



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0097342
(43) 공개일자 2023년07월03일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>G01N 21/31</i> (2006.01) <i>G01J 3/28</i> (2006.01)
 <i>G01N 21/17</i> (2006.01) <i>G01N 21/3563</i> (2014.01)
 <i>G01N 33/24</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>G01N 21/314</i> (2013.01)
 <i>G01J 3/2823</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2021-0186740
 (22) 출원일자 2021년12월24일
 심사청구일자 2021년12월24일</p> | <p>(71) 출원인
 충남대학교산학협력단
 대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)</p> <p>(72) 발명자
 유재형
 대전광역시 유성구 계룡로88번길 403
 서지희
 서울특별시 용산구 원효로 66 산호아파트 E동 310호
 김지은
 대전광역시 서구 관저북로 80 원앙마을2단지 203동 509호</p> <p>(74) 대리인
 이충한</p> |
|--|---|

전체 청구항 수 : 총 4 항

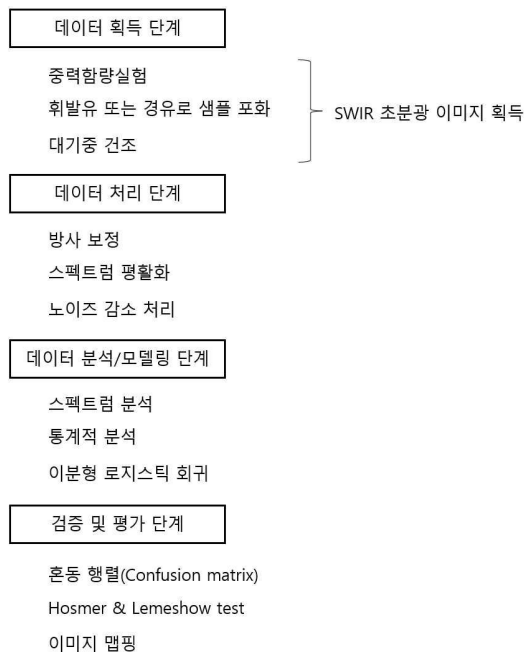
(54) 발명의 명칭 **초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법**

(57) 요약

본 발명은 오염토양 탐지 방법에 관한 것으로 보다 구체적으로는 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법에 관한 것으로, 본 발명의 하나의 양태에 따르면, 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법이 제공되고, 이 방법은,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



초분광 카메라를 통해 토양의 초분광 영상을 획득하는 단계;

획득된 초분광 영상을 데이터 처리하는 단계;

데이터 처리된 초분광 영상의 반사 스펙트럼으로부터 경유 함유 토양에 대한 예측 모델식을 구현하는 단계를 포함하고,

경유 함유 토양에 대한 예측 모델식은,

$$y = \frac{\text{경유}(\exp(0.042 * b_{1148} - 0.075 * b_{1215} + 0.020 * b_{1682} + 0.056 * b_{2264} - 0.069 * b_{2347} + 20.677))}{(1 + \exp(0.042 * b_{1148} - 0.075 * b_{1215} + 0.020 * b_{1682} + 0.056 * b_{2264} - 0.069 * b_{2347} + 20.677))}$$

로 정의된다.

(52) CPC특허분류

G01N 21/3563 (2013.01)

G01N 33/24 (2019.01)

G01N 2021/1765 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711110666
과제번호	2020R1A2C2005439
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	지질학적 인자와 분광분석을 활용한 토양오염 영상화 기법 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	충남대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법에 있어서,

초분광 카메라를 통해 토양의 초분광 영상을 획득하는 단계;

획득된 초분광 영상을 데이터 처리하는 단계;

데이터 처리된 초분광 영상의 반사 스펙트럼으로부터 경유 함유 토양에 대한 예측 모델식을 구현하는 단계를 포함하고,

경유 함유 토양에 대한 예측 모델식은,

$$y = \frac{\text{경유}}{(1 + \exp(0.042 * b_{1148} - 0.075 * b_{1215} + 0.020 * b_{1682} + 0.056 * b_{2264} - 0.069 * b_{2347} + 20.677))}$$

로 정의될 수 있으며, 여기서 b_{1148} 은 1148nm에서의 분광 반사도 값, b_{1215} 은 1215nm에서의 분광 반사도 값, b_{1682} 은 1682nm에서의 분광 반사도 값, b_{2264} 은 2264nm에서의 분광 반사도 값, b_{2347} 은 2347nm에서의 분광 반사도 값을 나타내는 것을 특징으로 하는 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

휘발유 함유 토양에 대한 예측 모델식을 더 포함하고, 휘발유 함유 토양에 대한 예측 모델식은,

$$y = \frac{\text{휘발유}}{(1 + \exp(-0.031 * b_{2313} - 0.050 * b_{2330} + 0.043 * b_{2347} + 0.071 * b_{2407} - 0.035 * b_{2463} - 2.562))}$$

로 정의될 수 있으며, 여기서 b_{2313} 은 2313nm에서의 분광 반사도 값, b_{2330} 은 2330nm에서의 분광 반사도 값, b_{2347} 은 2347nm에서의 분광 반사도 값, b_{2407} 은 2407nm에서의 분광 반사도 값, b_{2463} 은 2463nm에서의 분광 반사도 값을 나타내는 것을 특징으로 하는 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

