(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0086955
(43) 공개일자 2020년07월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 33/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 33/24 (2019.01)
G01H 1/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0003383
(22) 출원일자 2019년01월10일
심사청구일자 2019년01월10일

(71) 출원인
경상대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
이우춘
경상남도 진주시 진주대로 501(가좌동)
이상우
경상남도 진주시 진주대로 501(가좌동)
김순오
인천광역시 서구 청라커낼로 252, 107동 803호(청라동, 청라 롯데캐슬)
(74) 대리인
특허법인충현

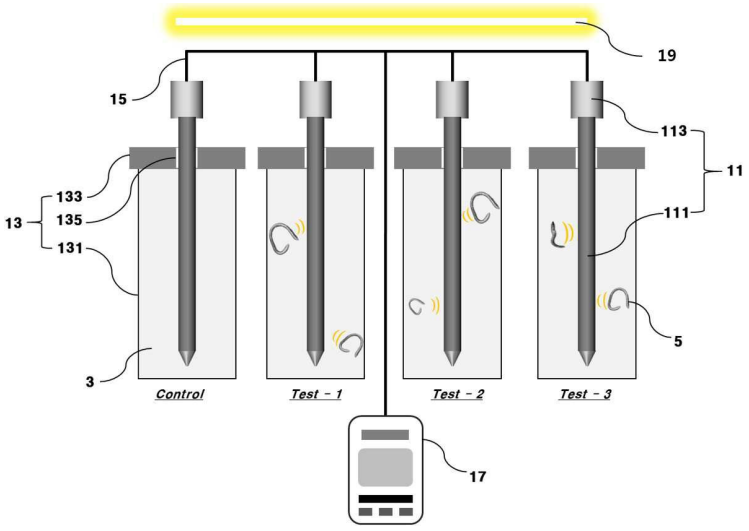
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **토양의 생태 독성 측정 방법**

(57) 요 약

본 발명은 토양의 생태 독성 측정 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 토양 내 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동을 감지하기 위한, 최적화 및 정량화된 방법을 구축하고, 이를 통하여 실시간으로 토양 생태 독성값(EC50)을 도출할 수 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2018-0249
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 기본연구(1년~3년)
연구과제명 실시간 토양 생태 독성 모니터링을 위한 평가기법 개발
기 여 율 1/1
주관기관 경상대학교 산학협력단
연구기간 2017.06.01 ~ 2020.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

(a) 반응조 내부에 수용된 토양에 토양생물을 노출시키는 단계,

(b) 상기 토양에 노출된 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동을 진동센서로 감지하는 단계,

(c) 센서 모듈을 통하여 상기 진동센서에서 감지한 진동을 전기적 신호로 변환하는 단계,

(d) 상기 센서 모듈로부터 전기적 신호를 미터기로 전달하여 상기 토양생물의 움직임 패턴을 산출하는 단계 및

(e) 상기 산출된 움직임 패턴을 통하여 토양 생태 독성값(EC50)을 도출하는 단계를 포함하는 토양의 생태 독성 측정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 토양생물은 지렁이인 것을 특징으로 하는 토양의 생태 독성 측정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 토양의 포장 용수량(WHC)은 45 내지 55%인 것을 특징으로 하는 토양의 생태 독성 측정 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 토양의 압밀도는 1.05 내지 1.15인 것을 특징으로 하는 토양의 생태 독성 측정 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 지렁이 한 마리 당 노출되는 토양량은 35 내지 100 g인 것을 특징으로 하는 토양의 생태 독성 측정 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 토양에 지렁이를 노출시키는 시간은 1 내지 7 일인 것을 특징으로 하는 토양의 생태 독성 측정 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 반응조의 사양은 지름 7 내지 12 cm 및 높이 3 내지 6 cm인 것을 특징으로 하는 토양의 생태 독성 측정 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 토양의 생태 독성 측정 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 토양 내 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동을 감지하기 위한, 최적화 및 정량화된 방법을 구축하고, 이를 통하여 실시간으로 토양 생태 독성값(EC50)을 도출하는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 지식정보화시대로 접어들면서 토양 활용이 농경지에서 공업, 산업부지로 점점 늘어가는 추세이다. 부지 변경으로 인해 토양오염이 점점 늘어가고 있으며, 우리나라는 국토가 비교적 좁아 토양 활용도가 다른 OECD 국가에 비해 적기 때문에 토양오염 문제가 매우 중요하다. 이러한 토양오염은 토양만 오염되는 것이 아니라 오염물질의 확산으로 인해 주변 지하수 및 하천까지 영향을 끼치고 최종 인간까지 영향을 줄 수 있다. 때문에, 오염의 확산을 조기에 발견하고 적시에 바람직한 조치를 취하기 위해 토양오염의 평가방법의 필요성이 요구되었다.

[0003] 국내 토양오염의 평가방법으로는 오염물질의 총 함량을 분석하여 이용 토지별 우려/대책 기준으로 평가한다. 근래 선진국에서는 합리적인 토양오염 평가를 위해 인체건강 및 생태계를 고려한 위해성 평가방법을 이용하고 있다. 토양 생태계에 대한 독성평가는 식물과 지렁이 등이 지표 생물종으로 이용되고 있으며, 독성평가의 절차는 OECD, ISO, ASTM, EPA 기관들에서 표준화시켜 많은 가이드라인을 제공하고 있다.

[0004] 전술한 지표 생물종 가운데 지렁이를 이용한 평가방법의 경우, 제공하고 있는 가이드라인에서는 일부 문제점이 발견된다. 우선, 많은 양의 토양과 대상 생물의 개체 수 또한 다수로 요구된다는 점이다. 현재 가이드라인의 토양 오염 평가에는 지표 생물종을 투입한 후 소정의 기간이 경과한 뒤 생존해 있는 지표 생물종의 개채수로부터 토양의 오염 정도를 평가하게 된다. 이에 따라, 정확한 생존률 지표를 도출하기 위해서 지표 생물의 다수 투입해야 하며, 지표 생물이 다수 투입되기 때문에 평가시 요구되는 토양 또한 대면적인 것이 일반적이다. 이처럼, 가이드라인에 따르면 토양오염의 평가를 위하여 소모되는 시간이 길고, 요구되는 토양의 양과 지표 생물이 많기 때문에 이를 해결하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

[0005] 한편, 토양의 독성 평가 장치와 관련된 종래기술로서 한국 등록특허 공보 제10-1665370호(특허문헌 1)는 '꼬마흑무늬톡토기를 이용한 토양의 독성 측정 방법'을 개시한다. 특허문헌 1은 오염된 토양에 노출시킨 붉은줄지렁이를 꼬마흑무늬톡토기에게 급이함으로써 꼬마흑무늬톡토기의 이동운동능력의 변화에 따라 토양의 독성 정도를 판단한다. 다만, 선행문헌은 오염된 토양에 노출된 지렁이를 토양에서 분리 후 급이하는 과정이 포함되어 토양의 오염정도를 실시간으로 파악하기 어려운 문제점이 있다.

[0006] 이러한 문제점을 보완한 한국 공개특허 공보 제10-2018-0064054호(특허문헌 2)는 '토양생물의 활동성으로 토양의 독성을 평가하는 토양의 독성 평가 장치'를 개시하고 있으나, 토양 생태 독성값(EC50)을 도출하기 위한 최적화 및 정량화된 토양의 생태 독성 평가방법에 대해서는 전무한 상태이다. 때문에, 토양의 오염정도를 실시간으로 확인하여 토양 생태 독성값(EC50)을 도출하는 최적화 및 정량화된 토양의 생태 독성 평가방법에 대한 필요성이 요구되었다.

[0007] 따라서, 본 발명자는 토양 내 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동을 감지하기 위한, 최적화 및 정량화된 방법을 구축하고, 이를 통하여 실시간으로 토양 생태 독성값(EC50)을 도출할 수 있음에 착안하여 본 발명을 완성하기에 이르렀다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 특허문헌 1. 한국 등록특허 공보 제10-1665370호

(특허문헌 0002) 특허문헌 2. 한국 공개특허 공보 제10-2018-0064054호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 고려하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 토양 내 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동을 감지하기 위한, 최적화 및 정량화된 방법을 구축하고, 이를 통하여 실시간으로 토양 생태 독성값(EC50)을 도출하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은, (a) 반응조 내부에 수용된 토양에 토양생물을 노출시키는 단계, (b) 상기 토양에 노출된 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동을 진동센서로 감지하는 단계, (c) 센서 모듈을 통하여 상기 진동센서에서 감지한 진동을 전기적 신호로 변환하는 단계, (d) 상기 센서 모듈로부터 전기적 신호를 미터기로 전달하여 상기 토양생물의 움직임 패턴을 산출하는 단계 및 (e) 상기 산출된 움직임 패턴을 통하여 토양 생태 독성값(EC50)을 도출하는 단계를 포함하는 토양의 생태 독성 측정 방법을 제공한다.

