



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0078901
(43) 공개일자 2021년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 33/00 (2006.01) G01N 33/50 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01N 33/00 (2021.01)
G01N 33/5082 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0170844
(22) 출원일자 2019년12월19일
심사청구일자 2019년12월19일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
박민석
경기도 수원시 권선구 상탑로21번길 35-5, 303호 (탑동)
위준
인천광역시 서구 완정로34번길 9, 111동 504호 (마전동, 마전동아아파트)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

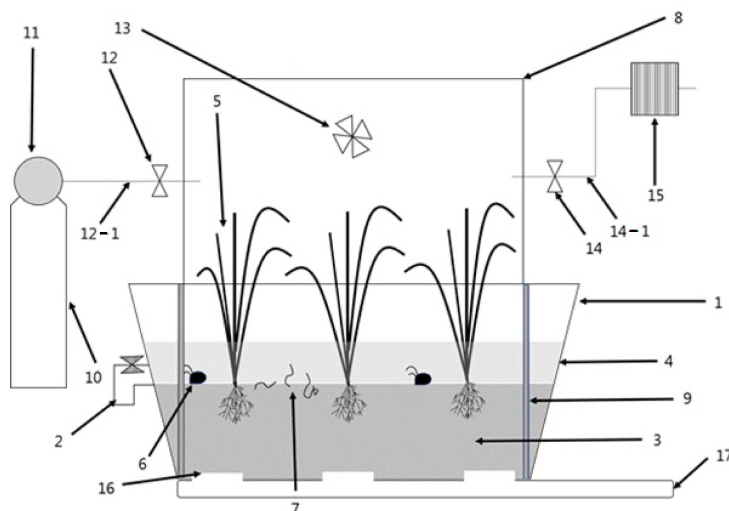
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 화학물질 노출에 의한 육상 농업 생태계 피해 평가용 메조코즘 시스템

(57) 요약

본 발명은 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템; 및 상기 시스템을 이용한 유해 화학물질 노출에 의한 육상 생태학적 영향을 평가하는 방법에 관한 것이다. 본 발명의 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템은 3단계 이상의 영양단계에 해당하는 논 대표 생물종을 이용함으로써 실제 환경과 유사한 조건에서 단일 생물종에 미치는 화학물질의 영향과 먹이사슬을 기반으로 구축된 논 생태계의 구조와 기능에 대한 화학물질의 영향을 평가하는데 유용하게 사용될 수 있다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

조기중

경기도 성남시 분당구 양현로 272, 306동 201호 (야탑동, 탑마을타워빌)

현승훈

서울특별시 강남구 선릉로69길 19, 101동 1305호 (역삼동, 역삼래미안아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016001970003

부처명 환경부

과제관리(전문)기관명 한국환경산업기술원

연구사업명 화학사고 대응 환경기술개발사업

연구과제명 화학사고 후 생태계오염 모니터링 및 생태영향 통합평가 기술 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 고려대학교 산학협력단

연구기간 2019.01.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

내부에 공간이 형성되고 상부가 개방된 형태이며 밑면에 배수구가 형성된 용기 케이스(1);

상기 용기 케이스 일측에 설치된 수도 및 밸브(2);

상기 용기 케이스의 맨 하부에 위치하는 토양층(3);

상기 토양층 상부에 위치하는 담수층(4); 및

상기 토양층과 담수층에 영양단계별 생물 지표종으로서 생산자(5), 소비자(6) 및 분해자(7)를 포함하는; 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 용기 케이스의 아래측에 위치하며 배수된 물을 별도로 모아서 처리할 수 있는 배수관(17)을 더 포함하는, 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 용기 케이스의 개방된 상면에 탈부착되는 케이스 커버(8);

상기 케이스 커버를 지지할 수 있는 고정틀(9);

상기 케이스 커버의 일측에 설치된 기체 주입관(12-1);

상기 기체 주입관 상에 구비된 개폐밸브(12);

상기 기체 주입관에 연결되는 유량 조절기(11)가 구비된 가스통(10);

상기 케이스 커버 내부면에 설치되며, 기체를 균질화할 수 있는 팬(13);

상기 케이스 커버의 타측에 설치된 기체 배출관(14-1);

상기 기체 배출관 상에 구비된 개폐밸브(14);

상기 기체 배출관에 연결된 기체 흡착부(15)를 더 포함하는, 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 생산자는 벼인 것을 특징으로 하는, 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 소비자는 왕우렁이, 논우렁이, 명주달팽이 및 물달팽이로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는, 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 분해자는 실지렁이인 것을 특징으로 하는, 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템.

청구항 7

- (a) 제1항 내지 제6항 중 어느 한 항의 메조코즘 시스템에 유해 화학물질을 노출시키는 단계; 및
- (b) 유해 화학물질 노출 후 생산자, 소비자 및 분해자 각각의 독성지표를 측정하는 단계를 포함하는, 유해화학물질 노출에 의한 육상 생태학적 영향을 평가하는 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 유해 화학물질은 황산, 질산, 염산, 불산, 인산, 아크릴로니트릴, 아크릴알데히드, 메탄올, 아황산가스, 암모니아, 일산화탄소, 이산화탄소, 불소, 염소, 브롬화메탄, 염화메탄, 염화프렌, 산화에틸렌, 시안화수소, 황화수소, 모노메틸아, 디메틸아민, 트리메틸아민, 톨루엔, 벤젠, 포스겐, 요오드화수소, 브롬화수소, 염화수소, 불화수소, 겨자가스, 알진, 모노실란, 디실란, 디보레, 세렌화수소, 포스핀 및 모노게르만로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 (b) 단계에서 생산자가 버린 경우 측정되는 독성지표는 고사율, 잎의 수, 길이, 피해 잎 비율, 지상부 생중량 및 엽록소 함량으로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 (b) 단계에서 소비자가 왕우렁이, 논우렁이, 명주달팽이 또는 물달팽이인 경우 측정되는 독성지표는 사망률, 껍각 길이 및 무게로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 (b) 단계에서 분해자가 실지렁이인 경우 측정되는 독성지표는 사망률 또는 번식률인 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템; 및 상기 시스템을 이용한 유해 화학물질 노출에 의한 육상 생태학적 영향을 평가하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 국내 화학산업의 발달과 함께 국내에서 유통 및 소비되는 화학물질의 종류와 양은 해마다 증가하고 있으며 이와 함께 환경으로 다양한 화학물질들이 유출되는 사례들도 지속적으로 보고되고 있다. 특히, 2012년 9월 경상북도 구미에서 발생한 불산 누출 사고는 인명피해뿐만 아니라 주변 농경지의 농작물과 가로수, 산림 등 다양한 환경 피해까지 유발하면서 화학물질 누출을 포함하는 사고에 대한 국민의 경각심과 우려를 높이는 역할을 하였다.

[0003] 우리나라는 화학물질로 인한 국민의 생명과 재산 또는 환경의 피해를 사전에 방지하기 위해 「화학물질관리법」을 통해 국내에서 유통 및 사용되는 화학물질들을 관리하고 있다. 「화학물질관리법」에 따르면 화학사고에 대비하기 위하여 급성독성·폭발성 등이 강하여 화학사고 발생 가능성이 높거나 화학사고 발생 시 피해 규모가 클 것으로 우려되는 화학물질들은 ‘사고대비물질’로 지정하여 관리하고 있다.

[0004] 화학사고가 발생한 경우 즉시 취급자는 즉시 위해관리계획에 따라 응급조치를 취하고 관할 기관에 신고하여 관련 기관들의 즉각적인 현장 대응이 가능하도록 하여야 한다. 응급조치 이후에 화학사고의 원인 규명, 인명·환경 피해의 최소화 및 복구 등을 위해 화학사고 조사단을 구성하여 화학사고 영향조사를 실시하여야 한다. 환경

부는 「화학사고 조사단 구성·운영 및 영향조사에 관한 지침」을 통해 화학사고 발생 주변 지역의 건강영향조사와 환경영향조사를 실시하도록 지시하고 있다. 환경영향조사는 환경매체(대기·수질·토양) 중 사고물질의 농도뿐만 아니라 가축을 포함한 육상·수서생물, 조류의 피해, 유실수, 농작물 등을 포함한 주변 지역의 식생피해 면적, 피해종, 피해정도 등을 조사 대상으로 규정하고 있다. 하지만, 국내에서 발생한 화학사고 조사 보고서들을 검토한 결과 극히 적은 사고 조사 보고서에서만 화학사고에 의한 환경피해를 언급하고 있다. 이는 화학사고에 의한 환경피해를 조사하기 위한 방법과 기준의 구축이 미비하기 때문인 것으로 사료되며, 앞으로 화학사고에 의한 환경피해를 정확하게 평가하기 위한 시험방법과 기준 개발이 필요하다.

[0005] 안전한 화학물질의 사용을 위해서 화학물질 제공자는 반드시 화학물질의 생태독성학적 정보를 포함하는 물질안전보건자료(MSDS)를 제공하여야 한다. 생태독성(ecotoxicity)은 수 생태계 혹은 육상 생태계의 수용체(생물체)에 화학물질이 일으킬 수 있는 잠재적 부작용이라 정의할 수 있으며 기본적으로 화학물질의 독성과 생물체의 민감도에 따라 결정된다.

