



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년12월01일
(11) 등록번호 10-2334282
(24) 등록일자 2021년11월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01V 3/02 (2006.01) G01V 3/20 (2006.01)
G01V 3/38 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01V 3/02 (2013.01)
G01V 3/20 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0180944
(22) 출원일자 2020년12월22일
심사청구일자 2020년12월22일
(56) 선행기술조사문헌
KR100806207 B1
KR101269517 B1
KR1020170009609 A
KR101115468 B1

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
남명진
서울특별시 서초구 사임당로19길 10
김빛나래
서울특별시 광진구 자양로23길 34, 102호
유희은
인천광역시 계양구 새별로112번길 12 현대4차아파트 403동 1502호
(74) 대리인
유병욱, 오영진

전체 청구항 수 : 총 1 항

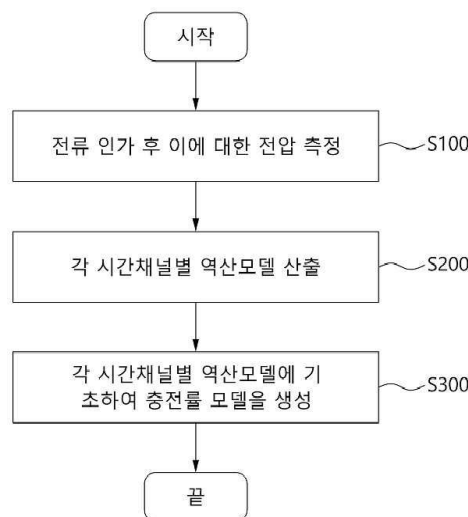
심사관 : 김창섭

(54) 발명의 명칭 시간영역 유도분극 탐사방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법은, 전류를 인가하여 지하 매질 내의 전기적 분극의 유도에 의한 과전압을 측정하여 유도분극 이상체의 분포를 파악하는 시간영역 유도분극 탐사방법에 관한 것이다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류
G01V 3/38 (2021.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1485017001
과제번호	ARQ201805034003
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	지중환경오염위해관리기술개발사업(R&D)
연구과제명	지중 유체의 이동경로 조사·평가 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

전류를 인가하여 지하 매질 내의 전기적 분극의 유도에 의한 과전압을 측정 하여 유도분극 이상체의 분포를 파악하는 시간영역 유도분극 탐사방법에 있어서,

소스전극을 통하여 전류를 인가한 후 미리 설정된 시간 이후에 인가를 중단 하고, 상기 전류에 의하여 획득되는 전압을 측정하는 단계;

상기 측정된 전압 중 유도분극에 의한 시간대별 과전압을 측정후, 이에 기초하여 다중시간채널별 역산모델을 각각 산출하는 단계;

상기 다중시간채널별 역산모델을 적분하여 충전율 모델을 생성하는 단계;를 포함하고,

상기 소스전극은 전기장이 안정될 때까지 직류 전류를 주입한 후 미리 설정 된 시간 이후에 전류공급을 중단하고,

상기 과전압은 상기 전류공급의 중단에 의하여 감소되는 감소전압에 기초하여 측정하며,

상기 다중시간채널별 역산모델을 각각 산출하는 단계는,

감쇠시간 동안의 복수 시간대별 전압을 측정하여 각각의 다중시간채널별 모델을 설정하고, 이를 역산하여 다중시간채널별 역산모델을 각각 산출하되,

상기 다중시간채널별로 전기비저항 모델을 생성하는 단계;

상기 다중시간채널별 전기비저항 모델과 실제 측정된 자료에 기초하여 측정 자료와 모델링 자료의 오차를 계산하는 단계;

상기 오차 및 시간채널 제한조건을 고려하여 하기 <수식 (5)>로 정의되는 목적함수를 생성하고, 상기 목적함수를 이용하여 각각의 다중시간채널별 모델을 동시에 역산하는 단계;

를 포함하고,

상기 다중시간채널별로 전기비저항 모델을 생성하는 단계는 시간에 비례하여 감소하는 과전압을 일정 시간 간격(dt)에 따라 측정하여 다중시간채널별 전기비저항 모델을 생성하며,

상기 충전율 모델을 생성하는 단계는 상기 역산된 다중시간채널별 전기비저항 모델 각각을 충전율 식에 대입하여 상기 충전율 모델을 생성하고,

상기 목적함수를 이용하여 각각의 다중시간채널별 모델을 동시에 역산하는 단계는 상기 목적함수로부터 하기 <수식 (8)>로 정의되는 관측식 행렬을 구하되, 상기 관측식 행렬은 다중시간채널별 전기비저항 모델을 동시에 역산하기 위한 집합 행렬로 볼 수 있고 i번째 반복계산 일 때 J_i , C , F , i 를 풀어쓰면 <수식 (9)>로 정의되는 시간영역 유도분극 탐사방법.

