



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년06월19일
(11) 등록번호 10-1157792
(24) 등록일자 2012년06월13일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01V 3/38 (2006.01) G06F 19/00 (2011.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2011-0129545</p> <p>(22) 출원일자 2011년12월06일
심사청구일자 2011년12월06일</p> <p>(56) 선행기술조사문헌
박계순 외 4명. 화산칼데라 지역 중력 및 자기지질 탐사 자료의 복합해석을 통한 지질구조 해석. 2008 한국지구물리·물리탐사학회 학술대회. 2008.10.9., pp.21-26.</p> | <p>(73) 특허권자
한국지질자원연구원
대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)</p> <p>(72) 발명자
박계순
경기도 과천시 별양로 163, 633동 503호 (별양동, 주공아파트)</p> <p>이명종
대전광역시 유성구 가정로 266, KIT아파트 12동 106호 (가정동)</p> <p>(74) 대리인
김정수</p> |
|--|--|

전체 청구항 수 : 총 11 항

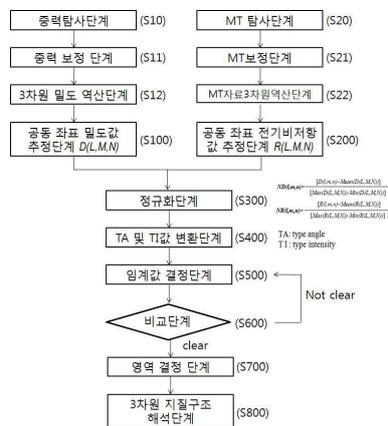
심사관 : 양정록

(54) 발명의 명칭 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법

(57) 요약

본 발명에 따른 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법은 동일한 3차원 그리드 ($L \times M \times N$) 상에서의 두 개 이상의 물성모델 $D_{data}(L, M, N)$ 과 $R_{data}(L, M, N)$ 을 각각 계산하는 공동 좌표 물성값추정단계; 상기 공동 좌표 물성값 추정단계를 통해 획득된 물성모델을 각각 정규화하여 $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 정규화 물성모델을 획득하고, 물성간 산포도로 나타내는 정규화단계; 상기 정규화단계를 거친, $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 물성간 산포도 상에서 위치하는 분포 위치를 4상한 역탄젠트(Four-quadrant inverse tangent)를 이용하여 구조화 각도 (Type Angle; TA)값으로 변환하고 원점에서 떨어진 거리를 이용하여 구조화 강도 (Type Intensity; TI)값으로 변환하는 TA 및 TI값 변환단계; 상기 TA 및 TI값 변환단계를 통해 획득된 TA 값과 TI값을 이용하여, 산포도로 나타내고, 산포도 상에서 두 개 이상의 영역으로 구분되는 TI 값의 최소값을 임계값(Threshold)값으로 결정하는 임계값 결정단계; 및 상기 임계값 결정단계를 통해 구분된 각각의 상기 영역의 상기 TA값의 극대점을 기준으로 3차원 지질구조를 해석하는 3차원 지질구조 해석단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도7



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NP2010-022
부처명 지식경제부
연구사업명 에너지자원기술개발사업
연구과제명 우라늄광 융합탐사 기술개발
주관기관 한국지질자원연구원
연구기간 2010.06.01 ~ 2015.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

동일한 3차원 그리드 ($L \times M \times N$) 상에서의 밀도 모델 $D_{data}(L, M, N)$ 과 전기비저항 모델 $R_{data}(L, M, N)$ 을 각각 계산하는 공동 좌표 밀도값추정단계 및 공동 좌표 전기비저항값 추정단계;

상기 공동 좌표 밀도값 추정단계 및 상기 공동좌표 전기비저항값 추정단계를 통해 획득된 상기 밀도 모델 $D_{data}(L, M, N)$ 과 상기 전기비저항 모델 $R_{data}(L, M, N)$ 을 각각 정규화하여 $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 정규화 물성모형을 획득하고, 물성간 산포도로 나타내는 정규화단계;

상기 정규화단계를 거친, $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 물성간 산포도 상에서 위치하는 분포 위치를 4상한 역탄젠트(Four-quadrant inverse tangent)를 이용하여 구조화 각도 (Type Angle; TA)값으로 변환하고 원점에 서 떨어진 거리를 이용하여 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값으로 변환하는 TA 및 TI값 변환단계;

상기 TA 및 TI값 변환단계를 통해 획득된 TA 값과 TI값을 이용하여, 산포도로 나타내고, 산포도 상에서 두 개 이상의 영역으로 구분되는 TI 값의 최소값을 임계값(Threshold)값으로 결정하는 임계값 결정단계; 및

상기 임계값 결정단계를 통해 구분된 각각의 상기 영역의 상기 TA값의 극대점을 기준으로 3차원 지질구조를 해석하는 3차원 지질구조 해석단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 정규화 단계에서 상기 정규화 물성모형은 아래의 수학적 식 1에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

<수학적 식 1>

$$ND = [D - \text{Mean}(D)] / [(\text{Max}(D) - \text{Min}(D)) / 2]$$

여기서, D는 상기 밀도모델 $D_{data}(L, M, N)$ 과 상기 전기비저항 모델 $R_{data}(L, M, N)$,

ND는 정규화된 물성 모형을 의미한다.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 임계값 결정단계와 상기 3차원 지질구조 해석단계사이에,

상기 임계값 결정단계에 의해 결정된 임계값을 기준으로 두 개 이상의 상기 영역의 중복여부를 판단하는 비교 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 비교단계에서 상기 임계값 이상에서의 두 개 이상의 상기 영역이 중복되는 경우, 상기 임계값을 재산정하기 위해, 상기 임계값 결정단계를 반복수행하는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 3차원 지질구조 해석단계는 상기 영역들의 물성적 특성과 지질학적 위치에 따른 암상, 암종, 및 구조를 결정하여 해석되는 것을 특징으로 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 공동 좌표 밀도값 추정단계 이전에,

3차원 지질구조 해석을 하고자 하는 위치에서의 중력을 탐사하는 중력탐사단계;

상기 중력탐사단계를 통해 획득된 자료에 대해 중력을 보정하는 중력 보정 단계; 및

상기 중력 보정 단계를 통해 추출된 부계이상값을 이용하여 3차원 밀도 역산을 수행하는 3차원 밀도 역산단계를 포함하여, 밀도모델을 획득하는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 공동 좌표 전기비저항값 추정단계이전에,

상기 3차원 지질구조 해석을 하고자 하는 위치에서의 자기지전류(MT)를 탐사하는 자기지전류(MT) 탐사단계;

상기 자기지전류(MT) 탐사단계를 통해 획득된 MT 자료에 대해 원격 기준자료(remote referenc)에 따라 보정하는 MT보정단계; 및

상기 MT보정단계를 통해 추출된 MT 자료를 이용하여 3차원 역산을 수행하는 MT자료 3차원 역산단계를 포함하여, 전기비저항 모델을 획득하는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

서로 다른 이종물성의 동일한 3차원 그리드 ($L \times M \times N$) 상에서의 제1모델 $D_{data}(L, M, N)$ 과 제2모델 $R_{data}(L, M, N)$ 을 각각 계산하는 공동 좌표 제1모델값 추정단계 및 공동 좌표 제2모델값 추정단계;

상기 공동좌표 제1모델값 추정단계 및 공동 좌표 제2모델값 추정단계를 통해 획득된 물성모델을 각각 정규화하여 $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 정규화 물성모델을 획득하고, 물성간 산포도로 나타내는 정규화단계;

상기 정규화단계를 거친, $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 물성간 산포도 상에서 위치하는 분포 위치를 4상한 역탄젠트(Four-quadrant inverse tangent)를 이용하여 구조화 각도 (Type Angle; TA)값으로 변환하고 원점에서 떨어진 거리를 이용하여 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값으로 변환하는 TA 및 TI값 변환단계;

상기 TA 및 TI값 변환단계를 통해 획득된 TA 값과 TI값을 이용하여, 산포도로 나타내고, 산포도 상에서 두 개 이상의 영역으로 구분되는 TI 값의 최소값을 임계값(Threshold)값으로 결정하는 임계값 결정단계; 및

상기 임계값 결정단계를 통해 구분된 각각의 상기 영역의 상기 TA값의 극대점을 기준으로 3차원 지질구조를 해석하는 3차원 지질구조 해석단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 정규화 단계에서 상기 정규화 물성모델은 아래의 수학식 1에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

<수학식 1>

$$ND = [D - \text{Mean}(D)] / [(\text{Max}(D) - \text{Min}(D)) / 2]$$

여기서, D는 물성 모델 $D_{data}(L, M, N)$ 와 $R_{data}(L, M, N)$,

ND는 정규화된 물성 모델을 의미한다.

청구항 11

서로 다른 이중물성의 동일한 3차원 그리드 ($L \times M \times N$) 상에서의 두 개 이상의 모델을 각각 계산하는 공동 좌표 모델값 추정단계;

상기 공동 좌표 모델값 추정단계를 통해 획득된 물성모델을 각각 정규화하여 두 개 이상의 모델의 정규화 물성모델을 획득하고, 물성간 산포도로 나타내는 정규화단계;

상기 정규화단계를 거친, 상기 정규화 물성모델의 물성간 산포도 상에서 위치하는 분포 위치를 4상한 역탄젠트(Four-quadrant inverse tangent)를 이용하여 구조화 각도 (Type Angle; TA)값으로 변환하고 원점에서 떨어진 거리를 이용하여 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값으로 변환하는 TA 및 TI값 변환단계;

상기 TA 및 TI값 변환단계를 통해 획득된 TA 값과 TI값을 이용하여, 산포도로 나타내고, 산포도 상에서 두 개 이상의 영역으로 구분되는 TI 값의 최소값을 임계값(Threshold)값으로 결정하는 임계값 결정단계; 및

상기 임계값 결정단계를 통해 구분된 각각의 상기 영역의 상기 TA값의 극대점을 기준으로 3차원 지질구조를 해석하는 3차원 지질구조 해석단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 정규화 단계에서 상기 정규화 물성모델은 아래의 수학적 식 1에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법.

