(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월29일
(11) 등록번호 10-2233557
(24) 등록일자 2021년03월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/41 (2006.01) *G01N 33/24* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/41 (2013.01)
G01N 33/246 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0121622
(22) 출원일자 2019년10월01일
심사청구일자 2019년10월01일
(56) 선행기술조사문헌
JP2006038511 A*
KR1020170064571 A*
KR200408229 Y1
KR1019970066557 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한발대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
김민희
대전광역시 유성구 은구비남로 55, 707동 502호 (지족동, 열매마을7단지현대아파트)
심은선
충남 천안시 서북구 시청로 73 206동 1204호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인오암

전체 청구항 수 : 총 3 항 심사관 : 장일석

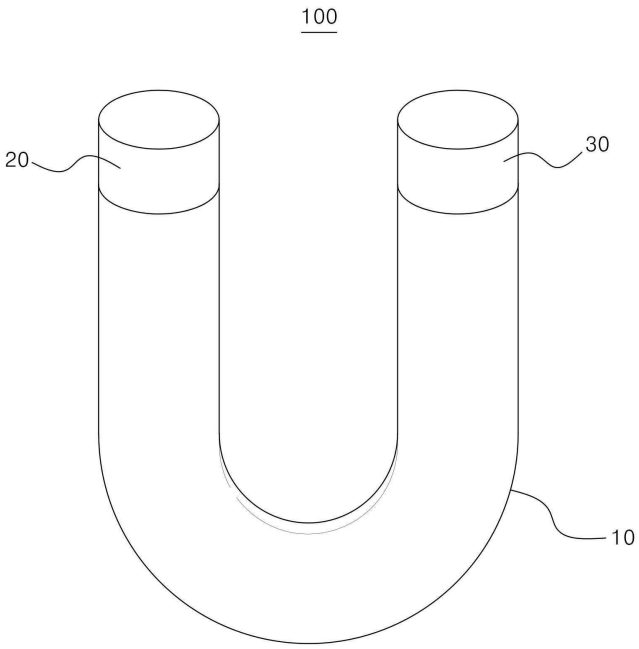
(54) 발명의 명칭 **굴절률을 통해 수분량을 측정하는 토양 수분 센서**

(57) 요 약

본 발명은 굴절률을 통해 수분량을 측정하는 토양 수분 센서에 관한 것으로서 더욱 상세하게는 광반사봉의 외벽면에 접하는 물, 공기 또는 토양의 비율에 따라 발광부로부터 조사되는 빛이 반사 또는 굴절되어 수광부로 도달하는 정도가 달라지는 것을 이용하여 토양 내 수분 함유량을 측정함에 따라 토양의 구성 성분과 유기질 함유량에

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



따른 영향이 최소화되어 측정 정확도가 향상되는 토양 수분 센서에 관한 것이다.

이를 위해 본 발명은 토양 내부에 위치되어 토양 내 수분함량을 계측하기 위한 토양 수분 센서에 있어서, 상기 토양 수분 센서는 절곡부 또는 굴곡부를 가지며 봉형태로 형성되어 토양 내에 일정 부분 이상이 수용되는 광반사봉과, 상기 광반사봉의 일단에 위치되어 광반사봉 내측으로 광을 조사하는 발광부와, 상기 광반사봉의 타단에 위치되어 발광부로부터 조사되어 광반사봉 내측에서 반사되어 타단까지 도달하는 광을 감지하는 수광부; 및 상기 발광부로부터 조사된 광의 총량과 수광부로부터 감지된 광의 총량을 통해 토양 내 수분 함유율을 산출하는 제어부;를 포함한다.

(72) 발명자

유경민

대전광역시 유성구 덕명서로 2 번길 63-15 신비디움 303호

이상훈

대전광역시 서구 관저로 83 210동 1403호 (관저동, 신선마을아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	117012-03
부처명	농림축산식품부
과제관리(전문)기관명	농림수산식품기술기획평가원
연구사업명	첨단생산기술개발(R&D)
연구과제명	신소재를 이용한 저가형 센서 소자 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한밭대학교산학협력단
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

토양 내부에 위치되어 토양 내 수분함량을 계측하기 위한 토양 수분 센서에 있어서,

상기 토양 수분 센서(100)는

절곡부 또는 굴곡부를 가지며 봉형태로 형성되어 토양 내에 일정 부분 이상이 수용되는 광반사봉(10)과;

상기 광반사봉(10)의 일단에 위치되어 광반사봉(10) 내측으로 광을 조사하는 발광부(20)와;