[0006] 지구상에 존재하는 모든 생물체들에 대한 화학물질의 독성을 평가하는 것은 불가능하기 때문에 연구자들은 각 생태계를 대표하는 지표 생물종을 선정하여 환경으로 노출된 화학물질에 의한 생물 피해를 평가한다. ISO와 OECD 등은 육상 환경 중 화학물질의 독성을 평가하기 위해 식물, 톡토기, 지렁이 등의 생물종들을 활용하는 표준 시험법을 제공하고 있다. 하지만 최근 화학산업의 발달과 함께 새롭게 수입되거나 개발되는 화학물질의 종류가 지속적으로 증가하고 있으며 이와 같은 물질들의 생태독성학적 자료들의 구축은 미비한 실정이다. 특히 육상 생태계 지표 생물종에 대한 생태독성 데이터베이스 구축 비율은 수 생태계에 비해 현저히 떨어진다. 또한 기존에 제공되는 화학물질의 생물 영향을 평가하기 위한 표준 시험법들은 잔류성이 높은 화학물질들에 적합하게 시험방법이 설계되어 있어 기체상으로 노출되거나 휘발성이 높은 물질들에는 적용하기가 어렵다는 한계가 있다.

[0007] 기존에 진행된 화학물질의 독성평가 연구들은 대부분 단일종에 대한 평가에 국한되었으며 온도, 습도 등의 환경조건이 정밀하게 조절될 수 있는 실험실 수준에서 진행되었다. 이는 실제 현장에서 다양한 생물체들로 구성되어 있는 생태계를 설명할 수 없다는 한계를 가진다. 최근 메조코즘(mesocosm) 시스템을 활용한 생태계 관련 연구들이 진행되고 있다. 메조코즘은 야외에서 진행되는 경계를 가지는 실험 시스템을 말하며 이는 실험실 수준의 연구와 실제 현장의 간극을 좁히기 위해 활용된다(Kwak, J. I. and An, Y.-J.(2016), "The current state of the art in research on engineered nanomaterials and terrestrial environments: Different-scale approaches", Environmental Research, Vol. 151, pp.368-382).

[0008] 메조코즘 시스템을 이용한 연구는 실제 자연 생태계에서 실험에 영향을 끼칠 수 있는 다양한 변수들을 조절할 수 있는 동시에 실제 생태계에 노출시킬 수 없는 독성물질을 이용할 수 있다는 장점을 가진다(Kangas, P. C. and Adey, W.H.(2008), "Mesocosm management", Encyclopedia of Ecology, pp.2308-2313).

[0009] 한편, 통계청의 전국 논밭별 경지면적에 의하면 2018년 논 면적은 844,265 ha로 전체 경작지의 약 53 %에 해당하였다. 그 중 737,408 ha에서 논벼가 재배되었으며 2018년 생산량은 3,763,340톤으로 국내에서 재배된 농작물 중 가장 많은 생산량을 기록하였다. 특히, 국내 주요 산업단지가 입지하고 있는 충청이남 지역의 논 면적이 전체 면적의 84 %에 해당하기 때문에 화학사고에 의한 논 생태계의 영향을 평가하기 위한 기술의 개발이 필요하다. 논 생태계는 쌀의 생산 기능뿐만 아니라 곤충류, 양서류, 파충류, 어류 등 다양한 생물들의 서식처를 제공하고 홍수 조절, 지하수 함양, 수질 개선 등의 다양한 공익적 기능을 가지고 있다. 2008년에 우리나라에서 개최된 제10차 람사르협약 당사국 총회에서 '논습지 결의안'이 채택되면서 생물 다양성의 보전을 위한 논 생태계의 중요성이 보다 높아지게 되었다. 화학사고에 의한 벼를 포함한 논을 구성하는 다양한 생물체의 피해를 예측하기 위해서는 다양한 사고물질에 대한 논 생태계의 영향을 평가하는 기술 개발이 필요하다.

[0010] 이와 관련, 종래 기술로 실험실 수준에서 진행되는 단일 생물종 기반의 화학물질 독성평가가 있으나, 상기와 같은 연구 결과를 이용하여 실제 다양한 생물간 상호작용이 존재하는 육상 생태계에 대한 화학물질의 영향을 해석하는 경우 오차가 발생할 수 있는 문제점이 있다.

[0011] 이러한 배경 하에, 본 발명자는 실제 환경에 노출시킬 수 없는 사고물질의 노출을 통한 생태계 영향 평가를 진행하기 위한 방법으로 논 생태계를 모사하는 3단계 이상의 영양단계에 해당하는 논 대표 생물종으로 구성된 육상 메조코즘 시스템을 구축하였으며, 이러한 육상 메조코즘 시스템이 논 생태계 영향 평가 방법에 유용함을 확인함으로써 본 발명을 완성하였다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0012] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2011-0096655호
(특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2018-0085895호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 따라서 본 발명의 목적은 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템을 제공하는 것이다.
[0014] 본 발명의 다른 목적은 상기 메조코즘 시스템을 이용하여 유해 화학물질 노출에 의한 육상 생태학적 영향을 평가하는 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기와 같은 본 발명의 목적을 달성하기 위해서, 본 발명은 내부에 공간이 형성되고 상부가 개방된 형태이며 밑면에 배수구가 형성된 용기 케이스(1); 상기 용기 케이스 일측에 설치된 수도 및 밸브(2); 상기 용기 케이스의 맨 하부에 위치하는 토양층(3); 상기 토양층 상부에 위치하는 담수층(4); 및 상기 토양층과 담수층에 영양단계별 생물 지표종으로서 생산자(5), 소비자(6) 및 분해자(7)를 포함하는, 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템을 제공한다.
- [0016] 본 발명의 일실시예에 있어서, 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템은 상기 용기 케이스(1)의 아래측에 위치하며 배수된 물을 별도로 모아서 처리할 수 있는 배수관(17)을 더 포함할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일실시예에 있어서, 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템은 상기 용기 케이스의 개방된 상면에 탈부착되는 케이스 커버(8); 상기 케이스 커버를 지지할 수 있는 고정틀(9); 상기 케이스 커버의 일측에 설치된 기체 주입관(12-1); 상기 기체 주입관 상에 구비된 개폐밸브(12); 상기 기체 주입관에 연결되는 유량 조절기(11)가 구비된 가스통(10); 상기 케이스 커버 내부면에 설치되며, 기체를 균질화할 수 있는 팬(13); 상기 케이스 커버의 타측에 설치된 기체 배출관(14-1); 상기 기체 배출관 상에 구비된 개폐밸브(14); 상기 기체 배출관에 연결된 기체 흡착부(15)를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 생산자는 버릴 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 소비자는 왕우렁이, 논우렁이, 명주달팽이 및 물달팽이로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상일 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 분해자는 실지렁이일 수 있다.
- [0021] 또한, 본 발명은 (a) 상기의 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템에 유해 화학물질을 노출시키는 단계; 및 (b) 유해 화학물질 노출 후 생산자, 소비자 및 분해자 각각의 독성지표를 측정하는 단계를 포함하는, 유해 화학물질 노출에 의한 육상 생태학적 영향을 평가하는 방법을 제공한다.
- [0022] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 유해 화학물질은 황산, 질산, 염산, 불산, 인산, 아크릴로니트릴, 아크릴알데하이드, 메탄올, 아황산가스, 암모니아, 일산화탄소, 이산화탄소, 불소, 염소, 브롬화메탄, 염화메탄, 염화프렌, 산화에틸렌, 시안화수소, 황화수소, 모노메틸아, 디메틸아민, 트리메틸아민, 톨루엔, 벤젠, 포스겐, 요오드화수소, 브롬화수소, 염화수소, 불화수소, 겨자가스, 알진, 모노실란, 디실란, 디보레, 세렌화수소, 포스핀 및 모노게르만로 이루어진 군으로부터 선택될 수 있다.
- [0023] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 (b) 단계에서 생산자가 버린 경우 측정되는 독성지표는 고사율, 잎의 수, 길이, 피해 잎 비율, 지상부 생중량 및 엽록소 함량으로 이루어진 군으로부터 선택될 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 (b) 단계에서 소비자가 왕우렁이, 논우렁이, 명주달팽이 또는 물달팽이인 경우 측정되는 독성지표는 사망률, 패각 길이 및 무게로 이루어진 군으로부터 선택될 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일실시예에 있어서, 상기 (b) 단계에서 분해자가 실지렁이인 경우 측정되는 독성지표는 사망률 또는 변식률일 수 있다.

발명의 효과

[0026] 본 발명의 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템은 3단계 이상의 영양단계에 해당하는 논 대표 생물종을 이 용함으로써 실제 환경과 유사한 조건에서 단일 생물종에 미치는 화학물질의 영향과 먹이사슬을 기반으로 구축된 논 생태계의 구조와 기능에 대한 화학물질의 영향을 평가하는데 유용하게 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1a는 본 발명의 육상 생태환경 평가용 메조코즘 시스템의 현장 설치 과정을 대략적으로 보여주는 흐름도이며, 1b는 고려대학교 부속 덕소 농장(경기도 남양주시) 부지 내 논에 설치된 메조코즘 시스템을 보여주는 사진이다.

도 2는 액체상 사고물질 노출에 따른 육상의 생태환경 평가에 사용될 수 있는 본 발명의 메조코즘 시스템을 보여주는 단면도이다.

도 3은 기체상 사고물질 노출에 따른 육상의 생태환경 평가에 사용될 수 있는 본 발명의 메조코즘 시스템을 보여주는 단면도이다.

도 4는 본 발명의 육상 생태환경 평가용 메조코즘 시스템에 사고물질을 처리한 이후 시간에 따른 토양 산도(pH)의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 5는 본 발명의 육상 생태환경 평가용 메조코즘 시스템에 사고물질을 처리한 이후 시간에 따른 엽록소계(SPAD 502)로 측정된 벼 잎의 엽록소 함량 변화를 나타내는 그래프이다.