건조 토양에 대한 예측 모델식을 더 포함하고, 상기 건조 토양에 대한 예측 모델식은,

$$y = \frac{\text{건조토양}}{(1 + \exp(-0.012 * b_{1052} + 0.016 * b_{1976} - 0.033 * b_{2192} + 0.028 * b_{2319} - 6.653))}$$

정의될 수 있으며, 여기서 b_{1052} 은 1052nm에서의 분광 반사도 값, b_{1976} 은 1976nm에서의 분광 반사도 값, b_{2192} 은 2192nm에서의 분광 반사도 값, b_{2319} 은 2319nm에서의 분광 반사도 값을 나타내는 것을 특징으로 하는 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

물 함유 토양에 대한 예측 모델식을 더 포함하고, 물 함유 토양에 대한 예측 모델식은,

$$y = \frac{\text{물} \cdot (\exp(0.010 * b_{1326} - 0.020 * b_{1965} + 0.015 * b_{2197} + 0.018 * b_{2313} - 0.021 * b_{2441} - 13.937))}{(1 + \exp(0.010 * b_{1326} - 0.020 * b_{1965} + 0.015 * b_{2197} + 0.018 * b_{2313} - 0.021 * b_{2441} - 13.937))}$$

로 정의될 수 있으며, 여기서 b_{1326} 은 1326nm에서의 분광 반사도 값, b_{1965} 은 1965nm에서의 분광 반사도 값, b_{2197} 은 2197nm에서의 분광 반사도 값, b_{2323} 은 2323nm에서의 분광 반사도 값, b_{2441} 은 2441nm에서의 분광 반사도 값을 나타내는 것을 특징으로 하는 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 오염토양 탐지 방법에 관한 것으로 보다 구체적으로는 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 초분광센서(Hyperspectral sensor)란, 대상물에서 반사되거나 대상물이 방사하는 전자기파를 수백 개 이상의 연속된 분광파장으로 기록하는 센서이다. 초분광센서로 얻어지는 연속된 분광파장의 자료는 지표와 다양한 대상물에 대한 탐지에 활용이 가능하다.

[0005] 최근 휘발유 및 디젤유와 같은 석유계 에너지의 사용량이 증가하면서 이와 같은 석유 화합물에 의한 토양의 오염이 증가되고 있다. 기존의 석유 화합물에 의한 토양 오염을 탐지하기 위해서는 현장조사 및 현장에서 채취한 토양 샘플을 화학적으로 분석하여, 예를 들면 토양 시료 제트유, 등유, 경유, 병커C유, 윤활유, 원유 등을 디클로로메탄으로 추출하여 정제한 후 석유계총탄화수소를 정량하여 분석하는 방법이 알려져 있다.

[0007] 그러나 이와 같은 토양 분석 방법은 분석에 오랜 시간이 걸릴 뿐만 아니라 비용 역시 고가이면서, 한정된 샘플을 통해 분석을 수행함에 따라 공간적 연속성이 떨어져서 넓은 면적에 걸친 토양 오염도를 측정하기 어렵다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 10-1705346(2017년 2월 13일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 전술한 문제점에 기반하여 안출된 발명으로서 초분광 영상을 이용하여 넓은 면적에 걸쳐 석유화합물 오염 토양을 탐지하는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0012] 전술한 과제를 해결하기 위해 본 발명의 일양태에 따르면, 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법이 제공되고, 이 방법은,

[0013] 초분광 카메라를 통해 토양의 초분광 영상을 획득하는 단계;

[0014] 획득된 초분광 영상을 데이터 처리하는 단계;

[0015] 데이터 처리된 초분광 영상의 반사 스펙트럼으로부터 경유 함유 토양에 대한 예측 모델식을 구현하는 단계를 포함하고,

[0016] 경유 함유 토양에 대한 예측 모델식은,

$$y = \frac{\text{경유}(\exp(0.042 * b_{1148} - 0.075 * b_{1215} + 0.020 * b_{1682} + 0.056 * b_{2264} - 0.069 * b_{2347} + 20.677))}{(1 + \exp(0.042 * b_{1148} - 0.075 * b_{1215} + 0.020 * b_{1682} + 0.056 * b_{2264} - 0.069 * b_{2347} + 20.677))}$$

[0018] 로 정의될 수 있으며, 여기서 b_{1148} 은 1148nm에서의 분광 반사도 값, b_{1215} 은 1215nm에서의 분광 반사도 값, b_{1682} 은 1682nm에서의 분광 반사도 값, b_{2264} 은 2264nm에서의 분광 반사도 값, b_{2347} 은 2347nm에서의 분광 반사도 값을 나타낸다.

[0020] 또한 전술한 양태에 있어서, 상기 방법은 휘발유 함유 토양에 대한 예측 모델식을 더 포함하고, 휘발유 함유 토양에 대한 예측 모델식은,

$$y = \frac{\text{휘발유}(\exp(-0.031 * b_{2313} - 0.050 * b_{2330} + 0.043 * b_{2347} + 0.071 * b_{2407} - 0.035 * b_{2463} - 2.562))}{(1 + \exp(-0.031 * b_{2313} - 0.050 * b_{2330} + 0.043 * b_{2347} + 0.071 * b_{2407} - 0.035 * b_{2463} - 2.562))}$$

[0022] 로 정의될 수 있으며, 여기서 b_{2313} 은 2313nm에서의 분광 반사도 값, b_{2330} 은 2330nm에서의 분광 반사도 값, b_{2347} 은 2347nm에서의 분광 반사도 값, b_{2407} 은 2407nm에서의 분광 반사도 값, b_{2463} 은 2463nm에서의 분광 반사도 값을 나타낸다.

