

「충남 이끼클러스터 조성 기본구상」

세미나 자료집

- (일시) 2024. 5. 28.(화) 14:00~16:00
- (장소) 충남연구원 대회의실(4층)
- (참석대상) 약 20명(도, 충남연구원, 국립생태원, 경기관구원, 대학, 기업 등)
- (주최/주관) 충청남도 / 충남연구원

충남 이끼클러스터 조성 기본구상 세미나 개최계획

- ❖ 탄소흡수원으로서의 이끼를 재조명하고 이끼 연구 및 산업화를 위한 충남 여건 및 한계, 그간의 추진사례 공유 등 전문가 의견수렴을 통해 클러스터 조성 방안을 마련코자 함.

□ 세미나 개요

- (일시/장소) 2024. 5. 28.(화) 14:00~16:00 / 충남연구원 대회의실(4층)
- (참석대상) 20여명(도, 충남연구원, 국립생태원, 경기연구원, 대학, 기업 등)
- (주최/주관) 충청남도 / 충남연구원
- (주요내용) ①이끼 연구방향 및 산업화 전망(코드오브네이처), ②이끼 클러스터, 왜 충남인가?(충남연구원), ③전문가 자문 및 토론

□ 진행순서

시 간	소요	내 용		비 고
14:00 ~ 14:05	'5	• 참석자 소개		사회자 * 충남연구원 이민정 박사
14:05 ~ 14:10	'5	• 인사말씀		道 구상 기후환경국장
14:10 ~ 14:30	'20	주제 발표	① 이끼 연구방향 및 산업화 전망	(주)코드오브네이처 박재홍 대표
14:30 ~ 14:50	'20		② 이끼클러스터, 왜 충남인가?	충남연구원 사공정희 박사
15:00 ~ 15:10	'10	• 휴식		
15:10 ~ 15:50	'40	• 전문가 자문 및 토론		사회자
15:50 ~ 15:55	'5	• 정리		사회자
15:55 ~ 15:57	'2	• 마무리 말씀		道 구상 기후환경국장
15:57 ~ 16:00	'3	• 폐회		사회자

참고 1

참석자 세부 현황

○ 기관별 참석자 현황

구 분	직 책	성 명	비 고
도 (2)	기후환경국장	구 상	
	기후환경정책과장	여운성	
충남연구원 (5)	공간환경연구실 책임연구원	사공정희	
	경제산업연구실 연구위원	홍원표	
	경제산업연구실 선임연구위원	김양중	
	경제산업연구실 연구위원	이민정	
	공간환경연구실 연구원	백승희	
국립생태원 (1)	생태조사연구실 선임연구원	최승세	
경기연구원 (1)	기후환경연구실 선임연구위원	이양주	
건국대학교 (1)	사회환경공학부 특임교수	정권	
호서대학교 (2)	산학협력단 연구팀장	전수정	
	생명공학과 교수	이상국	
공주대학교 (1)	산림과학과 교수	어수형	
협회 (1)	한국이끼산업경제협회 이사	편창선	
기업 (2)	(주)코드오브네이처 대표	박재홍	
	파코바이오앤그린(주) 이끼연구소 이사	김한상	

〈주제발표 1〉

이끼 연구방향 및 산업화 전망

(주)코드오브네이처 박재홍 대표

충남 이끼클러스터

기본 구상 세미나

박재홍 | Hong@C-of-N.com | 010-5913-4262



충남 이끼클러스터 조성 기본 구상 세미나

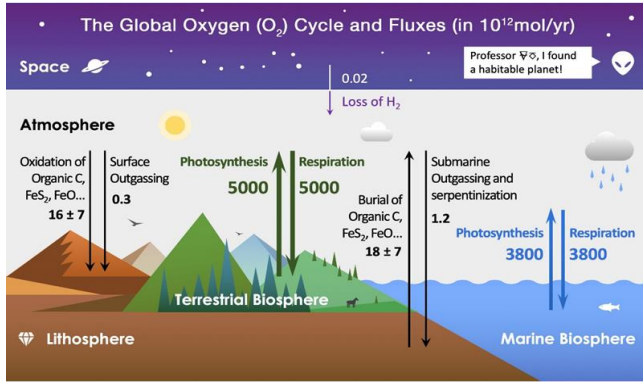
개요 충청도청-이끼클러스터 조성 개요

- 농가, 산업, 학술(연구) 3박자를 고루 갖춰 이끼 가치 재조명 및 이끼산업 선도를 목표로 함
- 이끼 재배 Profile 누적을 통해 학습하는 정보에 기반하여 지표를 구축, 산업 발전 예측 및 분석



연구제안1 탄소흡수원, 이끼

- 이끼가 가지고 있는 탄소 격리 및 호흡역할 조명
- 정량적인 탄소흡수원으로서의 가치 측정 및 객관적 지표 정립



탄소 순환 모델

지구에는 약 $32 \times 10^{23}g$ 의 탄소가 포함되어 있음

지구 탄소순환의 가장 큰 흐름은 대기 중의 이산화탄소와 육지의 식생과 바다를 연결하는 흐름

대기 중 이산화탄소는 지각에서 암석 풍화를 일으키고 해양과의 상호작용으로 바다 속으로 이동한 뒤, 탄산염으로 다시 지각에 저장

이후 인위적 요인으로 인해 토양에 저장된 탄소가 배출. 반대로 식생은 이렇게 배출된 이산화탄소를 흡수하며 대기 중 이산화탄소 농도를 일정 수준까지 유지

연구제안1 탄소흡수원, 이끼

- 이끼가 가지고 있는 탄소 격리 및 호흡역할 조명
- 정량적인 탄소흡수원으로서의 가치 측정 및 객관적 지표 정립

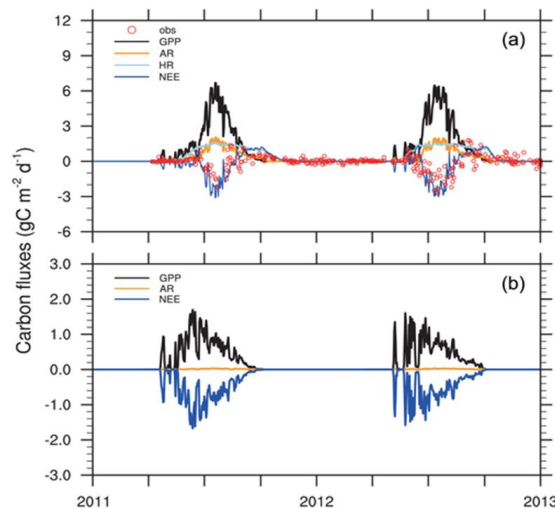


Fig. 2
Seasonal variations of the simulated ecosystem (a) and moss (b) carbon fluxes over the two years (2011–2012). The simulated net ecosystem exchange (NEE) including the influence of moss fluxes was compared with the daily observational records obtained at Tiksi International Hydrometeorological Observatory site, 1 km from the study site.

연구제안1 탄소흡수원, 이끼

- 이끼가 가지고 있는 탄소 격리 및 호흡역할 조명
- 정량적인 탄소흡수원으로서의 가치 측정 및 객관적 지표 정립

1 이끼 종류별 토양 탄소저장량 개선 능력 비교분석

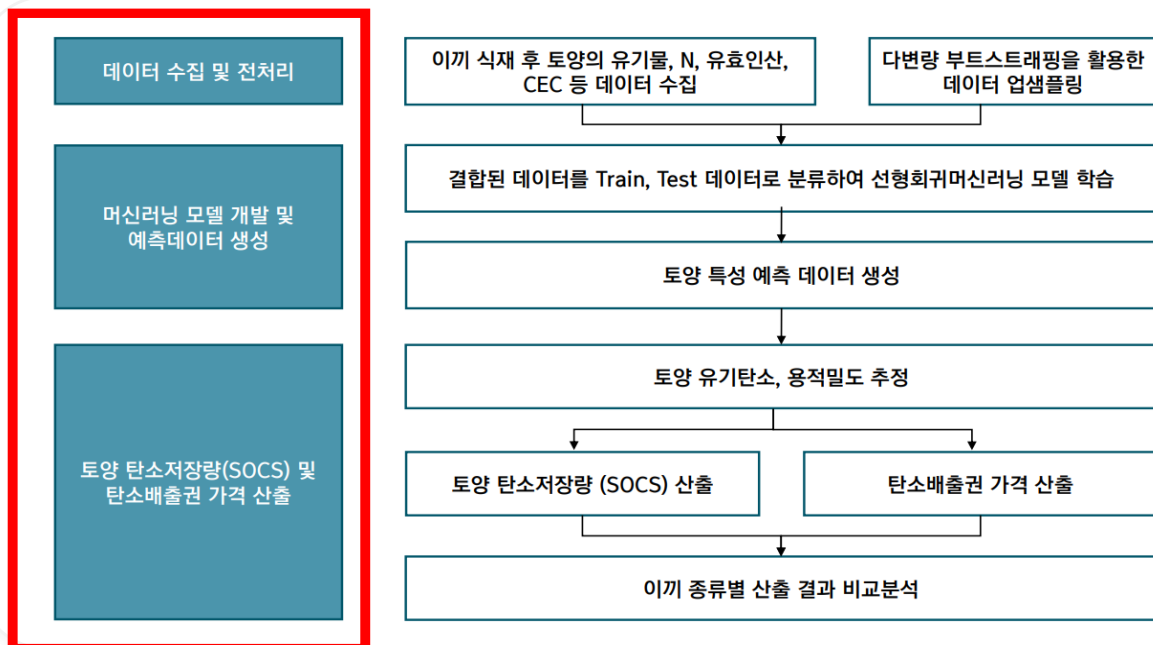
2 이끼의 탄소 격리 및 저장 능력과 경제적 가치를 탄소배출권 형태로 추정

3 머신러닝을 활용한 SOCS 및 탄소배출권 가격 예측모델 개발 및 검증

- ✓ 이끼가 토양 탄소 흡수 및 저장에 어떤 영향을 미치는가?
- ✓ 탄소 격리 및 저장 부문에서 이끼의 경제적 가치는 얼마인가?

