



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0105280
(43) 공개일자 2025년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 33/24 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G01N 33/24 (2019.01)

(21) 출원번호 10-2024-0200782

(22) 출원일자 2024년12월30일

심사청구일자 2024년12월30일

(30) 우선권주장

1020230196472 2023년12월29일 대한민국(KR)

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

건국대학교 산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 120, 건국대학교내 (화양동)

(72) 발명자

현승훈

경기도 구리시 갈매중앙로 25, 607동 2501호 (갈매동, 갈매6단지)

황원재

세종특별자치시 보람로 96, 2002동 1901호 (도담동, 도람마을20단지한양수자인에듀파크아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

박상열, 최내윤

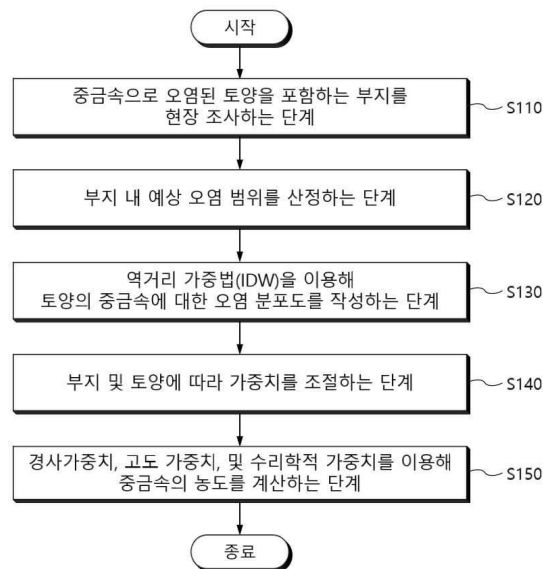
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 개선된 역거리 가중법을 이용한 폐광산 부지에서 카드뮴, 아연, 구리의 토양 오염 분포 예측

(57) 요약

중금속으로 오염된 토양을 포함하는 부지를 현장 조사하는 단계, 및 역거리 가중법(inverse distance weighting, IDW)을 이용해 상기 토양의 중금속에 대한 오염 분포도를 작성하는 단계를 포함하되, 상기 오염 분포도는, 상기 부지 및 상기 토양에 따라 가중치가 조절되는 것을 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법이 제공된다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

박민석

경기도 고양시 일산동구 태극로 11, 103동 2805호
(장항동, 일산 한류월드 유보라 더 스마트)

안윤주

서울특별시 광진구 아차산로 262, D동 701호 (자양동, 더샵스타시티)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1485017714
과제번호	ARQ201606001006
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	화학사고대응환경기술개발사업(R&D)
연구과제명	화학사고 후 생태계오염 모니터링 및 생태영향 통합평가 기술 개발
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1485019215
과제번호	ARQ202201171002
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	지중환경오염위해관리기술개발사업
연구과제명	오염부지 토양생태 위해성평가 프로그램 개발 및 현장 적용 평가
과제수행기관명	건국대학교 산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

중금속으로 오염된 토양을 포함하는 부지를 현장 조사하는 단계; 및
역거리 가중법(inverse distance weighting, IDW)을 이용해 상기 토양의 중금속에 대한 오염 분포도를 작성하는 단계를 포함하되,
상기 오염 분포도는,
상기 부지 및 상기 토양에 따라 가중치가 조절되는 것을 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,
상기 가중치는,
상기 부지의 경사도에 따른 경사 가중치;
상기 부지에서 중금속으로 오염된 영역으로 정의되는 오염 핫스팟(hot spot)의 고도에 따른 고도 가중치; 및
상기 토양의 수리전도도에 따른 수리학적 가중치를 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법.

청구항 3

제2 항에 있어서,
상기 고도 가중치는,
상기 오염 핫스팟의 고도보다 높은 영역은, 0.3;
상기 오염 핫스팟의 고도와 동일한 영역은, 0.5; 및
상기 오염 핫스팟의 고도보다 낮은 영역은, 1로 조절되는 것을 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법.

청구항 4

제2 항에 있어서,
상기 경사 가중치는,
상기 경사도가 2% 미만인 영역은, 0.1 초과 내지 1;
상기 경사도가 2% 이상 내지 7% 미만인 영역은, 1.5;
상기 경사도가 7% 이상 내지 15% 미만인 영역은, 2;
상기 경사도가 15% 이상 내지 30% 미만인 영역은, 2.5; 및
상기 경사도가 30% 이상인 영역은, 3으로 조절되는 것을 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법.

청구항 5

제2 항에 있어서,

상기 수리학적 가중치는, 상기 토양의 수리전도도에 따라 가중치가 부여되는 것을 포함하되,

상기 중금속은, 구리, 카드뮴, 및 아연을 포함하는 토양에 대한 낮은 흡착성(less sorptive)을 가지는 중금속 군에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법.

청구항 6

제2 항에 있어서,

상기 수리학적 가중치는,

상기 수리전도도가 1.25 mm/hr 미만인 영역은, 0.005;

상기 수리전도도가 1.25 mm/hr 이상 내지 5 mm/hr 미만인 영역은, 0.01;

상기 수리전도도가 5 mm/hr 이상 내지 20 mm/hr 미만인 영역은, 0.04;

상기 수리전도도가 20 mm/hr 이상 내지 62.5 mm/hr 미만인 영역은, 0.16;

상기 수리전도도가 62.5 mm/hr 이상 내지 125 mm/hr 미만인 영역은, 0.5; 및

상기 수리전도도가 125 mm/hr 이상인 영역은, 1로 조절되는 것을 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법.

청구항 7

제2 항에 있어서,

상기 경사 가중치, 상기 고도 가중치 및 상기 수리학적 가중치를 이용하여, 하기 식 1 내지 식 3으로부터 미지 지점의 오염농도를 도출하는 것을 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법.

