(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0054442
(43) 공개일자 2021년05월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01V 11/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01V 11/002 (2013.01)
G01V 2210/62 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0107102
(22) 출원일자 2020년08월25일
심사청구일자 2020년08월25일
(30) 우선권주장
1020190140508 2019년11월05일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이종섭
서울시 송파구 양재대로 1218, 132동105호(방이동, 올림픽선수촌아파트)
김남선
경기도 성남시 분당구 돌마로486번길 7, 209동 601호(서현동, 효자촌동아아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인남촌

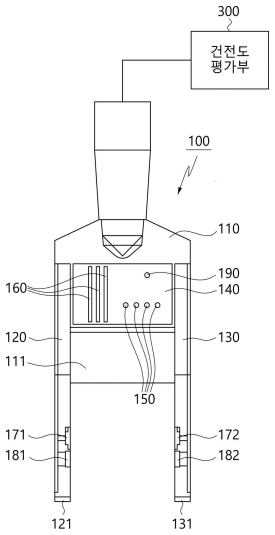
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 **금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치**

(57) 요 약

본 발명은 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치에 관한 것으로, 메인 프레임과, 상기 메인 프레임의 양측단부에 각각 설치되되 하단부가 상기 메인 프레임으로부터 하부로 연장된 한 쌍의 사이드 프레임을 갖는 관입 프로브와, 상기 메인 프레임에 외부로 노출되게 설치되는 복수의 전극과, 복수의 상기 전극에 측정용 전원을 인가하여 상기 대상지반의 겉보기 충전성을 측정하는 전극 측정부와, 상기 전극 측정부에 의해 측정된 상기 겉보기 충전성에 기초하여 상기 대상지반의 금속성분 중량비를 산출하고, 산출된 상기 금속성분 중량비에 기초하여 상기 대상지반의 금속성분 체적비를 산출하는 메인 프로세서를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 금속성분이 포함된 대상지반의 특성을 평가하는데 있어, 금속성분의 존재 및 양을 반영하여 보다 정확한 특성 평가가 가능하게 된다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자
김상엽
서울시 성북구 고려대로 31, 401호

천준기
인천광역시 서구 청라커낼로 252, 102동1201호

명 세 서

청구범위

청구항 1

금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치에 있어서,

메인 프레임과, 상기 메인 프레임의 양측단부에 각각 설치되되 하단부가 상기 메인 프레임으로부터 하부로 연장된 한 쌍의 사이드 프레임을 갖는 관입 프로브와,

상기 메인 프레임에 외부로 노출되게 설치되는 복수의 전극과,

복수의 상기 전극에 측정용 전원을 인가하여 상기 대상지반의 겉보기 충전성을 측정하는 전극 측정부와,

상기 전극 측정부에 의해 측정된 상기 겉보기 충전성에 기초하여 상기 대상지반의 금속성분 중량비를 산출하고, 산출된 상기 금속성분 중량비에 기초하여 상기 대상지반의 금속성분 체적비를 산출하는 메인 프로세서를 포함하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전극 측정부는 4개의 상기 전극을 이용하여 시간영역 유도분극 탐사기법을 통해 상기 겉보기 충전성을 측정하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 금속성분 중량비는 상기 금속성분의 종류에 종속하여 상기 겉보기 충전성에 비례하며;

상기 금속성분 체적비는 상기 금속성분 중량비, 상기 금속성분의 비중, 상기 대상지반의 흙성분의 비중에 기초하여 산출되는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 메인 프로세서는 수학식

$$m = k \cdot IC$$

(m은 상기 겉보기 충전성이고, IC는 상기 금속성분 중량비이고, k는 상기 금속성분의 종류에 따라 달라지는 상수이다)

를 통해 상기 금속성분 중량비를 산출되며;

수학식

$$f = \frac{1}{1+\left(\frac{1}{IC}-1\right)\frac{G_I}{G_S}}$$

(f는 상기 금속성분 체적비이고, G_I는 상기 금속성분의 비중이고, G_S는 흙성분의 비중이다)

를 통해 상기 금속성분 체적비를 산출하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 메인 프레임에 외부로 노출되게 설치되는 복수의 TDR 프로브와,

복수의 상기 TDR 프로브를 이용하여 TDR(Time domain reflectometry) 기법을 통해 상기 대상지반의 비유전율을 측정하는 TDR 측정부를 더 포함하며;

상기 메인 프로세서는 상기 비유전율에 기초하여 상기 대상지반의 체적함수비를 산출하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 메인 프로세서는 수학식

$$\theta_v = a + b\varepsilon_r + c(\varepsilon_r)^2 + d(\varepsilon_r)^3$$

(θ_v는 상기 체적함수비이고, ε_r은 상기 비유전율이고, a, b, c, d는 상수로 상기 금속성분 중량비에 종속한다)를 통해 상기 체적함수비를 산출하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 메인 프로세서는 수학식

$$\theta_v = nS$$

(n은 간극률이고, S는 상기 대상지반의 포화도이다)

를 통해 상기 대상지반의 상기 간극률을 산출하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 메인 프로세서는 수학식

$$\theta_v = \omega \frac{\gamma_{dry}}{\gamma_w}$$

(ω는 상기 대상지반의 중량함수비이고, γ_{dry}는 건조한 흙성분의 단위중량이고, γ_w는 물 성분의 단위중량이다)

에 의해 상기 중량함수비를 산출하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

한 쌍의 상기 사이드 프레임 중 어느 일측에 설치되어 상기 대상지반으로 압축파를 발신하는 압축파 발신 트랜스듀서와,

한 쌍의 상기 사이드 프레임 중 타측에 설치되어 상기 압축파 발신 트랜스듀서로부터 발신된 압축파를 수신하는 압축파 수신 트랜스듀서와,

한 쌍의 상기 사이드 프레임 중 어느 일측에 설치되어 상기 대상지반으로 전단파를 발신하는 전단파 발신 트랜스듀서와,

한 쌍의 상기 사이드 프레임 중 타측에 설치되어 상기 전단파 발신 트랜스듀서로부터 발신된 전단파를 수신하는 전단파 수신 트랜스듀서와,

상기 압축파 발신 트랜스듀서 및 상기 전단파 발신 트랜스듀서를 통해 압축파 및 전단파를 공급하고, 상기 압축파 수신 트랜스듀서 및 상기 전단파 수신 트랜스듀서를 통해 수신된 압축파 및 전단파를 이용하여 상기 대상지반을 통해 전파되는 압축파 속도 및 전단파 속도를 측정하는 탄성파 속도 측정부를 더 포함하며;

상기 메인 프로세서는 상기 압축파 속도, 상기 전단파 속도 및 상기 금속성분 체적비에 기초하여, 상기 흙성분, 상기 금속성분 및 물성분이 반영된 상기 대상지반의 간극률을 산출하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 메인 프로세서는 상기 간극률을 수학식

$$n=\frac{B_{g-IS}^2B_f-B_{sk}B_fB_{g-IS}-B_fB_{g-IS}B_{mix}+B_{sk}B_fB_{mix}}{B_{g-IS}^2B_{mix}+B_{sk}B_fB_{g-IS}-B_fB_{g-IS}B_{mix}-B_{sk}B_{g-IS}^2}$$