<수식 (5)>

$$\Phi(\mathbf{M}^k) = \|\Delta\mathbf{D} - \mathbf{J}\Delta\mathbf{M}\|^2 + \lambda^2[\|\mathbf{C}\mathbf{M}^k\|^2] + \Gamma^2[\|\mathbf{T}\mathbf{M}^k\|^2]$$

<수식 (5)>에서 $\Delta\mathbf{D}$ 는 측정 자료와 수치계산으로 계산된 자료의 잔여오차, \mathbf{J} 는 민감도 행렬, $\Delta\mathbf{M}$ 는 모델변수의 증분벡터, λ 는 라그랑지곱수, \mathbf{C} 는 거칠기 행렬, \mathbf{M}^k 는 k번째 모델, \mathbf{T} 는 IP(유도분극) 제한 조건, Γ 는 역산 블록에 주는 IP(유도분극) 가중치 행렬임.

<수식 (8)>

$$\begin{bmatrix} J \\ \lambda C \\ y^T \end{bmatrix} \Delta M = \begin{bmatrix} \Delta D \\ -\lambda C M^k \\ 0 \end{bmatrix}$$

<수식 (9)>

$$J_i = \begin{bmatrix} j_i^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j_i^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j_i^{nt-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & j_i^{nt} \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} I & -I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I & -I \end{bmatrix}, \quad \Gamma_i = \begin{bmatrix} \Gamma_i^1 \\ \Gamma_i^2 \\ \vdots \\ \Gamma_i^{nt-1} \end{bmatrix}^T$$

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유도분극 탐사방법에 관한 것으로, 구체적으로는 다중시간채널 시간영역 역산 알고리즘을 적용한 시간영역 유도분극 탐사방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 유도분극(induced polarization; IP) 탐사는 전기비저항 탐사시 발생하는 지하 매질의 분극 현상을 측정하여 매질의 구조를 파악하는 탐사법으로, 주로 산재성 광상이나 반암, 동광상, 광-관련 금 등 몇몇 중요한 광상탐사, 탄화수소 탐사를 위한 IP 검증, 환경분야에서 쓰레기 매립지나 오염된 지하수 탐사 등에 적용되어 왔다.

[0004] 특히 최근에는 다른 물리탐사법으로는 탐지하기 어려운, 유기 오염 물질 분포 파악에 대한 유도분극 탐사의 유용성이 입증되면서 관심도가 높아지고 있다.

[0005] IP 탐사는 전기비저항 탐사와 동시에 수행할 수 있다는 장점이 있으며, 측정 방법에 따라 시간영역 IP (time-domain IP) 탐사, 진동수영역 IP (frequency-domain IP) 탐사, 복소전기비저항(complex resistivity) 탐사, 광대역(혹은 빛띠) IP (spectral IP; SIP) 탐사 등으로 분류되어 왔다.

[0006] 또한 최근에는 전기비저항 탐사와 동시에 수행 가능한 기본적인 IP 탐사 방법 외에도, 코일 시스템에 기초한 탐사법을 이용하여 전자기 유도에 의한 분극 현상 측정을 통해 지하 매질의 정보를 파악하려는 시도로까지 확장되고 있다.

[0007] 특히, 종래의 시간영역 유도분극 탐사방법의 경우, 시간채널 유도분극 자료를 적분한 후 겹보기 충전율을 계산한 이후에 충전율 역산을 진행하여 유도분극을 탐사하였는데, 이는 송신 전류를 끊은 후 시간에 따라 과전압이 감쇠하는 IP 감쇠곡선의 경향성을 파악하기 어려우므로 더 정확한 IP 반응을 분석하는 데 한계가 있어 이를 극복하기 위한 방법의 연구가 필요한 상황이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2014-0013817호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법은 전술한 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 해결 과제를 목적으로 한다.
- [0011] 종래 시간영역 유도분극 탐사방법에서 일반적으로 적용되던 알고리즘의 문제점인 IP 감쇠곡선의 경향성을 파악 하기 어렵다는 점을 극복할 수 있는 다중시간채널 시간영역 역산 알고리즘을 적용한 시간영역 유도분극 탐사방 법을 제공하는 것이다.
- [0012] 또한 실제 측정 장비 시스템에 가까운 시간영역 IP 반응을 수치 모델링하고 각 시간채널 자료 간의 공간적 연관 성을 최대한 활용한 다중시간채널(multi time-channel) 시간영역 유도분극 역산법에 기초한 시간영역 유도분극 탐사방법을 제공하는 것이다.
- [0013] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기 재로부터 당해 기술분야에 있어서의 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법은, 전류를 인가하여 지하 매질 내의 전기적 분극의 유 도에 의한 과전압을 측정하여 유도분극 이상체의 분포를 파악하는 시간영역 유도분극 탐사방법에 관한 것으로, 소스전극을 통하여 전류를 인가한 후 미리 설정된 시간 이후에 인가를 중단하고, 상기 전류에 의하여 획득되는 전압을 측정하는 단계; 상기 전압 중 유도분극에 의한 시간대별 과전압을 측정후, 이에 기초하여 각 시간채 널별 역산모델을 산출하는 단계; 상기 각 시간채널별 역산모델을 적분하여 충전율 모델을 생성하는 단계;를 포 함한다.
- [0016] 상기 소스전극은 전기장이 안정될 때까지 직류 전류를 주입한 후 미리 설정된 시간 이후에 전류공급을 중단하고, 상기 과전압은 상기 전류공급의 중단에 의하여 감쇠되는 감쇠전압에 기초하여 측정하는 것이 바람직 하다.
- [0017] 상기 각 시간채널별 역산모델을 산출하는 단계는, 감쇠시간 동안의 복수 시간대별 전압을 측정하여 각각의 시간 채널별 모델을 설정하고, 이를 역산하여 각 시간채널별 역산모델을 산출하는 것이 바람직하다.
- [0018] 각 시간채널별 역산모델을 산출하는 단계는, 각 시간채널별 전기비저항 모델을 생성하는 단계; 상기 각 시간채 널별 전기비저항 모델과 실제 측정된 자료에 기초하여 측정자료와 모델링 자료의 오차를 계산하는 단계; 상기 오차 및 시간채널 제한조건을 고려하여 목적함수를 생성하고, 상기 목적함수를 이용하여 각각의 시간채널별 모 델을 동시에 역산하는 단계;를 포함하는 것이 바람직하다.
- [0019] 상기 목적함수는 하기의 수식으로 이루어지는 것이 바람직하다.