<수학적 식 1>

$$ND = [D - \text{Mean}(D)] / [(\text{Max}(D) - \text{Min}(D)) / 2]$$

여기서, D는 물성 모델,

ND는 정규화된 물성 모델을 의미한다.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해석방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 들어 연구지역에서 보다 많은 정보를 획득하기 위하여 다양한 기법의 복합탐사가 수행되고 있다. 이는 복합탐사 기술이 단일 탐사에 의한 해석상의 불확실성이 가져올 수 있는 위험 부담을 최소화 하고, 탐사 결과에 의한 최종 의사 결정시 신뢰도를 높일 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 이중 물리탐사 자료를 이용하여 각 자료를 상호 보완하고 해석 결과의 신뢰성을 향상시키기 위한 복합해석에 대한 활발한 연구가 수행되고 있다. 그러나 기존의 복합 탐사에 대한 해석은 개개의 탐사 자료를 분석한 뒤 정성적으로 결과를 취합하는 수준에 머물러 있어, 복합 탐사의 장점을 효과적으로 사용하지 못하고 있다. 이는 각각의 물리 탐사 기법이 측정하는 물리적 특성이나 해상도가 서로 다르기 때문이며, 이를 수치적으로 하나의 자료처리 기법으로 적용하는 것은 어려운 것으로 알려져 있다. 실례로 여러 연구자들 (Vozoff and Jupp, 1975, Sill *et al.*, 1977, Oldenburg, 1978)이 각기 다른 탐사 결과의 민감도 행렬(Jacobian matrix)을 하나의 역산을 위한 행렬로 구성하여 결합역산(Joint inversion)을 시도하였으나, 수치적으로 해가 불안정하고 의미 있는 연관성을 도출하지 못하여 널리 이용되지 못하고 있다.

[0003] 그러나 본 발명에서는 물리적 특성에 대한 복합이 아닌 지질 구조의 경계 정보에 대한 복합 해석을 수행하여 기존 복합해석의 한계점을 극복하였다. 이러한 복합 해석 기법은 획득된 자료의 효과적 이용이라는 장점을 갖

는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 본 발명은 이러한 종래기술의 복합물리탐사 자료 해석의 많은 제한점을 극복하고자 효과적인 복합 물리탐사자료 해석 기법을 개발하여 물리탐사의 기본 목적인 지하의 지질 구조를 해석하는 효과적인 방법을 제시하고자 한다.
- [0005] 일반적으로 단일 물성을 이용하여 지질 구조를 해석하게 되면 암종 간의 물성 차이가 크지 않을 경우 효과적인 해석이 어렵게 되므로 본 발명은 이러한 제한점을 극복하기 위하여 두 물성 모델의 상관관계 패턴과 특성을 고려하여 보다 효과적인 지질 구조 해석을 수행하는데 그 목적이 있다.
- [0006] 이를 위하여 본 발명은 효과적인 상관관계 분석을 수행할 수 있는 구조화 지수 (Structure Index; SI) 기법을 제안하는데 그 목적이 있다.
- [0007] SI 기법은 두 모델간의 공간적 상관관계를 이용하여 산출되는 구조화 각도 (Type Angle; TA)와 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값으로 구성되는데 TA 값은 두 물성의 상관관계 패턴을 지시하며, TI 값은 각 물성 모델 내에서의 분포 위치를 지시할 수 있다.
- [0008] 따라서 이 TA 값과 TI 값을 이용하여 구조를 해석하는 SI 기법은 복합물리탐사 자료를 이용한 지질 구조 해석 시 효과적으로 이용될 수 있으며, 이해를 돕기 위해 화산칼데라 지역에서 이루어진 복합물리탐사 자료에 적용한 결과를 예시로 제시하였다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명에 따른 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법은 동일한 3차원 그리드 ($L \times M \times N$) 상에서의 두 개 이상의 물성 모델 (예시 자료에서는 밀도 모델과 전기비저항 모델) $D_{data}(L, M, N)$ 과 $R_{data}(L, M, N)$ 을 각각 계산하는 공동 좌표 물성값추정단계 (공동 좌표 밀도값추정단계 및 공동 좌표 전기비저항값 추정단계); 상기 공동 좌표 추정단계(공동 좌표 밀도값 추정단계 및 상기 공동좌표 전기비저항값 추정단계)를 통해 획득된 물성모델을 각각 정규화하여 $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 정규화 물성모델을 획득하고, 물성간 산포도로 나타내는 정규화단계; 상기 정규화단계를 거친, $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 물성간 산포도 상에서 위치하는 분포 위치를 4상한 역탄젠트(Four-quadrant inverse tangent)를 이용하여 구조화 각도 (Type Angle; TA)값으로 변환하고 원점에서 떨어진 거리를 이용하여 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값으로 변환하는 TA 및 TI값 변환단계; 상기 TA 및 TI값 변환단계를 통해 획득된 TA 값과 TI값을 이용하여, 산포도로 나타내고, 산포도 상에서 두 개 이상의 영역으로 구분되는 TI 값의 최소값을 임계값(Threshold)값으로 결정하는 임계값 결정단계; 및 상기 임계값 결정단계를 통해 구분된 각각의 상기 영역의 상기 TA값의 극대점을 기준으로 3차원 지질구조를 해석하는 3차원 지질구조 해석단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0010] 또한 본 발명에 따르면, 상기 정규화 단계는 아래의 수학적 식 1에 의해 결정되는 것을 특징으로 한다.
- [0011] <수학적 식 1>
- [0012] $ND = [D - \text{Mean}(D)] / [(\text{Max}(D) - \text{Min}(D)) / 2]$
- [0013] 여기서, D는 물성 모델 $D_{data}(L, M, N)$ 와 $R_{data}(L, M, N)$,
- [0014] ND는 정규화된 물성 모델을 의미한다.
- [0015] 또한 본 발명에 따르면, 상기 임계값 결정단계와 상기 3차원 지질구조 해석단계사이에, 상기 임계값 결정단계 (S500)에 의해 결정된 임계값을 기준으로 두 개 이상의 상기 영역의 중복여부를 판단하는 비교단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한 본 발명에 따르면, 상기 비교단계에서 상기 임계값 이상에서의 두 개 이상의 상기 영역이 중복되는 경우, 상기 임계값을 재설정하기 위해, 상기 임계값 결정단계를 반복수행하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한 본 발명에 따르면, 상기 3차원 지질구조 해석단계는 상기 영역들의 물성적 특성과 지질학적 위치에 따른 암상, 암종, 및 구조를 결정하여 해석되는 것을 특징으로 한다.

- [0018] 또한 본 발명에 따르면, 상기 공동 좌표 밀도값 추정단계 이전에, 3차원 지질구조 해석을 하고자 하는 위치에서의 중력을 탐사하는 중력탐사단계; 상기 중력탐사단계를 통해 획득된 자료에 대해 중력을 보정하는 중력 보정 단계; 및 상기 중력 보정 단계를 통해 추출된 부계이상값을 이용하여 3차원 밀도 역산을 수행하는 3차원 밀도 역산단계를 포함하여, 밀도모델을 획득하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한 본 발명에 따르면, 상기 공동 좌표 전기비저항값 추정단계이전에, 상기 3차원 지질구조 해석을 하고자 하는 위치에서의 자기지전류(MT)를 탐사하는 자기지전류(MT) 탐사단계; 상기 자기지전류(MT) 탐사단계를 통해 획득된 MT 자료에 대해 원격 기준자료(remote referenc)에 따라 보정하는 MT보정단계; 및 상기 MT보정단계를 통해 추출된 MT 자료를 이용하여 3차원 역산을 수행하는 MT자료 3차원 역산단계를 포함하여, 전기비저항 모델을 획득하는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 또한 본 발명에 따르면, 상기 두 개 이상의 물성 모델에서 공동 좌표를 설정하고 역산을 통해 해석된 결과와 정규 크리깅을 사용하여 상기 공동 좌표에서 두 개 이상의 물성 모델을 추정하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 본 발명에 따른 또 다른 실시예로서 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법은 서로 다른 이종물성의 동일한 3차원 그리드 ($L \times M \times N$) 상에서의 제1모델 $D_{data}(L, M, N)$ 과 제2모델 $R_{data}(L, M, N)$ 을 각각 계산하는 공동 좌표 제1모델값 추정단계 및 공동 좌표 제2모델값 추정단계;
- [0022] 상기 제1모델값 추정단계 및 공동 좌표 제2모델값 추정단계를 통해 획득된 물성모델을 각각 정규화하여 $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 정규화 물성모델을 획득하고, 물성간 산포도로 나타내는 정규화단계;
- [0023] 상기 정규화단계를 거친, $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 물성간 산포도 상에서 위치하는 분포 위치를 4상한 역탄젠트(Four-quadrant inverse tangent)를 이용하여 구조화 각도 (Type Angle; TA)값으로 변환하고 원점에서 떨어진 거리를 이용하여 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값으로 변환하는 TA 및 TI값 변환단계;
- [0024] 상기 TA 및 TI값 변환단계를 통해 획득된 TA 값과 TI값을 이용하여, 산포도로 나타내고, 산포도 상에서 두 개 이상의 영역으로 구분되는 TI 값의 최소값을 임계값(Threshold)값으로 결정하는 임계값 결정단계; 및
- [0025] 상기 임계값 결정단계를 통해 구분된 각각의 상기 영역의 상기 TA값의 극대점을 기준으로 3차원 지질구조를 해석하는 3차원 지질구조 해석단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0026] 또한 본 발명에 따르면, 상기 정규화 단계는 아래의 수학적 식 1에 의해 결정되는 것을 특징으로 한다.
- [0027] <수학적 식 1>
- [0028] $ND = [D - \text{Mean}(D)] / [(\text{Max}(D) - \text{Min}(D)) / 2]$
- [0029] 여기서, D는 물성 모델 $D_{data}(L, M, N)$ 와 $R_{data}(L, M, N)$,
- [0030] ND는 정규화된 물성 모델을 의미한다.
- [0031] 본 발명에 따른 또 다른 실시예로서 구조화 지수를 이용한 3차원 지질구조 해석방법은 서로 다른 이종물성의 동일한 3차원 그리드 ($L \times M \times N$) 상에서의 두 개 이상의 모델을 각각 계산하는 공동 좌표 모델값 추정단계 추정단계; 상기 공동 좌표 모델값 추정단계를 통해 획득된 물성모델을 각각 정규화하여 두 개 이상의 모델의 정규화 물성모델을 획득하고, 물성간 산포도로 나타내는 정규화단계; 상기 정규화단계를 거친, 상기 물성모델의 물성간 산포도 상에서 위치하는 분포 위치를 4상한 역탄젠트(Four-quadrant inverse tangent)를 이용하여 구조화 각도 (Type Angle; TA)값으로 변환하고 원점에서 떨어진 거리를 이용하여 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값으로 변환하는 TA 및 TI값 변환단계; 상기 TA 및 TI값 변환단계를 통해 획득된 TA 값과 TI 값을 이용하여, 산포도로 나타내고, 산포도 상에서 두 개 이상의 영역으로 구분되는 TI 값의 최소값을 임계값 (Threshold)값으로 결정하는 임계값 결정단계; 및 상기 임계값 결정단계를 통해 구분된 각각의 상기 영역의 상기 TA값의 극대점을 기준으로 3차원 지질구조를 해석하는 3차원 지질구조 해석단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0032] 또한 본 발명에 따르면, 상기 정규화 단계는 아래의 수학적 식 1에 의해 결정되는 것을 특징으로 한다.
- [0033] <수학적 식 1>
- [0034] $ND = [D - \text{Mean}(D)] / [(\text{Max}(D) - \text{Min}(D)) / 2]$
- [0035] 여기서, D는 물성 모델,