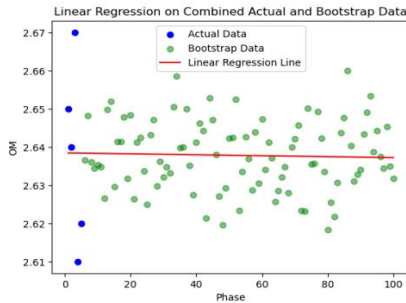
연구제안1 탄소흡수원, 이끼

- 이끼가 가지고 있는 탄소 격리 및 호흡역할 조명
- 정량적인 탄소흡수원으로서의 가치 측정 및 객관적 지표 정립

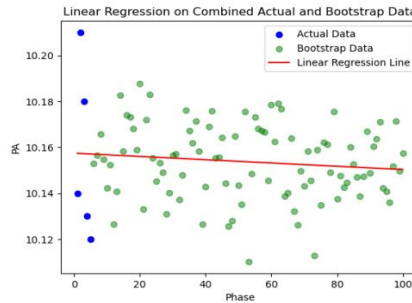


연구제안1 탄소흡수원, 이끼

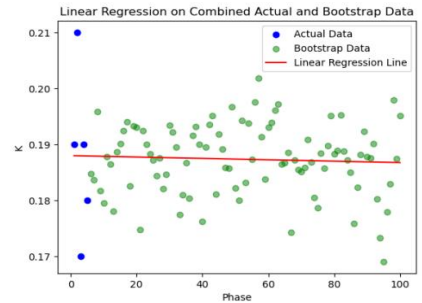
- 이끼가 가지고 있는 탄소 격리 및 호흡역할 조명
- 정량적인 탄소흡수원으로서의 가치 측정 및 객관적 지표 정립



모델학습 결과 (유기물)



모델학습 결과 (유효인산)



모델학습 결과 (치환성 K)

- 부트스트래핑을 통해 데이터의 양을 늘렸지만, 검증할 수 있는 실제 데이터의 양이 부족하여 과적합을 방지하고자 단순한 회귀 모델로 학습 (선형회귀모델)

연구제안1 탄소흡수원, 이끼

- 이끼가 가지고 있는 탄소 격리 및 호흡역할 조명
- 정량적인 탄소흡수원으로서의 가치 측정 및 객관적 지표 정립

Step 1. 유기물데이터로 SOC, 용적밀도 추정

$$OM = OC \times 1.724$$



$$OC = OM \times 0.58$$

($1/1.724 \approx 0.58$)

유기탄소 추정식 (Van Bemmelen factor)

OM (%) : 유기물 (Organic matter)
OC (%) : 유기탄소 (Organic carbon)

$$\rho_b = 1.3863 \times e^{-0.0446 \times OM}$$

용적밀도 추정식

ρ_b (g/m^3) : 용적밀도
 e : 자연상수
OM (%) : 유기물 (Organic matter)

- 측정된 토양 특성 데이터 중 유기물 함량(OM)으로 SOC 추정
- 일반적으로 SOC는 토양 유기물의 약 58% (Van Bemmelen factor)

- 측정된 토양 특성 데이터 중 유기물 함량(OM)으로 용적밀도 추정
- 한국과학기술부에서 제시한 용적밀도 추정식 사용

연구제안1 탄소흡수원, 이끼

- 이끼가 가지고 있는 탄소 격리 및 호흡역할 조명
- 정량적인 탄소흡수원으로서의 가치 측정 및 객관적 지표 정립

Step 2. SOC 축적량 계산

$$SOCS = SOC \times \rho_b \times D \times 10,000$$

토양 유기탄소 축적량(SOCS, Soil Organic Carbon Stock) 계산식

SOCS (tC/ha) : 토양 유기탄소 축적량 (Organic matter)
SOC (%) : 토양 유기탄소 (Soil organic carbon)
 ρ_b (g/m³) : 용적밀도
D (m) : 토양 깊이

- 헥타르당 토양 유기탄소 축적량(톤)을 구하기 위해 다음 계산식 사용
- 다양한 계산식이 존재하지만, 제한된 데이터로 계산하기 위해 간단한 계산식으로 추정함
- 추후 토양의 물리적 특성 데이터가 수집된다면 더 정확한 계산식 사용 가능
(예. Volumetric coarse fragment content 등)

연구제안1 탄소흡수원, 이끼

- 이끼가 가지고 있는 탄소 격리 및 호흡역할 조명
- 정량적인 탄소흡수원으로서의 가치 측정 및 객관적 지표 정립

Step 3. SOCS를 이산화탄소 상당량 톤(tCO₂-eq) 으로 환산

$$tCO_2\text{-eq} = SOCS \text{ (tC/ha)} \times 3.67$$

이산화탄소 상당량 톤 (Tonnes of CO₂ Equivalent) 계산식

tCO₂-eq : 이산화탄소 상당량 톤 (Tonnes of CO₂ Equivalent)
SOCS (tC/ha) : 토양 유기탄소 축적량 (Organic matter)

〈 참고 : 배출권의 단위 〉

□ 배출량 - 배출권 환산

- 온실가스 배출량을 영 별표 2에 따른 지구온난화 계수에 따라 이산화탄소상당량톤(tCO₂-eq)으로 환산하고, 1 이산화탄소상당량톤(tCO₂-eq)은 1 배출권(KAU)으로 환산 (영 제23조 제1항)
- 외부사업 온실가스 감축량은 1 이산화탄소상당량톤(tCO₂-eq)을 1 상쇄배출권(KCU)으로 전환 (영 제38조 제2항)

□ 배출권 단위의 영문표기

- 배출권(또는 할당배출권) : KAU(Korean Allowance Unit)
- 상쇄배출권 : KCU(Korean Credit Unit)

※ 1 이산화탄소상당량톤(tCO₂-eq) = 1 KAU = 1 KCU

환경부, 국가 배출권 할당계획, 2018, p.15

- 토양 복원을 통해 달성된 탄소 저감 효과를 이산화탄소 배출량으로 표현하여 탄소 시장에서 거래하기 위해 환산식 적용
- 탄소와 이산화탄소 사이의 질량관계 이용
- 탄소의 원자량 12u, 이산화탄소 분자량 44u → 탄소1톤을 이산화탄소로 환산 시 약 44/12 (3.67) 톤
(출처 - 미국 EPA 온실가스 등가 계산)

연구제안1 탄소흡수원, 이끼

- 이끼가 가지고 있는 탄소 격리 및 호흡역할 조명
- 정량적인 탄소흡수원으로서의 가치 측정 및 객관적 지표 정립

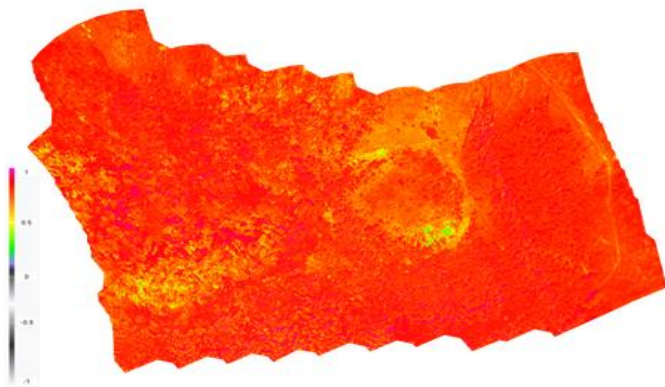


털깃털이끼 10cm 유기물 예측 값(Phase 100까지)의 Carbon Credit Price 계산 알고리즘 적용 결과

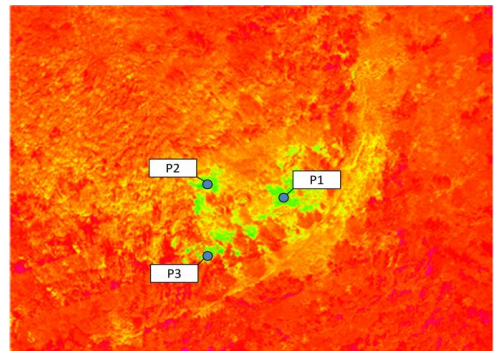
- 토양의 화학적 특성 데이터 입력 시 SOCS, tCO₂-eq, Carbon Credit Price 등의 데이터 예측 및 시각화 가능
- 추가적인 데이터 수집 후 보다 정확한 결과 도출 및 탄소배출권 거래 인증 예정