[0021] <수식>

$$\Phi(\mathbf{M}^k) = \|\Delta \mathbf{D} - \mathbf{J} \Delta \mathbf{M}\|^2 + \lambda^2 \|\mathbf{C} \mathbf{M}^k\|^2 + \Gamma^2 \|\mathbf{T} \mathbf{M}^k\|^2$$

[0022]

[0024] 여기에서 $\Delta \mathbf{D}$ 는 측정 자료와 수치계산으로 계산된 자료의 잔여오차, \mathbf{J} 는 민감도 행렬, $\Delta \mathbf{M}$ 은 모델변수의 증분 벡터, λ 는 라그랑지곱수, \mathbf{C} 는 거칠기 행렬, \mathbf{M}^k 는 k번째 모델, \mathbf{T} 는 IP(유도분극) 제한 조건, Γ 는 역산 블록에 주는 IP(유도분극) 가중치 행렬임

발명의 효과

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법은, 유도분극에 의한 시간대별 과전압을 측정된 후, 이에 기초하여 각 시간채널별 역산모델을 산출한 후, 이를 적분하여 충전율 모델을 생성하도록 구성됨으로써 종래 방식 대비 이상체 구조의 정확한 확인이 가능하다는 효과가 있다.

[0027] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당해 기술분야에 있어서의 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해되어질 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 시간영역 유도분극 탐사방법을 실시하기 위한 소스전극 및 측정부의 실시예를 도시한 도면이다.

도 2는 소스전극에 의한 전류인가 및 이에 따른 측정부의 전압검출결과를 도시한 그래프이다.

도 3은 도 2의 A부를 확대 도시한 그래프이다.

도 4는 종래의 시간영역 유도분극 탐사방법을 시계열적으로 도시한 플로우차트이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법을 시계열적으로 도시한 플로우차트이다.

도 6은 도 5의 각 시간채널별 역산모델 산출 단계를 좀 더 구체화하여 시계열적으로 도시한 플로우차트이다.

도 7은 종래의 탐사방법 및 본 발명의 탐사방법의 비교실험을 위한 수치모델을 도시한 도면이다.

도 8은 도 7의 수치모델에 의한 비교실험 결과를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0031] 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 발명의 사상을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 발명의 사상이 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 됨을 유의해야 한다.

[0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법을 설명하기에 앞서, 본 발명의 기술적 요지를 명확히 하기 위하여 먼저 종래의 시간영역 유도분극 탐사방법에 대하여 도 1 내지 도 6을 참조하여 설명하도록 한다.

[0034] 유도분극 현상은 외부 전기장에 의해 전류가 흐를 때, 지하 매질의 공극을 채우고 있는 지층수의 이온들이 유도분극 이상체에 축적되면서(전하가 충전되면서) 나타나는 현상이다.

[0035] 외부에서 방향과 크기가 일정한 정전기장(electrostatic field)이 걸리면, 유도분극 이상체 내에서는 이상체의 전기적 용량만큼 공극수 내의 이온들이 이상체 주변에 쌓여 평형을 이루게되며, 외부 전기장이 소멸하면 충전된 이온들이 방전되는 과정에서 전류의 흐름이 생긴다.

[0036] 만약 외부 전기장이 일정한 진동수로 진동할 경우, 극성이 바뀔 때마다 극성에 상응하는 방향에 맞도록 충전되기 위해 이온의 이동이 발생한다.

