
M08093	Thamnobryaceae	Thamnobryum	subseriatum	
M08094	Brachytheciaceae	Brachythecium		M08094
M08095	Metzgeriaceae	Metzgeria	lindbergii	M08095
M08096-1	Hypnaceae	Taxiphyllum	aomoriense	M08096-1
M08096-2	Fissidentaceae	Fissidens	dubius	M08096-2
M08097	Hypnaceae	Hypnum	sakurarii	M08097
M08098	Fabroniaceae	Schwetschkeopsis	fabronia	M08098
M08099	Hypnaceae	Taxiphyllum	aomoriense	M08099
M08100	Neckeraceae	Homalia	trichomanoides	M08100
M08101	Thuidiaceae	Miyabea	fruticella	M08101
M08102	Mniaceae	Rhizomnium	hattorii	M08102
M08103	Plagiotheciaceae	Plagiothecium	eurphyllum	M08103
M08104	Orthotrichaceae	Drummondia	sinensis	M08104
M08105	Thuidiaceae	Haplohymenium	triste	M08105
M08106	Leucodontaceae	Leucodon		M08106
M08107	Mniaceae	Plagiomnium	cuspidatum	
M08108	Thuidiaceae	Anomodon	giraldii	M08108

다. 강원도 오대산

- 표본 수 : 24점
- 12과 16속 15종
- 미동정 태강 : 1점
- 주요 선대식물 : Plagiomnium, Plagiothecium

표본번호	학 명		기물	사진번호
M08109	Thuidiaceae	Anomodon	minor	M08109
M08110	Fabroniaceae	Schwetschkeopsis	robustula	M08110
M08111	Leskeaceae	Leskeella	nervosa	M08111
M08112	Leskeaceae	Leskeella	nervosa	M08112
M08113	Leskeaceae	Leskeella	nervosa	M08113
M08114	Mniaceae	Plagiomnium	cuspidatum	M08114
M08115	Pottiaceae	Hyophila		M08115
M08116	Pottiaceae	Hyophila	propagulifera	M08116
M08117	Grimmiaceae	Grimmia	pilifera	M08117
M08118	Grimmiaceae	Ptycomitrium	sinense	M08118
M08119	Thuidiaceae	Herpetineuron	toccoae	M08119
M08120	Cryphaeaceae	Forsstroemia	neckeroides	M08120
M08121	Hypnaceae	Callicladium	haldanianum	
M08122	Mniaceae	Rhizomnium	nudum	M08122
M08123	Plagiotheciaceae	Plagiothecium	nemorale	M08123
M08124	Sematophyllaceae	Brotherella	yokohamae	M08124
M08125	Aneuraceae	Aneura		M08125
M08126	Dicranaceae	Dicranum	mayrii	M08126
M08127	Hypnaceae	Callicladium	haldanianum	M08127
M08128	Hypnaceae	Hypnum	plicatulum	M08128
M08129	Mniaceae	Plagiomnium	acutum	M08129
M08130	Mniaceae	Rhizomnium	tuomikoskii	M08130
M08131	Conocephalaceae	Conocephalum	conicum	
M08132	Grimmiaceae	Grimmia	pilifera	M08132
M08133	Mniaceae	Plagiomnium	cuspidatum	
M08134		미동정 태강		M08134
M08135	Frullaniaceae	Frullania		
M08136	Thuidiaceae	Rauiella	fujisana	
M08137	Frullaniaceae	Frullania		
M08138	Thuidiaceae	Haplohymenium	sieboldii	
M08139	Thuidiaceae	Haplohymenium	sieboldii	
M08140	Mniaceae	Plagiomnium	acutum	
M08141	Entodontaceae	Entodon	sullivantii	
M08142	Plagiotheciaceae	Plagiothecium	nemorale	
M08143	Plagiotheciaceae	Plagiothecium	nemorale	

라. 강원도 석병산

- 표본 수 : 75점

- 20과 36속 40종

- 미동정 선강 : 3점, 미동정 태강 : 1점

- 미보고 선대식물 : *Brachythecium otaruense*, *Bryum inclinatum*, Marchantiaceae의 *Marcantia* sp., *Bryum handelii*, *Weissia atrocaulis*, Jungermaniaceae의 *Jungermania* sp.

- 주요 선대식물 : *Bryhnia*, *Bryum*, *Callicladium*, *Didymodon*, *Hypnum*, *Marcantia*, *Philonotis*, *Plagiomnium*, *Pohlia*, *Weissia*

표본번호	학 명		기물	사진번호
M08144	Sematophyllaceae	<i>Brotherella</i>	yokohamae	bark M08144
M08145		미동정 선강		bark M08145
M08146	Thuidiaceae	<i>Rauiella</i>	fujisana	bark M08146
M08147	Hypnaceae	<i>Hypnum</i>	tristo-viride	wood M08147
M08148	Hypnaceae	<i>Herzogiella</i>	perrobusta	M08148
M08149	Hypnaceae	<i>Hypnum</i>		wood M08149
M08150	Brachytheciaceae	<i>Brachythecium</i>	otaruense	bark M08150
M08151	Geocalycaceae	<i>Lophocolea</i>	heterophylla	bark M08151
M08152	Geocalycaceae	<i>Lophocolea</i>	heterophylla	wood M08152
M08153	Thuidiaceae	<i>Haplocladium</i>	angustifolium	bark
M08154	Hypnaceae	<i>Callicladium</i>	haldanianum	bark M08154
M08155	Plagiotheciaceae	<i>Plagiothecium</i>	nemorale	bark M08155
M08156	Dicranaceae	<i>Brothera</i>	leana	wood M08156
M08157	Hypnaceae	<i>Callicladium</i>	haldanianum	wood M08157
M08158	Hypnaceae	<i>Callicladium</i>	haldanianum	M08158
M08159	Hypnaceae	<i>Callicladium</i>	haldanianum	M08159
M08160	Sematophyllaceae	<i>Brotherella</i>	yokohamae	bark
M08161	Polytrichaceae	<i>Pogonatum</i>	urnigerum	M08161
M08162	Bryaceae	<i>Pohlia</i>	camptotrachela	M08162
M08163	Thuidiaceae	<i>Anomodon</i>	minor	M08163
M08164-1	Porellaceae	<i>Porella</i>		
M08164-2	Fissidentaceae	<i>Fissidens</i>	dubius	M08164-2
M08165-1	Thuidiaceae	<i>Thuidium</i>	kanedae	M08165-1
M08165-2	Porellaceae	<i>Porella</i>		rock M08165-2
M08166		미동정 태강		soil M08166
M08167	Hypnaceae	<i>Taxiphyllum</i>	aomoriense	rock M08167
M08168		미동정 선강		M08168

표본번호		학 명	기물	사진번호
M08169	Brachytheciaceae	Bryhnia	novae-angliae	M08169
M08170	Brachytheciaceae	Bryhnia	novae-angliae	M08170
M08171	Hypnaceae	Taxiphyllum	taxirameum	rock M08171
M08172	Mniaceae	Plagiomnium	acutum	M08172
M08173	Brachytheciaceae	Bryhnia	hultenii	soil M08173
M08174	Amblystegiaceae	Campyllum	squarrosulum	M08174
M08175	Mniaceae	Plagiomnium	acutum	soil M08175
M08176	Brachytheciaceae	Bryhnia	hultenii	bark M08176
M08177	Mniaceae	Plagiomnium	acutum	soil M08177
M08178	Funariaceae	Funaria	hygrometrica	rock M08178
M08180		미동정 선강		M08179
M08181	Bryaceae	Bryum	cellulare	
M08182	Bartramiaceae	Philonotis	thwaitesii	M08181
M08183	Bryaceae	Bryum	inclinatum	soil M08182
M08184	Bryaceae	Pohlia		soil M08183
M08185	Bartramiaceae	Philonotis	fontana	soil M08184
M08186	Marchantiaceae	Marcantia		soil M08185
M08187	Bryaceae	Bryum		M08186
M08188	Bartramiaceae	Philonotis	thwaitesii	soil M08187
M08189	Amblystegiaceae	Cratoneuron	filicinum	soil M08188
M08190	Marchantiaceae	Marcantia		M08189
M08191	Bryaceae	Bryum	handellii	soil M08190
M08192	Brachytheciaceae	Rhynchostegium	riparioides	
M08193	Grimmiaceae	Grimmia	pilifera	M08192
M08194		미동정 태강		M08193
M08195	Bartramiaceae	Philonotis	turneriana	
M08196	Thuidiaceae	Thuidium	cymbifolium	
M08197	Bryaceae	Bryum		M08196
M08198	Hypnaceae	Hypnum		M08197
M08199	Pottiaceae	Weissia	atrocaulis	M08198
M08200	Grimmiaceae	Schistidium		M08199
M08201	Hypnaceae	Eurohypnum	leptothallum	M08200
M08202		미동정 태강		M08201
M08203	Pottiaceae	Weissia	atrocaulis	M08202
M08204	Pottiaceae	Didymodon		M08203
M08205	Bryaceae	Bryum		
M08206	Jungermaniaceae	Jungermania		M08205
M08207	Bryaceae	Bryum	pseudotriquetrum	
M08208	Brachytheciaceae	Rhynchostegium	riparioides	M08207

표본번호	학 명		기물	사진번호
M08209	Seligeriaceae	Blindia japonica		M08208
M08210	Amblystegiaceae	Cratoneuron filicinum		M08209
M08211	Hypnaceae	Pseudotaxiphyllum pohliaecarpum		
M08212	Mniaceae	Plagiomnium rostratum		
M08213	Pottiaceae	Didymodon		M08212
M08214	Pottiaceae	Didymodon		M08213
M08215	Bryaceae	Anomobryum filliforme var. concinnatum		
M08216	Pottiaceae	Weissia atrocaulis		M08216
M08217	Marchantiaceae	Marcantia		

마. 강원도 태백산

- 표본 수 : 95점
- 23과 42속 45종
- 미동정 선강 : 5점, 미동정 태강 : 4점
- 미보고 선태식물 : Thuidium philibertii
- 주요 선태식물 : Bartramia, Climacium, Dicranella, Dicranodontium, Dicranum, Grimmia, Hedwigia, Plagiomnium, Polytrichum, Racomitrium, Rhizomnium

표본번호	학 명		기물	사진번호
M08218		미동정 태강	soil	M08218
M08219	Dicranaceae	Dicranum scoparium	soil	M08219
M08220	Mniaceae	Plagiomnium acutum	rock	M08220-1
M08221	Plagiotheciaceae	Plagiothecium nemorale	rock	M08221
M08222	Brachytheciaceae	Myuroclada maximowiczii	rock	M08222
M08223		미동정 선강	rock	M08223
M08224	Thuidiaceae	Claopodium pellucinerve	rock	M08224
M08225	Thuidiaceae	Anomodon giraldii	rock	M08225
M08226	Porellaceae	Porella	rock	
M08227	Porellaceae	Porella	rock	
M08228	Climaciaceae	Climacium japonicum	soil	
M08229	Thuidiaceae	Thuidium philibertii	rock+soil	M08229
M08230	Entodontaceae	Entodon flavescens	rock+soil	
M08231	Dicranaceae	Dicranum nipponense	rock+soil	M08231
M08232	Climaciaceae	Climacium dendroides	rock+soil	M08232
M08233	Frullaniaceae	Frullania	자갈+soil	M08233
M08234	Climaciaceae	Climacium dendroides	rock	
M08235	Hedwigiaceae	Hedwigia ciliata	rock	M08235

표본번호	학 명		기물	사진번호
M08236	Dicranaceae	Dicranum nipponense	rock	M08236
M08237	Dicranaceae	Dicranum leiodontum	rock	M08237
M08238	Thuidiaceae	Thuidium philibertii	rock	
M08239	Dicranaceae	Dicranum scoparium	rock	
M08240	Leucodontaceae	Leucodon nipponicus	rock	
M08241	Thuidiaceae	Bryonoguchia molkenboeri	rock	M08241
M08242	Grimmiaceae	Grimmia pilifera	rock	
M08243	Grimmiaceae	Grimmia pilifera	rock	
M08244	Frullaniaceae	Frullania	bark	M08244
M08245	Orthotrichaceae	Ulota reptans	bark	M08245
M08246		미동정 선강	lock	M08246
M08247	Dicranaceae	Dicranella	shade soil	M08247
M08248	Brachytheciaceae	Brachythecium populeum	rock	M08248
M08249	Dicranaceae	Dicranoloma cylindrothecium	rock	M08249
M08250	Hylocomiaceae	Hylocomium splendens		M08250
M08251	Mniaceae	Plagiomnium acutum	soil	M08251
M08252	Grimmiaceae	Grimmia pilifera	rock	
M08253	Dicranaceae	Dicranum mayrii	rock+soil	
M08254	Grimmiaceae	Racomitrium ericoides	rock	M08254
M08255	Polytrichaceae	Polytrichum commune	rock	
M08256		미동정 태강	rock	
M08257	Hedwigiaceae	Hedwigia ciliata	rock	
M08258	Leucobryaceae	Leucobryum		
M08259	Thuidiaceae	Boulaya mittenii	rock	M08259
M08260	Leucodontaceae	Leucodon	rock	M08260
M08261	Dicranaceae	Dicranum scoparium	rock	M08261
M08262	Mniaceae	Plagiomnium acutum	soil	M08262
M08263	Hypnaceae	Taxiphyllum aomoriense	rock	M08263
M08264	Mniaceae	Trachycystis flagellaris	썩은나무	M08264
M08265	Mniaceae	Trachycystis flagellaris	썩은나무	
M08266	Tetraphidaceae	Tetraphis pellucida	bark	
M08267	Tetraphidaceae	Tetraphis pellucida	wood	M08267
M08268	Bartramiaceae	Bartramia pomiformis	shade soil	M08268
M08269	Neckeraceae	Homalia trichomanoides	rock	M08269
M08270	Brachytheciaceae	Bryhnia trichomitria	rock	
M08271	Bartramiaceae	Bartramia pomiformis	shade soil	M08271
M08272	Bartramiaceae	Bartramia pomiformis	soil	
M08273	Plagiotheciaceae	Plagiothecium neckeroideum	rock	M08273
M08274	Climaciaceae	Pleuroziopsis ruthenica	부식토	M08274
M08275		미동정 태강	rock	M08275

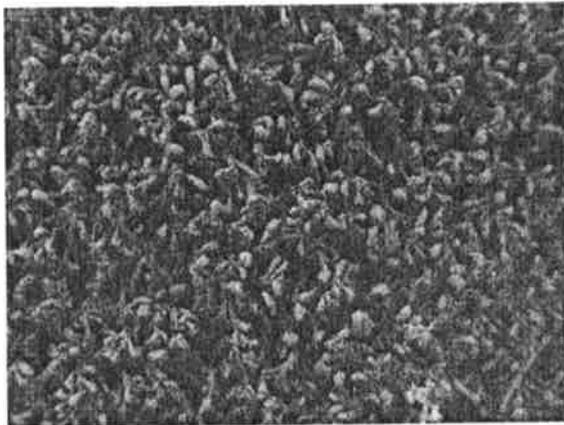
표본번호	학 명			기물	사진번호
M08276	Mniaceae	Mnium	lycopodioides	soil	M08276
M08277	Bartramiaceae	Bartramia	pomiformis	soil	M08277
M08278	Polytrichaceae	Atrichum	undulatum	soil	M08278
M08279	Hylocomiaceae	Hylocomium	pyrenaicum	rock	M08279
M08280	Grimmiaceae	Racomitrium	ericoides	rock	M08280
M08281	Polytrichaceae	Polytrichum	commune	rock	M08281
M08282		미동정 선강		rock	M08282
M08283	Polytrichaceae	Polytrichum		soil	
M08284	Polytrichaceae	Polytrichum		rock	M08284
M08285	Polytrichaceae	Polytrichum	formosum	rock	
M08286	Polytrichaceae	Polytrichum	formosum	rock	
M08287	Polytrichaceae	Polytrichum	formosum	soil on rock	
M08288	Dicranaceae	Dicranella	heteromalla	soil on rock	
M08289	Dicranaceae	Dicranodontium	uncinatum	soil on rock	
M08290	Dicranaceae	Dicranum	scoparium	soil on rock	M08290
M08291	Dicranaceae	Dicranodontium	uncinatum	soil on rock	
M08292	Dicranaceae	Dicranum	scoparium	soil on rock	M08292
M08293	Polytrichaceae	Pogonatum	contortum	soil on rock	
M08294		미동정 태강		soil on rock	M08294
M08295	Lepidolaenaceae	Trichocoleopsis	sacculata	soil on rock	M08295

바. 조봉과 미친골계곡 (강원도 양양군 서면 황이리)

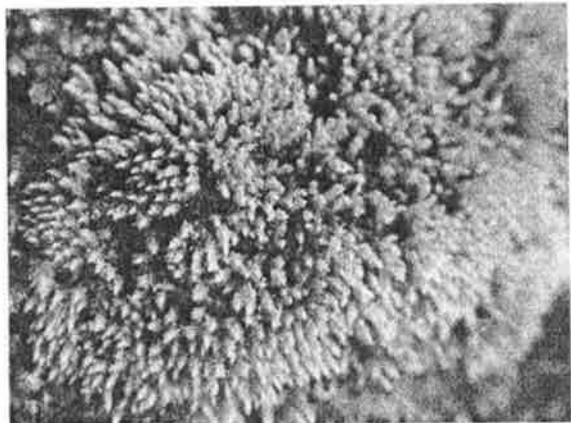
채집현황 : Anomodon giraldii Mull. Hal.(큰명주실이끼) 외 93점의 선대식물 채집

채집번호	Family(과)		Species name(영문)	국문	기물
M090024	Thuidiaceae	깃털이끼과	<i>Anomodon giraldii</i>	큰명주실이끼	Rock(Dry)
M090026	Bartramiaceae	구슬이끼과	<i>Philonotis falcata</i>	낮물가이끼	Rock(Wet)
M090027	Brachytheciaceae	양털이끼과	<i>Rhynchostegium riparioides</i>	물가부리이끼	Rock(Wet)
M090028	Polytrichaceae	솔이끼과	<i>Pogonatum urnigerum</i>	산들솔이끼	Soil
M090029	Polytrichaceae	솔이끼과	<i>Pogonatum neesii</i>	들솔이끼	Soil
M090030	Polytrichaceae	솔이끼과	<i>Atrichum undulatum</i> var. <i>undulatum</i>	주름솔이끼	Soil
M090031	Polytrichaceae	솔이끼과	<i>Polytrichum juniperinum</i>	향나무솔이끼	Rock
M090032	Polytrichaceae	솔이끼과	<i>Polytrichum juniperinum</i>	향나무솔이끼	Rock
M090033	Grimmiaceae	고깔바위이끼과	<i>Racomitrium canescens</i> var. <i>canescens</i>	서리이끼	Rock
M090035	Hedwigiaceae	툇이끼과	<i>Hedwigia ciliata</i> var. <i>ciliata</i>	툇이끼	Rock

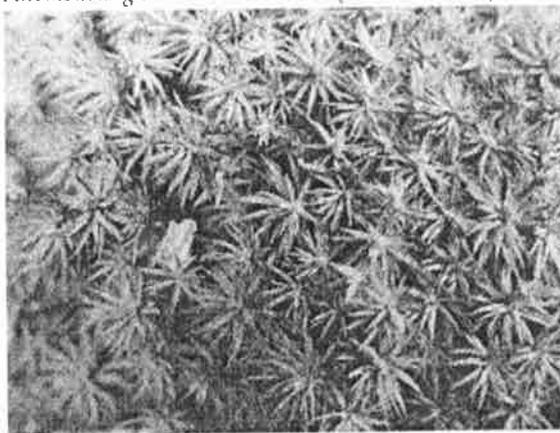
M090036	Funariaceae	표주박이끼과	<i>Funaria hygrometrica</i>	표주박이끼	Soil
M090052	Leucobryaceae	흰털이끼과	<i>Leucobryum juniperoideum</i>	가는흰털이끼	Soil
M090053	Bartramiaceae	구슬이끼과	<i>Bartramia pomiformis</i>	구슬이끼	Rock
M090062	Mniaceae	초롱이끼과	<i>Plagiommium maximoviczii</i>	덩굴초롱이끼	Soil
M090066	Mniaceae	초롱이끼과	<i>Rhizomnium</i>	머선초롱이끼	Rock + Soil
M090067	Mniaceae	초롱이끼과	<i>Trachycystis flagellaris</i>	털아기초롱이끼	Rock + Soil
M090098	Hypnaceae	털이끼과	<i>Taxiphyllum aomoriense</i>	접친주목이끼	Rock
M090099	Hypnaceae	털이끼과	<i>Hypnum plumaeforme</i>	털깃털이끼	Rock



Anomodon giraldii Mull. Hal. (큰병주살이끼)



Philanotis falcata (Hook.) Mitt. (낮불가이끼)



Pogonatum urnigerum (산들솔이끼)



Funaria hygrometrica Hedw. (표주박이끼)

사. 삼봉산 (강원도 삼척시 하장면)

채집현황 : *Marchantia polymorpha* L.(우산이끼) 외 25점의 선대식물 채집

채집번호	Family(과)		Species name(영문)	국문	기물
M090105	Marchantiaceae	우산이끼과	<i>Marchantia polymorpha</i> L.	우산이끼	Soil
M090114	Hypnaceae	털이끼과	<i>Taxiphyllum aemoriense</i> (Besch.) Iwats.	겹진주목이끼	Bark
M090119	Amblystegiaceae	비둘이끼과	<i>Cratoneuron filicinum</i> (Hedw.) Spruce.	물가고사리이끼	Rock(Wet)
M090122	Brachytheciaceae	양털이끼과	<i>Myuroclada maximoviczii</i> (Borz.) Steere. et Schofield.	가느귀꼬리이끼	Soil
M090125	Amblystegiaceae	비둘이끼과	<i>Cratoneuron filicinum</i> (Hedw.) Spruce.	물가고사리이끼	Rock(Wet)
M090132	Aytoniaceae		<i>Reboulia hemisphaerica</i> (L.) Raddi. ssp. <i>Orientalis</i> R. M. Schust.	삿갓우산이끼	Rock + Soil



Marchantia polymorpha L. (우산이끼)



Cratoneuron filicinum (물가고사리이끼)



Reboulia hemisphaerica (L.) Raddi. ssp. *Orientalis* R. M. Schust. (삿갓우산이끼)

아. 깃대봉 (강원도 삼척시 신기면 마차리)

채집현황 : *Myuroclada maximoviczii* (Borc.) Steere. et Schofield.(가는쥐꼬리이끼) 외 20점의 선태식물 채집

채집번호	Family(과)		Species name(영문)	국문	기물
M090135	Brachytheciaceae	양털이끼과	<i>Myuroclada maximoviczii</i> (Borc.) Steere. et Schofield.	가는쥐꼬리이끼	Rock



Myuroclada maximoviczii (Borc.) Steere. et Schofield (가는쥐꼬리이끼)

자. 백석봉 (강원도 정선군 북평면)

채집현황 : *Climacium japonicum* Lindb.(나무이끼) 외 117점의 선태식물 채집

채집번호	Family(과)		Species name(영문)	국문	기물
M090159	Thuidiaceae	깃털이끼과	<i>Herpetineuron toccoe</i> (Sull. Et Lesq.) Card.	나선이끼	Rock
M090165	Brachytheciaceae	양털이끼과	<i>Myuroclada maximoviczii</i> (Borc.) Steere. et Schofield.	가는쥐꼬리이끼	Rock
M090167	Grimmiaceae	고깔바위이끼과	<i>Grimmia pilifera</i> P. Beauv.	검은고깔바위이끼	Rock
M090168	Hedwigiaceae	툇이끼과	<i>Hedwigia ciliata</i> (Hedw.) P. Beauv. var. ciliata	툇이끼	Rock
M090180	Grimmiaceae	고깔바위이끼과	<i>Grimmia pilifera</i> P. Beauv.	검은고깔바위이끼	Rock
M090182	Grimmiaceae	고깔바위이끼과	<i>Weissia newcomeri</i> (E. B. Bartram.) K. Saito.	새꼬마이끼	Rock

M090187	Grimmiaceae	고갈바위이끼과	<i>Grimmia pilifera</i> P. Beauv.	검은고갈바위이끼	Rock
M090188	Thuidiaceae	깃털이끼과	<i>Miyabea thuidioides</i> Broth.	깃털꼬마나무이끼	Bark
M090190	Entodontaceae	윤이끼과	<i>Entodon giraldii</i> Mull. Hal.	숲윤이끼	Bark
M090191	Cryphaeaceae	방울이끼과	<i>Forsstroemia japonica</i> (Besch.) Paris.	실방울이끼	Rock
M090192	Grimmiaceae	고갈바위이끼과	<i>Racomitrium heterostichum</i> (Hedw.) Brid.	검정서리이끼	Rock
M090193	Brachytheciaceae	양털이끼과	<i>Brachythecium populeum</i> (Hedw.) Bruch. et Schimp.	양털이끼	Bark
M090195	Thuidiaceae	깃털이끼과	<i>Anomodon minor</i> (Hedw.) Fuernr.	푸른명주실이끼	Bark
M090197	Porellaceae	세줄이끼과	<i>Porella vernicosa</i> Lindb.	가시세줄이끼	Rock
M090198	Porellaceae	세줄이끼과	<i>Porella caespitans</i> (Steph.) Hatt. var. <i>cordifolia</i> (Steph.) Hatt.	침세줄이끼	Rock
M090200	Cryphaeaceae	방울이끼과	<i>Forsstroemia japonica</i> (Besch.) Paris.	실방울이끼	Rock
M090205	Thuidiaceae	깃털이끼과	<i>Anomodon giraldii</i> Mull. Hal.	큰명주실이끼	Rock
M090208	Leucodontaceae	족제비이끼과	<i>Leucodon sapporensis</i> Besch.	참족제비이끼	Rock
M090209	Porellaceae	세줄이끼과	<i>Porella caespitans</i> (Steph.) Hatt. var. <i>cordifolia</i> (Steph.) Hatt.	침세줄이끼	Rock
M090211	Porellaceae	세줄이끼과	<i>Porella caespitans</i> (Steph.) Hatt. var. <i>cordifolia</i> (Steph.) Hatt.	침세줄이끼	Rock
M090214	Thuidiaceae	깃털이끼과	<i>Thuidium kanedae</i> Sakurai.	깃털이끼	Rock
M090216	Cryphaeaceae	방울이끼과	<i>Forsstroemia japonica</i> (Besch.) Paris.	실방울이끼	Bark
M090231	Entodontaceae	윤이끼과	<i>Entodon sullivantii</i> (Mull. Hal.) Lindb.	가는윤이끼	Rock
M090232	Hypnaceae	털이끼과	<i>Taxiphyllum aomoriense</i> (Besch.) Iwats.	겹친주목이끼	Rock
M090233	Brachytheciaceae	양털이끼과	<i>Myuroclada maximoviczii</i> (Borcz.) Steere. et Schofield.	가는쥐꼬리이끼	Rock
M090235	Mniaceae	초롱이끼과	<i>Plagiomnium cuspidatum</i> (Hedw.) T.J.Kop.	들덩굴초롱이끼	Rock

M090236	Brachytheciaceae	양털이끼과	<i>Entodon flavescens</i> (Hook.) A. Jaeger.	가지윤이끼	Rock
M090239	Hypnaceae	털이끼과	<i>Taxiphyllum aomoriense</i> (Besch.) Iwats.	겹친주목이끼	Rock
M090240	Mniaceae	초롱이끼과	<i>Plagiomnium acutum</i> (Lindb.) T.J.Kop.	아기들덩굴초롱이끼	Rock
M090242	Mniaceae	초롱이끼과	<i>Plagiomnium cuspidatum</i> (Hedw.) T.J.Kop.	들덩굴초롱이끼	Rock
M090243	Climaciaceae	나무이끼과	<i>Climacium japonicum</i> Lindb.	나무이끼	Rock
M090244	Brachytheciaceae	양털이끼과	<i>Brachythecium populeum</i> (Hedw.) Bruch. et Schimp.	양털이끼	Rock
M090245	Thuidiaceae	깃털이끼과	<i>Thuidium kanedae</i> Sakurai.	깃털이끼	Rock
M090246	Fissidentaceae	봉황이끼과	<i>Fissidens dubius</i> P. Beauv.	벼슬봉황이끼	Rock
M090249	Sematophyllaceae	무성아실이끼과	<i>Herzogiella perrobusta</i> (Broth. Ex Card.) Iwats.	아기주목이끼	Soil
M090253	Leucobryaceae	흰털이끼과	<i>Leucobryum juniperoideum</i> (Brid.) Mull. Hal.	가는흰털이끼	Soil
M090262	Brachytheciaceae	양털이끼과	<i>Brachythecium rivulare</i> Bruch. et Schimp.	물가양털이끼	Rock
M090263-1	Cryphaeaceae	방울이끼과	<i>Forsstroemia trichomitria</i> (Hedw.) Lindb.	방울이끼	Rock
M090264	Fissidentaceae	봉황이끼과	<i>Fissidens dubius</i> P. Beauv.	벼슬봉황이끼	Rock
M090270	Pottiaceae	침꼬마이끼과	<i>Oxyslegus tenuirostris</i> (Hook. et Taylor.) A. J. E. Smith.	통수염이끼	Rock
M090271	Thuidiaceae	깃털이끼과	<i>Anomodon giraldii</i> Mull. Hal.	큰명주실이끼	Rock



Hedwigia ciliata (Hedw.) P. Beauv. var. *ciliata*



Thuidium kanedae Sakurai. (깃털이끼)



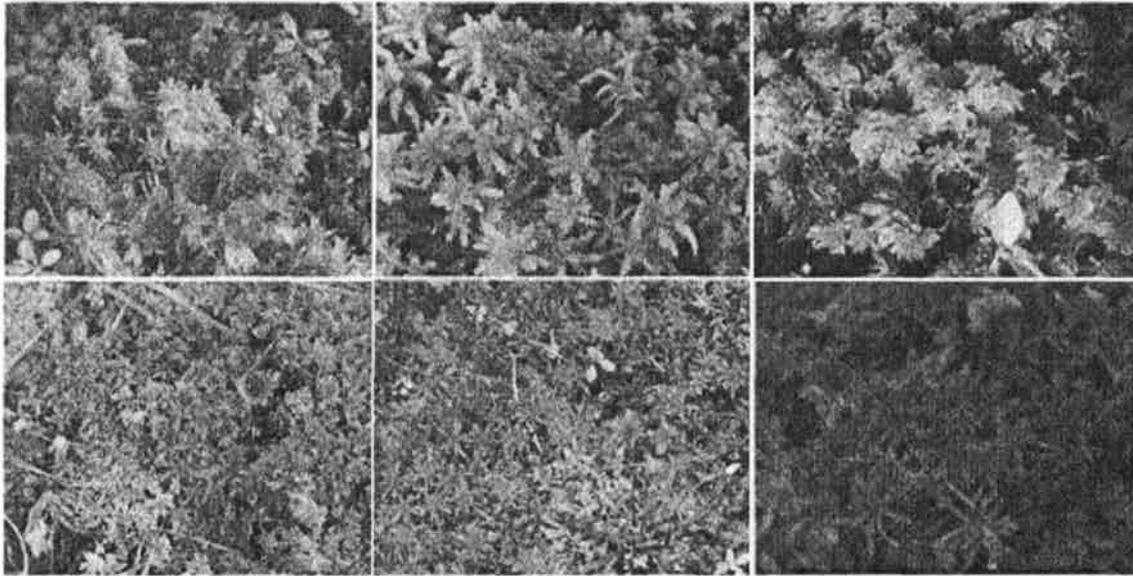
중국 흑룡강성 산림지대에서 확보한 다양한 이끼 생물자원.
솔이끼, 나무이끼, 물이끼 등 실내외 관상용도로 개발 예정. 현재 국내에서 증식 중에 있음.



중국 내몽고 건조지역에서 채집한 내건성 이끼 생물자원
육상 및 벽면 녹화용 이끼 자원으로 개발 예정. 현재 국내에서 증식 중에 있음.
이외에도 관상용 또는 실내정원용 산업화 유망 이끼로 국내에서 채집한 솔이끼과와 나무이끼
과에 속하는 이끼 수종을 선발하여 번식방법 개발을 실시.

2. 국내의 물이끼 (Sphagnum) 생물자원수집

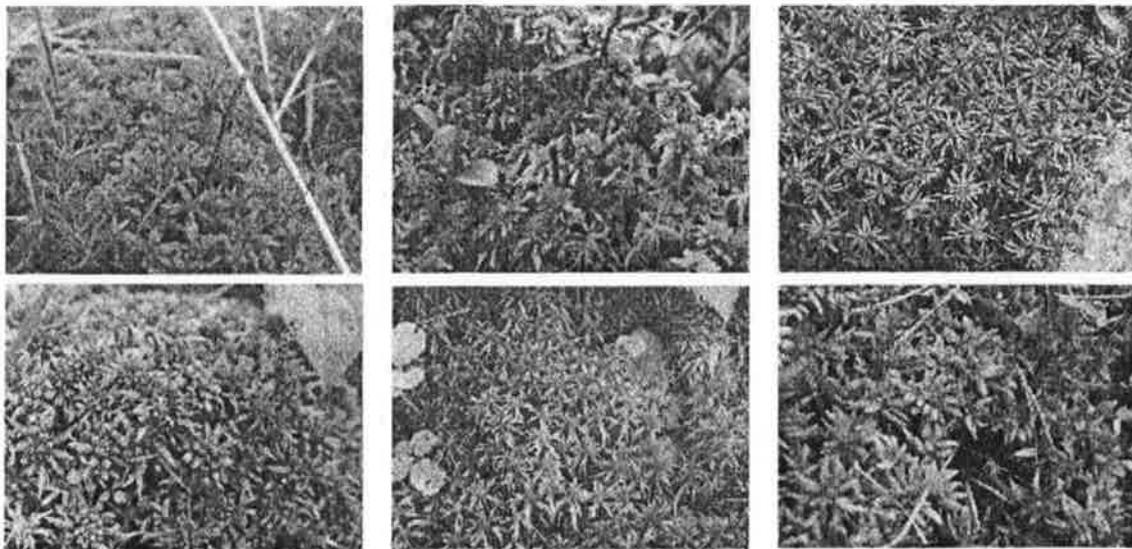
1차년도에 국내의 고산습지로부터 국내 3종 물이끼는 이외에, 국외의 경우 칠레 남미 남단에서 채집한 *S. magallanense*, 불가리아 고원습지에서 확보한 *S. subsecundum*, *S. capillifolium*, *S. warnfortii*와 *S. angustifolium* 4종을 포함 총 5종을 확보. 성장율(생물량 증가) 비교를 통해 국내 자생 물이끼 중 *Sphagnum palustre* (국명: 물이끼) 1종을 후보 이끼로 선발.



S. magallanense

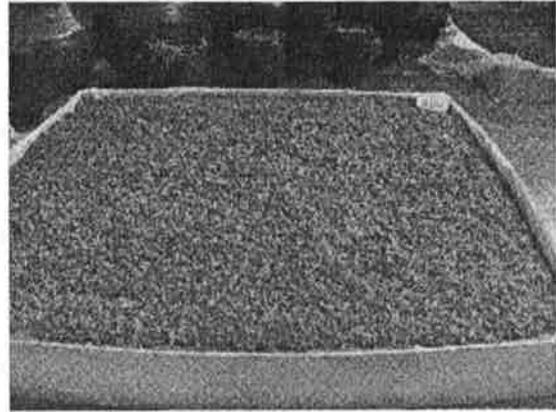
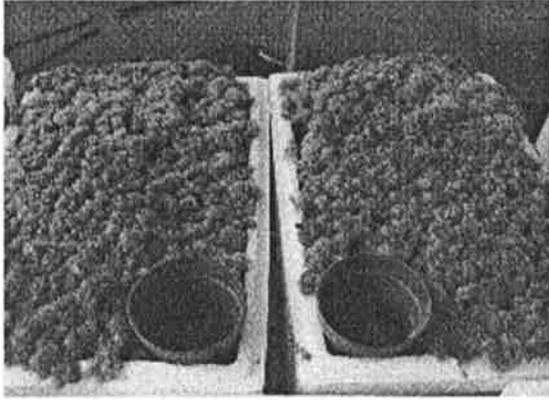
S. subsecundum

S. capillifolium



루마니아 카파티안 산지에서 채집한 다양한 물이끼 (*Sphagnum* sp.)