<식 1>

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_i Z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \times F_{elev}$$

(여기에서, Z_j 는, 상기 부지 중에서 중금속 농도를 모르는 j 영역에서의 중금속 예측 농도(mg/kg)이고, Z_i 는, 상기 부지 중에서 중금속 농도를 알고 있는 i 영역의 중금속 측정 농도(mg/kg)이고, n 은, 상기 i 영역의 수이고, w_i 는 거리 가중치이고, F_{elev} 는 고도 가중치)

<식 2>

$$w_i = \left(\frac{d_i}{F_{hydro}} \right)^{-F_{slope}}$$

(여기에서, d_i 는, 상기 j 영역 및 상기 i 영역 사이의 거리이고, F_{slope} 는, 경사 가중치이고, F_{hydro} 는 수리학적 가중치)

<식 3>

$$d_i = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

(여기에서, x_j 는, 상기 j 영역의 경도 좌표이고, x_i 는, 상기 i 영역의 경도 좌표이고, y_j 는, 상기 j 영역의

위도 좌표이고, y_i 는, 상기 i 영역의 위도 좌표)

청구항 8

제1 항에 있어서,

상기 부지 내 예상 오염 범위를 산정하는 단계를 포함하되,

상기 오염 범위를 산정하는 단계는,

상기 부지에 대한 기초 평가 영역을 선정하는 단계;

상기 부지의 특성에 따라 격자(grid)를 설정하는 단계;

상기 격자 마다 중심좌표를 도출하는 단계; 및

상기 격자에 대응되는 상기 부지의 영역 별로 시료를 채취하는 단계를 포함하되,

상기 시료가 채취된 영역의 좌표, 경사도, 또는 고도가 획득되는 것을 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 출원은 토양 오염 분포 예측 방법에 관련된 것으로, 보다 상세하게는, 폐광산 부지의 생태 위해성 평가를 위해 부지 전반의 오염을 예측하는, 개선된 역거리 가중법을 이용한 폐광산 부지에서 카드뮴, 아연, 구리의 토양 오염 분포 예측 방법에 관련된 것이다.

배경 기술

[0003]

2021년에 수행된 제4차 광해실태조사에 따르면 국내에 5,475개의 휴·폐광산이 분포하고 있으며, 이중 약 3,300개의 광산에서 광해가 발생하는 것으로 알려져 있다. 산업통상자원부는 "광산피해의 방지 및 복구에 관한 법률 시행령" 제19조에 따라 "광해방지사업의 핵심공법 또는 핵심기술의 범위"를 고시하고 있다. 이에 따르면, 광재·폐석 등의 유실을 방지하기 위해 안정화공법과 밀폐 및 차단공법이 적용될 수 있다. 그러나 이와 같은 공법이 적용된 휴폐광산 부지는 대부분 경사지에 해당하므로 토양유실에 따른 오염 확산의 우려가 있을 수 있다. 또한, 최근 기후변화에 의한 강우 패턴의 변화는 복토층의 유실에 따른 오염 확산을 촉진할 우려가 있으므로, 휴·폐광산 부지에 대한 지속적인 관리가 필요할 수 있다.

[0004]

주요 선진국들에서는 오염된 토양으로부터 인간과 생태계의 건강을 보호하기 위해 인체 및 생태위해성평가 제도가 병행될 수 있다. 이에 반해, 국내의 오염 토양에 대해서는 인체위해성평가가 한정적으로 수행될 수 있다. 최근에 지속 가능한 생태계 유지 및 보호를 위해 토양오염 생태위해성평가에 대한 필요성이 대두되기 시작하였고, "토양오염 생태위해성평가 시범사업(2020)"을 통해 국립환경과학원은 토양오염 생태위해성평가 수행 절차를 제시하였다. 토양오염 생태위해성평가는 기초조사, 예비생태위해성평가, 그리고 상세생태위해성평가의 3단계에 따라 수행된다. 각 단계의 평가는 다시 화학평가, 생태독성평가, 그리고 생태평가로 구분되어 수행될 수 있다. 기초조사의 화학평가를 통해 부지 토양의 중금속 농도가 측정되고, 생태준거치와 비교하여 부지 중 생태위해성평가가 수행되어야 하는 평가범위가 결정될 수 있다. 평가범위를 결정하기 위해서는 "토양정밀조사지침"의 변동계수에 따른 통계학적 시료 개수 이상의 영역에 대한 오염 평가가 선행되어야 할 수 있다.

[0005]

최근에 지구통계기법(geostatistics)을 활용하여 부지 내에서 획득한 오염 농도 자료를 통해 부지 전체의 오염도를 예측하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 지구통계기법은 정확한 위치와 값을 알고 있는 자료들 각각에 대한 가중치를 계산한 후, 각 가중 선형 조합으로부터 알고자 하는 영역의 공간변수값을 예측하는 방법일 수 있다. 예측되는 공간변수의 값은 각각의 자료에 부여한 가중치에 큰 영향을 받기 때문에, 다양한 가중치 결정방법(역거리 가중법, 크리깅, 다각형법 등) 중 분석 환경 및 조건에 알맞은 방법을 선택하여 예측에 이용하는 것이 바람직할 수 있다.