[0011] 상기 토양생물은 지렁이일 수 있다.

[0012] 상기 토양의 포장 용수량(WHC)은 45 내지 55%일 수 있다.

[0013] 상기 토양의 압밀도는 1.05 내지 1.15일 수 있다.

[0014] 상기 지렁이 한 마리 당 노출되는 토양량은 35 내지 100 g일 수 있다.

[0015] 상기 토양에 지렁이를 노출시키는 시간은 1 내지 7 일일 수 있다.

[0016] 상기 반응조의 사양은 지름 7 내지 12 cm 및 높이 3 내지 6 cm일 수 있다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따르면, 토양 내 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동을 감지하기 위한, 최적화 및 정량화된 방법을 구축하고, 이를 통하여 실시간으로 토양 생태 독성값(EC50)을 도출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명에 따른 토양의 생태 독성 측정 방법에서 제공되는 토양의 생태 독성 측정 장치의 개략도 이미지이다.

도 2는 본 발명의 실험예에 따라 토양생물의 독성값을 측정하는 (a) 장치의 외부 진동을 최소화 하기 위한 테이블 구성도 및 (b) 실제 이미지이다.

도 3은 제조예 1의 오염되지 않은 자연토의 수분 함량에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 4는 제조예 1의 오염되지 않은 자연토의 압밀도에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 5는 제조예 1의 오염되지 않은 자연토 내 지렁이 수에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 6은 제조예 1의 오염되지 않은 자연토를 수용하는 반응조의 사양에 따른 (a) 반응조 이미지, (b) 시간별 진동감지 결과 및 (c) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 7은 제조예 1의 오염되지 않은 자연토를 이용한 모니터링 시간에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 8은 본 발명에 따른 제조예 1의 오염되지 않은 자연토 및 제조예 2 내지 4의 아연으로 오염된 시험토의 아연 농도에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

도 9는 본 발명에 따른 제조예 1의 오염되지 않은 자연토 및 제조예 2 내지 4의 아연으로 오염된 시험토의 (a) 8 일간 EC50 결과 그래프 및 (b) 5 일간 EC50 결과 그래프이다.

도 10은 도 5를 참조하여 지렁이 마리 수에 따른 체중 변화량 결과를 나타낸 그래프이다.

도 11은 본 발명에 따른 독성값(EC50) 도출을 위한 Log-logistic 모델 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하에서, 본 발명의 여러 측면 및 다양한 구현예에 대해 더욱 구체적으로 설명한다.

[0020] 본 발명은 (a) 반응조(131) 내부에 수용된 토양(3)에 토양생물(5)을 노출시키는 단계, (b) 상기 토양에 노출된 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동을 진동센서(111)로 감지하는 단계, (c) 센서 모듈(113)을 통하여 상기 진동센서(111)에서 감지한 진동을 전기적 신호로 변환하는 단계, (d) 상기 센서 모듈(113)로부터 전기적 신호를 미터기(17)로 전달하여 상기 토양생물의 움직임 패턴을 산출하는 단계 및 (e) 상기 산출된 움직임 패턴을 통하여 토양 생태 독성값(EC50)을 도출하는 단계를 포함하는 토양의 생태 독성 측정 방법을 제공한다. 상기 토양 생태 독성값(EC50)은 하기 수학식 1에 의하여 계산될 수 있다.

[0021] 구체적인 예로, 상기 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동이 진동센서를 통해 감지된 결과는 상기 센서 모듈을 통하여 월일시분초로 측정된 전기적 신호로 SD_USB에 저장하였다. 측정된 데이터 중 신호가 없는 데이터는 제거하고 측정된 데이터를 모두 시간을 초로 환산하여 모든 채널에서 감지된 진동 신호값을 취합하여 시간에 따라 정렬하였다. 그후 한 번의 움직임을 구분하기 위해 다시 시간으로 표기하여 소수점 2자리까지 나타내었다. 중복된 값은 삭제하고 지렁이 움직임을 횟수로 누적 데이터로 정리하여 이 데이터를 [수학식 1]에 대입하여 EC50값을 도출하였다.

[0022] [수학식 1]

[0023] $$y = \Phi^{(c)} + \frac{\Phi^{(d)} - \Phi^{(c)}}{1 + \left(x/\Phi^{(e)}\right)^{\Phi^{(b)}}}$$

[0024] 상기 EC50 값을 구하기 위해 본 특허에서 도출되는 네 가지 매개변수로 Log-logistic 모델(Finney, 1976)을 이용하였다. 이 모델은 일반적으로 dose-response 데이터를 활용하여 EC50 값을 구하는데 매우 적합하고 대중적으로 이용되고 있다(Jiang와 Kopp-Schneider, 2014).

[0025] 도 11을 참조하면, 변수 $\phi^{(c)}$와 $\phi^{(d)}$는 점근선의 최소값과 최대값에 해당하는 값이다. 변수 $\phi^{(e)}$는 EC50이며, 변수 $\phi^{(b)}$는 곡선의 기울기를 통해 결정된다. 이 식을 통해 계산된 결과를 하기 [수학식 2]에 도시하였다(x는 오염물질의 농도, y는 토양생물의 움직임 패턴 데이터).

[0026] [수학식 2]

[0027] $$y = -77.924 + \frac{(449.345 + 77.924)}{1 + \left(\frac{x}{452.204}\right)^{1.927}}$$

[0028] 상기 토양생물(5)은 지렁이일 수 있다. 토양생물(5)의 범주가 지렁이에 제한되는 것은 아니며, 지렁이와 같이 노출된 토양(3)의 환경에 따라 활동성이 차이나는 생물을 토양생물(5)로 선택할 수 있다.

[0029] 상기 토양(3)의 포장 용수량(Water Holding Capacity, WHC)은 45 내지 55%, 바람직하게는 46 내지 54%, 더욱 바람직하게는 48 내지 52%일 수 있다. 상기 포장 수용량이 45 내지 55% 범위를 벗어날 경우에는 지렁이의 체중 변화량이 현저히 증가함을 확인하였다.

[0030] 상기 포장 용수량이라 함은 토양이 일정 장력에서 함유할 수 있는 수분 함량을 의미한다.

[0031] 상기 토양(3)의 압밀도는 1.05 내지 1.15, 바람직하게는 1.06 내지 1.13, 더욱 바람직하게는 1.07 내지 1.11일 수 있다. 상기 압밀도가 1.05 내지 1.15 범위를 벗어날 경우에는 지렁이의 체중 변화량이 현저히 증가함을 확인하였다.

[0032] 상기 지렁이 한 마리 당 노출되는 토양량은 35 내지 100 g, 36 내지 80 g, 더욱 바람직하게는 37 내지 60 g일 수 있다.

[0033] 상기 토양(3)에 지렁이를 노출시키는 시간은 1 내지 7 일, 바람직하게는 4 내지 7 일, 더욱 바람직하게는 5 내지 7 일일 수 있다. 상기 노출 시간이 1 내지 7 일을 벗어날 경우에는 지렁이의 EC 50값이 변화가 없음을 확인하였다.

[0034] 상기 반응조(131)의 사양은 지름 7 내지 12 cm 및 높이 3 내지 6 cm, 바람직하게는 지름 8.5 내지 11.0 cm 및 높이 3.5 내지 5.5 cm, 더욱 바람직하게는 지름 9 내지 10 cm 및 높이 4 내지 5 cm일 수 있다. 상기 반응조의 사양이 지름 7 내지 12 cm 및 높이 3 내지 6 cm을 벗어날 경우에는 지렁이의 움직임 감지가 현저히 감소함을 확인하였다.

[0035] 본 발명에 따른 토양의 생태 독성 측정 방법은 도 1에 첨부된 토양의 생태 독성 측정 장치를 통하여 수행될 수 있다. 첨부된 도 1의 토양의 생태 독성 측정 장치를 참조하여 구체적으로 설명한다.

[0036] 도 1은 본 발명에 따른 토양의 생태 독성 측정 방법에서 제공되는 토양의 생태 독성 측정 장치의 개략도 이미지이다.

[0037] 도 1에 도시된 바와 같이, 토양생물(5)의 활동성으로 토양(3)의 독성을 측정하는 독성 측정 장치는 센서부(11), 수용부(13), 케이블(15), 미터기(17) 및 조명부(19)를 포함할 수 있다.