[0024] 또한 전술한 양태에 있어서, 상기 방법은 건조 토양에 대한 예측 모델식을 더 포함하고, 상기 건조 토양에 대한 예측 모델식은,

$$y = \frac{\text{건조토양}(\exp(-0.012 * b_{1052} + 0.016 * b_{1976} - 0.033 * b_{2192} + 0.028 * b_{2319} - 6.653))}{(1 + \exp(-0.012 * b_{1052} + 0.016 * b_{1976} - 0.033 * b_{2192} + 0.028 * b_{2319} - 6.653))}$$

[0026] 로 정의될 수 있으며, 여기서 b_{1052} 은 1052nm에서의 분광 반사도 값, b_{1976} 은 1976nm에서의 분광 반사도 값, b_{2192} 은 2192nm에서의 분광 반사도 값, b_{2319} 은 2319nm에서의 분광 반사도 값을 나타낸다.

[0028] 또한 전술한 양태에 있어서, 상기 방법은 물 함유 토양에 대한 예측 모델식을 더 포함하고, 물 함유 토양에 대한 예측 모델식은,

$$y = \frac{\text{물}(\exp(0.010 * b_{1326} - 0.020 * b_{1965} + 0.015 * b_{2197} + 0.018 * b_{2313} - 0.021 * b_{2441} - 13.937))}{(1 + \exp(0.010 * b_{1326} - 0.020 * b_{1965} + 0.015 * b_{2197} + 0.018 * b_{2313} - 0.021 * b_{2441} - 13.937))}$$

[0030] 로 정의될 수 있으며, 여기서 b_{1326} 은 1326nm에서의 분광 반사도 값, b_{1965} 은 1965nm에서의 분광 반사도 값, b_{2197} 은 2197nm에서의 분광 반사도 값, b_{2323} 은 2323nm에서의 분광 반사도 값, b_{2441} 은 2441nm에서의 분광 반사도 값을 나타낸다.

발명의 효과

[0032] 본 발명에 따르면 토양의 반사 스펙트럼 변화를 통해 토양이 석유 화합물에 의해 오염되었는지 여부를 넓은 면

적에 걸쳐 감지할 수 있는 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1은 본 발명에 따른 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법의 흐름도;
 도 2는 본 발명의 석유화합물 오염토양 탐지 방법에서 토양 샘플의 함량을 구하는 방법을 설명하기 위한 설명도;
 도 3은 토양 샘플에 대한 분광특성을 나타내는 그래프;
 도 4는 물, 경유, 휘발유의 함량별 토양 샘플에 대한 분광 특성을 나타내는 그래프;
 도 5는 초분광 영상취득을 설명하기 위한 설명도;
 도 6a 내지 도 6d는 각각 건조토양, 물, 경유 및 휘발유에 대한 모델식의 정밀도를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되는 실시예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이다.
- [0037] 본 명세서에서 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 그리고 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 따라서, 몇몇 실시예들에서, 잘 알려진 구성 요소, 잘 알려진 동작 및 잘 알려진 기술들은 본 발명이 모호하게 해석되는 것을 피하기 위하여 구체적으로 설명되지 않는다.
- [0039] 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다. 그리고, 본 명세서에서 사용된(언급된) 용어들은 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 또한, '포함(또는, 구비)한다'로 언급된 구성 요소 및 동작은 하나 이상의 다른 구성요소 및 동작의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0041] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 정의되어 있지 않은 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0043] 도 1은 본 발명에 따른 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법의 흐름도를 나타낸 도면이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 초분광 분석을 이용한 석유화합물 오염토양 탐지 방법은 데이터 획득 단계; 데이터 처리 단계; 데이터 분석 및 모델링 단계; 검증 및 평가 단계를 포함한다.
- [0045] 구체적으로 데이터 획득 단계에서는 중력 기반으로 시료로 이용되는 토양의 중량을 측정하는 중량측정 단계; 중량측정된 시료를 증류수, 휘발유 또는 경유로 포화시키는 샘플 포화 단계; 및 포화된 샘플을 대기중에서 건조시키는 단계를 포함하고, 이후 건조된 시료의 증류수, 휘발유, 경유의 함량비를 측정한 후; 함량별 SWIR 초분광 영상을 획득하게 된다.
- [0047] 본 발명에서 이용되는 토양의 샘플은 도 2에 도시된 바와 같이 건조 토양 샘플, 건조 토양에 증류수로 포화시킨 후 자연건조시킨 증류수 토양 샘플, 건조 토양에 휘발유로 포화시킨 후 자연건조시킨 휘발유 토양 샘플 및 건조 토양에 경유로 포화시킨 후 자연건조시킨 경유 포화 샘플이 사용된다.