(n은 상기 간극률이고, B_{g-IS}는 금속성분과 흙성분로 구성된 고체 혼합체의 체적탄성계수이고, B_f는 물성분의 체적탄성계수이고, B_{sk}는 상기 고체 혼합체의 입자 사이의 체적탄성계수이고, B_{mix}는 상기 흙성분, 상기 금속성분 및 상기 물성분을 포함한 상기 대상지반의 체적탄성계수이다)를 통해 산출하고;

상기 B_{g-IS} 및 상기 B_{sk}는 상기 금속입자 체적비에 기초하여 산출되며;

상기 B_{mix}는 상기 압축파 속도 및 상기 전단파 속도에 기초하여 산출되는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 메인 프로세서는

상기 B_{g-IS}를 수학식

$$B_{g-IS}=B_{g-I}f+B_{g-S}(1-f)$$

(f는 상기 금속성분 체적비이고, B_{g-I}는 상기 금속성분의 체적탄성계수이고, B_{g-S}는 상기 흙성분의 체적탄성계수이다)

를 통해 산출하고;

상기 B_{sk}를 수학식

$$B_{sk}=B_{sk-I}f+B_{sk-S}(1-f)$$

(B_{sk-I}는 상기 금속성분의 입자 사이의 체적탄성계수이고, B_{sk-S}는 상기 흙성분의 입자 사이의 체적탄성계수이다)

를 통해 산출하고;

상기 B_{mix}는 수학식

$$B_{mix}=\rho_{mix}\left(V_{P,mix}^2-\frac{4}{3}V_{S,mix}^2\right)$$

(ρ_{mix}는 상기 흙성분, 상기 금속성분 및 상기 물성분을 포함한 상기 대상지반의 밀도이고, $V_{P,mix}$는 상기 압축파 속도이고, $V_{S,mix}$는 상기 전단파 속도이다)를 통해 산출되는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 메인 프레임에 설치되어 상기 대상지반의 온도를 측정하는 온도센서를 더 포함하고;

상기 전극 측정부는 상기 메인 프레임에 외부로 노출되게 설치되는 복수의 상기 전극에 인가되는 상기 측정용 전원에 기초하여 상기 대상지반의 측정 저항값을 측정하되, 상기 온도 센서에 의해 감지된 온도에 기초하여 상기 측정 저항값을 보정한 보정 저항값을 산출하며;

상기 메인 프로세서는

상기 보정 저항값 및 상기 금속성분 체적비에 기초하여 상기 금속성분, 흙성분 및 물성분을 포함하는 상기 대상지반의 혼합 전기전도도를 산출하고,

상기 혼합 전기전도도 및 상기 금속성분 체적비에 기초하여 상기 대상지반의 간극률을 산출하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 메인 프로세서는 수학식

$$\sigma_{mix} = \delta(1-n) f \sigma_I + n\sigma_{el}$$

(σ_{mix}는 상기 혼합 전기전도도이고, δ는 피팅 상수이고, f는 상기 금속성분 체적비이고, n은 상기 간극률이고, σ_I는 상기 금속성분의 전기전도도이고, σ_{el}은 상기 물성분의 전기전도도이다)

에 의해 상기 간극률을 산출하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 철과 같은 금속성분을 포함하는 지반의 특성을 측정할 수 있는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 근래 국토 전역에 걸친 개발이 계속적으로 진행되면서, 토목 건축 환경 관련 시설물 등에 대한 건설공사가 더 이상 양호한 지반에서만 이루어지기 어려운 상황에 직면하였다. 즉 해안가, 산악지대, 암반지대, 쓰레기 매립지, 도심지 기존구조물 근접부 등 종래의 건설공사 입지 선정시 제외되었던 악조건 현장에서도 공사를 수행해야만 하는 경우가 날로 늘어나고 있는 것이다.

[0003] 이에 따라 구조물을 안전하고 경제적으로 시공하기 위하여 정확한 지반조사를 통한 지반정보의 획득과 평가가 요구되고 있다. 이러한 지반조사는 구조물을 가급적 안전하면서도 경제적으로 건설하며 유지 관리하는데 필요한 기초자료 예컨대 지반의 특성 및 지층의 상태, 침하량 산정에 필요한 기본 자료를 준비하는데 그 목적이 있다.

[0004] 이와 같은 지반조사 방법은 일반적으로 현장시험과 실내시험으로 나뉜다. 현장시험은 해당 지반에 검사용 측정 프로브 등의 시험 장치를 설치하여 지반 내부 상황이나 기타 필요한 정보를 얻는 과정이다. 또한 실내시험은 대상지반의 특성을 대표할 수 있는 시료를 획득하여 이를 실험실로 운반하고 실험실 내에서 여러 가지 필요한 시험 및 분석을 하는 것이다.

[0005] 한편, 현장시험을 위한 프로브로서 링 타입(ring type)의 속도 측정 프로브가 제안된 바 있다. 그러나 링 타입 속도 측정 프로브는 단단한 점토질 지반에 관입시 내부에 흙이 뭉쳐진다는 단점을 갖는다. 흙이 뭉쳐진다는 것은 토양에 교란이 발생한 것이므로 해당 토양의 정확한 측정이 불가능하다.

[0006] 이에, 본원출원인에 의해 출원되어 등록된 한국등록특허 제10-0919485호에서는 구조적인 강성을 가져 관입시 관입 압력에 의한 변형이 없으며, 특히 연약 지반이나 중간 정도의 강성을 갖는 지반의 특성 파악을 정확하게 할 수 있는 '포크블레이드 타입 현장 전단파 속도 측정 프로브'가 제안되었다.

[0007] 그런데, 상기 한국등록특허를 비롯한 기존의 대상지반의 특성 탐사 방법들은 대상지반 내에 포함되어 있는 철과 같은 금속성분을 고려하고 있지 않은 문제점이 있다.

[0008] 금속광산의 폐기물 저장댐, 화산지역 지반 등에서는 대상지반 내부에 상당량의 금속성분이 존재하고 있는데, 금속성분은 대상지반의 특성을 평가하는데 영향을 미치므로 이를 고려하지 않는 경우, 특성 평가의 정확도를 저하시키게 된다.

[0009] 예를 들어, 지하수위나 함수특성을 평가하는데 있어 압축파의 속도를 이용하는 경우, 흙성분 내에서의 압축파의 속도는 1500m/s 이상인데 반해 금속성분이 포함된 지반 내에서는 금속성분의 양이나 포화도에 따라 압축파 속도가 달라져 정확한 지하수위나 함수특성의 평가가 어려워지는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이에, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 안출된 것으로서, 금속성분이 포함된 대상지반의 특성을 평가하는데 있어, 금속성분의 존재 및 양을 반영하여 보다 정확한 특성 평가가 가능한 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치를 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적은 본 발명에 따라, 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치에 있어서, 메인 프레임과, 상기 메인 프레임의 양측단부에 각각 설치되되 하단부가 상기 메인 프레임으로부터 하부로 연장된 한 쌍의 사이드 프레임을 갖는 관입 프로브와, 상기 메인 프레임에 외부로 노출되게 설치되는 복수의 전극과, 복수의 상기 전극에 측정용 전원을 인가하여 상기 대상지반의 겉보기 충전성을 측정하는 전극 측정부와, 상기 전극 측정부에 의해 측정된 상기 겉보기 충전성에 기초하여 상기 대상지반의 금속성분 중량비를 산출하고, 산출된 상기 금속성분 중량비에 기초하여 상기 대상지반의 금속성분 체적비를 산출하는 메인 프로세서를 포함하는 것을 특징으로 하는 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치에 의해서 달성된다.