[0037] 이와 같이 외부 송신원에 의해 발생하는 전기장에 의해 충전이 일어나게 된다는 것은 결과론적으로 매질 내에서 전기적 분극이 유도된 것이며, 이러한 유도분극 현상은 과전압을 야기하므로 이러한 과전압을 측정하여 유도분극 이상체의 분포 등을 파악하는 것이 유도분극 탐사이다.

[0038] 즉, 유도분극 탐사를 위해서는 도 1에 도시된 바와 같이 소스 전극(10)을 설치하여 매질 내의 전류 흐름을 야기시키고, 측정부(20)가 지하 매질 내의 전기적 분극의 유도에 의한 과전압을 측정하도록 구성된다.

[0039] 특히 시간영역 유도분극 탐사방법의 경우 전기비저항 탐사와 같이 직류 전류를 송신원으로 하여 유도분극을 탐사하는데, 이러한 시간영역 유도분극 탐사에서는 도 2에 도시된 바와 같이 소스 전극(10)이 전기장이 안정될 때까지의 직류 전류를 주입하다가 전류 공급을 중단하고, 측정부(20)에서 과전압으로 나타나는 유도분극 반응을 측정하게 된다.

[0040] 전류 전극을 통하여 동일한 방향으로 동일한 크기의 전류를 충분히 오랫동안 흘려주면, 매질내 충전율 이상체에서 발생하는 유도 분극 현상에 의한 과전압(V_p)이 발생하고, 이로 인하여 매질이 비충전성 매질일 경우 측정되는 전압(V) 보다 충전성 매질로 인해 발생한 측정전압(V_o)이 높아지게 된다.

[0041] 송신 전류를 끊을 경우 과전압으로 인해 곧바로 전압이 0이 되지 않고 짧은 시간 동안 Vo에서 감소하다가 0이 되며, 이때 과전압(Vp)와 측정전압(Vo)의 비를 충전율(η)로 정의하며, 아래 수식 (1)로 표현할 수 있다.

[0043] <수식 (1)>

$$\eta = \frac{V_p}{V_o}$$

[0044]

[0046] 이와 같이 과전압을 측정전압으로 정규화한 충전율을 이용하면 전선의 교차 결합이나 바탕전위 같은 잡음을 줄여 신호대잡음비(S/N)를 높일 수 있는 장점이 있다.

[0047] 그러나 전류를 흘려 보내주는 순간의 전압(V0)을 측정하거나 전류를 끊는 순간에 과전압(Vp)을 측정하는 것은 기계적으로 매우 어렵기 때문에, 실제 과전압(Vp) 값을 측정하는 대신에 도 3에 도시된 바와 같이 과전압의 감쇠가 일어나는 동안 일정 시간 간격(t1부터 t2까지)에서 과전압(Vt)을 측정하거나, 과전압 곡선 아래 적당한 시

간 동안의 면적(A)을 적분으로 구하고 하기 수식 (2)를 이용하여 겉보기 충전율(η_a)을 계산할 수 있다.

[0049] <수식 (2)>

$$\eta_a = \frac{1}{V_o} \int_{t_1}^{t_2} V_p(t) dt = \frac{A}{V_o}$$

[0050]

[0052] 한편, 종래의 시간영역 유도분극 탐사방법의 경우 도 4에 도시된 바와 같이 각 시간채널의 IP 자료를 적분하여 겉보기 충전율을 계산하는 단계(S10)와, 전기비저항 모델 민감도 및 측정자료와 모델링 자료의 오차를 계산하는 단계(S20)와, 충전율을 역산하는 단계(S30)에 의하여 구현되었다.

[0053] 즉, 측정된 시간채널별 과전압을 적분하여 겉보기 충전율 자료를 얻고 역산을 진행하였는데, 이 경우 IP 감쇠 곡선의 경향성을 알 수 없으며 실제 시간영역 IP 측정 매커니즘과 차이가 있기 때문에 해석 정확성이 다소 떨어진다는 문제점이 있다.

[0054] 본 발명은 상술한 종래의 시간영역 유도분극 탐사방법의 문제점을 극복하기 위한 것으로, 도 5에 도시된 바와 같이 진행된다.

[0055] 먼저, 소스전극(10)을 통하여 전류를 인가한 후 미리 설정된 시간 이후에 인가를 중단하고, 상기 전류에 의하여 획득되는 전압을 측정하는 단계(S100)가 수행되며, 이때 소스전극(10)은 상술한 바와 같이 전기장이 안정될 때까지 직류 전류를 주입한 후 미리 설정된 시간 이후에 전류공급을 중단하도록 동작한다.

[0056] 이후, 측정된 전압 중 유도분극에 의한 시간대별 과전압을 측정 후, 이에 기초하여 각 시간채널별 역산모델을 산출하는 단계(S200)가 수행된다.