[0036] ND는 정규화된 물성 모델을 의미한다.

발명의 효과

[0037] 본 발명에 따른 구조화 지수 (Structure Index; SI) 기법은 두 모델간의 공간적 상관관계를 이용하여 산출되는 구조화 각도 (Type Angle; TA)과 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값으로 구성되는데 TA 값은 두 물성의 상관관계 패턴을 지시하며, TI 값은 각 물성 모델 내에서의 분포 위치를 지시할 수 있으므로, 이 TA 값과 TI 값을 이용하여 구조를 해석하는 SI 기법은 복합물리탐사 자료를 이용한 지질 구조 해석이 효과적으로 이루어진다.

[0038] 또한, 예시를 통해 제시한 화산 칼데라의 3차원 지질 구조 영상화에 적용한 결과 효과적인 해석이 가능하였다.

[0039] 또한, SI 기법은 이중 물성의 공간적 상관관계와 분포도를 이용하여 계산되는 TA와 TI 값을 이용하여 구조를 구분하기 때문에 독립된 물리탐사 해석 결과에서는 유사한 물성치를 나타내어 구분하기 어려운 구조를 이중의 물성치를 이용하여 구조적으로 구분하여 해석할 수 있으며, 3차원 영상화에 효과적으로 이용될 수 있다.

[0040] 본 발명에서의 예시로 적용한 이중물성인 중력 자료와 MT 자료를 통해 해석된 화산 칼데라 지역의 3차원 지하 구조는 지표지질 및 기존의 중력, 자력 탐사를 통해 제시된 광역 지하구조와 상당히 잘 부합하고 있다. 첫 번째로, 화산칼데라의 환상단층대와 연구지역의 북동부에 분포하고 있는 고밀도, 고비저항의 화성암 관입체, 화산칼데라 중앙 상부에 약 1 km 심도로 분포하고 있는 화산쇄설성 퇴적층의 공간 분포가 3차원으로 해석되었다. 또한, 상대적으로 전기비저항이 낮고 밀도가 높은 하부 기반암이 약 5 km 부근에서 나타남을 확인하였다. 이는 기존의 연구 논문들의 내용에 부합하는 결과이다.

[0041] 본 발명에 따른 SI 기법은 각 구조에서의 반응 특성인 물성의 변화양상, 분포 등을 객관적으로 해석할 수 있을 뿐만 아니라 개별 분석으로는 발견되지 않은 해석 가능한 유용한 정보의 추출이 가능하며, 이 결과는 국부 지역의 정밀 재해석의 기본 자료로 이용될 수 있다.

[0042] 또한, SI 기법은 벡터로 결정되기 때문에 확장이 용이한 장점이 있다.

[0043] 따라서 두개 이상의 여러 복합지구물리 탐사가 수행되었을 경우에도 효과적으로 복합 해석이 이루어질 수 있는 장점을 갖으며, 향후 동일 지역에서 이루어진 다양한 물리탐사 자료를 객관적이며 효과적으로 테이타베이스화 하고 지하 모델을 영상화하는데 효과적으로 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

도면의 간단한 설명

- [0044] 도 1은 본 발명의 실시예에 사용된 화산칼데라의 지질도를 나타낸다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 사용된 화산칼데라의 지형도를 나타낸다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 사용된 지형에서의 부계이상값을 나타낸 부계이상도로서, 중력 측정 및 MT 측점이 함께 도시되어 있다.
- 도 4는 본 발명에 따라 3차원 밀도 역산 결과로 해석된 밀도 모델을 도시한다.
- 도 5는 본 발명에 따른 동일 공간에서 추정된 밀도 모델과 전기비저항 모델은 도시한다.
- 도 6은 본 발명에 따른 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해석방법의 도해도이다.
- 도 7은 본 발명에 따른 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해석방법의 순서도이다.
- 도 8은 본 발명에 따른 정규화된 물성 모델들로서, 도 8(a)과 같이 물성간 산포도로 나타낸 것이며, 도 8(b)는 이를 이용하여 TA값과 TI 값을 계산한 결과를 나타낸다.
- 도 9는 본 발명에 따른 SI 기법에 의해 구분된 각 class 구조를 3차원으로 영상화한 것을 나타낸다.
- 도 10은 본 발명에 따른 SI 기법에 의해 구분된 각 영역의 물성값을 나타낸다.
- 도 11은 본 발명에 따른 SI 기법에 의해 구분된 각 영역의 물성값 분포도를 나타낸다.
- 도 12는 본 발명에 따른 다른 실시예로서의 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해

석방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0045] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 우선, 도면들 중 동일한 구성요소 또는 부품들은 가능한 한 동일한 참조부호를 나타내고 있음에 유의해야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 요지를 모호하게 하지 않기 위해 생략한다.
- [0046] 도 1(a) 내지 도 1(c)는 본 발명에 따른 화산칼데라의 지질도를 나타내고, 도 2는 지형도를 나타낸다.
- [0047] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 실시예에서 사용된 화산칼데라는 의성소분지 내에 위치하고 있는 타원형의 ring vent 칼데라이며, 그 규모는 16(E-W)(N-S) km 이다.
- [0048] 또한, 도 1(b)는 2차원 중력탐사 결과이며, 도 1(c)는 동일 지역에서 수행된 2차원 MT 탐사 결과이다.
- [0049] 실시예에 사용된 화산 칼데라는 약 54.5 Ma의 신생대 제 3기에 중심부 분출, 침강, 환상단층대 형성 및 단층대를 따른 분출의 단계를 거쳐 형성된 것으로 알려져 있으나 (윤성효, 1988), 정확한 생성 기작이나 하부 구조는 아직 확인되지 않았다. 화산 칼데라 내부의 퇴적암은 약하게 습곡 및 혼펠스화 되었으며, 중심부의 화산암복합체는 유문암질로서 하양층군 위에 놓여져 있다. 또한 중심부 화산암 복합체 내부에도 침강 양상을 확인할 수 있는데, 이는 중심부에서 추가적인 내부분출이 있었으며, 이에 수반한 반심성 화성작용과 침강에 따른 단층 형성이 있었음을 지시한다 (윤성효, 1988; 장기홍과 박순옥, 1997). 화산 칼데라 지역의 전반적인 층서 구조는 최하부로부터 낙동-하산동-진주층(신동층군), 일직-후평동-점곡-사곡-반야월-화산-춘산층(하양층군)이며, 중앙부의 유문암질 화산복합체와 화성암 관입체는 가장 최후에 형성된 것으로 알려져 있다 (박계순 외, 2008).
- [0050] 다음은 본 발명에 따른 본 발명에 따른 3차원 지질 구조 해석을 위한 지질의 물리탐사 자료 해석에 관한 것이다.
- [0051] 먼저, 의성 소분지에 위치하고 있는 화산 칼데라의 3차원 지질 구조를 해석하기 위하여 중력 탐사단계(S10) 및 자기지전류(MT) 탐사단계(S20)을 수행한다.
- [0052] 중력탐사 측점은 도 2의 지형도 위에 검은 점으로 표기 된 곳이며, 화산 칼데라를 중심으로 약 32km이 범위에서 약 1km의 간격으로 510개의 측점에서 수행되었다.
- [0053] 중력탐사단계(S10)에서 측정된 자료에 대해 중력 보정 단계(S11)를 수행한다.
- [0054] 중력 보정단계(S11)의 수행을 통해 부계이상값을 추출하게 된다.
- [0055] 중력 보정단계(S11)는 일반적인 중력 보정 단계인 위도보정, 조력보정, 계기보정, 망보정, 후리에어보정, 부계보정 및 지형보정을 수행하여 지하의 밀도 구조에 의한 중력 효과를 추출한다.
- [0056] 도 3은 본 발명에 따른 중력 보정단계를 거쳐 추출된 부계이상값을 나타낸 부계이상도로서, 중력 측정 및 MT 측점이 함께 도시되어 있다.
- [0057] 도 3에서 부계 이상치를 살펴보면, 탐사지역의 북동부와 남서부에서 낮은 이상치를 보이고 있는데 북동부의 경우 중력 측점이 적기 때문에 발생하는 추정 오차가 일부 포함된 것이며, 남서부의 저이상대는 팔공산 화강암체의 낮은 밀도에 기인한 것으로 해석된다. 또한, 화산칼데라는 중심으로 높은 중력 이상대가 나타나고 있는데 이는 ring fault를 따라 관입한 화성암의 영향으로 보이며, 칼데라 중앙부의 저이상대는 화산쇄설성 퇴적층이 침강하여 생성된 구조에 기인한 것으로 해석된다.
- [0058] 중력보정단계(S11)를 거쳐 추출된 부계이상 값을 Marquardt-Levenberg method (Levenberg 1994; Marquardt 1963)를 이용하여 3차원 밀도 역산단계(S12)을 수행하여 밀도 모델을 추출한다.
- [0059] 3차원 밀도 역산단계(S12)에 있어서, 안정된 3차원 밀도 역산을 수행하기 위하여 인접한 블록간의 밀도 분포