[0012] 여기서, 상기 전극 측정부는 4개의 상기 전극을 이용하여 시간영역 유도분극 탐사기법을 통해 상기 겉보기 충전성을 측정할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 금속성분 중량비는 상기 금속성분의 종류에 종속하여 상기 겉보기 충전성에 비례하며; 상기 금속성분 체적비는 상기 금속성분 중량비, 상기 금속성분의 비중, 상기 대상지반의 흙성분의 비중에 기초하여 산출될 수 있다.

[0014] 그리고, 상기 메인 프로세서는 수학식 $m = k \cdot IC$ (m은 상기 겉보기 충전성이고, IC는 상기 금속성분 중량비이고, k는 상기 금속성분의 종류에 따라 달라지는 상수이다) 를 통해 상기 금속성분 중량비를 산출되며; 수학식

$$f = \frac{1}{1+\left(\frac{1}{IC}-1\right)\frac{G_I}{G_S}}$$

(f는 상기 금속성분 체적비이고, G_I는 상기 금속성분의 비중이고, G_S는 흙성분의 비중이다)를 통해 상기 금속성분 체적비를 산출할 수 있다.

[0015] 그리고, 상기 메인 프레임에 외부로 노출되게 설치되는 복수의 TDR 프로브와, 복수의 상기 TDR 프로브를 이용하여 TDR(Time domain reflectometry) 기법을 통해 상기 대상지반의 비유전율을 측정하는 TDR 측정부를 더 포함하며; 상기 메인 프로세서는 상기 비유전율에 기초하여 상기 대상지반의 체적함수비를 산출할 수 있다.

[0016] 그리고, 상기 메인 프로세서는 수학식 $\theta_v = a + b\varepsilon_r + c(\varepsilon_r)^2 + d(\varepsilon_r)^3$ (θ_v는 상기 체적함수비이고, ε_r은 상기 비유전율이고, a, b, c, d는 상수로 상기 금속성분 중량비에 종속한다)를 통해 상기 체적함수비를 산출할 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 메인 프로세서는 수학식 $\theta_v = nS$ (n은 간극률이고, S는 상기 대상지반의 포화도이다)를 통해 상기 대상지반의 상기 간극률을 산출할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 메인 프로세서는 수학식 $$\theta_v = \omega \frac{\gamma_{dry}}{\gamma_w}$$ (ω는 상기 대상지반의 중량함수비이고, γ_{dry}는 건조한 흙성분의 단위중량이고, γ_w는 물 성분의 단위중량이다)에 의해 상기 중량함수비를 산출할 수 있다.

[0019] 그리고, 한 쌍의 상기 사이드 프레임 중 어느 일측에 설치되어 상기 대상지반으로 압축파를 발신하는 압축파 발신 트랜스듀서와, 한 쌍의 상기 사이드 프레임 중 타측에 설치되어 상기 압축파 발신 트랜스듀서로부터 발신된 압축파를 수신하는 압축파 수신 트랜스듀서와, 한 쌍의 상기 사이드 프레임 중 어느 일측에 설치되어 상기 대상지반으로 전단파를 발신하는 전단파 발신 트랜스듀서와, 한 쌍의 상기 사이드 프레임 중 타측에 설치되어 상기 전단파 발신 트랜스듀서로부터 발신된 전단파를 수신하는 전단파 수신 트랜스듀서와, 상기 압축파 발신 트랜스듀서 및 상기 전단파 발신 트랜스듀서를 통해 압축파 및 전단파를 공급하고, 상기 압축파 수신 트랜스듀서 및 상기 전단파 수신 트랜스듀서를 통해 수신된 압축파 및 전단파를 이용하여 상기 대상지반을 통해 전파되는 압축파 속도 및 전단파 속도를 측정하는 탄성파 속도 측정부를 더 포함하며; 상기 메인 프로세서는 상기 압축파 속도, 상기 전단파 속도 및 상기 금속성분 체적비에 기초하여, 상기 흙성분, 상기 금속성분 및 물성분이 반영된 상기 대상지반의 간극률을 산출할 수 있다.

[0020] 그리고, 상기 메인 프로세서는 상기 간극률을 수학식 $$n = \frac{B_{g-IS}^2 B_f - B_{sk} B_f B_{g-IS} - B_f B_{g-IS} B_{mix} + B_{sk} B_f B_{mix}}{B_{g-IS}^2 B_{mix} + B_{sk} B_f B_{g-IS} - B_f B_{g-IS} B_{mix} - B_{sk} B_{g-IS}^2}$$ (n은 상기 간극률이고, B_{g-IS}는 금속성분과 흙성분로 구성된 고체 혼합체의 체적탄성계수이고, B_f는 물성분의 체적탄성계수이고, B_{sk}는 상기 고체 혼합체의 입자 사이의 체적탄성계수이고, B_{mix}는 상기 흙성분, 상기 금속성분 및 상기 물성분을 포함한 상기 대상지반의 체적탄성계수이다)를 통해 산출하고; 상기 B_{g-IS} 및 상기 B_{sk}는 상기 금속입자 체적비에 기초하여 산출되며; 상기 B_{mix}는 상기 압축파 속도 및 상기 전단파 속도에 기초하여 산출될 수 있다.

[0021] 여기서, 상기 메인 프로세서는 상기 B_{g-IS}를 수학식 $B_{g-IS} = B_{g-I} f + B_{g-S}(1-f)$ (f는 상기 금속성분 체적비이고, B_{g-I}는 상기 금속성분의 체적탄성계수이고, B_{g-S}는 상기 흙성분의 체적탄성계수이다)를 통해 산출하고; 상기 B_{sk}를 수학식 $B_{sk} = B_{sk-I} f + B_{sk-S}(1-f)$ (B_{sk-I}는 상기 금속성분의 입자 사이의 체적탄성계수이고, B_{sk-S}는 상기 흙성분의 입자 사이의 체적탄성계수이다)를 통해 산출하고; 상기 B_{mix}는 수학식 $B_{mix} = \rho_{mix}\left(V_{P,mix}^2 - \frac{4}{3}V_{S,mix}^2\right)$ (ρ_{mix}는 상기 흙성분, 상기 금속성분 및 상기 물성분을 포함한 상기 대상지반의 밀도이고, $V_{P,mix}$는 상기 압축파 속도이고, $V_{S,mix}$는 상기 전단파 속도이다)를 통해 산출할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 메인 프레임에 설치되어 상기 대상지반의 온도를 측정하는 온도센서를 더 포함하고; 상기 전극 측정부는 상기 메인 프레임에 외부로 노출되게 설치되는 복수의 상기 전극에 인가되는 상기 측정용 전원에 기초하여 상기 대상지반의 측정 저항값을 측정하되, 상기 온도 센서에 의해 감지된 온도에 기초하여 상기 측정 저항값을 보정한 보정 저항값을 산출하며; 상기 메인 프로세서는 상기 보정 저항값 및 상기 금속성분 체적비에 기초하여 상기 금속성분, 흙성분 및 물성분을 포함하는 상기 대상지반의 혼합 전기전도도를 산출하고, 상기 혼합 전기전도도 및 상기 금속성분 체적비에 기초하여 상기 대상지반의 간극률을 산출할 수 있다.