도 6은 본 발명의 육상 생태환경 평가용 메조코즘 시스템에서 사고물질에 노출시킨 벼 잎의 사진이다. 왼쪽은 소비자에 의한 섭식 피해로 판단된 잎의 사진이며, 오른쪽은 화학물질 노출에 의해 피해를 입은 것으로 판단된 잎의 사진이다.

도 7은 본 발명의 육상 생태환경 평가용 메조코즘 시스템에서 사고물질에 노출시킨 벼의 잎 중 사고물질 노출에 의한 피해가 발생한 잎의 비율을 측정하여 그래프로 나타낸 것이다.

도 8은 본 발명의 육상 생태환경 평가용 메조코즘 시스템에서 사고물질에 노출시킨 벼의 잎 중 소비자에 의한 섭식 피해가 발생한 잎의 비율을 측정하여 그래프로 나타낸 것이다.

도 9는 본 발명의 육상 생태환경 평가용 메조코즘 시스템에서 사고물질에 노출시킨 벼의 생중량을 측정하여 그래프로 나타낸 것이다.

도 10은 본 발명의 육상 생태환경 평가용 메조코즘 시스템에서 사고물질에 노출시킨 실지렁이의 어린 개체 수를 측정하여 그래프로 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명은 화학물질에 의해 오염된 논 생태계를 모사하기 위한 육상 메조코즘 시스템 및 상기 메조코즘 시스템을 이용한 육상 생태계 평가 방법에 대한 것이다.

[0029] 본 명세서의 전체에 걸쳐서 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소를 "포함"한다고 기재하는 경우에는, 특별히 반대되는 의미의 기재가 없는 한 임의의 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 임의의 다른 구성 요소를 더 포함할 수도 있다는 것을 의미할 수 있다.

[0030] 더 나아가서, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소의 "연결된", "설치된" 또는 "설치되며"라고 기재한 경우에는, 이 구성 요소가 다른 구성 요소와 직접적으로 연결되어 있거나 접촉하여 설치되어 있을 수 있고, 일정한 거리를 두고 이격되어 설치되어 있을 수도 있으며, 일정한 거리를 두고 이격되어 설치되어 있는 경우에 대해서는 해당 구성 요소를 다른 구성 요소에 고정 내지 연결시키기 위한 제 3의 구성 요소 또는 수단이 존재할 수 있으며, 이 제 3의 구성 요소 또는 수단에 대한 설명은 생략될 수도 있음을 알아야 한다.

[0031] 마찬가지로, 각 구성 요소 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 " ~ 상에" 등도 마찬가지로 취지를 가지고 있는 것으로 해석되어야 한다.

[0032] 또한, 본 명세서에 있어서 "일면", "타면", "일측", "타측", "제 1", "제 2" 등의 용어는, 사용된다면, 하나의 구성 요소에 대해서 이 하나의 구성 요소가 다른 구성 요소로부터 명확하게 구별될 수 있도록 하기 위해서 사용

되며, 이와 같은 용어에 의해서 해당 구성 요소의 의미가 제한적으로 사용되는 것은 아님을 알아야 한다.

- [0033] 또한, 본 명세서에서 "상", "하", "좌", "우" 등의 위치와 관련된 용어는, 사용된다면, 해당 구성 요소에 대해서 해당 도면에서의 상대적인 위치를 나타내고 있는 것으로 이해하여야 하며, 이들의 위치에 대해서 절대적인 위치를 특정하지 않는 이상은, 이들 위치 관련 용어가 절대적인 위치를 언급하고 있는 것으로 이해하여서는 아니된다.
- [0034] 또한, 본 명세서에서는 각 도면의 각 구성 요소에 대해서 그 도면 부호를 명기함에 있어서, 동일한 구성 요소에 대해서는 이 구성 요소가 비록 다른 도면에 표시되더라도 동일한 도면 부호를 가지고 있도록, 즉 명세서 전체에 걸쳐 동일한 참조 부호는 동일한 구성 요소를 지시하고 있다.
- [0035] 본 명세서에 첨부된 도면에서 본 발명을 구성하는 각 구성 요소의 크기, 위치, 결합 관계 등은 본 발명의 사상을 충분히 명확하게 전달할 수 있도록 하기 위해서 또는 설명의 편의를 위해서 일부 과장 또는 축소되거나 생략되어 기술되어 있을 수 있고, 따라서 그 비례나 축척은 엄밀하지 않을 수 있다.
- [0036] 본 명세서에서 "메조코즘(mesocosm)" 용어는, meso- 또는 'medium' 및 -cosm 'world'의 합성어로 통제된 조건에서 자연환경을 모사할 수 있는 야외 실험 시스템을 의미한다.
- [0038] 이하, 도면을 참고로 하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0040] 도 2에서 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 있어서, 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템은, 내부에 공간이 형성되고 상부가 개방된 형태이며 밀면에 배수구(16)가 형성된 용기 케이스(1); 상기 용기 케이스 일측에 설치된 수도 및 밸브(2); 상기 용기 케이스의 맨 하부에 위치하는 토양층(3); 상기 토양층 상부에 위치하는 담수층(4); 및 상기 토양층과 담수층에 영양단계별 생물 지표종으로서 생산자(5), 소비자(6) 및 분해자(7)를 포함할 수 있다.
- [0041] 이때, 상기 용기 케이스의 아래측에 위치하며 배수된 물을 별도로 모아서 처리할 수 있는 배수관(17)을 더 포함할 수도 있다.
- [0042] 상기와 같은 메조코즘 시스템은 액체상 사고물질 노출에 따른 육상의 생태환경 평가에 유용하게 사용될 수 있다.
- [0043] 한편, 기체상 사고물질 노출에 따른 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템은 도 3에서 도시된 바와 같은 형태일 수 있다.
- [0044] 즉, 본 발명의 다른 실시예에 있어서, 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템은, 내부에 공간이 형성되고 상부가 개방된 형태이며 밀면에 배수구(16)가 형성된 용기 케이스(1); 상기 용기 케이스 일측에 설치된 수도 및 밸브(2); 상기 용기 케이스의 맨 하부에 위치하는 토양층(3); 상기 토양층 상부에 위치하는 담수층(4); 상기 토양층과 담수층에 영양단계별 생물 지표종으로서 생산자(5), 소비자(6) 및 분해자(7); 상기 용기 케이스의 개방된 상면에 탈부착되는 케이스 커버(8); 상기 케이스 커버를 지지할 수 있는 고정틀(9); 상기 케이스 커버의 일측에 설치된 기체 주입관(12-1); 상기 기체 주입관 상에 구비된 개폐밸브(12); 상기 기체 주입관에 연결되는 유량 조절기(11)가 구비된 가스통(10); 상기 케이스 커버 내부면에 설치되며, 기체를 균질화할 수 있는 팬(13); 상기 케이스 커버의 타측에 설치된 기체 배출관(14-1); 상기 기체 배출관 상에 구비된 개폐밸브(14); 상기 기체 배출관에 연결된 기체 흡착부(15); 상기 용기 케이스의 아래측에 위치하며 배수된 물을 별도로 모아서 처리할 수 있는 배수관(17)을 포함할 수 있다.
- [0045] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 용기 케이스(1)는 내부에 공간이 형성되고 상부가 개방된 형태이며 밀면에 배수구(16)가 형성될 수 있다. 용기 케이스(1)의 내부에는 토양층(3), 담수층(4), 생산자(5), 소비자(6) 및 분해자(7)를 수용할 수 있는 공간이 형성되고, 생산자의 생장이 가능하도록 상부가 개방된 형태이다. 또한, 용기 케이스(1)의 밀면에는 배수구(16)가 형성될 수 있는데, 이러한 배수구는 본 발명의 육상의 생태환경 평가용 메조코즘 시스템에서 유해 화학물질 노출에 따라 토양으로 나오는 폐수를 배출하기 위함이다.
- [0046] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 수도 및 밸브(2)는 상기 용기 케이스(1)의 일측에 설치되며, 이를 통해 담수의 깊이를 조절할 수 있다.