연구제안2 자생, 생육 가능 환경 DATA

- 국내에서 주로 재배/육종되는 이끼를 대상으로 최적화된 환경 및 자생 정보 확보
- 누적 학습된 품종 Profile과 기 측정된 정보에 기반하여 입력된 평가 지표를 바탕으로 결과 예측 및 분석



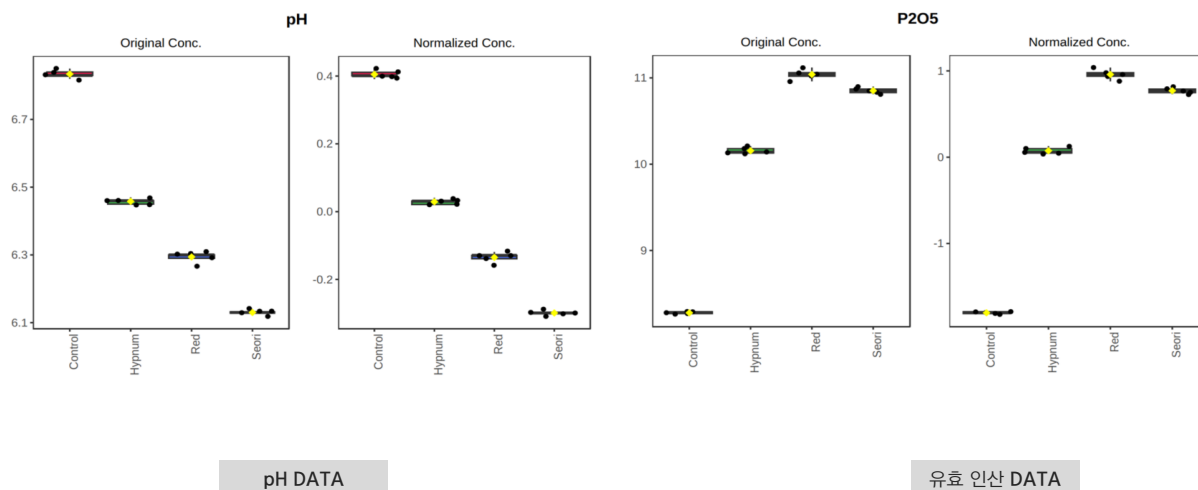
자생 지역 확인



환경 DATA 수집

연구제안2 자생, 생육 가능 환경 DATA

- 국내에서 주로 재배/육종되는 이끼를 대상으로 최적화된 환경 및 자생 정보 확보
- 누적 학습된 품종 Profile과 기 측정된 정보에 기반하여 입력된 평가 지표를 바탕으로 결과 예측 및 분석

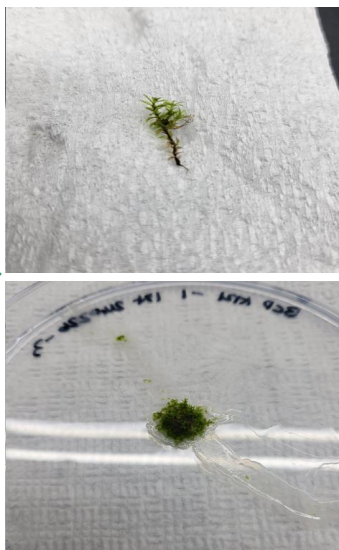


연구제안3 특성화 이끼 품종 개발 : 지정 이끼 동정, 개발

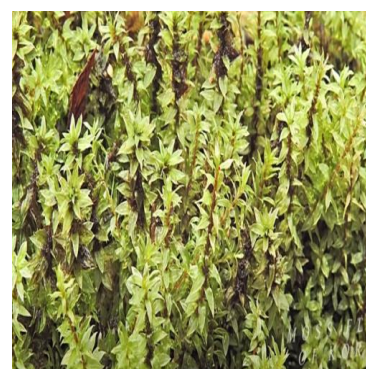
- 간척지(황폐지역)에 이미 적응을 완료한 품종을 대상으로 동정하여 배양
- 누적 학습된 품종 Profile과 기 측정된 정보에 기반하여 입력된 평가 지표를 바탕으로 결과 예측 및 분석



태안 간척지 황폐지역 적응 품종 발견
충청남도 태안군 태안읍 송암리 1526-14 (36°42'10"N 126°20'27"E)



품종 동정



큰철사이끼

Bryum pseudotriquetrum (Hedw.) P. Gaertn

- 물기가 있는 흙이나 계곡부 주변의 습한 부식토가 깔린 바위 분포
- 식물체는 녹색 또는 암녹색이고 군생
- 줄기는 직립형, 잎 난상 타원형이며 잎 끝은 예두이고 기부는 처짐
- 삭병은 적갈색이고, 삭병은 난상 타원형으로 기울어 자람

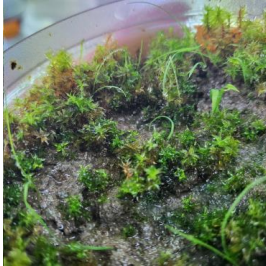
출처: 국립생물자원관

연구제안3 특성화 이끼 품종 개발 : 지정 이끼 동정, 개발

- 간척지(황폐지역)에 이미 적응을 완료한 품종을 대상으로 동정하여 배양
- 누적 학습된 품종 Profile과 기 측정된 정보에 기반하여 입력된 평가 지표를 바탕으로 결과 예측 및 분석

황폐지역 복원 특성화 이끼 재료 조합 1

염 내성 및 건조에 강한 품종 육성



X



큰철사이끼

Bryum pseudotriquetrum (Hedw.)
P. Gaertn

특징

- 염농도에 강함
- 물가 주위에 서식하여 건조에 약함

서리이끼

Racomitrium canescens (Hedw.)
Brid.

특징

- 염농도에 약함
- 건조에 강함

황폐지역 복원 특성화 이끼 재료 조합 2

형태학적 다른 고깔바위이끼과에서 빛과 건조에 강한 품종 육성



X



서리이끼

Racomitrium canescens (Hedw.)
Brid.

특징

- 고깔바위이끼과
- 건조에 강함
- 줄기- 높이 3~5cm
- 앞- 긴 난상 피침형~난상
- 끝부분에 표면에 작은 유두와 치돌기가 있음

고깔바위이끼

Schistidium apocarpum (Hedw.)
Bruch. & Schimp.

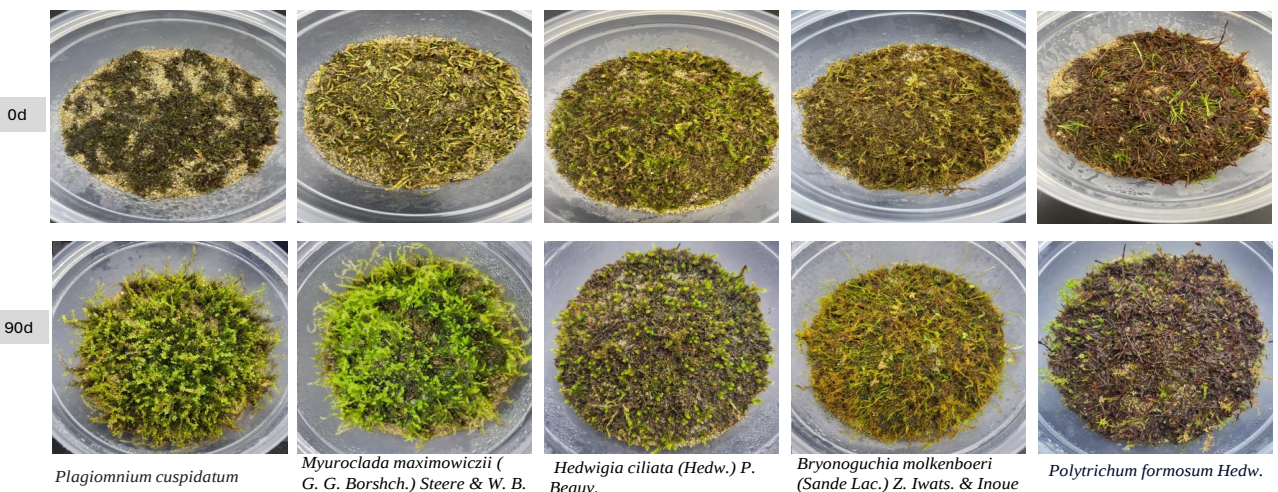
특징

- 고깔바위이끼과
- 건조에 강함
- 줄기- 높이 1.2~4.0cm
- 앞- 타원형이며, 기부는 피침형

연구제안4 황폐화된 토양에 다양한 이끼 품종별 토양 이화학성 증진 연구

- 영양가 없는 모래에 다양한 이끼 품종별 토양 이화학성 분석

황폐화된 토양에 다양한 이끼 품종별 토양 이화학성 분석



Plagiomnium cuspidatum

Myuroclada maximowiczii (G. G. Borshch.) Steere & W. B. Schofield

Hedwigia ciliata (Hedw.) P. Beauv.

Bryonoguchia molkenboeri (Sande Lac.) Z. Iwats. & Inoue

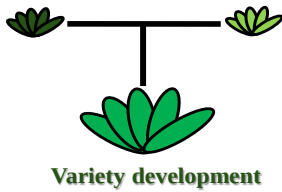
Polytrichum formosum Hedw.