상기 광반사봉(10)의 타단에 위치되어 발광부(20)로부터 조사되어 광반사봉(10) 내측에서 반사되어 타단까지 도달하는 광을 감지하는 수광부(30); 및

상기 발광부(20)로부터 조사된 광의 총량 대비 상기 수광부(30)에 도달되는 광의 총량을 감지하여 토양 내 수분 함유율을 측정하는 제어부(40);를 포함하고,

상기 광반사봉(10)은,

'U'자 형상인 것을 특징으로 하는 굴절률을 통해 수분량을 측정하는 토양 수분 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광반사봉(10)은

굴절율(n)이 1.3 이상인 투명매질로 이루어지는 것을 특징으로 하는 굴절률을 통해 수분량을 측정하는 토양 수분 센서.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 수광부(30)는

포토다이오드인 것을 특징으로 하는 굴절률을 통해 수분량을 측정하는 토양 수분 센서.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 굴절률을 통해 수분량을 측정하는 토양 수분 센서에 관한 것으로서 더욱 상세하게는 광반사봉의 외벽면에 접하는 물, 공기 또는 토양의 비율에 따라 발광부로부터 조사되는 빛이 반사 또는 굴절되어 수광부로 도달하는 정도가 달라지는 것을 이용하여 토양 내 수분 함유량을 측정함에 따라 토양의 구성 성분과 유기질 함유량에 따른 영향이 최소화되어 측정 정확도가 향상되는 토양 수분 센서에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 농업, 토목, 방재 등의 분야에서 토양이 포함하고 있는 토양이 포함하고 있는 수분의 양을 측정할 필요성이 있으며, 다양한 토양 내 수분 측정 방식이 개발되어 사용되고 있다.

[0003] 토양수분측정 방법에는 크게 TDR(Time Domain Reflectometry) 방법, 텐시오미터(tentionmeter)방법, 석고블럭을 이용한 방법, 전기저항을 이용한 방법 및 광반사를 이용한 방법 등이 있다.

[0004] TDR 측정방법은 파형발생기에서 발생된 전자기파가 전송선을 통해서 흐르게 되는데 전자기파가 전송선을 통하여 흐르던 중 전송선의 단면이 변하면 그 지점의 임피던스가 변하여 그 구간에서 전자기파가 반향되어 오게 된다.

[0005] 전송선을 통과하는 전자기파의 전파속도를 알고 있다면 반향시간을 통해 전송선의 길이를 구할 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 유전율의 변화에 따른 파의 전파속도가 변하는 성질을 이용하여 토양의 함수비를 구할 수 있다. 하지만, TDR 측정방법은 토양의 밀도에 따라 측정값의 변화가 있다.

[0006] 텐시오미터방법은 다공성 컵과 이것에 연결되어 물로 채워진 관 및 진공계를 이용하여 토양내 매트릭포텐셜 구배를 측정하며, 텐시오미터는 수분과 용질을 모두 투과시킬 수 있는 다공성 컵인 세라믹감지부, 물을 보충하는 물기둥부, 토양내 매트릭포텐셜을 지시하는 압력게이지로 구성된다. 텐시오미터는 물을 일정량 유지하기 위한 추가적인 보충이 필요하며 세라믹감지부가 쉽게 파손되는 등의 단점이 있다.

[0007] 그리고, 석고블럭을 이용한 측정방법은 평판에 장착하여 토양내에 삽입한 후 석고와 토양수분의 함수율이 평형을 이룰 때까지 수분을 측정하는 방법이다. 이는 토양내의 수분에 의한 석고의 부식에 따라 수분측정값의 오차가 커질 수 있으며, 석고블럭을 자주 교체해야하는 번거로움이 있다.

[0008] 또한, 전기저항을 이용한 방법은 두 지점사이의 전기저항 값의 변화를 이용하여 토양내의 수분율을 측정하는 방법이다. 전기저항을 이용하는 방법은 토양의 밀도와 온도의 변화를 고려하지 않아 토양의 밀도에 따라 토양수분의 값이 변해도 이를 인식하지 못하는 단점이 있다.

[0009] 아울러 광반사를 이용한 방법은 토양에 광원부의 광을 조사하여 반사되는 광을 수광부로 수집하여 분석함에 따라 토양 내 수분율을 검출하는 방법이다.

[0010] 즉, 토양의 반사특성을 통해 토양 내 수분 분포를 검출하는 방법으로 이러한 광반사를 이용한 방법은 아래와 같은 문제점을 가진다.