가 유사하도록 제한 행렬을 역산에 추가하고, 하부 역산 블록을 상부 역산 블록에 비해 크게 설정한다. 또한 밀도 변화 범위를 0.2에서 0.3 g/cm³로 설정한다.(박계순 외, 2008)

- [0060] 도 4는 본 발명에 따라 3차원 밀도 역산 결과로 해석된 밀도 모델을 도시한다.
- [0061] 역산 결과로 해석된 밀도 모델은 도 4에 도시된 바와 같고, 도 4(b)는 저밀도체의 분포를 3차원으로 영상화한 것으로 이미 설명한 바와 같이 남서쪽의 팔공산 화강암체와 화산칼데라 중앙부의 화산쇄설성 퇴적층이 나타나고 있으며, 북동부의 저밀도체는 측점이 부족한 지역으로 해석상 수치적으로 나타나는 구조로 해석된다.
- [0062] 자기지전류(MT) 탐사단계(S20)에 있어서, 실시예에서는 아래와 같은 시스템 및 측점을 수행하였다.
- [0063] 본 발명에 따른 실시예에서, MT 탐사는 MTU-5A 시스템을 이용하여 도 2와 도 3의 삼각형으로 표기된 32개 측정점에서 수행하였다. 각 측정점간의 거리는 약 2-3 km 이며, 측정점의 분포는 화산 칼데라를 중심으로 방사상의 형태를 보인다. MT 탐사를 통해 N-S, E-W 두 방향의 전기장과 N-S, E-W, Vertical 세 방향의 자기장을 0.001320 Hz 밴드의 범위에서 측정하였다. 잡음에 의한 효과를 최소화하기 위하여 전자기적 잡음이 적은 밤 시간대에 15시간 동안 측정하였다.
- [0064] MT 탐사단계(S20)를 수행하여 추출된 MT자료는 원격 기준자료(remote referenc)에 따라 보정하는 MT보정단계(S21)를 수행한다.
- [0065] 본 발명의 실시예에서 MT 보정단계(S21)에서는 화산 칼데라 지역에서 약 1,000 km 떨어진 일본 Esashi의 상시 관측소 자료를 remote reference로 사용하였다.
- [0066] 또한, MT자료의 보정은 MTU-5A 시스템과 함께 제공되는 MT-Editor 프로그램을 이용하였다.
- [0067] MT 보정단계(S21)를 통해 보정된 MT자료는 MT자료 3차원 역산단계(S22)을 수행하여 전기비저항 모델을 추출한다.
- [0068] 본 발명에 따른 MT자료 3차원 역산단계(S22)에서는 2차원 역산 기법인 Occam's inversion (Siripunvaraporn and Egbert 2000)을 확장한 WSINV3DMT code (Siripunvaraporn et al., 2005)를 이용한다.
- [0069] 3차원 밀도 역산단계(S12)를 통해 추출된 밀도 모델과 MT자료 3차원 역산단계(S22)를 통해 추출된 전기비저항 모델의 공간적 상관성을 이용한 지질 구조 해석을 수행하기 위해서는 같은 좌표 공간을 갖는 두 모델이 필요하다.
- [0070] 이를 위해 공동 좌표를 설정하고 공동 좌표상의 밀도 값과 전기비저항값을 각각 추정하는 공동 좌표 밀도값추정단계(S100) 및 공동 좌표 전기비저항값 추정단계(S200)를 수행한다.
- [0071] 본 발명의 실시예에서 공동 좌표의 밀도 값 및 전기비저항값의 추정을 위하여 정규 크리깅을 사용하였으며, 크리깅 수행은 S-GeMS (Stanford Geostatistical Modeling Software)을 이용하였다.
- [0072] 도 5는 본 발명에 따른 동일 공간에서 추정된 밀도 모델과 전기비저항 모델은 도시한다.
- [0073] 도 6은 본 발명에 따른 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해석방법의 도해도이다.
- [0074] 도 6에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해석 방법은 각각 정규화된 물성 모델을 통해 같은 공간상의 두 물성 값의 상관성으로 계산되는 구조화 각도 (Type Angle; TA)값과 같은 물성 모델 내에서 그 값의 분포 위치에 의해 결정되는 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값을 이용하여 구조를 분리하는 방법이다.
- [0075] 구조의 분리를 위해 UTM(universal transverse Mercator)과 같은 프로젝션 기법을 이용하여 구조화 각도 (Type Angle; TA)값과 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값을 마치 위경도 값과 같이 표현하여 극소값을 경계로 나타나는 곡선별로 구조 분리를 수행한다.

- [0076] 본 발명에 따른 SI 기법의 적용을 위해 설정한 기본 가정은 다음과 같다.
- [0077] 1) 각 물성 모델에서 해석되는 물성은 각기 다르지만 지하의 같은 지질 구조를 반영한다.
- [0078] : 물리탐사 결과 물성의 차이를 갖는 지질 구조를 서로 분리하여 해석한다.
- [0079] 2) 서로 다른 물성 모델은 지질 구조가 변화함에 따라 공간적 상관성을 갖으며 변화한다.
- [0080] : 가정 1)에 의하여 서로 다른 물성 모델은 지하의 같은 지질 구조를 반영하기 때문에 서로 공간적 상관성을 갖게 된다.
- [0081] 3) 서로 다른 물성 모델은 유사한 탐사 심도와 공간 해상도를 갖는다.
- [0082] : 물성간의 상관관계를 이용하여 구조를 해석하기 때문에 서로 다른 물성 모델은 유사한 탐사 공간을 공유하여야 한다.
- [0083] 4) 각 물성 모델에서 특정치 이상의 이상 값은 특정 지질 구조를 반영한다.
- [0084] : 서로 다른 지질 구조라 하더라도 유사한 물성 값을 갖을 수 있다. 이러한 경우 물리탐사를 통한 구조의 해석은 많은 어려움이 있다. 따라서 본 발명에서는 각 물성 모델을 정규화한 이후에 도 6(b)의 0번 구조와 같이 특정 이상 값을 갖지 않을 경우 각 지질 구조의 경계부나 변이대로 가정하여 특정한 지질 구조로 분리하지 않고 해석에서 제외한다.
- [0085] 위의 가정을 바탕으로 SI 기법을 이용한 지질 구조의 해석 과정은 다음과 같다.
- [0086] 도 7은 본 발명에 따른 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해석방법의 순서도이다.
- [0087] 본 발명에서는 밀도와 전기비저항 두 물성을 이용한 해석 방법을 이용하였다.
- [0088] 도 7에 도시된 바와 같이, 3차원 밀도 역산단계(S12)를 통해 추출된 밀도 모델과 MT자료 3차원 역산단계(S22)를 통해 추출된 전기비저항 모델을 공간분포를 고려하여 임의의 지점에서의 자료 값을 추정하는 크리깅(kriging) 기법을 수행하여 동일한 3차원 그리드 ($L \times M \times N$) 상에서의 밀도 모델 $D_{data}(L, M, N)$ 와 전기비저항 모델 $R_{data}(L, M, N)$ 로 계산하는 공동 좌표 밀도값추정단계(S100) 및 공동 좌표 전기비저항값 추정단계(S200)의 수행을 통해 자료를 획득한다.
- [0089] 동일한 그리드 상에 존재하는 값인 밀도모델 $D_{data}(L, M, N)$ 과 전기비저항모델 $R_{data}(L, M, N)$ 들을 각 물성의 분포를 고려하여 아래의 수학적 식 1을 이용하여 정규화 하고 $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 물성간 산포도를 작성하는 정규화단계(S300)를 수행한다.
- [0090] <수학적 식 1>
- [0091]
$$ND = [D - \text{Mean}(D)] / [(\text{Max}(D) - \text{Min}(D)) / 2]$$
- [0092] 여기서, D는 밀도모델 $D_{data}(L, M, N)$ 과 전기비저항모델 $R_{data}(L, M, N)$,
- [0093] ND는 정규화된 물성 모델을 의미한다.
- [0094] 정규화단계(S300)를 거친, $ND_{data}(l, m, n)$ 와 $NR_{data}(l, m, n)$ 의 물성간 산포도 상에서 각 위치가 분포하는 위치를 4상한 역탄젠트(Four-quadrant inverse tangent)를 이용하여 구조화 각도 (Type Angle; TA)값으로 변환하고 원점에서 떨어진 거리를 이용하여 구조화 강도 (Type Intensity; TI) 값을 결정하는 TA 및 TI값 변환단계(S400)를 수행한다.

