



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2014년08월29일  
 (11) 등록번호 10-1436259  
 (24) 등록일자 2014년08월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01N 27/02 (2006.01) G01N 33/24 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2013-0090252  
 (22) 출원일자 2013년07월30일  
 심사청구일자 2013년07월30일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR101082264 B1  
 KR101203085 B1  
 JP2006284519 A  
 KR1020030047158 A

(73) 특허권자  
 한국지질자원연구원  
 대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)  
 (72) 발명자  
 박삼규  
 대전광역시 유성구 가정로 43 한울아파트 108동 1303호  
 신승욱  
 대전광역시 유성구 신성로 93 301호  
 (74) 대리인  
 정상규

전체 청구항 수 : 총 6 항

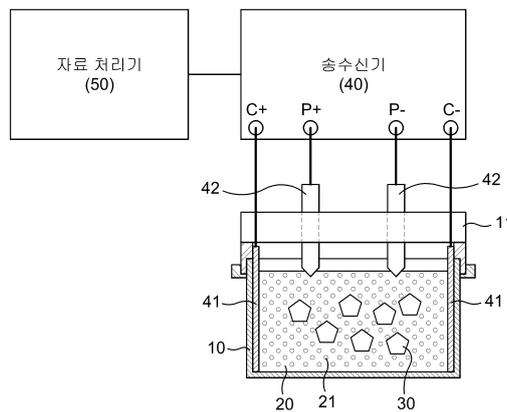
심사관 : 이학왕

(54) 발명의 명칭 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치

**(57) 요약**

본 발명은 재연물과 전해질 수용액이 담긴 시료 홀더에 분쇄된 황화광물을 혼합하고 전류 전극과 비분극 전극을 통해 시료 홀더에 대하여 광대역 유도분극을 측정하며 그 결과를 통해 황화광물의 함량을 정확하게 산출해내는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치에 관한 것으로, 전해질 수용액과 광물 시료가 혼합되어 채워지는 시료 홀더; 상기 시료 홀더에 거치되어 송신 전류를 흘려 보내는 전류 전극; 상기 시료 홀더에 거치되어 전위를 측정하는 비분극 전극; 상기 전류 전극에 측정을 위한 송신 전류를 공급하고 상기 비분극 전극을 통해 측정된 전위를 수신하는 송수신기; 및 상기 전류 전극의 송신 전류 파형과 상기 비분극 전극을 통해 측정된 전위의 파형 차이에 따른 위상값을 통해 상기 시료 홀더 내 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하는 자료 처리기; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

**대표도 - 도1**



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NP2011-033

부처명 지식경제부

연구사업명 에너지자원기술개발사업

연구과제명 광대역 유도분극을 이용한 정밀 탐광기술 개발

기여율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2011.09.01 ~ 2014.08.31

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

전해질 수용액과 광물 시료가 혼합되어 채워지는 시료 홀더;

상기 시료 홀더에 거치되어 송신 전류를 흘려 보내는 전류 전극;

상기 시료 홀더에 거치되어 전위를 측정하는 비분극 전극;

상기 전류 전극에 측정을 위한 송신 전류를 공급하고 상기 비분극 전극을 통해 측정된 전위를 수신하는 송수신기; 및

상기 전류 전극의 송신 전류 파형과 상기 비분극 전극을 통해 측정된 전위의 파형 차이에 따른 위상값을 통해 상기 시료 홀더 내 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하는 자료 처리기; 를 포함하며,

상기 송수신기는 광대역 주파수 범위에서 동작하고,

상기 자료 처리기는 임계 주파수에서의 위상값을 통해 상기 시료 홀더 내 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하되,

상기 자료 처리기는 광물 시료의 입자크기별 위상값을 평균하여 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하며, 다음의 수학적 식 1을 통해 방연석의 함량을 산출하는 것을 특징으로 하는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치.

수학적 식 1:

$$Y = -0.0366X - 0.0035$$

여기에서 독립변수 X는 임계주파수에서의 위상이고, 종속변수 Y는 방연석의 함량임.

**청구항 2**

전해질 수용액과 광물 시료가 혼합되어 채워지는 시료 홀더;

상기 시료 홀더에 거치되어 송신 전류를 흘려 보내는 전류 전극;

상기 시료 홀더에 거치되어 전위를 측정하는 비분극 전극;

상기 전류 전극에 측정을 위한 송신 전류를 공급하고 상기 비분극 전극을 통해 측정된 전위를 수신하는 송수신기; 및

상기 전류 전극의 송신 전류 파형과 상기 비분극 전극을 통해 측정된 전위의 파형 차이에 따른 위상값을 통해 상기 시료 홀더 내 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하는 자료 처리기; 를 포함하며,

상기 송수신기는 광대역 주파수 범위에서 동작하고,

상기 자료 처리기는 임계 주파수에서의 위상값을 통해 상기 시료 홀더 내 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하되,

상기 자료 처리기는 광물 시료의 입자크기별 위상값을 평균하여 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하며, 다음의 수학적 식 2를 통해 황철석의 함량을 산출하는 것을 특징으로 하는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치.