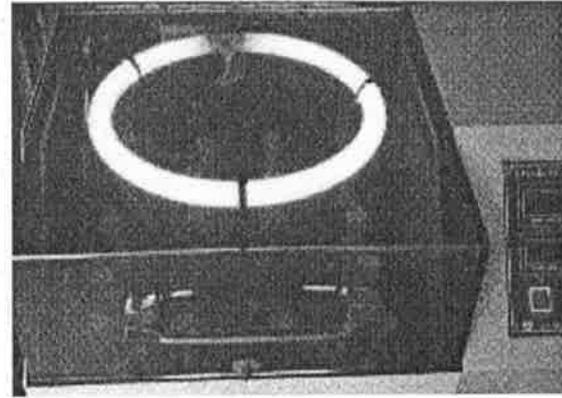
대부분의 물이끼가 저온 산림지역 습지에서 자라는 물이끼로 국내와 비슷한 위도에서 자람. 현재 국내에서 증식 중에 있음.



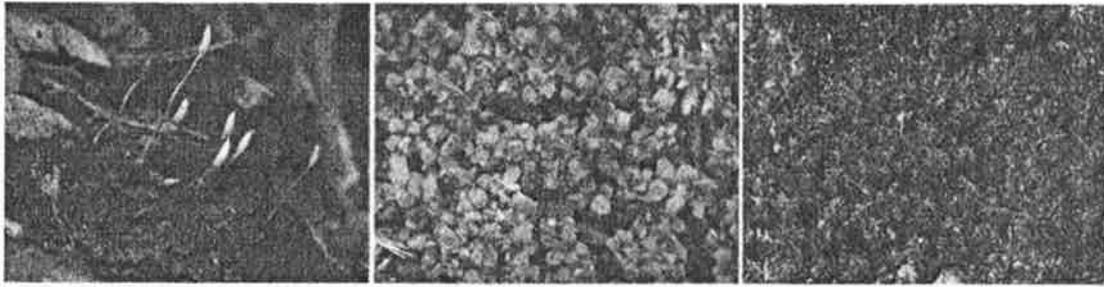
국내 생육환경에 가장 적응성이 높으면서 높은 생산율을 보인 국내산 물이끼(Sphagnum palustre)의 증식 및 대량번식 실증실험 모습

3. 이끼류의 포자이용 대량번식 조건 규명

포자를 이용한 번식체 개발을 위하여 포자퇴(삭)의 표면살균(70% methanol 이용)을 실시한 후 포자퇴를 개방하여 포자를 유출시킨 후 영양액체배지 18oC, 100rpm, 12 시간 광조건에서 배양하면서 원사체 발달을 유도.



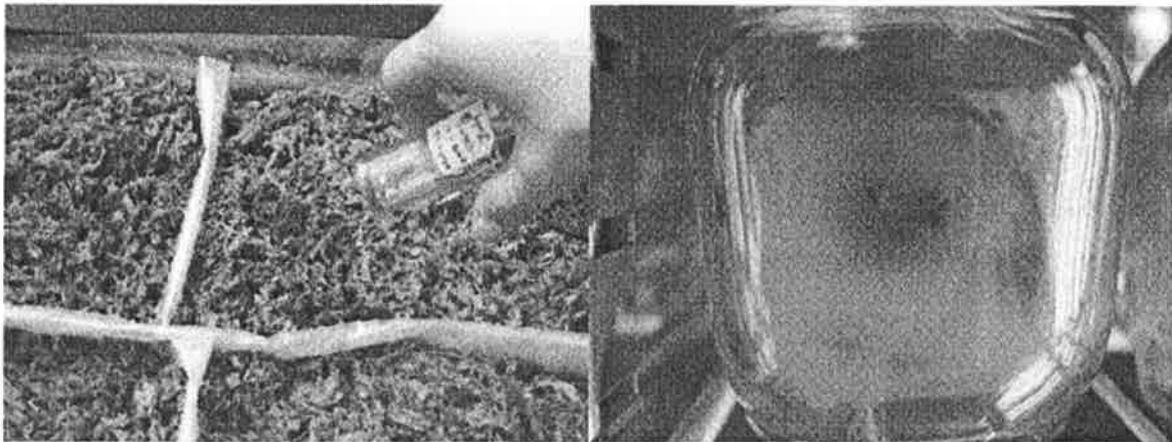
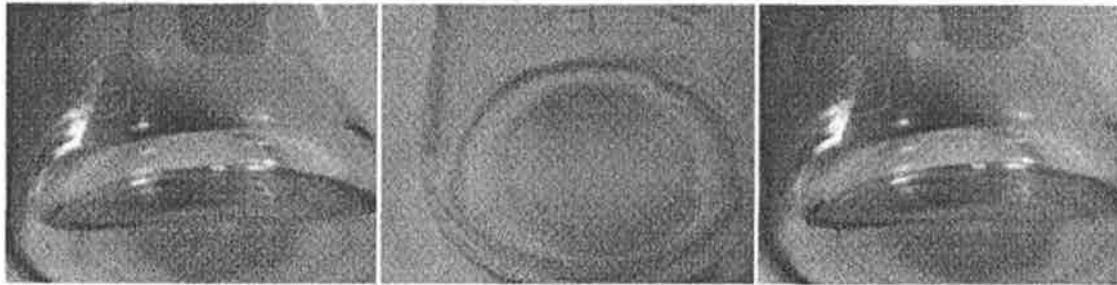
포자로부터 원사체 유도 결과, 침들솔이끼, 들덩굴초롱이끼, 산솔이끼 모두에서 성공적으로 포자가 발아하였으며, 배양 4주일 내에 모두 원사체가 유도되었으며, 특히 솔이끼과에 속하는 이끼에서 발아 및 생장이 양호한 것으로 조사되었으며, 유도된 원사체를 수태에 이식하여 재배를 실시하여 이끼 성체 발달을 유도하였지만, 3개월 경과시까지 성체 유도가 이루어지지 않은 반면, MS 인공배지 상에서는 성체유도가 성공적으로 이루어졌음. 하지만 MS 인공배지를 이용할 경우, 비용과 시간 및 대량 재배면에서 많은 문제점을 지니고 있어 보다 경제적이며 효율적인 방법을 개발할 필요성이 대두되었음.



Pogonatum spinulosum
(침습습이끼)

Plagiomnium cuspidatum
(큰덩굴초롱이끼)

Polytrichum alpinum
(산습이끼)



발아체를 건조 수태에 이식하여 이끼 성체 유도를 실시하였지만 3개월 경과 후에도 성체 유도가 이루어지지 않은 반면, MS 인공배지에 이식한 경우, 정상적인 이끼 성체로 성장하는 것을 확인하였지만 대량재배에 적용하기에는 문제점이 있는 것으로 판명되어 영양번식체를 이용한 번식체 확보 방법 개발이 더욱 현실적인 것으로 여겨짐.

4. 이끼류의 영양번식체를 이용한 대량번식 조건 규명

가. 영양번식체를 이용한 대량번식방법 도출

나무이끼의 영양번식체를 이용하여 조직배양법, 삽목법 및 엽체절편법의 3가지 무성생식적 방법으로 번식 방법 개발을 실시한 결과, 엽체절편법이 가장 효과적인 방법으로 도출



Climacium dendroides
(곧은나무이끼)



Climacium japonicum
(나무이끼)

- (1) 조직배양법 : 나무이끼의 선단부를 절편하여 IAA, GA와 KT 식물생장호르몬을 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 ppm로 조정된 MS배지에 이식하여 성체 유도를 실시한 결과, 이식한 절편은 정상적으로 생존을 하였으나 성체로 유도되는데 장시간이 소요되는 것으로 나타남.

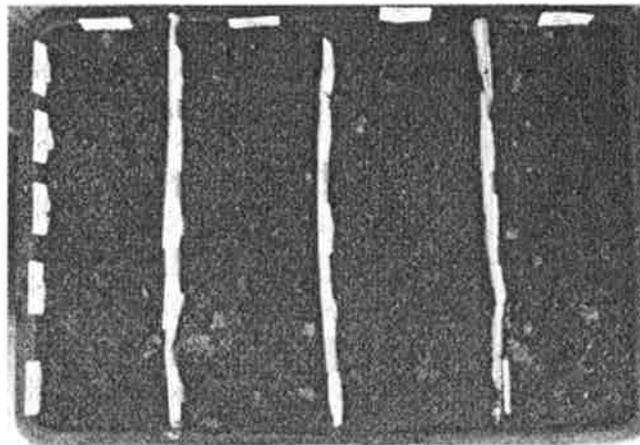


이식한 절편이 MS 영양배지에서 성장하는 모습

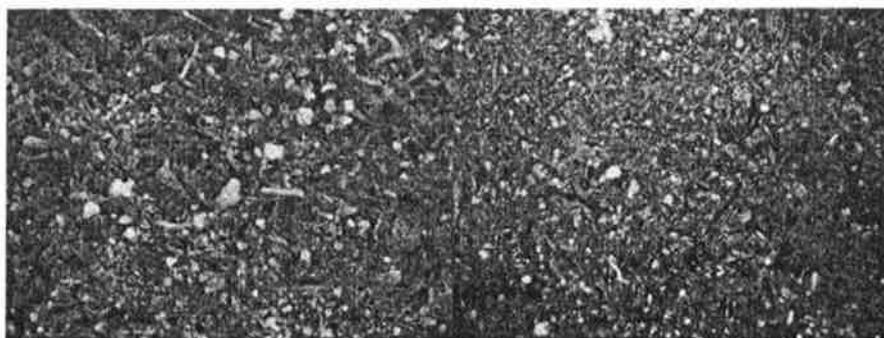
표 50 조직배양법에 따라 처리한 호르몬의 종류와 농도에 따른 이식 절편의 생존율

Hormones	Concentration (ppm)			
	2	1	0.5	0.1
IAA	0%	100%	100%	100%
GA	100%	100%	33.3%	33.3%
KT	0%	33.3%	33.3%	33.3%

(2) 삼목법: 나무이끼의 줄기부위를 절단하여 다양한 배지와 호르몬을 처리하여 재배한 결과, 모든 이끼는 정상적으로 생존하였으나 성장이나 개체 번식이 단 시간 내에 이루어지지 않음을 확인.



(3) 엽체절편법 : 나무이끼의 선단부를 작은 절편으로 만들어 인공 배지(peatmoss:모래 =2:1)에 살포하여 20℃에서 재배한 결과, 광조건이나 상대습도에 상관없이 1개월 이내에 육안으로 구별할 수 있을 정도로 이끼 절편이 빠르게 성장하는 것을 확인하여 대량번식방법으로 가장 적합한 것으로 판정되었음.



Fully covered with black bag
(24 hr dark, 100% humidity)

No cover Day/Night= natural cycle
Air humidity

따라서, 영양번식체를 이용할 경우 엽체절편법을 가장 효율적인 방법으로 도출하여 이에 대한 보다 구체적인 연구를 실시하였음다.

나. 엽체절편법을 이용한 대량번식방법 개발

앞에서 영양번식체를 이용한 대량번식방법으로 엽체절편법이 가장 효율적인 것으로 도출되어, 이에 대한 구체적인 방법 개발을 실시하였다. 이를 위하여 산업화 유망이끼로 선발된 솔이끼와 나무이끼 2종에 대한 엽체절편 번식방법 개발을 실시하였다. 우선 이끼 선단부의 엽체를 적당한 크기 (2-5mm)의 열편으로 자른 후에, 저면식 공기부양 액체 배양기를 이용하여 다양한 배지와 호르몬 처리를 실시하여 성장 정도를 비교하여 최적 조건을 도출한 후에, 최적조건에서 2 - 3주 배양한 열편을 건조수태나 인공토양배지에 접종하여 성체 유도를 실시하였다.

엽체	배양유도체
	
솔이끼 <i>Polytrichum sp.</i>	
	
나무이끼 <i>Climacium dendroides</i>	

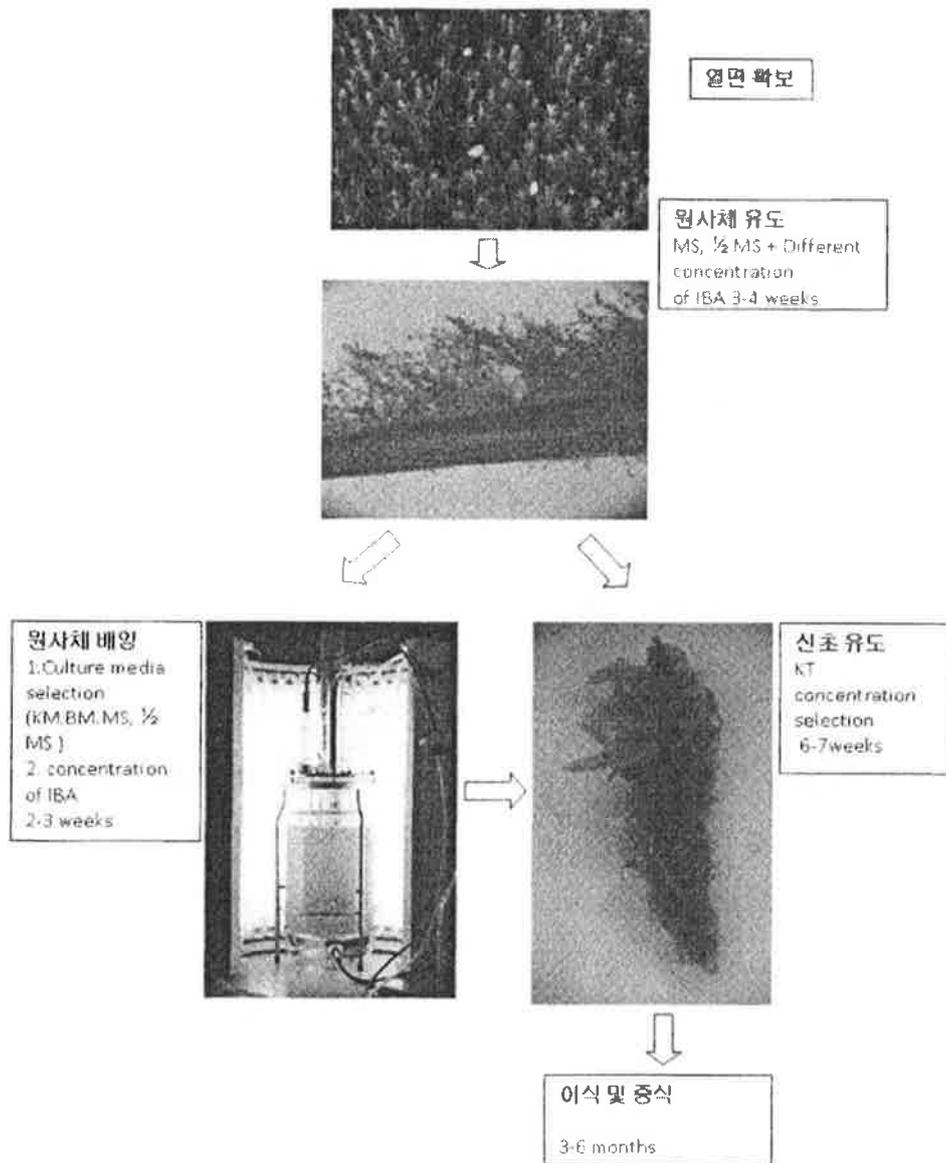


그림 188. 엽체질편법을 이용한 솔이끼 대량 영양번식 방법 개요도

실험결과, 솔이끼의 대량 영양번식체 생산을 위해서는 열편으로부터 원사체(protonema) 유도를 위해 1/2 MS 배지와 0.01ppm IBA 조건에서 3-4주 배양하고, 원사체 배양을 위해서는 MS 배지와 0.1ppm IBA 조건에서 2-3주 배양하고, 신초 유도는 MS배지와 0.5ppm KT 조건에서 3-4주 배양하는 것이 최적 조건인 것으로 도출되었다.

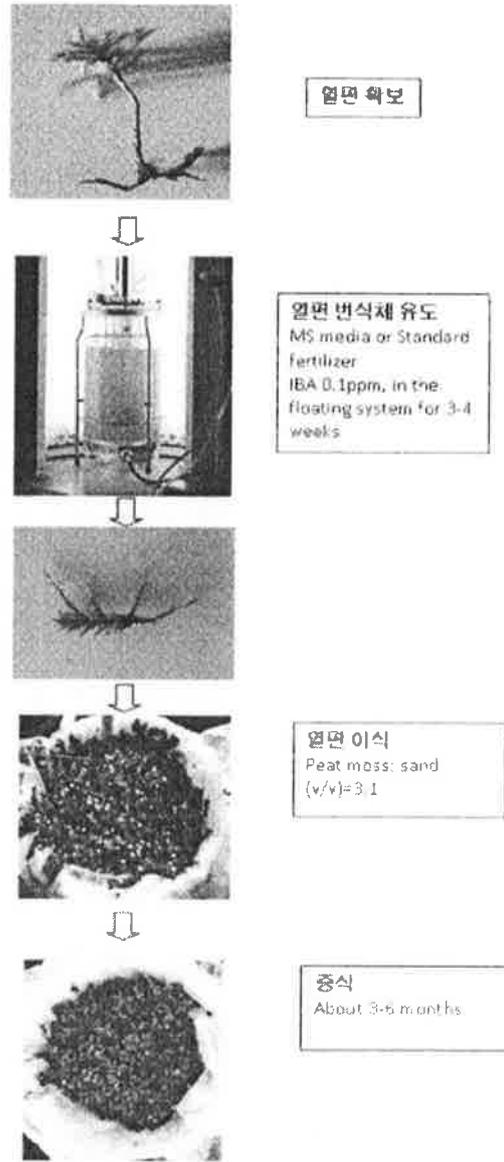


그림 189. 열체절편법을 이용한 나무이끼 대량 영양번식 방법 개요도

실험 결과, 나무이끼의 대량 영양번식체 생산을 위해서는 열편을 표준배양용액에 0.1ppm의 IBA 첨가하여 3-4주 배양하고 배양체를 곧 바로 인공토양에 접종하면 3-6개월 후에 성공적으로 이끼 성체를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

5. 물이끼 영양번식체 제조기술개발

가. 번식체 부위 및 배양 배지 선별

제주도에서 채집한 물이끼(*Sphagnum palustre*)에서 왕성하게 자라는 엽편을 부위별로 확보하기 위하여 물이끼의 정단부(top) (엽편 크기 0.5cm 이하), 중부(middle part, 엽편크기 0.5-1.0cm)와 하부(lower part, 엽편크기 1.0cm 이상)에서 녹색을 띠고 있는 건전한 엽편을 몸체로부터 조심스럽게 떼어 내어 실험재료를 준비하였다. (그림 1) (Fragments from three different parts of the gametophore, the top (<0.5cm, capitulum branches avoiding the central bud), the middle(0.5-1cm) and the bottom(1-2cm), divergent branches in the upper 2 cm of the stem below the capitulum.)

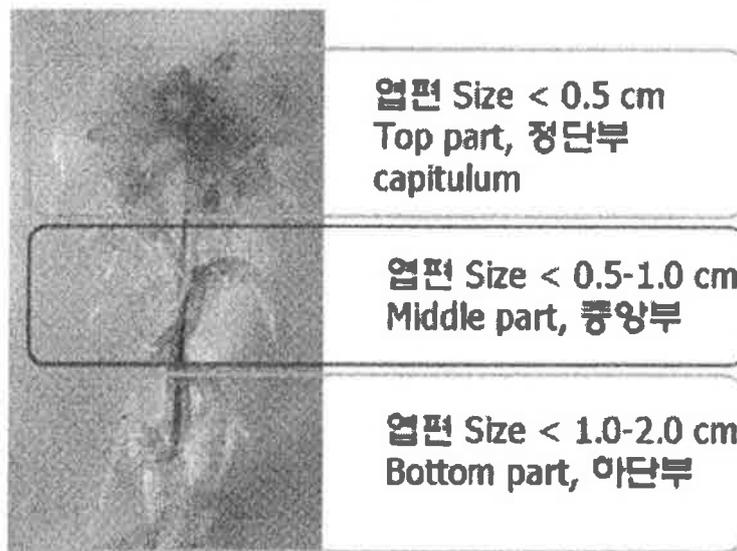
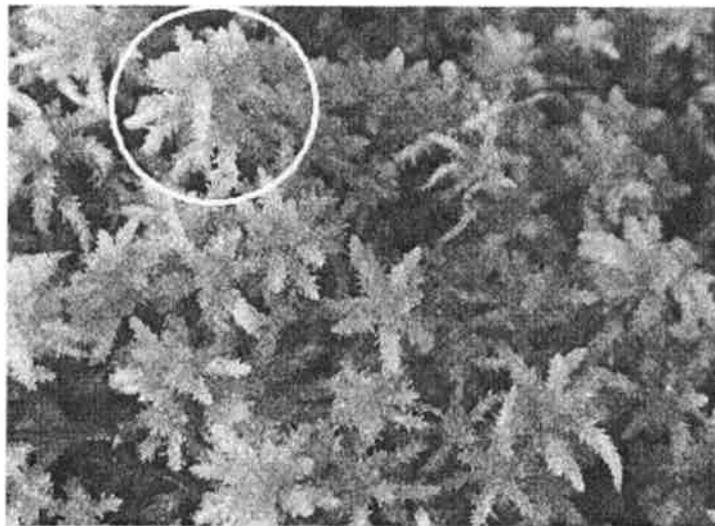


그림 190. 실험에 사용된 제주도산 물이끼(*Sphagnum palustre*)의 성장점 두부(원으로 표시된 부분)와 부위별 도식

위와 같이 준비된 엽편 들을 2주 동안 3 종류의 배양배지를 이용하여 액체 배양을 실시하였다.

1) the standard nutrient solution (SF, Rudolph and Voigt (1986), methods in bryology)

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	6 g/l	(45 mM)	(a)
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10 g/l	(40 mM)	(b)
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.67 g/l	(9.6 mM)	(c)
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2 g/l	(14 mM)	(d)
KH_2PO_4	2 g/l	(15 mM)	(e)
KNO_3	2 g/l	(20 mM)	(f)
NH_4NO_3	5 g/l	(62 mM)	(g)
NaOH	4.4 g/l	(110 mM)	(h)
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1 g/l	(4 mM) + 1.38 g Titriplex III	(i)
HNO_3	0.12 M		(k)
NH_3	3.6 x 10 ⁻² M (prepared by ammonia solution 25%, concentration checked by nesslerization)		(l)
trace elements mg/l H ₂ O (= A-Z solution of Hoagland, 10 ⁻¹ dilution):			(m)
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	5.5		
KI	2.8		
KBr	2.8		
TiO ₂	5.5		
$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.8		
LiCl	2.8		
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	38.9		
$\text{B}(\text{OH})_3$	51.4		
ZnSO_4	5.5		
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	5.5		
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5.9		
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5.5		

10 ml of the stock solutions a, b, d, f, g, h, i, k, l, m, and 30 ml of c and e are added to 20 l distilled water. The ion concentration of the standard nutrient solution (μM) is Na⁺: 55; K⁺: 32; NH₄⁺: 95; Ca²⁺: 22; Mg²⁺: 22; Fe³⁺: 2; Cl⁻: 20; NO₃⁻: 100; SO₄²⁻: 58; PO₄³⁻: 22; pH 5.8.

2) The Murashige and Skoog modified basal salt mixture (MS, SIGMA CHEMICAL CO.)

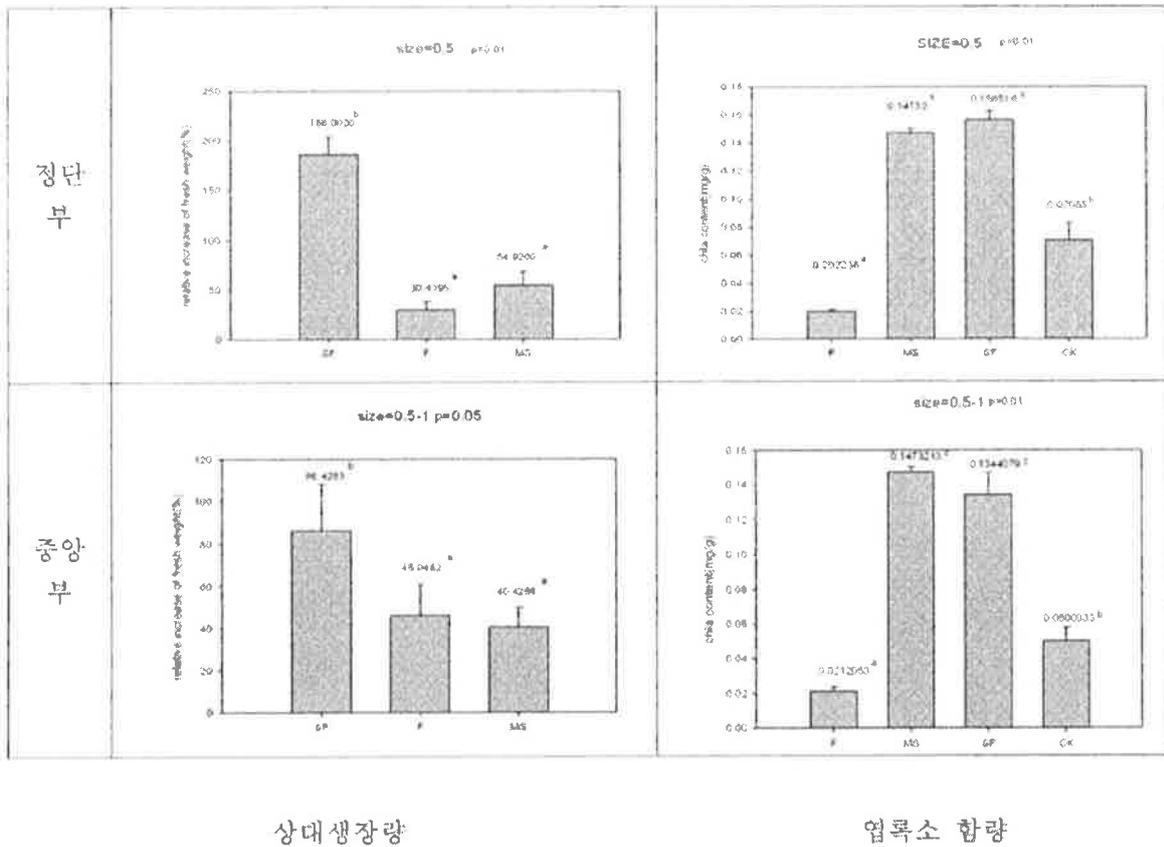
3) 식물액비 : 두배나(F) (중양프라자, N:30%, P:10%, K₂O 10%, B: 0.05%, Mn0.1%)

처리별로 (3가지 부위 X 3종류 배지, 총 9처리), 30엽편을 액체배지에 접종한 후, 저면식 공기부양배양장치 (그림 2)를 이용하여 15°C, 12시간 광주기 (100 μmolm⁻²s⁻¹ PPF) 조건에서 2주간 배양한 후 수확하여 엽록소 함량과 상대생장량을 비교하였다.



그림 191. 물이끼 엽편의 인공배양을 위하여 이용한 저면식 공기부양식 배양기

2주 배양 후에 측정된 물이끼 엽편의 엽록소 함량과 상대성장량 측정 결과 (그림 191), 부위별로는 성장점이 포함된 정단부에서 배지별로는 표준배양배지에서 엽록소 함량과 성장량 증가가 가장 뚜렷하게 나타났다. 특히 상대성장량의 경우, 부위와 상관없이 표준배지에서 성장 증가가 가장 뚜렷하였으며, 정단부는 180%배 이상의 성장량 증가를 보인 것에 비하여 중앙부는 86%, 하단부는 63% 증가를 보여 어린 조직일수록 영양번식체로 이용하기에 적합 것을 알 수 있었다.



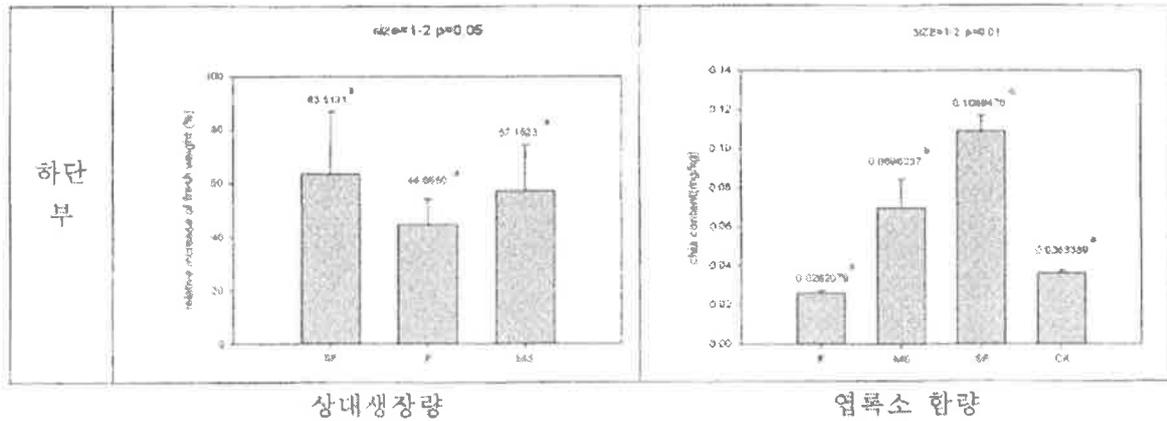
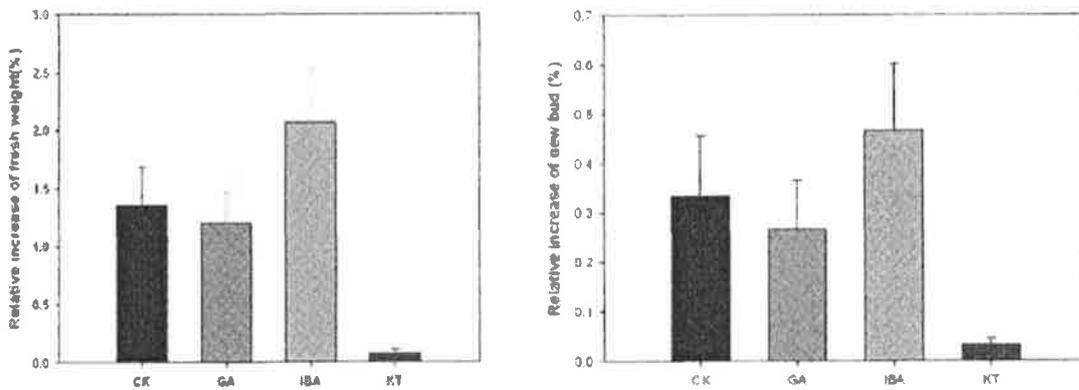


그림 192. 물이끼 부위별 엽편의 인공배양에 따른 상대성장량 및 엽록소 함량

나. 성장촉진 호르몬 및 최적 농도 선별

앞의 실험에서 도출된 번식체 부위와 적정 배양배지를 이용하여 물이끼 번식체의 성장을 촉진시키는 최적 호르몬과 농도를 선별을 실시하였다. 이를 위하여 abscisic acid (IBA), cytokinin (KT), gibberellic acid(GA)의 3종류의 식물호르몬을 선별하여 0.1ppm 농도에서 3주간 배양한 후 상대 성장량증가와 새로 유도된 두부수의 상대증가량을 조사하였다.

호르몬 실험 결과, IBA를 처리한 경우, 상대성장량 증가가 새로 유도된 두부수의 상대적 증가가 가장 높게 조사되어 물이끼 번식체 엽편의 성장 및 새로운 두부 유도가 가장 뚜렷하게 증가한 것을 알 수 있었다 (그림 193).



Fragment of sphagnum treated with hormone for 3 weeks

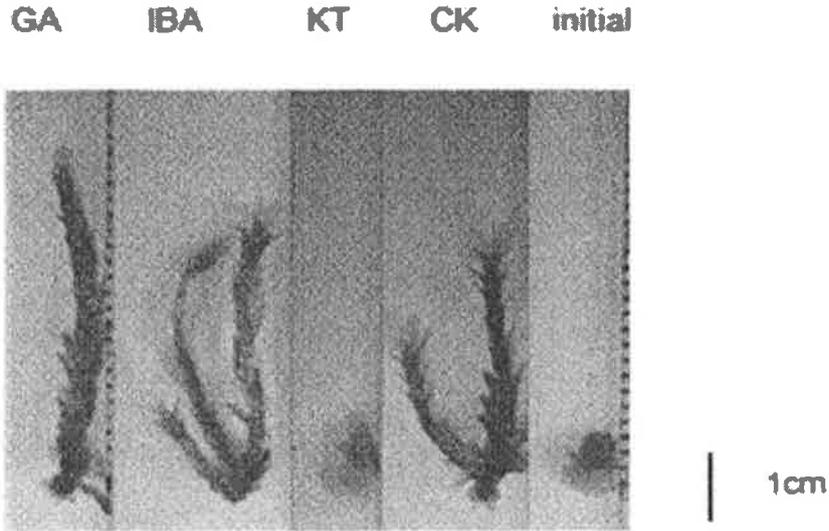
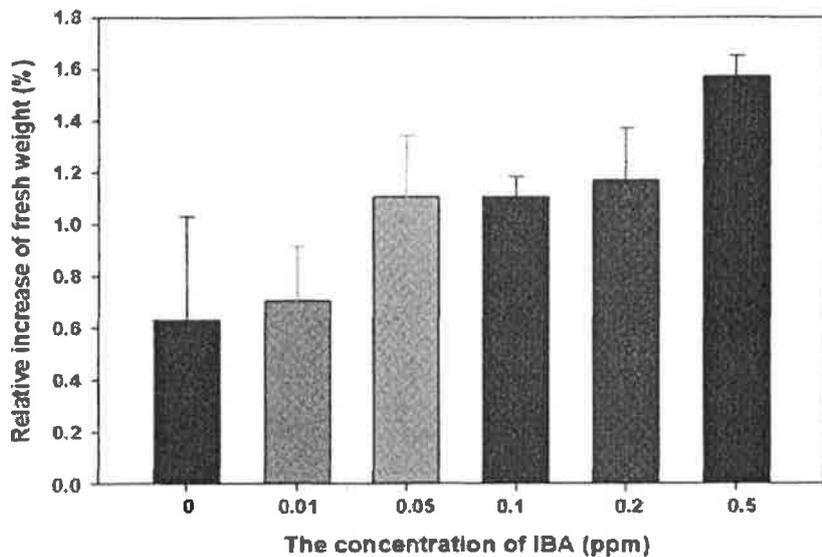
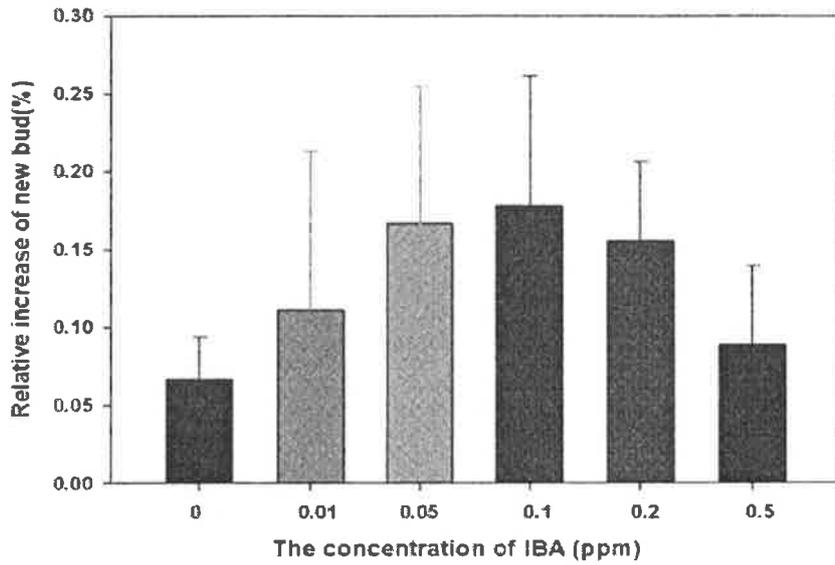


그림 193. 호르몬 처리별 물이끼 엽편의 상대 성장량 증가 및 새로 출현한 엽편 증가율

최적 호르몬으로 선발된 IBA의 농도별 성장촉진 및 새로 유도된 두부수 증가 정도를 살펴본 결과 (그림 193), 상대 성장량 증가는 0.5ppm에서 가장 높게 나타났지만, 새로운 두부 유도는 0.1ppm에서 가장 양호한 것으로 조사되었다. 번식체 개발에 있어서 성장량 증가보다는 새로운 두부 유도가 더욱 중요한 요소가 될 수 있을 것으로 판단되어 최종적으로 IBA 0.1ppm 호르몬 처리를 최적 처리 조건으로 결정하였다.