[0011] 토양에 반사되는 빛은 토양에 포함된 수분 이외에도 토양의 구성과 유기질의 함유 정도에 따라서 크게 달라지고, 사용하는 빛의 파장에 따라서 그 흡수량이 매우 심하게 달라지게 된다. 이는 토양의 구성 성분이나 유기질이 각각 고유의 흡수 파장을 가지고 있기 때문이다.

[0012] 따라서 흙의 수분량이외의 요인으로 인하여 측정값이 달라질 수 있기 때문에 토양의 수분량을 빛의 반사 정도로 측정하는 것은 정확하지 않은 문제점이 있다.

[0013] 이러한 토양수분 측정방법은 측정 신뢰도가 낮거나 혹은 높더라도 비용이 너무 고가인 문제점을 가지고 있어 비용이 상대적으로 저가이면서 신뢰도가 높은 토양수분센서의 제안이 절실히 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0014] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2019-0066337호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서 광반사봉의 외벽면에 접하는 토양의 수분 함유량에 따라 발광부로부터 조사되는 빛이 반사 또는 굴절되어 수광부로 도달하는 빛의 총량이 달라지는 것을 이용하여 토양 내 수분함량을 측정함으로써 토양의 구성 성분과 유기질 함유량에 따른 영향이 최소화되어 측정 정확도가 향상되도록 하는 굴절률을 통해 수분량을 측정하는 토양 수분 센서를 제공함에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0016] 본 발명은 상기의 목적을 달성하기 위해 아래와 같은 특징을 갖는다.

[0017] 본 발명은 토양 내부에 위치되어 토양 내 수분함량을 계측하기 위한 토양 수분 센서에 있어서, 상기 토양 수분 센서는 절곡부 또는 굴곡부를 가지며 봉형태로 형성되어 토양 내에 일정 부분 이상이 수용되는 광반사봉과, 상기 광반사봉의 일단에 위치되어 광반사봉 내측으로 광을 조사하는 발광부와, 상기 광반사봉의 타단에 위치되어 발광부로부터 조사되어 광반사봉 내측에서 반사되어 타단까지 도달하는 광을 감지하는 수광부; 및 상기 발광부로부터 조사된 광의 총량과 수광부로부터 감지된 광의 총량을 통해 토양 내 수분 함유율을 산출하는 제어부;를 포함한다.

[0018] 여기서 상기 광반사봉은 굴절율(n)이 1.3 이상인 투명매질로 이루어지며, 'U'자 형상인 것이 바람직하다.

[0019] 아울러 상기 수광부는 포토다이오드인 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따르면 광반사봉과 그 외벽면에 접하는 매질 간의 굴절률을 이용하여 토양 내 수분 함유량을 측정함에 따라 기존 토양의 구성 성분과 유기질 함유량에 따른 측정값이 달라지는 것을 최소화할 수 있는 효과가 있다.

[0021] 아울러 토양의 구성 성분이나 유기질 함유량에 따라 조사되는 빛에 파장에 따른 흡수량이 현격히 달라짐에 따라 토양의 수분량 이외의 다른 요인으로 인한 측정값의 상이함이 증대되는 문제를 해결할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서를 개략적으로 도시한 사시도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서의 센싱 과정을 나타내는 사용상태도이다.

도 3은 도 2의 A 부분 확대도이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서의 시간에 따른 수분량과 광량 변화를 측정한 그래프이다.

도 5는 도 4의 측정량을 통한 토양 내 수분량과 수광부에서 감지되는 상대 광량 관계 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서로 30000분 동안 수분량과 상대광량을 측정한 그래프이다.

도 7은 도 6의 측정량을 통한 토양 내 수분량과 수광부에서 감지되는 상대 광량 관계 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 설명하기 위하여 이하에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하고 이를 참조하여 살펴본다.

[0024] 먼저, 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니며, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다. 또한 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0025] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[0026] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서를 개략적으로 도시한 사시도이며, 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서의 센싱 과정을 나타내는 사용상태도이고, 도 3은 도 2의 A 부분 확대도이다.

[0027] 도면을 참조하면 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서(100)는 크게 절곡부 또는 굴곡부를 가지며 봉형태로 형성되어 토양 내에 일정 부분 이상이 수용되는 광반사봉(10)과, 상기 광반사봉(10)의 일단에 위치되어 광반사봉(10) 내측으로 광을 조사하는 발광부(20)와, 상기 광반사봉(10)의 타단에 위치되어 발광부(20)로부터 조사되어 광반사봉(10) 내벽면으로부터 반사되어 타단까지 도달하는 광을 감지하는 수광부(30) 및 상기 발광부(20)로부터 조사된 광의 총량과 수광부(30)로부터 감지된 광의 총량을 통해 토양 내 수분 함유율을 산출하는 제어부(40)로 이루어진다.