[0023] 여기서, 상기 메인 프로세서는 수학식 $\sigma_{mix} = \delta(1-n) f \sigma_I + n\sigma_{el}$ (σ_{mix}는 상기 혼합 전기전도도이고, δ는 피팅 상수이고, f는 상기 금속성분 체적비이고, n은 상기 간극률이고, σ_I는 상기 금속성분의 전기전도도이고, σ_{el}은 상기 물성분의 전기전도도이다)에 의해 상기 간극률을 산출할 수 있다.

발명의 효과

[0024] 상기와 같은 구성에 따라 본 발명에 따르면, 금속성분이 포함된 대상지반의 특성을 평가하는데 있어, 금속성분의 존재 및 양을 반영하여 보다 정확한 특성 평가가 가능한 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치가 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치의 구성을 나타낸 도면이고,

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 메인 프레임의 측면을 나타낸 도면이고,

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 건전도 평가부의 제어블록도의 예를 나타낸 도면이고,

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치에서 겉보기 충전성과 금속성분 중량비 간의 관계를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0027] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세히 설명한다.

[0028] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 금속성분을 포함하는 대상지반의 특성 평가 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

[0029] 도 1을 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 특성 평가 장치는 관입 프로브를 포함하여 구성될 수 있다.

[0030] 관입 프로브는 대상지반의 특성 탐사시 대상지반 내부과 관입되는 장비로, 본 발명에서는 메인 프레임과 한 쌍의 사이드 프레임을 포함하는 것을 예로 한다.

[0031] 한 쌍의 사이드 프레임은 메인 프레임의 양측단부에 각각 설치된다. 그리고, 한 쌍의 사이드 프레임은 그 하단부가 메인 프레임으로부터 하부로 연장되는데, 이를 통해 관입 프로브가 대상지반에 관입될 때 한 쌍의 사이드 프레임이 먼저 대상지반에 관입된 후 메인 프레임이 대상지반으로 관입되는 구조를 갖게 된다.

[0032] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 메인 프레임의 측면을 나타낸 도면이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 평판의 형태를 가져 메인 프레임이 대상지반에 관입될 때 대상지반과의 마찰을 최소화하여 상대적으로 작은 힘으로도 관입이 가능하게 된다.

[0033] 또한, 메인 프레임의 하부 영역에는 경사부가 형성되어, 도 2에 도시된 바와 같이, 마치 도끼의 날처럼 날카롭게 가공됨으로써, 메인 프레임의 관입시 대상지반을 구성하는 흙 등에 의한 교란을 최소화하여 관입 프로브의 원활한 진입을 가능하게 한다.

[0034] 한편, 메인 프레임의 측면에는 다수의 체결공이 형성될 수 있다. 각각의 체결공을 통해 사이드 프레임이 메인 프레임의 측면에 볼트 결합을 통해 착탈 가능하게 결합될 수 있다.

[0035] 그리고, 각각의 사이드 프레임의 하부 가장자리는 메인 프레임의 경사부에 대응하게 관입팁이 날카롭게 형성됨으로써, 각각의 사이드 프레임이 대상지반에 관입될 때 원활한 진입이 가능하게 된다.

[0036] 전술한 실시예에 따른 관입 프로브의 구성은 하나의 예시에 불과하며, 본 발명에 따른 기술적 사상이 상술한 관입 프로브의 구조에 국한되지 않으며, 후술할 센서 구조 및 건전도 평가부의 구성이 적용 가능한 다양한 형태로

마련될 수 있음은 물론이다.

[0037] 다시, 본 발명의 실시예에 따른 특성 평가 장치는 복수의 전극을 포함하여 구성될 수 있다.

[0038] 복수의 전극은, 도 1에 도시된 바와 같이, 메인 프레임에 외부로 노출되게 설치된다. 본 발명에서는 도 1에 도시된 바와 같이, 4개의 전극이 설치되는 것을 예로 한다.

[0039] 본 발명에서는 복수의 전극이 센서 플레이트에 설치되고, 센서 플레이트가 메인 프레임에 장착되어 복수의 전극이 메인 프레임에 설치되는 것을 예로 한다. 여기서, 센서 플레이트는 도 2에 도시된 바와 같이, 메인 프레임의 판면으로부터 내측으로 인입되도록 메인 프레임에 설치되어, 메인 프레임의 관입시 이탈되는 것을 방지할 수 있다.

[0040] 본 발명의 실시예에 따른 특성 평가 장치는, 도 1에 도시된 바와 같이, 건전도 평가부를 더 포함하여 구성될 수 있다. 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 건전도 평가부의 제어블록도의 예를 나타낸 도면이다.

[0041] 도 3을 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 건전도 평가부는 전극 측정부 및 메인 프로세서를 포함하여 구성될 수 있다.

[0042] 전극 측정부는 복수의 전극에 측정용 전원을 인가하여 대상지반의 겉보기 충전성(Apparent chargeability)을 측정한다. 본 발명에서는 전극 측정부가 4개의 전극에 측정용 전원을 인가하고, 시간영역 유도분극(Time domain induced polarization) 탐사기법을 통해 겉보기 충전성을 측정하는 것을 예로 한다.

[0043] 보다 구체적으로 설명하면, 전극 측정부는 4개의 전극 중 2개, 예컨대 양측 가장자리의 2개의 전극에 측정용 전원을 인가한다. 그리고, 내측의 2개의 전극 간의 전압을 검출한다.

[0044] 여기서, 전극 측정부는 측정용 전원을 인가하다가 전원을 차단하게 되면, 대상지반 내에 충전되어 있던 일부 전원에 의해 내측의 2개의 전극에서는 전원 차단 후에도 일정 시간 전압이 감지되며, 이러한 현상을 이용하여 대상지반의 겉보기 충전성을 측정할 수 있게 된다.

[0045] 여기서, 겉보기 충전성은 대상지반 내에 도전성 입자, 예컨대 금속성분에 따라 그 값이 달라지게 되므로, 본 발명에서는 메인 프로세서가 전극 측정부에 의해 측정된 겉보기 충전성에 기초하여 금속성분 중량비를 산출하고, 산출된 금속성분 중량비에 기초하여 대상지반의 금속성분 체적비를 산출하게 된다.

[0046] 이하에서는 겉보기 충전성을 이용하여, 대상지반의 금속성분 체적비를 산출하는 원리에 대해 설명한다.

[0047] 일반적으로 금속성분을 포함하는 대상지반의 건전도, 예컨대 연약한 정도인 간극률을 산출하는데 있어, 대상지반을 구성하는 입자들의 체적비가 중요하게 영향을 미치게 되므로, 대상지반의 금속성분 체적비를 측정하는 것은 대상지반의 특성 평가에 있어 중요하다.

[0048] 여기서, 금속성분과 흙성분으로 구성된 대상지반에서 금속성분 체적비는 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

[0049] [수학식 1]

[0050] $$f = \frac{V_I}{V_I + V_S}$$

[0051] [수학식 1]에서 f 는 금속성분 체적비이고, V_I는 금속성분의 체적이고, V_S는 흙성분의 체적이다.