- 황폐화된 토양에 다양한 이끼 품종별 90일 간 재배 후 토양 이화학분석 진행 중
- 향후 이끼 표현형(생체중, 건물중, 길이, 표면적)과 함께 토양 이화학성 분석을 상관 분석을 실시하여 관계도를 확인하고 토양 이화학성이 많이 증가한 이끼품종은 특허로 등록 예정

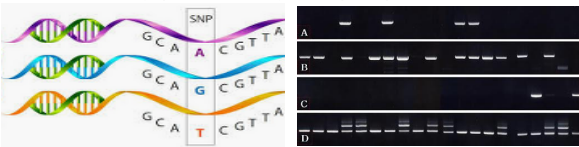
연구제안5 유전 데이터 확보

- 이끼 품종 개발 Protocol 을 통한 기대효과

유전 데이터 확보, 품종 개발

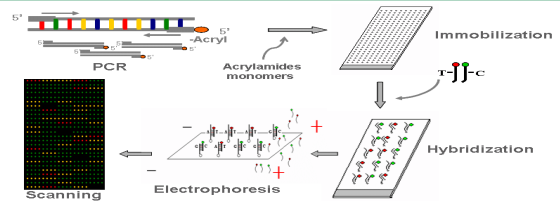


- 국내 자생 이끼 품종을 다양화하여 관상용 이끼 및 특성화 품종 육종 필요

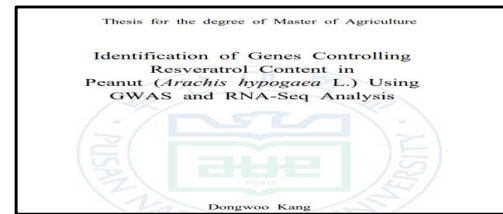


- 국내 다양한 환경의 이끼 유전형 데이터 확보
- 이끼 표현형과 유전형에 관련된 분자마커 특허 1건 이상
- 12,000 종 이상의 이끼 중 표현형 비슷한 종이 많으며 현재 시중에 판매하는 이끼들도 정확한 동정이 되지않아 섞여 판매하는 경우도 많음, 이를 방지하고자 분자마커(유전형)으로 명확한 종동정 필요

연구



- 100 점의 유전적 거리가 먼 이끼 품종 등을 활용한 유전적데이터 분석 관련 연구 필요



- GWAS 분석을 통한 유전형 데이터와 표현형 데이터를 활용한 후보 유전자 선별과 관련된 연구 필요

연구제안6 재배 및 산업화 가속 연구

- 포자 배양액과 혼합하여 사용하는 양액 및 호르몬액 기술 개발 및 고도화
- 양액/호르몬 배합 비율에 따라 성장 촉진 혹은 오염 발생, 농도 및 이유 규명

이끼 포자 배양액(액체)



서리이끼 포자
(10d, x100)



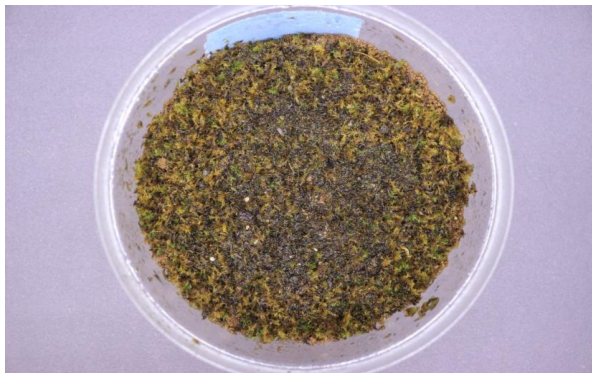
0d, 10d (위 포자 상태, 아래 프로토네마_10d배양)

- 포자 배양으로 많이 쓰는BCD 배양액 으로 10일간 액체 배지에 포자 배양
- 배양한 포자 현탁액을 지속적인 배양하여 증식시켜 보관하거나 장기 보관시 - 70 °C 또는 건조하여 사용
- 10일차부터 프로토네마 (10일간 포자 액체 배양 후 만들어진 원사체) 형태로 뿌린 것이 포자 상태로 바로 뿌린것보다 활착(녹색)이 좋은 것을 확인하였음

연구제안6 재배 및 산업화 가속 연구

- 포자 배양액과 혼합하여 사용하는 양액 및 호르몬액 기술 개발 및 고도화
- 양액/호르몬 배합 비율에 따라 성장 촉진 혹은 오염 발생, 농도 및 이류 규명

이끼 포자 배양액(액체)



서리이끼 포자
(0d)



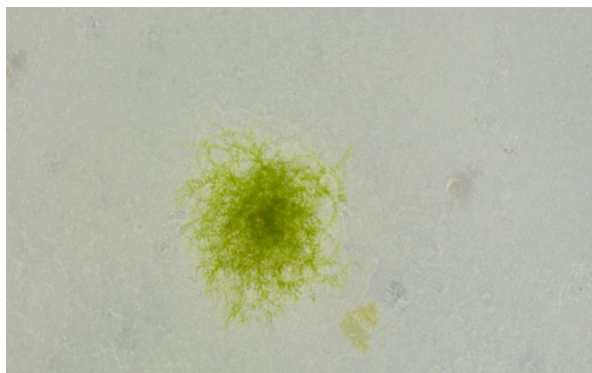
10d

- 포자 배양으로 많이 쓰는BCD 배양액 으로 10일간 액체 배지에 포자 배양
- 배양한 포자 현탁액을 지속적인 배양하여 증식시켜 보관하거나 장기 보관시 -70 °C 또는 건조하여 모스비 살포시 사용
- 10일차부터 프로토네마 (10일간 포자 액체 배양 후 만들어진 원사체) 형태로 뿌린 것이 포자 상태로 바로 뿌린것보다 활착(녹색)이 좋은 것을 확인하였음

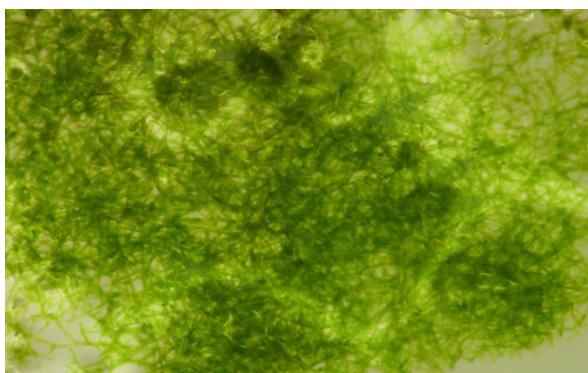
연구제안6 재배 및 산업화 가속 연구

- 포자 배양액과 혼합하여 사용하는 양액 및 호르몬액 기술 개발 및 고도화
- 양액/호르몬 배합 비율에 따라 성장 촉진 혹은 오염 발생, 농도 및 이류 규명

이끼 포자 배양액(액체)



서리이끼 포자
(10d, x100)



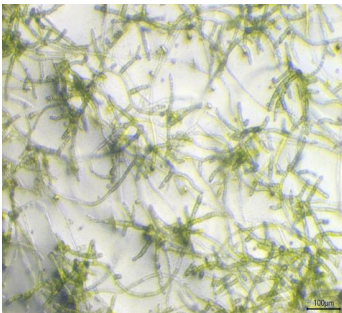
40d

- 포자 배양으로 많이 쓰는BCD 배양액 으로 10일간 액체 배지에 포자 배양
- 배양한 포자 현탁액을 지속적인 배양하여 증식시켜 보관하거나 장기 보관시 -70 °C 또는 건조하여 모스비 살포시 사용
- 10일차부터 프로토네마 (10일간 포자 액체 배양 후 만들어진 원사체) 형태로 뿌린 것이 포자 상태로 바로 뿌린것보다 활착(녹색)이 좋은 것을 확인하였음

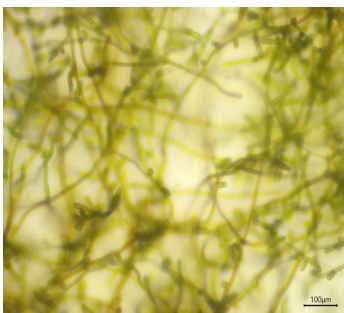
연구제안6 재배 및 산업화 가속 연구

- 포자 배양액과 혼합하여 사용하는 양액 및 호르몬액 기술 개발 및 고도화
- 양액/호르몬 배합 비율에 따라 성장 촉진 혹은 오염 발생, 농도 및 이유 규명

이끼 포자 배양액 (고체배지)

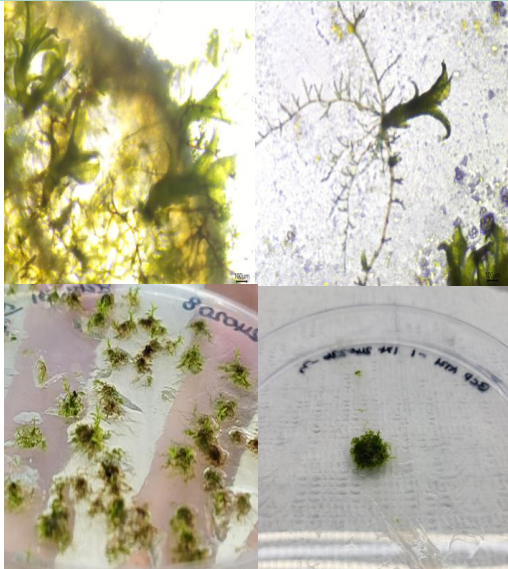


서리이끼 포자
(10d,x100)