[0028] 여기서 상기 광반사봉(10)은 굴곡 또는 절곡진 형태의 봉으로 토양 내에 수용된 상태로 위치되며 일단과 타단에는 각각 발광부(20) 및 수광부(30)가 배치된다.

[0029] 물론 필요에 따라 발광부(20) 및 수광부(30)가 광반사봉(10)의 양 단부로부터 내측에 위치될 수 있으나 광이 반사되기 위한 충분한 길이를 제공하기 위해 단부측에 위치됨이 바람직하다.

[0030] 이와 같은 광반사봉(10)은 발광부(20)로부터 조사된 광이 수광부(30)로 도달하도록 안내하며, 'U'자 형태나 'L'자 또는 곡률진 일자형 또한 가능하다.

[0031] 도 1 및 도 2에서는 본 발명의 일실시예에 따라 'U'자 형태의 봉형상으로 도시하고 있는데, 일실시예에서와 같이 'U'자 형태의 광반사봉(10)으로 형성되는 경우 충분한 곡면이 형성되어 발광부(20)로부터 조사된 빛이 광반사봉(10)의 외벽면에 도달할 때 입사각이 크게 형성됨에 따라 전반사가 원활하게 이루어질 수 있게 된다.

[0032] 즉, 광반사봉(10)이 토양 내에 수용되면 발광부(20)에서 조사된 광이 광반사봉(10)의 외벽면, 즉 외부와의 경계지점에 도달했을 때 입사각과 광반사봉(10)의 매질 및 이와 외벽면측에서 접하는 매질의 굴절율에 따라 조사된 광의 반사 또는 굴절이 결정되어 광반사봉(10) 내측으로 반사되거나 굴절되면서 외부로 통과하게 된다.

[0033] 이는 스넬의 굴절 법칙에 따라 설명될 수 있는데, 스넬의 굴절 법칙에 의하면 전반사가 일어나는 임계각(Θ_c)는 $\Theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$이 되는데, 임계각의 예를 몇가지 들자면, 빛이 물(n=1.33)에서 공기로 진행하는 경우, Θ_c = 48.8° 이고, 크라운 유리(n=1.52)에서 공기로 진행하는 경우 Θ_c = 41.1° 이다. 이 임계각 보다 더 큰 각도로 입사하는 빛은 모두 반사된다.

[0034] 따라서 본 발명에 따른 광반사봉(10)의 굴절률은 물의 굴절률과 유사하거나 큰 적어도 1.3이상의 매질로 구성되며 바람직하게는 유리 또는 고분자가 적용될 수 있다.

[0035] 이에 따라 본 발명의 일실시예에 따라 크라운 유리(n=1.52)로 광반사봉(10)이 구성될 경우, 외벽면에 물이 접하면 임계각(Θ_c)는 $\Theta_c = \sin^{-1}(1.33/1.52)$ = 61° 가 되고, 외벽면에 공기가 접하면 임계각(Θ_c)는 $\Theta_c = \sin^{-1}(1/1.52)$ = 41.1° 가 된다.

[0036] 이에 따라 물이 접하면 입사각이 61° 보다 작은 빛은 외측으로 굴절되어 통과되고, 공기가 접하면 입사각이 41.1° 보다 작은 빛은 외측으로 굴절되어 통과되게 되어 물이 접할 경우 보다 공기가 접할 경우에 수광부(30)측으로 훨씬 많은 양의 빛이 감지될 것이다.

[0037] 즉, 도 3에 도시된 바와 같이 발광부(20)로부터 조사된 빛은 광반사봉(10)과 외벽면에 접하는 토양(S)에서 공기(A)가 채우고 있는 (a)의 경우 임계각(Θ_c)가 낮아져 전반사가 발생될 확률이 높아지며, 물(W)이 채우고 있는 (b)의 경우 임계각(Θ_c)이 상대적으로 높아져 전반사가 발생될 확률이 낮아지게 된다.

[0038] 본 발명은 이와 같은 광반사봉(10) 외측의 토양 수분 함유량에 따른 수광부(30)의 총 감지량 즉, 반사에 의해 도달하는 빛의 총량이 결정되게 되고, 이에 따라 제어부(40)는 발광부(20)로부터 조사된 빛의 총량 대비 수광부(30)에 도달되는 빛의 총량을 감지하여 토양 내의 수분 함유량을 측정한다.