[0057] 이때 과전압은 상술한 바와 같이 소스전극(10)에서의 전류공급의 중단에 의하여 감쇠되는 감쇠전압에 기초하여 측정하게 되며, 이때 측정부(20)에서는 시간에 비례하여 감쇠하는 과전압을 일정 시간 간격(dt)에 따라 측정하며, 총 측정시간 동안 측정하게 되는 횟수를 nt개하고 할 경우, 각 시간채널별 자료벡터(D)는 하기 수식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

[0059] <수식 (3)>

$$D = \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_{nt} \end{bmatrix}$$

[0060]

[0061] 여기서 d_{it} 는 it번째 시간채널에서의 자료 벡터임

[0063] 이러한 감쇠시간 동안의 복수 시간대별 전압을 측정하여 각각의 시간채널별 모델을 설정하고, 이를 역산하여 각 시간채널별 역산모델을 산출하게 되는데, 시간채널별 모델은 하기 수식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

[0065] <수식 (4)>

$$M = \begin{bmatrix} m_1 \\ \vdots \\ m_{nt} \end{bmatrix}$$

[0066]

[0067] m_{it} 는 it 번째 시간채널 전기비저항 모델임

[0069] 한편 각 시간채널별 역산모델을 산출하는 단계(S200)는 도 5에 도시된 바와 같이 각 시간채널별 전기비저항 모델을 생성하는 단계(S210), 상기 각 시간채널별 전기비저항 모델과 실제 측정된 자료에 기초하여 측정자료와 모델링 자료의 오차를 계산하는 단계(S220) 및 상기 오차 및 시간채널 제한조건을 고려하여 목적함수를 생성하고, 상기 목적함수를 이용하여 각각의 시간채널별 모델을 동시에 역산하는 단계(S230)로 세분화할 수 있다.

[0070] 즉 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법의 경우 충전 현상 과정에 짧지만 시간 차이가 발생한다는 전제 하에 이를 시간 경과처럼 볼 수 있다는 점에 착안하여 시간채널별 전기비저항 모델을 각각 역산한 후 이를 충전율 식에 대입하여 충전율을 구하도록 하였다.

[0071] 이 때 이를 단순히 독립적으로 역산하였을 때 역산 해상도의 한계 때문에 발생하는 오차를 최소화하기 위해, 연계된 전기비저항 모델들을 동시에 역산할 수 있도록 역산 행렬을 구성하였다.

[0072] 자료오차에 공간적 2차 미분인 평활화 제한조건을 더한 기본적인 목적함수에 역산결과를 안정시키기 위하여 전기비저항 시간경과 역산법에 기초하여 서로 다른 시간채널별 전기비저항 자료 역산 시 해당 모델들이 공간적으로 같다는 유도분극 제한조건을 더했다.

[0073] 상술한 목적함수(Φ)는 하기 수식 (5)로 정의될 수 있다.

[0075] <수식 (5)>

$$\Phi(M^k) = \|\Delta D - J\Delta M\|^2 + \lambda^2 [\|CM^k\|]^2 + \Gamma^2 [\|TM^k\|]^2$$

[0076]

[0078] 상기 수식 (5)에서 ΔD 는 측정 자료와 수치계산으로 계산된 자료의 잔여오차, J 는 민감도 행렬, ΔM 는 모델변수의 증분벡터, λ 는 라그랑지곱수, C 는 거칠기 행렬, M^k 는 k 번째 모델이며, 이 역시 충전 전과 후의 모델 데이터의 집합행렬로 나타낸다.

[0079] T 는 두 전기비저항 모델 간에 기본적인 매질 구조가 크게 바뀌지 않는다는 전제 하에 두 모델이 지질학적으로 동일한 위치에 있는 역산 블록이라는 조건을 주기위한 IP 제한 조건이며, 서로 인접한 시간채널 전기비저항 모델(it , $it+1$ 번째) 역산 블록을 의미하는 1로 이루어진 대각행렬 t_{it} 과 -1로 이루어진 대각행렬 t_{it+1} 로 서로 공간적으로 연결지어 주게 되며, 이를 수식으로 정리해보면 하기 수식 (6) 및 수식 (7)과 같다.

[0081] <수식 (6)>

$$T = [t_{it} \quad t_{it+1}]$$

[0082]

[0084] <수식 (7)>

$$t_{it} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad t_{it+1} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

[0085]

[0087] Γ 는 역산 블록에 주는 IP 가중치 행렬($\Gamma = [\gamma_1 \ \gamma_2 \ \dots \ \gamma_i \ \dots \ \gamma_{nb}]$)로 역산 모델의 전체 블록 개수

nb개 중 ib번째 역산 블록이 충전율 이상값을 가질 가능성이 높은 매질일 때 γ_i 를 작은 값을 주고, 충전율 이상이 있을 확률이 낮을 때는 상대적으로 큰 값을 주어 배경 매질 블록에 비해 충전 전과 후의 차이를 잘 보여줄 수 있게 하는 가중 역산도 고려할 수 있도록 하였다.

[0088] 이와 같은 목적함수로부터 하기 수식 (8)과 같은 관측식 행렬을 구할 수 있다.