[0038] 본 실시예에서, 독성 평가 장치는 도 1과 같이 센서부(11), 수용부(13), 케이블(15) 및 미터기(17)가 구비될 수 있으며, 미터기(17)로 산출되는 움직임의 패턴을 정밀하게 확인하기 위한 조명부(19)가 추가적으로 구비될 수 있다. 본 실시예로, 수용부(13)에 수용되는 토양생물(5)은 지렁이일 수 있다.

[0039] 본 실시예에서, 토양생물(5)은 평가 대상으로 선정된 토양(3)에 서식할 수 있는 생물로 선정되어야 한다. 특히, 본 실시예에 따른 독성 평가 장치의 센서부(11)에서 측정할 수 있도록, 독성에 대하여 움직임 반응을 나타낼 수 있는 생물로 선정됨이 바람직하다. 본 출원인은 지렁이가 토양(3)의 오염 정도에 따라 활동성이 다르게 나타난 점에 착안하여, 토양생물(5)을 지렁이로 채택하여 실험하였다. 토양생물(5)의 범주가 지렁이에 제한되는 것은 아니며, 지렁이와 같이 노출된 토양(3)의 환경에 따라 활동성이 차이나는 생물을 토양생물(5)로 선택할 수 있다.

[0040] 본 실시예에서, 토양(3)은 오염의 정도를 평가하고자 하는 모든 상태의 토양을 포함할 수 있다. 다만, 본 실시예에 따른 토양(3)은 독성 평가 장치의 센서부(11)로 토양생물(5)의 움직임으로 인해 발생되는 진동을 전달할 수 있는 상태를 갖추어야 한다.

[0041] 센서부(11)는 수용부(13)에 고정단이 연결되고, 자유단이 수용부(13) 내부에 위치되어 토양생물(5)의 움직임으로 야기되는 토양(3)의 진동을 감지할 수 있다.

[0042] 본 실시예에서, 센서부(11)는 기능에 기준하여 설명하지 않고, 수용부(13)와 갖는 구조적 특징으로 분리하여 설명할 수 있다. 센서부(11)의 고정단은 수용부(13)와 연결되어 움직임이 발생하지 않는 부분을 지칭한다. 특히. 센서부(11)의 고정단은 수용부(13)와 결속되어 고정된 부분을 지칭한다. 한편, 센서부(11)의 자유단은 고정단을 제외한 센서부(11)의 모든 부분을 지칭할 수 있다. 다만, 센서부(11)의 자유단 가운데 수용부(13)내부에 위치하여 토양생물(5)의 움직임으로 야기되는 토양(3)의 진동을 감지하는 부분을 자유단으로 지칭함으로써 해당되는 자유단의 기능을 더욱 강조하였다.

[0043] 센서부(11)는 길이를 갖는 신장된 막대 형상으로 토양(3)에 삽입되어 토양생물(5)의 움직임을 감지하는 진동 센서(111)를 포함하고, 토양(3)에 삽입된 진동 센서(111)의 영역이 자유단을 형성할 수 있다.

[0044] 본 실시예에서, 진동 센서(111)는 수용부(13)의 길이 또는 부피에 따라 그 규격이 변형되어 공급될 수 있다. 진동 센서(111)는 수용부(13)의 근위부로 삽입될 수 있다. 진동 센서(111)는 수용부(13)에서 수용중인 토양(3)의 진동을 측정하기 위해 수용부(13)보다 길게 제작될 수 있다. 진동 센서(111)는 토양생물(5)의 움직임을 직접 감지할 수 있고, 토양생물(5)의 움직임으로 인하여 발생된 토양(3)의 진동을 감지할 수 있다. 진동 센서(111)는 센서부(11)의 자유단 영역 중 일부일 수 있다. 또한, 진동 센서(111)는 센서부(11)의 고정단 영역 중 일부일 수 있다. 이를 통해, 센서부(11)의 자유단과 고정단은 그 기능을 기준으로 구분되지 않음을 확인할 수 있다. 센서부(11)는 진동 센서(111)의 일단에 마련되어 진동 센서(111)에서 감지한 움직임을 전기적 신호로 변환하는 센서 모듈(113)을 포함하고, 센서 모듈(113)이 연결된 진동 센서(111)의 일단이 고정단을 형성할 수 있다.

[0045] 본 실시예에서, 센서 모듈(113)은 진동 센서(111)와 연결되어 진동 센서(111)에서 감지한 움직임을 전달받을 수 있다. 센서 모듈(113)은 전달받은 움직임을 전기적 신호로 변환하여 케이블(15)로 전달할 수 있다. 센서 모듈(113)은 케이블(15)을 통해 전력을 공급받을 수 있다. 센서 모듈(113)은 센서부(11)의 자유단에 포함될 수

있다. 다만, 센서 모듈(113)은 수용부(13)내에 수용된 토양(3)과 직접적으로 접촉하지 않으며, 토양(3)과 접촉한 진동 센서(111)에 의해 전달되는 신호를 변환할 수 있다. 필요에 따라, 센서 모듈(113)은 센서부(11)의 고정단에 포함될 수 있다.

[0046] 본 실시예에서, 케이블(15)은 센서 모듈(113)과 연결되어 센서부(11)에 전력을 공급할 수 있다. 케이블(15)은 진동 센서(111)에서 측정하여 센서 모듈(113)을 통해 변환된 신호를 미터기(17)로 송신할 수 있다. 미터기(17)는 센서 모듈(113)로부터 전기적 신호를 전달 받아 토양생물(5)의 움직임 패턴을 산출할 수 있다.

[0047] 본 실시예에서, 미터기(17)는 센서부(11)에서 측정한 신호를 전달 받아 토양(3)의 독성을 평가할 수 있도록 움직임 패턴을 산출할 수 있다. 미터기(17)는 케이블(15)과 연결되어 전기적 신호를 전달받을 수 있다. 미터기(17)는 동시에 복수의 케이블(15)과 연결되어 다양한 상태의 토양(3)의 진동을 감지한 신호를 전달받아 움직임 패턴을 산출할 수 있다. 특히, 미터기(17)는 움직임 패턴을 소요시간에 따른 움직임 거리에 대한 그래프 형식으로 산출할 수 있다. 수용부(13)는 토양(3)과 토양생물(5)이 수용될 수 있다.

[0048] 본 실시예에서, 수용부(13)는 독성을 평가하기 위한 토양(3)을 수용할 수 있다. 또한, 수용부(13)는 독성에 따라 움직임을 발생시키는 토양생물(5)을 수용할 수 있다. 수용부(13)는 토양(3)과 토양생물(5)이 수용된 상태에 물리적 변화를 발생시키지 않을 수 있다.

[0049] 수용부(13)는 토양(3)과 토양생물(5)을 수용하는 반응조(131); 및 탈부착이 가능하고, 반응조(131)의 상부를 차단하는 덮개(133)를 포함할 수 있다.

[0050] 본 실시예에서, 반응조(131)는 토양(3)과 토양생물(5)을 수용하기 위해 일정 부피를 갖는 형태로 구비될 수 있다. 반응조(131)는 일면이 개방되어 토양(3)과 토양생물(5)을 채워 넣을 수 있다. 반응조(131)의 개방된 일면은 덮개(133)로 인하여 차단될 수 있다. 덮개(133)는 반응조(131)와 탈부착이 가능할 수 있다. 덮개(133)는 반응조(131)를 차단하여 수용된 토양(3) 또는 토양생물(5)의 이탈을 방지할 수 있다. 덮개(133)는 센서부(11)가 삽입되는 중공(135)이 형성될 수 있다. 본 실시예에서, 덮개(133)는 수용부(13)와 센서부(11)를 연결하기 위한 수단으로 사용될 수 있다. 덮개(133)는 중공(135)이 형성되어 진동 센서(111)를 관통시켜 수용부(13) 내측으로 위치할 수 있게 한다. 덮개(133)는 준비된 진동 센서(111)의 직경에 알맞게 세팅된 중공(135)이 마련될 수 있다. 덮개(133)는 진동 센서(111)와 결속하여 진동 센서(111)의 고정단을 형성시킬 수 있다.

[0051] 수용부(13)는 투명한 소재로 제공되어 조명부(19)로부터 방출된 광을 토양(3) 내부로 조사시킬 수 있다.

[0052] 본 실시예에서, 수용부(13)는 조명부(19)로부터 방출된 광이 수용된 토양생물(5)에게 전달되도록 구비될 수 있다. 이를 위해, 수용부(13)는 투명한 소재로 제공될 수 있다. 수용부(13)의 반응조(131)와 덮개(133)는 투명한 소재로 구비될 수 있다. 특히, 수용부(13)의 반응조(131)는 투명한 소재로 마련되어야 함이 마땅하며, 덮개(133)는 필요에 따라 소재의 투명도가 선택될 수 있다.