수학적 식 2:

$$Y = -0.0419X - 0.1884$$

여기에서 독립변수 X는 임계주파수에서의 위상이고, 종속변수 Y는 황철석의 함량임.

**청구항 3**

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 전해질 수용액에는 염화나트륨(NaCl)이 포함되며, 재연물이 혼합되어 전해질 수용액에 의해 포화되는 것을 특징으로 하는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치.

**청구항 4**

제 3항에 있어서,

상기 염화나트륨은 0.05M 내지 0.15M이며, 상기 재연물은 유리구슬인 것을 특징으로 하는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치.

**청구항 5**

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 전류 전극은 상기 시료 홀더의 내벽에 각각 위치되며, 상기 비분극 전극은 상기 전류 전극의 사이에 각각 위치되는 것을 특징으로 하는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치.

**청구항 6**

제 5항에 있어서,

상기 전류 전극은 메쉬 형상을 갖는 면상의 구리망으로 형성되는 것을 특징으로 하는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

삭제

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 재연물과 전해질 수용액이 담긴 시료 홀더에 분쇄된 황화광물을 혼합하고 전류 전극과 비분극 전극을 통해 시료 홀더에 대하여 광대역 유도분극을 측정하며 그 결과를 통해 황화광물의 함량을 정확하게 산출해내는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 야외에서 두 개의 전극을 땅에 설치하고, 전극으로 전압을 가하면 일정한 방향으로 전기장이 형성된다. 이 전기장은 무질서하게 분포하고 있던 땅속에 존재하는 물질들의 전기쌍극자를 전기장과 나란한 방향으로 정렬시키는 현상이 발생되며, 이러한 현상을 분극(Polarization)이라 한다.

[0003] 분극이 일어나는 정도는 물질마다 다르기 때문에 역으로 분극 정도의 차이로부터 지하 물질을 조사하는 방법을 유도분극 탐사(Induced polarization exploration)라고 한다.