[0090] <수식 (8)>

$$\begin{bmatrix} \mathbf{J} \\ \lambda \mathbf{C} \\ \gamma \mathbf{T} \end{bmatrix} \Delta \mathbf{M} = \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{D} \\ -\lambda \mathbf{C} \mathbf{M}^k \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

[0091]

[0093] 이는 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법에 적용되는 알고리즘에서 시간채널 전기비저항 모델을 동시에 역산하기 위한 집합 행렬로 볼 수 있으며 i번째 반복계산 일 때 $\mathbf{J}_i, \mathbf{C}, \mathbf{F}, \Gamma_i$ 를 풀어쓰게 되면 하기 수식 (9)와 같다.

[0095] <수식 (9)>

$$\mathbf{J}_i = \begin{bmatrix} j_i^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j_i^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j_i^{nt-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & j_i^{nt} \end{bmatrix},$$

[0096]

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c \end{bmatrix},$$

[0097]

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & -\mathbf{I} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{I} & -\mathbf{I} \end{bmatrix},$$

[0098]

$$\Gamma_i = \begin{bmatrix} \Gamma_i^1 \\ \Gamma_i^2 \\ \vdots \\ \Gamma_i^{nt-1} \end{bmatrix}^T,$$

[0099]

[0101] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법의 유용성을 확인하기 위하여 도 7의 수치 모델을 설정하여 종래 방식의 탐사방식 및 본 발명의 탐사방식의 결과를 확인하였다.

[0102] 시간영역 유도분극 자료의 총 측정시간은 2초로 정했으며 0.01 초를 시작으로 0.33 초의 간격을 둔 총 7개의 시간채널 자료가 만들어지게 했으며, 현장 조건을 고려하기 위해 1% 가우시안 랜덤 잡음을 추가하였다.

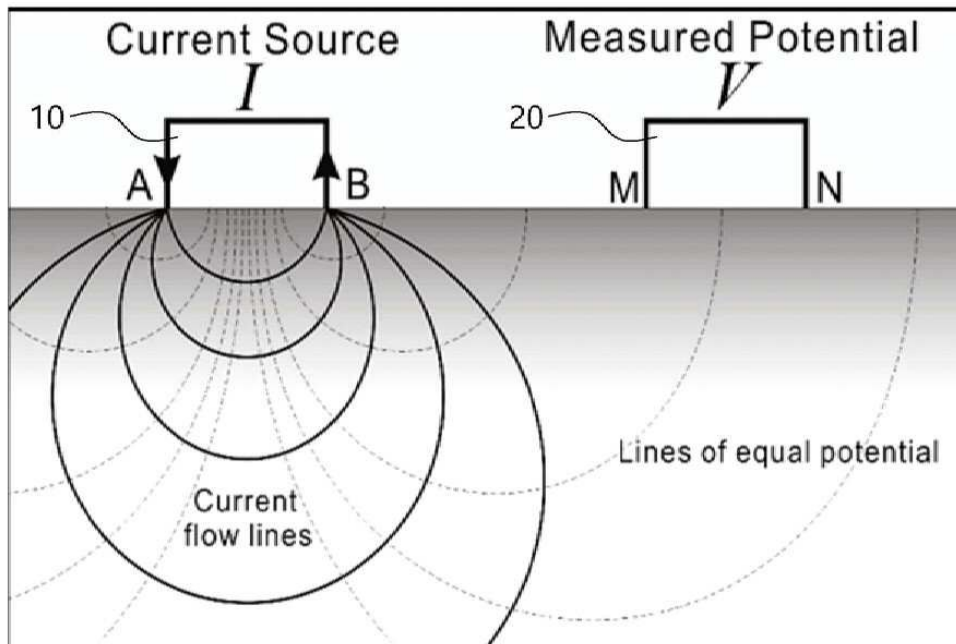
[0103] 기존 시간영역 유도분극 역산 기법을 이용할 때는 무작위 잡음으로 인한 영향이 중첩되면서 역산 결과에서 도 8(a)에 도시된 바와 같이 이상체의 형태를 확인하기 힘들다.

[0104] 하지만 본 발명의 일 실시예에 따른 시간영역 유도분극 탐사방법을 적용할 경우 도 8(b)에 도시된 바와 같이 2개의 이상체가 잘 나타나는 것을 확인할 수 있다.

