

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(10) 국제공개번호

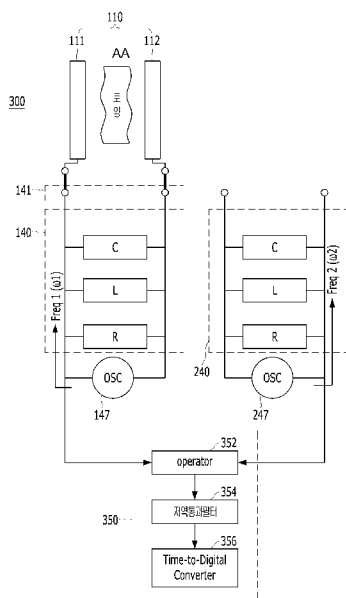
(43) 국제공개일
2020년 4월 30일 (30.04.2020) WIPO | PCT

WO 2020/085837 A1

- (51) 국제특허분류: G01N 27/12 (2006.01) G01N 33/24 (2006.01)
G01N 27/22 (2006.01) G01N 29/12 (2006.01)
 - (21) 국제출원번호: PCT/KR2019/014124
 - (22) 국제출원일: 2019년 10월 25일 (25.10.2019)
 - (25) 출원언어: 한국어
 - (26) 공개언어: 한국어
 - (30) 우선권정보: 10-2018-0128105 2018년 10월 25일 (25.10.2018) KR
10-2019-0119988 2019년 9월 27일 (27.09.2019) KR
 - (71) 출원인: 주식회사 다모아텍 (DAMOATECH CO.,LTD.) [KR/KR]; 13509 경기도 성남시 분당구 새나리로 25, 전자부품연구원 창업동 101호, Gyeonggi-do (KR).
 - (72) 발명자: 정후민 (JUNG, Hu Min); 13014 경기도 하남시 위례중양로 215, 위례롯데캐슬아파트 6409동 304호, Gyeonggi-do (KR).
 - (74) 대리인: 방영석 등 (BAHNG, Young Suk et al.); 06731 서울시 서초구 서운로 26-1, 701호(서초동, 보일빌딩 7층), Seoul (KR).
 - (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
 - (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 공개:
— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(54) Title: SOIL MOISTURE SENSOR AND OPERATING METHOD THEREOF

(54) 발명의 명칭: 토양 수분 센서 및 그 동작 방법



352 ... operator
354 ... Low-pass filter
356 ... Time-to-Digital Converter
AA ... Soil

(57) Abstract: Disclosed are a soil moisture sensor and an operating method thereof. Disclosed are a soil moisture sensor and an operating method thereof. A soil moisture sensor according to an embodiment of the present invention comprises: a first probe including a pair of first electrodes extending in a first direction to penetrate soil; a first resonance circuit connected to the pair of first electrodes of the first probe via a pair of first ports and to which a first alternating current signal is applied; a second resonance circuit which has the same impedance as the first resonance circuit and to which is applied a second alternating current signal which is a reference current signal and has the same characteristics as the first alternating current signal; and a determination circuit for receiving a first electrical signal generated in the first resonance circuit, receiving a second electrical signal generated in the second resonance circuit, and determining moisture of the soil on the basis of a first resonance frequency of the first electrical signal and a second resonance frequency of the second electrical signal.

(57) 요약서: 토양 수분 센서 및 그 동작 방법이 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서는 토양에 침투하도록 제1 방향으로 연장되어 형성되는 한 쌍의 제1 전극들을 포함하는 제1 프로브, 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들과 한 쌍의 제1 포트를 경유하여 연결되고 제1 교류 신호가 인가되는 제1 공진 회로, 상기 제1 공진 회로와 동일한 임피던스를 가지고, 레퍼런스 교류 신호이면서 상기 제1 교류 신호와 동일한 특성을 가지는 제2 교류 신호가 인가되는 제2 공진 회로 및 상기 제1 공진 회로에 형성되는 제1 전기 신호를 수신하고, 상기 제2 공진 회로에 형성되는 제2 전기 신호를 수신하고, 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수와 상기 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 토양의 수분을 판정하는 판정 회로를 포함한다.



WO 2020/085837 A1

명세서

발명의 명칭: 토양 수분 센서 및 그 동작 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 토양의 수분함량을 측정하는 토양 수분 센서 및 그 동작 방법에 관한 것으로, 구체적으로는 토양 내의 수분량에 따라 센싱 회로에 형성되는 주파수의 변화를 탐지하여 토양의 수분함량을 측정하는 토양 수분 센서 및 그 동작 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 기존의 토양 수분 측정 방법으로는 건조평량법, 토성별 감측에 의하여 토양 수분을 평가하는 감측법, 석고 블록 모세관 공극에 흡수된 수분의 전기 전도도로 측정하는 방법, 초별구이 다공질 컵(porous cup) 수분 장력계 방법, 중성자 측정(neutron probe) 방법 등이 있다.
- [3] 건조평량법으로 수분의 중량 백분율을 구하는 방법은 오래 동안 수분 측정의 대표적인 방법으로 자리하였지만 그 절차가 번거롭고 시간이 오래 걸려서 불편함을 초래하였고, 토성별 감측에 의하여 토양 수분을 평가하는 감측법은 평가하는 사람마다의 개인 편차가 크고 상당한 훈련이 요구되어 비효율적이다. 비교적 간편한 방법으로 석고 블록 모세관 공극에 흡수된 수분의 전기 전도도로 측정하는 방법은 석고 블록의 공극이 매우 미세하여 토양 수분 장력이 낮을 때에는 거의 모든 공극이 포화되어 만족스럽지 못한 결과를 초래한다는 단점이 있고, 초별구이 다공질컵(porous cup) 수분 장력계 방법도 관개 시점 판별 등에 널리 채택되지만 수분 장력이 1기압 보다 높은 영역에서 작동하지 않는다는 단점이 있다.
- [4] 중성자 측정(neutron probe) 방법은 초기 보정(calibration)절차가 까다롭고 운반 측정 조작이 번거롭고 가격이 상당한 고가이어서 일반에 널리 사용되지 못하고 있다는 단점이 있다.
- [5] 또한 기가 헤르쯔(Giga Herz) 전자장에서 이온의 이동은 무시할 정도로 적어져서 물 분자 회전운동에 따른 물의 유전 특성만 부각되는 원리를 이용하는 TDR(Time Domain Reflectometry) 방식이 제안되기도 하였다. TDR은 기가헤르쯔 레벨의 고에너지 주파수를, 토양에 삽입한 무피복 철봉을 콘덴서로 사용하는 센서에 발사하여 토양수분에 따른 유전율의 정도에 따라 반사되어 오는 주파수의 수에 따라 시간차 또는 전압차를 분석하는 방식이다. TDR은 콘덴서에 의해 전자파가 변형되는 원리를 이용하여 토양 콘덴서로 변형된 반사되어 오는 전자파를 간단히 증폭한 후 오실로스코프로 읽는 방법으로 토양 수분을 정량화 하는데, 이에 필요한 장비가 비교적 복잡하고 고가라는 단점이 제기되어 왔다.
- [6] 이러한 이유로 말미암아 보다 간편하고 조작과 절차가 간단하며, 빠른 시간 내에 정확한 데이터를 측정하고 수집할 수 있는 저가의 토양 수분 측정 장치의

개발과 도입이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

- [7] 한편, 일본특허출원공개공보 제2016-217795호 "수분 센서 및 수분 측정 장치"에서는 서로 엇갈리는 빗살(comb teeth) 모양으로 구성된 전극을 가지는 수분센서를 이용하여 토양에 포함되는 수분량의 변화에 의한 등가 인덕턴스 변화에 따라 공진 주파수가 변화하는 공진 회로를 형성하고 이 공진 회로에 의해 발진되는 공진 주파수를 산출하는 수분 센서가 개시된 바 있다. 상기 선행기술은 공진 회로를 이용하여 임피던스 변화를 인덕턴스 변화로 치환해 검출하는 구성상의 특징이 있다.
- [8] 그러나 상기 선행기술에 의하더라도 공진 주파수를 직접적으로 측정하는 것이 아니라 측정된 진폭 값을 변환하여 산출하는 과정이 복잡하므로 공진 주파수를 신속하고 정밀하게 측정하기 어려운 문제점이 있다. 이로 인하여 실시간으로 토양의 수분량을 측정하는 경우 노이즈(noise)가 발생하여 측정값이 부정확해지는 문제점이 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [9] 상기 선행기술은 공진 회로에 인가되는 입력 전기 신호의 주파수를 가변하여 입력 전기 신호에 대한 응답으로 공진 회로에 형성되는 출력 전기 신호의 크기를 스캔하여 최대 크기를 가지는 경우의 주파수를 공진 주파수로 산출하는 구성을 취한다. 이로 인하여 상기 선행기술은 입력 전기 신호의 가변 주파수의 해상도 만큼의 오차를 가지며, 전기 신호의 크기를 검출하여 공진 주파수를 산출하는 간접적인 방법으로 정확도가 떨어지고, 입력 전기 신호의 주파수를 가변해야 하므로 시간이 소요되는 문제점이 있다.
- [10] 본 발명은 상기의 종래 기술에서 나타나는 문제점을 해결하기 위하여 도출된 것으로서, 토양을 매질로 하는 토양 수분 센서용 프로브(probe)에 형성된 정전용량을 가지는 회로와 레퍼런스(reference) 정전용량을 가지는 회로 각각에 고주파 신호를 발진시켜 두 회로에서의 고주파 신호에 대한 주파수를 측정하고 비교하여 토양내의 수분 함유량을 정량화 시킴으로써, 토양의 수분 상태를 보다 정확하고 실시간으로 파악할 수 있는 토양 수분 센서를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [11] 또한 본 발명에 따른 토양 수분 센서는 비파괴적이며 반영구적으로 사용 가능하고, 장치의 안정성을 제공하고, 입력 전기 신호의 주파수를 가변시키는 구성이 필요하지 않으므로 종래의 토양 수분 센서보다 생산비를 크게 절감할 수 있는 것을 목적으로 한다.
- [12] 본 발명에 따른 토양 수분 센서는 공진 주파수의 편이(shift)를 효과적으로 검출할 수 있는 회로 및 동작 방법을 제안하는 것을 목적으로 한다. 또한 본 발명에 따른 토양 수분 센서는 입력 전기 신호의 주파수를 가변하는 과정이 필요하지 않으므로 토양 수분 센싱 시간을 단축하는 것을 목적으로 한다.