[0052] 마찬가지로, 대상지반의 금속성분 중량비는 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0053] [수학식 2]

[0054] $$IC = \frac{W_I}{W_I + W_S}$$

[0055] [수학식 2]에서 IC 는 금속성분 중량비이고, W_I는 금속성분의 중량이고, W_S는 흙성분의 중량이다.

[0056] 여기서, 금속성분의 중량비는 금속성분의 종류에 종속하여 겉보기 충전성에 비례한다. 이는 흙성분 내에 다양한 양의 금속성분을 내포시켜 겉보기 충전성을 실험한 결과를 통해 도출하였다. 도 4는 철 성분을 이용한 실험의 예를 나타낸 도면으로, 겉보기 충전성과 금속성분 중량비가 비례함을 확인할 수 있다.

[0057] 이와 같은 실험 결과에 기초하여, 대상지반의 겉보기 충전성과 대상지반의 금속성분 중량비는 [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있다.

[0058] [수학식 3]

[0059] $$m = k \cdot IC$$

[0060] [수학식 3]에서 m은 겉보기 충전성이고, k는 비례 관계의 기울기이다. 여기서, 기울기 k은 금속성분의 종류에 따라 달라지게 되는 바, 본 발명의 적용에 앞서 다양한 종류의 금속에 따른 기울기 k 값을 실험을 통해 도출하여, 저장해두는 것이 바람직하다.

[0061] 상기와 같이, 대상지반의 금속성분 중량비가 산출되면, 메인 프로세서는 금속성분 중량비에 기초하여 금속성분 체적비를 산출하게 된다.

[0062] 금속성분 중량비로부터 금속성분 체적비를 도출하는 과정을 설명하면 다음과 같다.

[0063] 먼저, 금속성분과 흙성분을 포함하는 지반의 전체 단위중량은 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다.

[0064] [수학식 4]

[0065] $$\gamma_{Solid} = \frac{W}{V} = \frac{W_S + W_I}{V_S + V_I} = \frac{\gamma_S V_S + \gamma_I V_I}{V_S + V_I}$$

[0066] [수학식 4]에서 γ_{Solid}는 전체 단위중량이고, γ_S는 흙성분의 단위중량이고, γ_I는 금속성분의 단위중량이다.

[0067] [수학식 4]는 [수학식 5]와 같이 정리할 수 있다.

[0068] [수학식 5]

[0069] $$V_I = \frac{\gamma_{Solid} - \gamma_{Soil}}{\gamma_I - \gamma_{Soil}} V_S$$

[0070] [수학식 5]에 비중의 개념을 도입하면, [수학식 6]과 같은 유도 과정이 도출될 수 있다.

[0071] [수학식 6]

[0072] $$V_I = \frac{\gamma_{Solid} - \gamma_{Soil}}{\gamma_I - \gamma_{Soil}} V_S \times \frac{1/\gamma_w}{1/\gamma_w} = \frac{G_{mix} - G_S}{G_I - G_{mix}} V_S$$

[0073] $$\frac{W_I}{\gamma_I} = \frac{\gamma_{Solid} - \gamma_{Soil}}{\gamma_I - \gamma_{Solid}} \frac{W_S}{\gamma_S}$$

[0074] $$W_I = \frac{G_{mix} - G_S}{G_I - G_{mix}} \frac{G_I}{G_S} W_S = \frac{V_I}{V_S} \frac{G_I}{G_S} W_S \rightarrow \frac{W_I}{W_S} = \frac{V_I}{V_S} \frac{G_I}{G_S}$$

[0075] $$IC = \frac{W_I}{W_I + W_S} = \frac{1}{1 + \frac{W_S}{W_I}} \rightarrow \frac{W_S}{W_I} = \frac{1}{IC} - 1$$

[0076] $$f = \frac{V_I}{V_I + V_S} = \frac{1}{1 + \frac{V_S}{V_I}} = \frac{1}{1 + \frac{W_S}{W_I}\frac{G_I}{G_S}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{IC} - 1\right)\frac{G_I}{G_S}}$$

[0077] [수학식 6]에서 G_{mix}는 흙성분과 금속성분의 혼합체의 비중으로 $\frac{\gamma_{Solid}}{\gamma_w}$ 로 나타낼 수 있고, G_s는 흙성분의 비중

$\frac{\gamma_{Soil}}{\gamma_w}$ 로 나타낼 수 있고, G_I는 금속성분의 비중으로 $\frac{\gamma_I}{\gamma_w}$ 로 나타낼 수 있으며, 여기서 γ_w는 물의 단위중량이다.

[0078] 상기 유도 과정을 통해, 금속성분 체적비는 [수학식 7]과 같이 나타낼 수 있으며, 앞서 산출한 금속성분 중량비를 통해 금속성분 체적비의 산출이 가능하게 된다. 즉, 현장에서 대상지반의 겉보기 충전성의 측정을 통해, 금속성분 체적비의 측정이 가능하게 된다.

[0079] [수학식 7]

[0080]
$$f = \frac{1}{1+\left(\frac{1}{IC}-1\right)\frac{G_I}{G_S}}$$

[0081] [수학식 6] 및 [수학식 7]에서 f는 금속성분 체적비이다.

[0082] 상기와 같은 과정을 통해, 금속성분을 포함하는 대상지반에서 금속성분 체적비가 산출되며, 이를 이용하여 대상지반의 특성평가에 있어 금속성분이 반영된 특성 평가가 가능하게 된다.

[0083] 다시, 도 1 및 도 3을 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 특성 평가 장치는 복수의 TDR 프로브를 포함하여 구성될 수 있다. TDR 프로브는 메인 프레임에 외부로 노출되게 설치되는데, 앞서 설명한 전극과 마찬가지로 센서 플레이트에 설치된 상태로 메인 프레임에 설치되는 것을 예로 한다.

[0084] 그리고, 메인 프로세서는 도 3에 도시된 바와 같이, TDR 측정부를 더 포함하여 구성될 수 있다. TDR 측정부는 복수의 TDR 프로브를 이용하여 TDR(Time domain reflectometry) 기법을 통해 대상지반의 비유전율을 측정한다. 여기서, TDR 프로브를 이용한 대상지반의 비유전율의 측정 방법은 공지되어 있는 바, 그 상세한 설명은 생략한다.

[0085] 메인 프로세서는 TDR 측정부를 통해 측정된 비유전율에 기초하여 대상지반의 체적함수비(Volumetric water content)를 산출한다. 여기서, 본 발명에서는 메인 프로세서가 [수학식 8]을 통해 대상지반의 체적함수비를 산출하는 것을 예로 한다.

[0086] [수학식 8]

[0087]
$$\theta_v = a + b\varepsilon_r + c(\varepsilon_r)^2 + d(\varepsilon_r)^3$$

[0088] [수학식 8]에서 θ_v는 체적함수비이고, ε_r은 비유전율이다. 그리고, a, b, c, d는 금속성분 중량비에 종속하는 상수이다. 즉, 상수인 a, b, c, d는 금속성분 중량비에 따라 그 값이 변하게 되는데, 금속성분 중량비에 따른 상수값들을 미리 측정하여 저장해둔 상태에서, 전술한 과정에서 겉보기 충전성의 측정을 통해 산출된 금속성분 중량비에 대응하는 상수를 추출하여 [수학식 8]에 대입하고, TDR 기법을 통해 측정된 비유전율을 이용하여 대상지반의 체적함수비를 산출할 수 있게 된다.