- [0047] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 토양층(3)은 상기 용기 케이스(1)의 내부 맨 하부에 위치할 수 있으며, 상기 토양층에 사용되는 토양은 논토양 기준 최적 토성에 해당하는 미사질식양토(Silty clay loam), 식양토(Clay loam), 양토(loam)이며, 하기 실시예에서는, 상기 토성을 가지는 토양 중 양토에 해당하는 실제 논토양을 활용하였다.
- [0048] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 담수층(4)은 상기 토양층(3) 상부에 위치하며, 수도 및 밸브(2)에 의해 담수층의 깊이를 조절할 수 있다.
- [0049] 본 발명의 하기 실시예에서는, 상기 용기 케이스(1)에 논갈이와 비료 처리한 논토양 약 150 kg(약 110 L)을 채운 후 담수처리하여 논토양을 조성하였다.
- [0050] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 상기 영양단계별 생물 지표종으로서 생산자(5), 소비자(6) 및 분해자(7)는, 예를 들어, 벼(*Oryza sativa*), 왕우렁이(*Pomacea canaliculata*), 그리고 실지렁이(*Tubifex tubifex*)를 예시할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0051] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 영양단계별 생물 지표종으로서 생산자(5)는 벼(*Oryza sativa*)가 바람직하다. 본 발명의 메조코즘 시스템은 논 생태계 모사를 목적으로 하는바, 영양단계별 생물 지표종으로서 생산자는 벼(*Oryza sativa*)를 이용할 수 있다.
- [0052] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 영양단계별 생물 지표종으로서 소비자(6)는 어류, 양서류, 파충류, 갑각류, 패류 등일 수 있다.
- [0053] 상기 어류는 버들치, 버들개, 참붕어, 붕어, 떡붕어, 잉어, 피라니, 갈겨니, 참갈겨니, 왜물개, 버들매치, 쌀미꾸리, 미꾸리, 미꾸라지, 메기, 미유기, 대륙송사리, 잔가시고기, 드렁허리, 얼룩동사리, 밀어, 머들붕어 등을 예시할 수 있다.
- [0054] 상기 양서류 및 파충류는 도롱뇽, 무당개구리, 두꺼비, 물두꺼비, 청개구리, 수원청개구리, 맹꽁이, 한국산개구리, 북방산개구리, 계곡산개구리, 참개구리, 금개구리, 움개구리, 황소개구리, 자라, 남생이, 붉은귀거북, 줄장지뱀, 무자치, 누룩뱀, 유혈목이, 능구렁이, 쇠살모사, 살모사 등을 예시할 수 있다.
- [0055] 상기 갑각류로는 풍년새우, 긴꼬리투구새우, 아시아투구새우, 민무늬조개벌레, 털줄뽕조개벌레, 밤가시혹머리조개벌레, 참물벼룩, 큰물벼룩, 모이나물벼룩, 곰사등물벼룩, 가시시모물벼룩, 알씨물벼룩, 넓은 물벼룩, 긴배물벼룩, 땅달보투명씨벌레, 알씨벌레, 태평뽕조개벌레, 톱니코리검물벼룩, 참검물벼룩, 물벌레, 일본멧강구, 민가시예소옆새우, 털보옆새우, 참게, 동남참게, 가재, 새뱅이, 생이, 줄새우, 두두럭징거미새우, 징거미새우, 한국징거미새우, 갈색말거머리 등을 예시할 수 있다.
- [0056] 상기 패류는 물달팽이, 알물달팽이, 애기물달팽이, 긴애기물달팽이, 윈돌이물달팽이, 또아리물달팽이, 수정또아리물달팽이, 배꼽또아리물달팽이, 명주달팽이, 뽕조개물우렁이, 참뽕조개물우렁이, 쇠우렁이, 작은쇠우렁이, 염즈쇠우렁이, 큰논우렁이, 긴논우렁이, 둥근논우렁이, 논우렁이, 강우렁이, 왕우렁이, 다슬기, 꽃체다슬기, 주름다슬기, 좁주름다슬기, 참다슬기, 띠구슬다슬기, 주머니알다슬기, 민물삿갓조개, 산골조개, 삼각산골조개, 콩재첩, 재첩, 참재첩, 얇은재첩, 공주재첩, 점박이재첩, 일본재첩, 말조개, 작은말조개, 칼조개, 귀이빨대칭이, 꽃체두드럭조개, 대칭이, 작은대칭이, 펄조개 등을 예시할 수 있다.
- [0057] 본 발명의 일구체예에서, 상기 영양단계별 생물 지표종으로서 소비자(6)로 왕우렁이, 논우렁이, 명주달팽이 및 물달팽이와 같은 패류를 이용하는 것이 바람직하다.
- [0058] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 영양단계별 생물 지표종으로서 분해자(7)는 지렁이류일 수 있으며, 예를 들어, 실지렁이(*Tubifex tubifex*)를 이용할 수 있다.
- [0059] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 케이스 커버(8)는 용기 케이스(1)의 개방된 상면에 탈부착될 수 있으며, 기체상 사고물질 노출시 유해 화학물질이 외부로 유출(노출)되는 것을 방지하는 역할을 한다. 상기 케이스 커버(8)는 벼의 생육을 방해하지 않도록 충분히 높아야 하며, 전면은 투명하여야 한다.
- [0060] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 고정틀(9)은 상기 케이스 커버(8)를 지지하는 역할을 한다.
- [0061] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 기체 주입관(12-1)은 상기 케이스 커버(8)의 일측에 설치될 수 있으며, 상기 기체 주입관(12-1) 상에 개폐밸브(12)가 구비될 수 있다. 또한, 본 발명의 메조코즘 시스템에서 상기 기체 주입관(12-1)은 유량 조절기(11)가 구비된 가스통(10)과 연결될 수 있다.

- [0062] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 팬(13)은 상기 케이스 커버(8) 내부면에 설치되며, 시스템 내부에서 사고물질이 균일하게 분포할 수 있도록 한다.
- [0063] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 기체 배출관(14-1)은 상기 케이스 커버(8)의 타측에 설치될 수 있으며, 상기 기체 배출관(14-1) 상에 개폐밸브(14)가 구비될 수 있다. 또한, 본 발명의 메조코즘 시스템에서 상기 기체 배출관(14-1)은 기체 흡착부(15)와 연결될 수 있다.
- [0064] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 기체 흡착부(15)는 상기 기체 배출관(14-1)으로부터 나오는 기체상 사고물질을 제거하는 역할을 한다. 상기 기체 흡착부(15)는 기체상 사고물질을 흡착할 수 있는 흡착제를 포함할 수 있다.
- [0065] 본 발명의 메조코즘 시스템에서 배수관(17)은 유해 화학물질 누출사고 후 토양으로부터 배수구를 통해 배수되는 폐수를 별도로 모아서 처리하기 위하여 설치할 수 있다.
- [0067] 또한, 본 발명은 (a) 상기 메조코즘 시스템에 유해 화학물질을 누출시키는 단계; 및 (b) 유해 화학물질 누출 후 생산자, 소비자 및 분해자 각각의 독성지표를 측정하는 단계를 포함하는, 유해 화학물질 누출에 의한 육상 생태학적 영향을 평가하는 방법을 제공한다.
- [0068] 상기 (a) 단계에서 유해 화학물질을 누출은 본 발명의 메조코즘 시스템에 생산자와 분해자를 도입한 후 약 1주일 간 시스템 안정화를 거친 후에 진행하는 것이 바람직하다.
- [0069] 상기 유해 화학물질은 물리·화학적 특성과 누출 경로에 따라서 황산, 메탄올을 포함하는 수용성으로 토양 표면으로 유출(spill)되어 육상 생태계로 누출되는 물질군; 톨루엔을 포함하는 낮은 수용해도와 높은 휘발성으로 인해 액상으로 토양 표면으로 유출된 후 대기중으로 휘발되는 물질군; 그리고 염화수소, 암모니아를 포함하는 기체상으로 누출되어 육상 생태계로 누출되는 물질군으로 구분될 수 있다.
- [0070] 예를 들어, 상기 유해 화학물질은 황산, 질산, 염산, 불산, 인산, 아크릴로니트릴, 아크릴알데히드, 메탄올, 아황산가스, 암모니아, 일산화탄소, 이황화탄소, 불소, 염소, 브롬화메탄, 염화메탄, 염화프렌, 산화에틸렌, 시안화수소, 황화수소, 모노메틸아, 디메틸아민, 트리메틸아민, 톨루엔, 벤젠, 포스젠, 요오드화수소, 브롬화수소, 염화수소, 불화수소, 겨자가스, 알진, 모노실란, 디실란, 디보레, 세렌화수소, 포스핀 및 모노게르만 등을 예시할 수 있으나, 특별히 그 종류를 한정하는 것은 아니다.
- [0071] 본 발명의 일 구체예에서, 상기 유해 화학물질의 물리·화학적 특성과 육상 생태계 누출 경로에 따라 적합한 방법을 이용하여 육상 메조코즘 시스템 내로 사고물질을 유입시킬 수 있다.
- [0072] 구체적으로 높은 수용성을 가지며 토양 표면으로 유출되는 사고물질은 누출시키고자 하는 농도에 적합한 농도의 수용액을 만들고, 상기 수용액을 본 발명의 메조코즘 시스템 내에 직접 담수하여 상기 사고물질에 누출된 논 생태계를 모사할 수 있다.
- [0073] 토양 표면으로 유출될 수 있는 비수용성 사고물질은 누출시키고자 하는 양의 물질을 토양 표면에 골고루 살포한 후에 담수 조건을 조성하여 상기 사고물질에 누출된 논 생태계를 모사할 수 있다.
- [0074] 기체상으로 육상 생태계로 유입되는 물질들을 누출시키기 위해서는 본 발명에서 상기 케이스 커버(8)를 이용한다. 기체상 사고물질 누출은 상기 케이스 커버(8)와 연결된 기체상 사고물질의 농도와 유량, 누출 시간을 조절하여 상기 기체상 사고물질에 누출된 논 생태계를 모사할 수 있다. 기체상 사고물질의 누출이 끝난 후에는 사고물질들을 케이스 커버(8) 외부로 배출하고 적합한 흡착제(15) 등을 이용하여 포집하여 폐기할 수 있다.
- [0075] 본 발명의, 상기 (b) 단계에서 생산자가 버인 경우 측정되는 독성지표는 고사율, 잎의 수, 잎의 길이, 피해 잎 비율, 지상부 생중량, 엽록소 함량 및 이삭 발생 수 등을 예시할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0076] 본 발명의, 상기 (b) 단계에서 소비자가 왕우렁이, 논우렁이, 명주달팽이 또는 물달팽이인 경우 측정되는 독성지표는 사망률, 패각 길이 및 무게 등일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0077] 본 발명의, 상기 (b) 단계에서 분해자가 실지렁이인 경우 측정되는 독성지표는 사망률 또는 번식률 등일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0078] 본 발명의 일구체예에서, 상기 사고물질에 의해 누출된 토양 중 미생물 활성의 영향을 평가하기 위한 지표로는 토양 효소(예: β -glucosidase, urease, acid phosphatase, alkaline phosphatase, dehydrogenase 등) 활성 측정을 이용할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0079] 본 발명의 다른 구체예에서, 상기 사고물질에 의해 노출된 토양 중 양분(탄소, 질소, 인 등)의 형태별 농도 측정을 생태계 영향 평가에 활용할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0081] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0083] <실시예 1>

[0084] **육상 메조코즘 시스템 구축**

[0085] 본 실험에서는 논에 적합한 환경조건을 조성하기 위해 고려대학교 부속 덕소농장 부지 내 논에 메조코즘 시스템을 설치하였다. 자세하게는, 논 생태계를 모사하는 육상 메조코즘 시스템을 구축하기 위해 시중에서 판매하는 고무통을 이용하여 용기부를 제작하였다. 용기부에는 향후 수위 조절을 위해 바닥으로부터 30 cm 위치에 수도꼭지를 설치하였다. 한편, 용기부 밑면에 구멍을 뚫어 배수가 될 수 있도록 하였으며, 배수된 물을 별도로 모아서 처리 가능하도록 배수관을 설치하였다(오염된 물이 논에 스며들지 않도록 하기 위함).