- [13] 본 발명에 따른 토양 수분 센서는 보다 정확한 토양의 수분 함유량을 검출하기 위하여 온도 센서를 더 포함할 수 있고, 온도 센서에 기반하여 토양의 수분 함유량을 보상하여 정밀한 수분 함유량을 측정하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결 수단

- [14] 본 발명은 상기의 목적을 달성하기 위하여 도출된 구성으로서, 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서는 토양에 침투하도록 제1 방향으로 연장되어 형성되는 한 쌍의 제1 전극들을 포함하는 제1 프로브, 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들과 한 쌍의 제1 포트를 경유하여 연결되고 제1 교류 신호가 인가되는 제1 공진 회로, 상기 제1 공진 회로와 동일한 임피던스를 가지고, 레퍼런스 교류 신호이면서 상기 제1 교류 신호와 동일한 특성을 가지는 제2 교류 신호가 인가되는 제2 공진 회로 및 상기 제1 공진 회로에 형성되는 제1 전기 신호를 수신하고, 상기 제2 공진 회로에 형성되는 제2 전기 신호를 수신하고, 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수와 상기 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 토양의 수분을 판정하는 판정 회로를 포함한다.
- [15] 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서는 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 중 어느 하나에 결합된 온도 센서를 더 포함할 수 있다.
- [16] 상기 판정 회로는 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수와 상기 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 토양의 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 상기 온도 센서에 의하여 측정된 온도에 기반하여 상기 제1 판정 값을 보상함으로써 상기 토양의 수분에 대한 제2 판정 값을 생성할 수 있다.
- [17] 상기 판정 회로는 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분에 의해 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 형성되는 정전용량에 기반하여 상기 제1 공진 회로에 형성되는 상기 제1 전기 신호의 상기 제1 공진 주파수의 정량적 변화를 검출하고, 상기 검출된 제1 공진 주파수의 정량적 변화에 기반하여, 상기 토양이 함유하는 수분을 판정한다. 이 때 판정 회로는 제1 공진 주파수의 정량적 변화에 기반하여 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 측정된 온도에 기반하여 상기 제1 판정 값을 보상함으로써 상기 제2 판정 값을 생성할 수 있다.
- [18] 상기 판정 회로는 상기 제2 공진 회로에 인가되는 상기 제2 교류 신호의 영향으로 상기 제2 공진 회로에 형성되는 상기 제2 전기 신호의 레퍼런스 공진 주파수인 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이를 검출하고, 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이에 기반하여 상기 토양에 함유된 수분을 판정한다. 이 때 판정 회로는 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이에 기반하여 상기 토양에 함유된 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 상기 측정된 온도에 기반하여 제1 판정 값을 보상함으로써 상기 제2 판정 값을 생성할 수 있다.
- [19] 상기 판정 회로는 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이가

제1 임계값 이상이면 상기 제1 공진 주파수가 유의미한 변화를 일으킨 것으로 간주하여 상기 토양이 함유하는 수분의 존재를 판정한다.

- [20] 상기 판정 회로는 상기 제1 공진 주파수와 상기 제2 공진 주파수의 차이를 구하는 연산기(operator), 상기 연산기의 출력단에 연결되어 고주파 성분을 제거하는 저역통과필터(Low pass filter) 및 상기 저역통과필터의 출력단에 연결되어 상기 제1 공진 주파수와 상기 제2 공진 주파수 간의 차이에 해당하는 제3 주파수 성분 신호의 주파수를 디지털 카운트하는 타임-투-디지털 변환기(Time-to-Digital Converter)를 포함한다.
- [21] 상기 토양의 표층에 근접 또는 침투하도록 형성되는 한 쌍의 제2 전극들을 포함하는 제2 프로브를 더 포함하고, 상기 제2 공진 회로는 상기 제2 프로브에 포함되는 상기 한 쌍의 제2 전극들과 한 쌍의 제2 포트를 경유하여 상호 연결될 수 있다.
- [22] 상기 판정 회로는 상기 한 쌍의 제2 전극들 간에 형성되는 제2 정전용량에 기반하여 상기 제2 공진 회로에 형성되는 상기 제2 전기 신호의 상기 제2 공진 주파수와, 상기 제1 공진 주파수 간의 정량적 차이에 기반하여 상기 토양이 함유하는 수분을 판정할 수 있다.
- [23] 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서의 동작 방법은 제1 오실레이터가, 토양에 침투하도록 제1 방향으로 연장되어 형성되는 한 쌍의 제1 전극들을 포함하는 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들과 한 쌍의 제1 포트를 경유하여 연결되는 제1 공진 회로를 경유하여 제1 교류 신호를 인가하는 단계, 상기 제1 오실레이터와 동일한 특성을 가지는 제2 오실레이터가, 상기 제1 공진 회로와 동일한 임피던스를 가지는 제2 공진 회로에 레퍼런스 교류 신호인 제2 교류 신호를 인가하는 단계, 판정 회로가 상기 제1 교류 신호의 영향으로 상기 제1 프로브 및 상기 제1 공진 회로에 형성되는 제1 전기 신호를 수신하는 단계, 상기 판정 회로가 상기 제2 공진 회로에 인가되는 상기 제2 교류 신호의 영향으로 상기 제2 공진 회로에 형성되는 제2 전기 신호를 수신하는 단계, 및 상기 판정 회로가 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수 및 상기 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분을 판정하는 단계를 포함한다.
- [24] 이 때 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센싱 방법은 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 중 어느 하나에 결합된 온도 센서에 의하여 상기 토양의 온도를 측정하는 단계;를 더 포함할 수 있다. 이때 판정 회로는 제1 공진 주파수 및 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 측정된 토양의 온도에 기반하여 상기 제1 판정 값을 보상함으로써 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 제2 판정 값을 생성할 수 있다.
- [25] 상기 판정 회로가 상기 토양이 함유하는 수분을 판정하는 단계는 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분에 의해 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 형성되는 정전용량에 기반하여 상기 제1 공진 회로에

형성되는 상기 제1 전기 신호의 상기 제1 공진 주파수의 정량적 변화를 검출하는 단계, 및 상기 검출된 제1 공진 주파수의 정량적 변화에 기반하여, 상기 토양이 함유하는 수분을 판정하는 단계를 포함할 수 있다.

[26] 상기 판정 회로가 상기 제1 공진 주파수 및 상기 제2 공진 주파수 간의 차이를 검출하는 단계를 더 포함하고, 상기 판정 회로가 상기 토양이 함유하는 수분을 판정하는 단계는 상기 제1 공진 주파수 및 상기 제2 공진 주파수 간의 차이에 기반하여 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분을 판정할 수 있다.

[27] 상기 제2 오실레이터가, 상기 제2 공진 회로와 한 쌍의 제2 포트를 경유하여 연결되고, 상기 토양의 표층에 근접 또는 침투하도록 형성되는 한 쌍의 제2 전극들을 포함하는 제2 프로브에 상기 한 쌍의 제2 포트를 경유하여 상기 제2 교류 신호를 인가하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[28] 본 발명에 따르면 토양을 매질로 하는 토양 수분 센서용 프로브(probe)에 형성된 정전용량을 가지는 회로와 레퍼런스 정전용량을 가지는 회로 각각에 고주파 신호를 발진시켜 두 회로에서의 고주파 신호에 대한 주파수를 측정하고 비교하여 토양내의 수분 함유량을 정량화 시킴으로써, 토양의 수분 상태를 보다 정확하고 빠르게 실시간으로 파악할 수 있다.

[29] 또한, 본 발명에 따르면 토양 수분 센서를 비파괴적이며 반영구적으로 사용 가능하고, 토양 수분 센서 장치의 안정성이 보장될 수 있다.

[30] 또한, 본 발명에 따르면 토양 수분 센서의 판정 회로를 하나의 칩(chip)으로 제작하는 경우, 센서 회로와 레퍼런스 공진 회로를 근접하게 배치하고, 동일한 종류의 소자로 제작하여 공정 변이(process variation)에 따른 측정 오차를 줄일 수 있으므로, 실시간으로 정확하게 토양내의 수분량을 판정할 수 있다.

[31] 본 발명에 따른 토양 수분 센서는 보다 정확한 토양의 수분 함유량을 검출하기 위하여 온도 센서를 더 포함할 수 있고, 온도 센서에 기반하여 토양의 수분 함유량을 보정하여 정밀한 수분 함유량을 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[32] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서를 도시하는 도면이다.

[33] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서를 도시하는 도면이다.

[34] 도 3은 제1 프로브와 제2 프로브의 동작 원리를 설명하기 위한 도면이다.

[35] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서를 도시하는 도면이다.

[36] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 토양에 함유된 수분을 판정하는 방법을 도시하는 동작 흐름도이다.

[37] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 토양에 함유된 수분을 센싱하는 방법을 도시하는 동작 흐름도이다.

[38] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서를 도시하는 도면이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [39] 본 발명은 상기의 목적을 달성하기 위하여 도출된 구성으로서, 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서는 토양에 침투하도록 제1 방향으로 연장되어 형성되는 한 쌍의 제1 전극들을 포함하는 제1 프로브, 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들과 한 쌍의 제1 포트를 경유하여 연결되고 제1 교류 신호가 인가되는 제1 공진 회로, 상기 제1 공진 회로와 동일한 임피던스를 가지고, 레퍼런스 교류 신호이면서 상기 제1 교류 신호와 동일한 특성을 가지는 제2 교류 신호가 인가되는 제2 공진 회로 및 상기 제1 공진 회로에 형성되는 제1 전기 신호를 수신하고, 상기 제2 공진 회로에 형성되는 제2 전기 신호를 수신하고, 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수와 상기 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 토양의 수분을 판정하는 판정 회로를 포함한다.
- [40] 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서는 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 중 어느 하나에 결합된 온도 센서를 더 포함할 수 있다.
- [41] 상기 판정 회로는 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수와 상기 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 토양의 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 상기 온도 센서에 의하여 측정된 온도에 기반하여 상기 제1 판정 값을 보상함으로써 상기 토양의 수분에 대한 제2 판정 값을 생성할 수 있다.
- [42] 상기 판정 회로는 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분에 의해 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 형성되는 정전용량에 기반하여 상기 제1 공진 회로에 형성되는 상기 제1 전기 신호의 상기 제1 공진 주파수의 정량적 변화를 검출하고, 상기 검출된 제1 공진 주파수의 정량적 변화에 기반하여, 상기 토양이 함유하는 수분을 판정한다. 이 때 판정 회로는 제1 공진 주파수의 정량적 변화에 기반하여 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 측정된 온도에 기반하여 상기 제1 판정 값을 보상함으로써 상기 제2 판정 값을 생성할 수 있다.
- [43] 상기 판정 회로는 상기 제2 공진 회로에 인가되는 상기 제2 교류 신호의 영향으로 상기 제2 공진 회로에 형성되는 상기 제2 전기 신호의 레퍼런스 공진 주파수인 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이를 검출하고, 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이에 기반하여 상기 토양에 함유된 수분을 판정한다. 이때 판정 회로는 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이에 기반하여 상기 토양에 함유된 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 상기 측정된 온도에 기반하여 제1 판정 값을 보상함으로써 상기 제2 판정 값을 생성할 수 있다.
- [44] 상기 판정 회로는 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이가 제1 임계값 이상이면 상기 제1 공진 주파수가 유의미한 변화를 일으킨 것으로 간주하여 상기 토양이 함유하는 수분의 존재를 판정한다.
- [45] 상기 판정 회로는 상기 제1 공진 주파수와 상기 제2 공진 주파수의 차이를

구하는 연산기(operator), 상기 연산기의 출력단에 연결되어 고주파 성분을 제거하는 저역통과필터(Low pass filter) 및 상기 저역통과필터의 출력단에 연결되어 상기 제1 공진 주파수와 상기 제2 공진 주파수 간의 차이에 해당하는 제3 주파수 성분 신호의 주파수를 디지털 카운트하는 타임-투-디지털 변환기(Time-to-Digital Converter)를 포함한다.