- [0004] 특히 다양한 유도분극 탐사 방법들 중에서 다중의 주파수를 가지는 전압을 땅속으로 가해 다중 주파수영역에서 위상과 진폭을 측정함으로써 유도되는 분극의 차이를 파악하는 기술을 광대역 유도분극 탐사라 하고, 현재까지 개발된 유도분극 탐사 방법들 중 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다.
- [0005] 한편 광산활동의 결과로 발생하는 폐석, 광미 등과 같은 광산폐기물, 채광에 의해 형성된 광산채굴적 및 갱도, 도로 건설로 인해 발생하는 절취사면과 터널 등에 황화광물(黃化鑛物)이 존재하는 경우 이 황화광물이 산화됨에 따라 산성배수가 발생되고 이 산성배수는 토양 및 지하수로 유입되어 환경오염의 일요인으로 지적되고 있다.
- [0006] 더욱이, 황화광물의 지배적인 황화물은 황철석(FeS<sub>2</sub>)의 산화반응은 발열반응으로서 황철석 1mol이 산화될 때 1409kJ의 열이 발생되며 온도가 70℃를 상회하는 것으로 보고되고 있다. 이에 따라, 황철석이 산화되는 주변여건에 의하여 자연발화의 위험성도 존재한다.
- [0007] 산성배수의 발생을 제어 또는 처리하기 위해서는 황화광물이 존재하는 시설 즉, 광산폐기물 적치장, 절취사면, 갱도 등의 주변 환경에 따라 황화광물의 산화속도, 산화기간, 산화량 등에 대해서 정량적인 분석이 이루어져야 할 뿐만 아니라 이를 데이터베이스화하여 상기 시설의 설치 및 유지관리에 이용되어야 한다.
- [0008] 그러나, 현재까지는 화학적 입장에 기초하여 황화광물의 산발생능력 또는 산중화능력을 비교하는 등의 정성적인 분석만이 이루어지고 있어, 황화광물을 포함하는 금속광물에 대한 정확한 함량 측정이 어려워 정량적인 분석과 데이터베이스의 축적이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0009] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 그 목적은 재연물과 전해질 수용액이 담긴 시료 홀더에 분쇄된 황화광물을 혼합하고 전류 전극과 비분극 전극을 통해 시료 홀더에 대하여 광대역 유도분극을 측정하며 그 결과를 통해 황화광물의 함량을 정확하게 산출해내는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치를 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0010] 본 발명에 따르면, 전해질 수용액과 광물 시료가 혼합되어 채워지는 시료 홀더; 상기 시료 홀더에 거치되어 송신 전류를 흘려 보내는 전류 전극; 상기 시료 홀더에 거치되어 전위를 측정하는 비분극 전극; 상기 전류 전극에 측정을 위한 송신 전류를 공급하고 상기 비분극 전극을 통해 측정된 전위를 수신하는 송수신기; 및 상기 전류 전극의 송신 전류 파형과 상기 비분극 전극을 통해 측정된 전위의 파형 차이에 따른 위상값을 통해 상기 시료 홀더 내 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하는 자료 처리기; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치를 제공한다.
- [0011] 바람직하게는, 상기 전해질 수용액에는 염화나트륨(NaCl)이 포함되며, 재연물이 혼합되어 전해질 수용액에 의해 포화되는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 바람직하게는, 상기 염화나트륨은 0.05M 내지 0.15M이며, 상기 재연물은 유리구슬인 것을 특징으로 한다.
- [0013] 바람직하게는, 상기 전류 전극은 상기 시료 홀더의 내벽에 각각 위치되며, 상기 비분극 전극은 상기 전류 전극의 사이에 각각 위치되는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 바람직하게는, 상기 전류 전극은 메쉬 형상을 갖는 면상의 구리망으로 형성되는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 바람직하게는, 상기 송수신기는 광대역 주파수 범위에서 동작하고, 상기 자료 처리기는 임계 주파수에서의 위상값을 통해 상기 시료 홀더 내 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 바람직하게는, 상기 자료 처리기는 광물 시료의 입자크기별 위상값을 평균하여 광물 시료의 황화광물 함량을 산출하며, 다음의 수학적 식 1을 통해 방연석의 함량을 산출하는 것을 특징으로 한다. 수학적 식 1:  $Y = -0.0366X - 0.0035$ , 여기서 독립변수 X는 임계주파수에서의 위상이고, 종속변수 Y는 방연석의 함량임.
- [0017] 바람직하게는, 상기 자료 처리기는 광물 시료의 입자크기별 위상값을 평균하여 광물 시료의 황화광물 함량을 산

출하며, 다음의 수학식 2를 통해 황철석의 함량을 산출하는 것을 특징으로 한다. 수학식 2:  $Y = -0.0419X - 0.1884$ , 여기서 독립변수 X는 임계주파수에서의 위상이고, 종속변수 Y는 황철석의 함량임.