[0086] 육상 메조코즘 시스템에 활용하기 위한 토양은 고려대학교 부속 덕소농장 부지 내 논토양을 사용하였다. 벼농사에 적합하도록 논갈이와 비료 처리를 진행한 후 논토양 150 kg을 메조코즘 시스템에 채우고 담수와 배수를 지속적으로 진행하여 논토양 표면을 평탄화시켰다. 본 실험에 활용한 토양의 토성(soil texture)은 양토(loam)이며, 토양의 이화학적 특성은 아래 표 1에서 자세히 나타내었다.

표 1

[0088] 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에서 사용한 토양의 이화학적 특성

토양 이화학적 특성	실시예
토성	양토
모래(%)	51.73
미사(%)	31.00
점토(%)	17.27
포장용수량(%)	50.10
산도(pH)	6.72
전기전도도(EC, dS/m)	0.060
유기물함량(%)	8.57
양이온치환용량(cmolc/kg)	10.68
유효인산(mg/kg)	55.23
암모니아태 질소(mg/kg)	6.09
아질산태 질소(mg/kg)	1.05
질산태 질소(mg/kg)	0.56

[0090] 본 실험에서 메조코즘 시스템의 생산자인 벼는 국내 중부평야지, 중서부해안지에 적용될 수 있는 품종(미소미)을 선정하였다. 벼 종자는 깨끗한 수도용 상토에 파종하였으며, 약 한 달 후에 상기 메조코즘 시스템에 이양한다. 이때, 메조코즘 시스템에는 포기 당 3 ~ 4본씩 9포기를 심었으며 포기 사이의 간격을 21 cm씩 유지하여 이양하였다.

[0091] 본 실험에서 메조코즘 시스템의 소비자로서 국내 벼농가에서 잡초 제거를 위해 논에 방사하는 왕우렁이(*Pomacea canaliculata*)를 선정하고, 왕우렁이에 의한 벼의 피해를 방지하기 위해 이양 5일 후에 메조코즘 시스템에 9마리씩의 왕우렁이 치패를 방사하였다.

[0092] 본 실시예에서 메조코즘 시스템의 분해자로 논토양에서 서식하는 실지렁이(*Tubifex tubifex*)를 선정하고, 상기 메조코즘 시스템에 90마리씩 방사하였다.

[0093] 본 실시예의 사고물질에 의한 논 생태계의 영향 평가에서 메조코즘 시스템은 농촌진흥청에서 제공하는 작물기술 정보(일반벼 - 기계이앙 - 물관리)에 근거하여 관리하였다(하기 표 2 참조).

표 2

[0095] 농촌진흥청에서 제공하는 작물기술정보

벼 생육시기	물관리 요령	물깊이(cm)	비고
이앙기	얕게 댈 것	2 ~ 3	
활착기	깊게 댈 것	5 ~ 7	
분얼성기	얕게 댈 것	2 ~ 3	
무효분얼기	중간물떼기	0	5 ~ 10일간
생식생장기	물 걸러대기	2 ~ 4	3일 관수, 2일 배수
출수기	보통 깊이	3 ~ 4	
등숙기	물 걸러대기	2 ~ 3	3일 관수, 2일 배수
낙수기	완전 낙수	0	출수 후 35일 전후

[0097] <실시예 2>

[0098] 사고물질(황산, 질산)의 육상 메조코즘 시스템 노출 방법

[0099] 본 실험에서는 논 생태계를 모사하는 육상 메조코즘 시스템에 국내에서 사고발생 빈도가 높은 물질에 해당하는 황산(H_2SO_4)와 질산(HNO_3)의 유출(spill) 사고 시나리오에 따라 두 물질의 육상 생태계 영향을 평가하였다. 본 실험에서는 기존에 진행한 육상 생물종(벼, 무, 톱토기, 지렁이)에 대한 황산과 질산의 독성평가 결과를 기반으로 하여 예측무영향농도(Predicted no effective concentration, PNEC)와 50% 위해 농도(Hazardous concentration 50%, HC_{50})를 계산하여 노출실험을 진행하였다.

[0100] 위해성 평가 지침에 따라 황산과 질산의 PNEC 농도는 상기 육상 생물종들을 이용한 독성평가를 통해 얻어진 만성독성자료(NOEC) 값을 평가계수인 10으로 나누어 계산하였으며, 황산과 질산의 PNEC 값은 각각 20, 12.5 mg/kg 이었다.

[0101] 위해성 평가 지침에 따라 기존에 진행한 육상 생물종의 독성평가 결과들을 토대로 구축된 종민감분포(Species sensitivity distribution, SSD)를 이용하여 통계적 접근방법을 이용해 HC_{50} 을 예측하였으며 황산과 질산의 HC_{50} 값은 각각 1,850, 1,031 mg/kg 이었다.

[0102] 육상 메조코즘 시스템에 황산과 질산을 PNEC, HC_{50} 에 해당하는 농도로 노출시키기 위해 혼합시켜야 하는 부피는 토양의 질량(150 kg), 비중(황산 1.84; 질산 1.38), 그리고 용액의 순도(황산 98%, 질산 60%)를 이용하여 계산하였고 육상 메조코즘 시스템에 노출시키기 위해 20 L 수용액으로 조제하였다.

[0103] 본 실험에서는 모내기 이후에 발생한 황산 혹은 질산의 유출(spill) 사고로 인한 논 생태계의 영향을 평가하였다.

[0104] 국내 벼농사 일정에 따라 5월 17일에 벼를 이앙하였고 5월 22일에 왕우렁이와 실지렁이를 육상 메조코즘 시스템에 접종하였다. 육상 메조코즘 내의 생물들이 시스템에서 안정화될 수 있도록 동물 접종 1주일 후인 5월 29일에 사고물질 노출을 진행하였다.

[0105] 황산, 질산을 노출시키기 전에 육상 메조코즘 시스템에 담수되어 있던 물을 모두 제거하였고 황산, 질산의 PNEC와 HC_{50} 에 해당하는 농도의 수용액 20 L(물깊이 5 cm에 해당)를 육상 메조코즘 시스템에 부어 노출시켰다.

[0106] 본 실험과 달리 기체상으로 노출되는 사고물질을 노출할 때에는 케이스 커버를 육상 메조코즘 용기부에 부착 후 기체상 사고물질의 고압용기(봄베)를 케이스 커버의 기체 주입구에 연결할 수 있다. 기체의 유량과 노출시간을 조절하여 시스템 내 사고물질의 농도를 유지하고 케이스 커버에 설치된 팬을 이용하여 시스템 내부 공기를 균질화하고, 노출이 끝난 후 시스템 내부의 기체상 사고물질을 배출시켜 기체의 특성에 따라 적절한 흡착제를 이용

하여 사고물질을 제거할 수 있다.

[0108] <실시예 3>

[0109] 사고물질(황산, 질산)에 노출된 육상 메조코즘 시스템 내 독성지표 측정

[0110] 본 실험에서는 육상 메조코즘 시스템을 구성하는 토양의 화학성 변화와 개별 생물종들의 독성지표(toxic endpoint)를 기초로 하여 육상 생태계에 끼치는 영향을 평가하였다. 토양과 생물종의 주요 독성지표들을 하기 방법에 따라 측정하였다(하기 표 3 참고). 측정된 독성지표 값들은 95% 신뢰수준 하에서 분산분석(ANOVA)을 통해 대조구에 대한 처리구의 통계적 유의성을 검정하였다.

표 3

[0112] 토양과 생물종의 주요 독성지표

영양 단계	주요 독성지표
토양	- 토양 산도(pH)
생산자(벼)	- 고사율(섭식, 화학물질 영향) - 잎의 수 - 길이 - 피해 잎 비율(섭식, 화학물질 영향) - 지상부 생중량(바이오매스) - 엽록소 함량
소비자(왕우렁이)	- 사망률 - 패각 길이 - 무게
분해자(실지렁이)	- 사망률 - 번식률

[0114] 본 실험에서 시간에 따른 토양 산도 변화를 확인한 결과 PNEC 농도의 황산과 질산에 노출된 시스템에서는 노출 2일 후에 토양 pH가 대조구와 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 반면에, HC₅₀ 농도에 노출된 시스템에서는 대조구와 유의한 차이가 나타났으며, 시간이 지남에 따라 pH가 증가하였지만 노출 이전의 상태를 회복하지 못하는 것을 확인하였다(도 4참조).