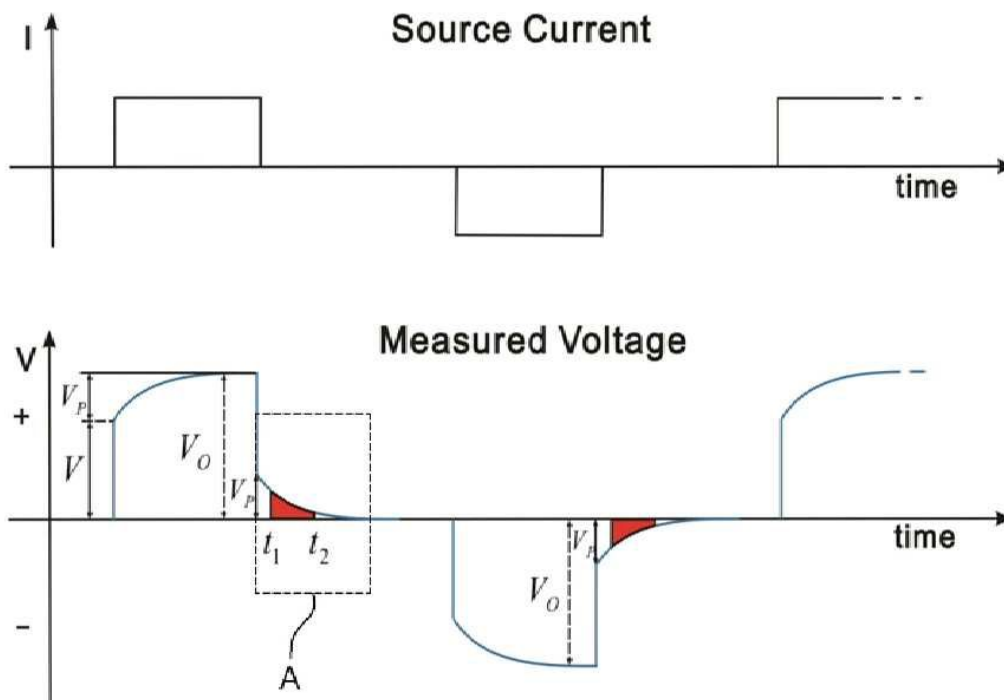
[0106] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것이 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당해 기술분야에 있어서의 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