- [46] 상기 토양의 표층에 근접 또는 침투하도록 형성되는 한 쌍의 제2 전극들을 포함하는 제2 프로브를 더 포함하고, 상기 제2 공진 회로는 상기 제2 프로브에 포함되는 상기 한 쌍의 제2 전극들과 한 쌍의 제2 포트를 경유하여 상호 연결될 수 있다.
- [47] 상기 판정 회로는 상기 한 쌍의 제2 전극들 간에 형성되는 제2 정전용량에 기반하여 상기 제2 공진 회로에 형성되는 상기 제2 전기 신호의 상기 제2 공진 주파수와, 상기 제1 공진 주파수 간의 정량적 차이에 기반하여 상기 토양이 함유하는 수분을 판정할 수 있다.
- [48] 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서의 동작 방법은 제1 오실레이터가, 토양에 침투하도록 제1 방향으로 연장되어 형성되는 한 쌍의 제1 전극들을 포함하는 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들과 한 쌍의 제1 포트를 경유하여 연결되는 제1 공진 회로를 경유하여 제1 교류 신호를 인가하는 단계, 상기 제1 오실레이터와 동일한 특성을 가지는 제2 오실레이터가, 상기 제1 공진 회로와 동일한 임피던스를 가지는 제2 공진 회로에 레퍼런스 교류 신호인 제2 교류 신호를 인가하는 단계, 판정 회로가 상기 제1 교류 신호의 영향으로 상기 제1 프로브 및 상기 제1 공진 회로에 형성되는 제1 전기 신호를 수신하는 단계, 상기 판정 회로가 상기 제2 공진 회로에 인가되는 상기 제2 교류 신호의 영향으로 상기 제2 공진 회로에 형성되는 제2 전기 신호를 수신하는 단계, 및 상기 판정 회로가 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수 및 상기 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분을 판정하는 단계를 포함한다.
- [49] 이 때 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센싱 방법은 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 중 어느 하나에 결합된 온도 센서에 의하여 상기 토양의 온도를 측정하는 단계;를 더 포함할 수 있다. 이때 판정 회로는 제1 공진 주파수 및 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 측정된 토양의 온도에 기반하여 상기 제1 판정 값을 보정함으로써 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 제2 판정 값을 생성할 수 있다.
- [50] 상기 판정 회로가 상기 토양이 함유하는 수분을 판정하는 단계는 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분에 의해 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 형성되는 정전용량에 기반하여 상기 제1 공진 회로에 형성되는 상기 제1 전기 신호의 상기 제1 공진 주파수의 정량적 변화를 검출하는 단계, 및 상기 검출된 제1 공진 주파수의 정량적 변화에 기반하여, 상기 토양이 함유하는 수분을 판정하는 단계를 포함할 수 있다.

- [51] 상기 판정 회로가 상기 제1 공진 주파수 및 상기 제2 공진 주파수 간의 차이를 검출하는 단계를 더 포함하고, 상기 판정 회로가 상기 토양이 함유하는 수분을 판정하는 단계는 상기 제1 공진 주파수 및 상기 제2 공진 주파수 간의 차이에 기반하여 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분을 판정할 수 있다.
- [52] 상기 제2 오실레이터가, 상기 제2 공진 회로와 한 쌍의 제2 포트를 경유하여 연결되고, 상기 토양의 표층에 근접 또는 침투하도록 형성되는 한 쌍의 제2 전극들을 포함하는 제2 프로브에 상기 한 쌍의 제2 포트를 경유하여 상기 제2 교류 신호를 인가하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 실시를 위한 형태

- [53] 상기 목적 외에 본 발명의 다른 목적 및 특징들은 첨부 도면을 참조한 실시예에 대한 설명을 통하여 명백히 드러나게 될 것이다. 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다. 이하에서는, 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서 및 그 동작 방법을 첨부된 도 1 내지 도 6을 참조하여 상세히 설명한다.
- [54] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서(100)를 도시하는 도면이다.
- [55] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서(100)는 제1 프로브(probe, 110), 제1 공진 회로(140), 제1 포트(141), 제1 오실레이터(147), 제2 공진 회로(240), 제2 오실레이터(247) 및 판정 회로(250)를 포함한다.
- [56] 제1 프로브(110)는 전극(111) 및 전극(111)과 대향하여 평행하게 배치되는 전극(112)으로 이루어진 한 쌍의 제1 전극들(111, 112)을 포함한다. 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112)은 토양에 침투하도록 토양을 향하는 방향으로 연장되어 형성될 수 있다.
- [57] 제1 공진 회로(140)는 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112)과 한 쌍의 포트(141)를 경유하여 연결되고, 제1 프로브(110)에 제1 교류 신호를 인가한다. 또한, 제1 공진 회로(140)는 제1 인덕터(145) 및 제1 커패시터(144)를 포함한다. 제1 인덕터(145)는 코일의 형태를 취할 수도 있으나 제어 가능한 인덕턴스를 가지는 반도체 패턴의 형태로 구현될 수도 있다. 도 1을 참조하면 제1 공진 회로(140)에 형성되는 제1 기생 저항(146)이 도시된다. 본 발명의 일 실시예에 따라서는 제1 공진 회로(140)와 후술할 다른 회로들 간의 밸런싱을 위하여 저항기 R'(도시되지 않음)을 추가 배치할 수도 있다.
- [58] 제1 오실레이터(147)는 제1 공진 회로(140)에 제1 교류 신호를 인가한다. 제1 교류 신호의 인가에 의하여 제1 공진 회로(140)에 형성되는 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수(ω_1)는 제1 공진 회로(140)의 임피던스 및 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양이 함유하는 수분에 의해 형성되는

커패시턴스(capacitance)에 기반하여 결정될 수 있다.

- [59] 또한, 제1 오실레이터(147)는 포트(141)를 경유하여 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112)에도 제1 교류 신호를 인가할 수 있다. 인가된 제1 교류 신호가 제1 공진 회로(140) 및 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양이 함유하는 수분에 의해 형성되는 커패시턴스의 합성 임피던스와 결합하여 제1 공진 회로(140) 및 제1 프로브(110)에는 제1 전기 신호가 형성된다. 이때 포트(141)는 제1 공진 회로(140)와 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 간의 인터페이스 포트로서 기능한다.
- [60] 한편, 본 발명의 토양 수분 센서(100)는 제1 공진 회로(140), 제1 오실레이터(147), 제2 공진 회로(240), 제2 오실레이터(247), 및 판정 회로(250)를 하나의 집적회로(IC)로서 구현할 수 있으며, 이 경우, 집적회로는 인터페이스 포트 기능을 가지는 제1 포트(141)를 통하여 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112)과 연결될 수 있다.
- [61] 이와 같이, 토양 수분 센서의 판정 회로(250) 부분이 하나의 칩(chip)으로 제작되는 경우, 센서 회로와 레퍼런스 공진 회로가 근접하게 배치되고, 동일한 종류의 소자로 제작되므로, 공정 변이(process variation)에 따른 측정 오차를 줄일 수 있으므로, 실시간으로 정확하게 토양내의 수분량을 판정할 수 있다.
- [62] 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수(ω_1)는 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양이 함유하는 수분에 기반하여 결정될 수 있다.
- [63] 즉, 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양이 함유하는 수분에 의해 형성되는 커패시턴스의 변화로 인하여, 제1 공진 회로(140)의 임피던스 및 제1 프로브(110)에 형성된 커패시턴스가 병렬로 연결되어 산술적으로 합산된 커패시턴스를 가지는 합성 임피던스가 변화한다. 이러한 합성 임피던스와 제1 교류 신호가 결합하여 제1 공진 회로(140)에 제1 공진 주파수(ω_1)를 가지는 제1 전기 신호가 형성된다. 한 쌍의 제1 전극들(111, 112)을 포함하는 제1 프로브(110)에도 마찬가지로 제1 공진 주파수(ω_1)를 가지는 제1 전기 신호가 형성된다.
- [64] 제2 공진 회로(240)는 제1 공진 회로(140)와 동일한 임피던스를 가지도록 설계된다. 특히 제2 공진 회로(240) 내의 인덕터(L)와 커패시터(C)는 제1 공진 회로(140) 내의 제1 인덕터(145) 및 제1 커패시터(144)와 동일한 값을 가지도록 설계될 수 있다. 또한, 제2 공진 회로(240)는 제1 공진 회로(140)와 근접하게 배치되어 제조 시 공정 변이의 영향을 덜 받게 할 수 있다.
- [65] 한편, 제2 공진 회로(240) 내의 기생 저항 성분(R)이 도시되었으나, 본 발명의 일 실시예에 따라서는 제1 공진 회로(140) 및 제2 공진 회로(240)의 임피던스를 정확히 일치시키고 밸런싱을 개선하기 위하여 저항기 R'(도시되지 않음)이 추가로 포함될 수도 있다.
- [66] 제2 오실레이터(247)에 의하여 인가되는 제2 교류 신호가 제2 공진 회로(240)에

인가된다. 인가된 제2 교류 신호가 제2 공진 회로(240)의 임피던스와 결합하여 제2 공진 회로(240)에는 제2 전기 신호가 형성된다. 제2 교류 신호는 레퍼런스 교류 신호이고, 이로 인하여 제2 공진 회로(240)에 형성되는 제2 전기 신호는 레퍼런스 전기 신호이다. 이때 제2 전기 신호는 레퍼런스 공진 주파수인 제2 공진 주파수(ω_2)를 가진다.

- [67] 제2 공진 회로(240)는 외부에 노출되지 않으므로 토양에 함유하는 수분 유무에 관계없이 제2 공진 회로(240)의 전기적 특성에는 영향이 없다. 따라서 제2 전기 신호는 토양에 함유하는 수분 유무에 관계없이 레퍼런스 공진 주파수인 제2 공진 주파수(ω_2)를 유지할 수 있다.
- [68] 제1 공진 회로(140)에 형성된 제1 공진 주파수(ω_1)를 가지는 제1 전기 신호 및 제2 공진 회로(240)에 형성된 제2 공진 주파수(ω_2)를 가지는 제2 전기 신호가 판정 회로(250)로 전달된다. 판정 회로(250)에 포함되는 제어부/컨트롤러/프로세서(도시되지 않음)에 의하여 제2 오실레이터(247) 및 제2 공진 회로(240)의 동작 또한 제어될 수 있다.
- [69] 판정 회로(250)는 제1 공진 회로(140)에 형성되는 제1 공진 주파수(ω_1)를 가지는 제1 전기 신호를 수신하고, 제2 공진 회로(240)에 형성되는 제2 공진 주파수(ω_2)를 가지는 제2 전기 신호를 수신하고, 제1 공진 주파수(ω_1) 및 제2 공진 주파수(ω_2)에 기반하여 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양에 함유하는 수분량을 판정할 수 있다.
- [70] 이때, 판정 회로(250)는 제1 공진 주파수(ω_1)의 변화값을 통하여 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양에 함유하는 수분량이 어느 정도인지를 판정할 수 있다.
- [71] 판정 회로(250)는 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양에 함유하는 수분량의 정도에 따라 형성되는 정전용량에 기반하여 제1 공진 회로(140)에 형성되는 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수(ω_1)의 정량적 변화를 검출하고, 검출된 제1 공진 주파수(ω_1)의 정량적 변화에 기반하여 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양에 함유하는 수분량을 측정할 수 있다.
- [72] 구체적으로, 정전용량은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.
- [73] [수식1]

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d} = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$$

- [74] 여기서, C는 정전용량/커패시턴스이고, ϵ 은 유전상수이고, S는 대향하는 전극의 면적, d는 전극간의 거리이다. 유전상수 ϵ 와 정전용량 C는 서로 비례한다. 또한,

- [75] $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} F/m$

(진공의 유전율)

[76] $\epsilon_r = \text{Relative Permittivity}$

(비유전율)

[77] 로서, 유전상수 ϵ 은 일정한 진공의 유전율인 ϵ_0 와의 비율인 비유전율 ϵ_r 을 특성값으로 사용한다. 공기의 비유전율은 진공의 비유전율과 유사하고, 물의 비유전율 ϵ_r 은 80 정도로 공기와 토양입자들에 비하여 상대적으로 훨씬 크기 때문에, 토양의 유전상수는 토양의 수분함량에 강하게 영향을 받는다. 토양 사이의 공극 또한 공기이므로 수분 함량에 의한 비유전율의 변화에 크게 영향을 주지 못한다. 한편, 진공의 비유전율은 온도의 변화에 상관없이 항상 1을 유지하나, 물의 유전율은 온도가 높아지면 감소한다. 따라서, 일정한 온도에서 토양에 함유되는 수분량이 많을수록 토양의 유전상수가 증가할 것이며, 그에 따라 토양의 정전용량은 증가할 것이다.