Culture of sphagnum with different concentration of IBA for 2 weeks

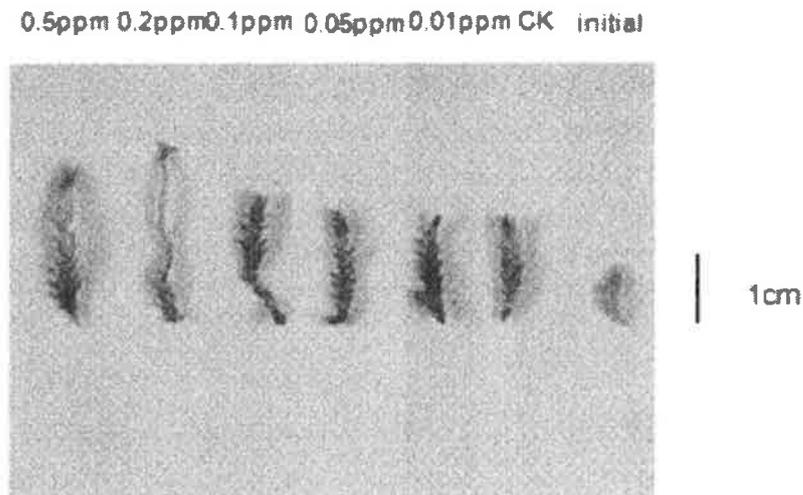


그림 194. 호르몬 IBA 농도별 물이끼 엽편의 상대 성장량 증가 및 새로 출현한 엽편 증가율

물이끼 정단부 조직을 표준배지에서, IBA 0.1ppm 호르몬 처리로 2 - 3주간, 12시간 광주건에서 저면식 공기부양액체배양을 실시할 경우, 다량의 물이끼 영양 번식체 확보가 가능하여 이를 물이끼 영양번식체 대량 제조기술로 개발하였다. 대량제조 기술을 이용하여 20L 대량을 실시하여 확보한 영양번식체를 이용하여 실제 재배를 실시한 경우, 번식체 접종 후 3주 경과 후, 자연 상태에서 볼 수 있는 물이끼의 성장점 두부 조직이 형성되어 자라는 것을 확인할 수 있

었다 (그림 194).



그림 195. 물이끼 엽편을 이용한 번식체 대량생산을 위한 인공배양 모습 및 인공 배양된 번식체 접종 3주 경과 후에 자라난 정상적인 물이끼 두부 모습

다. 연구에서 개발된 물이끼 대량 번식체 제조기술의 우수성

현재 국내에 등록된 일본 특허 기술의 물이끼 제조 및 번식체 확보는 사진에서 볼 수 있는 것처럼 (그림 196), 물이끼 1개체당 1개의 정단부 두부 조직 전체를 이용하는 것이지만, 본 연구를 통해 개발된 기술은 1개체당 1개의 정단부에서 수개 - 수십개의 엽편을 확보하여 각각의 엽편을 번식체로 이용하여 물이끼 개체를 유도하는 것으로 효율 면에서 월등하다고 하겠다. 또한 일본기술의 경우, 정단부를 일일이 재배배지 위에 치상하여 충분한 수분 공급이 이루어지도록 수작업으로 치상하여야 하지만, 본 기술의 경우, 배양한 엽편을 배지 위에 고루 펼쳐 주면 되기 때문에 차후에 물이끼의 농가 보급 및 재배 면에서 효율적이고 경제적이며 매우 편리하다고 하겠다.

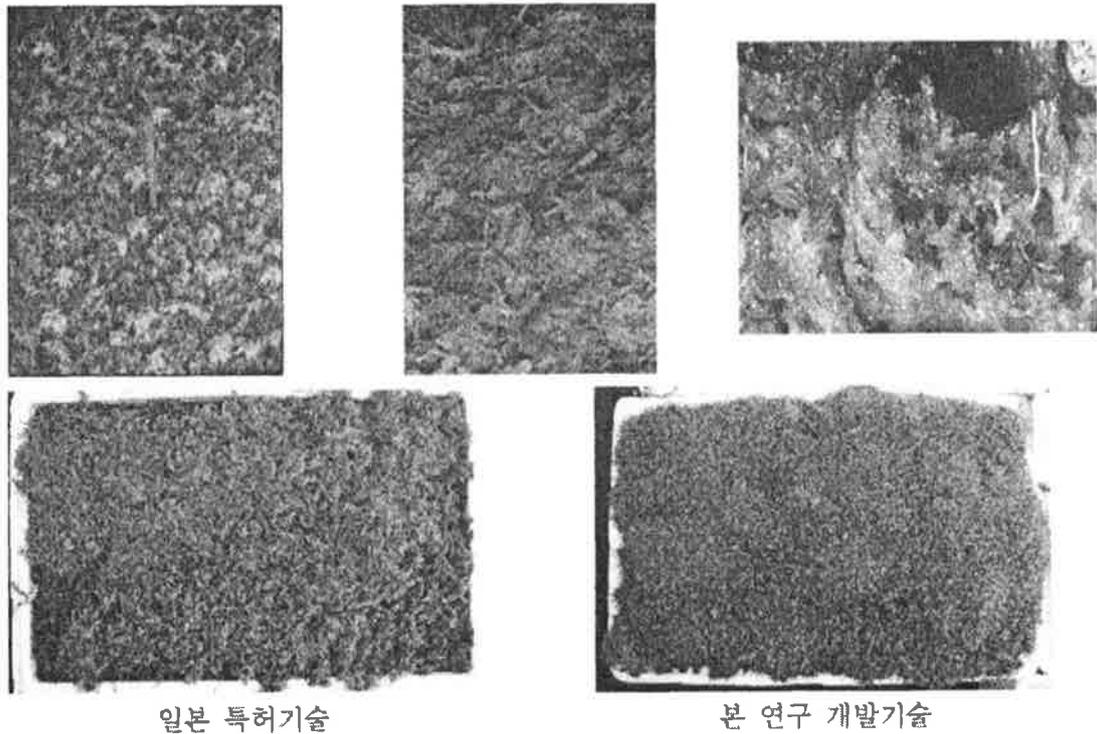


그림 196. 일본특허기술과 본 연구에서 개발한 물이끼 대량번식체의 접종 비교 및 성장 모습

6. 물이끼 대량재배 기술개발

가. 건조 수태 대체 배지 선발

현재까지 국내에서 물이끼를 인공적으로 대량재배를 실시한 경우가 없는 상황에서, 일반적으로 통용되는 물이끼 재배 기술은 일본특허기술을 기반으로 이루어지고 있다. 즉 건조수태를 생장배지로 이용하여 여기에 생장 중인 물이끼의 두부를 따로 떼어 내어 번식체로 이용하여 두부를 건조수태 배지에 정착시켜 재배를 실시하고 있다. 하지만 물이끼 재배를 실시하고자 하는 이유가 물이끼 재배를 통해 물이끼 생체를 다량 확보, 건조하여 전량 수입 중인 건조수태를 대체하고자 하는 것이기 때문에 물이끼 재배를 위해 수확되는 양보다 훨씬 많은 양의 건조수태를 생장 배지로 사용하는 것은 우리의 목적에 맞지 않는다고 하겠다. 따라서 본 연구에서는 일본특허기술을 개량하여 경제성 있는 물이끼 재배기술을 개발하고자 하였다.

이를 위하여 우선, 건조수태가 지니는 특성 (높은 보수력, 통기성, 분해저항성)을 지니면서 반영구적으로 사용할 수 있거나 다량으로 시용할 경우 건조수태보다 경제성이 뛰어난 재배용 배지 재료 선발을 실시하였다.

실험에 사용된 8종류의 배지와 특성은 다음과 같다 (표 51).

표 51 건조수태 대체용 배지 개발을 위해 실험에 사용된 배지의 종류 및 특성

Culture media	Water keeping ability	pH
Thaw dust (뚝밥)	6.54±0.09	4.84
Coconut fiber (코코넛 섬유)	5.15±0.33	4.74
Mash sand (마사토)	0.25±0.080	4.84
Sponge (스펀지)	12.25±3.26	4.58
Yellow sand (황토)	0.50±0.07	4.50
Peat moss (부엽토)	6.58±1.13	4.54
Foam (폴리우레탄폼)	41.58±0.11	4.47
Sphagnum (건조수태)	19.48±1.46	4.97

건조중량대비 최대 수분흡수량[water keeping ability = (보습 후 무게 - 초기건조무게)/초기 건조무게]는 폴리우레탄폼이 41.58배로 가장 높았고 다음으로 건조수태(19.48), 스펀지 (12.25), 뚝밥 (6.54) 순으로 나타났다. 배지의 산도는 건조수태의 경우 pH 4.97로 나타났으며 다른 배지의 경우 pH 4.47 (폴리우레탄폼) - pH 4.84 (뚝밥)으로 비교적 강한 산성을 나타냈다.

아래 그림 8과 같이 높이 15cm container 용기의 2/3의 깊이에 해당하는 저면 9cm를 위의 8가지 배지로 채운 후 상부 6cm는 건조수태를 채우고 일본방식을 이용하여 각 용기에 35개의 물이끼 두부를 지상하여 재배를 실시하였다. 자연환경조건에서 재배를 실시하였고 재배기간 동안 2주 간격으로 자연상태의 빗물과 조성이 유사한 비료 (표 52)를 각 용기당 100 ml씩 표면 살포 시비하였다.

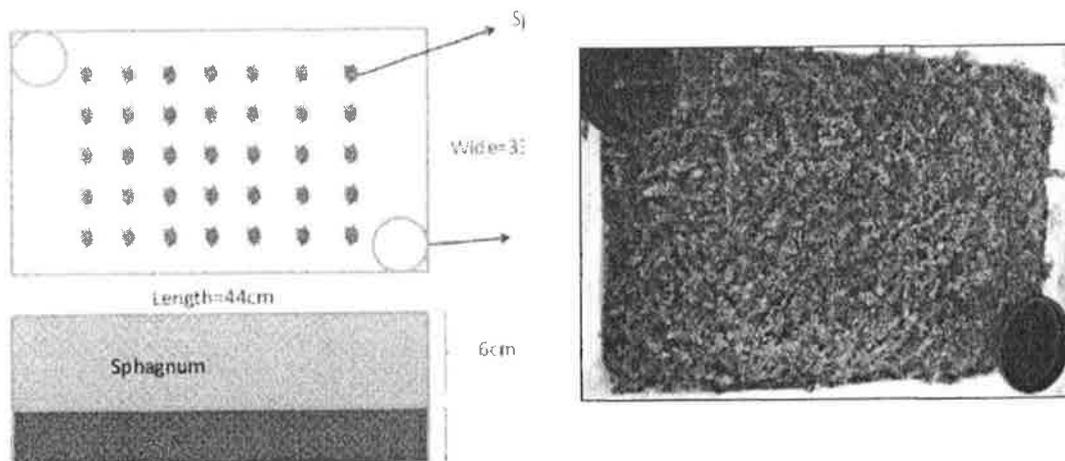


그림 197 건조수태 대체용 배지선발을 위한 배지조성 및 재배 모식도

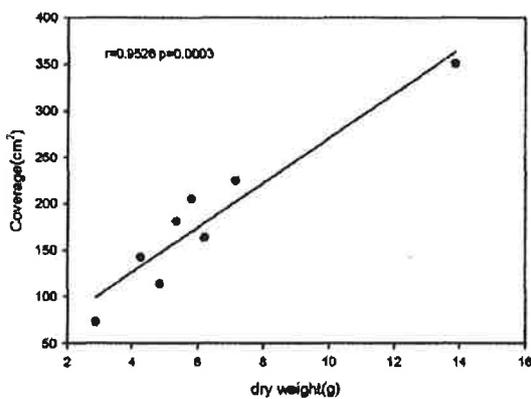
표 52. Fertilizer with a composition similar to that of rainwater (100% fertilizer)

: 물이끼 재배에 사용한 빗물유사 액비조성

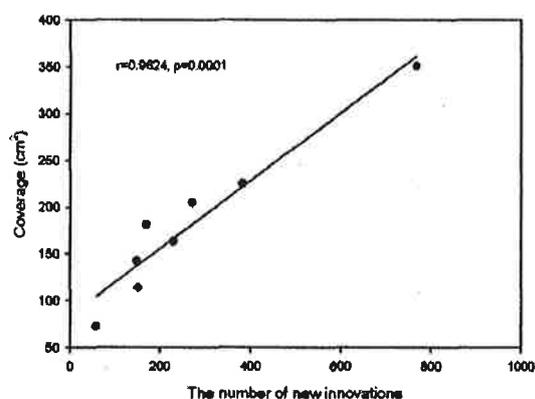
macro elements	Ca	Cl	K	Mg	N	Na	PO4	S	Fe			
mg L ⁻¹	0.42	4.18	0.29	0.35	1.50	2.59	0.018	1.01	0.01			
kg ha ⁻¹ y ⁻¹	3.31	33.26	2.33	2.79	11.9	20.57	0.14	8.06	79.5			
micro elements	Ti	Sn	Li	Mn	B	Zn	Cu	Co	Ni	Al	I	Br
µg L ⁻¹	1.65	0.74	0.23	5.40	5.37	1.11	0.70	0.56	0.62	0.22	1.08	0.94
g ha ⁻¹ y ⁻¹	13.1	5.9	1.8	42.9	42.7	8.9	5.6	4.4	4.9	1.8	8.6	7.5

2008년 5월에 재배를 시작하여 매 1개월 단위로 동일 조건에서 디지털 이미지를 확보하고 확보된 디지털 이미지를 Image-pro. software(Plus Version 6.0, Mmedia Cybernetics, Inc., USA)를 이용하여 물이끼의 표면면적(coverage)을 산출하여 상대생장을 [Relative increase of coverage = (the coverage of sphagnum - the coverage of sphagnum a month before) / the coverage of sphagnum a month before] 조사를 실시하였으며, 6개월 경과 후에 물이끼를 수확하여 성장량 증가 및 새로 유도된 물이끼 두부수를 조사하였다.

6개월 재배후, 물이끼를 수확하여 측정된 물이끼 건조중량(biomass) 및 새로 출현한 두부수와 물이끼의 표면적에 대한 상관관계를 분석한 결과 (그림 198), 물이끼 성장에 따른 물이끼 표면적은 건조중량 ($r=0.9526, p=0.0003$) 및 새로 출현한 두부수($r=0.9624, p=0.0001$)와 매우 유의한 상관성을 보이는 것을 확인하였다. 따라서 매월 산출된 물이끼의 표면적 상대증가율 (relative increase of coverage)은 물이끼의 성장을 나타낼 수 있는 비파괴적 측정치로 이용 가능함을 알 수 있었다.



표면적과 건조중량과의 상관관계



새로 출현한 두부수와 건조중량과의 상관관계

그림 198. 재배 6개월 후 조사된 물이끼의 건조중량 및 새로 출현한 두부수와 상대 표면적 증가율간의 상관관계

따라서 위의 결과를 이용하여 매월 산출된 8가지 서로 다른 배지에서 재배한 물이끼의 표면적 상대증가율은 아래 그림 199과 같다.

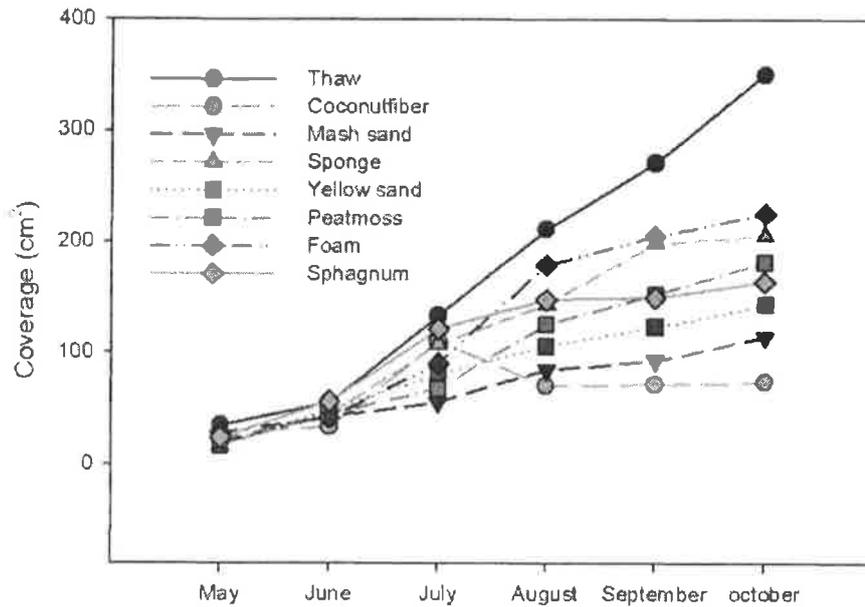


그림 199. 재배 6개월 동안 조사된 배지별 물이끼 표면적 상대증가율

처리 후 3개월 경과 후부터 처리 배지별로 표면적 상대증가율이 차이를 보이기 시작하였으며, 건조수태(sphagnum)에 비하여 톱밥(thaw), 폴리우레탄폼 (foam) 배지에서 물이끼 표면적 상대증가율이 높게 나타났으며, 6개월이 경과한 후에 조사한 경우, 톱밥이 가장 우수한 효과를 나타냈으며, 폴리우레탄 폼과 스펀지 배지가 건조 수태보다 우수하였고, 황토, 마사토 및 코코넛 섬유는 건조수태에 비하여 현저하게 낮은 표면적 증가율을 보였다. 실제로 6개월 경과 후에 수확하여 조사한 건조중량 (biomass) 및 새로 출현한 두부수의 경우 (그림 200)에도 톱밥배지에서 가장 우수한 효과를 보였으며, 전반적으로 폴리우레탄 폼과 스펀지 배지가 건조수태보다 우수한 효과를 나타내었다.

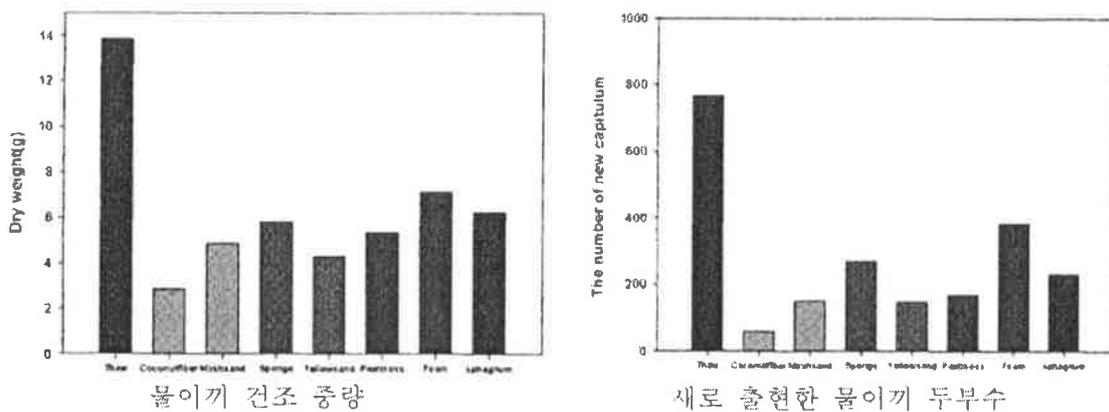


그림 200. 6개월 재배 후 수확한 배지별 물이끼 건조 중량 및 새로 출현한 물이끼 두부수

건조수태에 비하여 성장 촉진 효과를 보인 톱밥, 폴리우레탄 폼 및 스펀지의 수분흡수량은 건조수태과 비교할 경우 (표 53), 폴리우레탄폼 배지만이 물이끼보다 월등히 높은 수분흡수량을 나타내었다. 6개월 경과 후 수확한 물이끼 두부의 영양원 분석을 실시한 결과, 톱밥배지에서 자란 물이끼의 경우 인의 함량이 다른 배지에서 자란 물이끼들에 비하여 월등히 높은 것을 볼 수 있었다. 따라서 톱밥배지에서 물이끼의 월등한 성장촉진은 다른 배지에 비하여 영양원 특히 인의 공급이 가장 중요한 요인으로, 무기 배지인 폴리우레탄 폼의 경우 높은 수분흡수력이 주된 원인인 것으로 판단되었다.

표 53. 제배 6개월 후 수확한 물이끼 두부의 영양원 분석

Chemical nutrient content in innovations of sphagn

Culture media	P	K	Ca	Mg	New
Thaw	0.1862	0.0899	0.0367	0.0111	
Coconut fiber	0.0847	0.8800	0.2916	0.0709	58
Mash sand	0.0657	0.3432	0.3673	0.0962	151
Sponge	0.0250	0.3070	0.2178	0.0347	270
Yellow sand	0.0425	0.0951	0.0509	0.0282	148
Peat moss	0.0462	0.2847	0.1262	0.0220	169

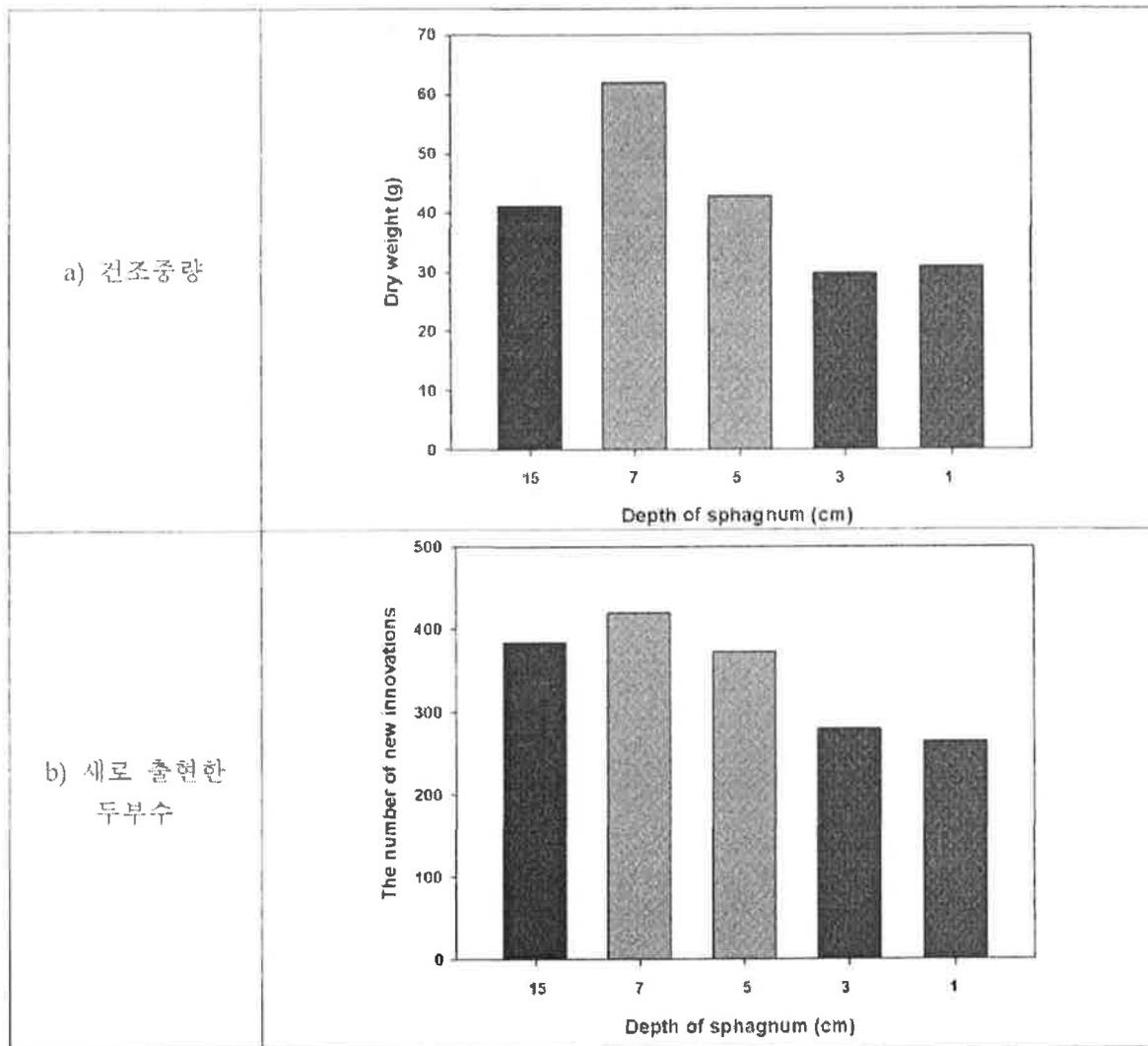
나. 건조 수태 대체 배지 최적 사용량 도출

앞에서 건조 수태 대체용 배지로 이용 가능한 배지 중에서 건조 수태와 동일하거나 우수한 성장효과를 보인 톱밥과 폴리우레탄폼 중에서 반영구적 사용 가능성 및 가격 및 배지 확보 용이성 등을 고려하여 폴리우레탄 폼 선발하여 제배할 경우에도 전체 깊이의 1/3에 해당하는 6cm 두께의 건조수태 사용량은 여전히 많은 양에 해당하여 경제적으로 많은 비용이 소요된다. 따라서, 저면의 폴리우레탄 폼 인공배지 위에 사용 가능한 건조 수태의 최적 비율을 도출하기 위하여 폴리우레탄 폼과 건조수태의 사용비율을 다음과 같이 조정하여 제배 실험을 실시하였다.

- 1) 저면 폴리우레탄폼 : 상부건조수태 = 0 : 15 cm, 대조구
- 2) 저면 폴리우레탄폼 : 상부건조수태 = 8 : 7 cm,
- 3) 저면 폴리우레탄폼 : 상부건조수태 = 10 : 5 cm,
- 4) 저면 폴리우레탄폼 : 상부건조수태 = 12 : 3 cm,
- 5) 저면 폴리우레탄폼 : 상부건조수태 = 14 : 1 cm

위의 비율로 제작된 배지 위에 앞의 실험과 동일한 방법으로 물이끼를 치상 접종시키고, 1년 동안 재배한 후 조사한 건조중량, 새로 출현한 두부수 및 물이끼 표면적 상대증가율은 다음 (그림 201)과 같다.

건조수태만을 사용하여 재배한 경우(건조수태깊이 15cm), 1년 동안 표면적은 약 6배 이상 증가하였으며, 건조중량은 약 43g, 새로 출현한 두부수는 약 380개 정도인 것으로 조사되었다. 이에 비하여 건조수태깊이 7cm (저면 폴리우레탄폼 : 상부건조수태 = 8 : 7 cm)의 경우, 표면적은 약 7.8배 이상 증가하였으며, 건조중량은 약 64g, 새로 출현한 두부수는 약 420개 정도인 것으로 조사되어 물이끼 생장에 훨씬 유리한 것으로 나타났다. 하지만 건조수태깊이가 감소할수록, 성장촉진 효과가 감소하였으며, 건조수태량이 전체 배지의 1/3 이하일 경우, 오히려 물이끼 생장이 억제되는 것으로 조사되었다. 따라서 폴리우레탄 폼과 건조수태를 동시에 이용하여 재배할 경우 적정 비율은 전체 배지의 30 - 50% 정도를 건조수태로 사용할 경우, 건조수태를 100% 사용할 경우보다 물이끼 생장이 촉진되고 비용적인 면에서도 저렴한 것을 알 수 있었다 (그림 202).



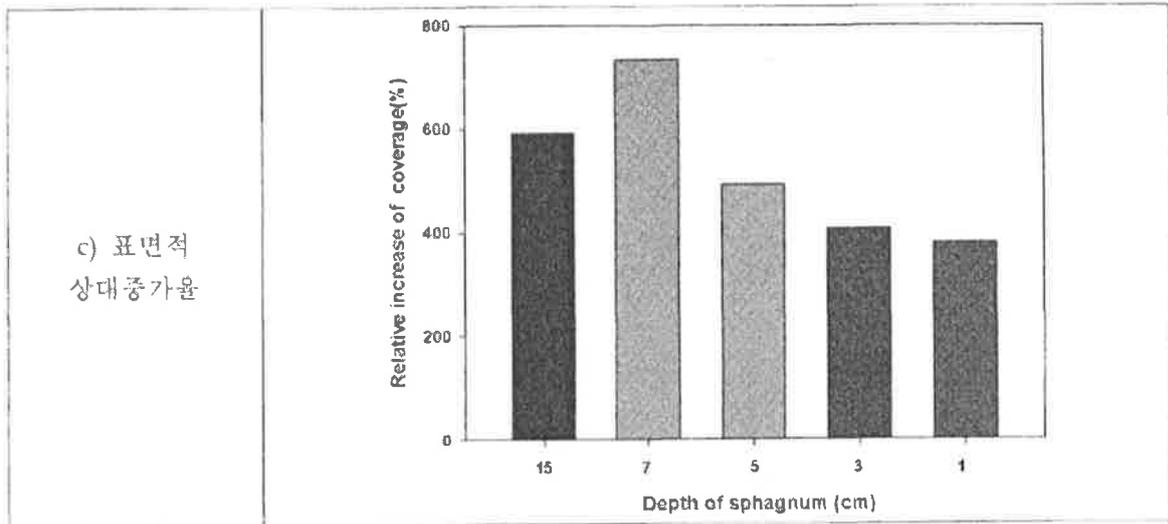


그림 201. 건조수태 사용량별 재배 1년경과 후 물이끼의 건조중량, 새로 출현한 두부수 및 상대 표면적 증가율

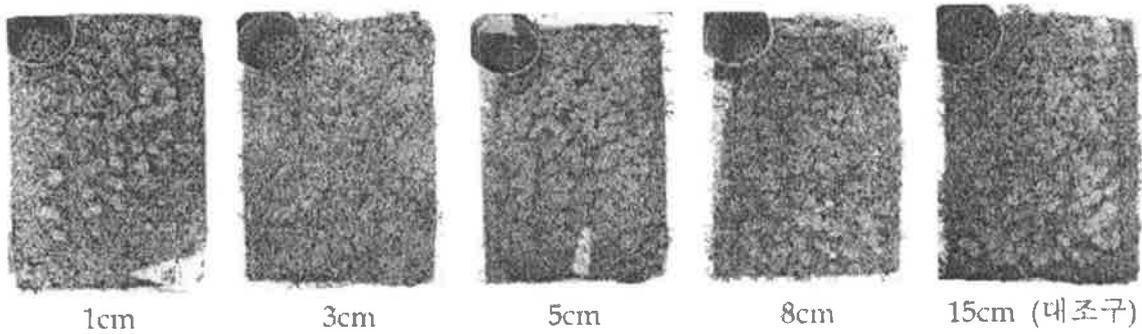


그림 202. 폴리우레탄 폼과 건조수태의 사용비율에 따른 물이끼 성장비교

본 연구를 통해, 물이끼 재배 기술 농가 보급 및 생산을 위해 기존의 일본특허기술과 전혀 다른 독자적인 번식체 및 경제적 체배기술을 개발을 완료하였으며, 특히 출원을 완료하였다. 독자 개발한 물이끼 재배 기술을 요약하면 다음과 같다.

물이끼 정단부(두부) 전체가 아닌 엽편을 이용하여 물이끼 배양 표준배지에 IBA 0.1ppm을 첨가하여 저면식 공기부양 방식으로 2 - 3주간 배양하여 번식체를 확보한 다음, 이를 밀폐형 용기의 저면부에 50 - 70%의 퉁밥이나 폴리우레탄폼을 채우고 상부에 30 - 50%의 건조수태를 채워 성장배지를 조성한 후 번식체를 배지 표면에 살포하여 접종한 후 자연생육환경조건에서 적당한 액비를 2주 간격으로 표면 살포 시비하여 재배하는 방식이다.

다. 물이끼 대량재배를 위한 실증 실험

3년차에서는 앞서 도출된 물이끼 재배기술을 적용하여 3가지 측면에서 현장 실증 실험을 실시하였다.

○ 2차년도에 건조수태 대체배지로 가장 우수한 것으로 나타난 톱밥(thaw)과 거의 반영구적으로 사용할 수 있는 스폰지(sponge)를 이용하여 적정 사용량에 대한 조사를 실시.

○ 건조수태 대체용 톱밥배지를 이용하여 2차년도에 독자 개발한 물이끼 영양번식체 방법과 일본 특허방법과 비교

○ 물이끼 재배를 위한 적정 시비를 개발을 위한 최적 비료 선발 및 시비 주기 규명

(1) 건조수태 대체용 톱밥 배지의 실증 실험

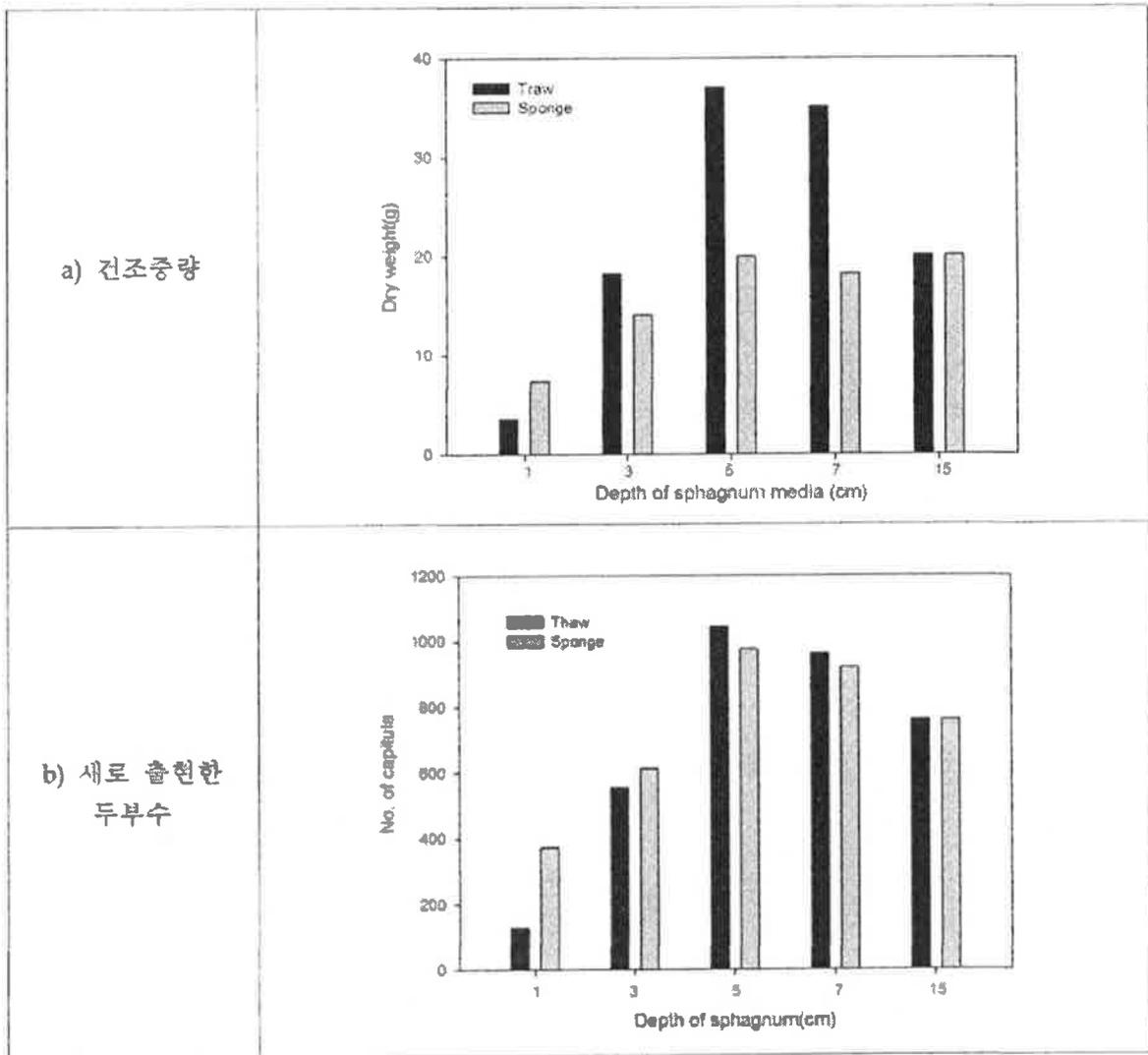
2차년도에 실시한 폴리우레탄 적용 배지 실험과 동일하게 톱밥배지에 대한 조사를 실시하였으며, 비용적 측면에서 거의 반영구적으로 사용할 수 있는 스폰지 배지 효과를 비교하여 실시하였다. 앞에서 건조 수태 대체용 배지로 이용 가능한 배지 중에서 건조 수태와 동일하거나 우수한 성장효과를 보인 톱밥과 폴리우레탄폼 중에서 반영구적 사용 가능성 및 가격 및 배지 확보 용이성 등을 고려하여 대체배지를 이용하여 재배할 경우에도 전체 깊이의 1/3에 해당하는 6cm 두께의 건조수태 사용량은 여전히 많은 양에 해당하여 경제적으로 많은 비용이 소요된다. 따라서, 저면의 톱밥 및 스폰지 인공배지 위에 사용 가능한 건조 수태의 최적 비율을 도출하기 위하여 폴리우레탄 폼과 건조수태의 사용비율을 다음과 같이 조정하여 재배 실험을 실시하였다.