[0006] 한편, 종래에는 토양 오염 분포 예측과 관련하여, 다양한 기술들이 개발되고 있다. 예를 들어, 대한민국특허 등록공보 제10-0462303 호에는, 쓰레기 매립지 부지의 오염도를 조사하기 위해 매립지의 오염 출처를 확인하고, 오염 확산을 고려하여 선정된 시료 채취영역에서 오염물질의 농도를 측정하여 캐드(CAD) 프로그램을 이용하여 오염 분포도를 작성하는 방법으로 경제적이면서도 체계적인 방법으로 쓰레기 매립지의 오염 분포를 측정하는 방법이 개시되어 있다. 해당 기술은, 쓰레기 매립지의 각 영역에서 실제 측정된 오염 농도를 바탕으로 캐드(CAD) 프로그램을 이용하여 오염 분포도를 그리는 방법을 포함할 수 있고, 광범위한 오염 부지에 적용이 어렵고, 실제 접근이 어려워 시료 채취가 불가능한 영역에 대해서는 오염 농도를 추정할 수 없다는 문제점이 있을 수 있다. 해당 기술은, 실제 측정한 오염 농도에 역거리 가중치 방법을 적용한 오염 분포도를 통해 부지 전반에 걸친 오염을 예측하는 방법을 포함할 수 있다. 다른 예를 들어, 대한민국특허 등록공보 제10-0896712 호에는, 수치지도를 이용한 수치표고모델 제작 방법으로 여러 보간(최근린 보간, 불규칙삼각망 보간, 역거리 보간, 크리깅 보간 또는 가우시안 보간) 방법을 이용하여 지형 왜곡의 최소화 및 최적 수치표고모델을 제작하는 방법이 개시되어 있고, 대한민국특허 등록공보 제10-1273932 호에는, 보간법 중 역거리 가중치 방법을 이용하여 각 영역의 수심 최적 값을 예측하고, 이를 통해 수심 분포의 평탄화를 향상시키는 방법이 개시되어 있다. 해당 기술들은, 수치지도에 보간법을 적용하여 수치표고모델을 구축하는 방법을 포함할 수 있다. 해당 기술들은, 적용한 보간법 중 역거리 가중치 방법을 적용하여 부지의 각 영역에 대한 오염 분포를 그리는 방법을 포함할 수 있으며, 특히 중금속의 거동 특성과 경사도를 고려한 수정 역거리 가중치 방법을 포함할 수 있다.

[0007] 하지만, 종래의 토양 오염 분포 예측과 관련된 기술들은, 왜곡된 결과를 초래하고, 오염 예측 정확도가 저하되는 문제가 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 출원이 해결하고자 하는 일 기술적 과제는, 중금속으로 오염된 토양을 포함하는 부지의 경사도 및 중금속의 특성이 반영된 역거리 가중법(inverse distance weighting, IDW)이 적용되어, 오염 예측의 정확도가 향상된, 토양 오염 분포 예측 방법을 제공하는 데 있다.

[0010] 본 출원이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, 역거리 가중법(IDW)을 이용하여, 폐광산 부지에서 토양오염물질로 규정되고 있는 중금속 중 토양에 대한 낮은 흡착성(less sorptive)을 가지는 구리, 카드뮴 및 아연의 토양 오염 분포를 예측하는, 토양 오염 분포 예측 방법을 제공하는 데 있다.

[0011] 본 출원이 해결하고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 정화조치 혹은 생태위해성평가 등 후속 조치 수행범위를 설정할 수 있는, 토양 오염 분포 예측 방법을 제공하는 데 있다.

[0012] 본 출원이 해결하고자 하는 기술적 과제는 상술된 것에 제한되지 않는다.

과제의 해결 수단

[0014] 상술된 기술적 과제들을 해결하기 위해, 본 출원은 토양 오염 분포 예측 방법을 제공한다.

[0015] 일 실시 예에 따르면, 상기 토양 오염 분포 예측 방법은, 중금속으로 오염된 토양을 포함하는 부지를 현장 조사하는 단계, 및 역거리 가중법(inverse distance weighting, IDW)을 이용해 상기 토양의 중금속에 대한 오염 분포도를 작성하는 단계를 포함하되, 상기 오염 분포도는, 상기 부지 및 상기 토양에 따라 가중치가 조절될 수 있다.

[0016] 일 실시 예에 따르면, 상기 가중치는, 상기 부지의 경사도에 따른 경사 가중치(F_{slope}), 상기 부지에서 중금속으로 오염된 영역으로 정의되는 오염 핫스팟(hot spot)의 고도에 따른 고도 가중치(F_{elev}), 및 상기 토양의 수리학적 특성 예를 들어, 수리전도도(K_s , $cm\ hr^{-1}$), 배수등급 등에 따른 수리학적 가중치(F_{hydro})를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 역거리 가중법을 이용한 오염농도 분포는 하기 식 1로부터 도출될 수 있다.

[0018] <식 1>

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_i Z_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

[0019]

[0020] (여기에서, Z_j 는, 상기 부지 중에서 농도를 모르는 j 영역의 중금속 예측 농도(mg/kg)이고, Z_i 는, 상기 부지 중에서 농도를 알고 있는 i 영역의 중금속 측정 농도(mg/kg)이고, n 은, 상기 i 영역의 수이고, w_i 는 거리 가중치)

[0021] 상기 거리 가중치(w_i)는 하기 식 2 내지 식 3으로부터 도출될 수 있다.

[0022] <식 2>

$$w_i = d_i^{-u}$$

[0023]

[0024] (여기에서, d_i 는, 상기 j 영역 및 상기 i 영역 사이의 거리이고, u 는, 거리 지수(일반적으로, $u = 1 - 3$)

[0025] <식 3>

$$d_i = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

[0026]

[0027] (여기에서, x_j 는, 상기 j 영역의 경도 좌표이고, x_i 는, 상기 i 영역의 경도 좌표이고, y_j 는, 상기 j 영역의 위도 좌표이고, y_i 는, 상기 i 영역의 위도 좌표)

[0028] 상기 식 2에서 거리 지수의 크기가 낮을수록 거리 가중치를 높여 가까운 지점의 영향을 더 많이 받도록 하고, 반대로 거리 지수의 크기가 클수록 거리 가중치를 낮춰 상대적으로 먼 거리에 의한 영향을 받을 수 있도록 한다. 부지 경사도가 클수록 중금속 오염의 하향 전이가 크게 증가할 수 있으므로, 본 출원은 상기 거리 지수를 상기 경사 가중치로 대체한다.