[0115] 또한, 본 실험에서는 시간에 따른 벼에 대한 황산, 질산의 영향 변화를 확인하기 위해 주기적으로 잎의 엽록소 함량을 측정하였다. 잎의 엽록소는 엽록소계(chlorophyll meter)를 이용하여 비파괴적 방법으로 측정하였. 대조구를 통해 확인한 벼 잎의 엽록소는 7월 4주차에 가장 높은 함량을 보였고 이후 벼가 익어감에 따라 감소하기 시작하였다. PNEC 농도의 황산과 질산에 노출된 메조코즘 시스템 내 벼는 대조구의 벼와 엽록소 함량에서 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 황산 HC₅₀ 처리구에서는 노출 초기에 엽록소 함량이 낮게 확인되었다. 노출 이후 1달이 지난 시점부터 HC₅₀ 농도의 황산과 질산 처리구의 엽록소 함량은 대조구와 PNEC 처리구보다 유의하게 높아지기 시작했고 실험기간동안 지속적으로 통계적으로 유의하게 높은 농도의 엽록소 함량을 유지하였다(도 5 참조).

[0116] 또한, 본 실험에서는 사고물질 노출 후 28일에 소비자에 의한 섭식 혹은 사고물질 노출에 의해 고사된 벼의 수를 평가하였다. 질산 PNEC 처리구 중 일부에서 왕우렁이의 섭식에 의해 벼가 고사했다. 황산과 질산의 HC₅₀ 처리구에서는 화학물질 노출에 의해 고사된 식물체가 발견되었으나 대조구와 유의한 차이가 나타나지는 않았다.

[0117] 또한, 본 실험에서는 육상 메조코즘 시스템 당 임의로 3포기씩을 수확하여 잎의 수와 길이를 측정하였다. 황산 HC₅₀ 처리구의 잎의 수와 길이 모두 유의하게 감소하는 것으로 나타났다.

[0118] 또한, 발생한 전체 잎의 수 중 소비자에 의한 섭식 혹은 사고물질 노출에 의한 피해가 발생한 잎의 비율을 계산

하였다. 섭식에 의한 피해 비율(R_f)과 사고물질 노출에 의한 피해 비율(R_c)의 계산은 다음과 같다.

$$R_f = \frac{N_f}{N_T}$$

$$R_c = \frac{N_c}{N_T}$$

여기서, N_c 는 사고물질 노출에 의한 피해가 발생한 잎의 수, N_f 는 섭식에 의해 피해가 발생한 잎의 수, 그리고 N_T 는 전체 잎의 수이다.

섭식에 의한 피해가 발생한 잎과 사고물질 노출에 의한 잎의 피해 발생 여부를 평가하였다(도 6 참조). 섭식에 의해 피해가 발생한 잎의 비율은 황산 HC_{50} 처리구에서 대조구와 유의한 차이를 보였고, 모든 처리구들에서 화학 물질 노출에 의한 피해가 발생한 잎의 비율이 대조구보다 유의하게 높았으며 처리 농도에 따라서도 유의한 차이를 확인하였다(도 7 및 도 8 참조).

또한, 본 실험에서 수확한 벼의 생중량을 측정한 결과는 HC_{50} 황산 처리구에서 대조구와 유의한 차이가 확인되었다(도 9 참조).

또한, 본 실험에서 육상 메조코즘 시스템에 도입되었던 왕우렁이는 HC_{50} 처리구에서 모두 사망하였으며, 대조구와 PNEC 처리구에서는 사망한 개체가 발견되지 않았다. 한편, 대조구와 PNEC 처리구에서 생존한 왕우렁이의 패각 길이와 무게 사이에는 유의한 차이가 발견되지 않았다.

또한, 본 실험에서 육상 메조코즘 시스템에 도입되었던 실지렁이는 HC_{50} 처리구에서 모두 사망한 것으로 확인되었다. 육상 메조코즘 시스템의 토양에서 회수된 실지렁이의 성체 수는 PNEC 처리구에서 일부 감소하였지만 대조구와 유의한 차이가 나타나지는 않았다. 하지만 실지렁이의 어린 개체 수는 PNEC 처리구들에서 대조구에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 것을 확인하였으며, 이러한 결과를 통해 예측무영향농도(PNEC)에서도 황산, 질산에 의한 실지렁이의 번식률이 저해받은 것으로 확인되었다(도 10 참조).

한편, 국내에서 사고 빈도가 높은 사고물질 중 황산과 질산을 모내기 이후와 출수기 이후에 각각 처리하여 노출 시기에 따른 육상 생태계 영향을 평가하였고, 벼의 성장과 생산 특성을 이용하여 논 생태계에 황산과 질산이 미치는 영향을 평가하였다.

하기 표 4 및 5는 각각 모내기 및 출수기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 황산(H_2SO_4)을 노출시킨 후 노출 농도와 노출 기간에 따른 벼의 성장 및 생산 특성 변화를 나타내는 실험 결과이다.

또한, 하기 표 6 및 7은 각각 모내기 및 출수기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 질산(HNO_3)을 노출시킨 후 노출 농도와 노출 기간에 따른 벼의 성장 및 생산 특성 변화를 나타내는 실험 결과이다.

표 4

모내기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 황산을 노출시킨 후 노출 농도와 노출 기간에 따른 벼의 성장 및 생산 특성 변화

Days after exposure	Endpoint	Control	H_2SO_4	
			PNEC	HC_{50}

28 d (short-term monitoring)	Height (cm)	38.03 (7.06)	36.09 (1.98)	27.93* (4.37)
	Shoot biomass (g hill ⁻¹)	9.50 (2.76)	8.15 (1.80)	1.56* (0.78)
	Chlorophyll content	33.93 (3.76)	35.20 (1.01)	35.97 (1.40)
138 d (long-term monitoring)	Height (cm)	81.81 (6.04)	86.28 (5.51)	88.44* (6.15)
	Shoot biomass (g hill ⁻¹)	118.72 (47.81)	120.89 (33.87)	168.60* (76.84)
	Chlorophyll content	12.45 (1.84)	12.60 (2.25)	27.50* (8.77)
	Panicle number per hill	21.75 (5.85)	20.22 (4.22)	27.50* (8.77)
	Whole grain weight (g)	278.33 (51.93)	280.67 (21.39)	390.00* (8.49)
	1000 grain weight (g)	22.57 (0.30)	22.35 (0.56)	22.05 (0.08)
	Water content in grain (%)	25.61 (1.79)	24.58 (3.00)	28.49* (3.72)
	Harvest index	0.43 (0.17)	0.39 (0.06)	0.43 (0.06)

표 5

[0133]

출수기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 황산을 노출시킨 후 노출 농도와 노출 기간에 따른 벼의 생장 및 생산 특성 변화

Endpoint	Control	H ₂ SO ₄	
		PNEC	HC ₅₀
Height (cm)	81.81 (6.04)	83.61 (7.54)	84.72 (8.87)
Shoot biomass (g hill ⁻¹)	118.72 (47.81)	122.25 (31.13)	98.00 (38.29)
Chlorophyll content	12.45 (1.84)	16.33 (3.67)	17.13 (3.33)
Panicle number per hill	21.75 (5.85)	18.81 (4.58)	20.22 (5.80)
Whole grain weight (g)	278.33 (51.93)	250.67 (19.43)	234.67 (43.47)
1000 grain weight (g)	22.57 (0.30)	21.89 (0.50)	23.20 (1.02)
Water content in grain (%)	25.61 (1.79)	23.92 (1.48)	17.89* (1.32)
Harvest index	0.43 (0.17)	0.42 (0.04)	0.41 (0.06)

표 6

[0135]

모내기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 질산을 노출시킨 후 노출 농도와 노출 기간에 따른 벼의 생장

및 생산 특성 변화

Days after exposure	Endpoint	Control	HNO ₃	
			PNEC	HC ₅₀
28 d (short-term monitoring)	Height (cm)	38.03 (7.06)	33.72* (1.98)	32.60* (3.54)
	Shoot biomass (g hill ⁻¹)	9.50 (2.76)	9.45 (3.00)	5.66 (3.11)
	Chlorophyll content	33.93 (3.76)	35.37 (2.58)	40.90* (0.89)
138 d (long-term monitoring)	Height (cm)	81.81 (6.04)	88.39* (4.74)	88.72* (6.15)
	Shoot biomass (g hill ⁻¹)	118.72 (47.81)	131.65 (54.37)	189.44* (65.70)
	Chlorophyll content	12.45 (1.84)	11.30 (1.20)	17.27 (4.28)
	Panicle number per hill	21.75 (5.85)	23.53 (6.62)	32.44* (8.24)
	Whole grain weight (g)	278.33 (51.93)	316.00 (29.46)	443.33* (92.64)
	1000 grain weight (g)	22.57 (0.30)	22.65 (0.70)	19.79* (1.21)
	Water content in grain (%)	25.61 (1.79)	23.63 (1.65)	27.52 (3.26)
	Harvest index	0.43 (0.17)	0.42 (0.01)	0.40 (0.04)

표 7

[0137]

출수기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 질산을 노출시킨 후 노출 농도와 노출 기간에 따른 벼의 생장 및 생산 특성 변화

Endpoint	Control	HNO ₃	
		PNEC	HC ₅₀
Height (cm)	81.81 (6.04)	80.72 (6.49)	84.44 (7.60)
Shoot biomass (g hill ⁻¹)	118.72 (47.81)	96.22 (28.16)	129.07 (50.25)
Chlorophyll content	12.45 (1.84)	11.77 (0.76)	23.03* (2.38)
Panicle number per hill	17.28 (3.56)	17.87 (6.29)	18.81 (4.58)
Whole grain weight (g)	278.33 (51.93)	230.00 (53.78)	287.33 (19.43)
1000 grain weight (g)	22.57 (0.30)	22.56 (0.50)	22.63 (0.59)
Water content in grain (%)	25.61 (1.79)	24.72 (0.71)	24.70 (3.00)
Harvest index	0.43 (0.17)	0.40 (0.02)	0.45 (0.06)