- 대체배지 : 상부건조수태 = 0 : 15 cm, 대조구
- 대체배지 : 상부건조수태 = 8 : 7 cm,
- 대체배지 : 상부건조수태 = 10 : 5 cm,
- 대체배지 : 상부건조수태 = 12 : 3 cm,
- 대체배지 : 상부건조수태 = 14 : 1 cm

위의 비율로 제작된 배지 위에 앞의 실험과 동일한 방법으로 물이끼를 치상 접종시키고, 1년 동안 재배한 후 조사한 건조중량, 새로 출현한 두부수 및 물이끼 표면적 상대증가율은 다음 그림 203와 같다.

건조수태만을 사용하여 재배한 경우(건조수태깊이 15cm)에 비하여 전반적으로 스폰지보다는 톱밥이 건조 측면에서 훨씬 효과적인 것으로 나타났으며, 톱밥의 사용비율이 전체 배지량의 53% (상부수태배지 두께 5cm) - 66% (상부수태배지 두께 8cm)에서 물이끼 생장이 가장 좋은 것으로 나타났다. 톱밥배지 비율이 53 - 66 % 범위에서 건조수태만을 사용한 경우에 비하여 건조중량은 1.8 - 1.9배 높았으며, 새로 출현한 두부수는 1.15 - 1.36배 높게 나타났다. 하지만 표면

적 증가율은 톱밥배지 53%에서 가장 양호한 것으로 조사되었다. 하지만 건조수태깊이가 감소할수록, 성장촉진 효과가 감소하였으며, 건조수태량이 전체 배지의 1/3 이하일 경우, 오히려 물이끼 생장이 억제되는 것은 2차년도와 동일하게 조사되었다. 3차년 실증 실험을 통해 2차년에 선발한 톱밥이 건조수태 대체배지로 가장 적합한 것으로 다시 확인되었으며, 톱밥배지 사용량도 53-66%가 가장 적합한 것으로 조사되었다. 따라서 톱밥과 건조수태를 동시에 이용하여 재배할 경우 건조수태 사용량의 50 - 70%를 대체할 수 있으며, 이러한 대체배지가 물이끼 성장 측면에서 훨씬 효과적이며 경제적인 것으로 판명되었다. (그림 204).



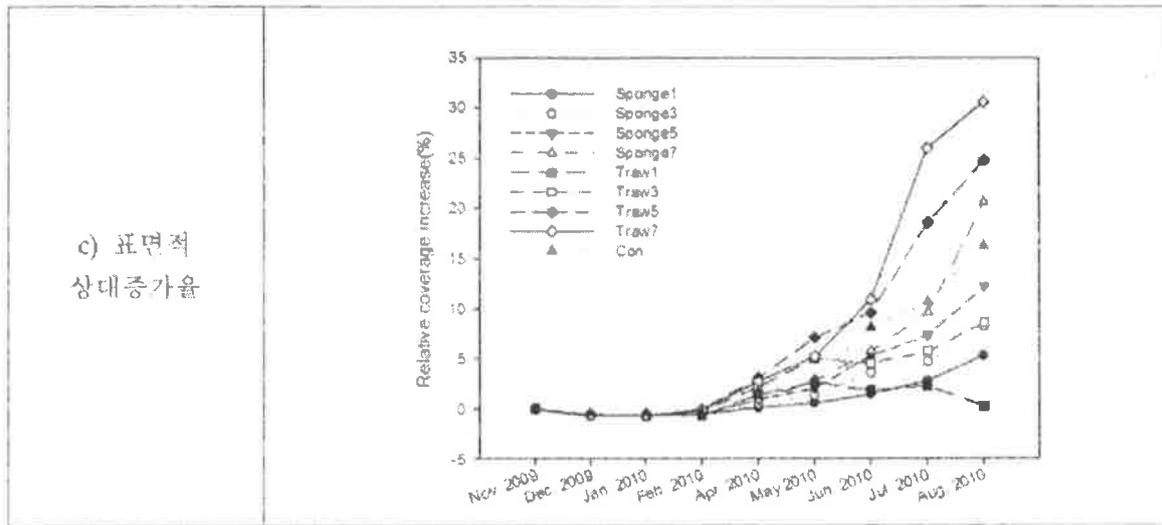
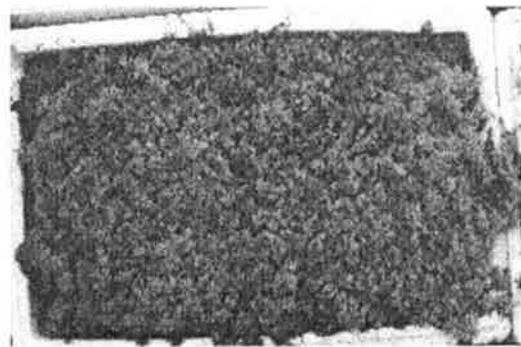


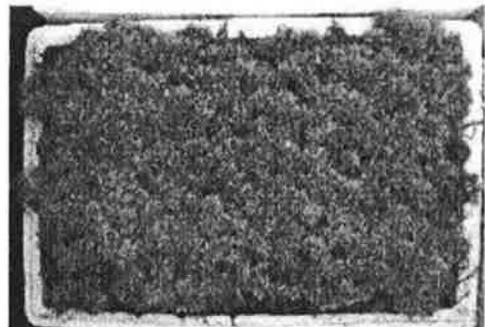
그림 203. 건조수태 사용량별 재배 1년경과 후 물이끼의 건조중량, 새로 출현한 두부수 및 상대 표면적 증가율



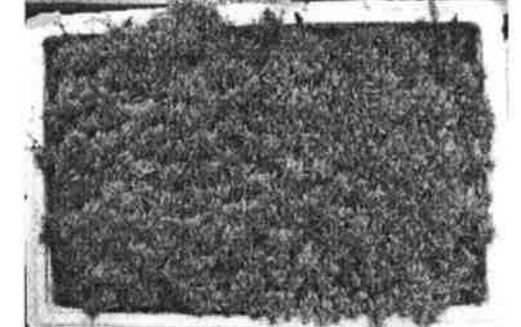
Thaw (sphagnum depth=1cm)



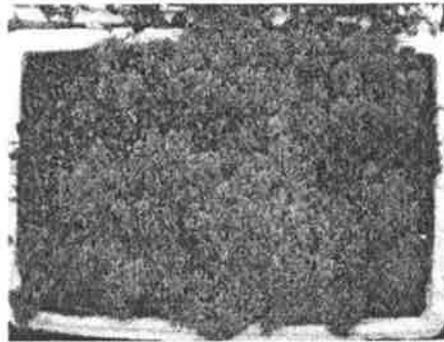
Thaw (sphagnum depth=3cm)



Thaw (sphagnum depth=5cm)



Thaw (sphagnum depth=7cm)



Control (sphagnum depth=15cm)

그림 204. 톱밥과 건조수태의 사용비율에 따른 물이끼 성장비교

(2) 독자 개발 영양번식방법 실증 실험

2차년도에 독자적으로 개발한 영양번식체 제조 방법의 효율성을 알아보기 위하여 일본 특허 방법과 성장비교 실험을 실시하였다. 이를 위하여 앞에서 규명한 톱밥과 건조수태 혼합배지 (톱밥 비율 70%)와 100% 건조수태 배지에 적용하여 실시하였다. 일본 방법에 적용한 동일한 수의 물이끼 두부로부터 다량의 열편을 확보하여 기내 배양한 열편 접종원을 위에서 언급한 성장 배지에 접종하여 9개월 동안 재배를 실시하였다.

새로운 번식체로 두부 전체를 이용하는 일본접종방법(full capitula)에 비하여 두부로부터 다량을 열편(fragment)을 확보하여 접종원으로 이용하는 독자 개발방법은 건조수태 100% 성장배지 (full sphagnum medium)와 톱밥과 건조수태 혼합배지 (mixed medium) 모두에서 월동하게 물이끼 성장에 효과적인 것을 알 수 있었다 (그림 205). 배지에 상관없이 일본 방법에 비하여 독자 개발방법을 적용할 경우, 건조 중량은 약 1.7배 이상 증가하였으며 새로 성장한 두부 수는 약 4.5배 많은 것으로 조사되었다. 하지만 표면적 상대 증가율은 차이가 없는 것으로 조사되었다. 성장배지에 따른 건조중량과 두부수, 표면적 상대 증가율은 접종방법 간에 차이가 거의 없었지만, 톱밥 대체배지에서 약간 높게 나타났다. 실제 9개월 재배 후에 조사된 성장 모습에서도 볼 수 있듯이, 두부 열편을 접종원으로 이용하여 재배할 경우 보다 균일하고 건전한 물이끼 개체들을 확보할 수 있어 물이끼 대량재배를 위한 기반 기술이 확보되었다고 할 수 있겠다.

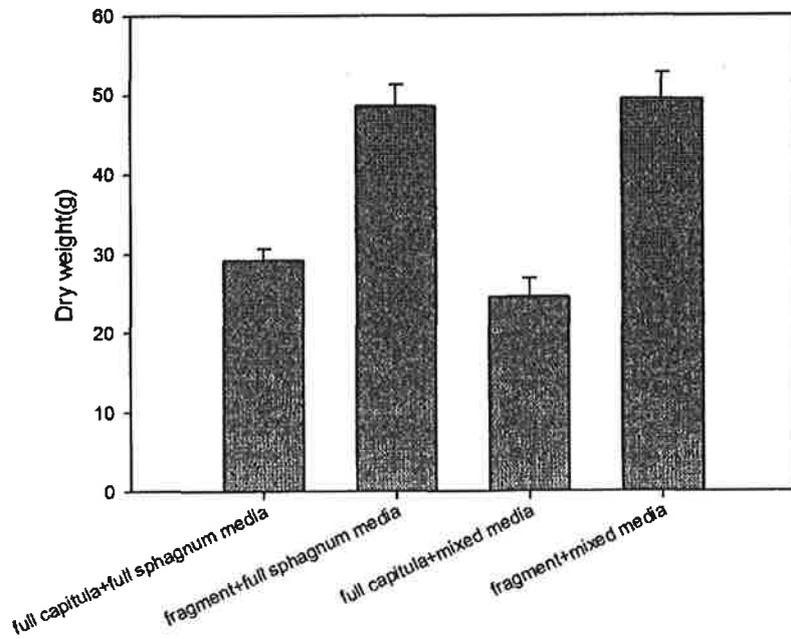
(3) 물이끼 재배를 위한 적정 시비 실증 실험

물이끼 성장 촉진을 위한 적정 시비법 규명을 위하여 9개월 동안 두 가지 종류의 비교 (시판용 식물액비 와 물이끼 재배용 표준 용액)에 대해 3일, 5일, 7일 간격으로 시비하여 성장 정도 비교를 실시하였다. 실험에 사용된 시판용 식물액비는 두배나 (중앙프라자, N:30%, P:10%, K2O 10%, B: 0.05%, Mn0.1%)를 사용하였으며, 물이끼 표준 용액으로는 Rudolph and Voigt (1986), (in Methods in bryology)를 사용하였다. 1회 시비량은 500ml/m²을 사용하였다.

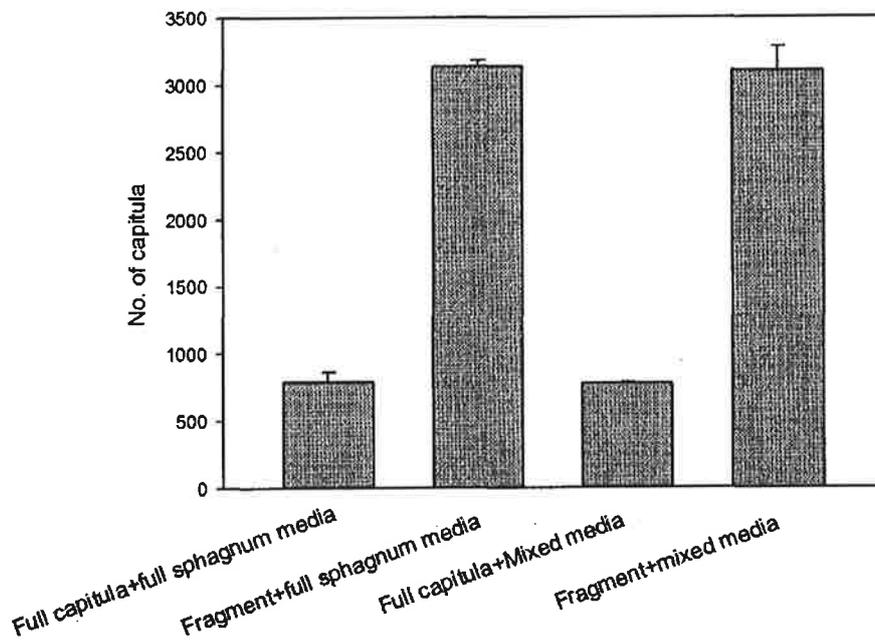
건조중량, 두부수, 표면적 증가율 모두 전반적으로 시판용 식물액비를 이용한 경우 물이끼

생장이 가장 효과적이었으며, 5일 간격으로 시비하는 것이 가장 생장에 유리한 것으로 나타났다 (그림 206). 표준용액의 경우 대조구 (중류수 처리)에 비하여 건조중량 증가효과가 어느 정도 있었지만 새로 성장한 두부 수에는 거의 차이가 없었다. 질소 과다는 물이끼의 성장을 억제하는 것으로 조사되었다.

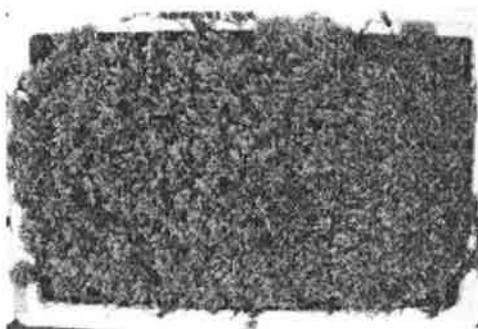
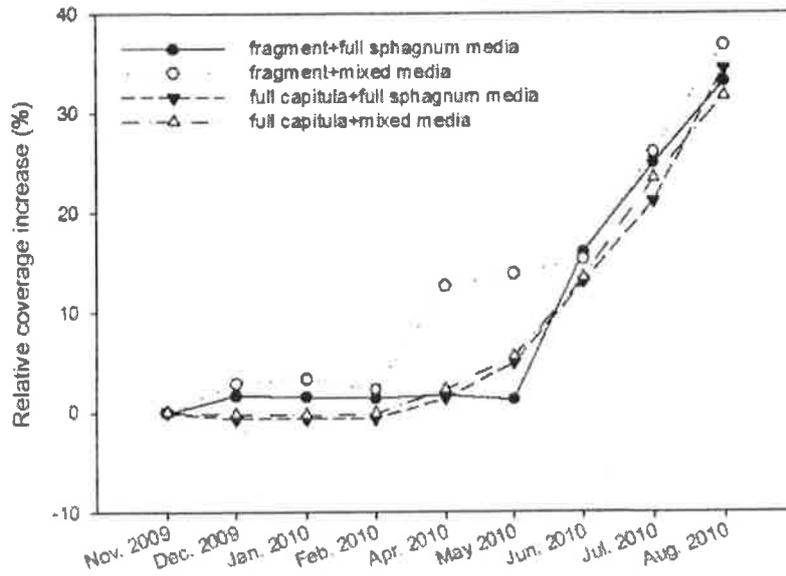
(가) 건조중량



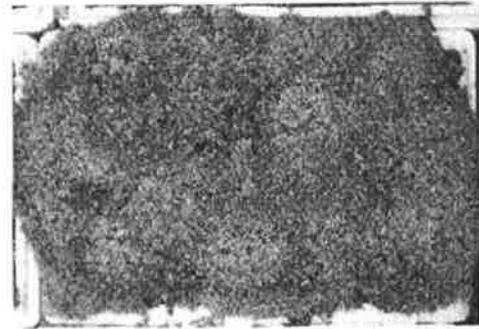
(나) 새로 출현한 두부 수



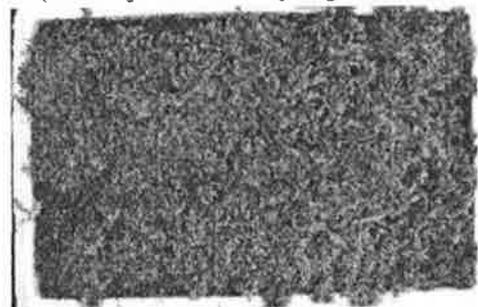
(다) 표면적 상대 증가율



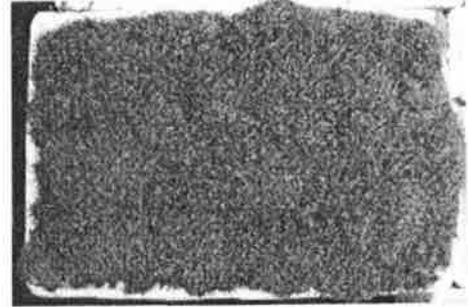
일본방법
(full capitula+full sphagnum media)



Fragment + full sphagnum media



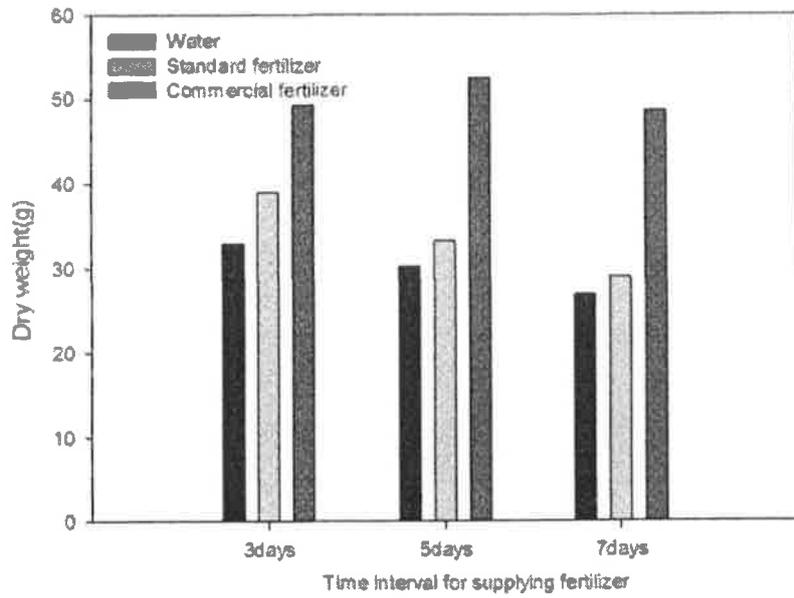
Full capitula + mixed media



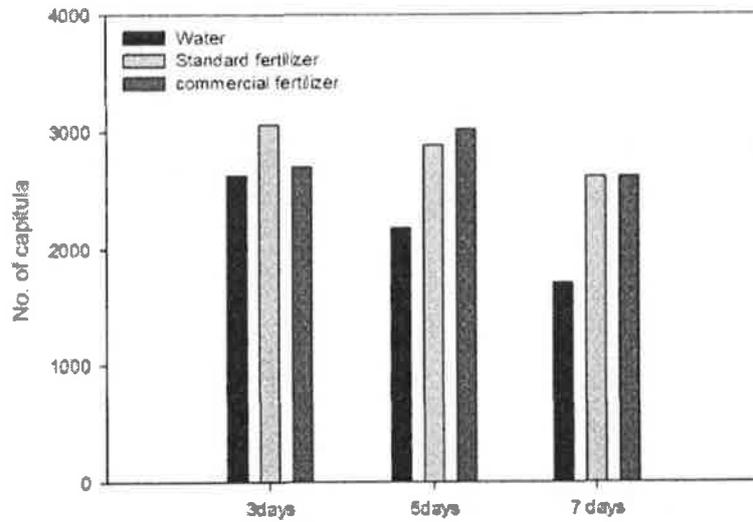
독자 개발 방법(Fragment + mixed media)

그림 205. 독자개발 번식 및 대체배지 방법과 일본재배방법과의 비교

(라) 건조 중량



(마) 새로 출현한 두부 수



(바) 표면적 상대 증가율

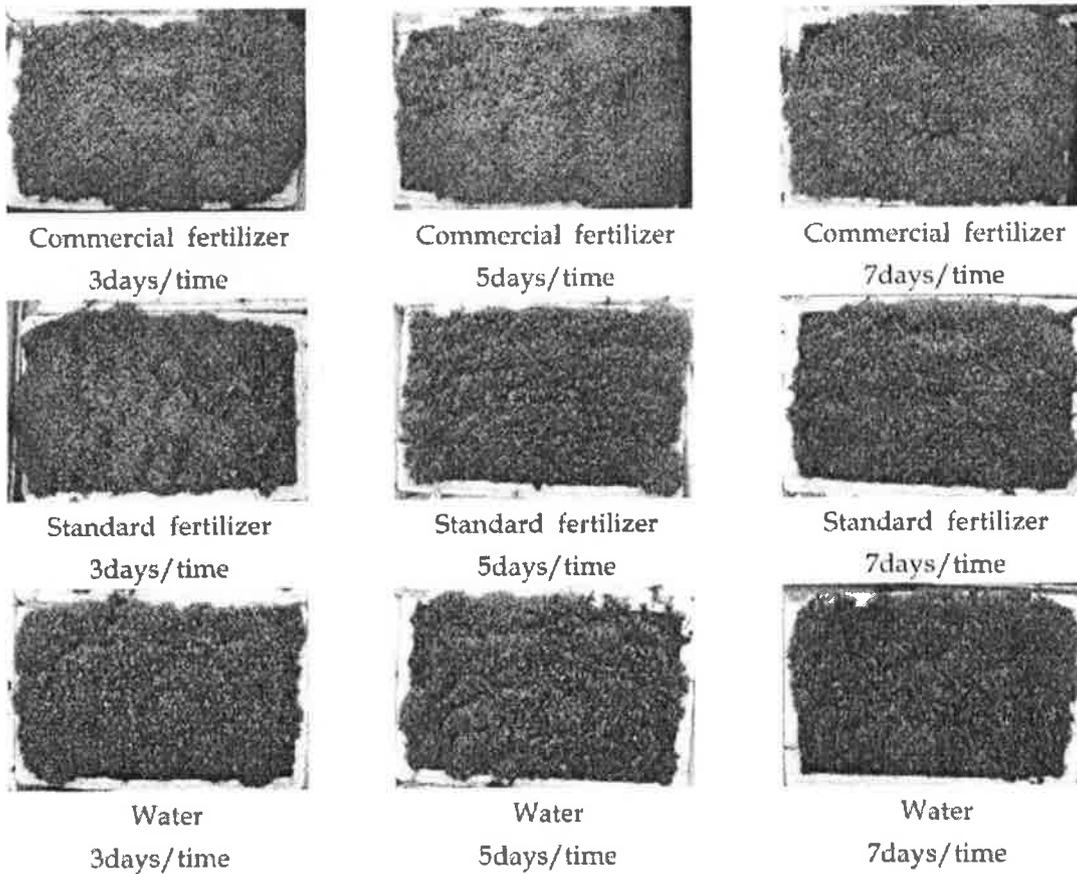
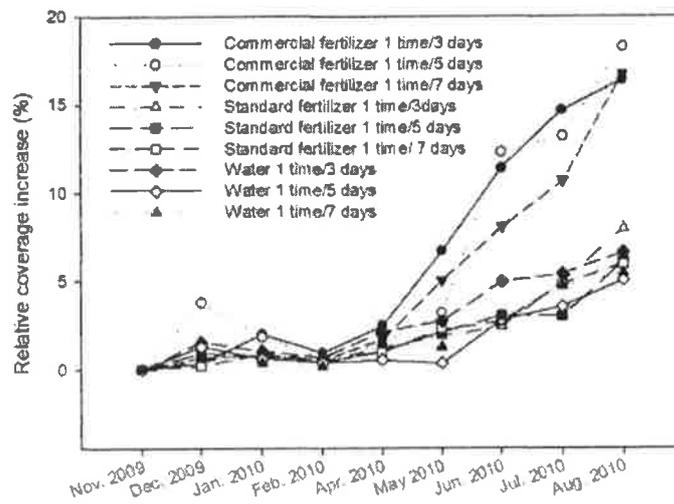


그림 206. 비료와 시비시기에 따른 물이끼 성장 비교

라. 물이끼 재배를 위한 현장 적용 실험

앞 서 도출한 물이끼 재배 기술에 대한 현장 적용 실험을 위해 광양 옥곡면에 위치한 서울대학교 추산 남부연습림에 인공 습지를 조성하여 2010년 8월에 물이끼를 도입하여 적응시킨 후 물이끼 재배를 현재 실시 중에 있으며 2011년 하절기에 물이끼 생장 조사를 통하여 개발한 기술의 현장적용 실험을 완료한 계획이다.



그림 207. 자연상태 물이끼 대량재배 기술개발을 위한 현장적용 실험 모습

7. 건생 이끼류 매트 seedling 제조 기술 개발

건생 이끼류의 매트 제조 기술은 잔디판매와 같은 개념으로 대량 재배한 건생 이끼의 수확, 유통 및 판매의 편의성 도모를 위하여 반드시 필요한 기술이라고 하겠다. 건생 이끼류인 솔이끼류와 깃털이끼류를 대상으로 앞서 개발한 엽체절편법을 이용한 영양번식체를 확보하여 건생 이끼류 매트 제조를 실시하였다. 사용된 매트틀 일반 원예용 부직포를 이용하였으며, 초기 이끼 성장 촉진을 위하여 마사토와 미트모스를 1:1로 혼합한 인공토양을 부직포 위에 얇게 깔고 안정화 시킨 다음, 엽체절편법으로 확보된 영양번식체를 300 - 500 개체/m² 농도 비율로 접종하여 그늘진 자연 상태에서 재배를 실시하였다. 오전 9:00와 오후 2:00에 10분 동안 미스트식 자동분사 장치를 이용하여 관수를 실시하였다.

현재까지 이끼 생장이 정상적으로 진행되고 있으며, 최소 6개월 이상 (하절기) 재배할 경우, 판매가 가능한 건생 이끼 매트 seedling 제조가 가능한 것으로 조사되었다.



그림 208. 건생이끼류 매트 seedling 제조를 위한 재배 모습 (1년 6개월 이상 재배한 모습)

제 3 절 산업화 유망 이끼류의 수경재배 및 노지재배 연중생산 기술 개발

1. 수경재배 시스템을 이용한 생산기술

가. 식물공장형 재배시스템을 이용한 재배방법 구명

(1) 이끼 생육 특성

(가) 자생지에서의 이끼 생육

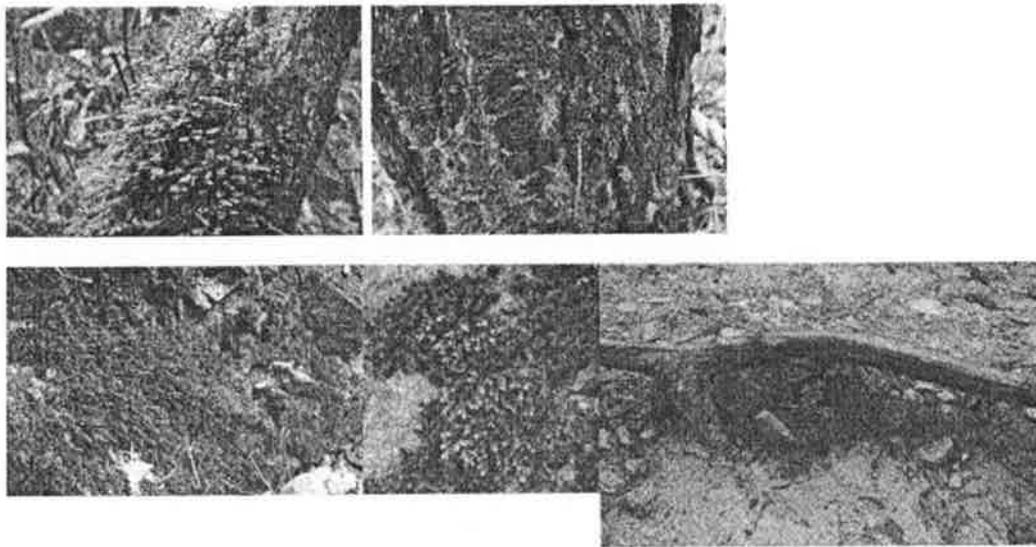


그림 209. 자생지의 이끼

이끼의 증식방법 개발을 위하여 자생상태의 이끼생육 환경을 이해하고 주변환경을 관찰하여 재배용토 및 관수방법 등의 시험방법을 찾고자 자생이끼 채취하게 되었으며 2007년 12월에 4차례의 채취로 15계통의 이끼를 수집하였다. 수집 장소는 무등산과 전남 나주시 산포면 전남농업기술원 주변의 산 등에서 채취하였다.

자생상태의 이끼는 경사면 흩에 착생한 종류와 배수가 잘되는 마사토 위에 착생한 것도 있었고 흩이 없는 바위에 착생하여 자라는 이끼도 있었으며 나무의 주간부에 착생된 이끼도 볼 수 있었으며 이끼의 흔적이 생겨가는 초기의 모습도 볼 수 있었다.

비가림하우스에서 관리되던 계통에서 또 한 가지의 다른 특징을 발견할 수 있었는데 계통을 분리하여 관리하였음에도 계절이 진행됨에 따라 식생이 달라지는 것을 볼 수 있었으며 일부 계통에서는 4월 중순을 지나면서 갈변하거나 생육이 정지되는 것들을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 자생지의 이끼가 어떤 한 종류만으로 구성되지 않고 몇 종이 같이 어울려 생육하고 있음을 추측하게 하였다.

(나) 향온·항습실내에서의 이끼 생육특성

채집된 이끼는 비가림 하우스에 증묘용 모판을 이용하여 계통별로 분리하고 1일 2~3회 두 상관수하여 관리하고 이들의 생육을 관찰하였으며 3.5×3.5cm씩 절단하여 25℃, 55% 정도로 유지되는 향온, 항습 육묘용 배양실에 옮겨서 생육 할 수 있도록 하였는데 이때 광도는 삼파장 형 광램프로 밝기가 5,000Lux, 14시간 일장으로 유지 되었다.

이끼에 수분이 지속적으로 유지되도록 모판 바닥에 두께 5mm 정도의 칼라보온덮개를 깔고 그 위에 방근시트를 깔아서 수분이 유지 될 수 있도록 하였다. 대부분의 이끼는 방근시트 위에서 수평으로 성장점이 뻗어나면서 가지를 내듯이 자랐으며 최초 3.5×3.5cm 절단 시 다소 두 겹께 자라던 것에서는 중앙부가 초기의 모습과 같으나 다소 갈변하고 성장점이 뻗어나가듯이 성장하지는 않는 모습이였다.

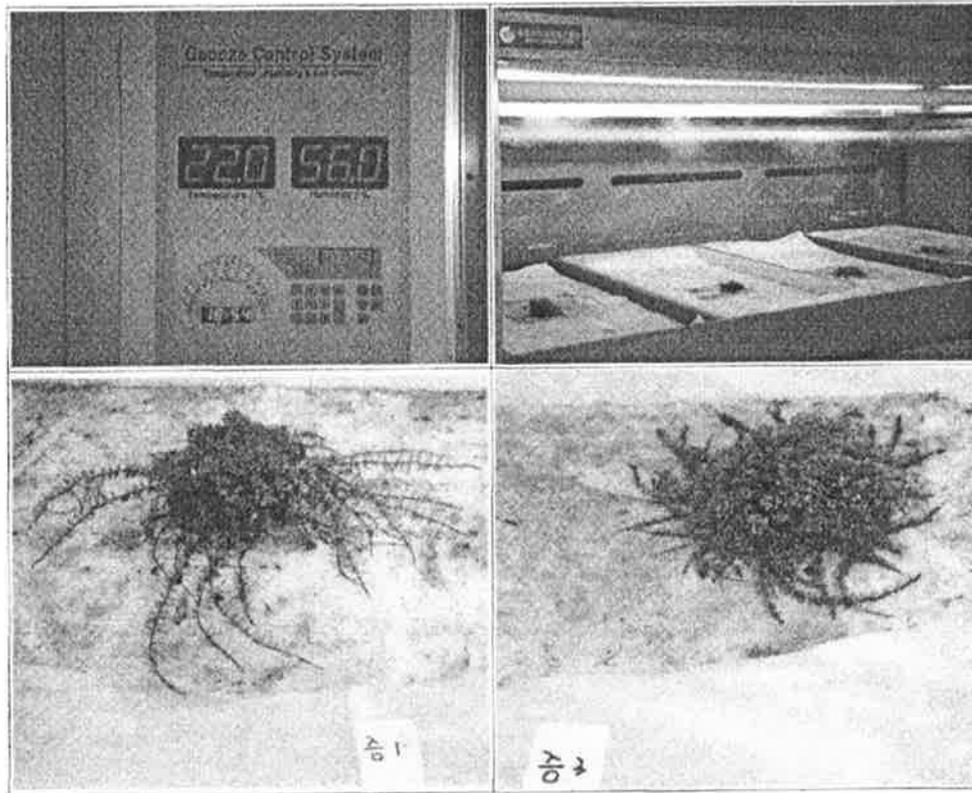


그림 210. 채취 이끼의 육묘배양실내 생육

방근시트 바닥에서 수평으로 자라는 이끼의 신초부위는 방근시트 위에 뿌리와 같은 모양으로 검은색의 부착기가 있었다. 이와 같이 향온, 항습실내에서의 생육으로 볼 때 이끼의 대부분은 증식을 위하여 적당한 밀도로 이끼가 필요하고 영양분과 물의 흡수를 용이하게 하기 위하여 바닥과의 밀착이 필요해 보였다. 따라서 본 연구에서도 이러한 특성을 잘 이용하여 보다 잘 번식이 되는 조건을 구명할 수 있을 것으로 판단되었다.

(다) 식물공장형 재배시스템을 이용한 적정배지 구멍



그림 211. 적정 배지 구멍을 위한 용토별 입식

자생지에서 수집된 이끼는 계통이 다양하고 한 가지 계통으로 분리되지 않아서 균일한 특성을 가진 동일한 시료를 이용하여 시험 하고자 주관연구기관 (주)일송환경복원으로 부터 털깃털이끼와 서리이끼를 분양 받아 증묘용 모판(30×60cm)에 하얀색 방근시트를 깔고 그 위에 4가지(피트모스, 바크, 코코넛파이버, 백수태) 원예용토를 각각 1cm 두께로 피복한 후 모판 당 서리이끼는 50g, 털깃털이끼는 25g을 식재하였다. 이렇게 식재된 이끼를 $22 \pm 2^\circ\text{C}$, $55 \pm 5\%$ 의 온도와 습도조건에서 삼파장 형광램프 광도 5,000Lux 아래에 치상하고 1일 1회 정도 두상 살수한 후 생장을 관찰하였다. 각각의 원예용토에서의 이끼 생육은 3개월이 지난 후 좋은 배지를 구분하기 쉽게 확연히 차이를 보였다. 각각의 성장상태를 보았을 때 그림에서와 같이 피트모스를 이용 했을 때 가장 양호한 생육을 보였으며 다음으로 바크를 이용한 처리에서 생육이 좋았다.

① 털깃털이끼

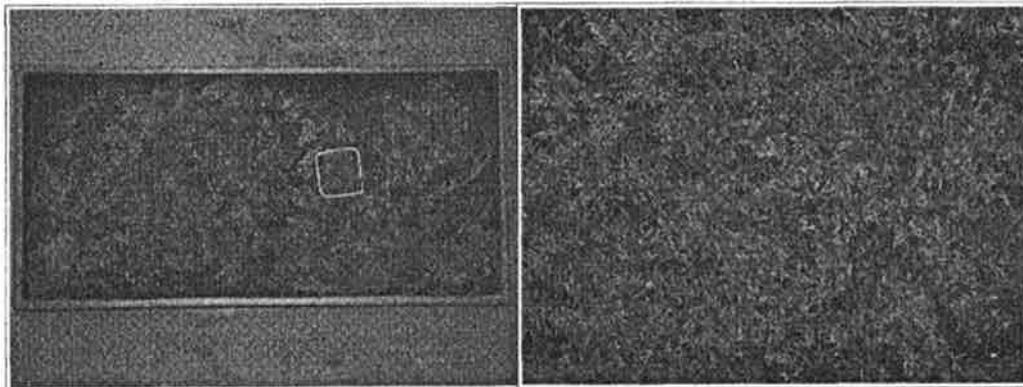


그림 212. 털깃털이끼의 피트모스에서의 생육(최적)

털깃털이끼 및 서리이끼 모두 피트모스를 이용한 배지에서는 이끼의 색상이 녹색을 보이며 생육이 양호하였다. 특히 털깃털이끼에서 생육이 아주 좋은 편이었으며 바크 배지에서도 생육은 좋았으나 피트모스보다는 양호하지 않았다. 이러한 현상은 바크가 굵고 부식이 안 된 상태로 딱딱하여 보습력이 피트모스에 비하여 낮은 것으로 판단되었다. 따라서 바크배지는 물리성을 개선한다면 피트모스와 같이 이끼의 생육에 좋은 배지가 될 수 있을 것으로 판단 되었다.