[0053] 수용부(13)는 복수개 구비되고, 복수개의 수용부(13)는 조성물의 성분 또는 함량이 상이한 토양(3)을 각각 수용하고 하나의 미터기(17)와 연결되어 조성물의 성분 또는 함량이 상이한 토양(3)의 독성을 개별적으로 평가할 수 있다.

[0054] 본 실시예에서, 수용부(13)는 하나의 수용부(13)에 단일 조건의 토양(3)을 수용하고, 토양(3)의 오염정도에 따라 반응하는 토양생물(5)을 수용할 수 있다. 수용부(13)는 단수 또는 복수의 진동 센서(111)와 연결될 수 있다.

[0055] 이와 같이 구비된 수용부(13)는 다양한 조건의 토양(3)의 독성을 평가하기 위해 복수로 구비될 수 있다. 복수로 구비된 수용부(13)는 다른 조건의 토양(3)이 채워질 수 있다. 복수의 수용부(13)는 센서부(11)와 연결되며, 연결된 센서부(11)는 미터기(17)와 연결되며, 이를 통해 미터기는 토양(3)의 오염정도에 따른 토양생물(5)의 움직임 패턴을 산출할 수 있다. 특히, 하나의 미터기(17)에 복수의 수용부(13)와 각각 연결된 복수의 케이블(15)이 연결되어 다양한 조건의 토양(3)의 독성을 개별적으로 평가할 수 있다.

[0056] 조명부(19)는 수용부(13)에 광을 조사하여 토양생물(5)이 자유단과 근접하게 이동하도록 유도할 수 있다.

[0057] 본 실시예에서, 조명부(19)는 수용부(13) 방향으로 광을 조사하도록 배치되어 수용부(13)로 광을 방출할 수 있다. 조명부(19)에서 방출된 광은 수용부(13) 및 토양(3)을 통과하여 토양생물(5)에게 전달될 수 있다. 조명부(19)에서 방출된 광을 전달받은 토양생물(5)은 음성주광성을 가질 수 있다. 이를 통해, 토양생물(5)은 광을 피하려는 움직임을 나타낼 수 있으며, 결과적으로 수용부(13)의 근위부로 이동할 수 있다. 일련의 과정은, 수용부(13)의 근위부에 위치한 진동 센서(111)로 토양생물(5)을 유도하기 위함이며, 토양생물(5)이 진동 센서(111)와 근접한 위치로 이동함에 따라 진동 센서(111)는 독성의 영향을 받은 토양생물(5)의 움직임을 더욱 정밀하게 측

정할 수 있다.

[0058] 이하에서는 본 발명에 따른 제조예 및 실시예를 첨부된 도면과 함께 구체적으로 설명한다.

[0059] **참조예: 지렁이 사육**

[0060] USA Illinois farm 에서 구입한 지렁이를 최소 2 개월 이상 실험에 적응하는 순화 기간을 거쳐, 체중 300 ~ 600 mg의 건강한 성체로 사육하였다. 지렁이의 사육은 국립환경과학원 화학물질정보시스템(http://ncis.nier.go.kr/bbs/bbsDataTabList.do)에서 제공하는 '지렁이 급성독성시험' 방법을 참조하여 실험을 수행하였다.

[0061]

[0062] **제조예 1 내지 4: 시험토의 제조**

[0063] 진주 인근의 3 년간 휴경되었던 오염되지 않은 밭의 토양과 아연을 혼합한 후 상기 혼합토양을 7 일간 숙성하고, 건조 및 파쇄하여 시험토를 제조하였다. 시험토 내 아연의 총농도를 168 mg/kg, 468 mg/kg 및 1068 mg/kg으로 맞추어 각각 제조예 2 내지 4로 하였으며, 대조군으로서, 오염되지 않은 자연토(Zn 68 mg/kg)는 제조예 1로 하였다.

[0064] **실험예 1: 포장 용수량(Water Holding Capacity, WHC)의 최적화**

[0065] 상기 제조예 1의 자연토를 이용하여 포장 용수량에 따른 시간별 진동정도와 지렁이의 체중 변화율을 확인하였으며, 그 결과를 도 3에 나타내었다.

[0066] 도 2에 보이듯이 측정 장치는 에어쿠션과 고무판 등을 이용하여 바닥 및 외부 충격을 최소화 하였고, 진동센서는 최고 4 채널(control 1 + test 3) 이상의 미터기(17)를 사용하여 실험하였으며, 실험에 사용된 진동 센서(111)는 Lutron BVB-8207SD를 사용하였다. 진동센서(111)는 0.001 ㎜까지 가능한 센서를 사용하였다. 이를 통해, 크기가 작은 토양입자의 진동을 감지할 수 있다.

[0067] 이 때, 자연토(103.31 g)의 압밀도는 1.09로 하였으며, 실험에 사용한 지렁이 수는 5 마리, 모니터링 시간은 3 일, 반응조의 사양은 지름 4.7 cm, 높이 5.4 cm로 총 부피 93.64 cm^3(도 6(a)의 1 타입)가 되도록 하였다.

[0068] 도 3은 제조예 1의 오염되지 않은 자연토의 수분 함량에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

[0069] 도 3을 참조하면, 포장 용수량 50 % 및 60%인 조건에서 지렁이의 움직임 패턴이 유사하게 나타났으나, 지렁이의 체중 변화량을 고려하였을 때 체중 변화량이 현저히 적은 WHC 50 %가 가장 독성값 도출에 가장 적절함을 확인할 수 있다. 구체적으로, WHC 40 %일 때, 토양의 입단화가 되지 않아 지렁이 움직임에 의한 진동이 토양에서 흡수되어 진동신호가 제대로 나타나지 않을 것으로 판단되며, WHC 60%의 경우에는 폐알구조가 잘 발달되어 WHC 50%인 경우에 비해서 입자간 진동감지가 더 우수할 것으로 예측되었지만, 오히려 WHC 50%인 경우에서 진동감지가 우수하였고, 또한 WHC 60%의 경우 지렁이의 먹이활동을 방해함으로써, 제충변화량이도 크게 증가한 것을 확인할 수 있다.

[0070] **실험예 2: 압밀도의 최적화**

[0071] 상기 제조예 1의 자연토를 이용하여 토양의 압밀도에 따른 시간별 진동정도와 지렁이의 체중 변화율을 확인하였으며, 그 결과를 도 4에 나타내었다.

[0072] 상기 실험예 1의 실험 장비 구성을 동일하게 하였고, 이 때, 자연토(103.31 g)의 포장 용수량(Water Holding Capacity, WHC)은 50%로 하였으며, 실험에 사용한 지렁이 수는 5 마리, 모니터링 시간은 3 일, 반응조의 사양은 지름 4.7 cm, 높이 5.4 cm로 총 부피 93.64 cm^3(도 6(a)의 1 타입)가 되도록 하였다. 압밀도 1.00, 1.09 및

1.18의 토양 무게는 94.61, 103.31 및 112.01 g였으며, 여기서 압밀도는 반응조에 토양을 투입하였을 때 아무런 압력을 가하지 않고 중력만으로 압밀되었을 때의 압밀도가 1.00이었다.

[0073] 도 4는 제조예 1의 오염되지 않은 자연토의 압밀도에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

[0074] 도 4를 참조하면, 압밀도가 상이한 1.00 및 1.09 조건에서 특이하게도 지렁이의 움직임 패턴이 유사하게 나타났으며, 지렁이의 체중 변화량을 고려하였을 때 체중 변화량이 현저히 적은 압밀도 1.09 조건이 독성값 도출에 가장 적절함을 확인할 수 있다. 이는 압밀도 1.00 보다 높은 1.09의 조건에서 지렁이의 움직임이 덜하고, 그로 인해 체중변화량도 증가해야 한다는 예측과는 반대의 결과는 나타낸 것이다. 한편, 압밀도가 1.18일 때, 토양 내 공극이나 지렁이가 움직일 수 있는 공간이 한정적이기 때문에 압밀도 1.00 및 1.09에 비해 적은 움직임이 관찰된 것으로 판단된다.

[0075] **실험예 3: 토양량의 최적화**

[0076] 상기 제조예 1의 자연토를 이용하여 실험 지렁이 수에 따른 시간별 진동정도와 지렁이의 체중 변화율을 확인하였으며, 그 결과를 도 5에 나타내었다.

[0077] 상기 실험예 1의 실험 장비 구성을 동일하게 하였고, 이 때, 자연토(103.31 g)의 포장 용수량(Water Holding Capacity, WHC)은 50%, 압밀도는 1.09로 하였으며, 모니터링 시간은 3 일, 반응조의 사양은 지름 4.7 cm, 높이 5.4 cm로 총 부피 93.64 cm^3(도 6(a)의 1 타입)가 되도록 하였다.