[0039] 기존에는 토양으로 빛을 조사하여 토양 내 성분들에 의해 반사되어 되돌아오는 빛을 분석하여 토양 내 수분함유량을 측정하였으나, 전술한 바와 같이 이 경우 토양에 반사되는 빛은 토양에 포함된 수분이외에도 토양의 구성과 유기질의 함유 정도에 따라서 크게 달라지고, 조사하는 빛의 파장에 따라서 그 흡수량이 매우 심하게 달라지게 되는 문제점을 가지나, 본 발명은 광반사봉(10)과 접하는 토양의 성분 매질에 따라 굴절률이 달라지는 것을 이용하므로 토양의 구성 성분과 유기질의 함유량에 의한 굴절률의 변화보다는 수분 함유량에 의해 변화되는 굴절률의 변화가 훨씬 큰 영향을 미치므로 보다 정밀하고 신뢰도 높은 수분 함유량 계측이 가능해진다.

[0040] 물론 조사되는 빛의 파장에 따라서 약간의 굴절률 변화가 있기는 하나 이 또한 수분 함유량에 의해 변화되는 굴절률의 변화보다는 그 영향이 매우 낮은 수준이다.

[0041] 본 발명에 적용되는 발광부(20)의 광원은 빛을 조사할 수 있는 광원이면 모두 적용가능하며 빛의 파장은 가시광선, 자외선, 적외선 등 전자기파 계열은 모두 가능하나 현재 일반적인 발광, 수광 소자의 성능을 고려할 때 가시광선으로 조사되는 것이 바람직하다.

[0042] 아울러 수광부(30)는 발광부(20)로부터 조사되어 반사된 빛을 감지하도록 구비되며 다양한 종류의 수광 소자가

적용될 수 있는데, 대표적으로는 포토다이오드가 적용될 수 있다.

[0043] 한편 제어부(40)는 전술한 바와 같이 수광부(30)로부터 도달된 빛의 총량정보를 전달받아 발광부(20)의 빛 조사량과 비교하여 토양 내 수분 함유량 또는 함유율 데이터를 생성한다.

[0044] 이러한 제어부(40)는 수광부(30)에서 감지되는 빛의 총량으로 감지할 수 있으나,수광부(30)에서 감지되는 빛을 파장별로 감지가능하도록 구성하고 파장별 감지량 또는 파장별 빛의 분포를 통해 수분 함유량 또는 함유율 데이터의 보정 과정이 수행될 수 있다.

[0045] 이러한 보정 과정은 토양 내 수분 분포 이외에 토양의 성분 구성과 유기질 함유량에 따라 빛의 굴절률에 차이가 발생되고 수광부(30)에서 감지되는 빛의 양이 달라져 제어부(40)에서 생성되는 수분 함유량 또는 함유율 데이터의 오차를 보정하기 위한 것이다.

[0046] 이를 위해 각 토양 성분별 빛의 파장에 따른 수광 특성에 대한 데이터와 유기질 종류 또는 함량에 따른 수광 특성에 대한 데이터가 기 저장되면 수광부(30)에서 감지되는 빛의 양 및 파장에 따른 수광 특성을 분석하여 보다 정밀한 수분 함유량 또는 함유율 데이터를 생성가능하게 된다.

[0047] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서의 시간에 따른 수분량과 광량 변화를 측정한 그래프이며, 도 5는 도 4의 측정량을 통한 토양 내 수분량과 수광부에서 감지되는 상대 광량 관계 그래프이고, 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서로 30000분 동안 수분량과 상대광량을 측정한 그래프이며, 도 7은 도 6의 측정량을 통한 토양 내 수분량과 수광부에서 감지되는 상대 광량 관계 그래프이다.

[0048] 도면을 참조하면 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 토양 수분 센서의 광반사봉(10)을 고분자(PDMS:polydimethylsiloxane)봉으로 구성하고, 물을 지속적으로 추가하면서 측정한 자료인데, 시간이 지날수록 수분량이 증대됨을 알 수 있고, 이에 따라 수광부(30)에서 감지되는 상대 광량이 낮아짐을 알 수 있다. 도 5에서 살펴지는 바와 같이 수분량이 많아질수록 상대 광량은 낮고 수분량이 적어질수록 상대 광량은 커짐을 확인할 수 있다.