서리이끼 포자
(15d,x100)

- BCD 고체 배지로 배양하였으며 액체 배지보다 빠르게 포자가 분화되었으며 28일 후 배우자가 형성되는 것을 확인하였음
- 28일이후 계대배양으로 배우자체를 분배하여 무균 상태인 이끼 배우자체를 지속적인 생산 및 증식 가능성을 확인하였음

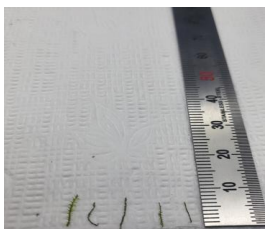


서리이끼 포자(28d,x40)

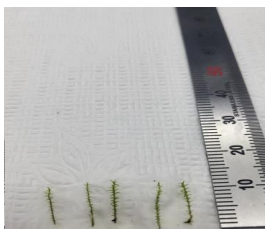
연구제안6 재배 및 산업화 가속 연구

- 포자 배양액과 혼합하여 사용하는 양액 및 호르몬액 기술 개발 및 고도화
- 양액/호르몬 배합 비율에 따라 성장 촉진 혹은 오염 발생, 농도 및 이유 규명

이끼 양액 결과



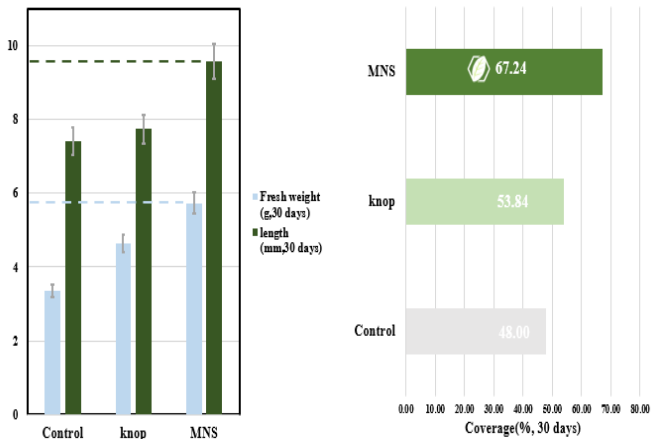
Control



MNS

- 증류수(Control)와 MNS 양액 길이 및 면적 표현형

이끼 양액 결과

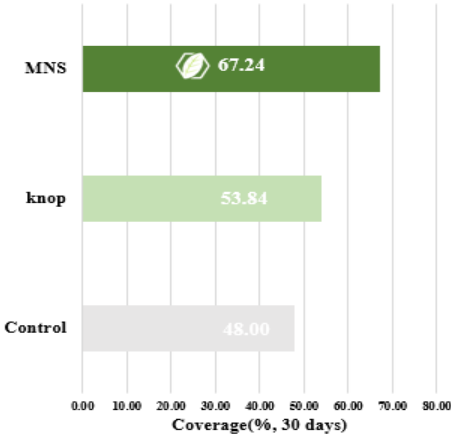
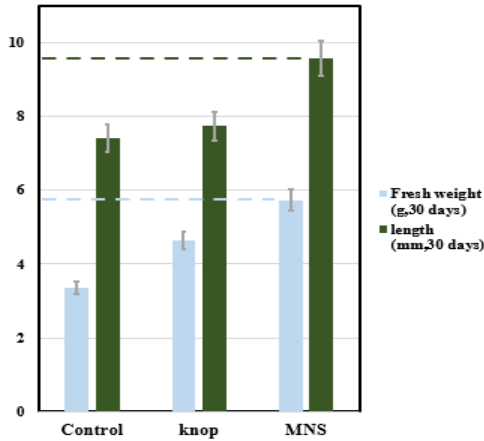


- 증류수(Control), MNS과 Knop(논문에 이용되는 이끼 양액) 중에서 생체중,길이,면적 모두 MNS가 높은 것을 확인
- 이끼 전용 양액으로 추가 연구 필요

연구제안6 재배 및 산업화 가속 연구

- 포자 배양액과 혼합하여 사용하는 양액 및 호르몬액 기술 개발 및 고도화
- 양액/호르몬 배합 비율에 따라 성장 촉진 혹은 오염 발생, 농도 및 이유 규명

이끼 양액 결과

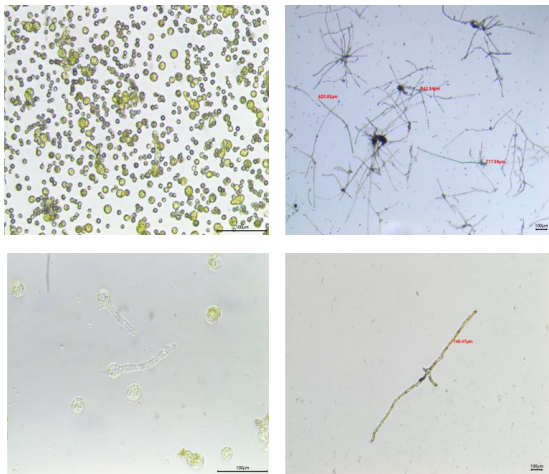


- 증류수(Control), MNS과 Knop(논문에 이용되는 이끼 양액) 중에서 생체중, 길이, 면적 모두 MNS가 높은 것을 확인
- 이끼 전용 양액으로 추가 연구 필요

연구제안6 재배 및 산업화 가속 연구

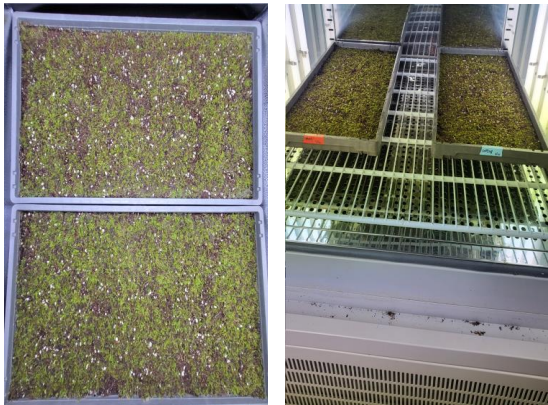
- 포자 배양액과 혼합하여 사용하는 양액 및 호르몬액 기술 개발 및 고도화
- 양액/호르몬 배합 비율에 따라 성장 촉진 혹은 오염 발생, 농도 및 이유 규명

이끼 양액 후속 연구 1



- 양액을 포자 배양액으로 활용하여 포자 분화 관련 논문 1건

이끼 양액 후속 연구 2



- 벽면 녹화 및 조경과 관련된 업체에서 양액 이끼 분화 촉진 연구 요청
- 새로 개발한 MNS 양액으로 서리이끼 분화 촉진 확인

연구제안6 재배 및 산업화 가속 연구

- 포자 배양액과 혼합하여 사용하는 양액 및 호르몬액 기술 개발 및 고도화
- 양액/호르몬 배합 비율에 따라 성장 촉진 혹은 오염 발생, 농도 및 이유 규명

이끼 양액 후속 연구 1



- 양액을 포자 배양액으로 활용하여 포자 분화 관련 논문 1건

이끼 양액 후속 연구 2



- 벽면 녹화 및 조경과 관련된 업체에서 양액 이끼 분화 촉진 연구 요청
- 새로 개발한 MNS 양액으로 서리이끼 분화 촉진 확인

연구사례 격리 생태계 복원, 간척지 복원

- 제주도 도너리 오름 생태계 복원
- 서해안 태안 간척지 토양 복원

AMOREPACIFIC

제주도 도너리 오름 토양 복원사업

2008년에 자연휴식년제를 시행 / 민간인의 출입을 금지한 이후, 원형화구의 송이(스코리아)층이 회복될 것이라는 예상과는 달리 송이층 쏠림현상으로 인해 식생 회복이 더딘 상황. 이를 회복시키기 위해 <Mosby>를 활용한 복원시행.

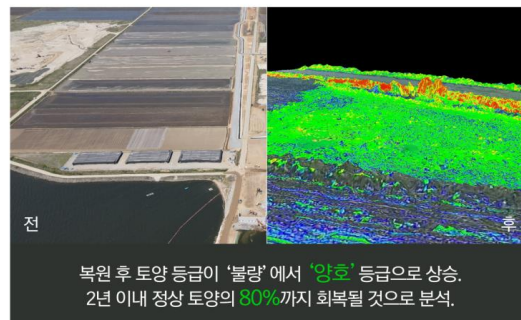


기존 복원 공법이 실패한 도너리 오름을 대상으로 15만㎡ 복원을 성공하였으며, 3개 오름의 추가 복원을 요청받음

HYUNDAI

서해안 충남 태안 정주영 간척지 토양 복원 사업

현대그룹이 서해안 태안지역에 조성한 간척지로 해당 지역을 농지 및 조경지역으로 조성하려 했으나, 영양결핍 및 염해로 인해 작물 생장에 장애가 발생하는 상황. 이를 회복시키기 위해 <Mosby>를 활용한 복원시행



복원 후 토양 등급이 '불량'에서 '양호' 등급으로 상승. 2년 이내 정상 토양의 80%까지 회복될 것으로 분석.