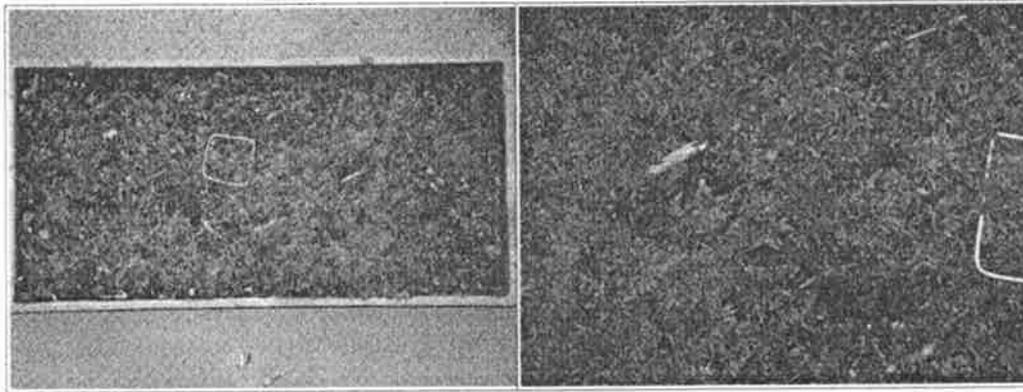


그림 213. 털깃털이끼의 바크에서의 생육(양호)

피트모스나 바크에 비하여 코코넛배지나 백수태에서는 좋은 결과를 얻지 못하였는데 이는 코코넛배지의 화학성에 원인이 있을 것으로 판단되어 피트모스를 포함한 4가지의 배지에 대한 화학성을 사설 분석회사에 분석을 의뢰하여 분석을 한 결과는 표 7, 표 8과 같았다.

사용된 각각의 용토는 대부분 pH 3.8이하였으며 전기전도도(EC)는 0.2dS/m 이하였으나 코코피트는 pH 5.0, EC 0.8 dS/m 로 다른 용토와 차이가 있었다. 특히 다량원소의 K함량이 91 mg/ℓ로 상당히 높게 나타났다. 미량원소 분석 결과에서는 코코피트에서 Fe함량이 다른 용토에 비하여 높게 나타났으며 Na 및 Cl의 함량도 높게 나타났다. 이와 같은 분석결과로 볼 때 코코피트에서의 피복물이 낮았던 원인이 염류가 다른 용토에 비하여 높은 것으로 판단되었고 특히 K의 함량이 높는데 원인이 있을 것으로 판단되었다. 따라서 분석결과를 토대로 화학성을 개선하고 개선된 화학성에서 좋은 결과가 얻어진다면 피트모스, 코코넛 배지 등의 물리·화학성을 토대로 국내에서 생산이 가능한 배지로 대체할 수 있는 소재를 개발할 수 있을 것이며 다른 한편으로는 재활용이 가능한 보온덮개나 우레탄스폰지 등을 이용하여 수정재배가 가능한 방법을 찾을 수 있을 것으로 기대되었다.

표 54. 사용용토의 다량원소 성분

용 토	pH	EC (dS/m)	다 량 원 소(mg/ℓ)						
			NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg	SO ₄ -S
백 수 태	3.8	0.2	6	<0.2	2	19	2	<0.01	7
피트모스	3.0	0.1	6	2	<0.4	<0.01	<0.01	<0.01	10
코코피트	5.0	0.8	4	<0.01	19	91	2	<0.01	4
바 크	3.8	0.2	6	<0.01	1	12	<0.01	<0.01	<0.01

표 55. 사용용토의 미량원소 성분

용 토	미 량 원 소(mg/l)								
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	HCO ₃	Na	Cl
백 수 태	0.11	0.03	0.01	<0.01	0.04	<0.01	21	12	19
피트모스	0.05	0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	7	11
코코피트	1.76	0.02	0.02	0.01	0.11	<0.01	29	33	90
바 크	0.28	0.02	0.01	<0.01	0.08	<0.01	<0.01	5	11

백수태의 용토에서도 피트모스배지에서와 같은 피복률을 보이지 못하였는데 용토로 사용된 백수태의 피복된 양이 작고 습도가 잘 유지된 배양실에서의 과습에 의한 생육 장애인 것으로 여겨졌다.

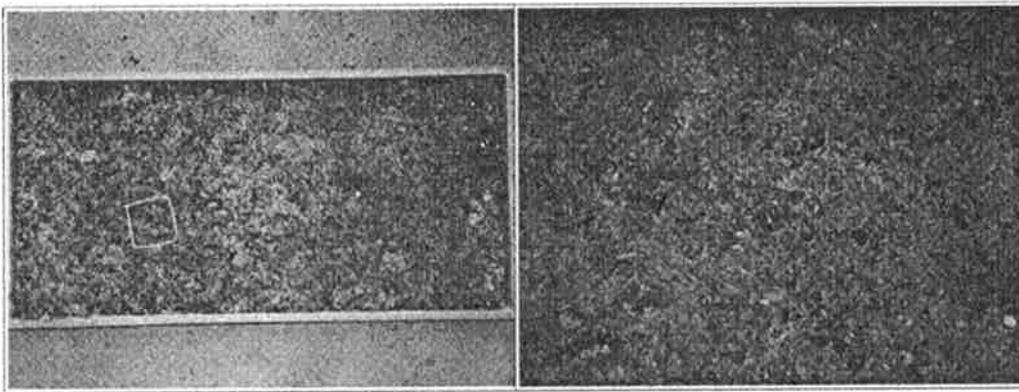


그림 214. 털깃털이끼의 백수태에서의 생육(보통)

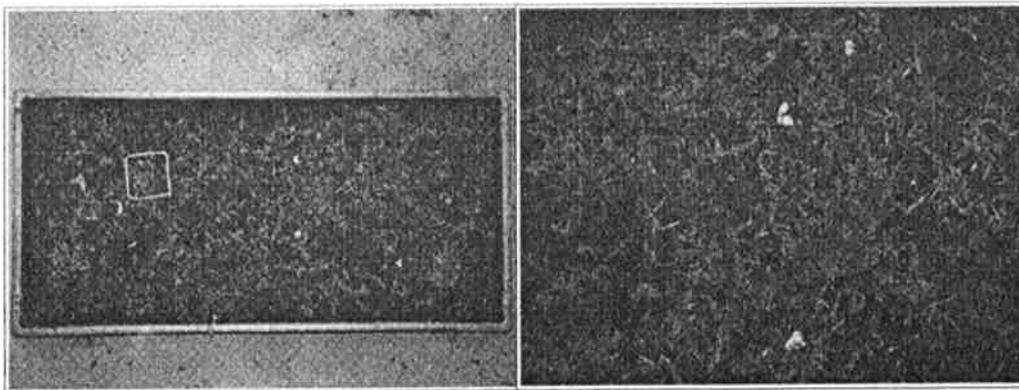


그림 215. 털깃털이끼의 코코피트 배지에서의 생육(불량)

② 서리이끼

서리이끼는 털깃털이끼와 다르게 초기생육이 수평으로 전개되기보다는 수직으로 전개되는 형태로 지면에 접촉되는 면적이 수평으로 전개되면서 성장하는 털깃털이끼에 비하여 불리해 보였다. 이러한 원인이 서리이끼의 생육에 미치는 영향이 있을 것으로 판단되기는 하였으나 광량 및 광질에 대한 두 이끼간의 특성을 비교하여야 정확한 판단을 할 수 있을 것으로 사료되었다. 따라서 자연광에서의 차광에 따른 광량을 다르게 처리한 후 두 이끼의 생육특성을 구명할 필요가 있었다. 특히 서리이끼는 코코넛베지나 백수테에서는 생육이 정지하고 초기입식시의 줄기가 갈변 고사하였다.

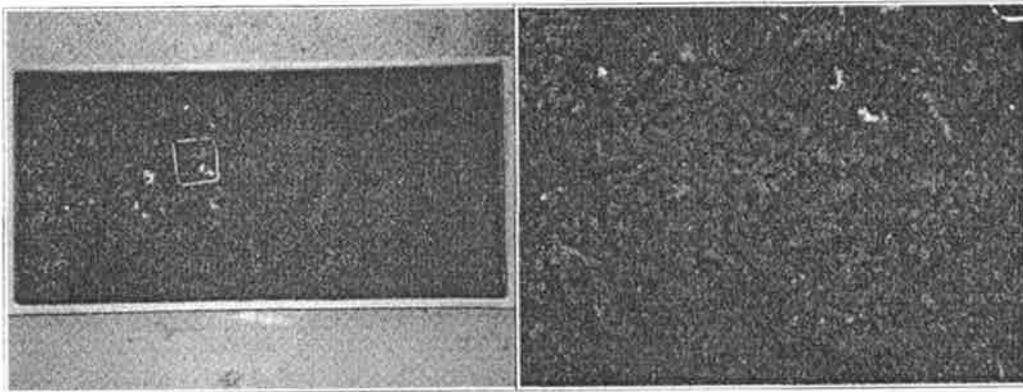


그림 216. 서리이끼의 피트모스배지에서의 생육(보통)

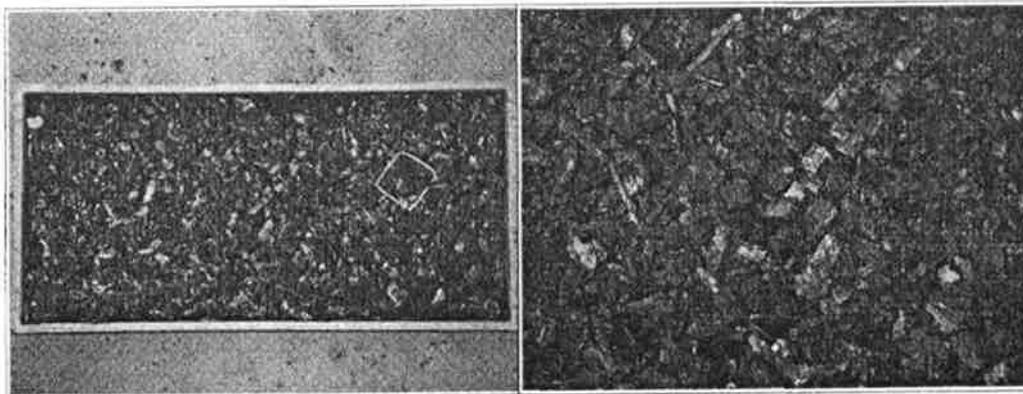


그림 217. 서리이끼의 바크배지에서의 생육(보통)

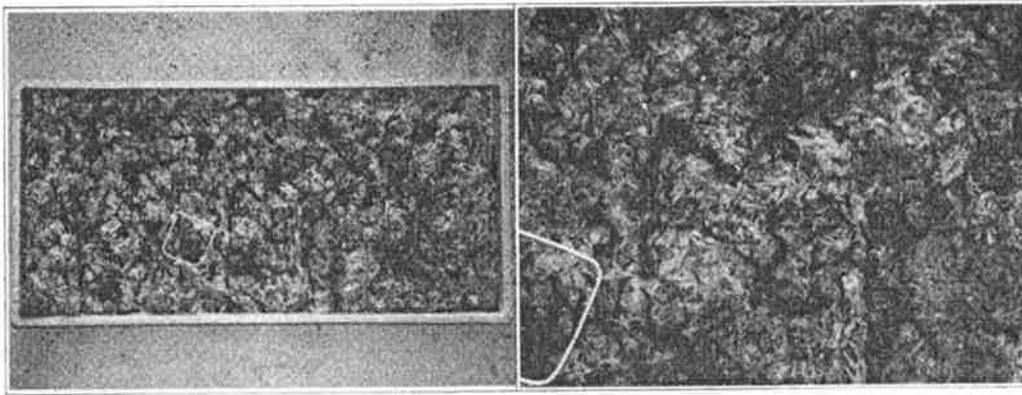


그림 218. 서리이끼의 백수태 배지에서의 생육(불량)

(2) 노지재배용 이끼 종묘 생산 방법

(가) 하우스를 이용한 초기 입식용토 구멍

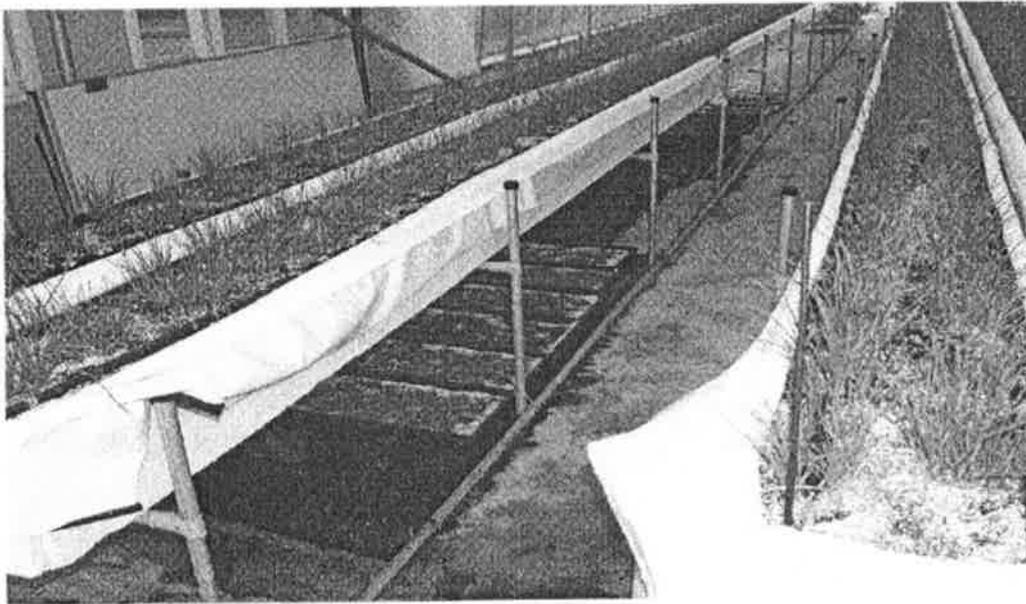


그림 219. 수경배드 하단을 이용한 초기 입식용토별 시험

이끼의 생육에는 적당한 습도와 광량을 비교적 저계 요구 할 것으로 판단되어 플라스틱하우스내에서 직사광선이 적게 비추는 수경재배 배드 밑을 이용하여 향온·향습실에서와 같은 원예용토 3가지(피트모스, 바크, 백수태)와 원예용토를 사용하지 않고 흡습용 보온덮개와 방근시트만을 이용하여 털깃털이끼와 서리이끼를 2008년 5월 13일에 이끼를 입식하여 재배한 결과 그림 220~223과 같은 생육을 보였다.

직사광선이 제한적으로 조사되는 수경재배용 배드 하단에 오전 6시30분부터 10시30분까지 직사광선이 부분적으로 조사되고 그 이후에는 산광형태로 빛이 비추지는 조건으로 직사광선은 모판의 2/3까지 도달하고 뒤쪽으로는 직사광선이 도달하지 않았다.

이곳에서도 육묘배양실에서와 같은 결과가 얻어졌으나 백수태 및 바크에서도 상당히 양호한 생육을 보였다. 특이한 것은 직사광선이 조사되는 곳은 생육이 양호하고 뒤쪽은 생육이 불량하거나 고사하는 형태를 보였으며 털깃털이끼는 서리이끼보다 이곳에서도 생육이 양호하였다. 이러한 결과로 볼 때 털깃털이끼가 서리이끼보다 낮은 광량에서도 생육을 잘하는 것으로 판단되지만 고온기임을 감안할 때 온도 및 광도에 따른 생육특성에 대한 별도의 시험을 추가하여 검토할 필요가 있다고 판단되었다.

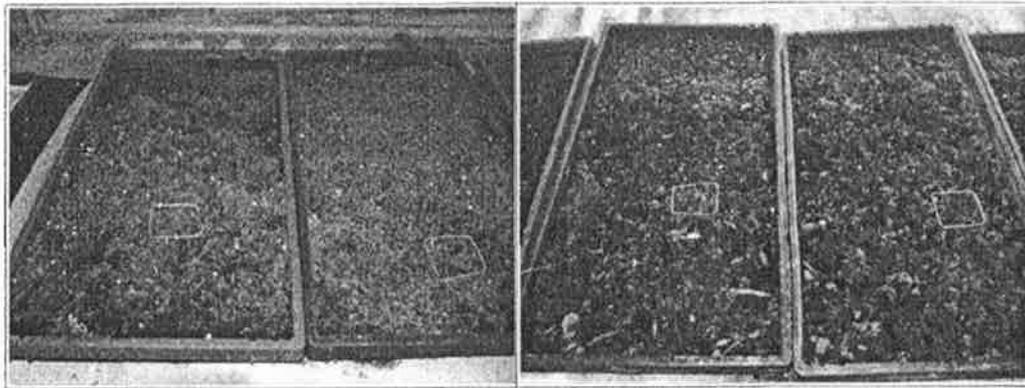


그림 220. 수정재배 배드 밑 산광조사 조건에서의 털깃털이끼 생육
(좌 : 피트모스 배지, 우 : 바크 배지)

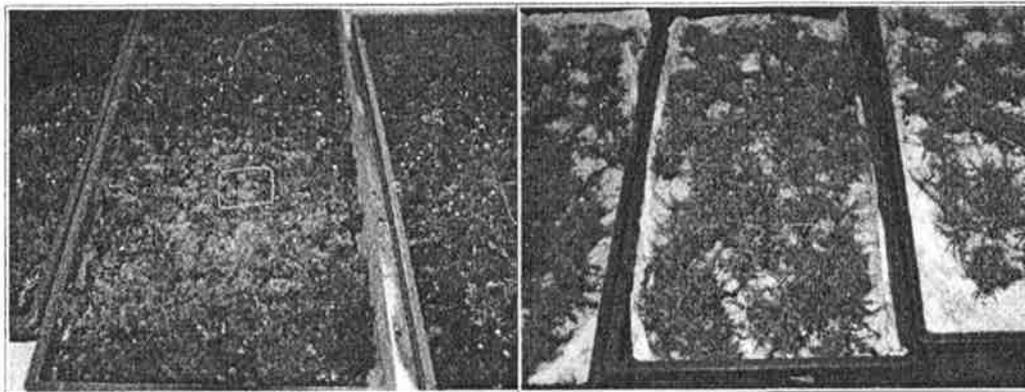


그림 221. 수정재배 배드 밑 산광조사 조건에서의 털깃털이끼 생육
(좌 : 백수태 배지, 우 : 무배지)

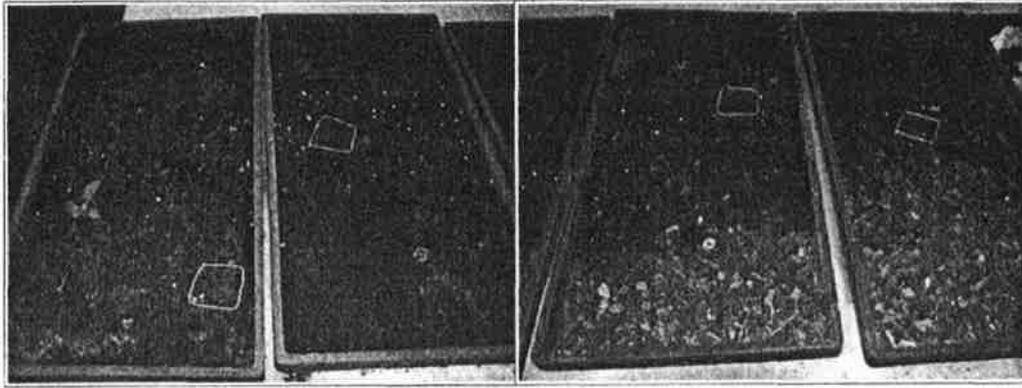


그림 222. 수경재배 배드 밑 산광조사 조건에서의 서리이끼 생육
(좌 : 피트모스 배지, 우 : 바크 배지)

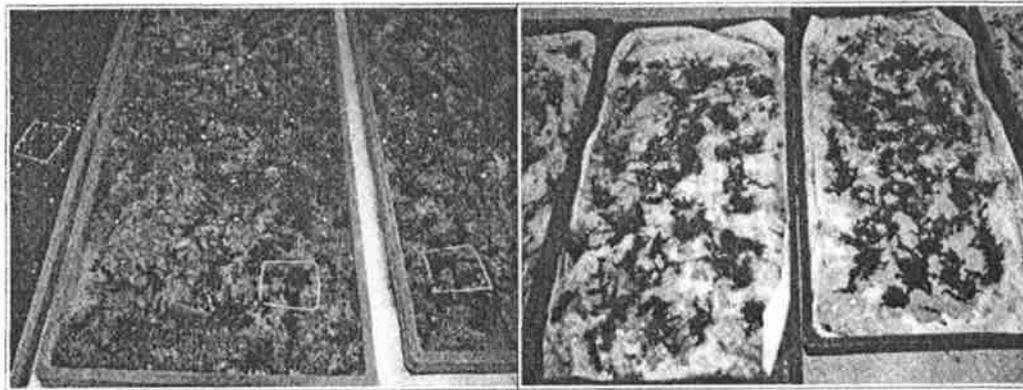


그림 223. 수경재배 배드 밑 산광조사 조건에서의 서리이끼 생육
(좌 : 백수태 배지, 우 : 무배지)

표 56. 배지종류에 따른 털기털 이끼의 생육

(입식 : 5월 13일, 조사 : 10월 16일)

처 리	신초길이 (mm)	신초폭 (mm)	신초수 (개/25cm ²)	피복률 (%)
피트모스	22	8.7	39.0	83a ²
코코피트	18	8.2	9.0	32c
바 크	19	7.4	22.3	68b
백 수 태	23	10.4	20.0	44c

²Duncan's multiple range test at 5% level.

이상에서와 같이 항온·항습실내에서의 생육과 하우스에서의 생육을 비교해 볼 때 털기털이 끼는 광량이 적은 배드 하단 에서도 비교적 잘 자라고 습도유지가 가장 중요한 요인인 것으로

판단되었으며 털깃털이끼는 지면에 부착되는 형태로 자라게 되므로 용토와의 밀착이 잘되어야 할 것으로 판단되었다. 서리이끼의 경우는 일반식물이 흙에 뿌리는 내리듯이 수직으로 자란 후 증식되는 형태를 보이는 이끼로 용토속에 묻히는 부분이 갈색을 띠거나 고사되는 형태를 보이는 것을 볼 때 용토의 배수 및 수분함량이 중요한 요인이 될것으로 판단되었다.

(나) 하우스를 이용한 이끼 증식시 관수방법 구명

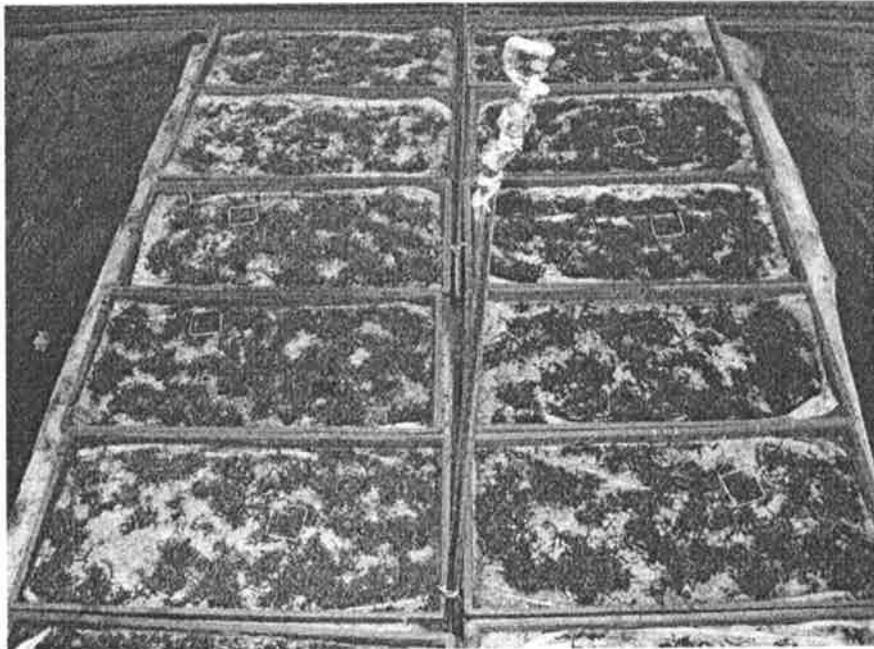


그림 224. 털깃털이끼(좌)와 서리이끼(우)의 관수시험(흡습천과 방근시트 이용한 입식)

일반농가에서 이끼를 노지에서 재배하기 위해서는 재배면적이 크고 조방적인 재배관리가 가능한 방법을 개발할 필요가 있으며 이끼 생산에 소요되는 입식용토의 비용을 줄일 수 있는 무토양 재배가 가능한지 보기 위하여 입식용토를 사용하지 않고 재활용이 가능한 보온덮개 및 방근시트만을 이용하여 2008년 5월 13일에 그림 224와 같이 75% 알루미늄차광스크린이 설치된 비가림하우스 내에 재배모판을 설치하였다. 관수방법은 미니스프링쿨러를 이용하여 1회 1분씩, 1일 6회 관수하고 생육상태를 관찰하였다. 그림 224에서와 같이 털깃털이끼는 생육이 비교적 양호하여 재배가 가능한 것을 볼 수 있으나, 서리이끼는 갈변하고 성장점 끝부분만 녹색을 띠며 생육이 저조한 것을 볼 수 있었다. 이러한 생장은 원예용토를 이용하지 않아 이끼가 수분이 유지된 토양과 직접 접촉하지 못하고 수분의 변화폭이 크며 초기 착생이 되지 않은 상태에서의 환경변화에 원인이 있거나 고온기에 따른 부적응이 원인일 것으로 판단되었다. 그러므로 일부는 그림 225와 같이 마사토를 약간 복토하였으나 그 양이 작아 효과를 얻지는 못하였다. 이러한 단점을 보완하기 위해서는 발흙이나 원예용토를 일정 두께로 피복하여 수분유지 및 환경변화를 줄이는 방법을 구명해야 할 것으로 판단되었다.

관수방법을 찾기 위하여 미스트와 포그 두가지 두상살수방법과 지면에 타이푼을 이용한 점적관수하는 방법을 그림 225와 같이 수행하였다. 미스트와 포그방식 간의 생육차이는 보이지

않았으며 두상살수방법이 털깃털이끼나 서리이끼 모두에서 저면점적관수보다 생육에 좋은 결과를 얻었다. 그러나 이러한 결과는 초기입식 용토를 이용하지 않고 흡습용 보온덮개와 방근시트만을 이용할 때의 결과로 용토를 이용한 재배방식에서는 다른 결과를 얻을 수도 있을 것으로 판단되었다. 그림 225에서와 같이 시설 내에서 재배시 포그 및 미스트와 같은 두상관수방법으로는 배지를 이용하지 않는 재배에서도 가능하지만 저면 점적식 관수방법은 용토를 이용한 배지이용 재배방식에서 재검토가 필요할 것으로 판단되며 이러한 재배방식은 노지재배 연중생산 방식에 적합할 것이라 여겨진다. 따라서 이러한 점적저면관수방법의 보완연구가 필요하다고 볼 수 있다.



그림 225. 관수방법별 생육

표 57. 관수방법별 털깃털이끼의 생육(하우스 내부)

(입식: 5월 13일, 조사: 9월 30일)

처 리	신초장 (mm)	신초수 (개/25cm ²)	피복률 (%)
저면 점적	14	19.7	13b ²
미스트 분무	16	24.0	65a
포 그 분무	16	35.0	64a

²Duncan's multiple range test at 5% level.

(3) 양액재배 적용성 구명

(가) 양액농도에 따른 생육

이끼의 생육을 조장하고 생육속도를 빠르게 하기 위하여 양분을 공급하는 방법을 구명하고 자 수경재배에 이용되는 양액을 이용하여 엽채류에 주로 사용되는 배양액으로 양액농도 4처리를 하였다. 각각의 농도는 EC 0.5, 0.8, 1.0, 1.2dS/m로 하였으며 입식 후 2개월 된 생육이 중간정도 된 이끼를 이용하였으며 모판의 흡습천과 방근시트를 이용하여 저면부 수조로부터 양액 및 수분을 흡수할 수 있도록 하고 그 위에 피트모스용토를 2ℓ 충전한 다음 이끼 70g을 얇게 펴고 살수기로 두상관수하여 입식하여 2개월 재배된 상대의 이끼를 이용하였으며 관수 및 양액공급은 모판 밑으로 내린 수직심지를 통해 저면관수가 되게 하여 노지에서 재배하였다.

양액을 저면심지로 공급하였을 때 털깃털이끼와 서리이끼 모두 초기에는 농도가 높을수록 짙은 색을 띄며 생육하였으나 양액의 양분으로 조류가 번식하여 갈색으로 표면이 피복되었고 5개월이 지나면서 대부분 조류에 의해 잠식되어 이끼를 볼 수 없었으며 양액의 농도 EC 0.5~0.8dS/m에서는 부분적으로 양호한 생육을 보였다. 이는 이끼가 많은 양의 양분을 요구하지 않으며 수분유지와 공급이 기복이 적은 배지를 이용하여 재배되어야 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료되었다.

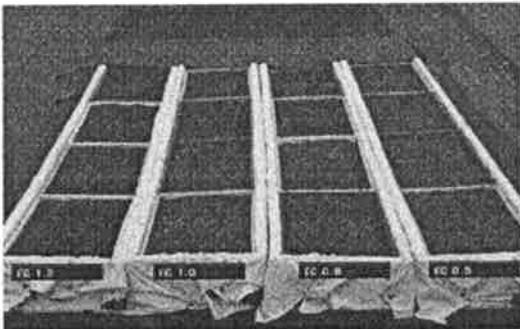


그림 226. 양액농도에 따른 이끼의 생육
(2008년 9월 26일 처리전 모습)

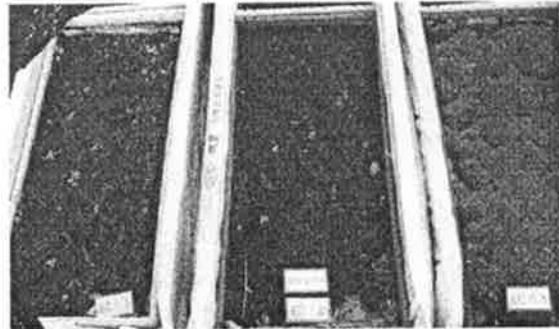


그림 227. 양액농도별 털깃털이끼의 생육
(처리 1년후, 2009년 9월)

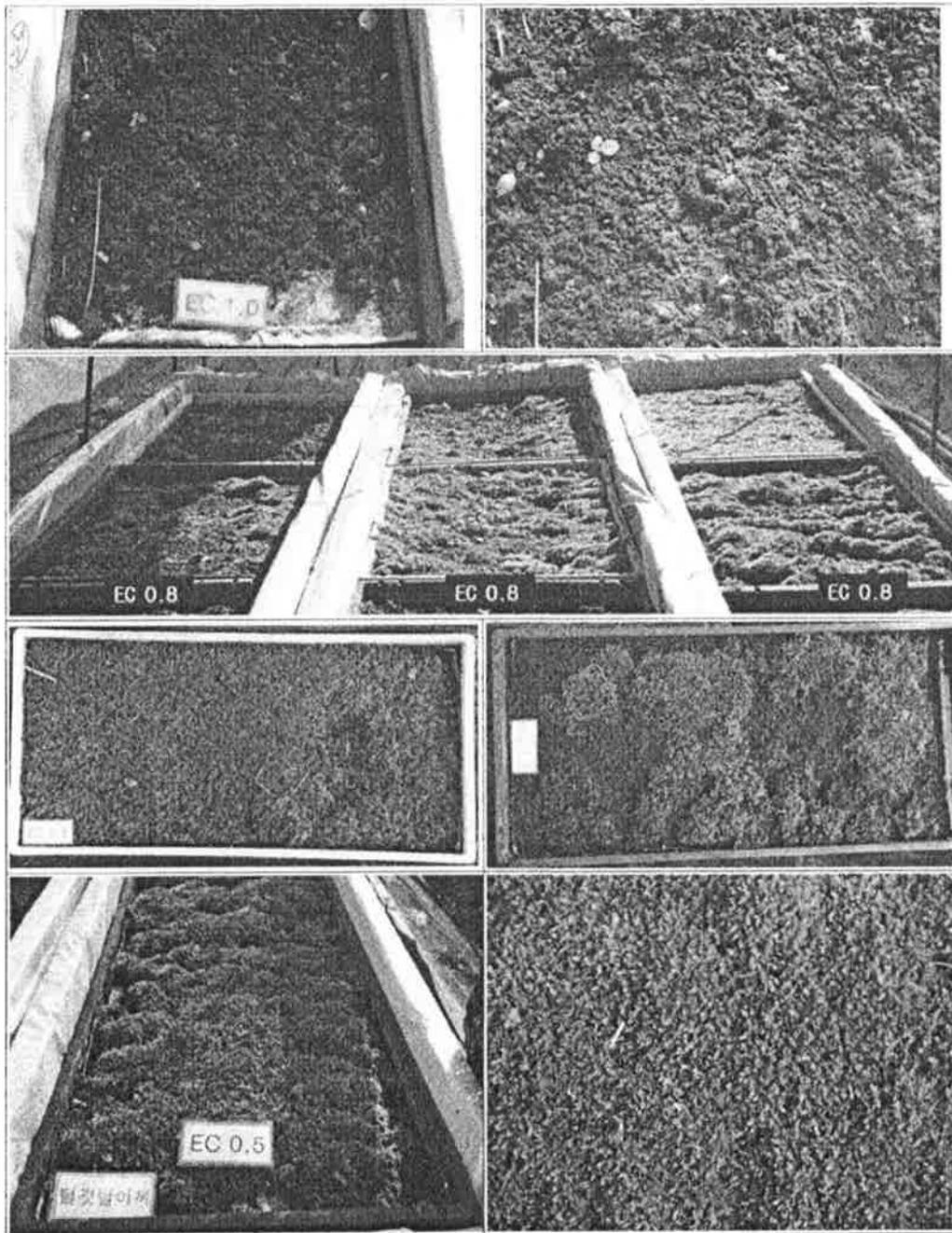


그림 228. 양액농도에 따른 말갯벌이끼의 피복상태 및 생육(처리 1년후, 2009년 9월)

말갯벌이끼는 EC 0.5dS/m 이하에서 양호한 생육을 보였으나 서리이끼는 반복 간에 차이가 많았으며 피복률이 42%이하로 아주 저조하였으나 말갯벌이끼는 평균 63%이상 유지되는 경향이였다. 여기에 사용된 입식용토는 피트모스를 사용하였다. 입식용토로 사용된 피트모스는 생육 및 피복률이 아주 양호한 결과를 얻을 수 있었으나 겨울철 노지에 두었을 때 피트모스가 보유한 수분이 얼었다 풀렸다를 반복하는 동안 피트모스 사이가 들뜨고 이끼가 수분 유지를 정상적으로 하기 어려운 상태가 되었으며 겨울비 또는 눈이 녹아내리면서 피트모스를 유실시

키는 결과를 초래하였다. 따라서 입식된 이끼가 11월 이전에 충분히 생육하여 피복이 잘되고 용토와 잘 결합된 상태로 겨울을 맞아야 할 것으로 사료되었다. 따라서 이러한 피트모스의 단점을 보완하기 위해서는 11월을 기준으로 5개월을 역산하여 6~7월경에 입식하거나 용토가 전습에 따라 부피비율이 심하지 않은 용토를 선별하여 사용하여야 할 것으로 사료 되었다.