**발명의 효과**

- [0018] 본 발명에 따르면, 수용액에 포화된 황화광물에 대하여 인위적인 광대역 유도분극을 측정하고 그 결과를 통해 황화광물의 함량을 정확하게 산출해낼 수 있게 된다.
- [0019] 또한 현장에서의 시료 채취를 통해 실험실과 같은 실내 환경에서도 현장과 같은 수준의 시료 환경을 맞추고 측정이 이루어지기 때문에 측정오차가 적고 보다 정밀한 황화광물 함량의 측정이 가능하게 되는 효과도 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1은 본 발명에 따른 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치를 설명하기 위한 도면.
- 도 2는 본 발명에 따른 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 방법을 설명하기 위한 도면.
- 도 3은 방연석의 입자 크기별 함량과 위상과의 관계를 설명하기 위한 도면.
- 도 4는 방연석을 각 함량별로 입자크기를 평균하여 위상과 함량의 상관관계를 나타내는 도면.
- 도 5은 황철석의 입자 크기별 함량과 임계주파수에서의 위상과의 관계를 설명하기 위한 도면.
- 도 6은 황철석을 각 함량별로 입자크기를 평균하여 위상과 함량의 상관관계를 나타내는 도면.
- 도 7은 광석의 광대역 유도분극 측정결과를 나타내는 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] 이하 본 발명에 따른 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치에 대하여 첨부한 도면을 참고하여 상세히 설명한다.
- [0022] 본 발명은 금속광물 자원탐사에 활용하기 위하여 광대역 유도분극(Spectral induced polarization) 측정 기법을 이용하여 황화광물의 함량을 산출하기 위한 것이다.
- [0023] 도 1은 본 발명에 따른 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- [0024] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치는 전해질 수용액(20)과 광물 시료(30)가 혼합되어 채워지는 시료 홀더(10)와, 상기 시료 홀더(10)에 거치되어 송신 전류를 흘려 보내는 전류 전극(41)과, 상기 시료 홀더(10)에 거치되어 전위를 측정하는 비분극 전극(42)과, 상기 전류 전극(41)에 측정을 위한 송신 전류를 공급하고 상기 비분극 전극(42)을 통해 측정된 전위를 수신하는 송수신기(40)와, 상기 전류 전극(41)의 송신 전류 파형과 상기 비분극 전극(42)을 통해 측정된 전위의 파형 차이에 따른 위상값을 통해 상기 시료 홀더(10) 내 광물 시료(30)의 황화광물 함량을 산출하는 자료 처리기(50)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0025] 상기 시료 홀더(10)는 전해질 수용액(20)이 채워질 수 있는 내부 공간을 가지며, 외부 관찰이 용이하도록 투명 아크릴 재질로 이루어질 수 있다.
- [0026] 이 시료 홀더(10)의 내부에서 양측 내벽에는 각각 전류 전극(41)이 부착되며, 이 전류 전극(41)들의 사이에는 2개의 비분극 전극(42)이 위치되게 된다. 여기에서 참조번호 11은 지지구이며 상기 비분극 전극(42)을 지지하게 된다. 바람직하게는 2개의 비분극 전극(42)은 시료 홀더(10)의 양측 내벽에 부착된 전류 전극(41) 사이의 길이를 3등분하여 1/3과 2/3 지점에 위치되도록 상기 지지구(11)에 의해 지지될 것이다. 여기에서 상기 전류 전극(41)은 상기 송수신기(40)로부터 전달되는 전류를 전해질 수용액(20)에 잘 흘려보내고 접촉 저항을 낮출 수 있도록 메쉬 형상을 갖는 면상의 구리망으로 형성될 수 있다.
- [0027] 상기 전해질 수용액(20)에는 물과 염화나트륨(NaCl)이 포함될 것이다. 이 전해질 수용액(20)을 0.05M 내지 0.15M, 바람직하게는 1M의 염화나트륨 수용액으로 만들어 시료 홀더(10)에 채우게 됨으로써 전류가 흐를 수 있도록 하여 유도분극의 측정이 가능해질 것이다.