[0078] 도 5는 제조예 1의 오염되지 않은 자연토 내 지렁이 수에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

[0079] 도 5를 참조하면, 지렁이의 수가 증가할수록 지렁이의 움직임이 증가되지만 체중변화 또한 증가하였으며, 토양량을 최적화하기 위해서, 지렁이 마리 수에 따른 체중 변화량 결과를 토대로 제충 변화량이 0인 경우 2.785 마리라는 결과를 도출할 수 있고(도 10 참조), 사용된 자연토 103.31 g을 2.785 마리로 나누어 줌으로써, 지렁이 1 마리당 최소한으로 필요한 토양량은 37.1 g임을 확인할 수 있다.

[0080] **실험예 4: 반응조 사양의 최적화**

[0081] 자연토를 이용하여 반응조 사양에 따른 시간별 진동정도와 지렁이의 체중 변화율을 확인하였으며, 그 결과를 도 6에 나타내었다.

[0082] 상기 실험예 1의 실험 장비 구성을 동일하게 하였고, 이 때, 자연토의 포장 용수량(Water Holding Capacity, WHC)은 50%, 압밀도는 1.09로 하였으며, 실험에 사용한 지렁이 수는 5 마리, 모니터링 시간은 3 일이 되도록 하였다.

[0083] 도 6은 제조예 1의 오염되지 않은 자연토를 수용하는 반응조의 사양에 따른 (a) 반응조 이미지, (b) 시간별 진동감지 결과 및 (c) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

[0084] 도 6(a)의 반응조 1 타입은 지름이 4.7 cm, 높이 5.4 cm로, 총 부피는 93.64 cm^3(토양 무게 89.0 g)이고, 반응조 2 타입은 지름이 4.7 cm, 높이 9.6 cm로, 총 부피는 166.47 cm^3(토양 무게 159.3 g)이며, 반응조 3 타입은 지름이 9.4 cm, 높이 4.5 cm로, 총 부피는 312.13 cm^3(토양 무게 296.6 g)이며, 반응조 4 타입은 지름이 14.4 cm, 높이 4.5 cm로, 총 부피는 732.50 cm^3(토양 무게 695.9 g)이다.

[0085] 도 6을 참조하면, 1 타입의 반응조에서 지렁이의 움직임이 가장 많지만, 체중 변화량이 크기 때문에, 움직임이 비교적 많고 체중변화가 적은 3 타입의 반응조가 독성값 도출에 가장 적절함을 확인할 수 있다.

[0086] 실험예 3에서 도출된 결과를 참조하여 지렁이 한 마리당 최소 필요한 토양량이 37.1 g이고, 실험에 사용한 지렁이의 수는 5 마리이므로, 총 필요한 최소 토양량은 185.5 g이며, 반응조 2 타입일 때 지렁이에게 필요한 토양량에 가장 근사함을 알 수 있다. 그러나 반응조 2 타입에서 지렁이 움직임의 감지가 낮게 나타났는데, 이는 긴 막대기 형태의 센서가 반응조 2 타입에 주입시 꽉 끼는 현상이 발생되어 진동 감지에 방해되었기 때문으로 사료되며, 반응조 3 타입에서는 비교적 많은 토양량과 낮은 높이로 인해 진동감지에 가장 적합한 반응조 타입임을 확인할 수 있다. 한편, 특이하게도, 반응조 4 타입은 반응조 3 타입보다 비교적 많은 토양량과 반응조 3과 똑같은 높이를 갖음에도 불구하고, 지렁이의 움직임이 가장 적을 뿐만 아니라, 체중 변화량도 반응조 3에 비하여 현저히 높음을 확인할 수 있다.

[0087] **실험예 5: 모니터링 시간의 최적화**

[0088] 자연토를 이용하여 모니터링 시간에 따른 시간별 진동정도와 지렁이의 체중 변화율을 확인하였으며, 그 결과를 도 7에 나타내었다.

[0089] 상기 실험예 1의 실험 장비 구성을 동일하게 하였고, 이 때, 자연토(103.31 g)의 포장 용수량(Water Holding Capacity, WHC)은 50%, 압밀도는 1.09로 하였으며, 실험에 사용한 지렁이 수는 5 마리, 반응조의 사양은 지름 4.7 cm, 높이 5.4 cm로 총 부피 93.64 cm^3(도 6(a))의 1 타입)가 되도록 하였다.

[0090] 도 7은 제조예 1의 오염되지 않은 자연토를 이용한 모니터링 시간에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

[0091] 도 7을 참조하면, 모니터링 시간이 길어짐에 따라 지렁이의 움직임이 비례하여 증가하지는 않았으며, 체중 변화량이 급격히 증가할 뿐만 아니라, 하기 표 1을 참조하면, 시간 경과에 따라 수분 함량 또한 현저히 감소되므로, 7 일 이내로 모니터링 시간이 독성값 도출에 가장 적절함을 확인할 수 있다.

표 1

[0092]

	0 Day	3 Day	7 Day	14 Day
Water content	16.3	15.5	14.0	11.6
WHC	49.9	47.5	42.8	35.5

[0093] **실험예 6: 아연으로 오염된 토양에서의 오염 농도별 토양 생태 독성값(EC50) 측정**

[0094] 상기 제조예 1 내지 4의 자연토 및 아연 농도별 시험토를 이용하여 아연의 농도에 따른 토양에 대한 시간별 진동정도와 지렁이의 체중 변화율을 측정하였다.

[0095] 상기 실험예 1의 실험 장비 구성을 동일하게 하였고, 이 때, 상기 제조예 1 내지 4의 각 자연토 및 아연 농도별 시험토(296.6 g)의 포장 용수량(Water Holding Capacity, WHC)은 50%, 압밀도는 1.09로 하였고, 실험에 사용한 지렁이 수는 5 마리, 모니터링 시간은 8 일, 반응조의 사양은 지름 9.4 cm, 높이 4.5 cm로 총 부피 312.13 cm^3(도 6(a)의 3 타입)가 되도록 하였다.

[0096] 도 8은 본 발명에 따른 제조예 1의 오염되지 않은 자연토 및 제조예 2 내지 4의 아연으로 오염된 시험토의 아연 농도에 따른 (a) 시간별 진동감지 결과 및 (b) 지렁이의 체중 변화율을 나타낸 그래프이다.

[0097] 도 8을 참조하면, 오염물질(아연)의 농도가 높을수록 지렁이의 움직임이 적고, 체중 변화량이 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 지렁이가 시험토에서 피부 접촉을 최소화하기 위하여 움직임을 최소화한 것으로 판단된다. 일반적으로 지렁이는 토양을 습취하고 배변토를 생산하여 토양질을 향상시키는데, 상기한 바와 같이, 아연으로 오염된 시험토에서는 지렁이의 움직임이 최소화되어 습취활동이 줄어들면서 체중이 감소하게 되며, 체중의 감소로 인하여 체중 변화량이 크게 나타남을 확인하였다. 그러므로, 지렁이의 움직임으로 야기된 진동 측정은 토양 생태 독성 평가를 위한 하나의 인자로 적용이 가능함을 확인할 수 있다.

[0098] 도 9는 본 발명에 따른 제조예 1의 오염되지 않은 자연토 및 제조예 2 내지 4의 아연으로 오염된 시험토의 (a) 8 일의 EC 50 변화 결과 및 (b) 5 일간 EC50 값을 나타낸 그래프이다.

[0099] 도 9를 참조하면, 1 내지 8 일간 일정한 독성결과가 나타나 이를 평균한 값이 466.491 mg/kg이며, 6 일 이후 평균과 유사해진다. 1 내지 5일간에 대한 지렁이 움직임을 EC50으로 도출한 결과 452.204 mg/kg으로 Lukkari et al., (2005) 연구의 EC50이 439 mg/kg와 유사하게 나타났다. 이를 통하여 새로운 토양 생태 독성 측정 방법으로 제시할 수 있음을 확인하였다.

[0100] 그러므로 본 발명에 따르면, 토양 내 토양생물의 움직임으로 야기되는 진동을 감지하기 위한, 최적화 및 정량화된 방법을 구축하고, 이를 통하여 종래의 지렁이를 이용한 독성값 도출 방법에서 제시하고 있는 14 일 보다 짧은 7 일의 모니터링 시간과 적은 토양량 및 지렁이 수로 실시간으로 토양 생태 독성값(EC50)을 도출할 수 있다.