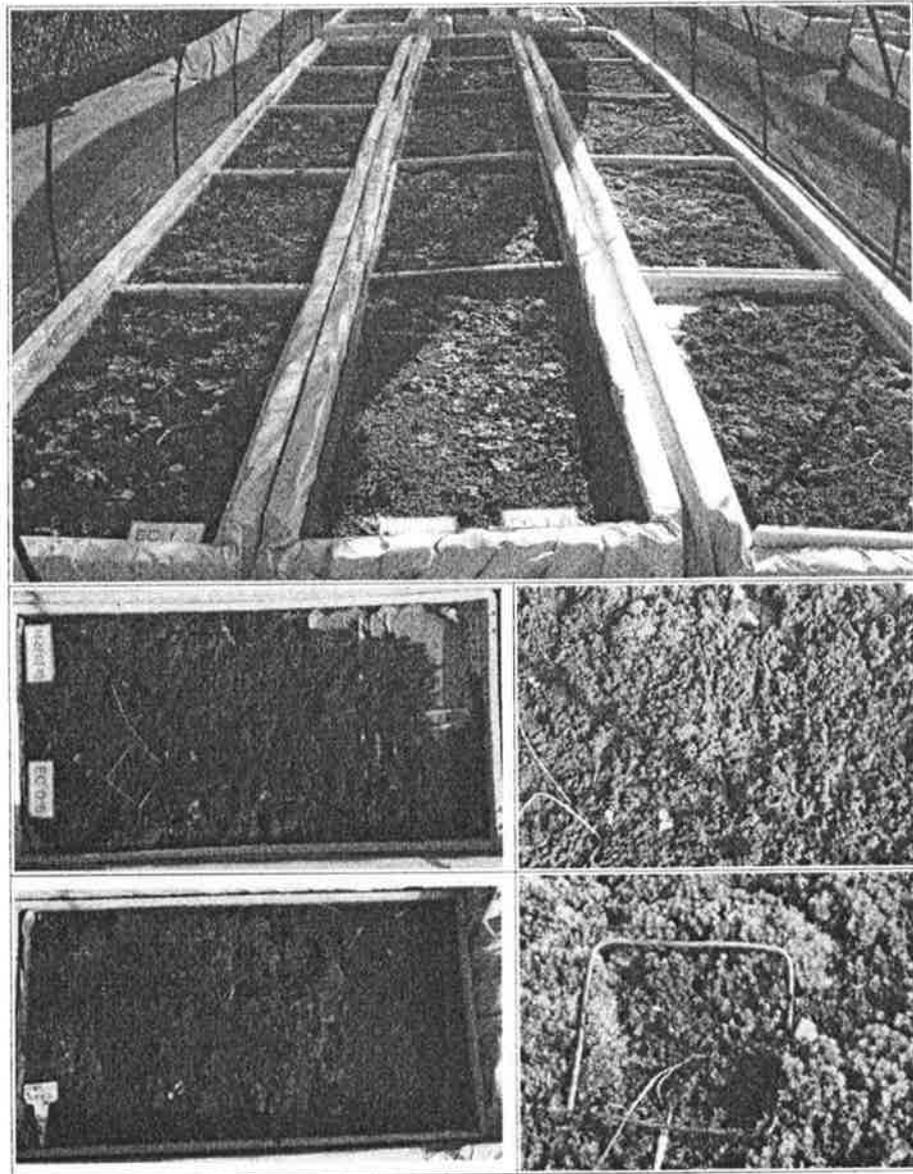


그림 229. 양액농도에 따른 털깃털이끼의 피복상태 및 생육(처리 1년후, 2009년 9월)
 (상 : 양액농도별 피복상태, 중 : EC 0.5dS/m, 하 : EC 0.8dS/m)

표 58. 양액농도별 털깃털이끼의 생육

(입식 : 8월 30일, 조사 : 11월 9일)

처 리	신초장 (mm)	신초수 (개/25cm ²)	피복률 (%)
EC 0.5	12.2	15.3a	63a ²
EC 0.8	11.8	12.7b	47b
EC 1.0	10.4	14.3a	33b
EC 1.2	11.2	12.0b	27b

²Duncan's multiple range test at 5% level.

표 59. 양액농도별 서리이끼의 생육

(입식: 8월 30일, 조사: 11월 9일)

처 리	신초장 (mm)	신초수 (개/25cm ²)	피복률 (%)
EC 0.5	2.5	190a ²	42a
EC 0.8	2.2	138b	35b
EC 1.0	2.0	88b	34b
EC 1.2	2.1	101b	23b

²Duncan's multiple range test at 5% level.

(나) 양액조성에 따른 이끼의 생육

이끼재배 시 양액성분 조성에 따라 생육에 차이가 있는지 구명하기 위하여 양액농도는 0.8dS/m 이하에서 생육이 양호하였던 1년차 결과를 토대로 양액의 조성성분을 N-P-K의 당량에 따른 조성을 16-4-8, 16-4-4, 16-2-8, 8-4-8로 하여 4처리로 수행하였으며 처리에 사용된 이끼 시료는 1년차 양액시험에서와 같은 방법으로 2009년 6월10일에 입식하여 2달 정도 생육된 이끼를 이용하였으며 저면부 수조에 각각의 조성비율로 양액을 공급하여 심지를 이용한 저면급액으로 양액 및 수분이 공급되게 하였다.

표 60. N-P-K 비율에 따른 털깃털이끼의 생육

(입식 : 8월 15일, 조사 : 10월16일)

처리내용		피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)	무게 (g/25cm ²)
이끼 종류	N-P-K (me/L)				
털깃털 이끼	16-4-8	70.0a ²	17.0a	11.9	3.2
	16-4-4	72.5a	15.0a	10.9	3.4
	16-2-8	72.5a	19.0a	11.5	3.5
	8-4-8	80.0a	19.5a	11.5	3.3

²Duncan's multiple range test at 5% level.

양액성분의 N-P-K 비율에 따른 털깃털이끼의 생육은 질소와 칼륨의 비율이 비슷하거나 질소의 50% 정도의 칼륨농도에서 신초수가 많은 경향이지만 통계적인 유의성은 없었으며 서리이끼에서는 칼륨은 질소의 50%, 인산은 25% 수준의 농도에서 분포율이 비교적 높은 경향으로 이끼의 재배를 위해서는 적은 농도의 양분을 요구하는 것으로 판단되었다.

표 61. N-P-K 비율에 따른 이끼의 생육

(입식 : 8월 15일, 조사 : 10월16일)

처리내용		피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)	무게 (g/25cm ²)
이끼 종류	N-P-K (me/L)				
	16-4-8	65.0a ²	148b	1.9	3.57
서리	16-4-4	55.0b	166a	1.7	3.72
이끼	16-2-8	45.0c	174a	1.6	3.52
	8-4-8	70.0a	178a	2.0	3.55

²Duncan's multiple range test at 5% level.

따라서 양액을 이용하여 이끼를 재배할 때는 양액의 농도는 EC 0.8 dS/m 이하의 양액을 이용하되 양분조성은 털깃털이끼에서는 조성성분의 비율에 관계없이 비슷한 결과를 얻을 수 있어서 양액농도를 관리하는 것이 필요하고 서리이끼의 경우에는 8-4-8, 16-4-8 비율로 질소의 비율과 칼륨의 비율이 같았을 때 피복률이 높아서 생산성이 높을 것으로 판단되었다.

2. 연중생산을 위한 노지재배 기술개발

가. 재배환경 구명

(1) 자생지 환경 및 재배환경 조사

(가) 계절별 광파장 분포

이끼 증식에 필요한 광량과 광파장을 구명하고 광질 및 광량에 대한 이끼의 생육 반응을 구명하고자 계절별 광질을 2008년 10월 1일, 2009년 3월 25일, 2009년 4월 28일, 2009년 7월 29일 4차례에 걸쳐 전남 나주시 산포면의 농업기술원 시험포장에서 조사한 결과는 (그림 1)에서와 같았다. 광 파장은 계절이 바뀔에 따라서 400nm 근처의 청색광과 540~700nm 부분의 광파장이 계절별로 차이가 보이고 있으며 봄, 여름으로 진행될수록 청색광 영역은 많아졌으며 630nm 부분은 여름에 줄어드는 경향을 보였다. 10월은 청색광 및 적색광 영역 모두에서 광량이 줄어드는 경향을 보였다.

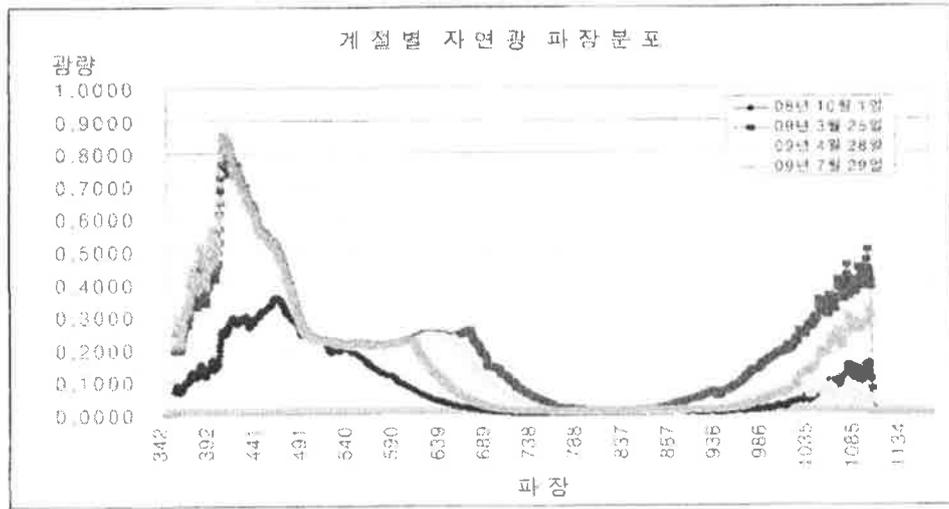


그림 230. 계절별 광파장별 분포도(2008년 10월 ~ 2009년 7월 전남 나주)

(나) 자생지 및 생육환경 광질 특성조사

① 물이끼 자생지 광질조사

이끼 자생지의 광량과 광질 특성 및 생육환경을 이해하고 증식시험의 자료를 해석하는데 도움을 얻고자 광 파장별 광량분포를 경기도 화성의 물이끼 자생지에서 2009년 7월 29일 조사하였다. 물이끼 자생지는 높은 산이 아닌 야산으로 늪지와 같이 바닥이 습지로 되어 있었으며 유거수가 비교적 잘 흘러가는 지역이었다. 물이끼 주변은 개활지 산에서 많이 볼 수 있는 잡초가 40~60cm 정도 무성하게 자라서 적당한 그늘을 유지시켜주는 조건이 되었고 물이끼는 수풀 사이로 비치는 햇살을 받으며 수직으로 영양체를 유지한 채 수분을 공급받는 형태로 자라고 있었다. 물이끼가 자라고 있는 곳의 바닥에는 물이끼의 잔재가 백수테로 변하여 바닥면이 10cm 이상의 두께로 분포하였으며 물이끼는 그 위에서 자라고 있었다.



그림 231. 물이끼 자생지 환경(좌), 및 물이끼 생육상태 (2009년 7월 경기도 화성)

광량 및 광파장 분포조사는 광질분석기를 이용하여 물이끼 자생지에서 직사광선이 도달하는

조건과 반그늘형태로 광이 투과되는 곳 그리고 풀로 뒤덮혀 그늘이 상당히 유지되는 3 유형으로 조사(그림 233) 하였다.

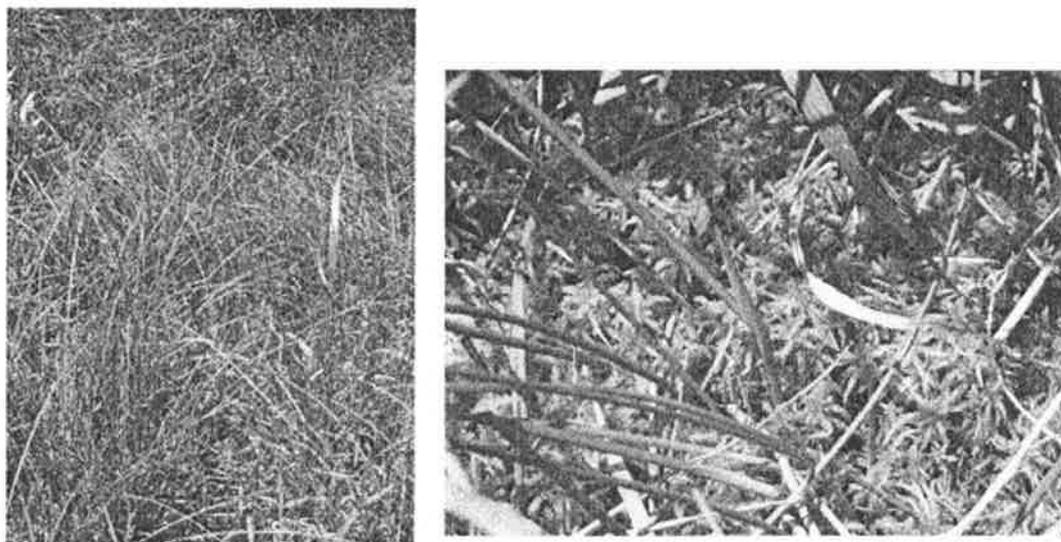


그림 232. 물이끼 자생지 잡초(좌), 및 물이끼 생육상태 (2009년 7월 경기도 화성)



자연광

잡초에 의한 반사광

잡초에 의한 차광(산광)

그림 233. 물이끼 자생지 차광정도에 따른 광질조사 (2009년 7월 경기도 화성)

자연광 투과에 비하여 음지와 반음지는 340~680nm부분까지의 광량이 1/3수준이하로 떨어지는 경향이었으며 자연광에는 420nm와 520~640nm 부분이 상대적으로 많았으나 반그늘이나 그늘의 경우는 420~680nm부분이 완만한 수평 형태의 그래프를 보였다. 주로 430~500nm부분의 청색영역의 광량이 많이 분포하였다.

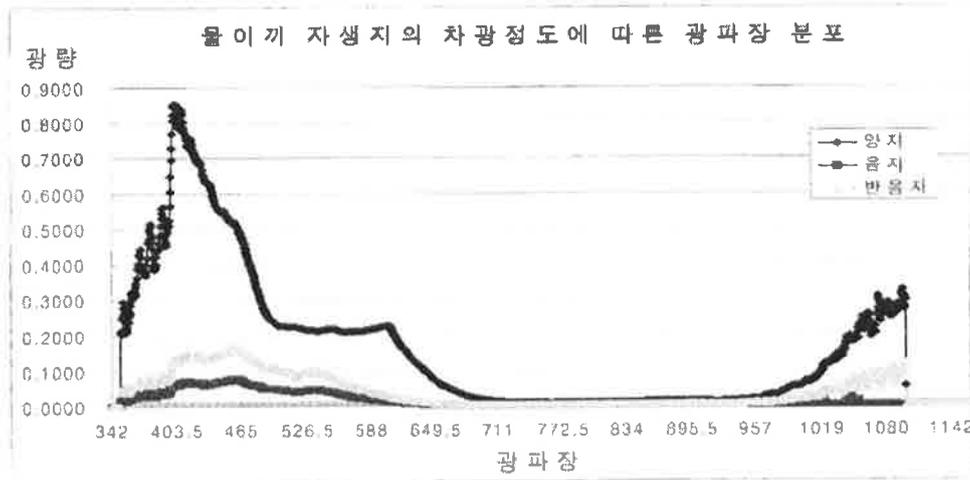


그림 234. 물이끼 자생지 차광정도에 따른 광량 및 광파장 분포
(2009년 7월 경기도 화성)

② 차광 유무에 따른 증식시험포 광질조사

물이끼 자생지에서와 같은 형태로 이끼 증식재배중인 충북 청원의 증식포에서 차광망 아래와 자연광 투과, 구름에 의한 산광이 투과되는 3조건에서 조사한 결과는 (그림 236)에서와 같았다. 광량 및 광파장 분포는 물이끼의 자생지에서 조사되었던 형태와 비슷한 경향을 보였으나 충북 청원의 청색광 영역이 경기도 화성의 물이끼 자생지보다 약간 좁은 분포를 보였으나, 역시 자연광에 비하여 차광 하에서는 1/3 수준이하로 광량이 작았다.



차광상태의 광질조사

직조매트상태의 털깃털이끼 제품
(상부의 끝쪽에서 생육양호)

직조매트상태의 서리이끼 제품
(재봉선에서의 생육양호)

그림 235. 증식환경 광질 및 생육상태 조사

그림 235의 중앙과 오른쪽에서와 같이 털깃털이끼는 상부 끝 쪽과 직조매트의 재봉선을 중심으로 생육이 양호하였는데 이는 재봉선이 다른 곳보다 서로 밀착이 잘되어 수분유지가 다른 곳 보다 양호하고 통풍 및 햇빛에 의한 수분 손실로부터 보호받을 수 있는 조건일 것으로 판단되었으며 상부쪽의 생육이 양호한 이유는 측면으로부터의 산광이 잘 비추는 이유일 것으로

판단되었다. 이는 재배 증식에서 초기입식 후 답압 등으로 입식된 이끼와 용토 사이에 밀착이 유지되어야 함을 간접적으로 알 수 있었다. 실제로 재배 시험에서 부분적으로 생육이 불량한 곳은 이끼가 들뜨거나 복토한 용토가 두껍거나 얇은 경우로 적절한 밀착이 필요함을 알 수 있었다.

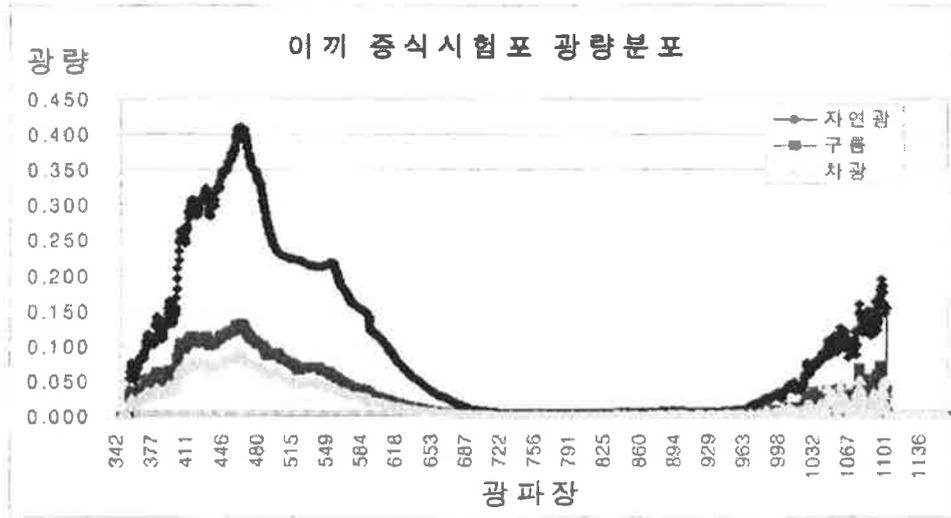
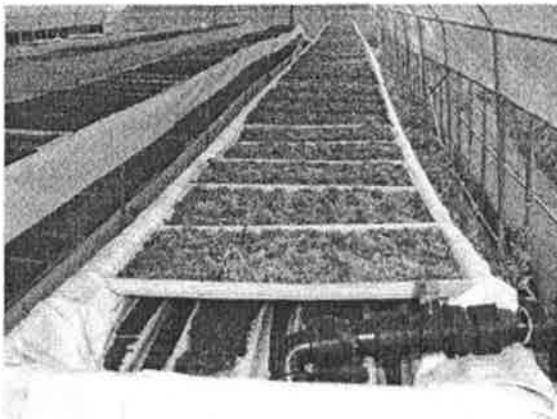
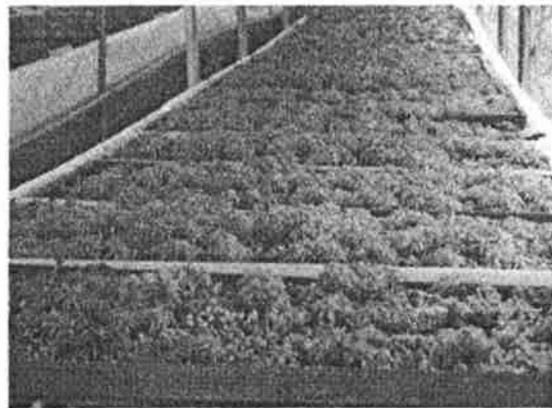


그림 236. 이끼 증식포 차광정도에 따른 광량 및 광파장 분포 (2009년 7월 충북 청원)

③ 재배환경에 따른 물이끼 생육특성



직달광에서의 물이끼생육



측면 산광에서의 물이끼 생육

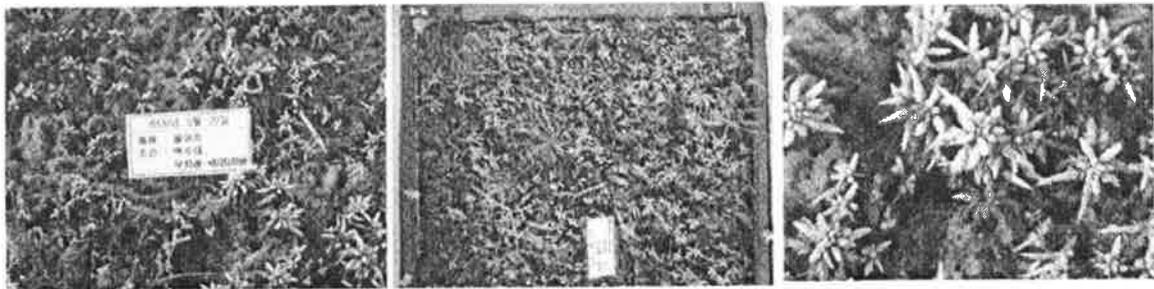
그림 237. 광의 조사 방법에 따른 물이끼 생육

충북 청원의 주관연구기관의 물이끼 증식용 하우스내에서의 물이끼 물이끼 생육상태를 비교하였을 때 선반형태로 2층으로 재배되는 곳의 물이끼 생육은 직사광선이 도달하는 상부층은 갈색을 띄고 있었으며 아래층은 측면을 통해 산광이 들어오는 조건으로 직사광선과 산광이 도달하는 하우스 측면 쪽에서는 갈색화 되는 부분이 있었고 안쪽으로는 녹색을 띄는 생육(그림 8)을 보였다. 그러나 전남 나주의 시험포에서는 2009년 5월에 입식하고 자연광 상태에 두었으나 부분적으로 생육이 양호한 곳이 많았다. 이는 6월 상순부터 시작되어 8월초에 끝난 긴 장마의 영향도 있었을 것으로 추정되나 부분적으로는 백화되는 곳도 있었다. 이러한 경향을 토대로 수분을 유지하고 공급해주는 바닥의 백수태 두께와 백수태 밑에 설치한 흡습포 심지의 역할을 중점적으로 구명하는 시험이 필요할 것으로 사료되었다.



백수태를 이용한 물이끼 증식

피복상태



무차광 상태에서 증식된 물이끼의 생육장해(백화된 모습)

그림 238. 무차광에서의 물이끼 생육상태(5월 20일 입식, 9월 현재 상태)
(장마기간이 길어서 생육이 양호한 곳과 장해가 발생한 곳이 있음)

충북 청원의 주관연구기관 증식포 주변에 생육중인 물이끼(그림 10)는 인공수조에 10cm깊이로 백수태가 심지역할을 할 수 있도록 되어 있었고 직사광선이 직접 비추는 곳을 피하여 생육시킨 결과로 색상과 생육상태가 아주 좋았다. 이러한 결과를 종합해 볼 때 물이끼는 수분함량이 많은 용토에서 증식하여야 할 것으로 여겨지며 직사광선보다는 산광이 비취지는 차광방법을 이용하여야 할 것으로 판단되었다.

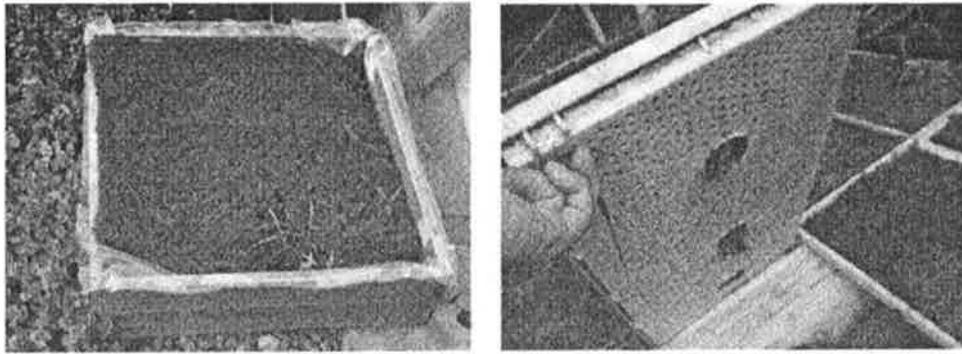


그림 239. 증식용 용기에서의 물이끼 생육상태(직사광선 회피)
 (좌 : 입식용토 백수태 7~10cm, 빗물사용,
 우 : 수정배드이용, 백수태 배지, 심지식 저면관수)

(2) 생산성 향상을 위한 재배단위 규격화

(가) 노지재배 연중생산을 위한 애로기술 및 연구개발 대상

이끼는 초기입식에서 수확까지 조방적인 재배관리가 용이하고 재배 중에 환경관리 및 관수, 관비노력을 적은 필요로 하는 재배방법으로 재배될 수 있도록 하여야 함으로 표 62에서와 같이 작업영역별로 구분하여 애로기술 및 개선 목표를 구분하여 개발대상에 대한 연구목표를 정리하였다.

표 62. 노지재배 연중생산을 위한 애로기술 및 연구 개발대상

구 분	애로기술	목 표
재배시설	- 차광 및 관수비용 최소화	- 초기정착시만 차광 및 집중관수
시 비	- 균일한 시비 및 적정 시비 - 시비 노력최소화	- 에너지 절약형 최적 시비 (입식용토에 의한 완효성 기비)
관 수	- 초기입식시 관수(집중관리) - 정착후 관수(조방적 관리)	- 제한된 초기관리시설 이용 - 타이푼 지중관수 - 심지식 저면관수
농용자재 절감	- 입식용토 최소화 - 보습자재 최소화 - 차광시설 최소화	- 입식용토 국내산 대체 - 재활용 가능 자재 이용기술 - 차광용 작물 혼작
작업성 및 수확 편이성	- 수확 시 잡초에 의한 작업애로 - 운반, 적재성	- 방근시트이용기술 개발 - 재배 단위규격 및 plot 구명, - 수확후 적재 및 관리기술 개발
생산성	- 년 3배이상 생체중 증가	- 최적 생산 기술개발 - 생산성 생체중 기준 5배 이상

재배시설은 시설비가 적게 소요되어야 하고 관수 및 관비에 대한 시설이 최소화 되어야 하며 논·밭 및 휴경지와 같은 곳에서 조방적으로 재배가 가능한 재배법이 필요하였다. 또한 증식을 위한 입식용토의 가격이 저렴하고 소량으로 재배가 가능하며 재사용이 가능한 자재가 선 발되어야 하고 수확 시 수확노력이 생력적인 재배방법의 개발이 필요하였다. 이끼 특성상 집약적인 재배보다는 조방적인 재배로 노력이 최소화되어야 휴경지를 이용한 재배가 실용화 될 수 있을 것으로 판단되었다.

(나) 재배상자 및 이랑 규격

이끼는 초기입식에서 수확까지 관리가 용이하고 재배 중 환경관리 및 관수, 관비노력도 적은 노력 절감형 재배 규격이 개발되어야 휴경지를 이용한 조방적 관리로 농가의 소득에 기여할 수 있으므로 재배단위 규격이 우선 필요하다고 할 수 있다. 그러나 작업이 용이한 운반용 용기가 좌우 어깨 폭 정도로 60cm내외인 점을 감안 할 때 좌우폭은 60cm이고 앞 뒤폭이 30cm 폭인 용기가 재배 및 수확 후 관리가 용이한 규격으로 판단된다. 이러한 원예용 용기는 다양하지만 수평으로 전개되면서 자라는 이끼의 경우 초장이 길지 않기 때문에 벼 증묘용 모판이 최적 재배용기로 판단된다. 다만 수확 후 적재시 상하간의 이격거리가 없어서 수확 후 보관 및 운반용으로는 개선이 필요하다고 판단되지만 단기간 적재시에는 현재의 용기로 사용이 가능할 것으로 판단되었다.

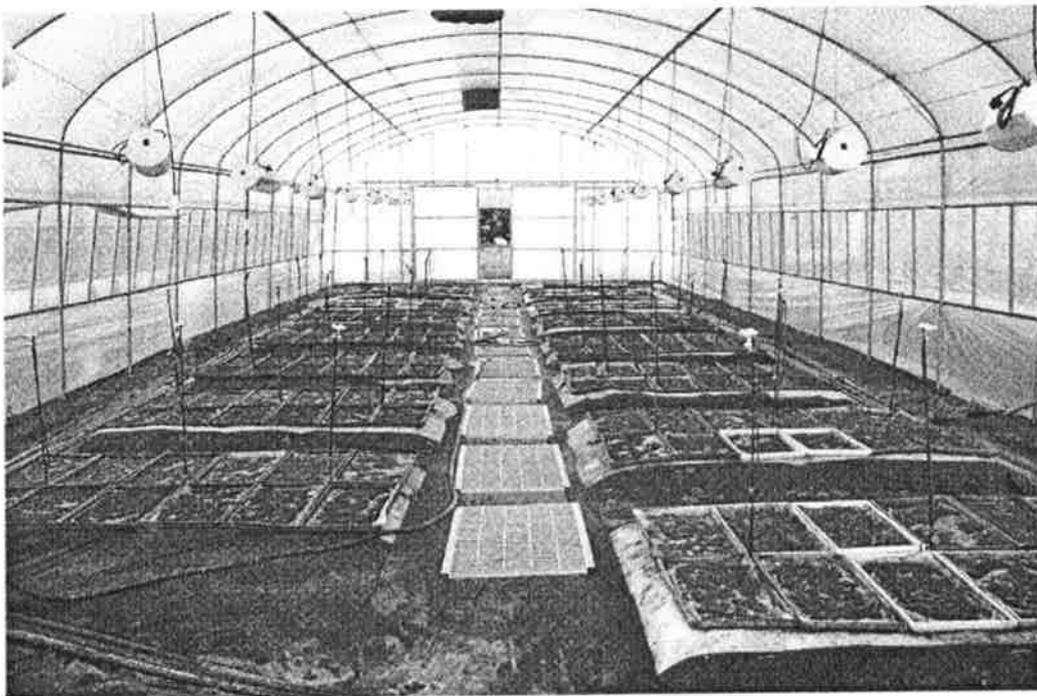


그림 240. 미스트 분무에 의한 관수규격화된 크기의 모판을 이용한 하우스재배

재배에 사용 될 때는 그림 240에서와 같이 두둑의 길이 방향에 직각으로 산파모판의 긴 쪽이 놓이도록 하고 2개를 연결하여 배치하면 좌우에서 작업시 충분한 작업거리를 확보할 수 있

고 수확 시 모판을 쉽게 분리할 수 있어서 작업성이 좋다고 판단되었다. 더구나 지중 점적 등으로 관수 시 그 폭이 점적단추에서 30cm이내에 좌우로 나뉘는 구조를 유지할 수 있어 좋을 것으로 판단되었다. 모판에 초기 입식 시에는 원예용토나 발효 등을 이끼와 접촉되도록 하여야 할 것으로 판단되나 바닥이 토양과 직접 접촉하게 되면 잡초의 발아와 더불어 이끼재배용 모판까지 잡초가 올라오게 되어 수확시 잡초의 뿌리에 의한 수확작업이 어렵게 될 수 있어서 토양 쪽에 흡습이 잘되는 방근시트를 피복하고 산파모판을 올려서 재배하는 방법이 좋은 것으로 가정하고 이에 대한 효과적이 재배방법을 연구개발 하고자 하였다. 따라서 본 시험에서는 140~150cm 두둑 폭에 2열 재배하고 흡습천, 원예용토 등을 이용한 초기 활착율 증진 방법을 개발하는데 중점을 두어 개발하게 되었으며 최종적으로 개발된 용기는 그림 에서와 같은 이용 방법을 개발하였다.

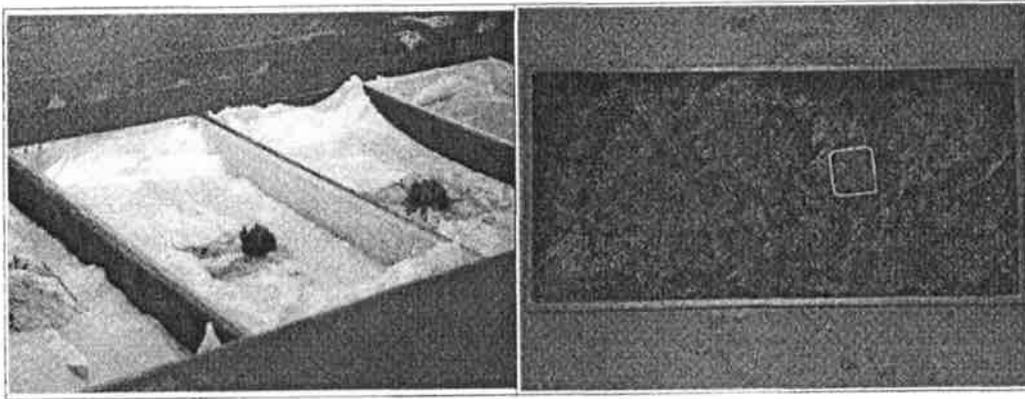


그림 241. 흡습 및 수분유지용 보온덮개(좌) 또는 원예용토(우) 이용

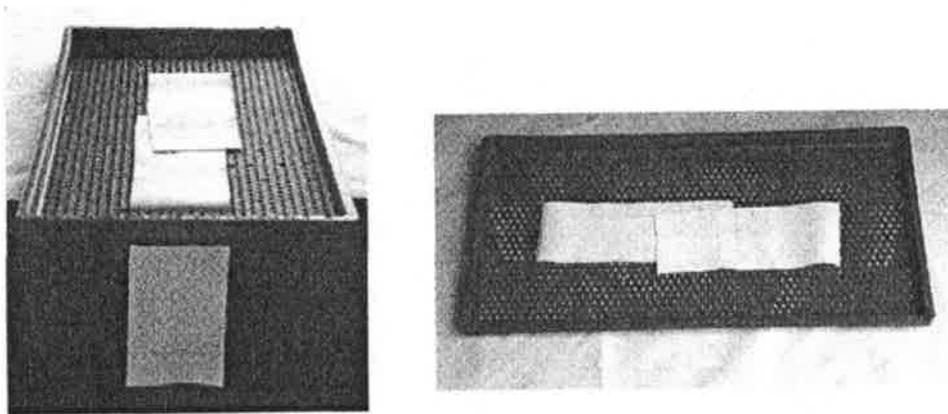


그림 242. 2차년도 이후 사용된 증식용 상자(수직심지)

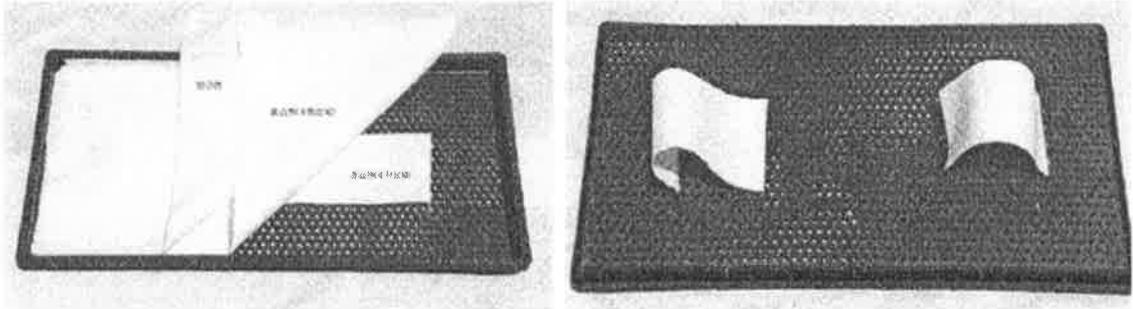


그림 243. 2차년도 이후 사용된 증식용 상자(방근천, 수평심지, 수직심지)

(다) 관수방법 규격화

휴경 논이나 밭 그리고 유휴지 등을 이용한 노지재배 대량생산을 위해서는 시설비가 적게 소요되고 관수가 균일하게 이루어질 수 있는 관수방법이 필요하며 특히 시설관리가 수월하고 관리노력을 적게 필요로 하는 방법이 개발 되어야 할 것이다. 이끼 생산을 위한 관수방법으로 1년차에는 미스트 분무 및 주변 습도를 높이기 위한 포그분무 등의 방법으로 관수를 하였으며 생산에 필요한 입식용토를 줄이고자 하였으나 이끼재배에 필요한 입식용토는 일정기간 재사용이 가능하므로 2년차부터는 이끼 생육에 적합한 용토량 및 관수방법에 대한 방법 전환을 하게 되었으며 조방적인 재배에 적합한 관수방법을 개발하고자 하였다.