[0049] 각각의 샘플내에서 증류수, 휘발유, 경유의 함량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

[0050]

$$\text{함량비} = \frac{(\text{용기} + \text{시료의 건조 전 무게}) - (\text{용기} + \text{시료의 건조 후 무게})}{(\text{용기} + \text{시료의 건조 전 무게}) - (\text{용기의 무게})} \times 100$$

[0052] SWIR 초분광 영상을 취득하기 위해 앞서 건조토양, 물 함유 토양, 휘발유 또는 경유 오염 토양의 분광곡선에서 유의미한 차이가 있는 파장대역을 확인하기 위해 먼저 휴대용 분광계(스펙트로미터)를 이용하여 휘발유, 경유, 오염토양 분광특성 분석한다. 각 샘플의 반사 스펙트럼은 ASD(Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, Colorado, UAS) Labspec 5100 분광계를 사용하여 획득하였다. 계측기는 3~5 nm 스펙트럼 분해능에서 350~2500 nm의 반사 스펙트럼을 획득한다. 스펙트로미터인 휴대용 분광계는 더 넓은 파장 대역을 측정할 수 있으며 이를 통해 분광반사도 변화가 발생하는 영역이 단파적외선(SWIR) 영역이 맞는지 확인할 수 있으며, 단파적외선 영역이 맞다고 확인된 이후 단파 적외선(SWIR) 초분광 카메라로 SWIR 초분광 이미지가 획득될 수 있다.

[0054] 분광계는 최적의 스펙트럼 획득을 위해 반사율이 99%인 황산바륨(BaSO₄) 보정 패널로 보정되었다. 각 샘플의 분광 반사율은 배경 효과를 제거하기 위해 검은색 표면에서 측정되었으며, 각각은 4번의 측정에서 평균화되었다.

[0056] 1400nm~2500nm 영역에 해당하는 ShortwaveInfrared (SWIR=단파적외선) 대역은 기름 성분, 수분함량 분석에 효과적이므로 본 발명에서는 SWIR 영역의 초분광 카메라를 이용하여 초분광 이미지를 획득하였다.

[0058] SWIR 초분광 이미지는 Specim SWIR 카메라(Specim, Spectral Imaging Ltd.)로 수행되었다. 이 카메라는 총 288개 대역(384 * 384픽셀)에 대해 12nm 해상도에서 916~2500nm의 스펙트럼 범위를 포괄하는 푸시 브room 모드(push-broom mode)에서 작동하는 초분광 CMOS 카메라이다. 카메라 시스템에 의해 반사율이 99%인 황산바륨(BaSO₄)으로 만들어진 레퍼런스 패널이 있는 이미지 내의 흰색 참조 패널에 의해 방사 측정 보정 및 정규화가 자동으로 수행되었다.

[0060] 다시 도 1을 참조하면, SWIR 초분광 이미지가 획득된 이후 본 발명에 따른 석유화합물 오염토양 탐지 방법은 데이터 처리 단계를 실시하게 된다. 데이터 처리 단계는 방사 보정 단계; 스펙트럼 평활화 단계; 및 노이즈 감소 처리 단계를 포함한다.

[0062] 초분광 데이터의 이미지 처리를 위해, ENVI(Environment for Visualizing Images, Version 5.5.3, L3Harris Geospatial, Colorado, USA) 소프트웨어가 사용되었으며, 본 발명에 사용된 초분광 카메라는 916 - 1000nm의 스펙트럼 범위에서 더 높은 노이즈 대 신호 비율을 가지며 이는 SWIR 초분광 카메라에서 일반적으로 보고되는 현상이다. 따라서 본 발명에서는 분광분석 및 초분광 영상 데이터를 이용한 유류오염토양 탐지 모델 개발을 위해 높은 S/N 대역을 제외하였다.

[0064] 먼저 방사 보정 단계에서는, 총 288개의 밴드(대역)를 가지고 있는 초분광 영상의 각 밴드별 화소값(Digital Number value; DN value)을 분광반사도값으로 변환하였다. 이를 위해 카메라 시스템에 의해 자동으로 취득되는 dark refernce 값과 초분광 영상 취득시 함께 취득한 반사율이 99%인 황산바륨(BaSO₄)으로 만들어진 white reference 패널값을 이용하였다. ENVI 소프트웨어의 Scan Normalization Tool을 이용하여 방사 보정 및 정규화를 수행하였으며 반사도로 변환하는 식은 다음과 같다.

[0065]