[78] 토양에 함유된 수분을 센싱하는 회로와 레퍼런스 회로의 공진 주파수 f 는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

[79] [수식2]

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

[80] 여기서, L 은 인덕턴스(inductance)이고, C 는 정전용량이다. 공진 주파수 f 와 정전용량 C 는 서로 반비례한다. 따라서, 토양의 정전용량이 증가할수록 공진 주파수 f 는 감소하게 된다.

[81] 토양에 함유된 수분을 센싱하는 회로에서, 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양에 함유하는 수분량이 많을수록 제1 프로브(110)에 커플링되는 정전용량이 커지므로, 병렬적으로 연결되어 산술적으로 더해지는 제1 공진 회로(140)의 합성 정전용량에 의해 형성되는 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수(ω_1)는 감소할 것이다.

[82] 토양의 수분량을 측정하는 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112)은 제1 포트(141)를 경유하여 제1 공진 회로(140)에만 연결되어 있고, 레퍼런스 공진 회로의 제2 공진 회로(240)에는 연결되어 있지 않다. 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수(ω_1)는 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양이 함유하는 수분에 기반하여 결정될 수 있다. 구체적으로, 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유하는 수분량에 따라 형성되는 커패시턴스의 변화로 인하여 제1 공진 회로(140)의 임피던스 및 커패시턴스가 병렬로 연결되어 산술적으로 더해지는 합성 임피던스가 변화함에 따라 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수(ω_1)도 변화한다.

- [83] 한편, 제1 공진 회로(140)와는 달리 제2 공진 회로(240)는 토양의 수분량을 측정하는 제1 프로브(110)와 연결되지 않으므로, 토양의 수분 유무와 관계 없이 제2 공진 주파수(ω_2)를 그대로 유지한다. 이때 제2 공진 회로(240)는 공기를 매질로 하는 정전용량을 기준으로 하는 제2 공진 주파수(ω_2)를 가지는 제2 전기 신호를 발생시킬 수 있다.
- [84] 그러므로, 제2 공진 회로(240)의 제2 전기 신호와 제1 공진 회로(140)의 제1 전기 신호 간의 주파수 차이를 검출하면 제1 공진 회로(140)의 제1 공진 주파수(ω_1)가 제2 공진 주파수(ω_2)에서 shift되었는지 여부, 및 shift되었다면 그 shift된 정도에 대한 정량적인 분석이 가능하다.
- [85] 레퍼런스 공진 회로는 제1 공진 회로(140)에서 발생하는 제1 공진 주파수(ω_1) 변화를 트래킹(tracking)하여, 판정 회로(250)가 측정하는 제1 공진 주파수(ω_1)에 부가되는 노이즈(noise)를 실시간으로 제거하고, 제1 공진 주파수(ω_1) 변화량을 정확하게 측정하게 할 수 있다.
- [86] 제1 프로브(110)를 토양에 찔러 넣으면, 토양을 경유하여 제1 전극들(111, 112) 사이에 형성되는 정전용량/커패시턴스의 영향으로 인하여 제1 공진 주파수(ω_1)가 변화하는데, 이때 대단히 건조한 토양, 예를 들면 마른 모래, 또는 건조한 황무지에서는 제1 공진 주파수(ω_1)의 변화는 크지 않고, 수분을 함유한 토양의 경우에는 제1 공진 주파수(ω_1)의 변화가 크게 감지된다.
- [87] 판정 회로(250)는 제2 공진 회로(240)에 인가되는 제2 교류 신호의 영향으로 제2 공진 회로(240)에 형성되는 제2 전기 신호의 레퍼런스 공진 주파수인 제2 공진 주파수(ω_2)와 제1 공진 주파수(ω_1) 간의 차이를 검출하고, 제2 공진 주파수와 제1 공진 주파수 간의 차이($\omega_2 - \omega_1$)에 기반하여 제1 프로브(110)로부터 토양에 함유하는 수분량을 판정할 수 있다.
- [88] 한편, 제1 프로브(110) 사이의 토양에 도전체와 같은 이물질이 들어간 경우, 또는 토양에 함유된 수분이 매우 많은 경우, 예를 들어 진흙탕이 된 경우에는 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 간의 전기적 특성이 최초 가정된 범위에서 크게 벗어날 수 있다. 또한 토양에 함유된 수분이 너무 많은 경우로서 물이 토양에서 흘러 넘치는 수준인 경우, 또는 반대로 물에 토양이 잠긴 것과 같은 경우에도 제1 프로브(110)에 결합되는 정전용량/커패시턴스가 최초 가정된 범위를 크게 벗어날 수 있다. 이 경우 본 발명의 일 실시예에 따라서는 제1 공진 주파수(ω_1)가 제2 공진 주파수(ω_2)보다 더 커지게 되어 제2 공진 주파수(ω_2)와 제1 공진 주파수(ω_1)의 차이가 음수가 될 수 있다.
- [89] 이 경우, 판정 회로(250)는 적절한 센싱이 아닌 것으로 판정하여 에러(error)를 사용자에게 디스플레이나 스피커와 같은 시각적, 또는 청각적 수단으로 통지할 수 있다.
- [90] 한편, 판정 회로(250)는 제1 공진 주파수(ω_1)의 정량적 변화에 따라 공진 주파수에 대한 복수개의 기준값을 가질 수도 있다. 토양의 수분량을 측정하지 않는 경우, 즉, 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는

토양이 없는 경우의 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 공진 주파수(ω_2)의 차이를 제1 임계값으로 정의하면, 판정 회로(250)는 제1 공진 주파수(ω_1)의 변화값이, 제1 임계값 이상이면 제1 공진 주파수(ω_1)가 유의미한 변화를 일으킨 것으로 간주하여 토양에 함유되는 수분이 유효한 의미를 갖는 양으로 존재하고 있음으로 판정할 수 있다.

- [91] 제1 공진 회로(140)에 근접하게 배치되고, 동일한 임피던스를 갖도록 제1 커패시터(144)와 동일한 커패시턴스를 갖는 커패시터(C), 제1 인덕턴스(145)와 동일한 인덕턴스를 갖는 인덕터(L), 및 제1 기생 저항(146)과 동일한 저항값을 갖는 저항(R)을 갖는 제2 공진 회로(240)가 제1 오실레이터(147)와 동일한 주파수 또는 위상을 가진 제2 오실레이터(247)에서 인가되는 제2 교류신호로부터 형성되는 레퍼런스 공진 주파수인 제2 공진 주파수(ω_2)를 가지는 제2 전기신호는, 제1 공진 주파수(ω_1)를 가지는 제1 전기신호와 특정한 주파수 차이값을 가질 수 있다.
- [92] 판정 회로(250)는 이러한 특정한 주파수 차이값을 오프셋(offset)으로 설정하고 제1 임계값으로 정의하여, 제2 공진 주파수(ω_2)와 제1 공진 주파수(ω_1) 간의 차이가 제1 임계값 이상인 경우에만, 제1 공진 주파수(ω_1)가 유의미한 변화를 일으킨 것으로 간주하여 토양에 함유된 수분량이 유효한 의미를 가진 양만큼 있음으로 판정할 수 있다.
- [93] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따라서는 판정 회로(250)는 제1 공진 주파수(ω_1)의 변화값을 제1 임계값의 배수에 따라 제2 임계값, 제3 임계값, 제4 임계값 등등의 복수개의 기준값으로 정의하여 토양에 함유되는 수분량의 등급을 나누어 판정할 수 있다.
- [94] 판정 회로(250)는 추가적으로 내부에 제1 오실레이터(120) 및 제1 공진 회로(110)의 동작을 제어하기 위한 제어부/컨트롤러/프로세서(도시되지 않음)를 더 포함할 수도 있다. 제어부의 제어 명령에 의하여 제1 교류 신호가 제1 오실레이터(120)로부터 제1 공진 회로(110)에 인가되고, 제1 공진 회로(110)에 형성된 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수(ω_1)에 대한 정보를 판정 회로(250)가 수신할 수 있다.
- [95] 또한, 판정 회로(250)는 캘리브레이션(calibration) 과정을 수행할 수 있다. 판정 회로(250)는 토양 수분량을 측정하지 않는 경우, 즉 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유된 수분이 없는 상태에서 캘리브레이션 과정을 수행할 수 있다. 이때 캘리브레이션 과정을 통해 제1 공진 주파수(ω_1) 및 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이가 zero가 되도록 제1 공진 회로(140) 또는 제2 공진 회로(240)가 조정될 수 있다.
- [96] 캘리브레이션 과정을 통해 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유된 수분이 없는 상태에서 검출되는 제1 공진 주파수(ω_1) 및 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이가 별도의 메모리 또는 스토리지(storage)에 저장되어 향후 토양 수분 센싱 과정에서 오프셋(offset)

- 정보로 처리될 수 있다.
- [97] 캘리브레이션을 거친 후 제1 공진 주파수(ω_1) 및 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이에 대한 조정은 가변 저항기 R'의 값을 조정하는 등의 수단을 이용하여 실행될 수 있다.
- [98] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서(200)를 도시하는 도면이다. 도 2를 참조하면, 토양 수분 센서(200)는 제1 프로브(110), 제1 공진 회로(140), 제1 포트(141), 제1 오실레이터(147), 제2 프로브(210), 제2 공진 회로(240), 제2 포트(241), 제2 오실레이터(247), 및 판정 회로(250)를 포함한다.
- [99] 도 2의 제1 공진 회로(140), 제1 포트(141), 제1 오실레이터(147), 제2 공진 회로(240), 제2 포트(241), 제2 오실레이터(247), 및 제1 프로브(110)는 도 1에 도시된 사항으로부터 충분히 설명되었으므로 중복된 설명은 생략한다. 도 2의 판정 회로(250)의 동작 또한 도 1의 판정 회로(250)와 중복되는 설명은 생략한다.
- [100] 도 2를 참조하면, 제2 공진 회로(240)는 제2 포트(241)를 경유하여 제2 프로브(210)의 한 쌍의 제2 전극들(211, 212)와 연결된다. 제2 프로브(210)에 대해서는 도 3에서 자세히 설명한다.
- [101] 도 3은 제1 프로브(110)와 제2 프로브(210)의 동작 원리를 설명하기 위한 도면이다. 도 3을 참조하면, 제1 프로브(110)는 전술한 바와 같이 토양에 깊숙이 침투하는 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치하는 토양에 함유되는 수분의 양을 측정할 수 있다. 제2 프로브(210)는 제1 프로브(110)와 평행하게 배치되고, 토양에 침투하는 방향으로 연장되는 한 쌍의 제2 전극들(211, 212)을 포함한다.
- [102] 제2 프로브(210)는 제2 포트(241)를 경유하여 레퍼런스 공진 회로인 제2 공진 회로(240) 및 제2 오실레이터(247)와 전기적으로 연결되는데, 이는 제1 프로브(110)에서 측정된 토양의 수분량이나 온도에 따른 오프셋(offset)을 제거하기 위한 용도일 수 있다. 따라서, 제2 프로브(210)는 측정 상태의 온도와 큰 차이가 없고 토양에 함유되는 수분이 거의 없는 토양 자체만의 정전용량값을 측정할 수 있도록, 토양의 표층에만 침투할 수 있게 하기 위해서 제1 프로브(110)보다 길이가 짧을 수 있다.
- [103] 제2 프로브(210)는 토양의 표층에만 침투하거나 토양의 표층에 접촉하기 위해 제1 프로브(110)보다 길이가 짧으며, 제1 프로브(110)와 인접하고, 평행하게 배치되므로, 제1 프로브(110)에서는 토양의 심층 또는 내부 부분에서 토양에 함유된 수분에 의한 정전용량값(126)을 측정할 수 있고, 제2 프로브(210)에서는 토양의 표층 부분에서 토양에 함유된 수분에 의한 정전용량값(125)을 측정할 수 있다.
- [104] 토양의 심층 또는 내부 부분에서는 수분의 증발량이 적어 실질적으로 토양에 함유된 수분에 의한 정전용량값(126)을 정확히 측정할 수 있으나, 토양의 표층 부분에서는 수분의 증발량이 크므로, 실질적으로 토양에 수분이 포함되지 않은, 토양 자체(수분을 제외한 토양)에 대한 정전용량값(125)을 측정할 수 있다.
- [105] 판정 회로(250)는 캘리브레이션 과정을 통해, 실질적으로 토양의 심층 또는

내부 부분에서 토양에 함유된 수분에 의한 정전용량값(126)과 실질적으로 토양의 표층 부분에서, 토양에 함유된 수분이 없는, 토양 자체에 대한 정전용량값(125)을 고려하여 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유된 수분량이 유의미한 값으로 존재하는지 여부를 판정할 수 있다.