[0089] 여기서, [수학식 8]을 통해 산출되는 체적함수비 또한 겉보기 충전성을 통해 산출되는 금속성분 중량비가 반영되어, 대상지반에 포함된 금속성분의 반영된 값의 산출이 가능하게 된다.

[0090] 또한, 메인 프로세서는 [수학식 8]을 통해 산출된 체적함수비를 이용하여, [수학식 9]를 통해 대상지반의 간극률을 산출할 수 있다.

[0091] [수학식 9]

[0092]
$$\theta_v = nS$$

[0093] [수학식 9]에서 n은 간극률이고, S는 대상지반의 포화도이다. 이 때, 대상지반의 포화도를 '1'로 가정하게 되면, 체적함수비를 통해 대상지반의 간극률이 산출 가능하게 되어, 대상지반이 연약한지 또는 연약 정도의 측정이 가능하게 된다.

[0094] 또한, 메인 프로세서는 [수학식 10]을 통해 대상지반의 중량함수비를 산출할 수 있다.

[0095] [수학식 10]

[0096] $$\theta_v = \omega \frac{\gamma_{dry}}{\gamma_w}$$

[0097] [수학식 10]에서 ω는 대상지반의 중량함수비이고, γ_{dry}는 건조한 흙성분의 단위중량이고, γ_w는 물성분의 단위중량이다.

[0098] 상기와 같이, TDR 기법을 통해 측정된 비유전율을 이용하여, 대상지반의 체적함수비, 간극률, 중량함수비를 산출할 수 있는데, 이 때 체적함수비의 산출 과정에서 대상지반에 포함된 금속성분이 반영됨으로써, 금속성분이 반영된 정확한 특성 평가가 가능하게 된다.

[0099] 다시 도 1 및 도 3을 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 특성 평가 장치는 압축파 발신 트랜스듀서, 압축파 수신 트랜스듀서, 전단파 발신 트랜스듀서, 전단파 수신 트랜스듀서를 더 포함하여 구성될 수 있다.

[0100] 압축파 발신 트랜스듀서는, 도 1에 도시된 바와 같이, 한 쌍의 사이드 프레임 중 어느 일측에 설치되는데, 타측의 사이드 프레임을 향해 압축파를 발신한다.

[0101] 압축파 수신 트랜스듀서는 압축파 발신 트랜스듀서가 설치된 사이드 프레임의 반대측 사이드 프레임에 설치된다. 그리고, 압축파 수신 트랜스듀서는 압축파 발신 트랜스듀서로부터 발신된 압축파를 수신한다.

[0102] 전단파 발신 트랜스듀서는, 도 1에 도시된 바와 같이, 한 쌍의 사이드 프레임 중 어느 일측에 설치되는데, 타측의 사이드 프레임을 향해 전단파를 발신한다.

[0103] 전단파 수신 트랜스듀서는 전단파 발신 트랜스듀서가 설치된 사이드 프레임의 반대측 사이드 프레임에 설치된다. 그리고, 전단파 수신 트랜스듀서는 전단파 발신 트랜스듀서로부터 발신된 전단파를 수신한다.

[0104] 본 발명에서는, 도 1에 도시된 바와 같이, 압축파 발신 트랜스듀서와 전단파 발신 트랜스듀서가 같은 사이드 프레임에 설치되고, 압축파 수신 트랜스듀서와 전단파 수신 트랜스듀서가 같은 사이드 프레임에 설치되는 것을 예로 하고 있으나, 압축파 발신 트랜스듀서와 전단파 수신 트랜스듀서가 같은 사이드 프레임에 설치될 수 있음은 물론이다.

[0105] 도 3을 참조하여 설명하면, 건전도 평가부는, 도 3에 도시된 바와 같이, 탄성파 속도 측정부를 더 포함하여 구성될 수 있다.

[0106] 탄성파 속도 측정부는 압축파 발신 트랜스듀서를 통해 압축파를 공급하고, 압축파 수신 트랜스듀서를 통해 수신된 압축파를 이용하여 대상지반을 통해 전파되는 압축파의 속도, 즉 압축파 속도를 측정한다.

[0107] 마찬가지로, 탄성파 속도 측정부는 전단파 발신 트랜스듀서를 통해 전단파를 공급하고, 전단파 수신 트랜스듀서를 통해 수신된 전단파를 이용하여 대상지반을 통해 전파되는 전단파의 속도, 즉 전단파 속도를 측정한다.

[0108] 도 3에 도시된 바와 같이, 탄성파 속도 측정부는 신호 발생기, 수신파 처리부 및 오실로스코프를 포함할 수 있다.

[0109] 신호 발생기는 압축파 및 전단파를 생성하여 압축파 발신 트랜스듀서 및 전단파 발신 트랜스듀서로 각각 공급한다. 그리고, 수신파 처리부는 압축파 수신 트랜스듀서 및 전단파 수신 트랜스듀서와 연결되어 압축파 수신 트랜스듀서 및 전단파 수신 트랜스듀서로 수신되는 압축파 및 전단파를 신호 처리한다. 여기서, 수신파 처리부는 수신된 압축파 및 전단파의 잡음을 제거하는 필터와, 잡음이 제거된 신호를 증폭하는 증폭기를 포함할 수 있다.

[0110] 오실로스코프는 신호 발생기 및 신호 처리부에 병렬 연결되며, 대상지반을 통과한 압축파 및 전단파, 신호 발생기로부터 출력된 압축파 및 전단파의 신호 파형을 생성함으로써, 두 파형의 차이로부터 압축파 및 전단파의 속도를 각각 측정 가능하게 한다.

[0111] 여기서, 메인 프로세서는 압축파 속도, 전단파 속도, 그리고 전극 측정부에 의해 측정된 금속성분 체적비에 기초하여, 흙성분, 금속성분 및 물성분이 반영된 대상지반의 간극률을 산출할 수 있다.

[0112] 본 발명에서는 메인 프로세서가 [수학식 11]을 통해 간극률을 산출하는 것을 예로 한다.

[0113] [수학식 11]

$$n = \frac{B_{g-IS}^2 B_f - B_{sk} B_f B_{g-IS} - B_f B_{g-IS} B_{mix} + B_{sk} B_f B_{mix}}{B_{g-IS}^2 B_{mix} + B_{sk} B_f B_{g-IS} - B_f B_{g-IS} B_{mix} - B_{sk} B_{g-IS}^2}$$

[0114]

[0115] [수학식 11]에서 n은 간극률이고, B_{g-IS}는 금속성분과 흙성분로 구성된 고체 혼합체의 체적탄성계수이고, B_f는 물성분의 체적탄성계수이고, B_{sk}는 고체 혼합체의 입자 사이의 체적탄성계수, 즉 스켈레톤 모듈러스(Skeleton modulus)이고, B_{mix}는 흙성분, 금속성분 및 물성분을 포함하는 대상지반의 체적탄성계수이다.