부호의 설명

[0101] 11: 센서부

111: 진동센서

113: 센서모듈

13: 수용부

131: 반응조

133: 덮개

135: 중공

15: 케이블

17: 미터기

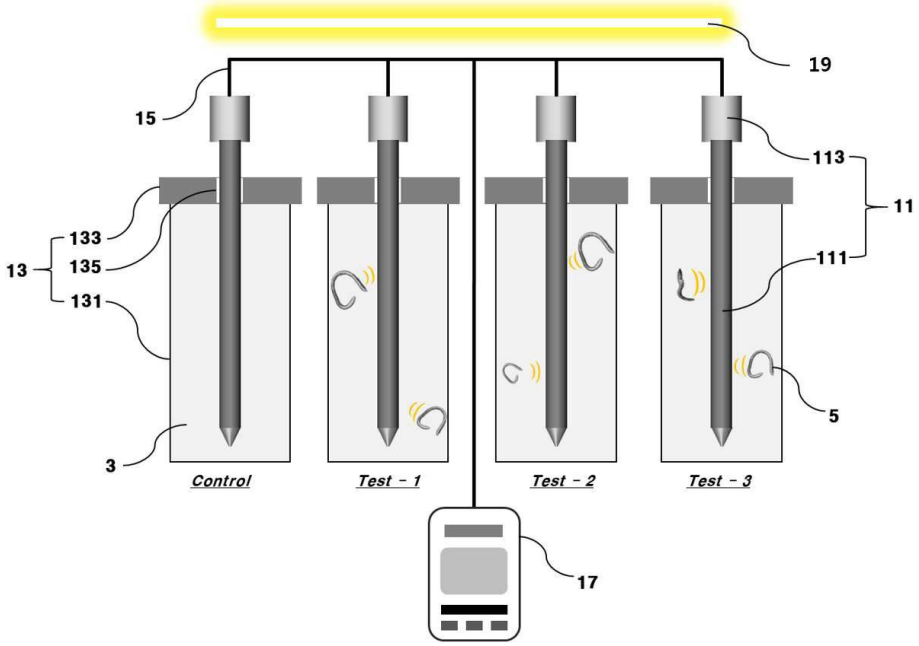
19: 조명부

3: 토양

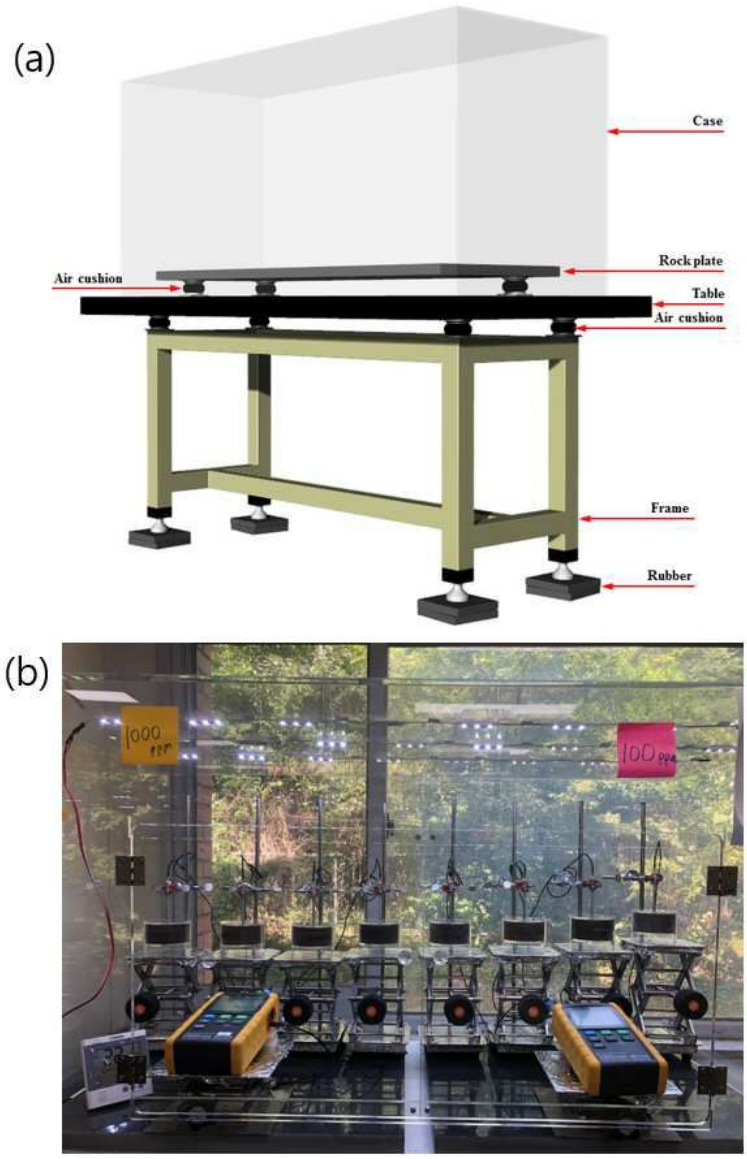
5: 토양생물

도면

도면1

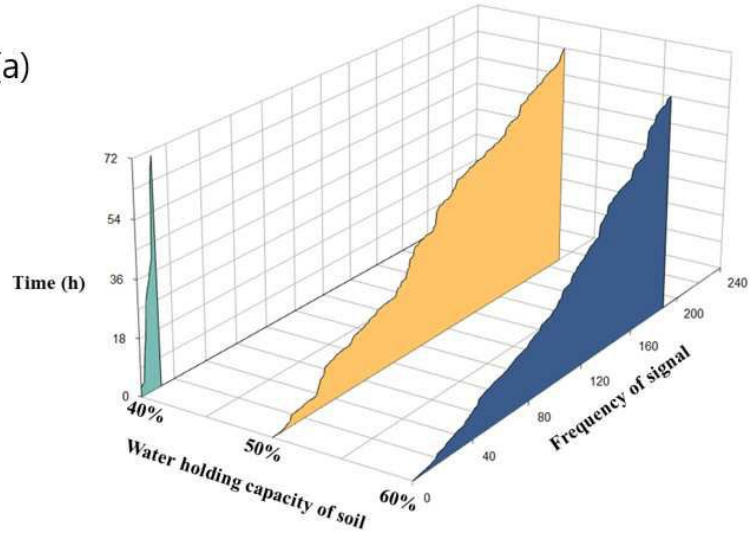


도면2

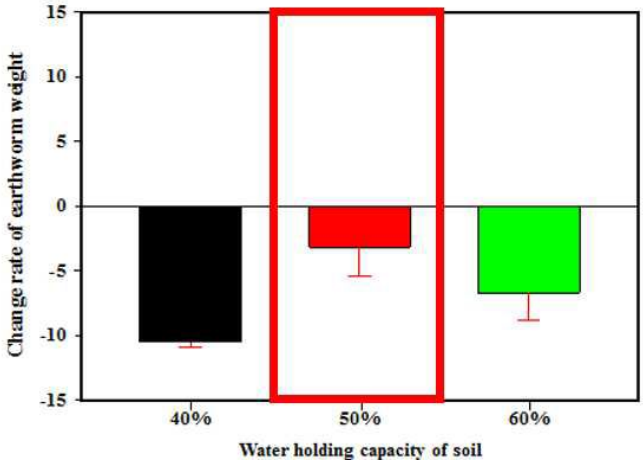

(a)
Case
Rock plate
Air cushion
Table
Air cushion
Frame
Rubber
(b)
1000
100

도면3

(a)

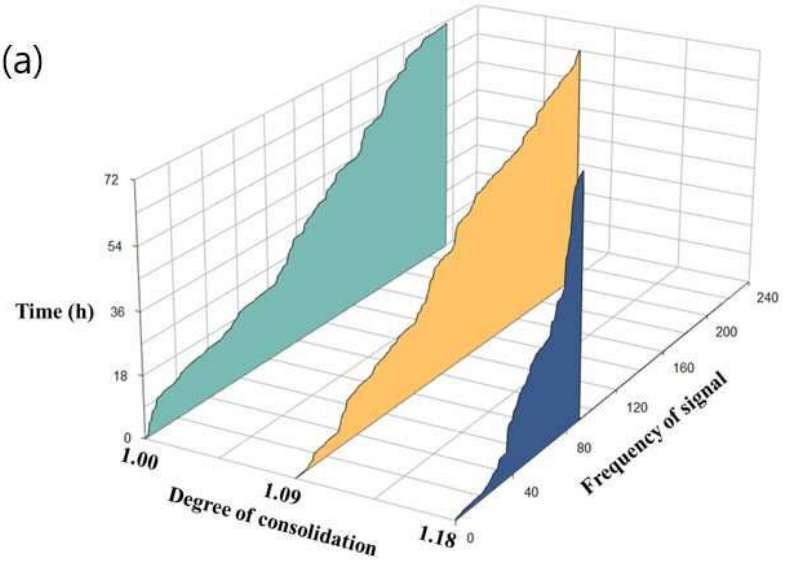

Time (h)
72
54
36
18
0
40%
50%
60%
Water holding capacity of soil
0
40
80
120
160
200
240
Frequency of signal