- [106] 이 경우, 판정 회로(250)는 실질적으로 토양의 심층 또는 내부 부분에서 토양에 함유된 수분에 의한 정전용량값(126)에 의해 발생하는 제1 공진 주파수(ω_1)와 실질적으로 토양의 표층 부분에서 토양에 함유된 수분이 없는 토양 자체에 대한 정전용량값(125)에 의해 발생하는 제2 공진 주파수(ω_2)의 차이값을 최소한의 임계치로 기준으로 토양의 수분량을 센싱할 수 있다.
- [107] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서(300)를 도시하는 도면이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서(300)는 제1 프로브(110), 제1 공진 회로(140), 제1 포트(141), 제1 오실레이터(147), 제2 공진 회로(240), 제2 포트(241), 제2 오실레이터(247), 및 판정 회로(350)를 포함한다.
- [108] 도 4의 제1 프로브(110), 제1 공진 회로(140), 제1 포트(141), 제2 공진 회로(240), 제2 포트(241), 제1 오실레이터(147), 및 제2 오실레이터(247)는 도 1 내지 도 3에 도시된 사항으로부터 충분히 설명되었으므로 중복된 설명은 생략한다. 도 4의 판정 회로(350)의 동작 또한 도 1 및 도 3의 판정 회로(250)와 중복되는 설명은 생략한다.
- [109] 도 4에서 판정 회로(350)는 연산기(352, operator), 저역통과필터(354, Low Pass Filter), 타임-투-디지털 변환기(356, Time-to-Digital Converter)를 포함한다.
- [110] 연산기(352)는 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 공진 주파수(ω_2)의 차이를 구한다. 연산기(352)가 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 공진 주파수(ω_2)의 차이를 구하는 가장 간단한 방법 중 일 예로서, 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 공진 주파수(ω_2)를 곱셈 연산하는 방법이 있을 수 있다. 저역통과필터(354)는 연산기(352)의 출력단에 연결되어 고주파 성분을 제거한다. 이로 인하여 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이에 해당하는 제3 주파수 성분의 저주파 신호가 생성된다.
- [111] 타임-투-디지털 변환기(356)는 저역통과필터(354)의 출력단에 연결되어 제3 주파수 성분 신호의 주파수를 디지털 카운트한다. 이때 타임-투-디지털 변환기(356)는 제3 주파수 성분 신호의 주파수에 비례하는 디지털화된 값을 출력할 수 있다.
- [112] 실시예에 따라서는 타임-투-디지털 변환기(356)는 제3 주파수 성분 신호의 제3 주파수 성분 신호의 주파수에 비례하는 제4 주파수를 가지는 펄스 신호를 생성할 수 있다. 제4 주파수는 제3 주파수 성분 신호의 주파수와 동일할 수도 있으나, 연산기(352) 및 저역통과필터(354)를 거치면서 반영되는 전달 함수(Transfer function)의 영향으로 최초의 주파수와는 다른 제4 주파수를 가질 수도 있다. 타임-투-디지털 변환기(356)는 제4 주파수를 가지는 펄스 신호의 펄스

개수를 일정 시간 구간 동안 카운트하거나, 제4 주파수를 가지는 펄스 신호의 펄스폭 또는 주기에 대한 디지털 카운트 값을 생성할 수 있다.

- [113] 판정 회로(350)에서 생성된 디지털화된 카운트값, 즉, 제3 주파수 성분 신호의 주파수에 비례하는 디지털화된 값은 토양 수분 센서(300)의 구성에 따라서 다시 디지털화된 값에 비례하는 아날로그 신호로 변환되어 토양 수분 센서(300)의 메인 프로세서 측으로 전달될 수도 있다. 이때 아날로그 신호의 전압, 전류, 주파수, 또는 진폭 등이 제3 주파수 성분 신호의 주파수에 비례하도록 변환될 수 있다.
- [114] 앞선 실시예의 판정 회로(250)에서 적용되는 제1 임계값과 제2 임계값 등은 타임-투-디지털 변환기(356)의 출력으로 생성되는 디지털 카운트 값에 적용될 수 있다. 판정 회로(350)의 실시예에 따라서는 제3 주파수 성분 신호에 대한 샘플러 및 비교기(comparator)를 포함할 수 있는데, 이때 판정 회로(350)의 원활한 동작을 위하여 샘플러 및 비교기는 제2 임계값에 해당하는 주파수 성분보다 충분히 큰 동작 주파수를 선택하여 설계될 수 있다.
- [115] 토양 수분 센서(300)가 토양에 함유된 수분을 판정하는 데에 소요되는 시간은 수백 밀리초 내지 수 초 수준인데, 본 발명의 토양 수분을 판정하는 과정은 수백 마이크로초 내지 수 밀리초 내에 완전히 결과를 검출할 수 있다. 이처럼, 본 발명에 따른 토양 수분 센서(300)는 PLL 루프 대신 Time-to-Digital Converter를 이용하므로, 제어 루프 없이도 회로의 안정적인 동작이 가능하고, 비용이 보다 저렴하고, 구성 회로의 구현이 간단하다.
- [116] 본 발명의 판정 회로(350)는 디지털 카운트 값에 제1 임계값 및 제2 임계값을 적용하여 판정한 결과를 별도의 신호로 생성하여 토양 수분 센서(300)의 메인 프로세서에 전달할 수 있다.
- [117] 메인 프로세서는 제1 임계값의 경우 토양에 함유된 수분량이 유의미한 값을 가지고 있음을 감지하고, 제2 임계값의 경우 토양에 함유된 수분량이 더 많이 존재하고 있음을 판정할 수 있다. 그리고, 설정된 복수의 기준값으로 설정된 복수의 임계값에 따라 토양에 함유된 수분량의 등급을 판정할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서는 제2 임계값이 제1 임계값보다 클 수 있다.
- [118] 한편, 도 1 내지 도 2에 도시된 토양 수분 센서(100, 200)의 판정 회로(250)는 도 4에 도시된 토양 수분 센서(300)의 판정 회로(350)와 같은 방식으로 동작하게 설계될 수도 있다. 또한, 본 발명의 토양 수분 센서(100, 200, 300)는 제1 공진 회로(140), 제1 오실레이터(147), 제2 공진 회로(240), 제2 오실레이터(247), 및 판정 회로(250, 350)를 하나의 집적회로(IC)로서 구현할 수 있으며, 이 경우, 집적회로는 인터페이스 포트 기능을 가지는 제1 포트(141), 제2 포트(241)를 통하여 각각 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112), 제2 프로브(210)의 한 쌍의 제2 전극들(211, 212)과 연결될 수 있다.
- [119] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 토양에 함유된 수분을 판정하는 방법을 도시하는 동작 흐름도이다. 본 발명의 토양 수분 센싱 방법은 도 1의 토양 수분

- 센서(100), 또는 그 내부의 제어부(도시되지 않음)에 의하여 실행될 수 있다.
- [120] 도 5를 참조하면, 제1 오실레이터(147)에 의해 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112)과 제1 공진 회로(140)에 제1 교류 신호가 인가된다(S510). 제1 오실레이터(147)의 동작 또는 제1 교류 신호의 인가 동작은 제어부/컨트롤러/프로세서(도시되지 않음)에 의하여 제어될 수 있다.
- [121] 제1 교류 신호의 인가로 인하여, 판정 회로(250)가 제1 프로브(110)와 연결된 제1 공진 회로(140)에 형성되고, 제1 공진 주파수(ω_1)를 가지는 제1 전기 신호를 수신한다(S520).
- [122] 제2 오실레이터(247)에 의해 제2 공진 회로(240)에 제2 교류 신호가 인가된다(S512). 제2 오실레이터(247)의 동작 또는 제2 교류 신호의 인가 동작은 제어부/컨트롤러/프로세서(도시되지 않음)에 의하여 제어될 수 있다.
- [123] 제2 교류 신호의 인가로 인하여, 판정 회로(250)가 제2 공진 회로(240)에 형성되고, 제2 공진 주파수(ω_2)를 가지는 제2 전기 신호를 수신한다(S522). 단계 S512 및 단계 S522는 단계 S510 및 단계 S520과 병렬적으로 실행될 수 있다.
- [124] 제1 전기 신호 및 제2 전기 신호를 수신한 판정 회로(250)는 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이를 검출한다(S530). 판정 회로(250)가 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이에 기반하여, 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유된 수분이 유의미한 양인지 여부를 판정한다(S540).
- [125] 판정 회로(250)가 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유된 수분이 유의미한 양으로 판단하지 않는다면 현재의 프로세스를 종료한다. 필요에 따라 일정 시간 경과 후 또는 일정 조건이 충족되면 단계 S510이 다시 되풀이될 수 있다.
- [126] 판정 회로(250)가 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유된 수분이 유의미한 양으로 판단한다면, 제1 프로브(110)로부터 토양에 함유된 수분의 양을 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이에 기반하여 판정한다(S550).
- [127] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 토양에 함유된 수분을 센싱하는 방법을 도시하는 동작 흐름도이다. 본 발명의 토양 수분 센싱 방법은 도 1 내지 도 4의 토양 수분 센서(100, 200, 300), 또는 그 내부의 제어부/컨트롤러/프로세서(도시되지 않음)에 의하여 실행될 수 있다.
- [128] 도 6을 참조하면, 제1 오실레이터(147)에 의해 제1 프로브(110)에 제1 공진 회로(140)를 경유하여 제1 교류 신호가 인가된다(S610). 그리고, 제1 프로브(110)와 연결된 제1 공진 회로(140)에 형성되어 제1 공진 주파수(ω_1)를 가지는 제1 전기 신호를, 판정 회로(250)가 수신한다(S620).
- [129] 제2 오실레이터(247)에 의해 제2 프로브(210)에 제2 공진 회로(240)를 경유하여 제2 교류 신호가 인가된다(S612). 그리고, 제2 프로브(210)와 연결된 제2 공진 회로(240)에 형성되어 제2 공진 주파수(ω_2)를 가지는 제2 전기 신호를, 판정

회로(250)가 수신한다(S622). 단계 S612 및 단계 S622는 단계 S610 및 단계 S620과 병렬적으로 실행될 수 있다.