- [0095] TA 값과 TI값을 이용하여 구해진 산포도에서 물성값으로 추정할 수 있는 동일 구조에 의한 영향은 도 6(b) 및 도 8(b)에 도시된 바와 같이, 독립된 하나의 영역을 차지하게 된다. 이를 바탕으로 두 개 이상의 영역(class)으로 구분이 가능한 TI 값의 범위를 결정하여 영역을 구분하고, 결정된 영역 중 최소값을 임계값(Threshold)값으로 결정하는 임계값 결정단계(S500)를 수행한다.
- [0096] 임계값 결정단계(S500)에 의해 결정된 임계값을 기준으로 임계값 이상에서는 TA 값과 TI값을 이용하여 구해진 산포도에서 영역 구분이 명확한지를 비교판단하는 비교단계(S600)를 수행한다.
- [0097] 비교단계(S600)에서 임계값 이상에서의 영역구분이 불명확한 경우, 임계값 결정단계(S500)로 다시 돌아가 임계값을 재결정하게 된다.
- [0098] 비교단계(S600)에서 임계값 이상에서의 영역구분이 명확해지면, 이를 임계값으로 최종 결정하고, TA 값과 TI 값을 이용하여 구해진 산포도상에서 영역을 구분하는 영역 결정 단계(S700)를수행한다.
- [0099] 영역 결정 단계(S700)를 통해 획득된 영역중, 임계값(Threshold) 이상의 TI 범위에서 독립된 극대점을 갖는 각각의 포물선을 TA 값을 기준으로 구분하여 구조 해석을 수행하게 된다.
- [0100] 즉, 각기 구분된 영역(class)들이 갖는 물성적 특성과 지질학적 위치를 고려하여 암상이나 암종 및 구조를 결정하고 각 영역(class)의 공간 분포도를 3차원으로 작성하여 지질 구조의 공간적 특성을 해석하는 3차원 지질 구조 해석단계(S800)를 수행한다.

[0101] 실시예

- [0102] 본 발명에 따른 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해석방법을 적용하기 위해 도 5에 나타난 동일 좌표상에 분포하는 화산 칼데라의 밀도 및 전기비저항 모델을 이용하였다.
- [0103] 정규화된 물성 모델들은 도 8(a)과 같이 물성간 산포도로 나타내었으며, 이를 이용하여 도 8(b)에 보이는 것처럼 TA값과 TI 값을 계산하였다.
- [0104] 본발명에 따른 SI 기법의 적용성을 확인하기 위하여 Fig. 8(b)처럼 가능한 모든 극소값에서 지질 구조 영역(class)을 구분하였으며, 효과적인 화산 칼데라의 지질 구조 해석을 위해 임계값(Threshold)은 포물선이 구분되는 0.4로 설정하였다. 각 영역(class)의 물성값 범위는 표 1에 나타내었다.

표 1

[0105] SI에 의해 구분된 각 영역의 물성값

Structure Index	Normalized resistivity	Resistivity (log($\Omega\cdot m$))	Normalized relative density	Relative Density (g/cm^3)
Class 1	-0.5366 ~ +0.5355	0.99 ~ 2.80	-0.9882 ~ -0.2023	-0.043 ~ +0.076
Class 2	-0.6627 ~ -0.2841	2.06 ~ 2.79	-0.5236 ~ -0.2034	-0.057 ~ -0.015
Class 3	-0.7607 ~ -0.3482	2.41 ~ 3.02	-0.3718 ~ -0.1064	-0.070 ~ -0.022
Class 4	-1.1862 ~ -0.3885	2.80 ~ 3.63	-0.2000 ~ +0.1624	-0.115 ~ -0.027
Class 5	-0.6582 ~ -0.2613	3.52 ~ 4.16	+0.1130 ~ +0.3911	-0.057 ~ -0.013
Class 6	-0.3176 ~ -0.0722	3.98 ~ 4.55	+0.3135 ~ +0.5623	-0.019 ~ +0.008
Class 7	-0.1018 ~ +0.8138	3.43 ~ 5.58	+0.0729 ~ +1.0118	+0.005 ~ +0.011
Class 8	+0.3493 ~ +0.7074	2.58 ~ 3.47	-0.2962 ~ +0.0931	+0.055 ~ +0.095

- [0106] SI 기법에 의해 구분된 각 class 구조는 도 9에 3차원으로 영상화하였다. 선행 연구 자료들(윤성효, 1988, 이춘기 2006, 엄주영 외, 2008, 박계순 외, 2008, 양준모 외, 2008)과 물성 모델의 이상 영역 등을 공간적으로 고려할 때 화산 칼데라 지역은 물리탐사를 통해 도 9, 도 10에서 구분한 것과 같이 크게 3가지 지질 구조로 구분할 수 있다.

[0107] 1) Classes 2, 3, and 4: 팔공산 화강암체와 화산칼데라 중심 상부의 화산쇄설성 퇴적층

[0108] 이 지질 구조는 0.1 g/cm^3 정도까지 낮아지는 저밀도와 200 ohm-m 부근의 낮은 전기비저항 분포를 보이는 지질 구조이다. 이 지질 구조가 나타나는 지역은 화산 칼데라 중심부로 지표에서부터 심도 약 1 km 부근까지 연장되어 있는 화산쇄설성 퇴적층과 팔공산 화강암 지역이다. 화산쇄설성 퇴적층이 1 km 부근까지 연장되어 나타나는 것으로 보아 초기 분출 후 화산체 중앙부의 붕괴에 의해 생성된 퇴적층의 형상을 예상할 수 있다. 그러나 연구지역 남서쪽의 팔공산 화강암 지역의 경우 MT 탐사 측점이 없기 때문에 해석 결과와 같은 낮은 전기비저항을 기대하기는 어려우며 오히려 높은 전기비저항을 갖는 화강암의 특성을 고려하면 높은 전기비저항을 갖는 것으로 예상된다. 만약 팔공산 화강암 지역에서 MT 탐사가 이루어 졌다면 팔공산 화강암체와 화산쇄설성 퇴적층을 각기 다른 구조로 해석이 가능했을 것으로 예상된다.

[0109] 2) Class 6: 화산칼데라의 환상단층대에 관입한 화성암과 화산칼데라의 북동부에 걸쳐 나타나는 관입 화강암류

[0110] 이 지질 구조는 0.1 g/cm^3 와 10,000 ohm-m가 넘는 높은 밀도와 전기비저항을 갖는 구조를 나타내고 있다. 이러한 물성값은 이 지역의 화성암류의 물성을 잘 반영하고 있으며, 화산칼데라의 환상단층대와 연구지역 북동부에 걸쳐 나타나는 관입 화성암류의 구조를 나타내고 있다.

[0111] 3) Class 7: 기반암

[0112] 이 지질 구조는 높은 밀도와 상대적으로 낮은 전기비저항을 갖는다. 이 구조가 나타나는 공간적 위치와 물성값의 특성, 선행 연구 자료, 화산 칼데라 주변의 지질 구조를 고려하면 이는 기반암 또는 도 1(b),(c)의 신동층군으로 해석되며 밀도는 높지만, 이춘기(2006)에 의해 제안된 의성소분지 하부의 전기전도도가 좋은 층과 관련하여 상대적으로 낮은 전기비저항값을 보이고 있다. 단순히 각각의 물성 모델로만 해석을 수행한다면 고밀도 높은 전기비저항을 갖는 class 6과 구분하는 것이 용이하지 않지만, SI 기법을 이용하여 수월하게 구분이 가능함을 확인할 수 있다.

[0113] 그러나 class 5의 경우 도 8(b)와 도 10에서 보이는 바와 같이 class 4와 class 6의 점이 지역으로 해석되어 구조 해석에 포함시키지 않았다. 또한, class 1의 경우, 하나의 지질 구조로 다른 지역과 구분은 가능하지만, 이 지역에 중력 측정과 MT 측점이 존재하지 않는 지역으로 연구지역의 가장자리에서 나타나고 있어 SI 기법을 통해 역산의 신뢰도가 떨어지는 지역의 자료를 효과적으로 제거할 수 있었다.

[0114] 도 11(a)는 연구지역 전체 및 각 class의 밀도와 전기비저항의 분포도를 보여주고 있으며, 도 11(b)는 연구지역 전체 및 각 class의 밀도와 전기비저항의 확률 분포도를 보여주고 있다. 이를 통해 각 class에 속하는 물성 값의 범위 및 물성 값에 따른 노두의 수를 확인할 수 있어 각 class의 물성 특성을 한눈에 확인할 수 있다. 또한, 전체 연구지역의 확률 분포도를 보면 넓은 영역에 흩어져서 나타나고 있지만, 각 class의 경우 각 구조가 구분되어져서 좁은 영역의 물성 값으로 보이고 있다. 또한, 구조 해석에 있어서 한 물성 값에서는 비슷한 양상을 띠지만 두 물성 자료가 복합해석되어 구분되는 효과도 확인할 수 있다.

[0115] 도 12는 본 발명에 따른 다른 실시예로서의 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해석방법의 순서도이다.

[0116] 본 발명에서는 이종물성인 중력 자료와 MT 자료를 활용한 실시예를 나타내고 있으나, 중력 자료와 MT자료 이외의 서로 다른 이종 물성을 활용하더라도 본 발명의 권리범위를 벗어나는 것은 아니다.