- [0028] 여기에서 상기 시료 홀더(10)에는 재연물(21)이 포함될 것이다. 재연물(21)은 전류가 흐르더라도 유도분극 현상이 발생되지 않는 재질로 이루어지며, 다수의 재연물(21)이 상기 전해질 수용액(20)에 혼합됨으로써 실제 현장의 암석 환경과 유사한 조건을 만들 수 있게 된다. 유도분극의 측정을 위해 전해질 수용액(20)에 전류를 흘려 보내게 되면, 분쇄되어 투입된 광물 시료(30)는 황화광물이기 때문에 유도분극 현상이 일어나게 되지만 상기 재연물(21)은 황화광물이 아니기 때문에 유도분극 현상이 일어나지 않게 되고 위상 또한 0이 될 것이다. 따라서 상기 재연물(21)은 황화광물과 관계없는 실제 현장의 암석과 같이 작용하게 되며, 이러한 실험 환경에서는 상기 재연물(21)에 섞인 황화광물의 함량에 따라 유도분극의 위상 크기가 달라지는 것을 측정할 수 있게 될 것이다.
- [0029] 따라서 상기 재연물(21)은 절연체로 이루어질 수 있으며, 특히 석영질 물질로 이루어진 재질로 구성될 수 있는 것이다. 본 발명에서는 실제 암석 환경과 최대한 유사하도록 유리 구슬로 재연물(21)을 구성하게 되며, 전해질 수용액(20)으로 해당 유리 구슬을 포화시킨 후 분쇄된 광물 시료(30)를 혼합하여 광대역 유도분극을 측정하게 된다. 이때 분쇄된 광물 시료는 혼합에 의해 유리 구슬의 사이에 끼워져서 실제 암석 사이에 끼인 황화광물과 동일한 환경을 구성하게 될 것이다. 여기에서 상기 유리 구슬의 크기는 0.75~1.0mm 일 수 있다.
- [0030] 상기 송수신기(40)는 전류를 흘려보내고 전위차를 측정하게 되는데, 이 송수신기(40)는 0.01~1,000 Hz의 넓은 주파수 범위를 사용하게 된다. 실제 유도분극은 전류를 시료에 흘려 보내면 시료 내에 황화광물이 있을 경우, 전자흐름을 방해하게 된다. 즉 -전자는 +전자가 결합하고, +전자는 -전자가 결합하게 되어 전류의 파형을 측정해보면 흘려보낸 전류의 파형보다 측정된 전위의 파형에서 조금 시간 딜레이(time delay)가 일어나게 된다. 이 시간 딜레이의 정도를 각도로 표시하며, 위상으로 나타내게 된다. 따라서 황화광물의 양과 입자 크기에 따라 위상의 크기가 달라지게 된다.
- [0031] 이제 도 2를 참조하여 상술한 광대역 유도분극 반응을 이용한 황화광물 함량 측정 장치를 통한 황화광물 함량 측정 방법을 설명한다.
- [0032] 본 발명에 따른 황화광물 함량 측정 방법은 시료 홀더(10)에 염화나트륨 0.1M 수용액으로 포화시킨 재연물(21)을 넣고, 일정한 크기로 분쇄한 광물 시료(30)를 0.5~10%까지 함량비를 달리하여 섞은 다음 광대역 유도분극을 측정하게 된다. 이때 황화광물의 함량비가 증가할수록 유도분극의 위상이 증가하는데, 황화광물의 함량과 유도분극 위상의 상관성을 도출하여 광대역 유도분극 측정결과로부터 황화광물의 함량을 산출할 수 있게 된다.
- [0033] 도 2를 참조하면, S10 단계로서, 재연물(21)을 시료 홀더(10)에 넣고 전해질 수용액(20)으로 재연물(21)을 포화시키게 된다.
- [0034] 다음으로 S20 단계로서, 원석광물을 분쇄한 광물시료(30)를 상기 시료 홀더(10)에 투입하여 혼합하게 된다.
- [0035] 실내 실험에 앞서 원석광물을 분쇄하고 체가름을 하여 입자 크기 0.5 ~ 1.00mm, 1.00 ~ 2.00mm, 2.00 ~ 2.36 mm, 4.00 ~ 5.60 mm로 분류한다. 그리고 직육면체의 시료 홀더(10) 내에 재연물(21)을 넣고, 염화나트륨 0.1M 수용액으로 포화를 시킨다. 그 다음 원석광물을 분쇄한 광물 시료(30)를 전체시료의 함량에 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%가 되도록 포화된 재연물(21)에 혼합하여 광대역 유도분극을 측정한다.
- [0036] 즉 S30 단계로서, 상기 시료 홀더(10) 내에 전류 전극(41)과 비분극 전극(42)을 거치시키고 전류 전극(41)을 통해 송신 전류를 흘려 보내고 비분극 전극(42)을 통해 전위를 측정하게 된다.
- [0037] 여기에서 상기 광물 시료는 분극이 강하게 유도되는 황화광물의 한 종류인 방연석(Pbs) 원석 또는 황철석(FeS<sub>2</sub>) 원석으로 선택하였다.
- [0038] 먼저 방연석을 광물 시료로 한 측정 결과가 도 3에 도표로 도시되었다. 도 3에서 X축에 해당하는 위상은 다중 주파수에서 측정된 자료 중에서 분극이 최대로 발생하는 임계주파수의 위상을 나타낸 것이다.
- [0039] 도 3은 위상에 따른 방연석의 함량을 입자 크기별로 나타낸 것으로서 위상과 방연석의 함량은 모든 입자의 크기에서 음의 상관관계를 가졌다. 즉, 위상의 절대값이 클수록 방연석의 함량이 많고, 반대로 위상의 절대값이 작을수록 방연석 함량이 적은 것을 알 수 있었다.
- [0040] 반면 함량이 같더라도 입자크기가 다를 때 위상이 서로 달랐고, 입자크기에 따른 위상의 규칙성이 없으므로 이를 최소화시키기 위한 방법으로 도 4와 같이 동일 함량에 해당하는 각 입자크기들에 위상을 평균하였다. 도 4는 방연석을 각 함량별로 입자크기를 평균하여 위상과 함량의 상관관계를 나타내는 도면이다. 이 평균한 값은 방연석 함량 산출기법 개발을 위한 자료로 사용하였고, 선형회귀분석을 통해 다음의 수학적 1과 같이 광대역 유도분극 위상반응에 따른 방연석 함량 산출식을 도출할 수 있다.

**수학식 1**

$$Y = -0.0366X - 0.0035$$

[0041]

[0042]

[0043]

[0044]

[0045]

이때, 수학식 1에서 독립변수 X는 임계주파수에서의 위상을 의미하고, 종속변수 Y는 방연석의 함량을 의미한다.

다음으로 황철석을 광물 시료로 한 측정 결과가 도 5에 도표로 도시되었다. 도 5에서 X축에 해당하는 위상은 다중 주파수에서 측정된 자료 중에서 분극이 최대로 발생하는 임계주파수의 위상을 나타낸 것이다.