[0029] 일 실시 예에 따르면, 상기 경사 가중치는, 상기 경사도가 2% 미만인 영역은, 1, 상기 경사도가 2% 이상 내지 7% 미만인 영역은, 1.5, 상기 경사도가 7% 이상 내지 15% 미만인 영역은, 2, 상기 경사도가 15% 이상 내지 30% 미만인 영역은, 2.5, 및 상기 경사도가 30% 이상인 영역은, 3으로 결정한다.

[0030] 일 실시 예에 따르면, 상기 고도 가중치는, 상기 오염 핫스팟의 고도보다 높은 영역은, 0.3, 상기 오염 핫스팟의 고도와 동일한 영역은, 0.5, 및 상기 오염 핫스팟의 고도보다 낮은 영역은, 1로 결정한다.

[0031] 일 실시 예에 따르면, 상기 수리학적 가중치는, 상기 토양의 수리학적 특성에 따라 가중치가 부여되는 것을 포함한다. 수리전도도가 클수록, 즉 배수등급이 양호할수록, 동일한 시간동안 더 먼 지점까지 중금속 오염이 전이될 수 있다. 반대로 수리전도도가 낮을수록, 즉 배수등급이 불량할수록, 동일한 시간동안 중금속 오염이 전이될 수 있는 범위는 낮아진다. 이를 반영하여 수리전도도의 크기가 낮을수록 동일한 거리에서 오염이 전이되는 시간이 증가하는 관계를 반영하는 수리학적 가중치가 부여되는 것을 포함하되, 상기 중금속은, 구리, 카드뮴, 및 아연을 포함하는 토양에 대한 낮은 흡착성(less sorptive)을 가지는 군에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0032] 일 실시 예에 따르면, 상기 수리학적 가중치는, 상기 수리전도도(배수등급)가 1.25 mm/hr 미만인 영역(매우 불량)은, 0.005, 상기 수리전도도(배수등급)가 1.25 mm/hr 이상 내지 5 mm/hr 미만인 영역(불량)은, 0.01, 상기 수리전도도가 5 mm/hr 이상 내지 20 mm/hr 미만인 영역(조금 불량)은, 0.4, 상기 수리전도도(배수등급)가 20 mm/hr 이상 내지 62.5 mm/hr 미만인 영역(조금 양호)은, 0.16, 상기 수리전도도(배수등급)가 62.5 mm/hr 이상 내지 125 mm/hr 미만인 영역(양호)은, 0.5, 및 상기 수리전도도가 125 mm/hr 이상인 영역(매우 양호)은, 1로 조절될 수 있다.

[0033] 일 실시 예에 따르면, 상기 부지 내 예상 오염 범위를 산정하는 단계를 포함하되, 상기 오염 범위를 산정하는 단계는, 상기 부지에 대한 기초 평가 영역을 선정하는 단계, 상기 부지의 특성에 따라 격자(grid)를 설정하는 단계, 상기 격자 마다 중심좌표를 도출하는 단계, 및 상기 격자에 대응되는 상기 부지의 영역 별로 시료를 채취하는 단계를 포함하되, 상기 시료가 채취된 영역의 좌표, 경사도, 또는 고도가 획득될 수 있다.

[0034] 일 실시 예에 따르면, 상기 토양 오염 분포 예측 방법은, 상기 경사 가중치, 상기 고도 가중치, 및 상기 수리학적 가중치를 이용해 중금속의 농도를 계산하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0035] 상술된 기술적 과제들을 해결하기 위해, 본 출원은 토양 오염 분포 예측 방법을 제공한다.

[0036] 일 실시 예에 따르면, 상기 토양 오염 분포 예측 방법은, 하기 식 4로 예측된 중금속의 농도를 포함할 수 있다.

[0037] <식 4>

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_i Z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \times F_{elev}$$

[0039] (여기에서, Z_j 는, 중금속으로 오염된 토양을 포함하는 부지 중에서 농도를 모르는 j 영역에서의 중금속 예측 농도(mg/kg)이고, Z_i 는, 상기 부지 중에서 농도를 알고 있는 i 영역의 중금속 측정 농도(mg/kg)이고, n 은, 상기 i 영역의 수이고, w_i 는 거리 가중치이고, F_{elev} 은, 고도 가중치)

[0040] 일 실시 예에 따르면, 상기 토양 오염 분포 예측 방법은, 하기 식 5로 표현되는 거리 가중치를 포함한다.

[0041] <식 5>

$$w_i = \left(\frac{d_i}{F_{hydro}} \right)^{-F_{slope}}$$

[0043] (여기에서, d_i 는, 상기 j 영역 및 상기 i 영역 사이의 거리이고, F_{hydro} 는 수리학적 가중치이고, F_{slope} 는, 경사 가중치)

발명의 효과

[0045] 본 출원의 실시 예에 따르면, 중금속으로 오염된 토양을 포함하는 부지를 현장 조사하는 단계, 및 역거리 가중법(inverse distance weighting, IDW)을 이용해 상기 토양의 중금속에 대한 오염 분포도를 작성하는 단계를 포함하되, 상기 오염 분포도는, 상기 부지 및 상기 토양에 따라 가중치가 조절되는 것을 포함하는, 토양 오염 분포 예측 방법이 제공될 수 있다.