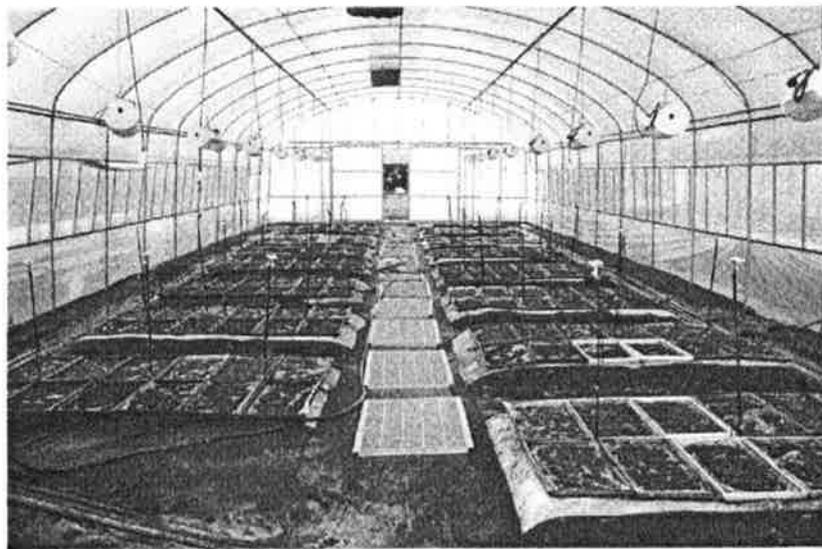


그림 244. 관수방법 1 - 미스트 분무에 의한 관수

① 미스트 및 포그관수

플라스틱하우스 등 시설내에서 사용되어야 하며 미스트 관수 보다는 심지식 저면관수 방법으로 관수하고 시설내 습도를 높이는 방법으로 포그를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

② 성형스티로폼베드 이용 관수

그림 245에서와 같은 수정재배용 성형스티로폼 베드를 사용할 수도 있지만 균일한 관수를 위해서는 수베드의 설치에 있어서 수평유지가 필수적이다. 따라서 유희지 등에서 사용하고자 할 때는 바닥 정지작업이 필요하다.

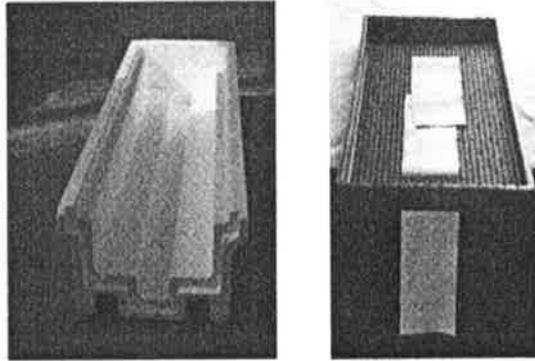


그림 245. 관수방법 2 - 수정재배 담수용 베드 이용 심지식 저면관수

③ 물흡통 이용 관수

C형 강관을 이용하여 심지에 물을 공급할 수 있도록 하여 저면관수 방법으로 길이 90cm의 C형 강관 양쪽 끝을 막고 60cm 넓이에 2개의 C형 강관을 설치하고 그 위에 재배용 모판 3개를 올리고 수직으로 내려 뜨려진 심기지가 C형 강관 흡통에 잠기도록 하여 심지를 통해 수직으로 물이 이동하고 다시 모판 내부 수평심지를 통해 고르게 퍼진 다음 입식용토를 거쳐서 이끼에 도달할 수 있도록 하는 관수방법이다. 개별 C형 강관에는 그림에서 보여주듯이 점적버튼을 이용하여 일정한 시간에 관수를 하게 되면 C형강관에 일정량의 물을 가둘 수 있고 심지를 통해 관수 되므로 넓은 면적에 균일한 관수를 할 수 있는 장점이 있다. 특히 경사진 야산이나 구릉지 등에서도 개별 C형 강관에 물을 가둘 수 있기 때문에 고르게 관수를 할 수 있다. C형 강관을 플라스틱 등으로 성형하여 제작한다면 생산비를 줄일 수 있는 좋은 관수 방법이 될 것으로 판단되었다.

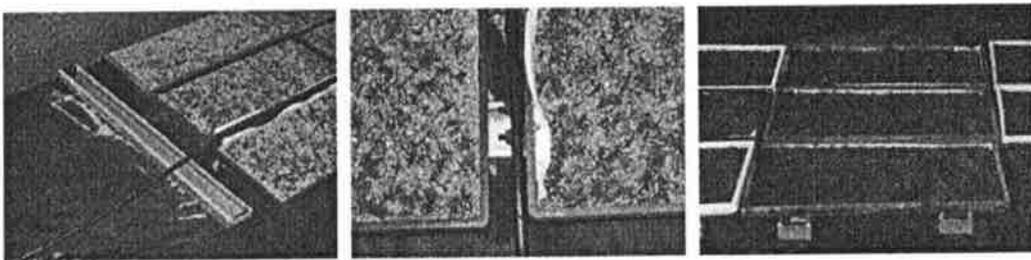


그림 246. 관수방법 3 - 물흡통 이용 심지식 저면관수

④ 관수매트 이용 심지식 저면관수

이 방법은 두둑의 폭을 120cm로 만들고 잡초의 발생을 억제하고 관수시 물이 지면으로 수직배수 되는 시간을 지연시킬 목적으로 흑색이나 청색 잡초방지용 PE필름을 바닥에 피복한다.

그리고 그 위에 20cm 간격으로 점적관수가 되는 타이폰을 설치하고 그위에 폐면 등을 이용하여 생산하여 시판되는 보온덮개를 피복하여 관수용 바닥매트로 이용할 수 있도록 한다. 재배용 모판은 관수방법 ②~④에서와 동일하게 수평심지 및 수직심지를 끼운 모판을 사용하여 수직심지가 이 매트위에 접촉되도록 하는 관수방법이다. 이와 같은 관수방법은 관수방법 ③보다 시설비가 적게 들고 넓은 면적 및 경사지 등에서도 균일한 관수가 가능하였다. 더구나 바닥매트가 젖어있기 때문에 모판전체에 고른 수분을 유지할 수 있었고 주변 습도를 유지하는 데에도 효과적인 관수방법이었으며 생산비도 적게 소요되었다. 관수방법 ③과 ④는 농가 실증시험에 사용하여 경제성을 검토하였다.

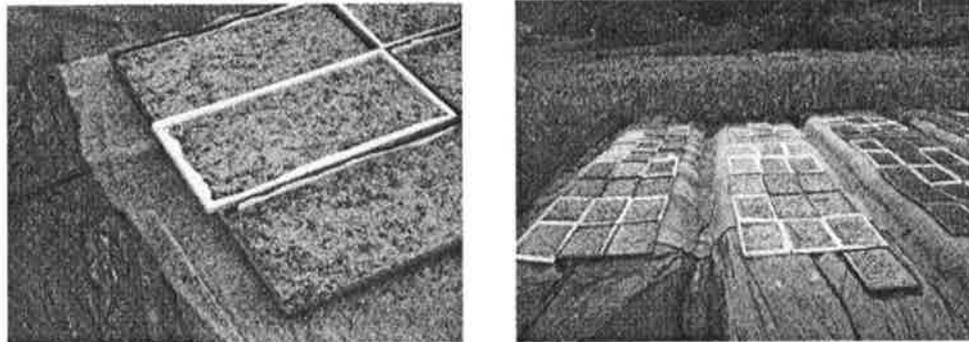


그림 247. 관수방법 4 - 관수매트를 이용한 심지식 저면관수

(3) 재배환경 조절에 따른 생육 구명

(가) 온·습도 조절에 따른 생육 구명

플라스틱 하우스내에 4개의 소형 터널을 만들고 각각의 터널 내부 냉방은 수조냉각기의 냉각수를 팬코일을 통해 공급하게 하고 난방은 열선이 들어있는 엑셀파이프형 난방관을 설치하여 설정온도에 맞출 수 있도록 하였다. 습도는 포그노즐은 각각의 터널내에 4구씩 설치하고 설정된 습도보다 10% 이하에서 작동하게 하여 조절하였다. 이끼는 입식한 지 2달된 털깃털 이끼와 서리이끼를 각각 3모판씩 배치하여 시험을 수행하였다. 관수방법은 물흡통에 수직심지를 내려서 저면급액하는 관수방법을 사용하였다.

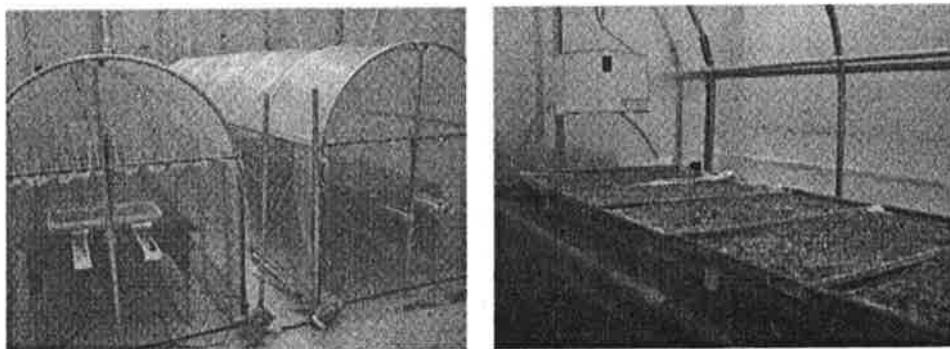


그림 248. 온·습도 시험용 소형터널

털깃털이끼 및 서리이끼 모두 습도가 높은 80%처리에서 신초수가 많았으며 피복율도 다소 높은 경향이였다.

온도의 경우에 있어서는 25℃와 30℃ 처리간의 차이를 보이지 않았다. 따라서 이끼의 재배에서는 습도가 주된 요인인 것으로 판단되었다.

표 63. 온도 및 습도조건에 따른 이끼의 생육('09)

(입식 : 8월 20일, 조사 : 10월 20일)

	처 리 (온도/습도)	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)	무게 (g/25cm ²)	생산량 (kg/10a)	
털깃털이끼	25℃	55%	50a ²	13.1b	8.7	2.3	273b
		80%	58a	16.3a	9.5	2.6	358a
	30℃	55%	52a	10.2c	8.4	2.4	297b
		80%	56a	13.1b	9.1	2.5	333a
서리이끼	25℃	55%	38a	121c	2.0	1.5b	135c
		80%	45a	132c	2.2	1.7a	182b
	30℃	55%	41a	144b	1.9	1.5b	146c
		80%	47a	157a	2.1	1.8a	201a

²Duncan's multiple range test at 5% level.

(나) LED 파장에 따른 생육 구명

광의 파장에 대한 이끼의 생육반응을 보기위하여 60×130cm 크기에 0.067W LED램프 1,800개를 설치한 평판틀을 이용하여 1.5m 높이에서 조사 되도록 하였으며 LED램프는 청색 430~440nm, 적색은 660~670nm의 파장을 발광하는 램프를 사용하였으며 적색과 청색을 혼합하여 구성한 처리구는 적색 4: 청색 1의비율로 설치하여 램프를 구성하였다. LED램프의 빛만 조사될 수 있도록 암막 커튼으로 사방을 가리고 온도 및 습도는 비가림 하우스내의 공기가 송풍기를 통해서 교환되도록 하였으며 램프 조사시간은 16시간으로 하였다. 이끼는 2009년 8월 20일에 입식하여 LED 램프가 조사되는 곳에 배치하였으며 관수방법은 수직심지를 이용한 저면관수 방법을 이용하였으며 12월 29일에 생육을 각각 조사 하였다.

광파장에 대한 털깃털이끼의 생육은 적색광 660~670nm의 파장에서 70%의 피복율을 보였으나 청색광 430~440nm의 파장의 단독처리에서는 40%의 피복율로 청색광에서 생육이 저조하였으며 적색광 + 청색광을 4:1비율로 처리한 시험구에서는 적색광에서와 같이 70%의 피복율을 보였다. 단위면적당 신초수는 청색광 단독처리나 적색+청색광 처리에서 다소 높게 나타났다. 그러나 서리이끼에서는 적색과 청색 파장의 램프를 4:1 비율로 처리하였을 때 다른 처리구에 비하여 다소 높은 피복율을 보였지만 45%로 낮은 피복율을 보이고 있다. LED램프를 사용한 이끼의 증식은 현재로서는 경제적인 측면에서 생산비가 많이 소요되므로 사용하기에

적합하지 않지만 고급 유전자원의 실내 증식 및 유지측면에서 고려할 수 있으나 LED램프의 광파장 및 효율적인 사용방법은 지속적으로 연구해야 할 과제이다.

표 64. LED 광파장에 따른 털깃털이끼의 생육('09)

(입식 : 8월 20일, 조사 : 12월 29일)

처 리 (온도/습도)	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)
적 색	70a ²	25.3	21.7
청 색	40b	29.0	22.8
적+청	70a	27.0	19.9

²Duncan's multiple range test at 5% level.

※ 조사높이 : 1.5m

표 65. LED 광파장에 따른 서리이끼의 생육('09)

(입식 : 8월 20일, 조사 : 12월 29일)

처 리 (온도/습도)	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)
적 색	33b	135.0	2.7
청 색	35b	149.5	2.2
적+청	45a	102.0	2.3

표 66. LED 광파장에 따른 이끼의 생육('10)

(입식 : 5월 20일, 조사 : 8월 30일)

처 리 (온도/습도)	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)
털깃털이끼	적 색	15	19
	청 색	1.3	11
	적+청	10	15
서리이끼	적 색	2.0	83.5
	청 색	고사	고사
	적+청	0.6	44

나. 노지재배 대량생산 방법 구명

(1) 노지재배 증식 및 관수방법

(가) 노지 대량증식에 적합한 용토 구명

이끼증식에 적합한 용토를 구명하고자 1년차에 피복물이 가장 좋았던 피트모스를 대체할 일반용토를 구명하고자 1년차에 사용하였던 피트모스를 대비구로 이용하고 마사토, 발흙을 사용하여 이끼증식용 용토로 시험하였다. 발흙은 과수원 포장의 발흙을 사용하였으며 발흙과 마사토의 성분분석결과는 표 67과 같았다.

표 67. 사용용토의 성분분석 결과

용토	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	유효 인산 (mg/kg)	치환성 (cmol+/kg)			CEC (cmol+/kg)
					K	Ca	Mg	
발토양	7.28	1.325	36	289	0.89	7.17	3.94	16.62
마사토	6.01	0.055	21	9	0.14	1.44	3.57	11.53

털깃털이끼 및 서리이끼를 5월에 3가지 용토에 입식하여 관찰한 결과 표 68, 그림 249~253에서와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 주위에서 쉽게 구할 수 있는 발흙의 경우는 대개 EC 2.0dS/m로 염류농도가 높아서 양액농도가 높았던 처리에서와 같이 조류의 번식이 먼저 이루어 졌으며 결국 생육이 불량하고 도태되었다. 그러나 마사토에서는 털깃털이끼 및 서리이끼의 생육이 양호하였다. 따라서 농가에서의 일반적인 증식재배에 광범위하게 사용될 수 있을 것으로 사료되었다. 특히 피트모스에서 수분관리에 주의를 필요로 하였던 것에 비하여 비교적 수분 함량이 적절히 유지되고 배수가 잘되는 특성에 힘입어 생육이 양호 하였다. 피트모스 용토에서 털깃털이끼 및 서리이끼에서 피복도가 각각 91%와 83%였으며 마사토에서는 92%와 70%로 피트모스를 대체할 정도의 생육을 보였다.

표 68. 입식 용토에 따른 이끼의 생육

(입식 : 5월 20일, 조사 : 9월 14일)

이끼종류	처 리 용 토	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)	무게 (g/25cm ²)	색 도		
						L	a	b
털깃털 이끼	피트모스	91a ²	21	14.7	2.8	33.6	-6.3	30.8
	발 흙	2b	8	0.0	0.0	-	-	-
	마 사 토	92a	21	13.9	2.8	38.5	-5.0	31.9
서리 이끼	피트모스	83a	148	2.0	2.9	33.2	-4.8	26.9
	발 흙	7.8b	53	1.6	0.0	-	-	-
	마 사 토	70ab	120	2.1	3.0	33.1	-6.9	26.9

²Duncan's multiple range test at 5% level.

1년차 입식용토 선발에서 피트모스를 제외한 다른 용토는 피복도가 낮았는데 이는 이끼와 용토간의 밀착이 잘 유지되지 않은 용토에서 생육 및 피복도가 낮았으며 코코피트의 경우는 K와 Na함량이 높아서 생육 및 피복도가 낮았던 것으로 판단되었다. 실제로 코코피트를 물로 2번 정도 세척한 후 사용하였을 때는 피트모스와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

털깃털이끼 및 서리이끼 시험에서 5월 20일에 모판당 120g의 이끼를 입식하였으며 입식 후 노지에서 차광하지 않고 재배하였으며 8월 15일 ~ 9월 15일까지 고온기 1달 정도를 35%의 흑색 차광망을 이용하여 재배하였다. 피트모스에서는 균일한 피복도를 보였으며 서리이끼에서도 비교적 균일한 피복도를 보였으나 서리이끼는 부분적으로 흑갈색을 띠며 고사되는 곳이 발생하였다. 이는 노지재배에서 비가온 후 빗물이 곧바로 배수되지 못하고 고이는 부분에서 발생하는 것으로 여겨지며 모판이 수평으로 설치되어 강우량이 많고 지속시간이 길어질 때 수직배수가 늦어짐으로서 발생하는 것으로 판단되었다. 따라서 배수가 잘되기 위해서는 모판의 한쪽을 1cm정도 받쳐서 경사를 주는 방법도 필요하였으며 강우가 계속되거나 배수가 불량할 때는 터널을 이용한 비가림을 하는 방법도 필요하다고 판단되었다. 특히 발효에서는 배수가 상당히 더디고 불량하였으며 염류가 높아 조류의 번식이 먼저 이루어졌으며 이끼의 생육은 불량하였다.

마사토에서는 털깃털이끼의 생육은 아주 양호하였으며 색깔도 양호하였다. 따라서 피트모스를 대체할 용토로 가장 적합한 용토로 판단되었다. 특히 피트모스는 가벼워 바람이 많은 곳에서는 모판이 날리는 경우도 발생하였는데 마사토는 모판의 무게가 2.5kg를 유지하여 바람에 날리지 않아 관리가 비교적 용이했다. 서리이끼도 마사토에서 생육은 양호하였으나 배수가 불량한 곳에서는 흑갈색을 띠는 부분이 발생하였다. 이는 서리이끼가 털깃털이끼와 다르게 수평으로 생장점이 뻗어가면서 성장하지 않고 수직으로 뿌리를 내리듯이 부착기가 용토에 묻혀서 자라기 때문에 용토의 배수성과 보수성이 좋아야 할 것으로 판단되었다. 따라서 서리이끼 번식에는 배수가 잘되는 용토와 보수성이 좋은 피트모스를 혼합하여 사용하는 방법도 필요 할 것으로 판단되었으나 이에 대한 시험은 수행하지 못하였다.

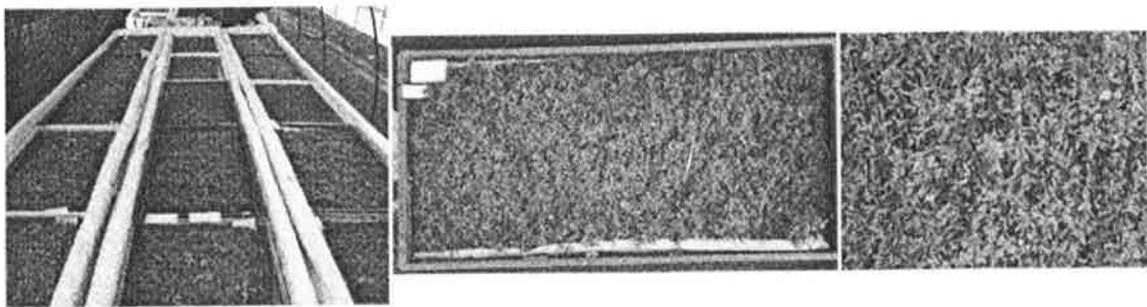


그림 249. 피트모스 용토에서의 털깃털이끼 피복 및 생육상태(5월 입식, 9월 현재 상태)
(무차광 후 - 8월 15일 이후 35%차광)

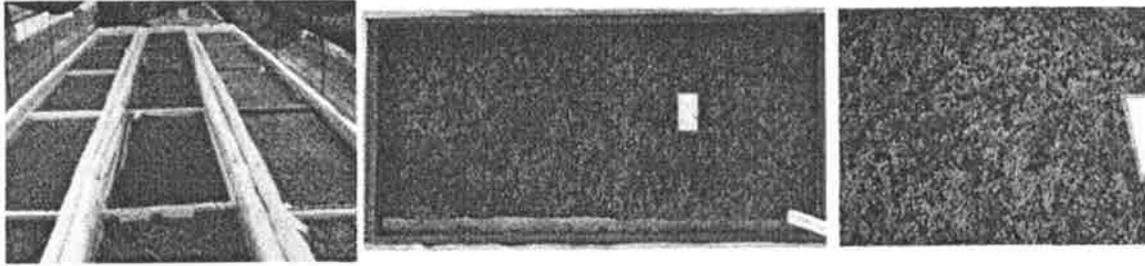


그림 250. 피트모스 용토에서의 서리이끼 피복 및 생육상태(5월 입식 9월 현재 상태)
(무차광 후 - 8월 15일 이후 35%차광)



그림 251. 발흙에서의 털깃털이끼 피복 및 생육상태(5월 입식, 9월 현재 상태)
(무차광 후 8월 15일 이후 35%차광)

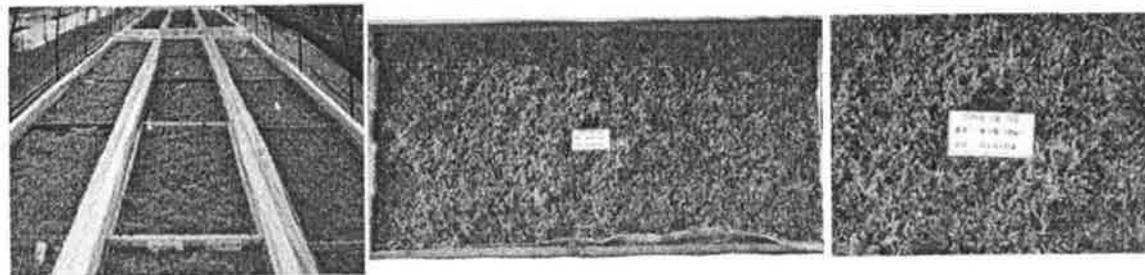


그림 252. 마사토에서의 털깃털이끼 피복 및 생육상태(5월 입식, 9월 현재 상태)
(무차광 후 8월 15일 이후 35%차광)

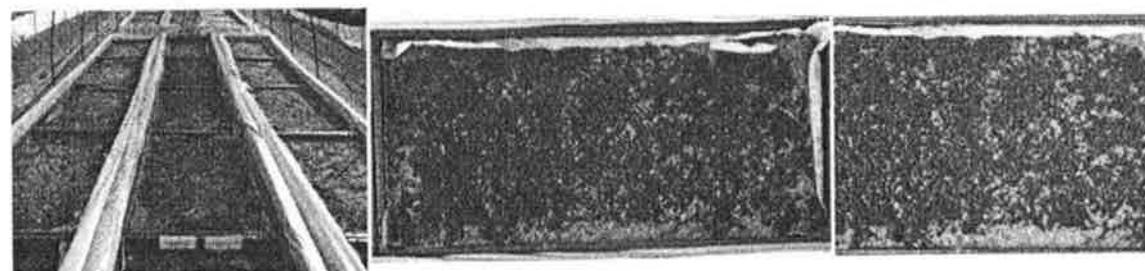


그림 253. 마사토에서의 서리이끼 피복 및 생육상태(5월 입식, 9월 현재 상태)
(무차광 후 8월 15일 이후 35%차광)

(나) 노지재배 관수방법 구명

노지재배에서의 관수방법은 작업관리 노력이 적게 필요하며 균일한 관수를 위해서 물흙통을 이용하는 심지식 저면관수와 관수매트를 이용한 심지식 저면관수가 적합할 것으로 판단되어 두 가지 방법에 대하여 농가 현장실증 연구포장에서 수행하였다. 입식시기는 6월 20일에 하였으며 피트모스와 마사토 두 가지 용토를 이용하여 텃밭이끼에 대하여 검토한 결과 두 가지 관수방법에서 피복물의 차이는 없었으나 관수매트를 이용한 바닥접촉식심지방식에서 생산비용을 절감 할 수 있었다.

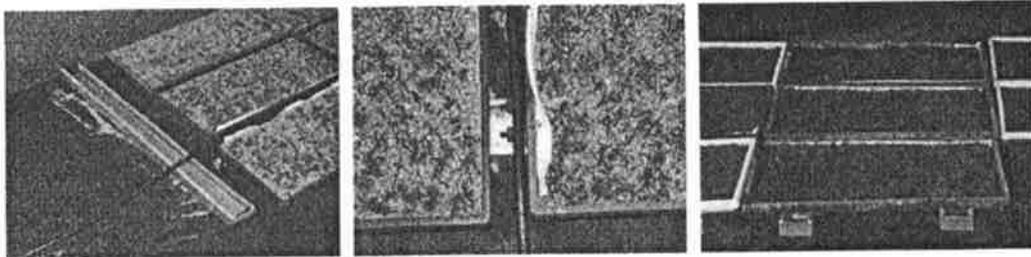


그림 254. 관수방법 1 - 물흙통 이용 심지식 저면관수

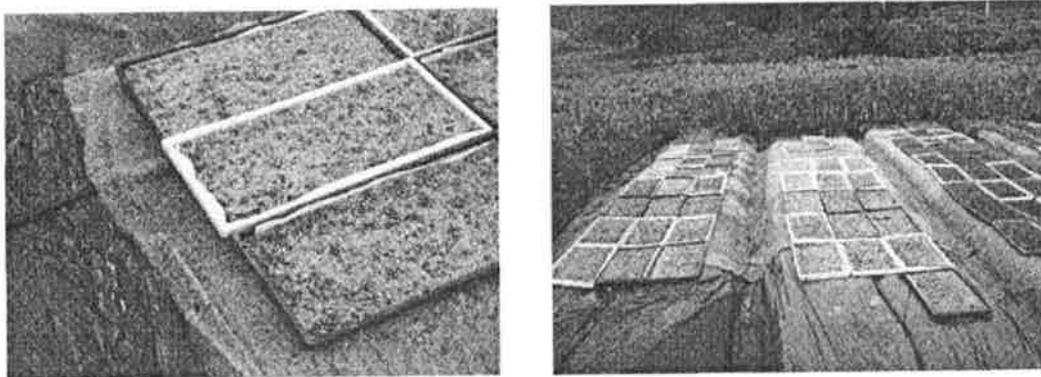


그림 255. 관수방법 2 - 관수매트를 이용한 심지식 저면관수

표 69. 피트모스 용토에서 관수방법 및 입식량에 따른 이끼 생육

(입식 : 6월 10일, 조사 : 10월 2일)

관수방법	입식량 (g)	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초 길이 (mm)	신초폭 (mm)	무게(g) /100cm ²	생산량 (kg/10a)	색 도		
								L	a	b
심 지 식	80	83.0b ⁷	17	16.2	6.5	17.7	873	28.69	-4.51	23.10
	120	90.5a	26	16.7	7.1	19.6	1,054	29.21	-6.32	26.36
바닥접촉	80	84.1b	26	17.1	6.7	19.5	974	20.88	-3.31	16.91
	120	93.2a	33	16.8	7.1	21.4	1,185	33.57	-4.72	28.69

⁷Duncan's multiple range test at 5% level.

표 70. 마사토에서 관수방법 및 입식량에 따른 이끼 생육

(입식 : 6월 10일, 조사 : 10월 2일)

관수방법	입식량 (g)	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초 길이 (mm)	신초폭 (mm)	무게(g) /100cm ²	생산량 (kg/10a)	색 도		
								L	a	b
심 지 식	80	61.2b ²	15	1.8	1.9	15.9	578	29.37	-3.46	23.21
	120	72.9a	26	1.7	2.0	17.7	766	29.80	-4.17	25.61
바닥접촉	80	71.3a	24	1.7	1.7	16.3	690	33.21	-5.70	28.50
	120	72.2a	30	1.8	1.8	18.2	780	34.30	-4.25	28.42

²Duncan's multiple range test at 5% level.

(다) 입식량 및 차광 유무에 따른 이끼의 생육

이끼의 번식에 사용되는 종묘용 이끼 또는 입식용 이끼의 양을 구명하고자 80, 120, 160g의 입식량을 사용하여 털깃털이끼 및 서리이끼는 마사토에서 수행하였으며 물이끼는 백수태를 이용하여 수행하였다. 입식시기는 5월과 8월에 각각 실시하였다.

이끼가 초기 피복률이 좋아야 조류 등의 번식으로 인한 생육장해를 입지 않으며 11월 하순 이후 겨울철 얼었다 풀렸다를 반복하게 되면서 용토의 유실이 함께 일어나게 되며 이끼의 피복이 불균일하게 되므로 8월 이후 입식의 경우는 초기 피복률을 높이기 위하여 입식량을 늘릴 필요가 있다. 또한 서리이끼와 같이 수직으로 영양체를 내리고 생육되는 이끼의 경우 용토의 수분함량이 많으면 침수피해를 받기 쉽고 빠른 생육이 되지 않으면 조류의 번식이 빨라 도태되는 결과를 초래하게 되므로 초기 입식량을 늘려 조기에 증식되도록 하는 것이 좋을 것으로 판단되었다. 실제로 80~160g의 초기입식량을 처리한 결과 120g이상에서 입식 후 1달 이내에 피복도 70% 이상을 유지하는 경향이였다.

그림 256에서와 같이 입식량 80g에서는 피복률이 다소 낮고 생육이 더디지만 120g 및 160g의 입식량에서는 입식 1달 후임에도 피복률이 높고 생육이 양호하며 신초부위의 색상이 연녹색을 띠는 것을 볼 수 있었다. 증식용 모판에 용토를 충전 할 때는 모판당 2ℓ의 용토를 고르게 충전하고 이끼를 고르게 편 다음 복토용 용토를 0.5ℓ를 고르게 피복하여야 피복률이 고르고 생육이 균일한 것을 볼 수 있었다. 그림 12에서 보여지듯이 용토가 불균일하게 충전되거나 복토량이 너무 많게 되면 초기 피복률이 떨어지며 생육이 불균일함을 볼 수 있었다.

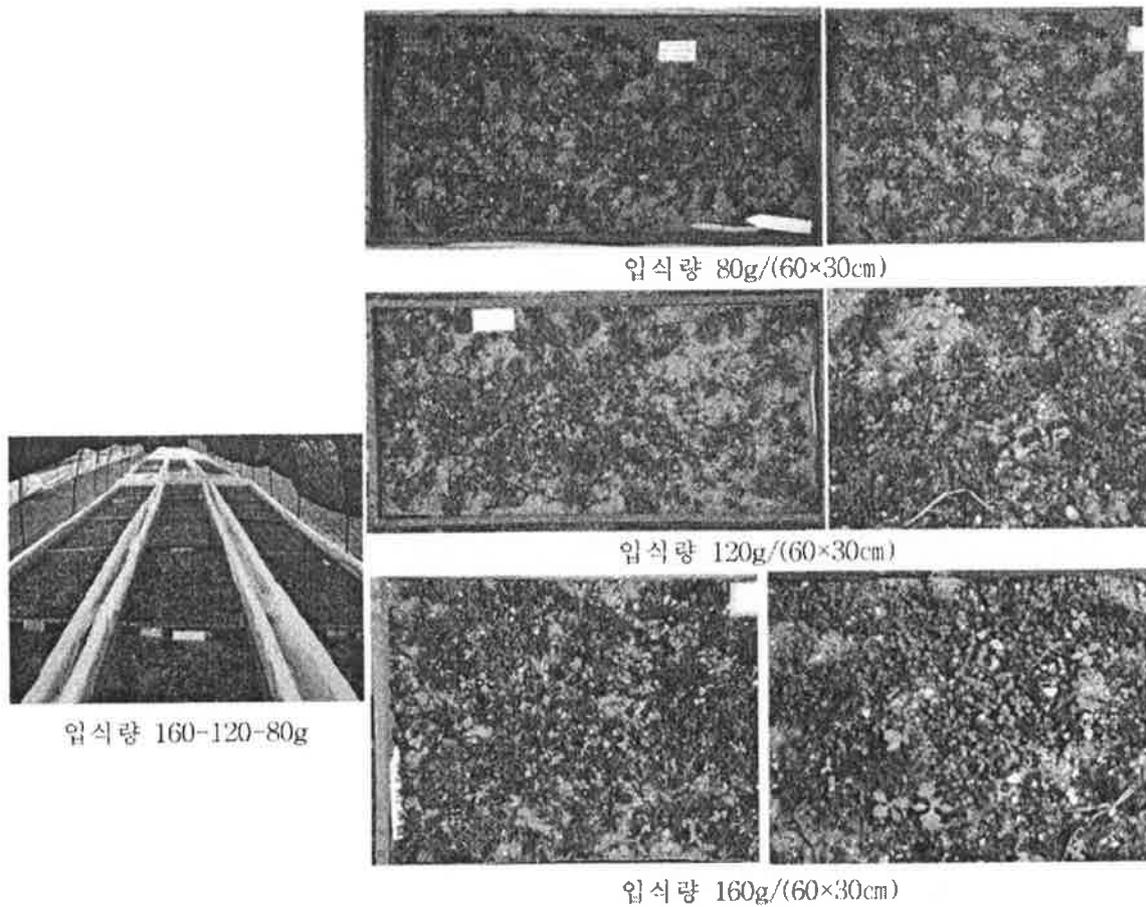


그림 256. 마사토에서의 서리이끼 입식량에 따른 피복 및 생육상태(8월15일 입식, 9월 현재상태, 35%차광)

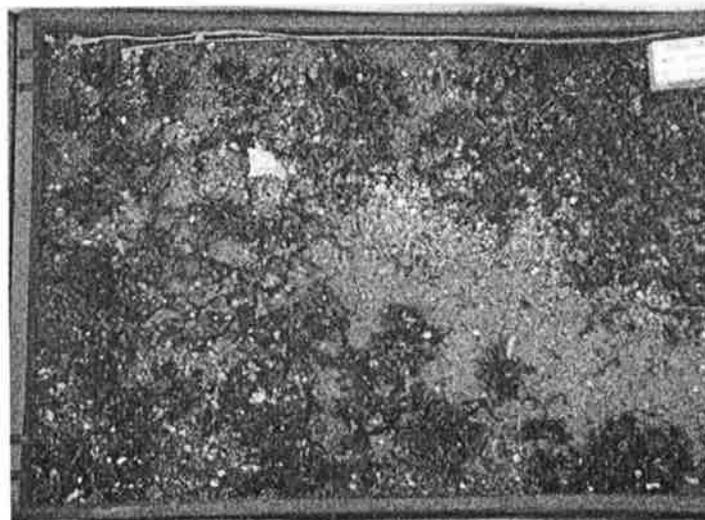
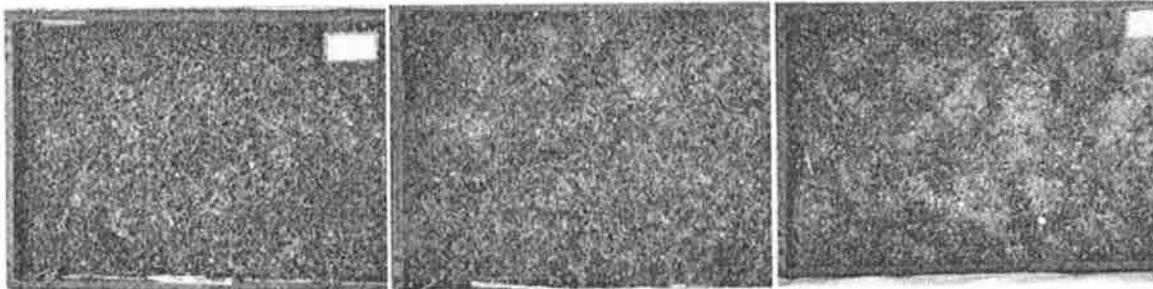


그림 257. 바닥에 충전되는 용토와 복토의 용토량 높이가 균일하지 못할 때 피복 및 생육 불균형 발생 (8월15일 입식 9월 현재상태, 35%차광)



160-120-80g/(60×30cm)

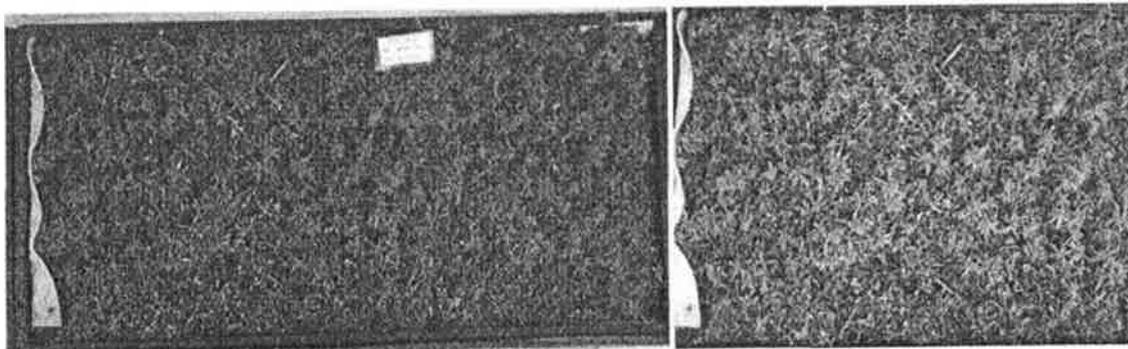


입식량 160g

입식량 120g

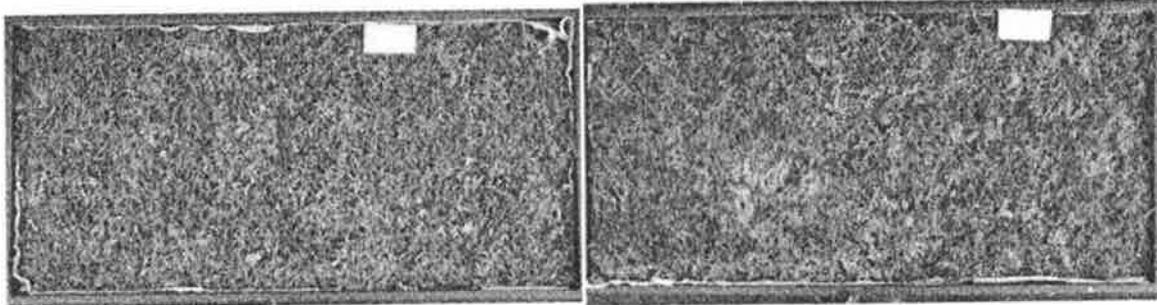
입식량 80g

그림 258. 마사토에서의 털깃털이끼 입식량에 따른 피복 및 생육상태
(8월15일 입식 9월 현재상태, 35%차광)



입식량 160g

입식량 160g



입식량 120g

입식량 80g

그림 259. 물이끼 입식량에 따른 피복 및 생육상태(백수태 배지)
(8월3일 입식, 9월 현재상태, 35%차광)

차광 유무에 따른 이끼의 생육에 있어서는 털깃털이끼의 경우 35% 차광망으로 차광한 처리와 무처리에서의 피복률은 무처리에서 피복률은 약간 높았으나 통계적 유의성은 없었으나 신초수, 단위면적당 무게 등에서 차광처리에서 다소 높게 나타났다. 10a당 생산량은 차광처리에서 다소 높았으나 통계적인 유의성은 없었다. 서리이끼에서도 차광 유무에 따른 피복률의 차이는 인정되지 않았으며 신초수, 단위면적당 무게에 있어서도 털깃털이끼와 같은 경향을 보였다.