- [130] 그리고, 판정 회로(250)는 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이를 검출한다(S630).
- [131] 판정 회로(250)는 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이에 기반하여, 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유된 수분이 유의미한 양인지 여부를 판정한다(S640).
- [132] 판정 회로(250)가 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유된 수분이 유의미한 양으로 판단하지 않는다면 현재의 프로세스를 종료한다. 필요에 따라 일정 시간 경과 후 또는 일정 조건이 충족되면 단계 S610이 다시 되풀이될 수 있다.
- [133] 판정 회로(250)가 제1 프로브(110)의 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 사이에 위치한 토양에 함유된 수분이 유의미한 양으로 판단한다면, 제1 프로브(110)로부터 토양에 함유된 수분의 양을 제1 공진 주파수(ω_1)와 제2 프로브(210)로부터 토양의 표층에 대한 레퍼런스 공진 주파수인 제2 공진 주파수(ω_2) 간의 차이에 기반하여 판정한다(S650).
- [134] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서를 도시하는 도면이다.
- [135] 도 7에서 제1 공진 회로(140), 제1 포트(141), 제1 오실레이터(147), 제2 공진 회로(240), 제2 포트(241), 제2 오실레이터(247), 및 제1 프로브(110)는 도 1에 도시된 사항으로부터 충분히 설명되었으므로 중복된 설명은 생략한다. 도 7의 판정 회로(250)의 동작 또한 도 1의 판정 회로(250)와 중복되는 설명은 생략한다.
- [136] 도 7의 토양 수분 센서(100)는 제1 프로브(110)의 상기 한 쌍의 제1 전극들(111, 112) 중 어느 하나(111)에 결합된 온도 센서(130)를 더 포함할 수 있다. 온도 센서(130)는 제1 프로브(110)가 토양에 삽입될 때 토양의 성분에 의하여 제1 공진 회로(140)의 제1 공진 주파수(ω_1)가 변화할 때, 토양의 온도를 측정할 수 있다.
- [137] 앞서 설명한 것처럼 진공의 비유전율은 온도의 변화에 상관 없이 항상 1을 유지하나, 물의 유전율은 온도가 높아지면 감소한다. 따라서 일정한 온도에서는 토양에 함유되는 수분량이 많을수록 토양의 유전상수가 증가할 것이며, 그에 따라 토양의 정전용량은 증가한다. 온도가 변화하면 그에 따라 물의 유전율이 달라질 것이므로 온도의 변화에 기반하여 토양에 함유되는 수분량에 대한 보상이 필요하다.
- [138] 따라서 판정 회로(250)는 제1 공진 주파수(ω_1)와 레퍼런스 공진 주파수인 제2 공진 주파수(ω_2)에 기반하여 토양의 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 온도 센서(130)에 의하여 측정된 온도에 기반하여 제1 판정 값을 보상함으로써 토양의 수분에 대한 제2 판정 값을 생성할 수 있다.
- [139] 판정 회로(250)는 제1 공진 주파수(ω_1)의 정량적 변화를 검출하는 것으로도 이해할 수 있다. 판정 회로(250)는 제1 공진 주파수(ω_1)의 정량적 변화에 기반하여 토양의 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 온도 센서(130)에 의하여

측정된 토양의 온도에 기반하여 제1 판정 값을 보상함으로써 토양의 수분에 대한 제2 판정 값을 생성할 수 있다. 판정 회로(250)는 구체적으로는 제1 공진 주파수(ω_1)와 레퍼런스 공진 주파수인 제2 공진 주파수(ω_2)의 차이에 기반하여 토양의 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하고, 온도 센서(130)에 의하여 측정된 온도에 기반하여 제1 판정 값을 보상함으로써 토양의 수분에 대한 제2 판정 값을 생성할 수 있다.

- [140] 판정 회로(250)가 이용하는 제1 임계값, 제2 임계값, 제3 임계값, 또는 제4 임계값은 토양의 온도에 기반하여 보상된 제2 판정 값 또는 제2 판정 값에 비례하는 값과 비교되어 토양의 수분의 측정 결과의 유효성, 측정된 토양의 수분의 함유량의 구간 등의 정량화된 정보가 특정될 수 있다.
- [141] 도 7에서 두 개의 제1 전극들(111, 112) 중 어느 하나(111)에 온도 센서(130)가 결합되었지만, 이는 실시예의 하나일 뿐, 온도 센서(130)가 두 개의 제1 전극들(111, 112) 각각에 결합되어 온도 센서(130)의 측정 값들에 기반하여 대표값을 선택하는 실시예도 구현될 수 있다. 간단한 예시로는 전극(111)에 토양과 접촉할 수 있는 구멍을 형성하고, 구멍 내에 온도 센서(130)를 배치하여, 온도 센서(130)가 토양과 직접 접촉할 수 있도록 토양이 구멍 내로 유입되는 경로가 형성될 수 있다. 온도 센서(130)가 온도를 측정하는 대상은 수분이 포함된 토양으로서, 구멍 내로 유입된 토양 및 수분일 수 있다.
- [142] 온도 센서(130)는 공지의 온도 센서를 다양한 방법으로 활용할 수 있다. 널리 알려진 온도 측정 방법 중 하나는 NTC(Negative Temperature Coefficient) 물질을 이용하는 것이다. 온도에 기반하여 저항 등의 값이 달라질 것이므로 이를 활용하여 전압, 전류 등 전기적 신호의 변화를 감지하여 온도를 산출해 낼 수 있다.
- [143] 판정 회로(250)는 측정된 온도에 기반하여 물의 유전율을 산출하고, 측정된 주파수 shift 및 온도 보상된 물의 유전율에 기반하여 보상된 정전 용량 값을 산출할 수 있다. 판정 회로(250)는 보상된 정전 용량 값에 기반하여 토양 또는 배지(작물이 성장하는 배지)의 수분 함유량 또는 함수율(Water Content)을 산출할 수 있다.
- [144] 이때, 함수율 또는 정전 용량 값은 온도 및 공진 주파수의 shift 의 함수로 주어질 수 있다. 또는 판정 회로(250)는 미리 정해지고 미리 저장된 테이블 정보에 기반하여 온도에 기반하여 토양의 함수율을 산출할 수 있다. 테이블 정보는 온도 및 다른 변수들과의 관련성 정보를 저장할 수 있다. 예를 들어 온도와 대비될 수 있는 다른 변수들은 함수율, 정전 용량 값, 임피던스의 변화 또는 공진 주파수의 shift 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [145] 본 발명의 일 실시예에 따른 회로의 동작 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램

명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[146] 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다. 본 발명의 실시예와 도면에 소개된 길이, 높이, 크기, 폭 등은 이해를 돕기 위해 과장된 것일 수 있다.

[147] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[148] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

산업상 이용가능성

[149] 토양 수분 센서 및 그 동작 방법이 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 토양 수분 센서는 토양에 침투하도록 제1 방향으로 연장되어 형성되는 한 쌍의 제1 전극들을 포함하는 제1 프로브, 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들과 한 쌍의 제1 포트를 경유하여 연결되고 제1 교류 신호가 인가되는 제1 공진 회로, 상기 제1 공진 회로와 동일한 임피던스를 가지고, 레퍼런스 교류 신호이면서 상기 제1 교류 신호와 동일한 특성을 가지는 제2 교류 신호가 인가되는 제2 공진 회로 및 상기 제1 공진 회로에 형성되는 제1 전기 신호를 수신하고, 상기 제2 공진 회로에 형성되는 제2 전기 신호를 수신하고, 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수와 상기 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 토양의 수분을 판정하는 판정 회로를 포함한다.

청구범위

- [청구항 1] 토양에 침투하도록 제1 방향으로 연장되어 형성되는 한 쌍의 제1 전극들을 포함하는 제1 프로브;
 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들과 한 쌍의 제1 포트를 경유하여 연결되고 제1 교류 신호가 인가되는 제1 공진 회로;
 상기 제1 공진 회로와 동일한 임피던스를 가지고, 레퍼런스 교류 신호이면서 상기 제1 교류 신호와 동일한 특성을 가지는 제2 교류 신호가 인가되는 제2 공진 회로; 및
 상기 제1 공진 회로에 형성되는 제1 전기 신호를 수신하고, 상기 제2 공진 회로에 형성되는 제2 전기 신호를 수신하고, 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수와 상기 제2 전기 신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 토양의 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하는 판정 회로;
 를 포함하는 토양 수분 센서.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
 상기 판정 회로는
 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분에 의해 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 형성되는 정전용량에 기반하여 상기 제1 공진 회로에 형성되는 상기 제1 전기 신호의 상기 제1 공진 주파수의 정량적 변화를 검출하고, 상기 검출된 제1 공진 주파수의 정량적 변화에 기반하여, 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 상기 제1 판정 값을 생성하는 토양 수분 센서.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
 상기 판정 회로는
 상기 제2 공진 회로에 인가되는 상기 제2 교류 신호의 영향으로 상기 제2 공진 회로에 형성되는 상기 제2 전기 신호의 레퍼런스 공진 주파수인 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이를 검출하고, 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이에 기반하여 상기 토양에 함유된 수분에 대한 상기 제1 판정 값을 생성하는 토양 수분 센서.
- [청구항 4] 제3항에 있어서,
 상기 판정 회로는
 상기 제2 공진 주파수와 상기 제1 공진 주파수 간의 차이가 제1 임계값 이상이면 상기 제1 공진 주파수가 유의미한 변화를 일으킨 것으로 간주하여 상기 제1 판정 값을 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 유효한 값으로 판정하는 토양 수분 센서.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 중 어느 하나에 결합된 온도 센서;

를 더 포함하고,
 상기 판정 회로는 상기 온도 센서에 의하여 측정된 온도에 기반하여 상기 제1 판정 값을 보상함으로써 상기 토양의 수분에 대한 제2 판정 값을 생성하는 토양 수분 센서.

[청구항 6] 제1항에 있어서,
 상기 판정 회로는
 상기 제1 공진 주파수와 상기 제2 공진 주파수의 차이를 구하는 연산기(operator);
 상기 연산기의 출력단에 연결되어 고주파 성분을 제거하는 저역통과필터(Low pass filter); 및
 상기 저역통과필터의 출력단에 연결되어 상기 제1 공진 주파수와 상기 제2 공진 주파수 간의 차이에 해당하는 제3 주파수 성분 신호의 주파수를 디지털 카운트하는 타임-투-디지털 변환기(Time-to-Digital Converter);
 를 포함하는 토양 수분 센서.

[청구항 7] 제1항에 있어서,
 상기 토양의 표층에 근접 또는 침투하도록 형성되는 한 쌍의 제2 전극들을 포함하는 제2 프로브;
 를 더 포함하고,
 상기 제2 공진 회로는 상기 제2 프로브에 포함되는 상기 한 쌍의 제2 전극들과 한 쌍의 제2 포트를 경유하여 상호 연결되는 토양 수분 센서.

[청구항 8] 제7항에 있어서,
 상기 판정 회로는 상기 한 쌍의 제2 전극들 간에 형성되는 제2 정전용량에 기반하여 상기 제2 공진 회로에 형성되는 상기 제2 전기 신호의 상기 제2 공진 주파수와, 상기 제1 공진 주파수 간의 정량적 차이에 기반하여 상기 토양이 함유하는 수분을 판정하는 토양 수분 센서.

[청구항 9] 제1 오실레이터가, 토양에 침투하도록 제1 방향으로 연장되어 형성되는 한 쌍의 제1 전극들을 포함하는 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들과 한 쌍의 제1 포트를 경유하여 연결되는 제1 공진 회로를 경유하여 제1 교류 신호를 인가하는 단계;
 상기 제1 오실레이터와 동일한 특성을 가지는 제2 오실레이터가, 상기 제1 공진 회로와 동일한 임피던스를 가지는 제2 공진 회로에 레퍼런스 교류 신호인 제2 교류 신호를 인가하는 단계;
 판정 회로가 상기 제1 교류 신호의 영향으로 상기 제1 프로브 및 상기 제1 공진 회로에 형성되는 제1 전기 신호를 수신하는 단계;
 상기 판정 회로가 상기 제2 공진 회로에 인가되는 상기 제2 교류 신호의 영향으로 상기 제2 공진 회로에 형성되는 제2 전기 신호를 수신하는 단계;
 및
 상기 판정 회로가 상기 제1 전기 신호의 제1 공진 주파수 및 상기 제2 전기

신호의 제2 공진 주파수에 기반하여 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 제1 판정 값을 생성하는 단계;
 를 포함하는 토양 수분 센싱 방법.