- [0139] 그 결과, 모내기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 황산을 노출시킨 경우, 황산 HC₅₀ 처리구에서 벼의 길이, 지상부 생장량, 엽록소 함량, 포기 당 이삭 대(panicle) 수, 전체 이삭 질량, 이삭 중 수분 함량이 통계적으로 대조구와 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(표 4 참조).
- [0140] 한편, 출수기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 황산을 노출시킨 경우, 황산 HC₅₀ 처리구에서 이삭 중 수분 함량에서 통계적으로 대조구와 유의한 차이를 나타냈다(표 5 참조).
- [0141] 또한, 모내기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 질산을 노출시킨 경우, 질산 PNEC 처리구에서 벼의 길이가 대조구와 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, HC₅₀ 처리구에서는 벼의 길이, 엽록소 함량, 지상부 생장량, 포기 당 이삭 대(panicle) 수, 전체 이삭 질량, 천립중이 대조구와 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(표 6 참조).
- [0142] 한편, 출수기 이후 본 발명의 육상 메조코즘 시스템에 질산을 노출시킨 경우, 질산 HC₅₀ 처리구에서 엽록소 함량이 대조구와 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(표 7 참조).
- [0144] 상기에서 살펴본 바와 같이, 본 실험에서는 국내에서 사고 빈도가 높은 사고물질 중 황산과 질산이 논 생태계에 끼치는 영향을 평가하였다. 특히 영양단계별 대표 생물로 구성된 시스템을 이용하여 화학물질에 의한 영향과 소비자의 생산자 섭식 등의 영향을 동시에 평가하였다.
- [0146] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

- [0147]
- 1: 용기 케이스
 - 2: 수도 및 밸브
 - 3: 토양층
 - 4: 담수층
 - 5: 생산자
 - 6: 소비자
 - 7: 분해자
 - 8: 케이스 커버
 - 9: 케이스 커버 지지용 고정틀
 - 10: 가스통
 - 11: 유량 조절기
 - 12, 14: 개폐밸브
 - 12-1: 기체 주입관
 - 14-1: 기체 배출관
 - 13: 팬
 - 15: 기체 흡착부