도 5는 위상에 따른 황철석의 함량을 입자 크기별로 나타낸 것으로서 임계주파수에서의 위상과 황철석의 함량은 모든 입자의 크기에서 음의 상관관계를 가졌다. 즉, 위상의 절대값이 클수록 황철석의 함량이 많고, 반대로 위상의 절대값이 작을수록 황철석 함량이 적은 것을 알 수 있었다.

반면 함량이 같더라도 입자크기가 다를 때 위상이 서로 달랐고, 입자크기에 따른 위상의 규칙성이 없으므로 이를 최소화시키기 위한 방법으로 도 6과 같이 동일 함량에 해당하는 각 입자크기들에 위상을 평균하였다. 도 6은 황철석을 각 함량별로 입자크기를 평균하여 위상과 함량의 상관관계를 나타내는 도면이다. 이 평균한 값은 황철석 함량 산출기법 개발을 위한 자료로 사용하였고, 선형회귀분석을 통해 다음의 수학식 2와 같이 광대역 유도분극 위상반응에 따른 황철석 함량 산출식을 도출할 수 있다.

**수학식 2**

$$Y = -0.0419X - 0.1884$$

[0046]

[0047]

따라서 S40 단계로서, 상기 전류 전극(41)의 송신 전류 파형과 상기 비분극 전극(42)을 통해 측정된 전위의 파형 차이에 따른 위상값을 통해 상기 시료 홀더(10) 내 광물 시료(30)의 황화광물 함량을 산출할 수 있게 된다.

[0048]

<실예 1>

[0049]

본 발명의 적용을 증명하기 위해 광대역 유도분극 측정 결과의 임계주파수의 위상으로부터 방연석 함량을 산출하였다. 이 기법을 통해 산출된 해가 실험 평균값과 일치하는지 여부를 정량적으로 판단할 수 있는 상관계수가 0.9924를 나타냈으며, 이는 위상반응으로부터 계산된 방연석의 함량과 실제 방연석의 함량의 오차가 매우 적게 발생한다는 것을 의미한다.

[0050]

도 7은 강원도 삼척 가곡광산에서 채취한 광석의 광대역 유도분극 측정결과이다. 이들 광석은 자류철석, 황동석, 섬아연석 등의 황화광물이 30~40 vol.%를 차지하고 있으며, 주파수 10 Hz 부근에서 위상이 가장 크게 나타난다.

[0051]

예를 들어 광석(Ore) 5의 경우 위상이 가장 크게 나타나는 임계주파수(17 Hz)에서 위상이 815mrad이다. 광석의 측정 결과를 본 발명에서 제안한 산출 기법을 적용하면 아래 수학식 3과 같다.

**수학식 3**

$$Y = -0.0366 \times (-815) - 0.0035$$

[0052]

[0053]

상기 수학식 3으로부터 황화광물의 함량비를 산출한 결과는 29.8%로 광물학적 분석치 30~40 vol.%에 근접하고 있다. 이 광석 시료는 5개 중에 위상이 중간 정도이고, 또한 방연석이 아닌 다른 종류의 황화광물이 함유되어 있지만 광대역 유도분극 탐사에서 임계주파수의 위상 통해 방연석을 포함한 황화광물의 함량을 정확하게 계산할 수 있었다.

[0054] <실험예 2>

[0055] 본 발명의 적용을 증명하기 위해 광대역 유도분극 측정 결과의 임계주파수의 위상으로부터 황철석 함량을 산출하였다. 이 기법을 통해 산출된 해가 실험 평균값과 일치하는지 여부를 정량적으로 판단할 수 있는 상관계수가 0.9995를 나타냈으며, 이는 위상반응으로부터 계산된 황철석의 함량과 실제 황철석의 함량의 오차가 매우 적게 발생한다는 것을 의미한다.

[0056] 도 7의 광대역 유도분극 측정결과에서 알 수 있듯이 이들 광석은 자류철석, 황동석, 섬아연석 등의 황화광물이 30~40 vol.%를 차지하고 있으며, 주파수 10 Hz 부근에서 위상이 가장 크게 나타난다. 예를 들어 Ore 5의 경우 위상이 가장 크게 나타나는 임계주파수(17 Hz)에서 위상이 815mrad이다. 광석의 측정 결과를 본 발명에서 제안한 산출 기법을 적용하면 아래 수학적 식 4와 같다.

**수학적 식 4**

[0057]  $Y = -0.0419 \times (-815) - 0.1884$

[0058] 상기 수학적 식 4로부터 황화광물의 함량비를 산출한 결과는 34%로 광물학적 분석치 30~40 vol.%에 근접하고 있다. 이 광석 시료는 5개 중에 위상이 중간 정도이고, 또한 황철석이 아닌 다른 종류의 황화광물이 함유되어 있지만 광대역 유도분극 탐사에서 임계주파수의 위상 통해 황철석을 포함한 황화광물의 함량을 정확하게 계산할 수 있었다.