[0049] 아울러 도 6 또한 광반사봉(10)을 유리봉으로 구성하고 30000분 동안 수분량과 수광부(30)에서 감지되는 상대 광량을 측정한 것으로서, 도시된 바와 같이 수분량이 증가하거나 감소함에 따라 상대 광량은 반대로 감소하거나 증가하게 되는 것을 확인할 수 있으며, 도 7에 나타난 바와 같이 상대 광량과 수분량은 도 5에서 처럼 수분량이 많아질수록 상대 광량은 낮고 수분량이 적어질수록 상대 광량은 커짐을 확인할 수 있다.

[0050] 이와 같이 본 발명은 도면에 도시된 일실시예를 참고로 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

[0051] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

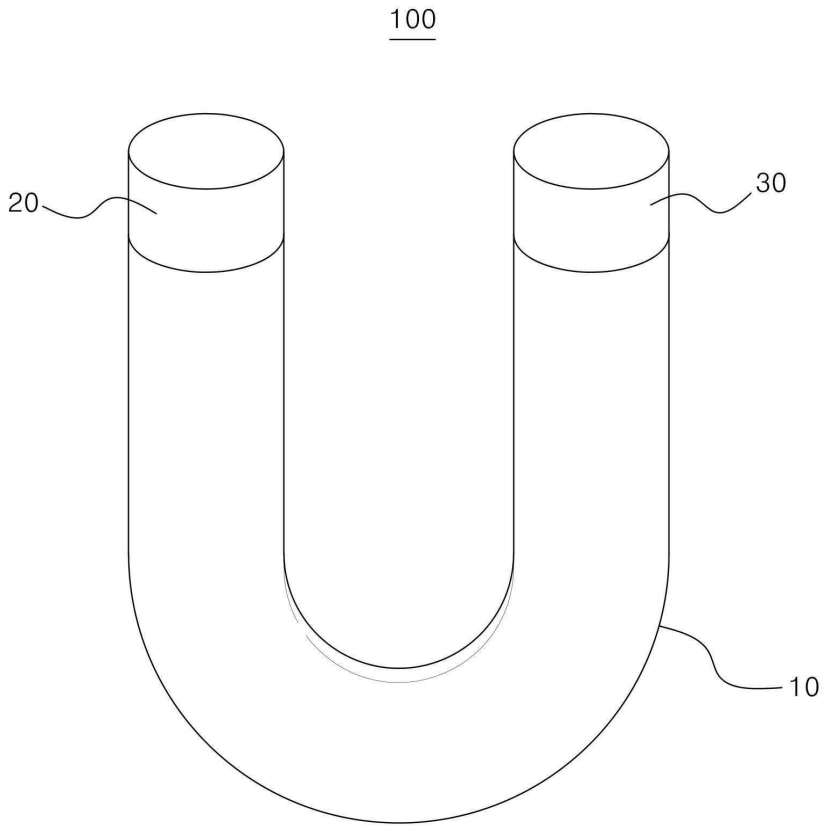
부호의 설명

[0052] 10 : 광반사봉 20 : 발광부

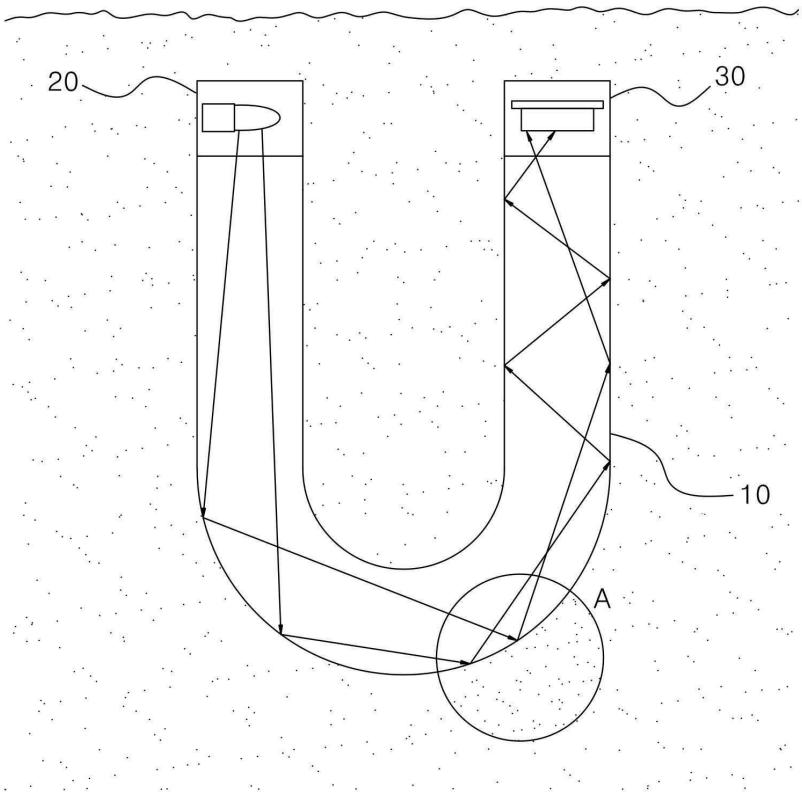
30 : 수광부 100 : 토양 수분 센서

도면

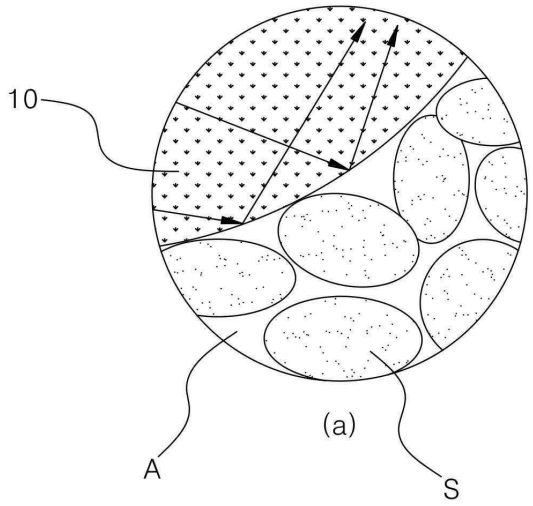
도면1

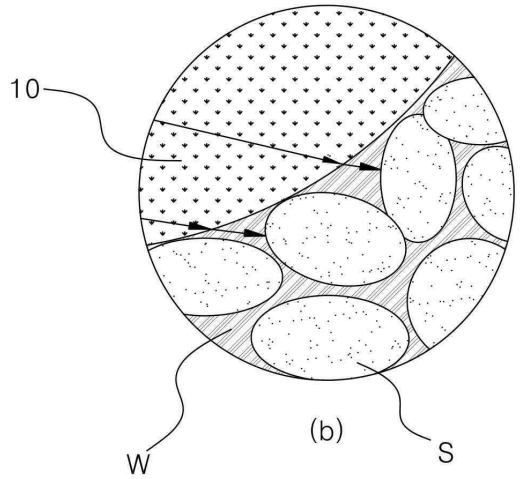


도면2

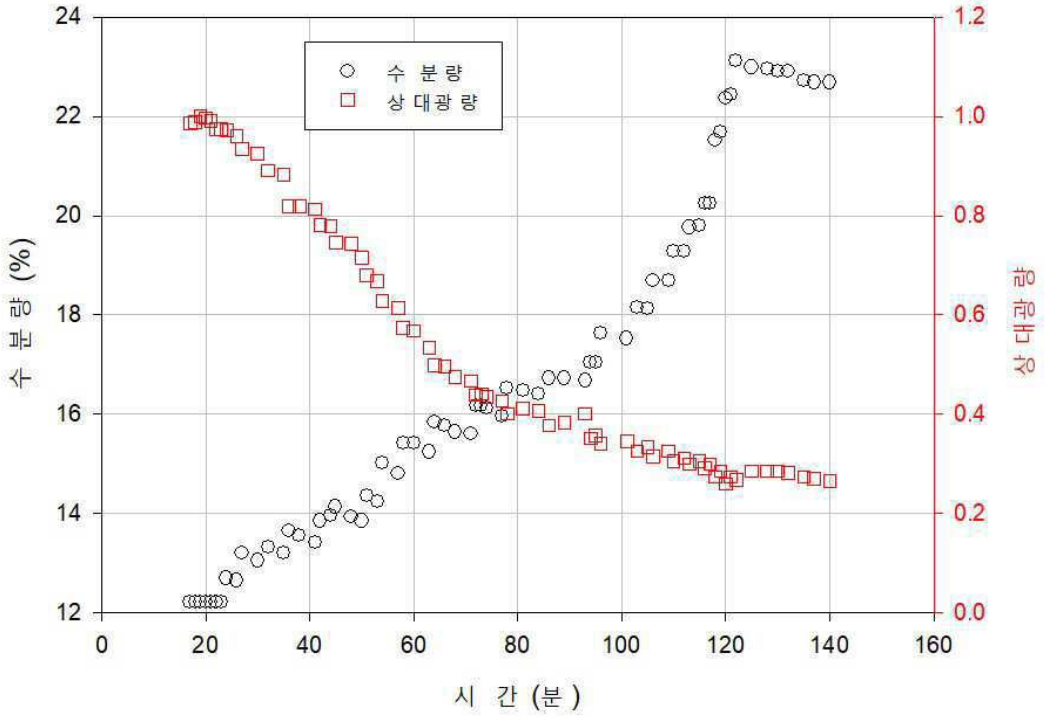


도면3