16: 배수구

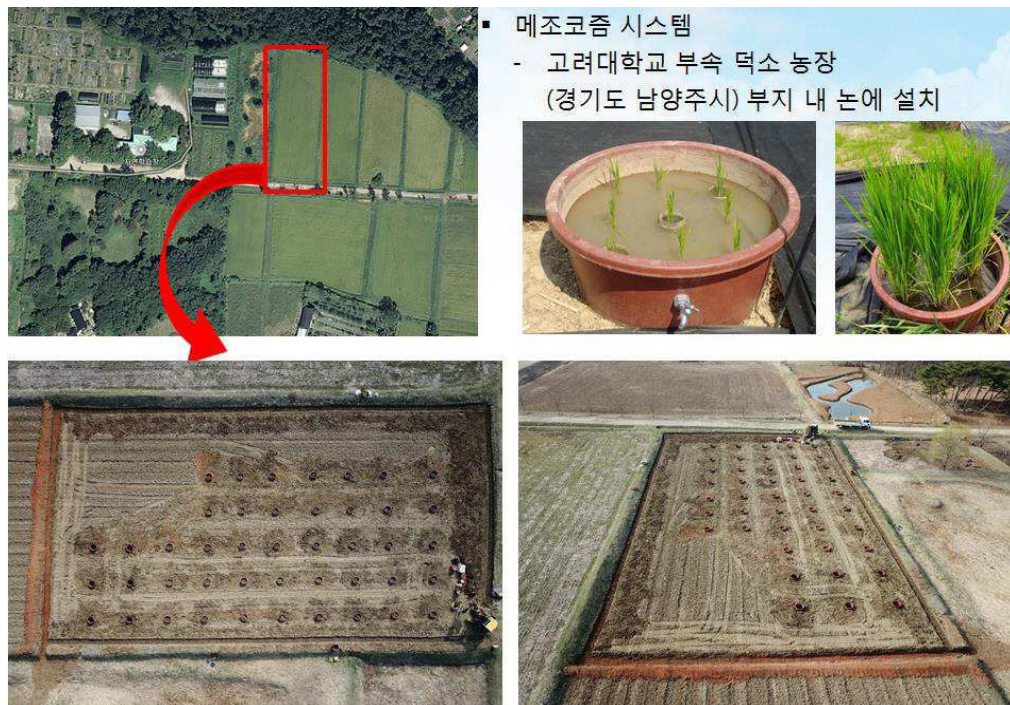
17: 배수관

도면

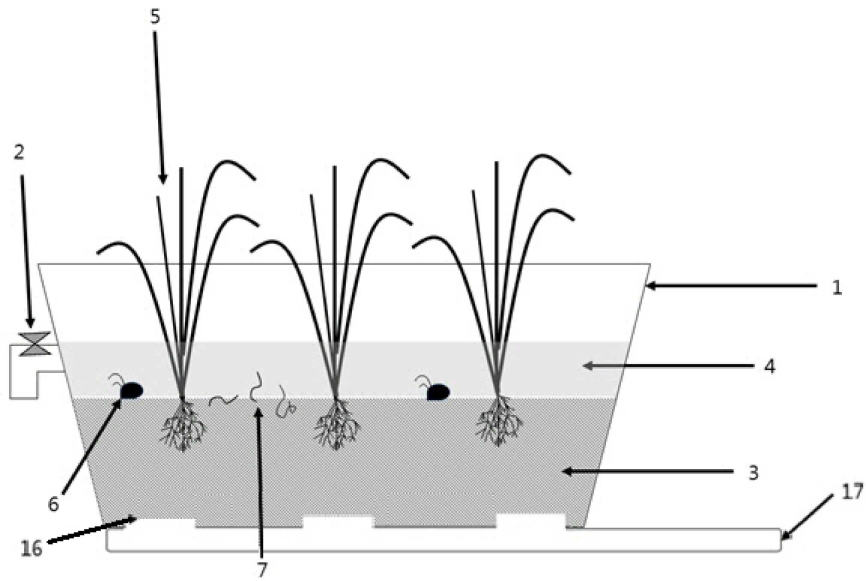
도면1a



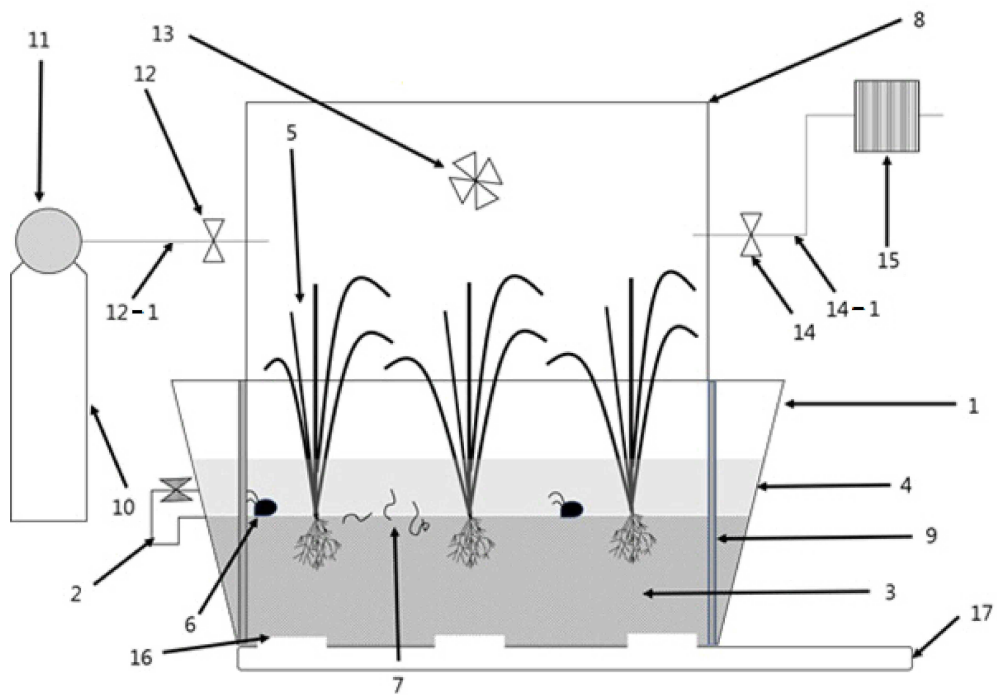
도면1b



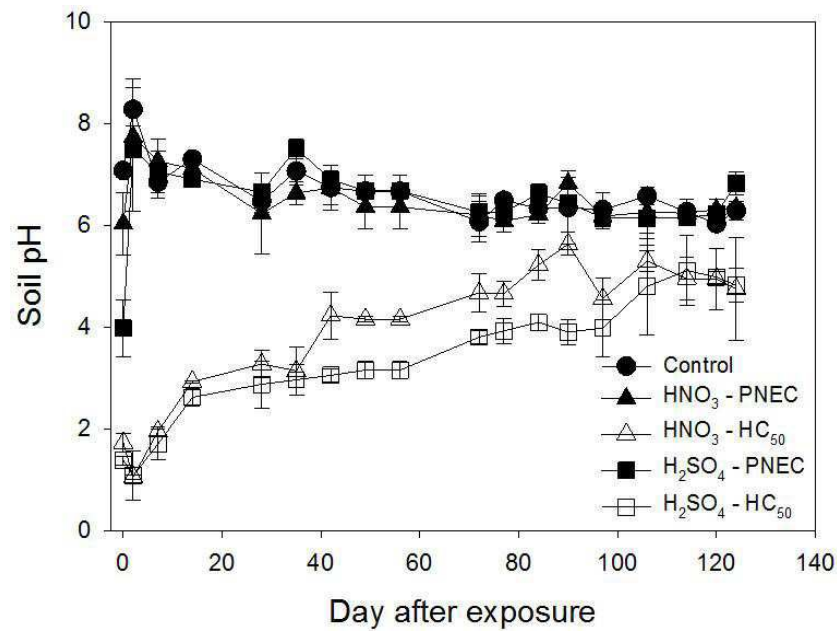
도면2



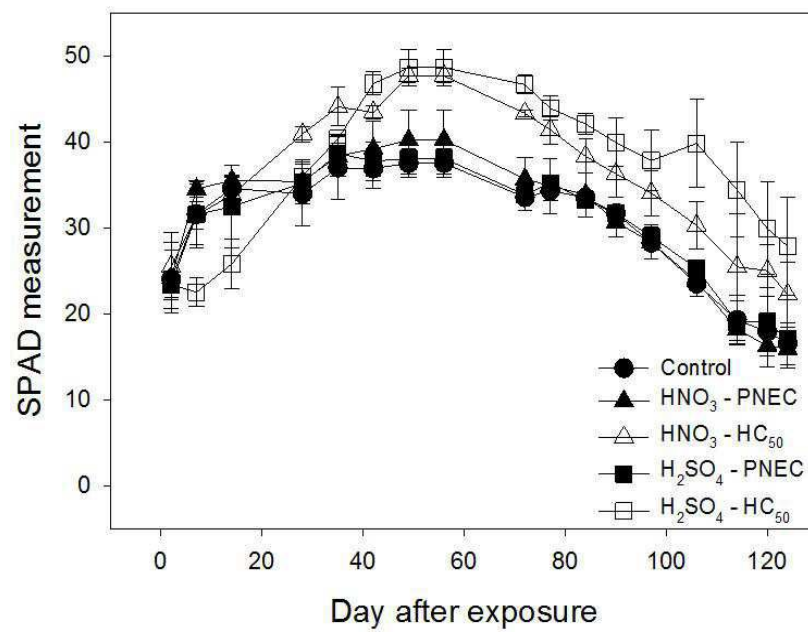
도면3



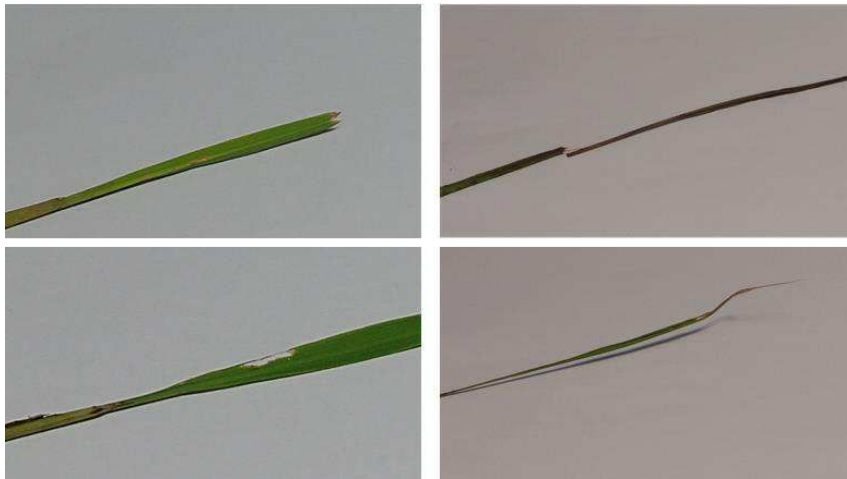
도면4



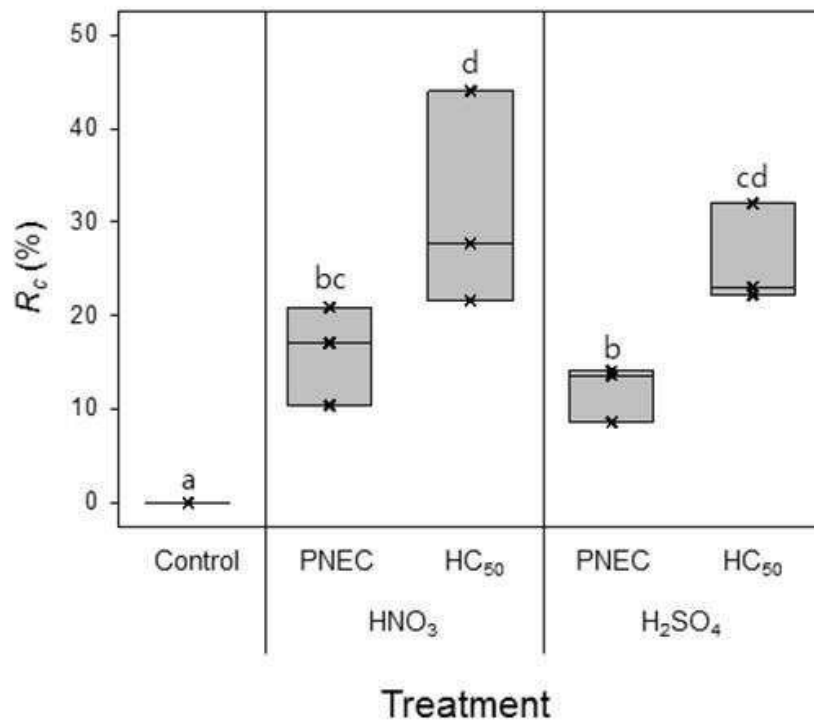
도면5



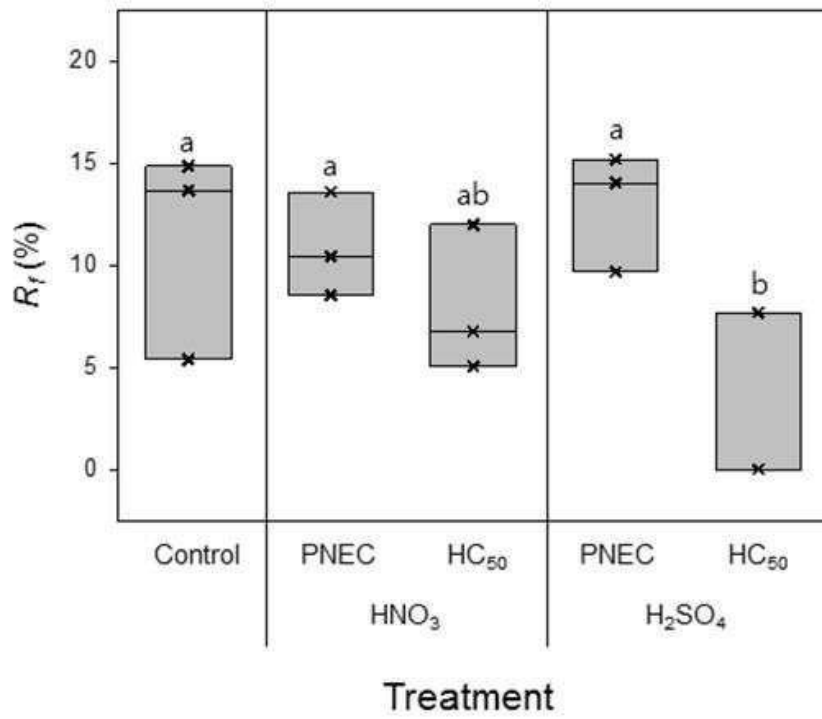
도면6



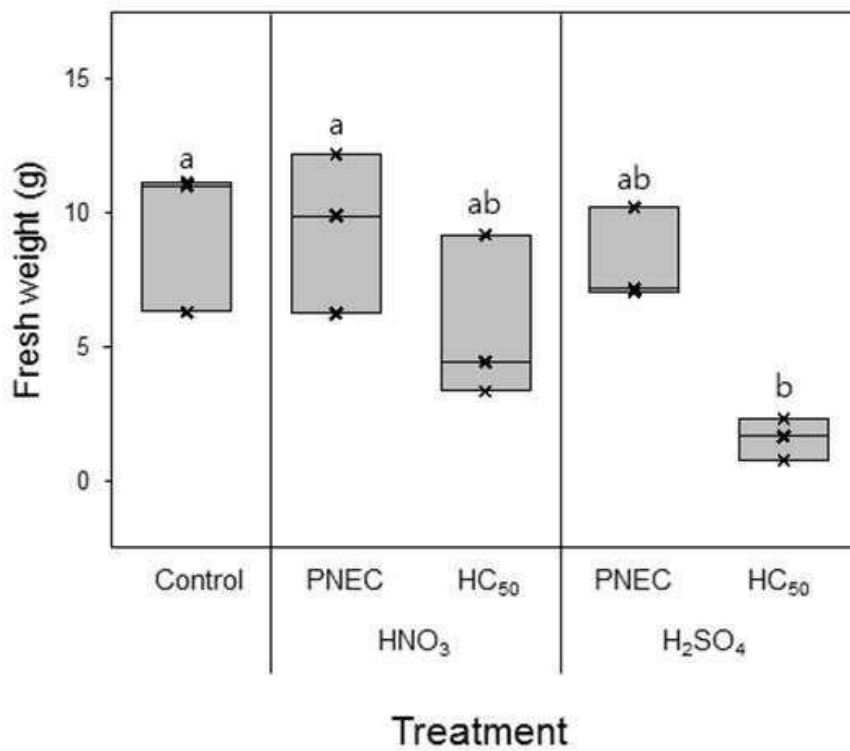
도면7



도면8



도면9



도면10