연구사례 이끼 유용 물질을 활용한 신소재, 신약 개발

- 유용 물질 함량을 높이기 위한 암호화 유전자 추론
- 이와 같은 공법으로 생산된 이끼 수성 세포 추출물을 사용하여 최초의 이끼 기반 활성 화장품 성분인 MossCellTec™ 1호를 개발



- (a) 필라멘트의 어린 조직인 프로토네마 배양
- (b) 대량 생산을 위한 광생물 반응기
- (c) GMP 생산시설
- (d) 산업용 100L 웨이브백 광생물 반응기

연구사례 이끼의 생리활성을 활용한 바이오 모니터링 기법 개발

- 이끼는 대기에서 직접 원소와 영양분을 흡수하고 퇴적함. 따라서 화학 성분을 반영하기에 바이오 모니터링 접근법을 사용
- 물이끼 속을 활용하여 중금속 이온 흡수 연구 실시 및 결과 도출



- (a) 프로토네마와 초기 생식세포를 가진 어린 물개구리밥 클론. 배우체(즉, 성체 조직, 눈금 막대 1mm).
- (b) 물개미 클론이 있는 광생물 반응기. 25 40 cm 패치체외에서 배양한 물질
- (c) 14개월 성장 후
- (d) 대규모 물이끼 양식장

〈주제발표 2〉

이끼클러스터, 왜 충남인가?

충남연구원 사공정희 박사

이끼클러스터! 왜 충남인가?

충남연구원 사공정희



이끼클러스터! 왜 충남인가?

목차

I

충남 이끼 도입적지 현황

03

II

충남 이끼 산업기반 현황

13

III

결론 : 이끼클러스터, 충남이 정답!

16

I

충남 이끼 도입적지 현황

01 토양개선허지 : 폐염전

02 공기정화지 : 축사

03 탄소흡수지 : 채석장

04 영농시설지 : 태양광시설

이끼클러스터! 왜 충남인가?

01. 토양개선허지 : 폐염전

I | 충남 이끼 도입적지 현황

이끼의 토양개선허지 기능

- 이끼는 척박한 토양에 정착, 다른 식물의 초기 활착에 영향, 생태계의 필수적 존재로 인식(Decker & Reski, 2020)
- 이끼의 빠른 생장률과 포자 번식을 통한 토양복원방법은 물리화학적 방법에 비해 경제적 · 효과적
- PH조절, 유효인산증가, 유기물증가, 유기탄소증가(탄소중립에도 기여) 등으로 식물 생육조건 개선 가능성 확인

출처 : Code of Nature(2023) 간척지 토양에서의 이끼성장이 토양 성분변화에 미치는 영향.
김종성(2023) 기후위기와 갯벌, 아시아연구소 센터 · 프로그램, 아시아브리프.

염습지화가 필요한 충남의 토양개선허지(역간척지), 폐염전

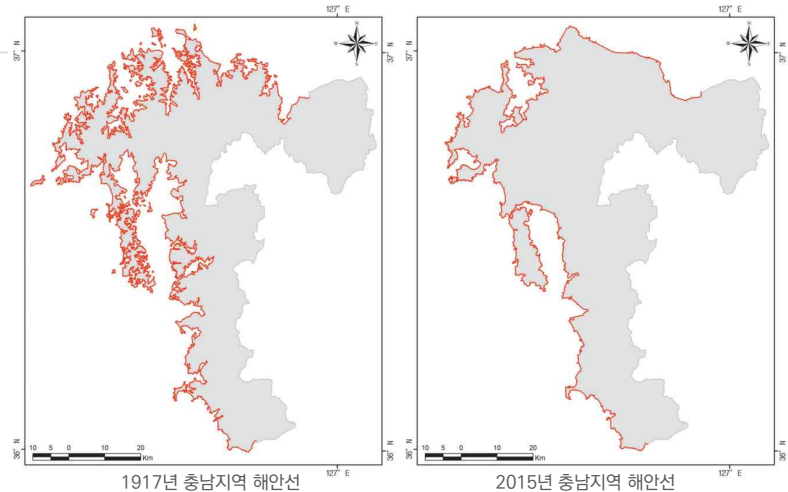
- 간척사업 : 국내 대부분은 갯벌에 독을 쌓고 물을 빼내 농경지, 염전 확보 목적(갯벌대비 간척지 최대 비율은 충남)
- 충남갯벌 : 세계적 생물다양성 보고, 높은 가치의 탄소저장원(서천갯벌 : 람사르습지, 세계유네스코자연문화유산)
- 역간척 : 간척 이전 상태로 돌려 놓는 갯벌복원사업
- 대상지 : 점차 증가하는 폐염전(현재 많은 폐염전이 폐양어장 형태로 잔존, 향후 타 용도로 변경 등 난개발 우려 심각)
- 방향성 : 생태기능회복, 탄소저장 → 염습지화
 - IPCC 인정 블루카본 : 맹그로브, 잘피림, 염습지
 - 염습지란 : 염생식물이 발달한 상부 조간대 갯벌, 해양퇴적물 내 모든 탄소저장량의 50% 이상, 잠재적 최대 70%까지 저장
- 先과제 : 식물 생육조건 개선 → 토양개선허지

01. 토양개선키 : 폐염전

I 충남 이끼 도입적지 현황

간척사업으로 인한 충남 해안선 변화

- 조선총독부 1:50,000 지형도 : 간척 이전 충남 내륙으로 **만**이 상당히 깊이 발달
- 간척 이전 충남 만에는 넓은 갯벌과 **염습지** 발달
- 국내 염습지 현황 : 간척과 매립으로 대부분 소멸**, 전체 갯벌의 1~2% 수준 잔존
 - 1917년 해안선 길이 : 2,036.8km
 - 2015년 해안선 길이 : 760.1km



출처 : 장동호, 이상진(2016) 충남 폐염전 · 폐양어장 생태복원과 활용방안, 충남연구원.

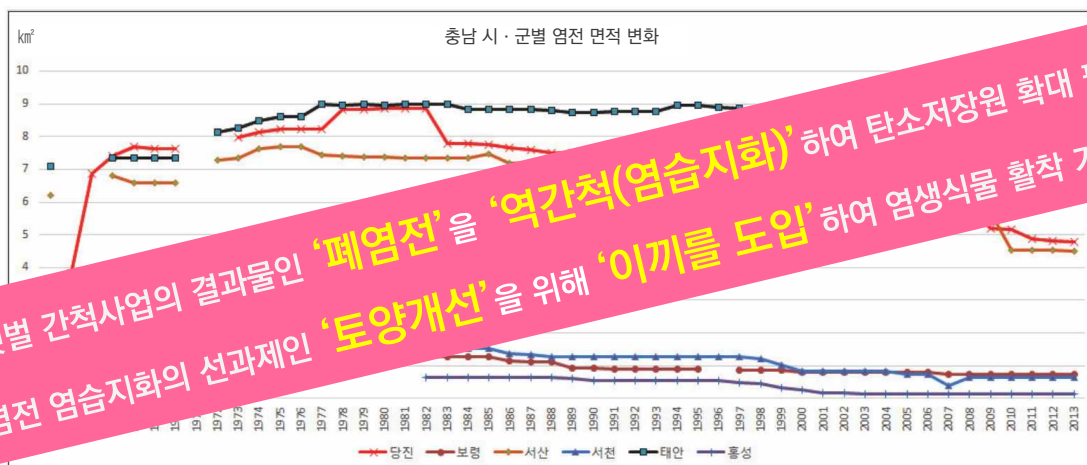
생태계서비스 증진을 위한 OECM 지정 범위 설정 5

01. 토양개선키 : 폐염전

I 충남 이끼 도입적지 현황

간척사업으로 얻은 충남 염전 현황

- 1980년대 후반부터 인력부족으로 사양화, 공장의 값싼 소금 생산, 수입 소금 국내시장 잠식
- 상대적으로 비싼 국산 천일염 수요 크게 하락(천종호, 2011), **폐염전 면적 점차 증가**



출처 : 장동호, 이상진(2016) 충남 폐염전 · 폐양어장 생태복원과 활용방안, 충남연구원.

생태계서비스 증진을 위한 OECM 지정 범위 설정 6

02. 공기정화지 : 축사

I 충남 이끼 도입적지 현황

이끼의 공기정화 기능

- 이끼는 온몸으로 미세먼지 흡착에 용이
- 특히, 독성 저항력이 높아 금속류 오염물질 흡수 가능
- 녹지공간을 무한정 늘리기 어려운 도시공간, 특히 수직 공간에 이끼 도입 가능

출처 : 김준영·김정재(2023) 서리이끼의 미세먼지 제거 효과 및 메커니즘 연구, 대한기계학회(47) 11:567~573.
김성현, 김동현, 성낙중, 박상우, 박찬영, 유창호(2022), 미세먼지 절감 및 CO₂ 절감을 위한 모듈형 스마트 이끼 타워, 한국재활복지공학회 학술대회 논문집 : 59~59.