[0116] 여기서, B_{g-IS} 및 B_{sk}는 겉보기 충전성을 이용하여 산출된 금속입자 체적비에 기초하여 산출될 수 있다. 본 발명에서는 메인 프로세서가 B_{g-IS} 및 B_{sk}를 각각 [수학식 12] 및 [수학식 13]을 통해 산출하는 것을 예로 한다.

[0117] [수학식 12]

$$B_{g-IS} = B_{g-I} f + B_{g-S}(1-f)$$

[0118]

[0119] [수학식 13]

$$B_{sk} = B_{sk-I} f + B_{sk-S}(1-f)$$

[0120]

[0121] [수학식 12] 및 [수학식 13]에서 f는 겉보기 충전성을 이용하여 산출되는 금속성분 체적비이고, B_{g-I}는 금속성분의 체적탄성계수이고, B_{g-S}는 흙성분의 체적탄성계수이다. 그리고, B_{sk-I}는 금속성분의 입자 사이의 체적탄성계수, 즉 금속성분의 스켈레톤 모듈러스이고, B_{sk-S}는 흙성분의 입자 사이의 체적탄성계수이다.

[0122] 그리고, 메인 프로세서는 B_{mix}를 [수학식 14]를 이용하여 산출하는 것을 예로 한다.

[0123] [수학식 14]

$$B_{mix} = \rho_{mix}\left(V_{P,mix}^2 - \frac{4}{3}V_{S,mix}^2\right)$$

[0124]

[0125] [수학식 14]에서 ρ_{mix}는 흙성분, 금속성분 및 물성분을 포함한 대상지반의 밀도이고, $V_{P,mix}$는 압축파 속도이고, $V_{S,mix}$는 전단파 속도이다.

[0126] 상기와 같이, 현장에서 측정된 압축파 속도, 전단파 속도, 그리고 금속성분 체적비를 이용하여, 지하수위, 즉 물성분과, 금속성분이 모두 포함되어 있는 대상지반의 간극률의 측정이 가능하게 된다.

[0127] 여기서, 메인 프로세서는 ρ_{mix}를 [수학식 15]를 통해 산출할 수 있다.

[0128] [수학식 15]

$$\rho_{mix} = (1-n)\rho_{g-IS} + nS\rho_w$$

[0129]

[0130] [수학식 15]에서 n은 간극률이고, S는 대상지반의 포화도이고, ρ_{g-IS}는 금속성분와 흙성분을 포함한 고체 혼합물의 밀도이고, ρ_w는 물의 밀도이다.

[0131] 앞서 설명한 바와 같이, 대상지반의 포화도 S는 1로 가정할 수 있는데, [수학식 15]에서의 간극률은 [수학식 9]를 통해 산출된 값이 적용될 수 있다.

[0132] 다른 예로, [수학식 15]에서 미지수는 간극률 n이므로, 이를 시행착오(Trial and error) 기법을 이용하여 최적의 간극률을 산출할 수 있다. 보다 구체적으로 설명하면, [수학식 15]에서 간극률 n을 임의의 값으로 입력하여 ρ_{mix}를 산출하고, 이를 통해 [수학식 11]의 간극률 n을 산출한다. 그리고, [수학식 11]을 통해 산출된 n값과

임의의 값을 비교하는 것을 통해 이를 반복하여 최적의 n을 산출할 수 있게 된다.

[0133] 상기와 같은 과정을 통해, 금속성분, 물성분 및 흙성분을 포함하는 대상지반의 간극률을 보다 정확하게 측정할 수 있게 된다.

[0134] 다시, 도 1 및 도 3을 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 특성 평가 장치는 메인 프레임에 설치되어 대상지반의 온도를 측정하는 온도 센서를 더 포함할 수 있다. 여기서, 건전도 평가부의 온도 측정부는 온도 센서의 측정 결과를 기반으로 대상지반의 온도값을 메인 프로세서에 전달한다.

[0135] 여기서, 전극 측정부는 상술한 시간영역 유도분극 탐사기법을 통한 겉보기 충전성의 측정과는 별도로, 복수의 전극에 인가되는 측정용 전원에 기초하여 대상지반의 저항값(이하, '측정 저항값'이라 함)을 측정할 수 있다.

[0136] 그리고, 전극 측정부는 온도 센서를 통해 감지된 온도값에 기초하여 측정 저항값을 보정한 보정 저항값을 산출할 수 있다. 즉, 대상지반의 저항값은 온도에 따라 달라지므로 이를 보정함으로써, 보다 정확한 특성 평가가 가능하게 된다.

[0137] 그리고, 메인 프로세서는 보정 저항값, 앞서 설명한 겉보기 충전성을 통해 산출된 금속성분 체적비에 기초하여 금속성분, 흙성분 및 물성분을 포함하는 대상 지반의 전기전도도(이하, '혼합 전기전도도'라 함)를 산출할 수 있다.

[0138] 그리고, 메인 프로세서는 혼합 전기전도도 및 금속성분 체적비에 기초하여 대상지반의 간극률을 산출할 수 있다. 본 발명에서는 메인 프로세서가 [수학식 16]을 통해 간극률을 산출하는 것을 예로 한다.

[0139] [수학식 16]

[0140] $$\sigma_{mix} = \delta(1-n) f \sigma_I + n\sigma_{el}$$

[0141] σ_{mix}는 혼합 전기전도도이고, δ는 피팅 상수이고, f는 금속성분 체적비이고, n은 간극률이고, σ_I는 금속성분의 전기전도도이고, σ_{el}은 물성분의 전기전도도이다.

[0142] 상기와 같이, 금속성분 체적비의 측정을 통해 다양한 방법으로 대상지반의 간극률의 산출이 가능하게 되며, 간극률 외의 다른 지반 특성 또한 금속성분이 반영되어 산출됨으로써, 보다 정확한 측정이 가능하게 된다.

[0143] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0144]

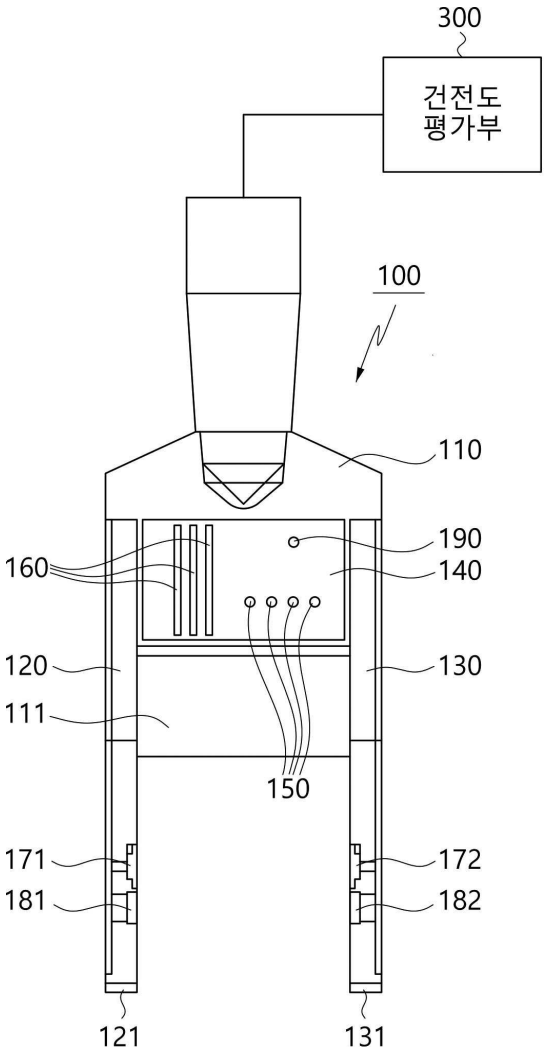
100	: 관입 프로브	110	: 메인 프레임
120,130	: 사이드 프레임	121,131	: 관입팁
112	: 체결공		
140	: 센서 플레이트	150	: 전극
160	: TDR 프로브	171	: 압축파 발신 트랜스듀서
172	: 압축파 수신 트랜스듀서	181	: 전단파 발신 트랜스듀서
182	: 전단파 수신 트랜스듀서	190	: 온도 센서
300	: 건전도 평가부	310	: 탄성파 측정부
311	: 신호 발생기	312	: 수신파 처리부
313	: 오실로스코프	320	: TDR 측정부