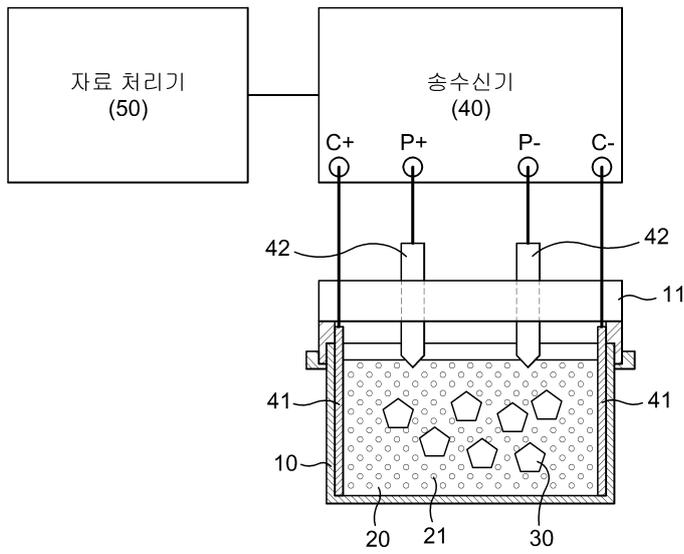
[0059] 이상과 같이 도면과 명세서에서 최적 실시 예가 개시되었다. 여기서 특정한 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

**부호의 설명**

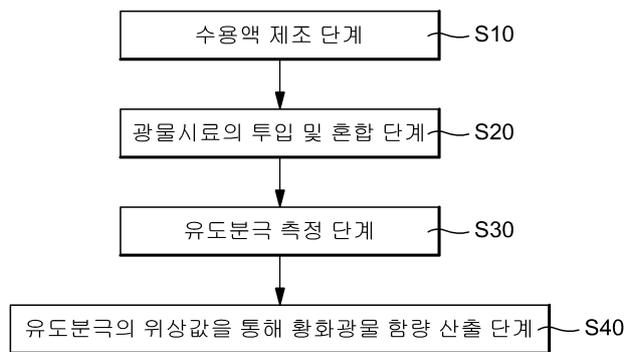
- [0060]
- |              |             |
|--------------|-------------|
| 10 : 시료 홀더   | 11 : 지지구    |
| 20 : 전해질 수용액 | 21 : 재연물    |
| 30 : 광물 시료   | 40 : 송수신기   |
| 41 : 전류 전극   | 42 : 비분극 전극 |
| 50 : 자료 처리기  |             |