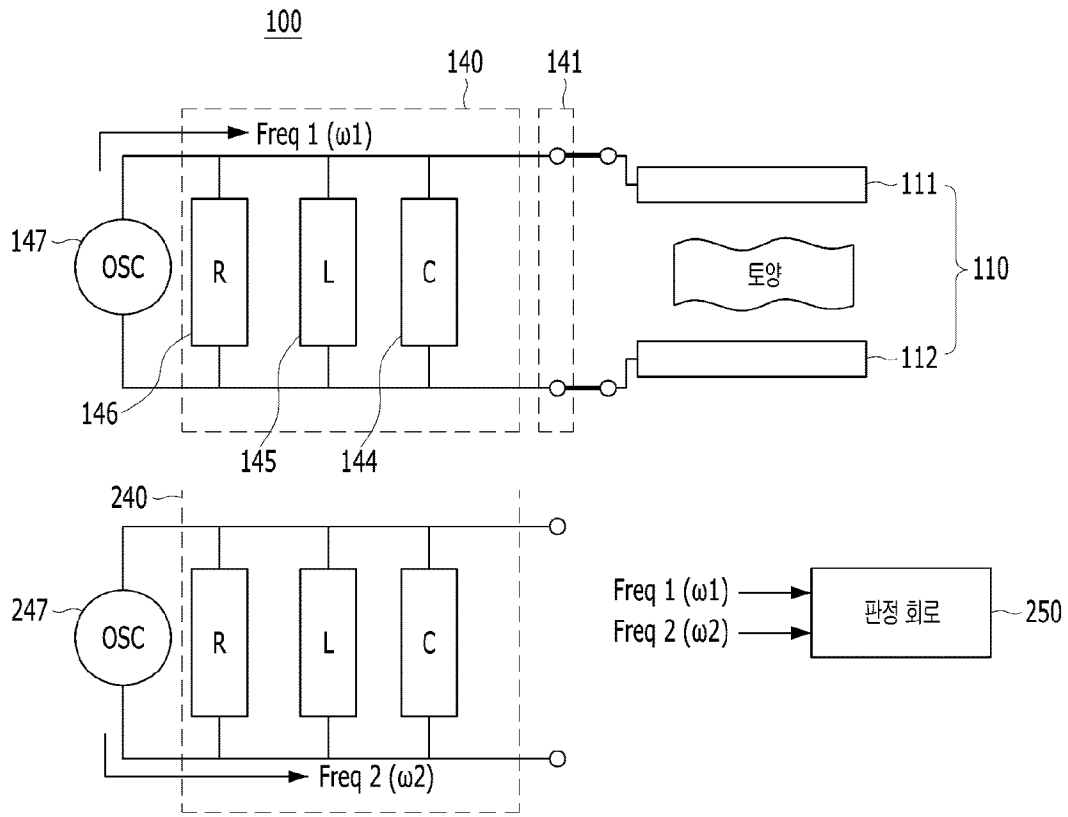
[청구항 10] 제9항에 있어서,
 상기 판정 회로가 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 상기 제1 판정 값을 생성하는 단계는
 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분에 의해 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 형성되는 정전용량에 기반하여 상기 제1 공진 회로에 형성되는 상기 제1 전기 신호의 상기 제1 공진 주파수의 정량적 변화를 검출하는 단계; 및
 상기 검출된 제1 공진 주파수의 정량적 변화에 기반하여, 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 상기 제1 판정 값을 생성하는 단계;
 를 포함하는 토양 수분 센싱 방법.

[청구항 11] 제9항에 있어서,
 상기 판정 회로가 상기 제1 공진 주파수 및 상기 제2 공진 주파수 간의 차이를 검출하는 단계;
 를 더 포함하고,
 상기 판정 회로가 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 상기 제1 판정 값을 생성하는 단계는
 상기 제1 공진 주파수 및 상기 제2 공진 주파수 간의 차이에 기반하여 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 사이에 위치하는 상기 토양이 함유하는 수분에 대한 상기 제1 판정 값을 생성하는, 토양 수분 센싱 방법.

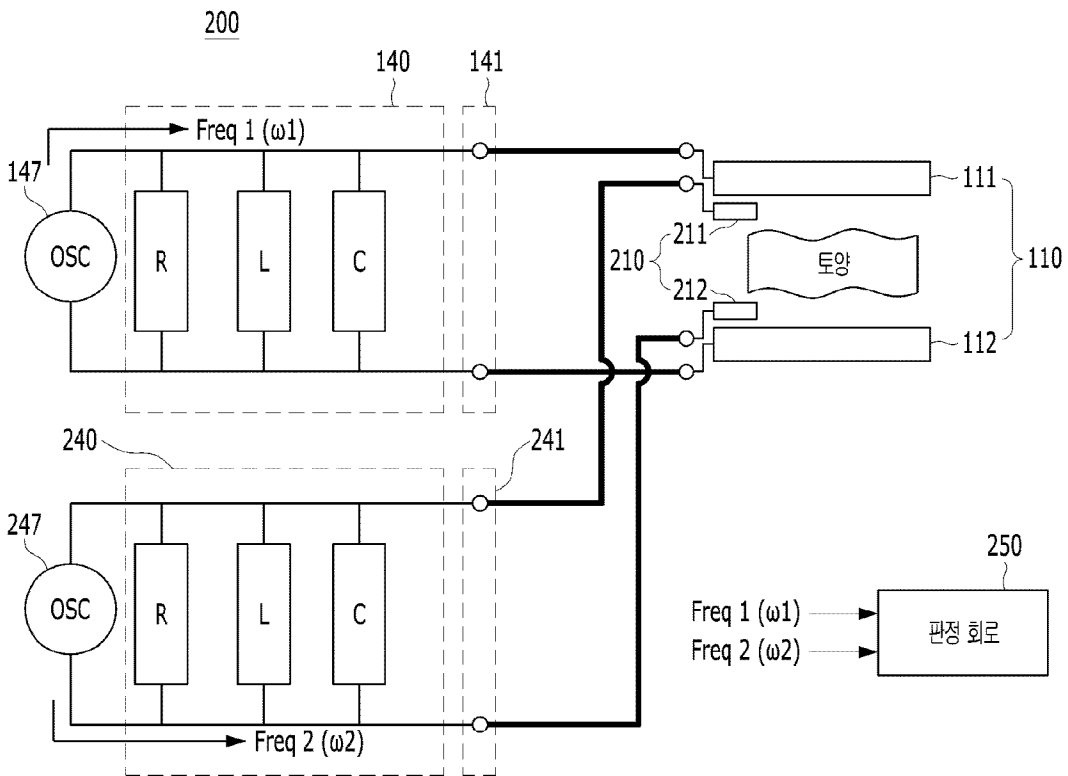
[청구항 12] 제9항에 있어서,
 상기 제1 프로브의 상기 한 쌍의 제1 전극들 중 어느 하나에 결합된 온도 센서에 의하여 상기 토양의 온도를 측정하는 단계; 및
 상기 온도 센서에 의하여 측정된 온도에 기반하여 상기 제1 판정 값을 보상함으로써 상기 토양의 수분에 대한 제2 판정 값을 생성하는 단계;
 를 더 포함하는, 토양 수분 센싱 방법.

[청구항 13] 제9항에 있어서,
 상기 제2 오실레이터가, 상기 제2 공진 회로와 한 쌍의 제2 포트를 경유하여 연결되고, 상기 토양의 표층에 근접 또는 침투하도록 형성되는 한 쌍의 제2 전극들을 포함하는 제2 프로브에 상기 한 쌍의 제2 포트를 경유하여 상기 제2 교류 신호를 인가하는 단계;
 를 더 포함하는 토양 수분 센싱 방법.

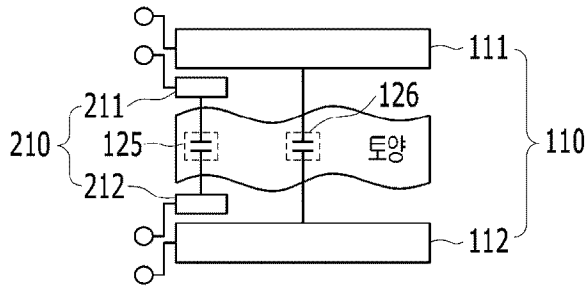
[도 1]



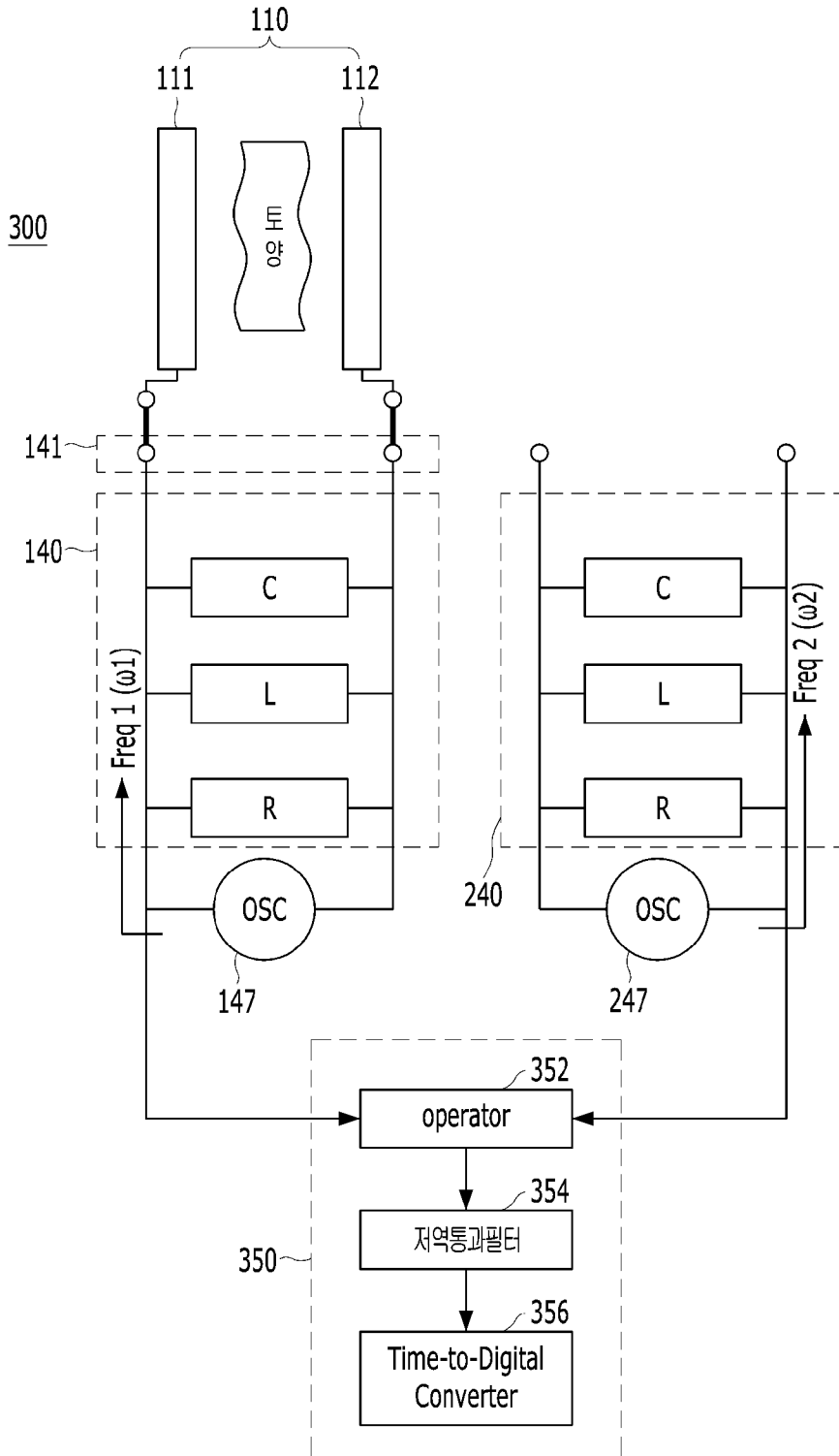
[도 2]