$$Reflectance = \frac{(Raw - Dark)}{(White - Dark)}$$

- [0066] Raw= a raw frame from the raw image file
- [0067] Dark= averaged frame, data from dark reference file
- [0068] White= averaged frame, data from white reference file
- [0070] 이후 획득한 반사 스펙트럼은 The spectral Geologist 7.5 (TSG 7.5) 및 ENVI 소프트웨어(version 5.3, L3Harris Technologies, Melbourne, Florida, USA)를 사용하여 Savitzky-Golay 컨볼루션 방법(2nd order polynomial, 25 smoothing points)으로 평활화를 수행하게 된다.
- [0072] 평활화 후 노이즈 처리 단계에서는, ENVI 소프트웨어의 최소 잡음 비율 변환(Minimum Noise Fraction transformation; MNF transformation)을 이용하여 노이즈를 보정하며 SWIR 카메라 기기 자체에서 발생하는 노이즈 대역인 971~1027nm 를 제외하고 초분광 이미지를 추출한다.
- [0074] 데이터 처리 단계에 이어서 본 발명에 따른 석유화합물 오염토양 탐지 방법은 데이터 분석 및 모델링 단계를 포함하고, 데이터 분석 및 모델링 단계는 스펙트럼 분석 단계; 통계적 분석 단계; 및 이분형 로지스틱 회귀 단계를 거쳐 석유화합물 오염토양 탐지를 위한 모델이 구해진다.
- [0076] 스펙트럼 분석 단계에서는 반사도 분광곡선과 Hull-quotient 보정처리 된 분광곡선을 적절히 비교하여 세밀한 분광특성분석을 실시하였다. Hull-quotient 보정방법은 반사도 곡선 내 나타나는 흡수특성을 극대화시키는 방법으로 특정 파장대 영역 내에서 서로 다른 대상들이 가지고 있는 흡광특성의 위치, 깊이 등을 비교분석하는데 매우 유용하게 이용되는 보정기법이다. 이를 바탕으로 건조토양, 증류수 토양, 휘발유 토양, 경유 토양의 분광 반사도가 변이를 나타내는 파장대역을 확인하였다.
- [0078] 스펙트럼 분석이 완료된 후 통계적 분석이 수행된다. 스펙트럼을 기반으로 건조토양, 수분 함유 토양, 휘발유 또는 경유 오염 토양이 분류되는지 확인하기 위해 RStudio와 SPSS 소프트웨어를 활용하여 앙상블 머신러닝 모델인 랜덤포레스트를 구동하였다. 그 결과 예측 혼돈 행렬에서 모든 class에 대한 계층 오차가 14% 미만으로, 스펙트럼에 의해 각 class가 구분이 되는 것을 확인하였다.
- [0080] 도 3은 건조토양, 증류수 토양, 휘발유 토양, 경유 토양에서 얻어진 분광 특성을 나타내고, 도 4는 건조토양, 증류수 토양, 휘발유 토양, 경유 토양에서의 함량별 분광 특성을 나타내는 도면이다.
- [0082] 도 3에 도시된 바와 같이 모든 토양에서 1400nm, 1900nm 부근에서 물에 의한 흡광특성이 나타났으며, 건조 토양 또는 증류수 토양의 분광반사도와 달리 유류오염토양(경유, 휘발유)에서만 특징적으로 흡광특성이 나타난 파장대역은 1720nm, 1760nm, 2300nm 부근이다. 도 4는 Hull-Quotient 보정방법을 통해 토양 내 증류수, 경유, 휘발유의 함량에 따라 흡광깊이가 어떻게 변하는지를 구체적으로 나타내는 도면이다. 경유, 휘발유의 함량이 높아질수록 전체적으로 반사도가 낮아지고, 흡광특성이 일어나는 파장대역에서 흡광의 깊이가 깊어지는 특성을 갖는다.
- [0084] 휘발유 및 경유에 노출된 토양을 검출하기 위한 지표는 로지스틱 회귀분석을 기반으로 개발되었으며, 초분광 영상에 지표를 적용하여 휘발유 및 경유에 노출된 토양을 시각화하였다.
- [0086] 모델 구성에는 SPSS 이분형 로지스틱 회귀 분석 패키지가 사용되었다. 이분형 로지스틱 회귀는 두 개의 클래스를 가정한 훈련 데이터를 사용하고 독립 변수 X를 기반으로 종속 변수를 파생한다.

[0088] 건조토양, 물, 경유, 휘발유에 대한 탐지 모델식은 다음과 같다.

$$y = \frac{\text{건조토양} \cdot (\exp(-0.012 \cdot b1052 + 0.016 \cdot b1976 - 0.033 \cdot b2192 + 0.028 \cdot b2319 - 6.653))}{(1 + \exp(-0.012 \cdot b1052 + 0.016 \cdot b1976 - 0.033 \cdot b2192 + 0.028 \cdot b2319 - 6.653))}$$

$$y = \frac{\text{물} \cdot (\exp(0.010 \cdot b1326 - 0.020 \cdot b1965 + 0.015 \cdot b2197 + 0.018 \cdot b2313 - 0.021 \cdot b2441 - 13.937))}{(1 + \exp(0.010 \cdot b1326 - 0.020 \cdot b1965 + 0.015 \cdot b2197 + 0.018 \cdot b2313 - 0.021 \cdot b2441 - 13.937))}$$

$$y = \frac{\text{경유} \cdot (\exp(0.042 \cdot b1148 - 0.075 \cdot b1215 + 0.020 \cdot b1682 + 0.056 \cdot b2264 - 0.069 \cdot b2347 + 20.677))}{(1 + \exp(0.042 \cdot b1148 - 0.075 \cdot b1215 + 0.020 \cdot b1682 + 0.056 \cdot b2264 - 0.069 \cdot b2347 + 20.677))}$$

$$y = \frac{\text{휘발유} \cdot (\exp(-0.031 \cdot b2313 - 0.050 \cdot b2330 + 0.043 \cdot b2347 + 0.071 \cdot b2407 - 0.035 \cdot b2463 - 2.562))}{(1 + \exp(-0.031 \cdot b2313 - 0.050 \cdot b2330 + 0.043 \cdot b2347 + 0.071 \cdot b2407 - 0.035 \cdot b2463 - 2.562))}$$

[0094] 탐지된 모델식에서 b는 해당 파장대역에서의 분광반사도값을 의미한다. 예를 들면 b2313은 파장 2313nm에서의 분광 반사도 값을 나타낸다.