(b)

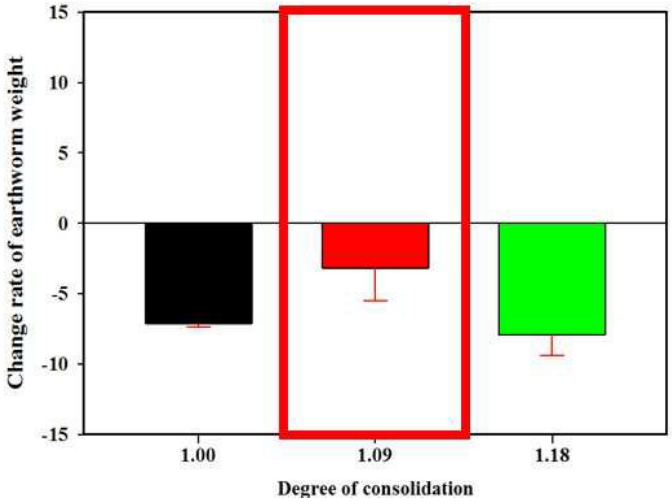

Change rate of earthworm weight
15
10
5
0
-5
-10
-15
40%
50%
60%
Water holding capacity of soil

도면4

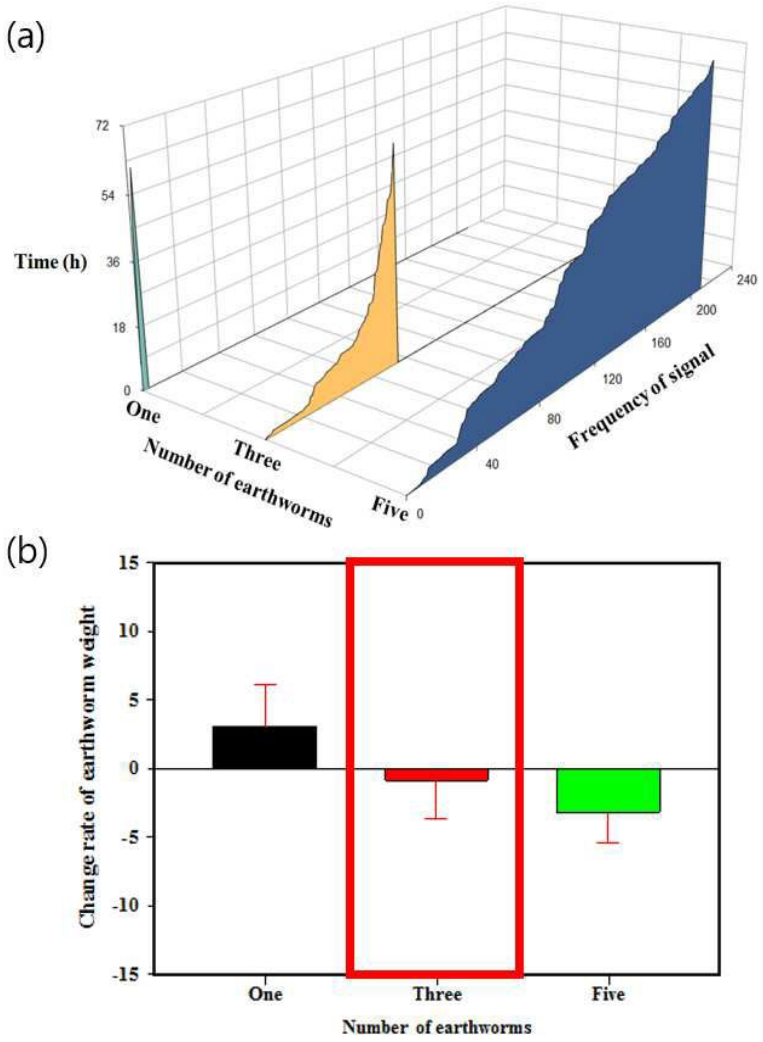
(a)


Time (h)
72
54
36
18
0
1.00
1.09
1.18
Degree of consolidation
0
40
80
120
160
200
240
Frequency of signal

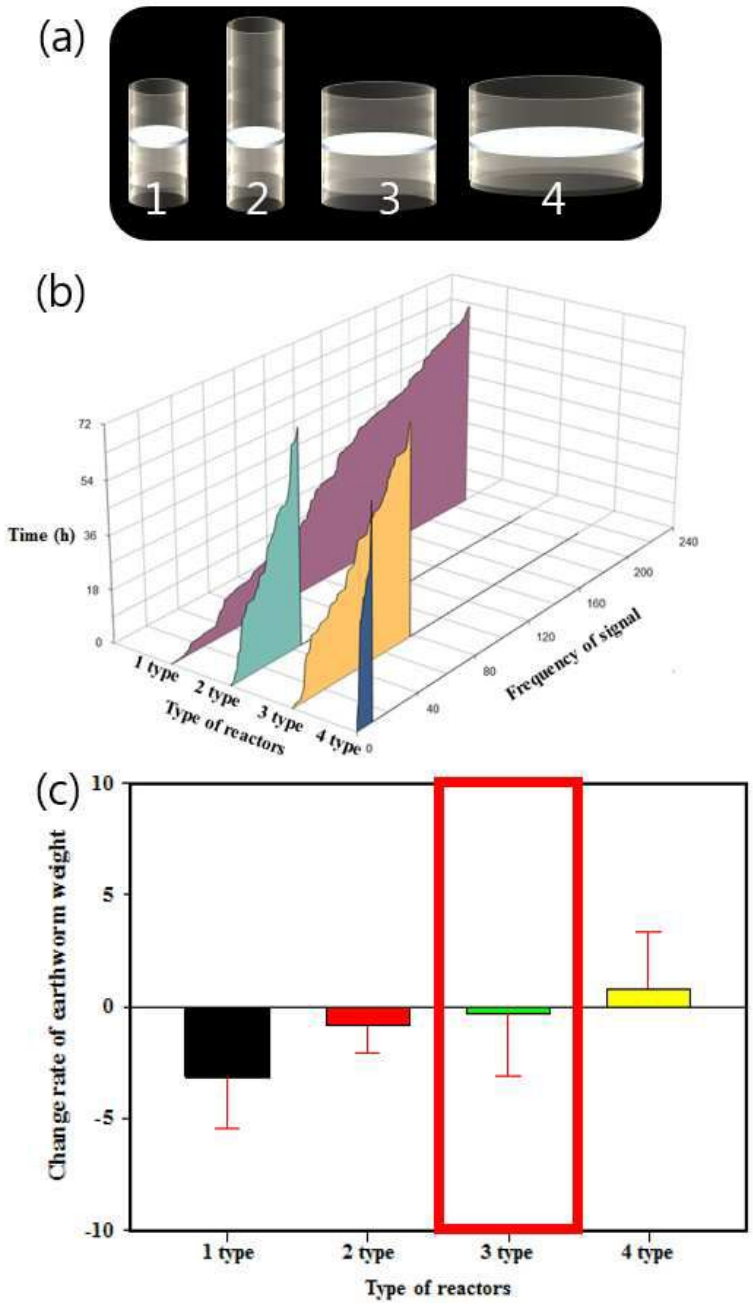
(b)


Change rate of earthworm weight
15
10
5
0
-5
-10
-15
1.00
1.09
1.18
Degree of consolidation