[0117] 도 13은 본 발명에 따른 또 다른 실시예로서의 구조화 지수 (Structure Index; SI)를 이용한 3차원 지질구조 해석방법의 순서도이다.

[0118] 본 발명에서는 이중물성인 중력 자료와 MT 자료를 활용한 실시예를 나타내고 있으나, 중력 자료와 MT자료 이외의 두 개 이상의 서로 다른 물성을 활용하더라도 본 발명의 권리범위를 벗어나는 것은 아니다.

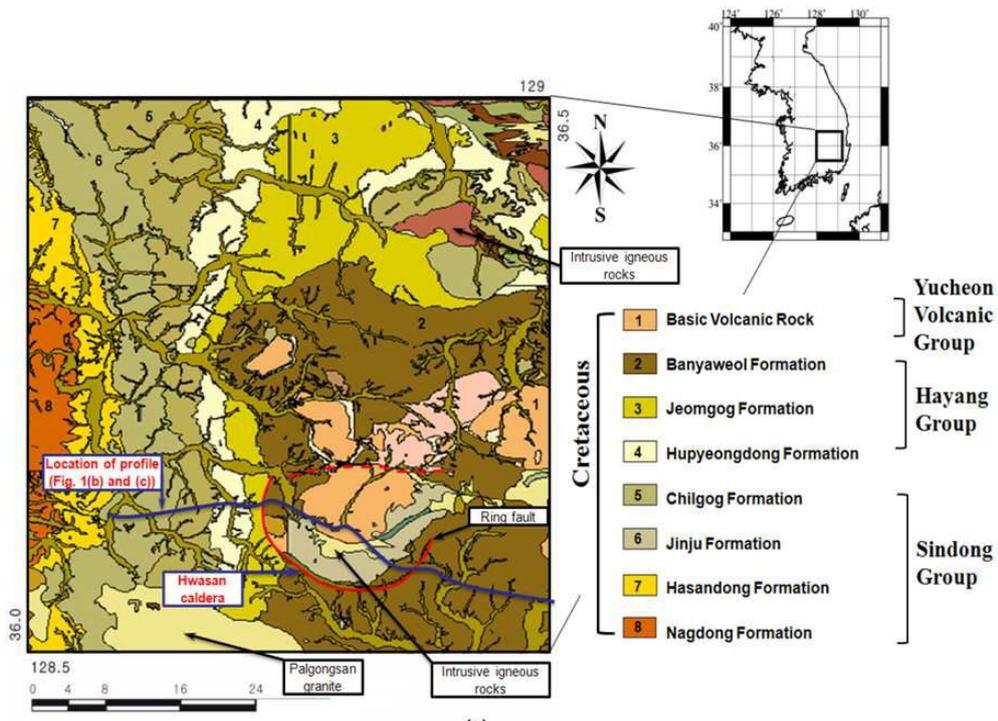
[0119] 이상에서 본 발명은 특정의 실시예와 관련하여 도시 및 설명하였지만, 첨부된 특허청구범위에 의해 나타난 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 한도내에서 다양한 변경, 개조 및 변화가 가능하다는 것을 당 업계에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구나 쉽게 알 수 있을 것이다.

부호의 설명

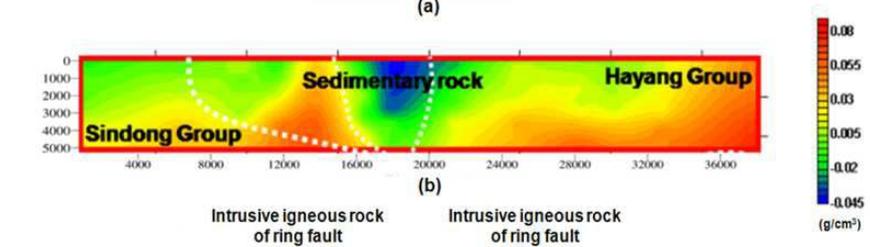
- [0120]
- S10: 중력탐사단계
 - S11: 중력 보정 단계
 - S12: 3차원 밀도 역산단계
 - S20: MT 탐사단계
 - S21: MT보정단계
 - S22: MT자료 3차원 역산단계
 - S100: 공동 좌표 밀도값 추정단계
 - S200: 공동 좌표 전기비저항값 추정단계
 - S300: 정규화단계
 - S400: TA 및 TI값 변환단계
 - S500: 임계값 결정단계
 - S600: 비교단계
 - S700: 영역 결정 단계
 - S800: 3차원 지질구조 해석단계
 - S100': 공동 좌표 제1모델값 추정단계
 - S200': 공동 좌표 제2모델값 추정단계
 - S100'': 공동 좌표 모델값 추정단계

도면

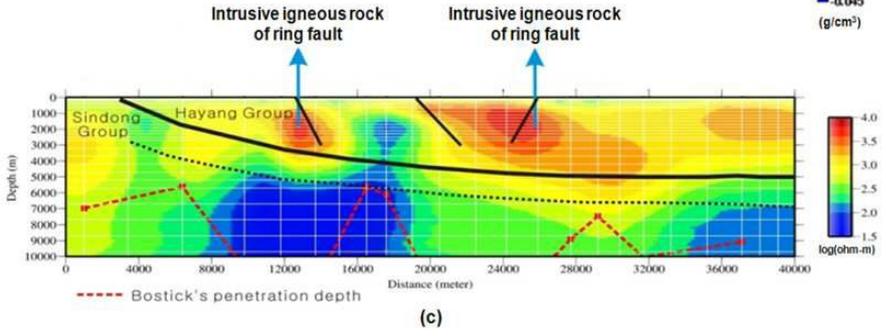
도면1



(a)

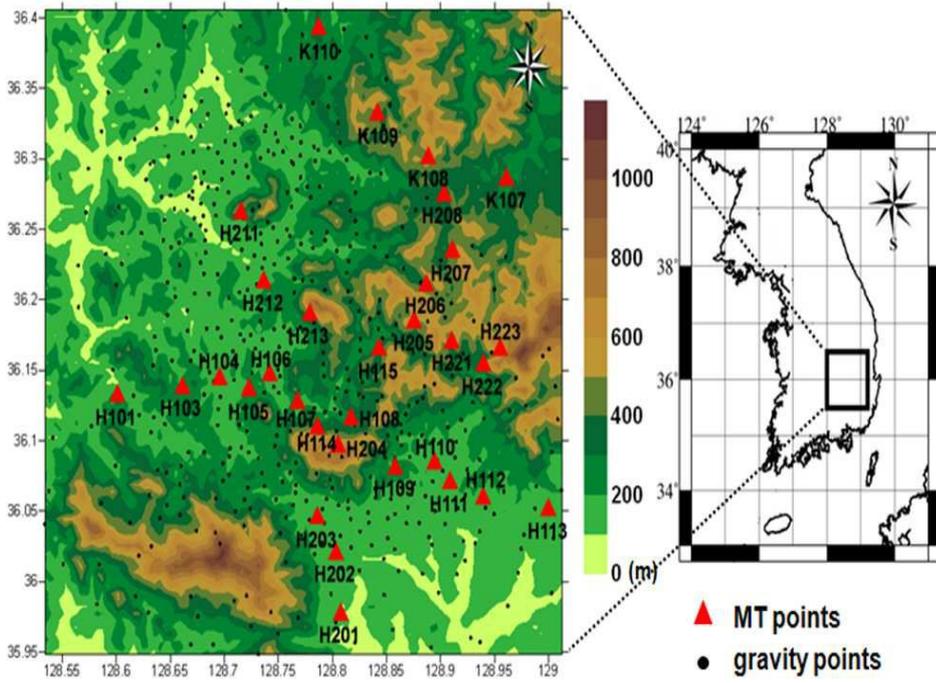


(b)

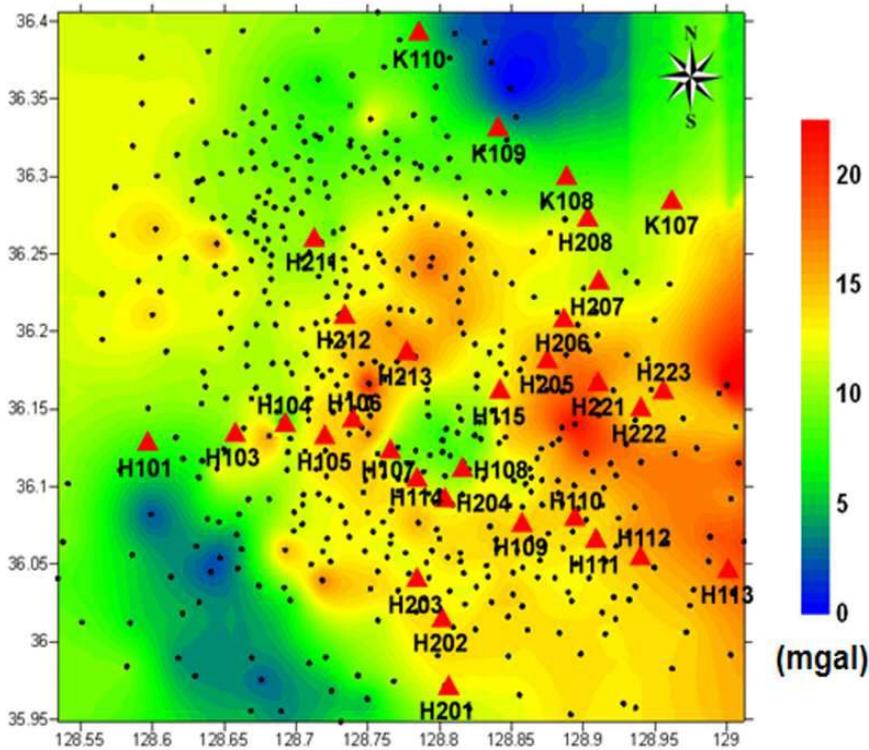


(c)