[0046] 본 출원의 실시 예에 따르면, 기존의 IDW를 기반으로 토양 특성이 반영된 상기 가중치가 적용되어, 중금속 오염 분포가 정확하게 예측될 수 있다. 반면에, 기존의 IDW를 적용하여 넓은 면적의 토양 특성을 예측하는 방법은, 본 발명과는 다르게, 고도, 경사도, 및 수리학적 특성과 같은 토양의 부지 특이적인 특성을 고려하지는 못하였다. 이에 따라, 기존의 방법은, 지하수 흐름에 따른 중금속의 이동 특성이 반영되지 못했기 때문에, 토양오염을 정확히 예측하는 데 한계가 있었다.

[0047] 하지만, 본 출원의 실시 예에 의하면, 상기 오염 분포도는, 상기 부지 및 상기 토양에 따라 가중치가 조절되기 때문에, 오염 평가를 위한 토양 시료의 수를 감축할 수 있기 때문에 경제적인 수 있으며, 나아가 오염 예측이 신속할 수 있다.

[0048] 또한, 본 출원의 실시 예에 의하면, 중금속으로 오염된 넓은 면적의 부지에 대하여 오염 분포 예측 성능이 향상될 수 있으며, 정확한 토양 오염 진단 결과를 제공하기 때문에, 정화조치 및 생태위해성평가 등 후속 조치가 빠르게 수행될 수 있는 효과도 있다.

[0049] 또한, 본 출원의 실시 예에 의하면, 부지의 오염 확산 범위가 예측되기 때문에, 효율적이고 경제적으로 부지에 대한 정화 목표가 달성될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0051]

도 1은 본 출원의 실시 예에 따른 토양 오염 분포 예측 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 출원의 실시 예에 따른 부지 내 예상 오염 범위 산정 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 출원의 실험 예에 따른 토양 시료 채취 영역을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 출원의 실험 예에 따른 격자의 중심점을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 출원의 실험 예에 따른 등고선도 작성 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 출원의 실험 예에 따른 격자 범위에 대한 래스터 파일 작성 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 출원의 실험 예에 따른 격자 범위의 경사 지도에 대한 래스터 파일 작성 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 본 출원의 실험 예에 따른 부지 내 토양 수리특성의 예측 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 출원의 실험 예에 따른 역거리 가중법(inverse distance weighting, IDW)을 이용해 각 격자 중심점에서 예측된 구리, 아연, 카드뮴의 농도 및 QGIS 소프트웨어를 이용해 작성된 오염 분포도이다.

도 10은 본 출원의 실험 예에 따른 IDW 및 기존 IDW로 예측된 구리, 아연, 카드뮴의 농도를 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0052]

이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 출원의 바람직한 실시 예를 상세히 설명할 것이다. 그러나 본 출원의 기술적 사상은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 출원의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

[0053]

본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한, 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.

[0054]

또한, 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시 예에 제 1 구성요소로 언급된 것이 다른 실시 예에서는 제 2 구성요소로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 또한, 본 명세서에서 '및/또는'은 전후에 나열한 구성요소들 중 적어도 하나를 포함하는 의미로 이용되었다.

[0055]

명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 또한, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 또한, 본 명세서에서 "연결"은 복수의 구성요소를 간접적으로 연결하는 것, 및 직접적으로 연결하는 것을 모두 포함하는 의미로 이용된다.

[0056]

또한, 하기에서 본 출원을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 출원의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.

[0057]

이하, 본 출원의 실시 예에 따른 중금속 오염 분포도를 작성하기 위한 구체적인 방법이 도면을 참조하여 상세하게 설명된다. 이하 설명되는 본 출원의 실시 예는, 토양오염 관리기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 오픈소스 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS) 소프트웨어인 QGIS(Quantum Geographic Information System)을 이용하는 방법을 통해 설명되지만, 이에 한정되는 것은 아니며, 상기 QGIS 외의 다른 오픈소스 지리정보시스템(GIS)이 이용될 수도 있다. 또한, 본 명세서에 기재된 방법은, 본 출원의 목적 달성을 위하여 예시된 것으로, 예시된 실시 예에 한정되지 않고, 부지 특성에 따라 특이적으로 적용될 수 있음은 물론이다.