330 : 전극 측정부 340 : 온도 측정부

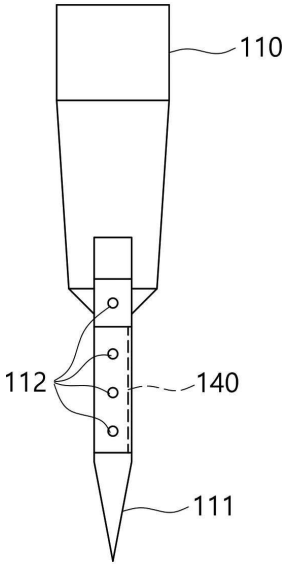
350 : 메인 프로세서

도면

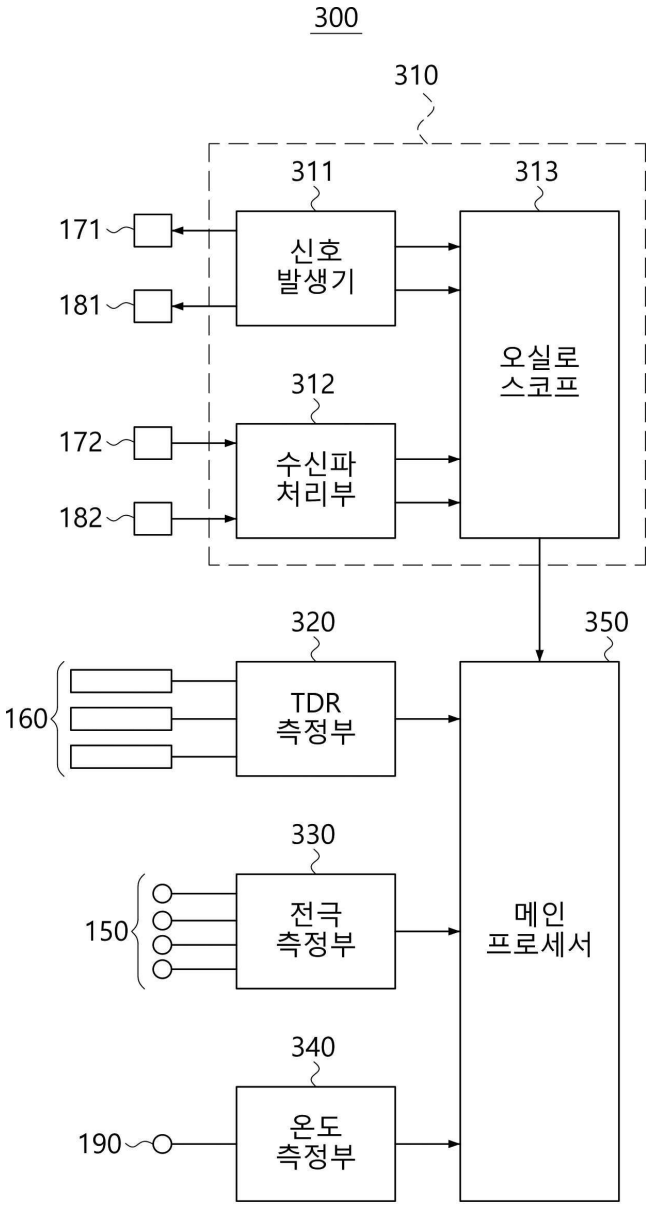
도면1



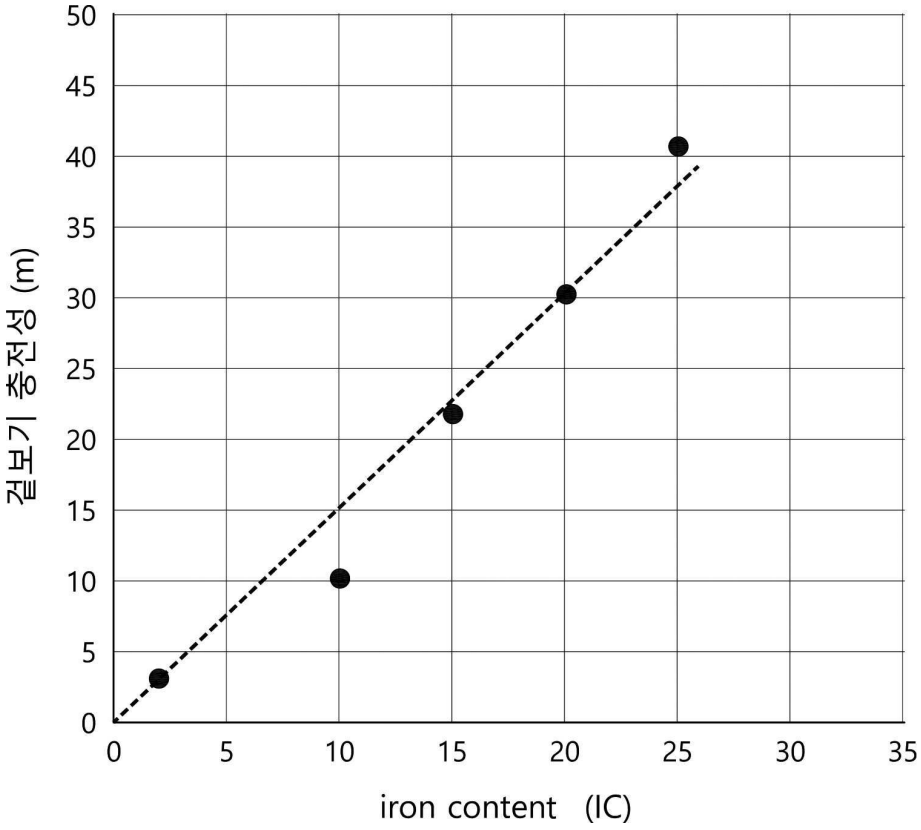
도면2



도면3


300
310
311
313
171
181
신호
발생기
오실로
스코프
312
172
182
수신파
처리부
320
350
160
TDR
측정부
330
150
전극
측정부
메인
프로세서
340
190
온도
측정부

도면4


50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
겉보기 충전성 (m)
0
5
10
15
20
25
30
35
iron content (IC)