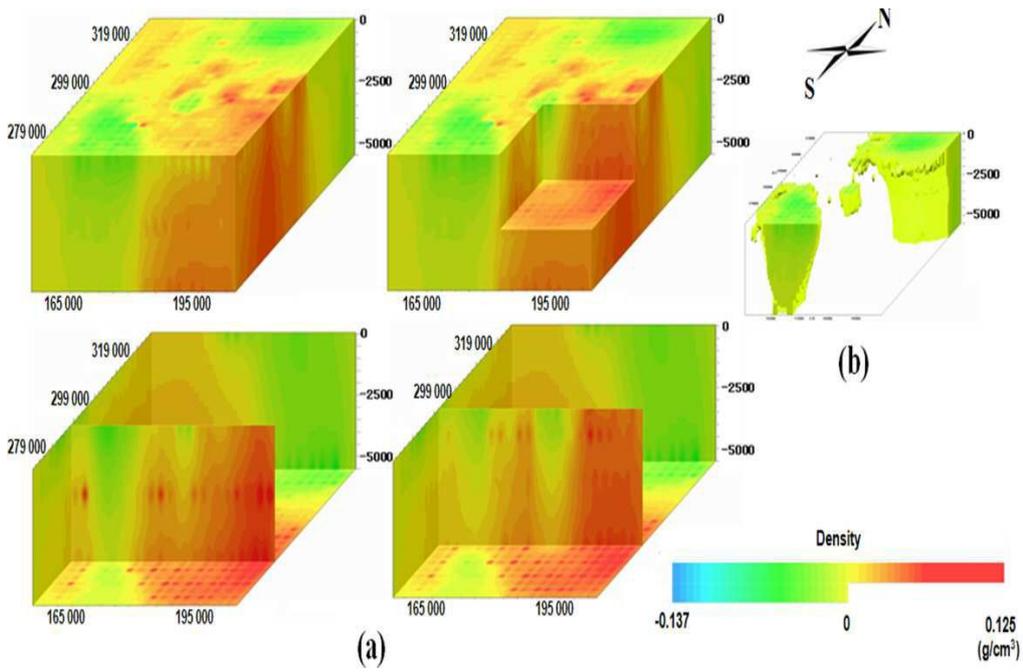
도면2



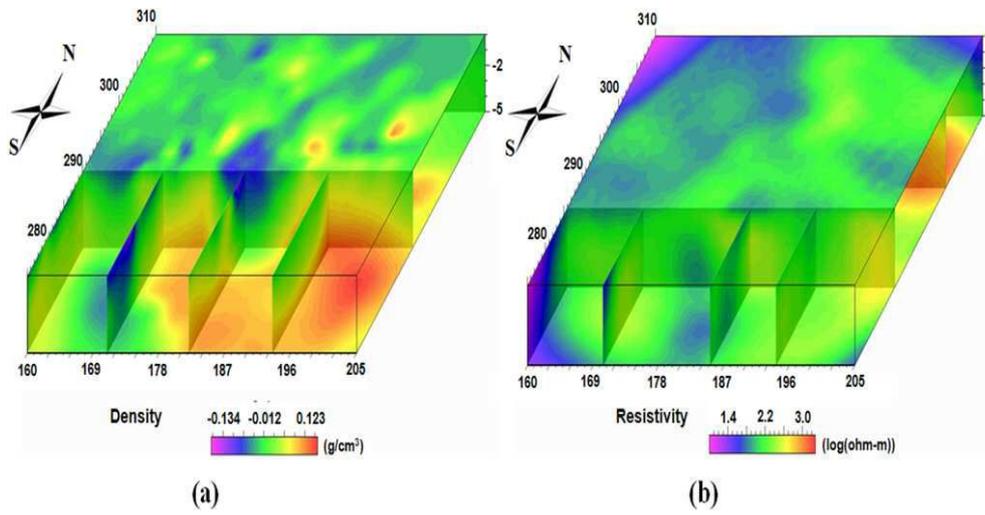
도면3



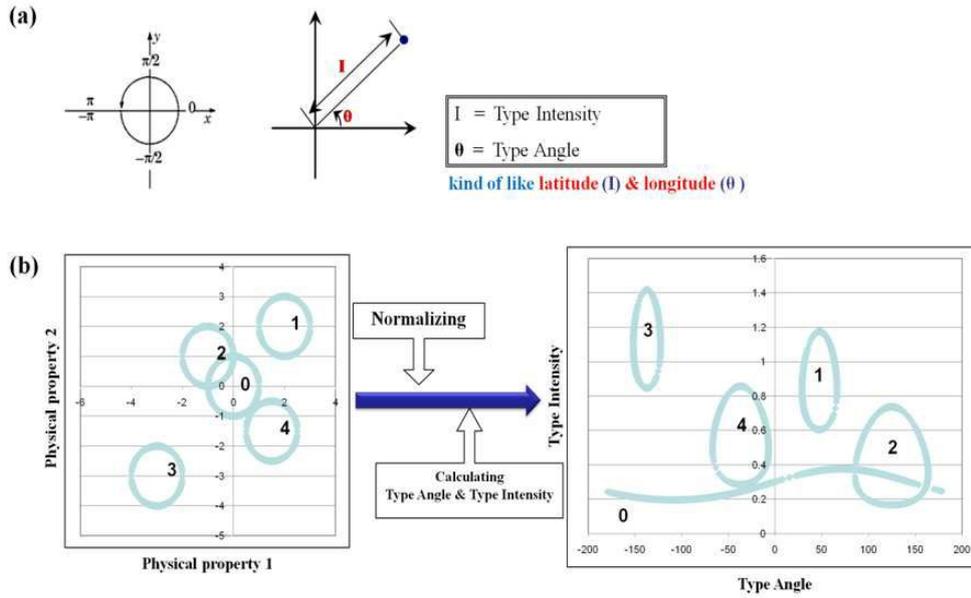
도면4



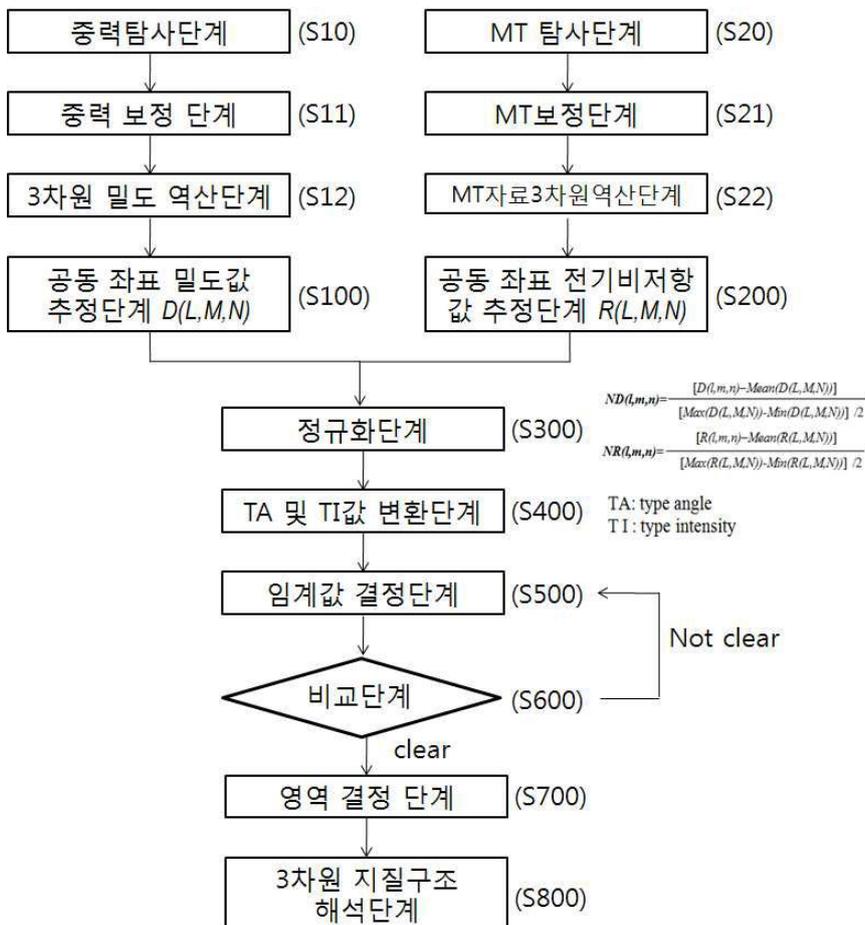
도면5



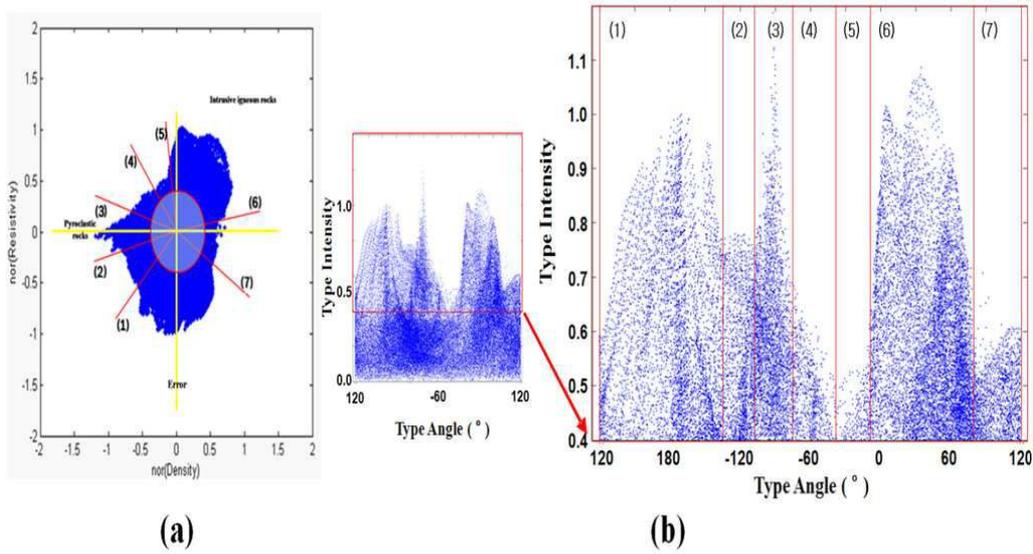