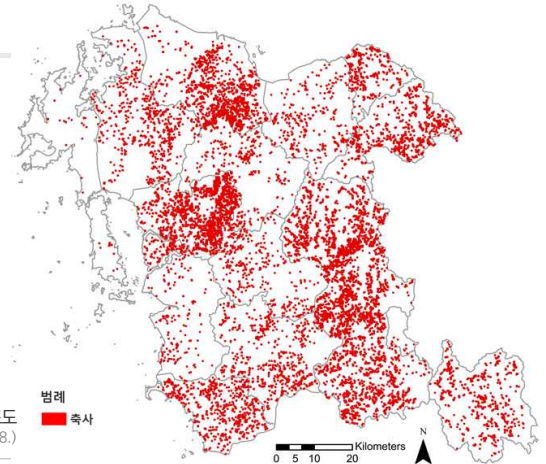


출처 : 타이가모스랩(<https://www.mosslab.com/ko/product>)

미세먼지저감이 필요한 충남의 공기정화지, 축사

- 충남은 가축사육지 전국 1위
- 충남은 발전소, 철강단지, 석유화학단지 등 국가산업단지 밀집으로 대기오염물질 배출량 전국 1위(환경부, 2019)
- 축산활동과 산업단지로 미세먼지 자체 기여도 전국 1위

출처 : 충남서해안기후환경연구소, 2019.
환경부, 2019.



생태계서비스 증진을 위한 OECD 지정 범위 설정 7

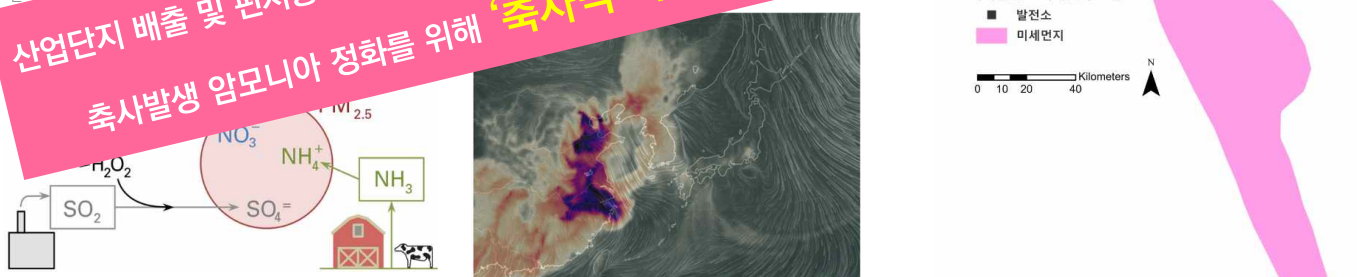
02. 공기정화지 : 축사

I 충남 이끼 도입적지 현황

충남의 내륙발생+외부유입 미세먼지의 위험성

- 축사의 질소산화물, 황화수소, 암모니아 : 2차 미세먼지(PM_{2.5}) 발생 전구물질
- 특히, 암모니아로 인한 미세먼지는 총 미세먼지의 26~35%에 해당(김종범 등, 2019)
- 축사의 암모니아 및 휘발성유기화합물 + 해수유래이온(나트륨이온, 마그네슘이온, 칼슘이온, 염화이온, 황산이온 등) → 2차 미세먼지 생성(염화암모늄, 황화나트륨, 황화칼슘 등)(Holt, J. et al., 2015)
- 화력발전소의 황산화물 + 암모니아 → 2차 미세먼지 생성(독성)

출처 : Holt, J. et al. (2015)



생태계서비스 증진을 위한 OECD 지정 범위 설정 8

03. 탄소흡수지 : 채석장

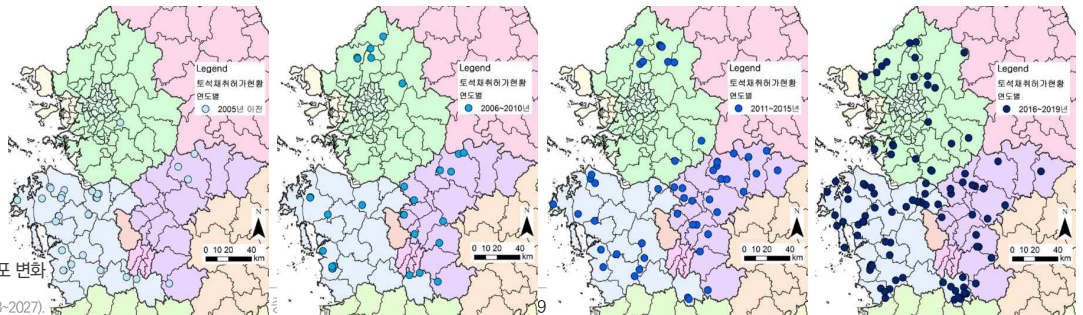
이끼의 탄소흡수 기능

- 이끼 옥상옥화는 도시열섬저감과 탄소흡수에 효과가 있는 것으로 확인
- 열발생과 미세먼지 발생이 우려되는 나대지에 습도유지 · 탄소흡수를 위한 이끼 도입 필요

출처 : 서예빈 외 8명(2023) 도시지역의 이끼 옥상녹화가 CO₂ 제거 및 BVOC 배출에 미치는 영향에 관한 연구, 한국대기환경학회 학술대회논문집 : 313~313.

나대지 피복이 필요한 충남의 탄소흡수지, 채석장

- 발생동향 : 충남에서는 2005년 이전부터 2024년까지 채석장 꾸준히 발생 중(경기도에서 충남으로 하향 추세)
- 분포현황 : 충남 산지 전반에 걸쳐 산발 분포
- 복구현황 : 채석장 복구 미흡, 무엇보다 **사업기간(대체로 10년 이상) 내내 나대지로 유지**되는 문제 심각
 - 사업 종료 후 연결하여 채석장 확장 또는 부지 전체 평지화로 대규모 산업단지 조성하는 실정



최근 15년간 충남 채석장 분포 변화

출처 : 충청남도(2017) 제6차 지역산림계획(2018~2037), 충청남도(2019) 제2차 충청남도 산지관리지역계획(2018~2027).

03. 탄소흡수지 : 채석장

채석장 나대지의 비산먼지 갈등 사례

- 공주시 채석장 결국 '불허가'... 1년 넘는 갈등 종지부 찍었다(오마이뉴스, 2020.09.08.)
 - 지적사항 : 대상지는 분지로서 밤에는 (대기오염물질이) 사업장에서 골짜기로 불어서 마을로 간다... 등
 - 주민의견 : 주민들이 갈등을 겪으면서 지역공동체는 파괴되고 몸도 마음도 망가진 상태

- 부여은산채석단지, 허가 연장·면적 확대...주민 집단 반발 '확산'(뉴데일리, 2022.07.13.)
 - 주민의견 : 발파와 채석과정에서 발생한 분진 및 소음, 교통문제 등으로 27년간 주민들이 겪어온 불편과 고통을 더한 채, 면적 확대와 허가 연장을 추진하는 것은 자손을 생육할 수 있는 땅을 파괴하는 행위

- 채석장 소음·먼지로 삶 피폐...충주 주민들 "채석장 없애달라"(충주신문, 2022.08.10.)
 - 주민의견 : A업체가 채석장 운영하면서 마을에 먼지와 소음이 심해져 생활이 불편하다

채석장은 수 십년 간 나대지로 유지되면서 열발생, 비산먼지발생
채석장 사업기간에도 '나대지 이끼 도포'를 통해 습도유지 및 탄소흡수지로 대전환

- 비산먼지 온상이 된 김해도시개발공사 봉림석산(일요신문, 2024.05.19.)
 - 주민의견 : 석산을 쳐다보면 **아지랑이**가 피어오르는 모습이 연상된다. 먹고 살기 위해 매일 출입은 하지만 **폐병**이라도 걸리까봐 창문을 열지 않는다...



부여군 은산면 인스코인터스티리(유) 채석장
사진 : 김정원 기자



김해시 봉림석산 미산면지
사진 : 정민규 기자

I 충남 이끼 도입적지 현황

04. 영농시설지 : 태양광시설

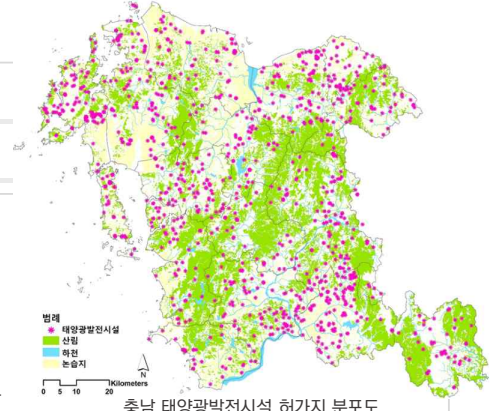
이끼의 임산물 가치

- 산림청은 임산물로서의 이끼 기능에 주목, 바이오매스화 방향에 대한 연구 의견 제시
- 태양광시설 하부에 이끼 생육시설을 첨부하여 **영농활동 다양화** 유도

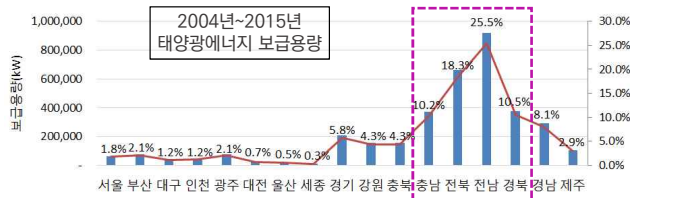
출처 : 충청남도 내부 자료.
편찬선(2023) 기후위기 · 탄소중립 · 미세먼지 대응 도심숲 생태마을 이끼사업, 티비오.