[0097] 회귀 모델의 정확도는 Log-likelihood ratio test, Hosmer and Lemshow test, kappa coefficient, 그리고 Log-likelihood ratio test를 pseudo R2(Cox and Snell, Nagelkerke) 값으로 평가한 전체 정확도로 평가하였다. R2 값이 0.2 이상인 모델은 허용되는 것으로 간주된다.

[0099] * 토양 탐지 모델의 적용

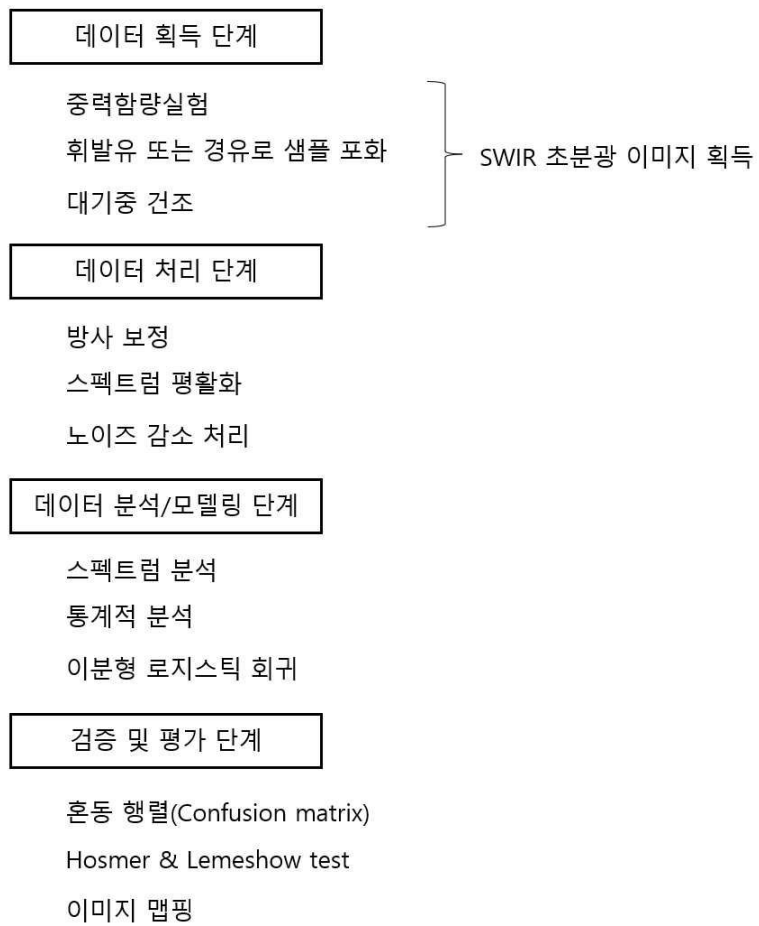
[0100] 도 6a 내지 도 6d는 전술한 바와 같은 건조토양, 물, 경유, 휘발유에 대한 탐지 모델식을 적용한 결과를 나타낸다. 도 6a에 도시된 바와 같이 건조 토양의 경우 전술한 건조토양에 대한 모델식을 적용한 결과 87.25%의 탐지 정확도를 나타내었고, 물의 경우 도 6b에 도시된 바와 같이 전술한 물에 대한 모델식을 적용한 결과 96.62%의 탐지 정확도를 나타내었다. 또한 경유의 경우 도 6c에 도시된 바와 같이 전술한 경유에 대한 모델식을 적용한 결과 95.18%의 탐지 정확도를 나타내었고, 휘발유의 경우 탐지 임계치는 휘발유 함량 7.71%로서 전술한 휘발유에 대한 모델식을 적용한 결과 도 6d에 도시된 바와 같이 78.53%의 탐지 정확도를 나타내었으며, 따라서 모델 전체에 대한 총 정확도는 82.77%이었고, 카파(Kappa) 계수는 0.7799이었다.

[0102] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(Arithmetic Logic Unit), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(Field Programmable Gate Array), PLU(Programmable Logic Unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(Command)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리요소(Processing Element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(Parallel Processor)와 같은, 다른 처리 구성(Processing Configuration)도 가능하다.

- [0104] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(Computer Program), 코드(Code), 명령(Command), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(Collectively)처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(Component), 물리적 장치, 가상 장치(Virtual Equipment), 컴퓨터 저장매체 또는 장치에 구체화(Embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0106] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 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.
- [0108] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0110] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속하는 것으로 해석되어야만 한다.