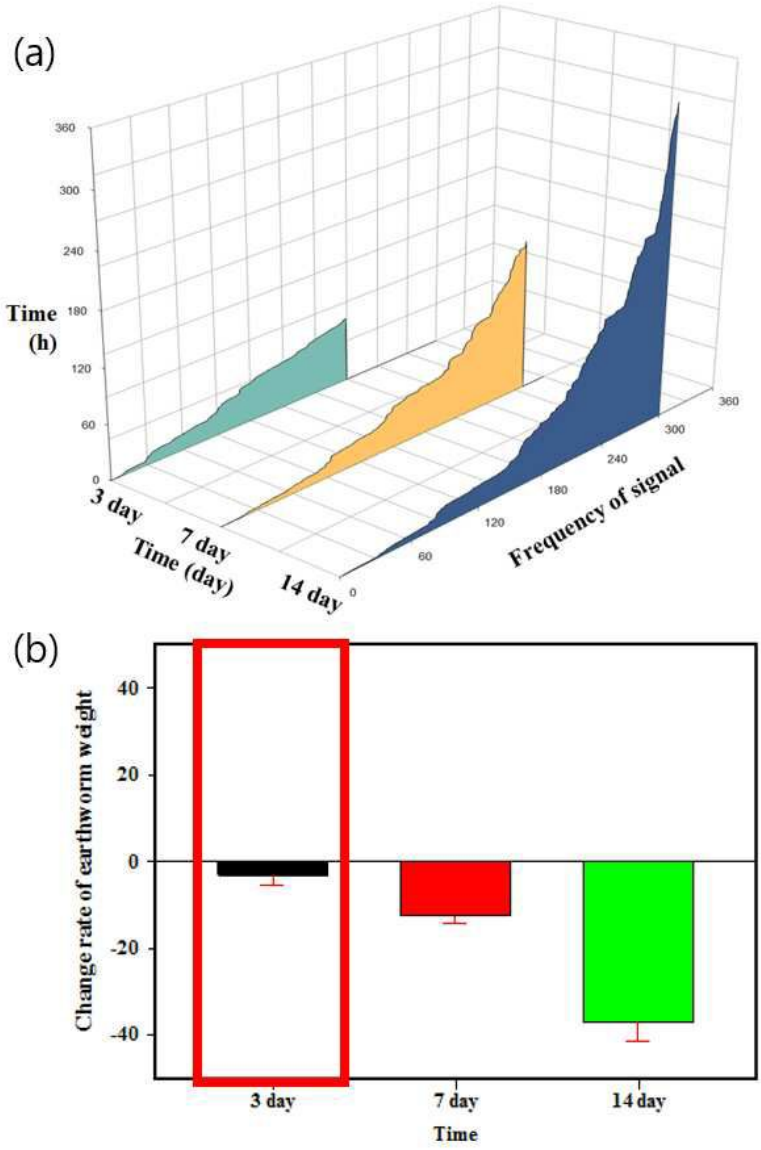
도면5


(a)
Time (h)
72
54
36
18
0
One
Three
Five
Number of earthworms
0
40
80
120
160
200
240
Frequency of signal
(b)
Change rate of earthworm weight
15
10
5
0
-5
-10
-15
One
Three
Five
Number of earthworms

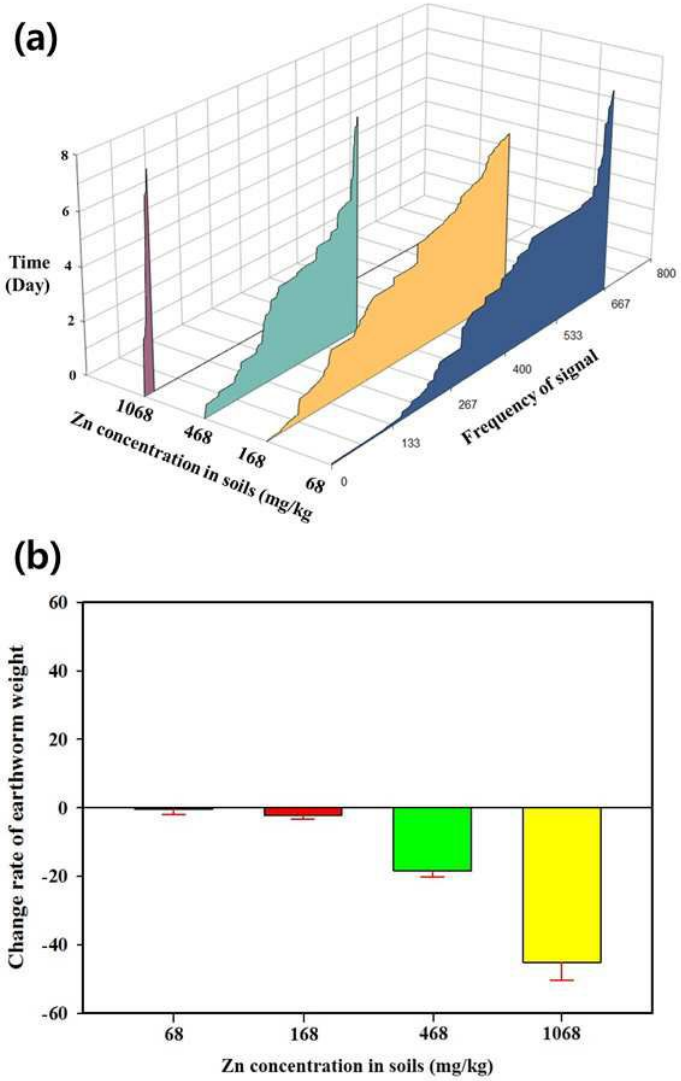
도면6


(a)
1
2
3
4
(b)
Time (h)
72
54
36
18
0
1 type
2 type
3 type
4 type
Type of reactors
0
40
80
120
160
200
240
Frequency of signal
(c)
Change rate of earthworm weight
10
5
0
-5
-10
1 type
2 type
3 type
4 type
Type of reactors

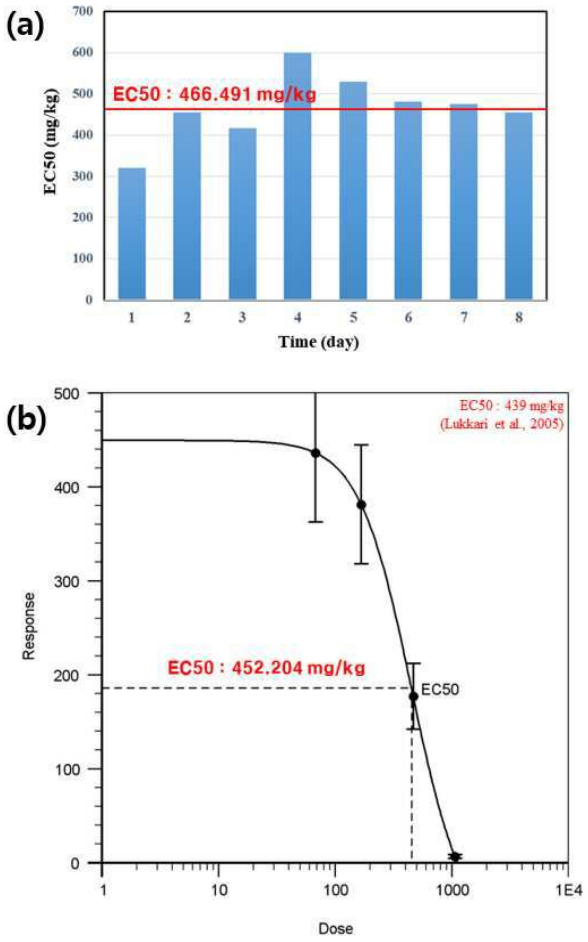
도면7


(a)
Time (h)
360
300
240
180
120
60
0
3 day
7 day
14 day
Time (day)
0
60
120
180
240
300
360
Frequency of signal
(b)
Change rate of earthworm weight
40
20
0
-20
-40
3 day
7 day
14 day
Time

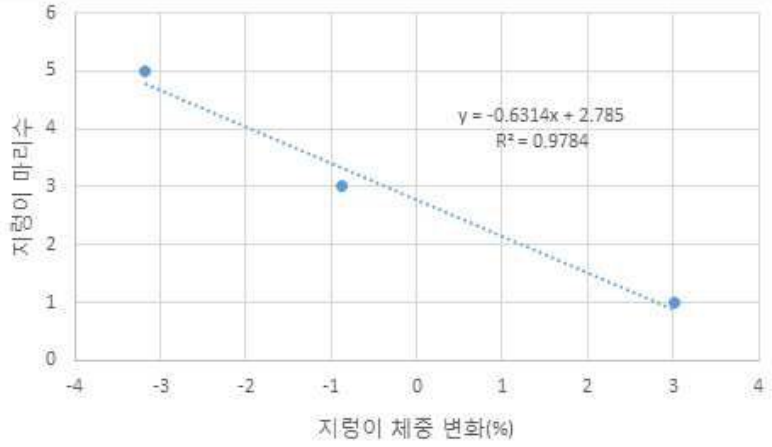
도면8


(a)
Time (Day)
8
6
4
2
0
1068
468
168
68
Zn concentration in soils (mg/kg
0
133
267
400
533
667
800
Frequency of signal
(b)
Change rate of earthworm weight
60
40
20
0
-20
-40
-60
68
168
468
1068
Zn concentration in soils (mg/kg)

도면9


(a)
EC50 : 466.491 mg/kg
EC50 (mg/kg)
Time (day)
(b)
EC50 : 439 mg/kg
(Lukkari et al., 2005)
EC50 : 452.204 mg/kg
EC50
Response
Dose

도면10


y = -0.6314x + 2.785
R² = 0.9784
지렁이 마리수
지렁이 체중 변화(%)

도면11