향후 교체 가능한 충남의 영농시설, 태양광시설

- 전국 및 충남 총 누적('04~'15) 태양광에너지 보급용량
 - 전국 17개 광역자치체 중 11개 지역이 5% 미만, 4개 지역이 10% 이상 차지
 - 충남은 10.2%로서 전남, 전북, 경북에 이어 **상위 4순위**에 해당
- 전국 및 충남 최근 5년간('11~'15) 태양광에너지 보급용량
 - 전국 전체 보급용량이 2011년 78,818kW에서 2015년 1,133,900kW로 15배 정도 증가
 - 충남은 최근 **5년 간 거의 30배**(6,075kW→166,573kW) 증가

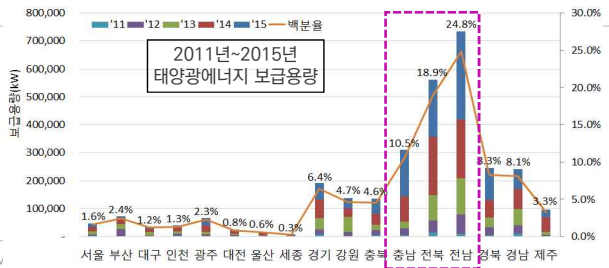


출처 : 충청남도(2019) 제2차 충청남도 산지관리지역계획(2018~2027).



출처 : 한국에너지공단, 2016

생태계서비스 증진을 위한 OECM



I 충남 이끼 도입적지 현황

04. 영농시설지 : 태양광시설

영농태양광시설 교체 및 설치 가능 농경지

- 충남의 최소보전관리논습지*(식량부족대비, 쌀농사 유지) 이외의 농경지에 태양광시설 추가 설치 가능
- 이끼 영농태양광시설 도입으로 논농사보다 용이한 이끼 임산물 수익창출 및 탄소흡수원 확대

출처 : 사공정희 · 정육식 · 여형범(2014) 충남 논습지의 생태계서비스 가치 평가 연구, 충남연구원.

생태계서비스	생태계서비스 제공 기준	순위
공급 서비스	식량 공급	친환경농법재배 논습지 1
	공급	그 이외 논습지 2
	식수 공급	보령댐 및 상수원보호구역 주변 논습지 1
조절 서비스	유실 저감	그 이외 논습지 2
	토양 유실	산사태위험1등급 경사지의 논습지 1
	저감	산사태위험1등급 이외 경사지의 논습지 2
서식지 서비스	중요 서식지	충남도내 1km 이내 논습지 3
	서식지	그 이외의 논습지 2
	보존 서식지	멸종위기종 출현 논습지 1
원동조류 서식지	서식지	그 이외의 논습지 2
	서식지	월동조류 서식지가 되는 논습지 1
	서식지	그 이외의 논습지 2



노령화로 인한 휴경지(난개발우려) 증가와 태양광시설의 난립으로 최소보전논습지 감소
‘이끼 영농태양광시설’로 ‘교체 및 설치’하여 식량생산지 및 탄소저장지 기반 강화

• 충남의 최소보전관리논습지 면적 : 약 82.4km² (충남 전체 면적의 약 0.4%)
 - 충남 전체 면적(약 82,400ha)의 0.4%에 해당
 - 충남의 최소보전관리논습지는 충남의 가장 큰 식량생산지, 탄소저장지이며, 가장 큰 식량생산지, 탄소저장지로서 기후변화에 대비하여 반드시 보전 · 관리가 필요한 자연방패 공간

• 충남 논습지는 2012년 기준 1,738.7km²(2012, 충남통계연보)이었으나 2021년 기준 1,540.6km²(환경부, 2021, 토지피복도)로 지난 10년 간 11.4% 감소

• 충남은 ‘최소보전관리논습지’를 반드시 보전관리하여 세계적 기후변화 및 식량부족에 대비 필요

출처 : 사공정희(2023) 충남 논습지 및 산림 보전을 위한 시 · 군 지원 우선순위, 충남연구원.

II

충남 이끼 산업기반 현황

01 국내 최대 이끼 농장

02 그린복합토 발명특허 기업

이끼클러스터! 왜 충남인가?

01. 국내 최대 이끼 농장

II | 충남 이끼 산업기반 현황

경쟁 · 후발 기업 추월 어려운 ‘생산 초격차’ 규모(6.6ha)

- 5년 전부터 모판 생산, 2023년 현재 10만판 정도 생산 가능(타 기업에서는 대부분 2~3천 판 정도 생산)
- 농장 소유기업은 가내수공업 수준이었던 국내 이끼산업의 판을 바꾼 기업

출처 : 국제뉴스(2023.09.26.)

이끼 산업화 선도 기업의 국내 최대 이끼 농장, 태안에 소재

- 세계 최초 테라리움 기술(이끼필터) 보유
 - 미세먼지 제거
 - 이산화탄소 감소
 - 산소 생성
 - 음이온 생성
- 이끼를 활용한 **인테리어, 공기정화, 벽면 및 옥상녹화** 등 사업 다각화
 - 이끼 액자는 세계 최초 살아있는 식물 액자 인테리어 제품
- 독자적 생육기술로 이끼 **대량생육 성공**
- 독자적 생육기술로 다른 이끼보다 높은 밀도(2~3배) → **더 높은 공기정화 기능**
- 기업대표와 이사는 모 대기업 **헬스케어연구소 전문가** 출신으로 인적 자원이 경쟁력

출처 : 국제뉴스(2023.09.26.)



출처 : 타이가모스랩(<https://www.mosslab.com/ko/product>)

02. 그린복합도 발명특허 기업

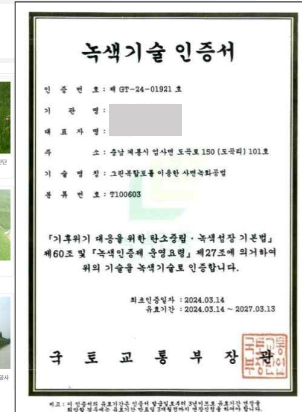
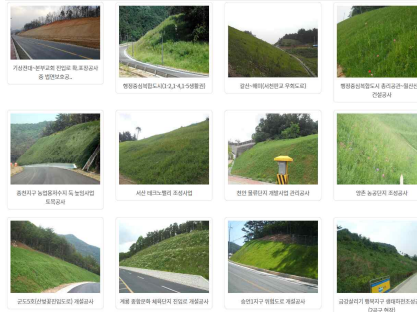
그린복합도 녹화공법

- 친환경적 자연복원을 위해 **자연포토, 천연퇴비, 수피, 기타 유기질 혼합물**로 생태복원용 혼합 종자와 혼합해 현장 여건에 따라 두께를 달리해 시공함으로써 원가절감 및 법면의 자연복원과 조기녹화를 꾀할 수 있는 획기적인 공법
- 기존 녹화공법(주요 원재료는 하수처리장 오수슬러지 재사용)의 토양 중금속 오염 등 **환경오염 부작용** **초래 우려** 보완

출처 : 계룡일보(<http://www.gyeryongilbo.com>)(2018.12.24.)

그린복합도 발명 특허 기업, 계룡에 소재

- 연구개발에 지속적 투자 중
 - 그린복합도 사면 녹화공법 특허(2009)
 - 친환경네트 고정 장치 생태하천조성공법 특허(2009)
 - 에코토 비탈면 녹화공법 특허(2015)
 - 디자인등록 5건, 상표등록 2건, 제3농장신축 등(2016)
- 전국 상위 4% 시공능력 보유
- **생태복원용 혼합 종자로 이끼 사용** 가능성 연구 필요
- **도로 사면, 채석장 나대지, 이끼원, 건축물 및 축사 벽면** 등에 도입 가능성 연구 필요

출처 : 계룡일보(<http://www.gyeryongilbo.com>)(2018.12.24.)

생태계서비스 증진을 위한 OECS 지정 범위 설정 15

III

결론 : 이끼클러스터, 충남이 정답!

III 결론 : 이끼클러스터, 충남이 정답!

간척지 비율 전국 1위 → 토양의 식물 생육환경 개선이 필요한 역간척지

축사와 산업단지로 미세먼지 자체 기여도 전국 1위 → 미세먼지 저감에 필요한

수 십년 간 나대지로 유지되어 있는 염습지 → 염습지를 염호수로 변화가 필요한 채석장

급격한 논습지(쌀생산지, 탄소저장원) 감소 → 영농태양광시설이 필요한 논습지

즉, 이끼를 통해 개선이 필요한 '이끼 도입적지' 집중 보유

국내 최대 규모 이끼 농장 보유 → 국내 이끼 생산의 근간이 되는

그린복합토 발명특허 기업 보유 → 이끼생산기술의 조석 마련

즉, 초격차 '이끼생산기술'과 독보적 '녹지피복기술' 보유

감사합니다