- [0059] 도 1은 본 출원의 실시 예에 따른 토양 오염 분포 예측 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 2는 본 출원의 실시 예에 따른 부지 내 예상 오염 범위 산정 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0060] 도 1을 참조하면, 중금속으로 오염된 토양을 포함하는 부지가 현장 조사될 수 있다(S110).
- [0061] 일 실시 예에 따르면, 상기 부지의 현장 조사에 의해, 상기 부지의 경사도에 따른 경사 가중치, 상기 부지에서 중금속으로 오염된 영역으로 정의되는 오염 핫스팟(hot spot)의 고도에 따른 고도 가중치, 및 상기 토양의 수리학적 특성에 따른 수리학적 가중치가 획득될 수 있다. 이에 관해서는 보다 상세히 후술하기로 한다.
- [0062] 계속해서 도 1을 참조하면, 상기 부지 내 예상 오염 범위가 산정될 수 있다(S120). 보다 구체적으로 도 2를 참조하면, 상기 오염 범위 산정을 위해, 상기 부지에 대한 기초 평가 영역이 선정될 수 있다(S121). 보다 구체적으로, 상기 부지에 대한 기초 평가 영역이 선정되기 위해, 오픈소스 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)이 이용될 수 있다. 보다 구체적으로 예를 들어, 오픈소스 지리정보시스템(GIS)의 소프트웨어인 QGIS(Quantum Geographic Information System)가 이용될 수 있다.
- [0063] 일 실시 예에 따르면, 상기 부지의 특성에 따라 격자(grid)가 설정될 수 있다(S122). 보다 구체적으로 예를 들어, 상기 QGIS가 이용되어, 상기 부지의 특성에 따라 적절한 크기 예를 들어, 5 - 30 m의 격자(grid)가 설정될 수 있다.
- [0064] 일 실시 예에 따르면, 상기 격자 마다 중심좌표가 도출될 수 있다(S123).
- [0065] 일 실시 예에 따르면, 상기 격자에 대응되는 상기 부지의 영역 별로 시료가 채취될 수 있다(S124). 보다 구체적으로 예를 들어, 상기 현장 조사를 통해, 상기 격자의 전체 중 최소 30% 이상의 영역에 대해서 상기 시료가 채취될 수 있다. 상기 시료 채취 시에는, 상기 시료가 채취된 영역의 좌표, 경사도, 또는 고도가 함께 획득될 수 있다.
- [0066] 계속해서 도 1을 참조하면, 역거리 가중법(inverse distance weighting, IDW)이 이용되어 상기 토양의 중금속에 대한 오염 분포도가 작성될 수 있다(S130).
- [0067] 이를 위해, 하기 식 1에 따른 역거리 가중치가 계산될 수 있다.
- [0068] <식 1>
- $$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_i Z_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$
- [0069]
- [0070] (여기에서, Z_j 는, 상기 부지 중에서 j 영역에서의 중금속 예측 농도(mg/kg)이고, Z_i 는, 상기 부지 중에서 i 영역의 중금속 측정 농도(mg/kg)이고, n 은, 상기 i 영역의 수이고, w_i 는 거리 가중치)
- [0071] 일 실시 예에 따르면, 상기 시료가 비채취된 격자 영역의 예측 농도(Z_j)는 상기 현장 조사에서 채취된 영역들의 중금속 농도(Z_i)에 역거리 가중법(IDW)이 적용되어 상기 식 1에 따라 계산될 수 있다.
- [0072] 계속해서 도 1을 참조하면, 상기 부지 및 상기 토양에 따라 가중치가 조절될 수 있다(S140).
- [0073] 일 실시 예에 따르면, 상기 가중치는, 상기 부지의 경사도에 따른 경사 가중치, 상기 부지에서 중금속으로 오염된 영역으로 정의되는 오염 핫스팟(hot spot)의 고도에 따른 고도 가중치, 및 상기 토양의 수리학적 특성에 따른 수리학적 가중치를 포함할 수 있다.
- [0074] 상기 경사 가중치와 수리학적 가중치는, 하기 식 2 및 식 3에 따라 상기 식 1의 거리 가중치를 도출하는 데 사용될 수 있다.

[0075] <식 2>

$$w_i = \left(\frac{d_i}{F_{hydro}} \right)^{-F_{slope}}$$

[0076]

[0077] (여기에서, d_i 는, 상기 j 영역 및 상기 i 영역 사이의 거리이고, F_{hydro} 는, 수리학적 가중치이고, F_{slope} 는, 경사 가중치)

[0078] <식 3>

$$d_i = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

[0079]

[0080] (여기에서, x_j 는, 상기 j 영역의 경도 좌표이고, x_i 는, 상기 i 영역의 경도 좌표이고, y_j 는, 상기 j 영역의 위도 좌표이고, y_i 는, 상기 i 영역의 위도 좌표)

[0081] 일 실시 예에 따르면, 상기 농도 예측영역 j와 측정영역 I 사이의 거리는 두 영역 사이의 2차원상에서의 거리로 계산되며, 상기 영역 간 거리(d_i)는 각 영역의 좌표(x, y)를 이용하여 상기 식 3에 따라 계산될 수 있다.

[0082] 계속해서 도 1을 참조하면, 상기 경사 가중치, 상기 고도 가중치, 및 상기 수리학적 가중치가 이용되어 중금속의 농도가 계산될 수 있다(S150).

[0083] 이에 따라, 본 발명의 실시 예에 따른 토양 오염 분포 예측 방법은, 예측 오차가 최소화되고 정확도가 극대화될 수 있다. 보다 구체적으로, 본 발명의 실시 예에 따른 토양 오염 분포 예측 방법은, 실질적으로 예측 값과 측정 값에서 차이가 없을 수 있다.

[0084] 본 출원의 실시 예와는 다르게, 기존의 IDW를 이용한 중금속 오염 분포에 의하면, 부지의 경사와 고도에 따른 오염물질의 전이를 실질적으로 미반영하였기 때문에, 예측 오차가 크고 정확도가 낮을 수밖에 없었다.

[0085] 하지만, 본 출원의 실시 예에 의하면, 예를 들어, 수치지도의 등고선이 이용되어 경사도가 예측될 수 있고, 수치표고 모델(digital elevation model, DEM)이 이용되어 개선된 역거리 가중법이 적용되기 때문에, 예측 오차가 최소화되고 정확도가 극대화된 토양 오염 분포 예측 방법을 제공할 수 있다.

[0086] 일 실시 예에 따르면, 경사가 높은 부지에서는 상부의 오염 토양이 원거리의 하부 영역까지 전달될 수 있으므로 개선된 상기 역거리 가중치(w_i)가 적용될 수 있다. 본 출원의 실시 예에 의하면 상기 식 2에서 상기 경사가중치(u)가 아래 표 1과 같이 경사도에 따라 결정될 수 있다.

표 1

[0087]

경사도	경사 가중치(u)
경사도 $\geq 30\%$	3
$15\% \leq$ 경사도 $< 30\%$	2.5
$7\% \leq$ 경사도 $< 15\%$	2
$2\% \leq$ 경사도 $< 7\%$	1.5
경사도 $< 2\%$	1

[0089] 상기 표 1을 참조하면, 상기 경사 가중치는, 상기 경사도가 2% 미만인 영역은, 1, 상기 경사도가 2% 이상 내지 7% 미만인 영역은, 1.5, 상기 경사도가 7% 이상 내지 15% 미만인 영역은, 2, 상기 경사도가 15% 이상 내지 30% 미만인 영역은, 2.5, 및 상기 경사도가 30% 이상인 영역은, 3으로 정할 수 있다.