입식량에 있어서는 120g이상의 처리에서 털깃털이끼는 75%이상의 피복률을 보였으며 서리이끼는 67%이상의 피복률을 보였다. 10a당 생산성은 초기입식량이 많았던 처리에서 높게 나타났으나 서리이끼에서는 120g이상의 입식량에 따른 차이가 없었다. 따라서 120g 정도의 입식량을 사용하면 생산성이 가장 좋을 것으로 사료 되었다.

표 71. 입식량 및 차광유무에 따른 털깃털이끼의 생육(마사토)

(입식 : 5월 20일, 조사 : 9월 16일)

이끼종류	처 리 내 용		피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)	무게 (g/25cm ²)	생산량 (kg/10a)
	입식량 (g)	차광유무					
털깃털 이끼	80	차광	50c ²	15.0a	11.2	2.4c	285c
		대비	50c	10.7b	9.5	2.2d	261c
	120	차광	75b	14.7a	10.8	3.1b	552b
		대비	83a	12.0b	9.5	2.7c	532b
	160	차광	83a	14.0a	10.8	3.9a	769a
		대비	87a	11.3b	9.4	3.6a	744a
서리이끼	80	차광	57ab	170a	2.1	2.7a	365b
		대비	40b	98c	1.7	2.1c	199c
	120	차광	68a	174a	2.0	2.7a	436a
		대비	67a	139b	1.8	2.4b	382b
	160	차광	70a	151b	2.4	2.6a	432a
		대비	70a	95c	1.9	2.6a	432a

²Duncan's multiple range test at 5% level.

물이끼의 경우는 차광을 하였을 때 피복률이 높고 신초수 및 단위면적당 무게도 무거워지는 경향을 보였다. 차광을 하지 않은 처리에서는 일부가 백화되거나 생육이 둔화되는 것을 볼 수 있었다. 주관연구기관의 물이끼의 생육상태를 볼 때 직사광선이 없고 산란광이 비취지는 장소가 물이끼의 생육이 가장 적합한 곳으로 판단되어진다. 입식량은 160g을 입식하였을 때 피복률이 차광처리에서 78%로 높았으며 차광처리에서 신초수도 많아지는 경향이였다.

표 72. 입식량 및 차광유무에 따른 물이끼의 생육(백수대)

(입식 : 8월 3일, 조사일 : 9/16)

처리 (입식량g)	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)	신초폭 (mm)	무게 (g/25cm ²)
80	차광	65b ^z	15.5b	7.3	4.2
	대비	47c	9.7d	7.2	4.0
120	차광	65b	16.0b	7.2	4.3
	대비	50c	13.7c	7.4	4.1
160	차광	78a	18.0a	7.4	5.1
	대비	70a	20.0a	7.4	4.5

^zDuncan's multiple range test at 5% level.

(2) 논·밭 이용 증식방법

(가) 논재배 방법 구명

이끼의 증식을 위한 용토 및 관수방법 등에 관하여 재배법을 구명한 결과 이끼는 지표면의 습도 및 수분이 유지될 수 있는 조건에서 재배가 가능하며 물이끼를 제외하고 털깃털이끼나 서리이끼의 생육에는 차광을 하지 않아도 생육이 잘 되는 것을 볼 수 있었다. 논, 밭, 휴경지 또는 유휴지에서 재배되기 위해서는 지하수뿐만 아니라 논물과 같은 용수에서의 재배가 가능한지 구명할 필요가 있었다. 따라서 벼의 논 재배를 위한 농업용수와 벼를 재배중인 논의 논물을 표 73과 표 74에서와 같이 분석하였으며 6월 24일에 각각 입식량 120g을 사용하여 농업용수와 지하수를 이용하여 털깃털이끼와 물이끼의 재배시험을 수행하였다.

표 73. 용수의 다량원소 성분

구분	pH	EC (dS/m)	다량원소(mg/l)						
			NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg	SO ₄ -S
농업용수1	6.72	0.23	1.5	0.00	0.00	7.7	19.4	7.2	12.5
농업용수2	6.05	0.24	1.5	0.00	0.00	3.9	22.0	4.8	7.4
논물	7.13	0.36	0.4	0.00	0.00	2.3	33.2	8.3	5.8
지하수	7.49	0.22	2.8	0.00	0.14	1.2	15.0	4.3	1.6

이끼의 논 재배에 사용되어지는 용수로서 농업용수 1과 농업용수 2는 나주시 산포면 산제리의 벼 논 재배에 사용되는 농업용수로서 지점이 다른 2곳의 농업용수이며 논물은 벼를 재배하고 있는 논의 물로서 양분이 많이 있을 것으로 추정되는 농업용수였다.

농업용수 2점과 논물, 지하수를 각각 분석한 결과 전기전도도(EC)는 0.22~0.36dS/m 로 일반적인 지하수 수준의 값을 보였으며 다량원소 및 미량원소에 있어서도 대부분의 성분들은 차이를 보이지 않았으나 논물의 경우 Ca의 함량이 33.2mg/ℓ로 다소 높았고 Fe의 함량도 0.41mg/ℓ로 다른 용수에 비하여 다소 높게 나타났다. 그러나 수경재배에 이용되었던 양액의 농도를 감안 할 때 재배용 용수로는 문제가 없는 것으로 판단되었다.

표 74. 용수의 미량원소 성분

구분	미 량 원 소(mg/ℓ)								
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	HCO ₃	Na	Cl
농업용수1	0.105	0.027	0.046	0.090	0.002	0.002	28.2	9.2	17.8
농업용수2	0.107	0.014	0.065	0.085	0.000	0.002	37.9	8.9	16.7
논 물	0.411	0.048	0.013	0.065	0.000	0.000	21.7	13.4	27.7
지 하 수	0.016	0.002	0.069	0.097	0.073	0.056	60.7	19.3	16.0

이끼 논재배에 사용되었던 농업용수와 지하수를 사용하여 텃밭과 물이끼를 재배한 결과 표 75에서와 같이 용수에 따른 피복률은 통계적으로 차이가 없었으나 지하수를 사용한 재배에서 피복률이 다소 높았다. 생산량에 있어서도 지하수를 사용한 재배에서 다소 높았으나 통계적인 유의성은 없었다. 벼 논 재배용 농업용수는 논 재배에 맞추어 공급되기 때문에 순수하게 농수로 통해 제공되는 농업용수는 8월 이후 공급량이 부족할 때도 있었다. 따라서 지하수 또는 농업용수가 충분히 공급될 수 있는 용수를 사용 하여야 할 것으로 판단되었다.

표 75. 이끼 종류 및 용수에 따른 생육

(입식 : 6월 24일, 조사 : 10월 7일)

이끼 종류	용 수	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초길이 (mm)	신초폭 (mm)	무게(g) /100cm ²	생산량 (kg/10a)	색 도		
								L	a	b
텃밭	농업용수	50a ²	31	16	9.4	16.9	502a	26.47	-1.15	17.51
	지 하 수	64a	30	16	7.7	17.0	646a	29.43	-2.67	20.39
이끼	농업용수	38a	27	8.3	6.1	15.1	341a	30.32	-2.02	17.33
	지 하 수	41a	20	8.1	5.2	16.7	407a	32.88	-4.57	22.79

²Duncan's multiple range test at 5% level.

(3) 수확 후 상품성 유지를 위한 최적 저장조건

이끼의 수확 후 유통 전 저장을 하여 공급량과 수요량의 수급을 조절하기 위하여 저장성을 구명하고자 2010년 7월말 수확된 털깃털이끼와 서리이끼를 각각 모판단위로 450g씩을 펼쳐서 저장시험용 시료를 준비하였고 살균처리는 2세부과제의 2년차 결과를 참조하여 락스 8ml/ℓ를 첨가한 용액을 관주하고 하루정도 그늘에 두어 중력에 의한 수분제거를 한 다음 모판을 PE필름으로 피복하여 수분의 증발을 제한하도록 하여 각각의 저장온도별로 저장고에 80일 저장하였으며 저장고의 습도는 조절하지 않았다.

이끼의 저장전후 중량 감모율은 75~81%의 분포를 보였으며 고사면적은 20℃온도에서는 저장 전 살균처리 하지 않은 처리에서는 털깃털이끼는 78%, 서리이끼에서는 85%로 많았으며 16℃이하에서는 털깃털에서는 55%, 서리이끼에서는 65%이하로 줄어 들었다. 살균처리를 하여 저장하였을 때는 중량 감모율을 약간 감소 시킬 수 있었으며 털깃털이끼에서는 25%, 서리이끼에서는 51%이하로 고사 면적을 줄일 수 있었다. 그러나 상품성을 유지하기 위해서는 살균처리를 하여 16℃이하의 온도에 저장하여야 할 것으로 사료되며 80일정도의 장기저장보다는 30일 이내 단기저장을 하여야 할 것으로 판단되며 서리이끼의 경우는 건조 후 저장하는 방법에 대하여 향후 연구가 되어야 할 것으로 판단되었다.

표 76. 저장온도에 따른 이끼의 변화

(입식 : 8월 10일, 조사 : 11월 3일)

이끼 종류	처 리 내 용		저장후 무게 (g)	중량 감모율 (%)	고사 면적률 (%)	색 도		
	저장 온도 (℃)	살균 유무				L	a	b
털깃털 이끼	8	무	87	81	53c ²	39.26	2.98	20.96
		살균	100	78	24a	41.05	-3.55	23.31
	16	무	105	77	55c	32.36	1.56	19.54
		살균	126	72	25a	32.38	-4.61	23.04
	20	무	94	79	78d	40.74	0.07	22.22
		살균	122	73	33b	38.15	1.46	21.61
서리 이끼	8	무	93	79	65b	29.92	2.54	14.23
		살균	113	75	45a	32.61	1.64	18.04
	16	무	91	80	62b	29.41	3.49	18.43
		살균	104	77	51a	33.23	2.99	20.75
	20	무	95	79	85c	31.94	3.35	16.90
		살균	115	74	65b	34.09	1.02	17.37

²Duncan's multiple range test at 5% level.

※ 저장전 무게 : 450g

3. 현장실증연구

이끼의 농가 대량재배는 털깃털이끼, 서리이끼, 물이끼가 가능 할 것으로 판단되었으나 본 실증연구는 털깃털이끼에 1종에 대하여 수행하였으며 영광군 대마면 성산리에 위치한 농가 유희지를 이용하여 포장을 조성하고 하였으며 입식량 80, 120g 2처리, 입식용토 피트모스, 마사토 2처리와 관수방법 심지식과 바닥접촉식을 실증하였다. 심지식은 C형 강관을 이용하여 모판 밑으로 심지를 내려 저면관수 되도록 하는 물흡통 이용 관수방법을 사용 하였으며 바닥접촉식은 C형 강관을 이용한 물흡통을 사용하지 않고 두둑바닥에 PE필름을 깔고 그 위에 타이푼 등의 점적관수 라인을 설치하고 보온덮개를 이용하여 관수용 매트로 이용하고 모판 심지가 그 위에 접촉되어 수분을 흡수 할 수 있도록 하는 관수방법을 사용하였다. 관수 시간은 오전 10시 전 · 후로 10분, 오후 4시 전 · 후로 10분 정도 관수되도록 타이머를 설치하였다.

표 77. 피트모스 용토에서 관수방법 및 입식량에 따른 이끼 생육

(입식 : 6월 10일, 조사 : 10월 2일)

관수방법	입식량 (g)	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초 길이 (mm)	신초폭 (mm)	무게(g) /100cm ²	생산량 (kg/10a)	색 도		
								L	a	b
심 지 식	80	83.0b ²	17	16.2	6.5	17.7	873	28.69	-4.51	23.10
	120	90.5a	26	16.7	7.1	19.6	1,054	29.21	-6.32	26.36
바닥접촉	80	84.1b	26	17.1	6.7	19.5	974	20.88	-3.31	16.91
	120	93.2a	33	16.8	7.1	21.4	1,185	33.57	-4.72	28.69

²Duncan's multiple range test at 5% level.

관수방법에 따른 이끼의 피복률 및 생육의 차이는 보이지 않았으며 2가지 관수방법 모두 이끼 노지재배에 적합한 관수방법이었다. 다만 C형 강관을 이용한 심지식 관수에서 피트모스를 사용한 모판의 무게가 800g 미만으로 가벼워서 강한 바람에 모판이 날리는 경우가 발생하는 애로가 있었다. 마사토를 이용한 재배의 경우는 피복률이 73%미만으로 피트모스 용토에 비하여 10%정도 낮았으나 노지재배로 생산이 가능한 재배법이었다. 마사토는 굵기가 가늘어 일반 흙정도의 입자가 적합하며 굵기가 1mm이상인 모래와 같은 크기는 이끼와의 초기 밀착이 부족하고 수분공급이 부족하여 피복률이 다소 낮았던 것으로 판단되었다.

입식량 실증시험의 경우는 피트모스 용토에서는 80g을 입식하였을 때 83%이상의 피복률을 보였으며 120g을 입식하였을 때는 90%이상으로 7%정도 피복률 향상을 보였다. 마사토의 경우는 바닥접촉식 관수방법에서는 입식량에 따른 차이를 보이지 않았으나 심지식의 경우는 80g 입식의 경우에서 9%정도 피복률이 낮아졌다.

표 78. 마사토에서 관수방법 및 입식량에 따른 이끼 생육

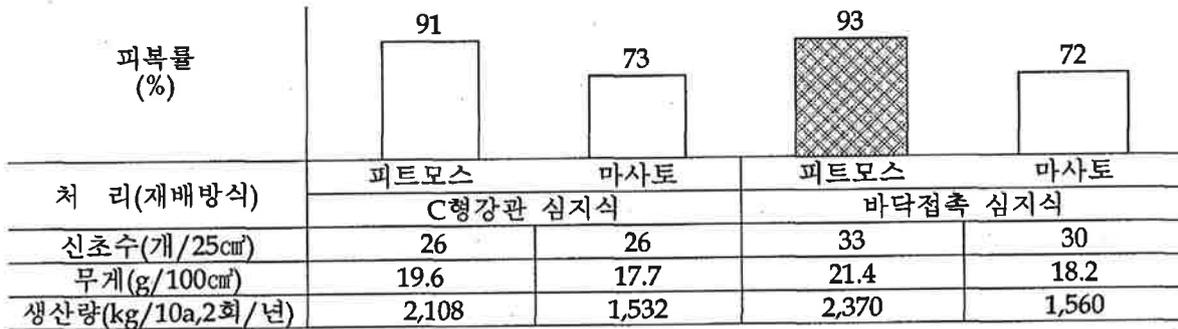
(입식 : 6월 10일, 조사 : 10월 2일)

관수방법	입식량 (g)	피복률 (%)	신초수 (개/25cm ²)	신초 길이 (mm)	신초폭 (mm)	무게(g) /100cm ²	생산량 (kg/10a)	색 도		
								L	a	b
심지식	80	61.2b	15	1.8	1.9	15.9	578	29.37	-3.46	23.21
	120	72.9a	26	1.7	2.0	17.7	766	29.80	-4.17	25.61
바닥접촉	80	71.3a	24	1.7	1.7	16.3	690	33.21	-5.70	28.50
	120	72.2a	30	1.8	1.8	18.2	780	34.30	-4.25	28.42

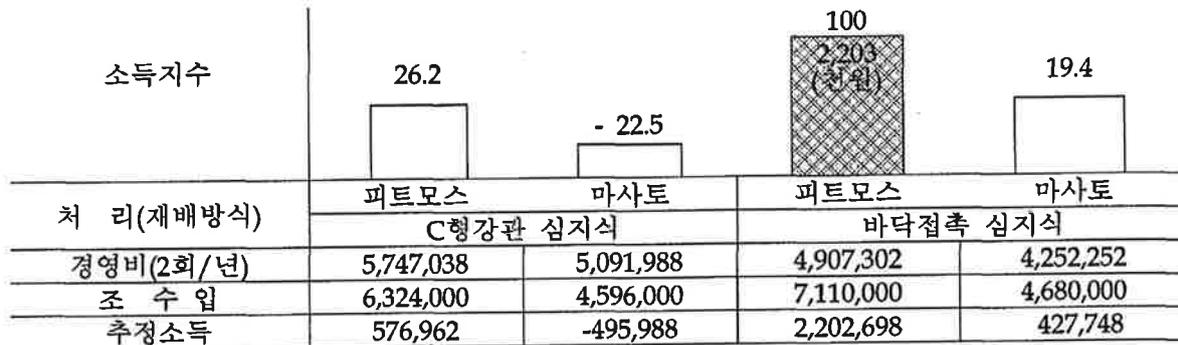
²Duncan's multiple range test at 5% level.

입식용토, 관수방법, 초기 입식량을 고려할 때 생산에 소요되는 경영비를 고려할 때 피트모스 용토에 120g을 입식하여 바닥매트에 접촉시켜 재배하는 방법이 경영비가 적게 소요되고 생산성이 높아 이끼재배가 농가 소득에 도움이 될 것으로 판단되었다. 현재 이끼의 판매단가는 공식적으로 결정되어있지는 않으나 kg당 단가를 3,000원으로 하고 4월과 8월 2번 입식하여 재배 하였을 때 이끼재배가 농가소득을 위한 재배로 가능 하였다.

○ 재배방법에 따른 털깃털이끼의 피복률 및 생산량 ('10)



○ 재배방법에 따른 털깃털이끼의 추정 소득지수 ('10)



* 이끼 판매단가 : 3,000원/kg 적용

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표 달성도

구분	연도	세부연구목표	평가의 착안점 및 기준	달성도
1차 연도	일송 환경 복원 (주)	○이끼를 이용한 옥상녹화 시스템 개발	- 건생이끼를 이용한 일반형 옥상녹화 제품 개발(이끼매트) - 습생이끼를 이용한 저류형 옥상녹화 제품 개발	100
			[추가] 재배 및 증식을 위한 대량 생산 시스템 구축 - 유리 온실내 재배 시스템 구축	100
	순천 대학교	○산업화 유망 이끼류 선발 및 생물자원 확보	- 국내외 이끼 생물자원 탐색 및 확보 - 국내외 물이끼(sphagnum) 생물자원 확보	100
		○선발 이끼류의 대량증식기술 개발	- 선발 이끼류의 포자이용 대량번식 조건 규명	100
	전남 농업 기술 원	○수경재배 배지 및 양액구명	- 용토별 생육특성 및 양액농도 구명	100
		○최적 재배조건 및 관리방법 구명	- 관수방법에 따른 증식효율 규명	100
○영양번식체를 이용한 최적 식재 방법 개발		- 관리 노동력 절약형 식재방법 구명	100	
2차 연도	일송 환경 복원 (주)	○수직벽체에 적용가능한 이끼녹화 시스템 개발	- 수직면에 적용 가능한 이끼 식생판 개발 및 현장적용 - 다양한 디자인 연출 가능성 검토	100
		○옥상 및 인공구조물 적용 가능한 제품개발	- 기 개발제품의 다양한 현장적용 및 모니터링 - 개발된 제품에 대한 검증 및 보완	100
			[추가] 재배 및 증식을 위한 대량 생산 시스템 구축 - 비닐하우스내 재배 시스템 구축 - 노지 재배 시스템 구축	100
	순천 대학교	○선발 이끼류의 대량증식기술 개발	- 물이끼류 영양번식체 제조기술 개발	100
	전남 농업 기술 원	○식물공장형 재배시스템을 이용한 재배환경 구명	- 광, 온도, 습도에 따른 생육 규명	100
		○수경재배 시스템을 이용한 이끼 생산기술	- 초기입식방법 및 양액조성 규명	100
		○노지재배를 위한 재배환경 구명	- 광질 및 차광정도별 생육특성 규명 - 수입용토 대체 국내산 용토 선발	100

구분	연도	세부연구목표	평가의 착안점 및 기준	달성도
3차 연도	일송 환경 복원 (주)	○단위 모듈형 경사면 녹화시스템 개발	- 경사면에 적용 가능한 단위모듈 개발	100
		○대량생산 농가 실증실험	- 전남농업기술원에서 실행	100
		○실내에 적용가능한 제품 개발	- 실내벽면에 적용가능한 제품 개발	100
			[추가] 재배 및 증식을 위한 대량 생산 시스템 구축 - 노지재배 시스템 구축	100
	순천 대학 교	○선발 이끼류의 대량증식기술 개발	- 물이끼류 대량재배기술 개발 - 건생 이끼류의 매트 seedling 제조기술 개발	100
	전남 농업 기술 원	○수경재배 이끼생산 기술확립	- 수경재배 최적 생산 메뉴얼화	100
		○노지재배 연중생산 작부체계	- 노지재배 최적 생산 메뉴얼화	100
		○생산방법 농가 실증연구	- 휴경 논·밭 이용 생산 실증	100
		○수확 후 상품성 유지 및 유통방법 개발	- 이끼 저장 유통기술 개발	100
	최종 평가	일송 환경 복원 (주)	○이끼류의 고부가 제품 및 실용화 기술개발(육상녹화 및 벽면녹화, 경사면 녹화 시스템 및 제품개발)	- 시제품 생산
			[추가] 대량 증식 시스템 구축 - 비닐하우스내 증식시스템 구축 - 노지 증식시스템 구축	100
순천 대학 교		○산업화 유망 이끼류 선발 및 생물자원 확보	- 산업화 유망 건생 및 물이끼 선발	100
		○선발 이끼류의 대량증식기술 개발	- 이끼류 번식체 제조기술 개발 - 물이끼류 대량 재배기술 개발	100
전남 농업 기술 원		○수경재배 이끼생산 체계	- 수경재배 이끼생산 메뉴얼	100
		○노지재배 이끼 연중생산 체계	- 노지재배 이끼생산 메뉴얼	100

제 2 절 연구개발 미비점 보완 진행상황 및 관련분야의 기술발전예의 기여도

계획대비 연구개발목표는 거의 대부분 달성된 상태이다. 우선 수입 대체 효과가 높으면서 쌀 대체 작물로서 가장 가능성이 높은 물이끼의 경우 제주에서 국내 자생 물이끼(Sphagnum palli)를 선발하였으며 다른 종보다 월등히 높은 생물량(biomass)을 지니고 있다. 또한 산업화 유망 이끼로 나무이끼와 솔이끼를 국내 자생종에서 선발하였으며 이들 이끼들의 대량번식체 제조 방법과 대량재배 방법 개발이 완료되었고, 실제 현장 실증 실험이 진행되고 있어 2011년 하반기에 농가 보급 및 활용에 대한 최종 결론을 도출할 수 있을 것으로 기대된다. 최근 다양한 분야에서 수요가 증가하고 있는 이끼의 대량인공재배를 위한 기반 기술이 확립되어, 이끼 자원의 무분별한 남획을 방지함으로써 국내 생물종 유지에 기여할 것으로 기대되며, 기후변화 대응기술나 신재생에너지 활용 기술에 까지 이끼의 활용을 고려할 수 있을 것으로 기대된다.

특히 이끼의 인공번식체 대량기술을 독자적으로 개발함으로써, 기존의 일본 특허로 인해 산업화의 걸림돌이 해결된 상태라고 할 수 있으며, 효율면이나 경제성 면에서 일본 특허 기술보다 월등히 나은 자체 기술을 확보하게 된 점은 국내 이끼 생물 자원의 산업화에 크게 기여할 것으로 생각된다. 유럽이나 남미, 북미에서 습지 보전과 물이끼의 산업화를 위해 물이끼를 채취하는 산업에서 재배하는 산업으로 전환되고 있는 시점에서 향후 물이끼의 국내 자체 생산이 반드시 필요한 상황이며, 이러한 국내외 상황 변화에서 본 연구 개발은 국내 이끼 산업화를 촉진시키면서 새로운 농가 소득원으로 성장할 수 있을 것으로 예상된다.

특히 모스페블(moss pebble)를 이용한 옥상녹화 및 벽면녹화는 지구 온난화, 도시의 열섬현상, 도시 경관생태학적 필요성과 같은 도시환경문제 해결책을 제시할 것으로 기대되며 조경분야에서의 이끼사용을 촉진시킬 것으로 판단된다.

또한 개발된 모스페블(moss pebble) 및 실내용 제품에는 다양한 이끼가 사용되어질 수 있으므로 특정 이끼가 아닌 다양한 이끼의 재배 및 사용을 유발할 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 개발된 핵심기술 및 활용계획

1. 모스페블(moss pebble) - 자갈형태의 이끼 모듈

- 활용분야 : ① 조경용 및 건축용 소재
 - 인공지반 및 자연지반에의 이끼를 이용한 녹화
 - 수직면(건물벽면, 방음벽 등) 및 경사면에 적용 가능한 녹화
- ② 인테리어 및 이끼 원예 제품
- 활용유형 : 특허 및 디자인 등록, 산업체 기술 이전, 국내외 판매
- 활용계획 : 주관연구기관이며 참여기업인 일송환경복원(주)에 기술 이전하여 사업화 예정
국외(일본, 미국 등)진출을 통한 제품 수출 예정

2. 저류형 옥상녹화 모듈

- 활용분야 : 옥상녹화, 조경용 소재
- 활용유형 : 참여기업(일송환경복원(주)) 기술이전
- 활용계획 : 주관연구기관이며 참여기업인 일송환경복원(주)에 기술 이전하여 사업화 예정

3. 실내용 이끼모듈 제작 기술

- 활용분야 : 실내 인테리어, 원예용 제품
- 활용유형 : 참여기업(일송환경복원(주)) 기술이전
- 활용계획 : 주관연구기관이며 참여기업인 일송환경복원(주)에 기술 이전하여 사업화 예정

4. 이끼류의 대량번식체 제조 기술

- 활용분야 : 이끼 재배, 신규 천연물 활용 분야
- 활용유형 : 특허 출원, 산업체 기술 이전
- 활용계획 : 이미 국내 특허를 출원한 상태이며, 주관기관인 일송환경 이외에도 안정적인 생이끼가 요구되는 인삼 유통 업체들에게 기술 이전 상담이 진행 중에 있음.

5. 이끼류의 대량재배 기술

- 활용분야 : 이끼 재배, 생이끼 활용 산업, 신규 천연물 활용 분야
- 활용유형 : 특허 출원, 산업체 기술이전
- 활용방안 : 이미 국내 특허를 출원한 상태이며, 주관기관인 일송환경 이외에도 안정적인 생이끼가 요구되는 인삼 유통 업체들에게 기술 이전 상담이 진행 중에 있음.

제 2 절 사업화 일정 및 계획

- 모스페블은 현재 다양한 크기와 재질, 여러 가지 방식으로 제작되어지고 있다. 일송환경복원(주)는 모스페블 생산과 함께 여기에 사용되어질 이끼를 노지 및 비닐하우스에서 재배 중에 있다. 기술이전 완료와 함께 본격적인 사업화가 진행될 것이며, 각종 조경 설계에 반영할 예정이며, 매체 및 전시회 출품을 통해 각종 제품을 홍보할 예정이다.
- 수작업으로 제작되어지는 실내용 제품의 경우 2011년에는 추가적으로 대량 생산이 가능한 제품으로 개발될 예정이다.
- 「이끼류의 대량번식체 제조 기술」과 「이끼류의 대량재배 기술」은 연구 종료 시점에 이미 이끼 산업화를 위한 안정적 이끼 재배 및 공급 기반 기술로 확립되어 특허 출원이 된 상태이며, 몇몇 업체들과 기술이전이 논의되고 있어 향후 1-2년 이내에 사업화에 차질이 없을 것으로 여겨진다. 특히 건생이끼 매드 seedling 시제품에 대한 현장 검증이 완료되며, 산업체 뿐만 아니라 일반 가정용 원예 식물로서 사업화가 가능하기 때문에 이에 대한 사업 파트너 물색과 마케팅 및 홍보 작업을 자체적으로 추진할 계획이다.

제 3 절 추가 기술 개발 방안

본 연구에서 개발된 기술을 바탕으로 보다 다양한 용도로 필요로 하는 이끼 종들을 선별하여 대량 재배시스템을 개발함으로써 향후, 실제 조경, fancy 제품 개발, 이끼 유래 기능성 천연물 발굴, 기후변화 대응 기술, 바이오에너지 개발 등으로 확대함으로써 본격적인 이끼 생물자원 활용 산업화를 추진하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

제 4 절 산업화 유망 이끼 재배 기술 농가 보급 방안

쌀 농사를 대체할 작물을 고려 중인 농가와 임산물 생산 농가 (장뇌삼, 인삼, 버섯)를 대상으로 새로운 이끼 대량재배 방법 보급과 신규 종들의 발굴을 본 연구과제 협동기관인 전남농업기술센터와 공동으로 추진할 계획이다. 이를 위해서 우선 개발된 기술을 소개할 소책자 매뉴얼 제작하여 배포하고, 시범 재배단지를 운영함으로써 농민들의 관심과 참여를 유도할 계획이며, 경제성 분석과 향후 이끼 수요에 대한 객관적인 자료도출을 통하여 이끼의 산업화 가능성에 대한 적극적인 홍보를 실시하고자 한다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- 물이끼 주요 생산국이며 수출국인 북미(캐나다)와 유럽 국가들이 습지 보전을 위해 무분별한 물이끼 채취를 금지하기 시작하였으며, 이들 국가에서도 물이끼의 대량재배 방법 개발에 착수한 상태
- 유럽연합에서 모든 화장품과 식품에 들어가는 인공 방부제에 대한 사용 규제를 실시하고 있으며, 식물 유래 천연방부제 개발이 절실하게 요구되고 있는 상황에서, 물이끼의 잠재적 활용 가능성에 대한 기대치가 높아지고 있음.

제 7 장 참고문헌

- Alain V. and G. 2009. Bernard. Introduction to bryophytes. Cambridge University Press.
- Andreas K.A. and N.G.A. Ekelund. 2006. Effects on growth, photosynthesis and pigments of the freshwater moss *Fontinalis antipyretica* Hedw. after exposure to wood ash solution. *Sci. Total Environ.* 372:236-246.
- Aro, E., A. Gerbaud A., and M. Andre. 1984. CO₂ and O₂ exchange in two mosses, *Hypnum cupressiforme* and *Dicranum scoparium*. *Plant Physiology* 76:431-435
- George S. 2007. Moss gardening: Including lichens, liverworts, and other miniatures. Timber press, Inc.
- Magdalena B. and Perrod P.-F. 2009. Tip growth in the moss *physcomitrella patens*. *Annual Plant Reviews.* 36:143-166.
- Peck J. and M. Bruce. 1998. Commercial moss harvest in northwestern Oregon: biomass and accumulation of epiphytes. *Biological Conservation.* 86:299-305.
- 김미순, 박인근 2002. 교재식물로서의 아기덩굴초롱이끼의 활용. *과학교육연구논총* 18(2): 39-47.
- 남정환, 조인숙, 김수정, 남춘우, 서종택, 유동립, 김원배, 유승열, 이용호, 김민영, 유영민, 박희준, 정현주. 2008. 끈은 나무 이끼(*Climacium dendroides*)의 식물 화학적 성분연구. *J. Kor. Soc. Appl. Biol. Chem.* 51(2):136~141.
- 남춘우, 유동립. 2007. 나무이끼의 물관리를 통한 적정번식 및 최적재배 조건. *고령지농업연구소 영농활용자료*
- 남춘우. 2001. 산업화가능한 이끼류 선발. *고령지농업연구소 영농활용자료*
- 남춘우. 2005. 나무이끼의 삼목 번식기술. *고령지농업연구소 영농활용자료*
- 남춘우. 2006. 자생이끼류의 신소득작물화 연구. *고령지농업연구소 시험연구보고서*
- 남춘우. 2007. 털깃털이끼의 적정 번식기술. *고령지농업연구소 영농활용자료.*
- 농진청. 2009. 지피식물 이용하면 공기정화 효과 좋아져. *수원일보.*
- 서종택, 남춘우. 2006. 나무이끼 적정 시비조건 및 투명용기 재배기술. *고령지농업연구소 영농활용자료*
- 서종택. 2007. 솔이끼 모판 재배용 배지 선발. *고령지농업연구소 영농활용자료.*
- 유동립, 남춘우, 김수정, 이춘구. 년도. 나무이끼 성장촉진을 위한 성장조절제 처리효과. 제6회 오송국제바이오심포지엄·제2회 한국식물과학협의회 공동국제심포지엄. p. 371
- 이점숙, 임병선, 임현빈. 1994. 산성강하물이 털깃털이끼(*Hypnum plumaeforme*)의 질산 환원효소와 광합성에 미치는 영향 *Korean. J. Ecol.*17(1): 69~78.
- 천미희, 손희정, 김철. 2007. 유류오염토양에서 유류분해 미생물의 분리 및 Peat moss를 이용한 오염토양 처리에 관한 연구. *한국환경보건학회지* 33(5):462~469.
- 홍성구. 2000. 이끼의 농지보전공학적 의의. 2000년도 한국농공학회 학술발표회 논문집. p. 78