도면

도면1

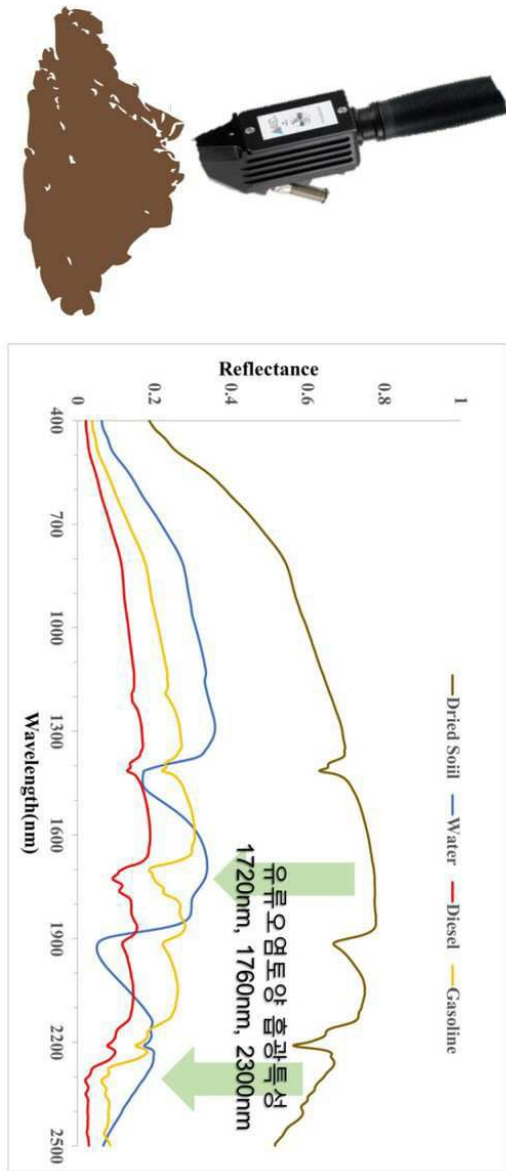


도면2

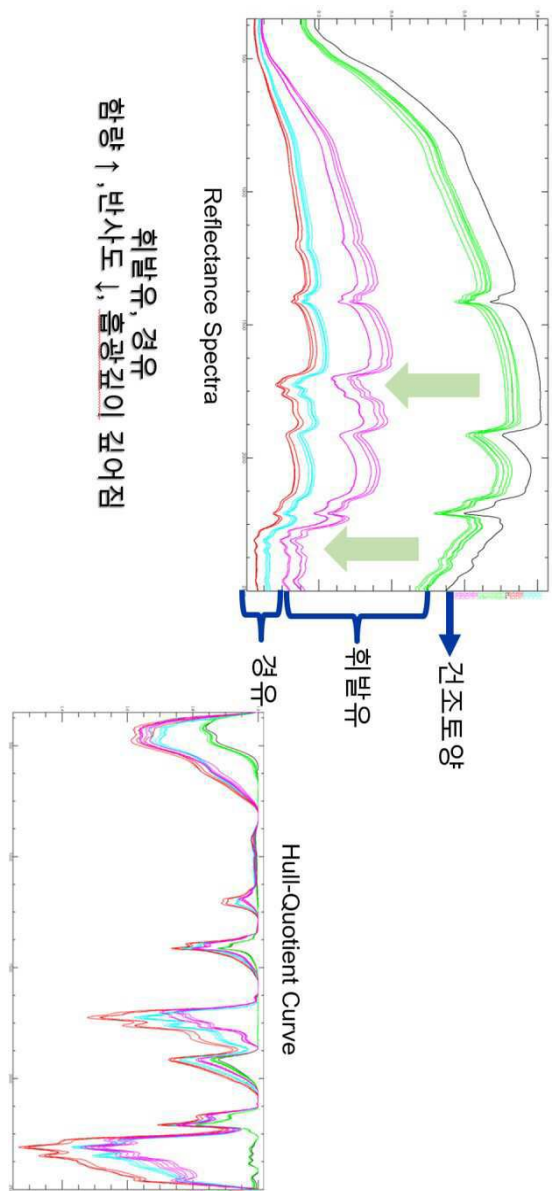
$$\text{함량비} = \frac{(\text{용기 + 시료의 건조 전 무게}) - (\text{용기 + 시료의 건조 후 무게})}{(\text{용기 + 시료의 건조 전 무게}) - (\text{용기의 무게})} \times 100$$