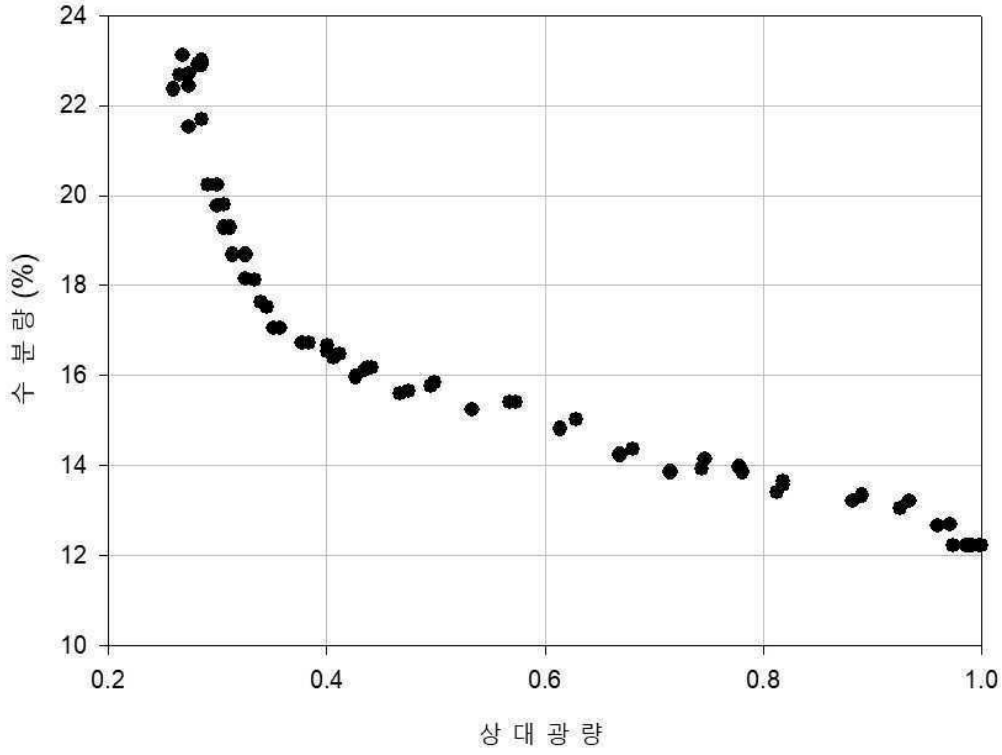




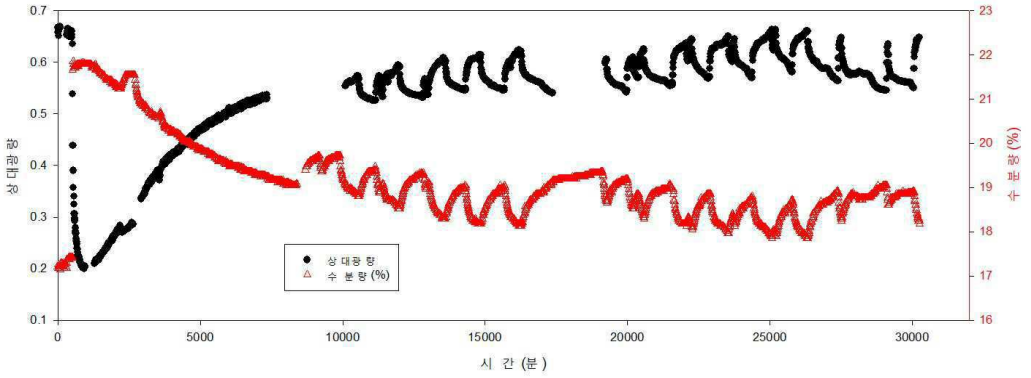
도면4


수 분 량
상 대 광 량
수 분 량 (%)
상 대 광 량
시 간 (분)
24
22
20
18
16
14
12
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0
20
40
60
80
100
120
140
160

도면5


수 분 량 (%)
상 대 광 량
24
22
20
18
16
14
12
10
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0

도면6



도면7