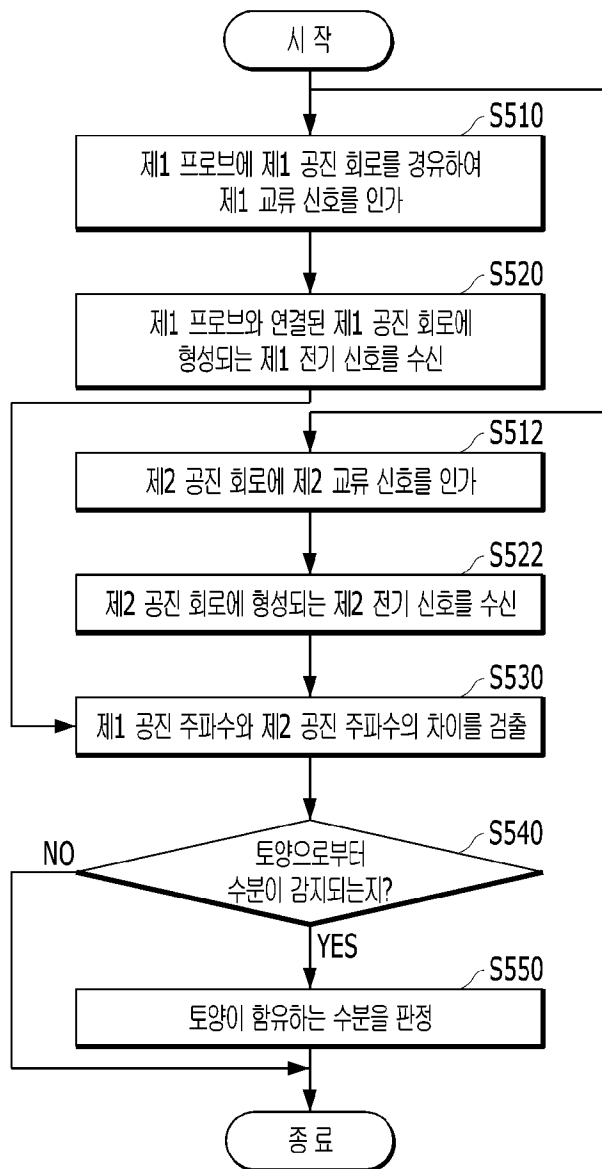
[도3]



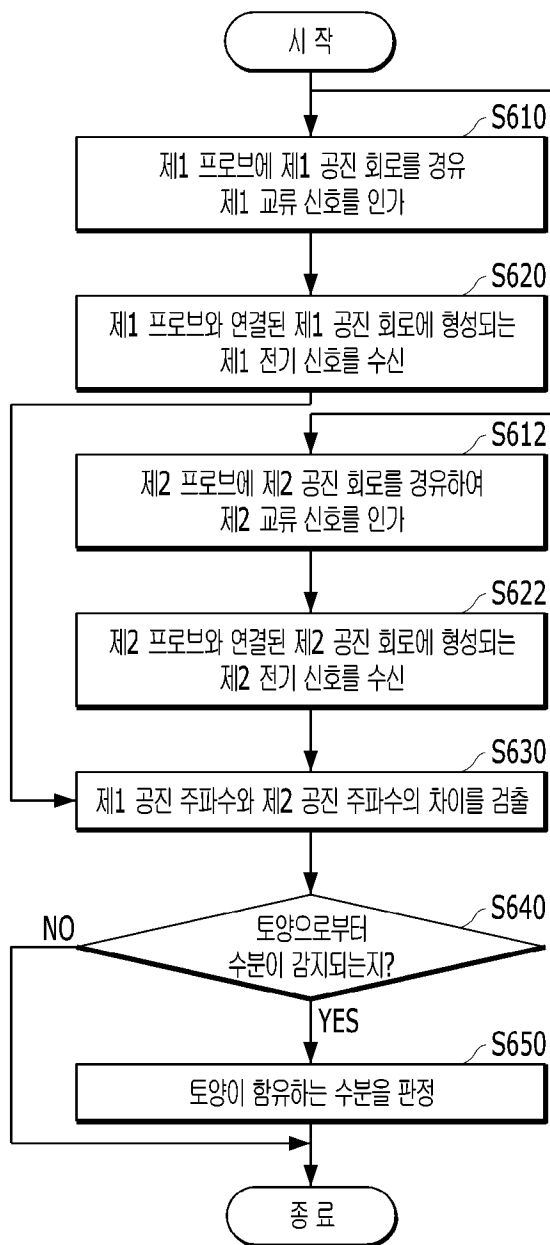
[도4]



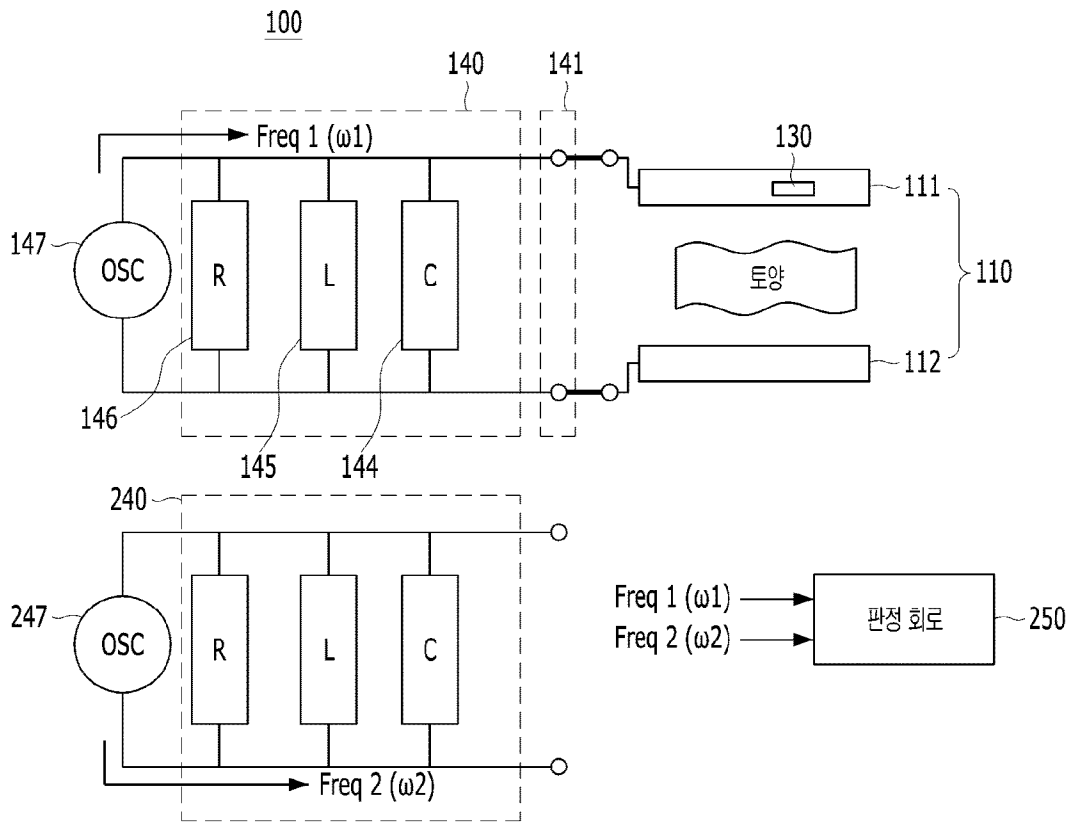
[도5]



[도6]



[도7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2019/014124

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 27/12(2006.01)i, G01N 27/22(2006.01)i, G01N 33/24(2006.01)i, G01N 29/12(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N 27/12; E02D 1/04; F17D 3/00; G01N 22/00; G01N 22/04; G01N 23/20; G01N 27/00; G01N 27/02; G01N 27/04; G01N 27/22; G01N 33/24; G01N 29/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above

Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: soil moisture sensor, electrode, oscillator, circuit, probe

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2013-200194 A (MEGA CHIPS CORP. et al.) 03 October 2013 See paragraphs [0038]-[0058], [0140]-[0166], claims 1, 4 and figures 1, 2, 4.	1-5,7-13
A		6
X	JP 3900395 B2 (NIRECO CORPORATION) 04 April 2007 See paragraphs [0010]-[0024], claim 1 and figure 1.	1,9
A	US 2008-0199359 A1 (DAVIS et al.) 21 August 2008 See paragraphs [0040]-[0059], claim 1 and figures 1-4.	1-13
A	KR 10-1767338 B1 (KANG, Jeong Cheol) 10 August 2017 See claim 1 and figures 2, 8.	1-13
A	WO 2017-021950 A2 (VAYYAR IMAGING LTD.) 09 February 2017 See claim 1 and figure 1.	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 FEBRUARY 2020 (07.02.2020)

Date of mailing of the international search report

07 FEBRUARY 2020 (07.02.2020)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsa-ro, Seo-gu,
Daejeon, 35208, Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2019/014124

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
JP 2013-200194 A	03/10/2013	JP 5919936 B2	18/05/2016
JP 3900395 B2	04/04/2007	JP 2000-146867 A	26/05/2000
US 2008-0199359 A1	21/08/2008	AU 2006-265764 A1 AU 2006-265764 B2 EP 1899716 A1 WO 2007-002994 A1	11/01/2007 21/05/2009 19/03/2008 11/01/2007
KR 10-1767338 B1	10/08/2017	None	
WO 2017-021950 A2	09/02/2017	US 2018-0224382 A1 WO 2017-021950 A3	09/08/2018 09/03/2017

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) G01N 27/12(2006.01)i, G01N 27/22(2006.01)i, G01N 33/24(2006.01)i, G01N 29/12(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G01N 27/12; E02D 1/04; F17D 3/00; G01N 22/00; G01N 22/04; G01N 23/20; G01N 27/00; G01N 27/02; G01N 27/04; G01N 27/22; G01N 33/24; G01N 29/12 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 토양 수분 센서(soil moisture sensor), 전극(electrode), 오실레이터(oscillator), 회로(circuit), 프로브(probe)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	JP 2013-200194 A (MEGA CHIPS CORP. 등) 2013.10.03 단락 [0038]-[0058], [0140]-[0166], 청구항 1, 4 및 도면 1, 2, 4	1-5,7-13
A		6
X	JP 3900395 B2 (NIRECO CORPORATION) 2007.04.04 단락 [0010]-[0024], 청구항 1 및 도면 1	1,9
A	US 2008-0199359 A1 (DAVIS 등) 2008.08.21 단락 [0040]-[0059], 청구항 1 및 도면 1-4	1-13
A	KR 10-1767338 B1 (강정철) 2017.08.10 청구항 1 및 도면 2, 8	1-13
A	WO 2017-021950 A2 (VAYYAR IMAGING LTD.) 2017.02.09 청구항 1 및 도면 1	1-13
<input type="checkbox"/> 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. <input checked="" type="checkbox"/> 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2020년 02월 07일 (07.02.2020)	국제조사보고서 발송일 2020년 02월 07일 (07.02.2020)	
ISA/KR의 명칭 및 우편주소  대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578	심사관 이현길 전화번호 +82-42-481-8525	

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 2013-200194 A	2013/10/03	JP 5919936 B2	2016/05/18
JP 3900395 B2	2007/04/04	JP 2000-146867 A	2000/05/26
US 2008-0199359 A1	2008/08/21	AU 2006-265764 A1 AU 2006-265764 B2 EP 1899716 A1 WO 2007-002994 A1	2007/01/11 2009/05/21 2008/03/19 2007/01/11
KR 10-1767338 B1	2017/08/10	없음	
WO 2017-021950 A2	2017/02/09	US 2018-0224382 A1 WO 2017-021950 A3	2018/08/09 2017/03/09