[0090] 통상적으로 중금속이 오염된 토양은 고도가 높은 상부 영역에서, 고도가 낮은 하부 영역으로 물의 흐름(지표수 및 토양수)에 의해 전이될 수 있다. 사전 현장조사에서 결정된 상기 오염 핫스팟(hot spot)보다 높은 영역의 오염도가 정확히 평가되기 위해서는, 고도에 따른 가중치 적용이 필요할 수 있다.

[0091] 일 실시 예에 따르면, 고도 가중치 적용을 위해 상기 핫스팟 고도를 기준으로, 상기 핫스팟의 고도보다 낮은 영역, 상기 핫스팟의 고도와 동일한 영역, 상기 핫스팟의 고도보다 높은 영역에 대하여 가중치가 다르게 적용되어 고도별 가중치가 결정될 수 있다(표 2~표 4).

표 2

[0092]

중금속	측정농도 (mg kg ⁻¹)	고도 가중치(F _{elev})							
		1		0.9		0.8		0.7	
		예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE	예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE	예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE	예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE
Cu	198	265	347.5	239	396.1	212	445.7	186	495.8
Zn	1467	869		782		695		608	
Cd	12.9	11.2		10.1		8.9		7.8	

표 3

[0093]

중금속	측정농도 (mg kg ⁻¹)	고도 가중치(F _{elev})							
		0.6		0.5		0.4		0.3	
		예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE	예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE	예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE	예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE
Cu	312	574	187.8	478	108.9	383	219	287	379
Zn	1505	1698		1415		1132		849	
Cd	18.6	19.6		16.3		13.0		9.8	

표 4

[0094]

중금속	측정농도 (mg kg ⁻¹)	고도 가중치(F _{elev})							
		0.6		0.5		0.4		0.3	
		예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE	예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE	예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE	예측농도 (mg kg ⁻¹)	RMSE
Cu	190	245	226.7	204	147.0	163	70.7	123	40.2
Zn	420	808		674		539		404	
Cd	6.5	9.9		8.2		6.6		4.9	

[0096] 상기 표 2는 상기 핫스팟 영역보다 낮은 영역, 상기 표 3은 핫스팟 영역과 동일한 고도에 해당하는 영역, 상기 표 4는 핫스팟 영역보다 높은 고도에 해당하는 영역의 오염농도 예측을 위한 고도 가중치(F_{elev})를 추정하는 과정을 보여준다. 상기 표 2 내지 표 4를 참조하면, 상기 고도 가중치(F_{elev})는, 상기 오염 핫스팟의 고도보다 높은 영역은, 0.3, 상기 오염 핫스팟의 고도와 동일한 영역은, 0.5, 및 상기 오염 핫스팟의 고도보다 낮은 영역은, 1로 정할 수 있다.

[0097] 일 실시 예에 따르면, 중금속은 종에 따라 토양과 서로 다른 흡착 특성을 보일 수 있다. 보다 구체적으로, 중금속의 용출은 이상적(biphasic)인 특징을 가질 수 있다. 특히, 구리, 카드뮴, 및 아연은 다른 중금속들보다 낮은 흡착성(less sorptive)을 갖기 때문에 토양수 또는 지하수의 흐름에 의해 주변 지점으로 쉽게 전이될 수 있는 특징을 갖는다. 다시 말해, 상기 토양의 수리학적 특성은 낮은 토양 흡착성을 가지는 중금속 군의 오염분포 예측을 위해 고려되어야 하는 중요한 토양 특성이다.

[0098] 토양 수분 특성 방정식(soil water characteristics equations)을 이용하면 토성(soil texture) 및 유기물 함량 등의 토양 이화학적 특성을 이용하여 식 4와 같이 토양의 수리전도도(K_s, m/sec)를 추정할 수 있다.

[0099] <식 4>

$$K_s = 2.778 \times 10^{-6} \times e^{\left(\frac{12.012 - 0.0755S + \frac{-3.895 + 0.03671S - 0.1103C + 8.7546 \times 10^{-4}C^2}{\theta_s}}{\theta_s} \right)}$$

[0101] (여기에서, K_s 는, 상기 토양 수리 전도도(m/sec)이고, S 는, 상기 토양의 모래 함량(%)이고, C 는, 상기 토양의 점토 함량(%)이고, θ_s 는, 상기 토양의 수분 함량(m^3/m^3))

[0102] 대상 부지 토양의 이화학적 특성 자료가 없을 경우, 토양의 배수등급을 이용하여 수리학적 가중치를 결정할 수 있다. 국내 토양에 대한 배수등급은 국립농업과학원에서 제공하는 흙토람 시스템(<https://soil.rda.go.kr/>)을 통해 얻을 수 있다.

[0103] 일 실시 예에 따르면, 낮은 흡착성을 가지는 구리, 카드뮴, 및 아연 등은 용출을 통한 이동 가능성이 크기 때문에, 토양의 수리학적 특성을 고려한 수리학적 가중치(F_{hydro})의 적용이 필요하다.

[0104] 본 출원의 일 실시 예에서는 "표토의 침식 현황 조사에 관한 고시" 중 <별표 6>의 토양 투수 등급에 따라 표 5와 같이 수리학적 가중치(F_{hydro})를 정한다.