도면

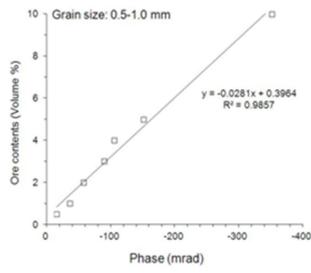
도면1



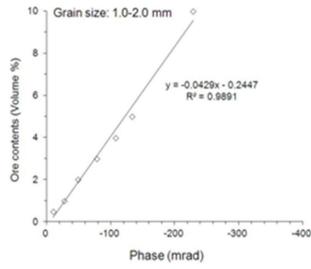
도면2



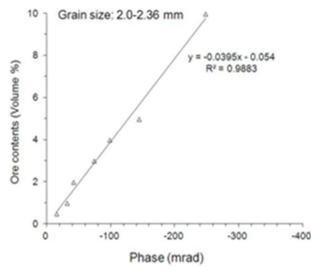
도면3



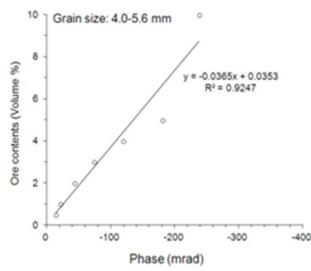
(a) 방연석 입자크기 0.5~1.0 mm



(b) 방연석 입자크기 1.0~2.0 mm

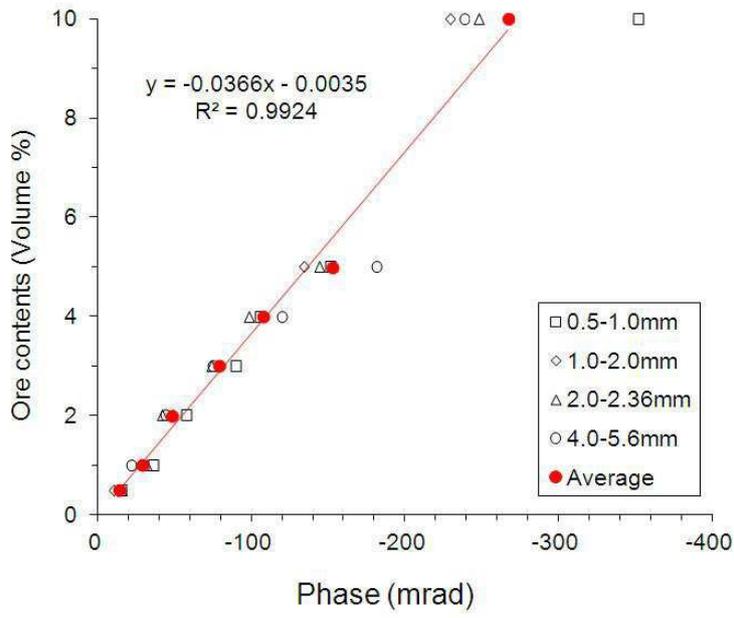


(c) 방연석 입자크기 2.0~2.36 mm

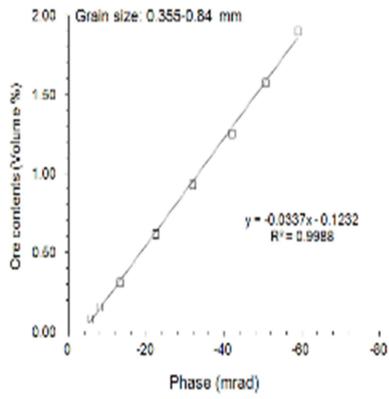


(d) 방연석 입자크기 4.0~5.6 mm

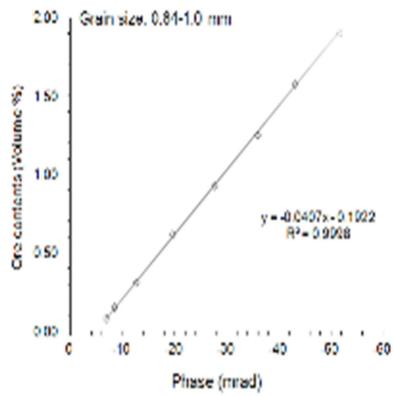
도면4



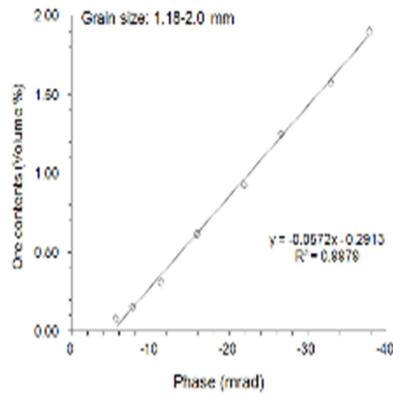
도면5



(a) 황철석 입자크기 0.355~0.84 mm

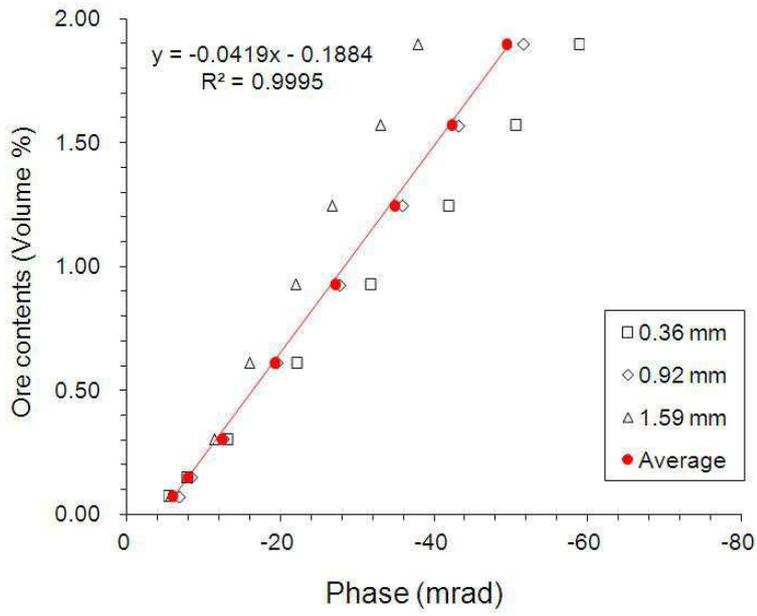


(b) 황철석 입자크기 0.84~1.0 mm



(c) 황철석 입자크기 1.18~2.0 mm

도면6



도면7