도면6



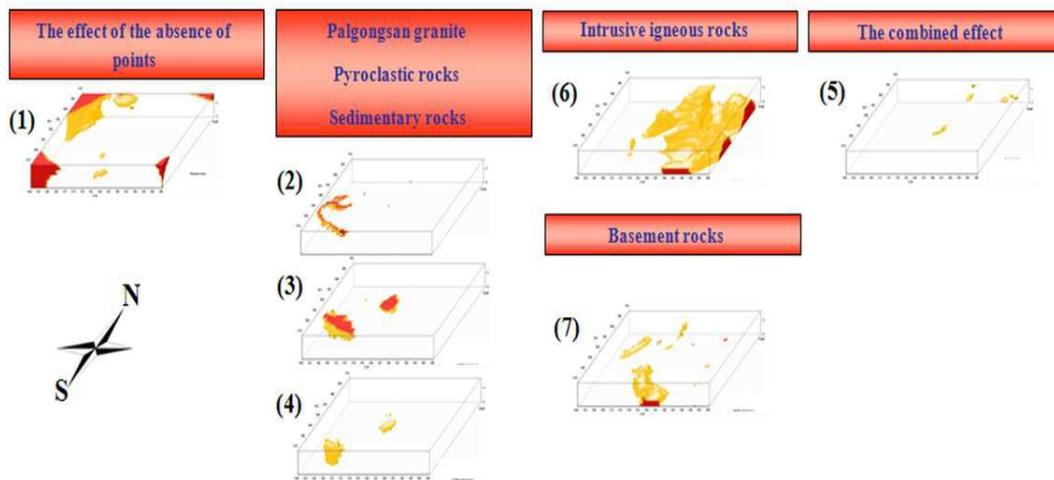
도면7



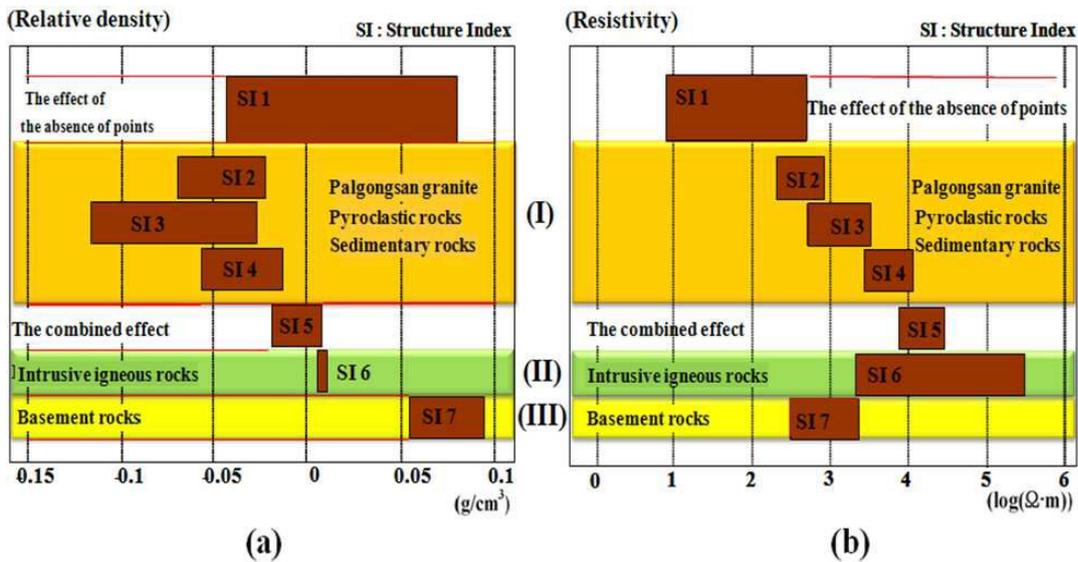
도면8



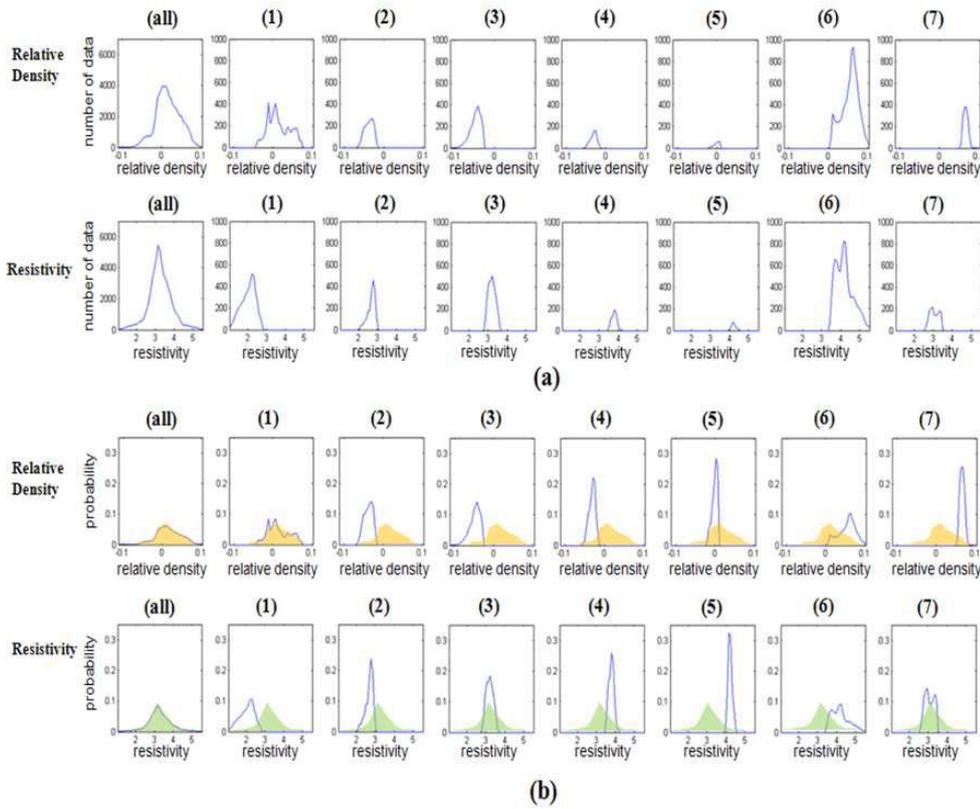
도면9



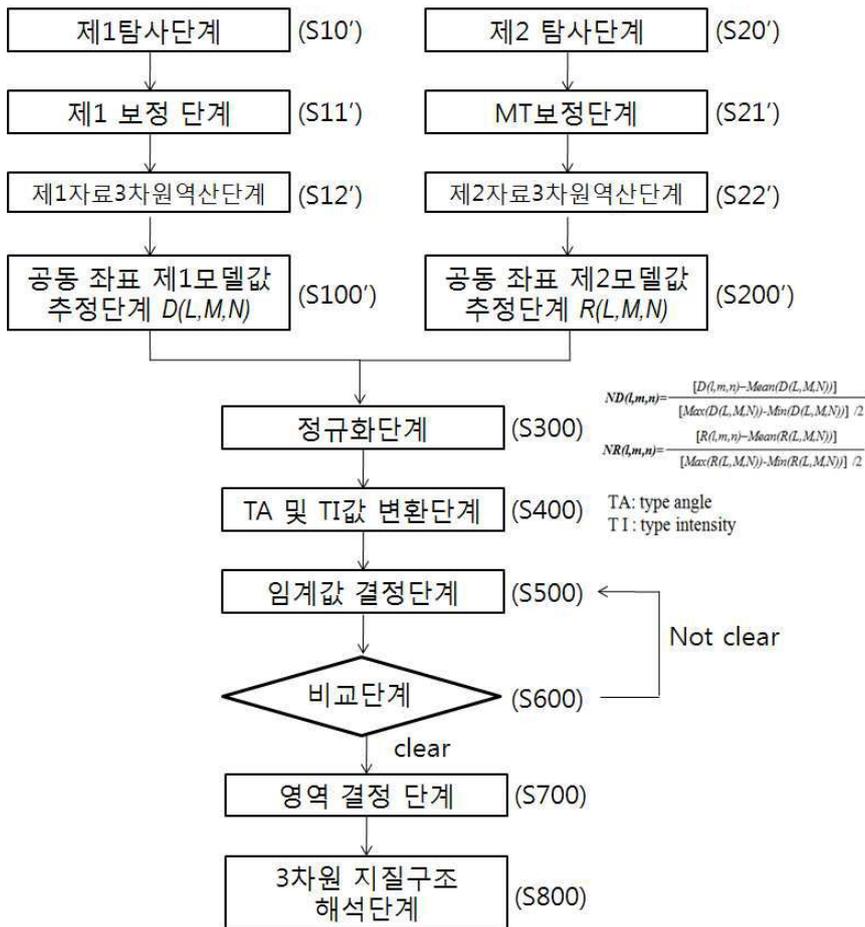
도면10



도면11



도면12



도면13