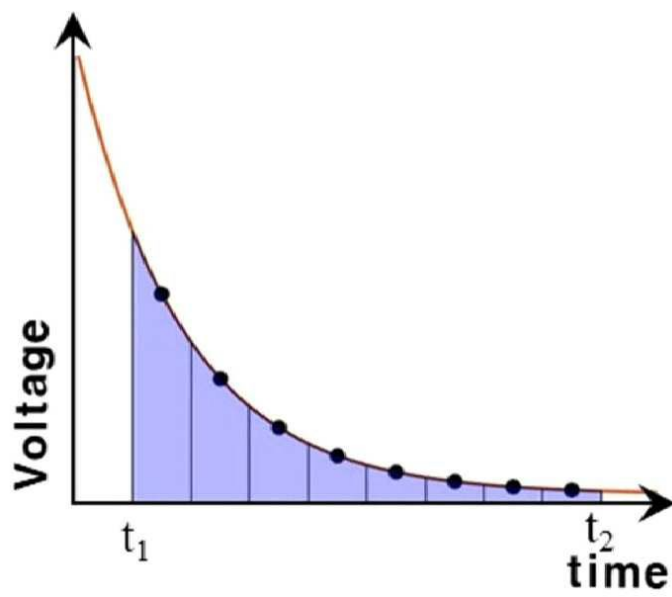
도면1



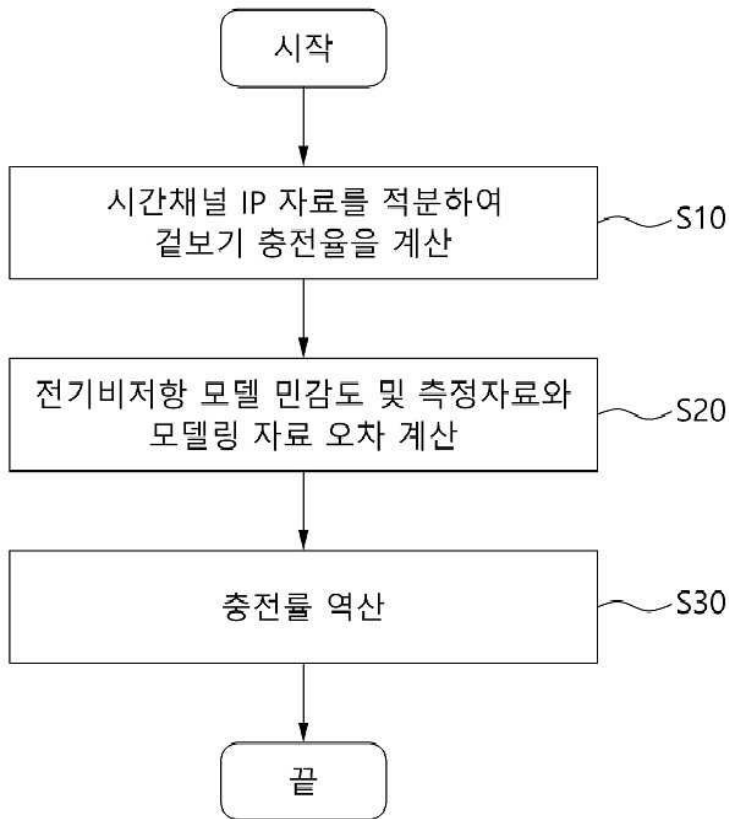
도면2



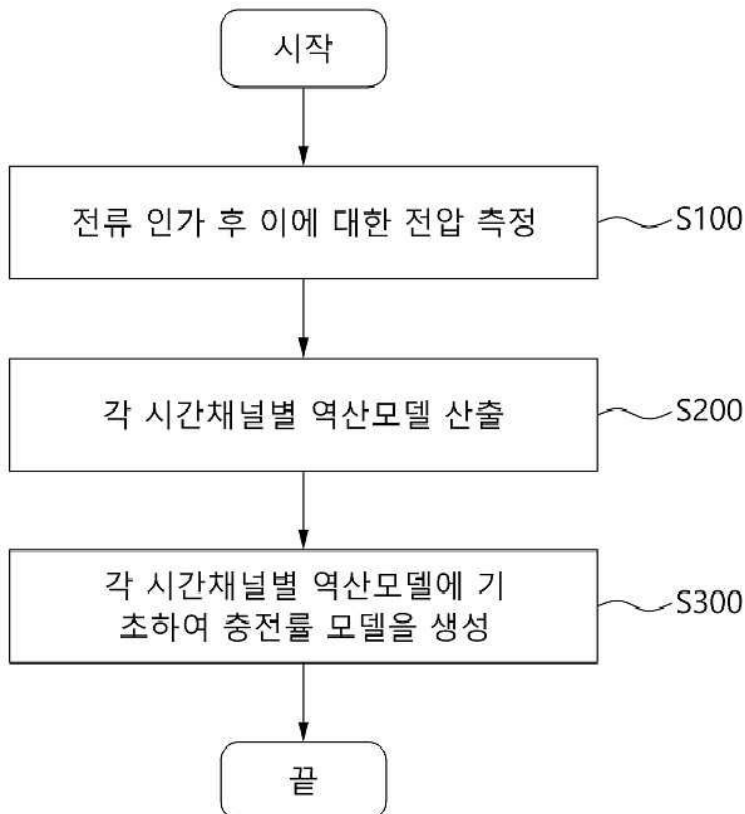
도면3



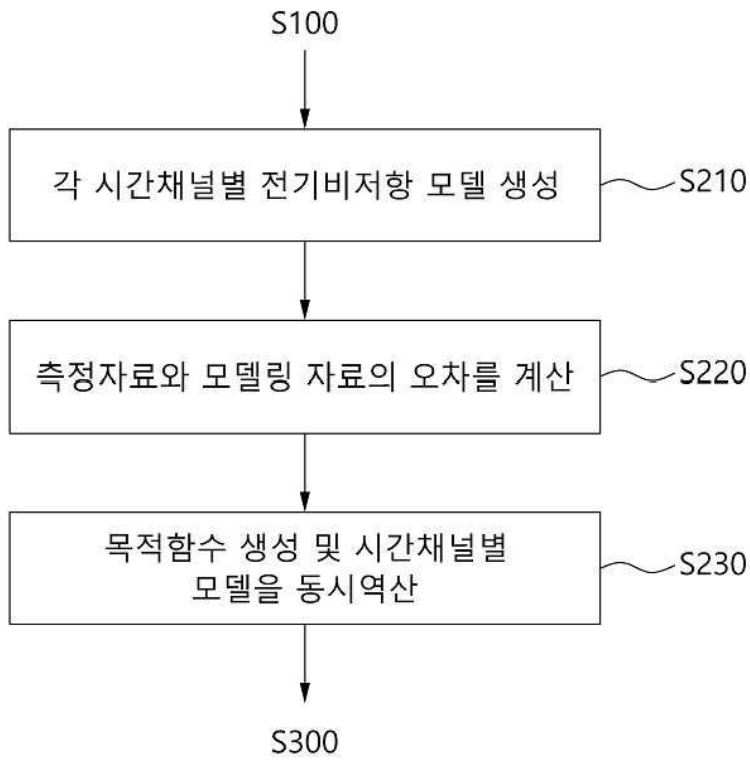
도면4



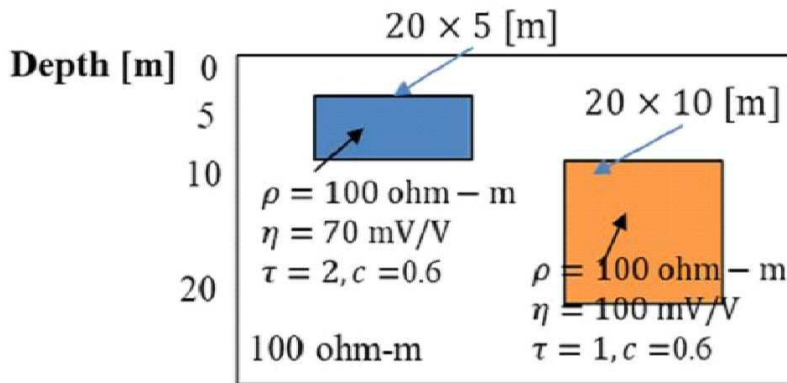
도면5



도면6



도면7



도면8