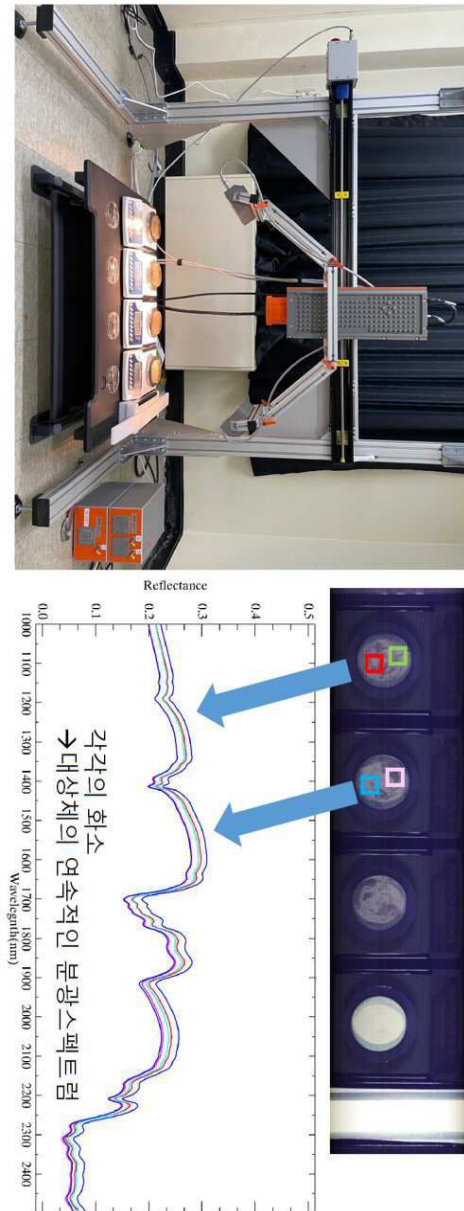
도면3



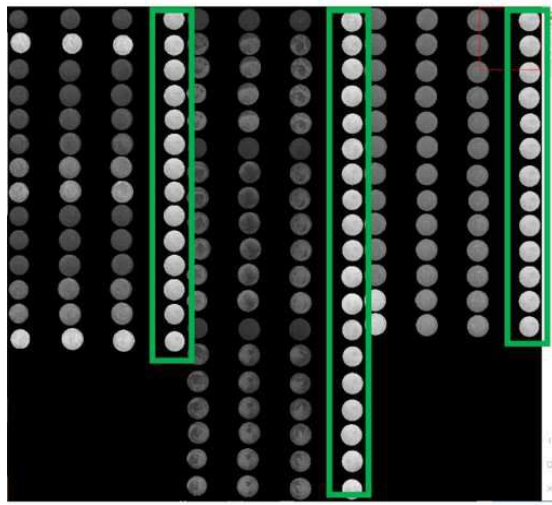
도면4



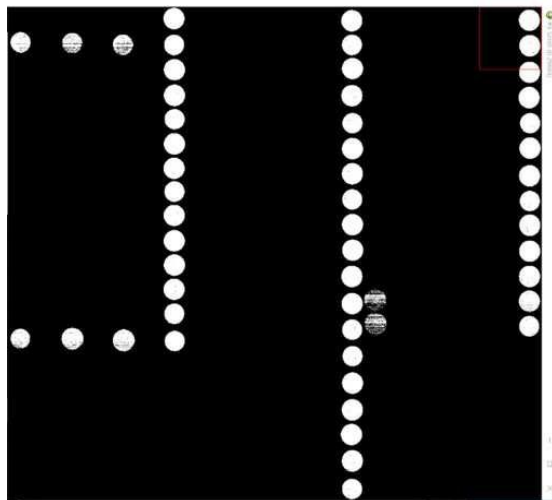
도면5



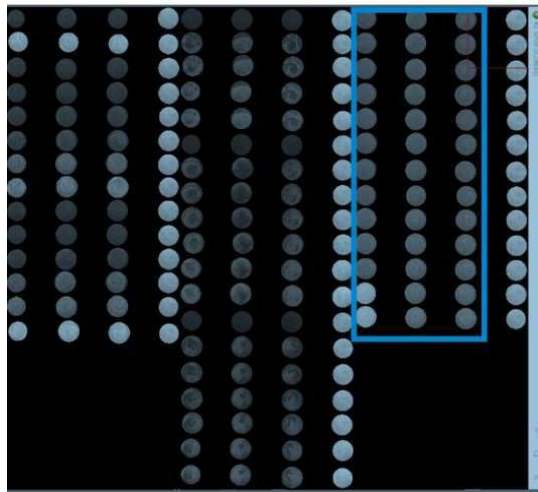
도면6a



*백색: O
*흑색: X
구조토양
모델 적용
정확도
87.25%



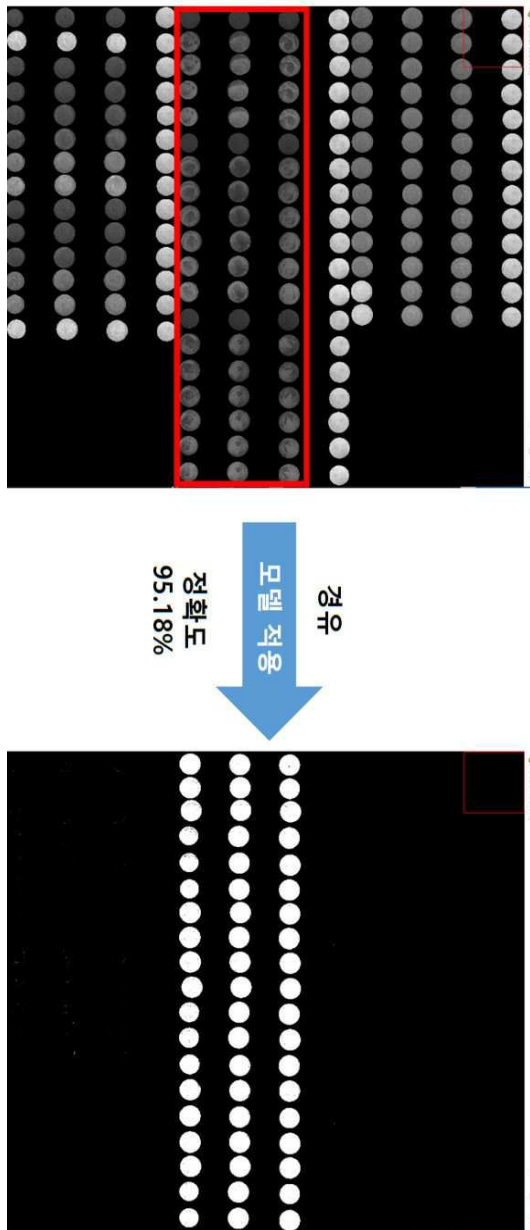
도면6b



블
모델 적용
정확도
96.62%



도면6c



도면6d