표 5

수리전도도 (mm/hr)	수리전도도 등급	배수등급	수리학적 가중치(F_{hydro})
≥ 125	매우 높음	매우 양호	1
62.5 - 125	높음	양호	0.5
20 - 62.5	조금 높음	조금 양호	0.16
5 - 20	조금 낮음	조금 불량	0.04
1.25 - 5	낮음	불량	0.01
< 1.25	매우 낮음	매우 불량	0.005

[0107] 상기 표 5를 참조하면, 상기 수리학적 가중치(F_{hydro})는, 상기 수리전도도(배수등급)가 1.25 mm/hr 미만인 영역(매우 불량)은, 0.005, 상기 수리전도도(배수등급)가 1.25 mm/hr 이상 내지 5 mm/hr 미만인 영역(불량)은, 0.01, 상기 수리전도도가 5 mm/hr 이상 내지 20 mm/hr 미만인 영역(조금 불량)은, 0.04, 상기 수리전도도(배수등급)가 20 mm/hr 이상 내지 62.5 mm/hr 미만인 영역(조금 양호)은, 0.16, 상기 수리전도도(배수등급)가 62.5 mm/hr 이상 내지 125 mm/hr 미만인 영역(양호)은, 0.5, 및 상기 수리전도도가 125 mm/hr 이상인 영역(매우 양호)은, 1로 조절될 수 있다.

[0108] 이상, 설명된 본 출원의 실시 예에 의하면, 상기 경사 가중치(F_{slope}), 상기 고도 가중치(F_{elev}), 및 상기 수리학적 가중치(F_{hydro})를 이용해 중금속의 농도가 아래 식 5에 의해 계산될 수 있다.

[0109] <식 5>

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{d_i}{F_{hydro}} \right)^{-F_{slope}} \times Z_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{d_i}{F_{hydro}} \right)^{-F_{slope}} \right)} \times F_{elev}$$

[0110] (여기에서, Z_j 는, 중금속으로 오염된 토양을 포함하는 부지 중에서 농도를 모르는 j 영역에서의 중금속 예측 농도(mg/kg)이고, Z_i 는, 상기 부지 중에서 농도를 알고있는 i 영역의 중금속 측정 농도(mg/kg)이고, n 은, 상기 i 영역의 수이고, d_i 는 지점 i와 지점 j 사이의 거리이고, F_{hydro} 은, 수리학적 가중치이고, F_{slope} 은 경사 가중치이고, F_{elev} 은, 고도 가중치)

- [0113] 이상, 설명된 본 출원의 실시 예에 의하면, 상기 토양 오염 분포 예측 방법은, 중금속 오염 분포도를 작성하는데 이용될 수 있다. 보다 구체적으로 예를 들어, 상기 토양 오염 분포 예측 방법은, 중금속으로 오염된 폐금속 광산 부지에 대하여 정화조치 혹은 생태위해성평가 등 후속 조치가 필요한 부지를 선정하기 위한 기초자료로써, 부지 전반의 중금속 오염 분포도를 작성하는데 이용될 수 있다. 특히, 본 출원의 실시 예에 의하면, 토양에 대한 낮은 흡착성을 가져 용출에 의한 이동이 용이한 중금속인 구리, 아연, 및/또는 카드뮴에 대한 오염 분포도가 작성될 수 있다.
- [0115] 이하, 본 출원의 실험 예가 설명된다. 이하 설명되는 본 출원의 실험 예에서는, 충청북도에 소재한 A 광산 부지의 중금속 오염 분포도 작성 과정을 상세하게 설명하기로 한다.
- [0117] 도 3은 본 출원의 실험 예에 따른 토양 시료 채취 영역을 설명하기 위한 도면이고, 도 4는 본 출원의 실험 예에 따른 격자의 중심점을 설명하기 위한 도면이고, 도 5는 본 출원의 실험 예에 따른 등고선도 작성 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 6은 본 출원의 실험 예에 따른 격자 범위에 대한 래스터 파일 작성 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 7은 본 출원의 실험 예에 따른 격자 범위의 경사 지도에 대한 래스터 파일 작성 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 8은 본 출원의 실험 예에 따른 토양 수리학적 가중치의 예측 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 9는 본 출원의 실험 예에 따른 역거리 가중법(inverse distance weighting, IDW)을 이용해 각 격자 중심점에서 예측된 구리, 아연, 카드뮴의 농도 및 QGIS 소프트웨어를 이용해 작성된 오염 분포도이고, 도 10은 본 출원의 실험 예에 따른 IDW 및 기존 IDW로 예측된 구리, 아연, 카드뮴의 농도를 비교한 그래프이다.
- [0119] A 광산 부지 개요
- [0120] 환경관리공단에서 수행한 "폐금속광산 토양오염 실태 개황조사"에 따르면 해당 부지는 비소, 카드뮴, 구리, 납, 아연 등 다양한 중금속으로 오염되어 있으며, 일부 영역에서 토양오염대책기준을 초과하는 오염이 확인되었다. 폐석장의 크기는 약 7,500 m³로 20~45 %의 경사를 가지는 구릉지로 분류된다. 또한, 충주호와 인접하고 있으며, "산지관리법"에 따라 주 보전산지로 관리되고 있는 생태적 가치가 높은 부지일 수 있다.
- [0122] 사전 현장 조사
- [0123] 도 3을 참조하면, 상기 A 광산 부지에 대하여 현장 조사를 위한 50개의 격자(20 m X 20 m, 1)가 설정될 수 있다. 현장 조사를 통해 상기 50개의 격자 중 17개 영역에 대한 토양 시료 채취가 수행되고, 토양오염공정시험기준에 따른 왕수 분해법이 적용되어 중금속 전함량이 분석될 수 있다. 이외에도 모델의 검증(verification)을 위하여 6개 영역에 대한 중금속 농도가 정량화될 수 있다.
- [0125] 오염 분포도 작성
- [0126] 본 출원의 실험 예에서 특별한 지정이 없는 한 평가부지 산정을 위한 기본단위는 격자(grid, 1)이며, 5m X 5m 크기의 격자가 이용될 수 있다. 본 출원의 실험 예에서 설정되는 격자(1)는 상기 사전 현장 조사에서 설정된 격자와 다를 수 있다. 본 출원의 실험 예에 의하면, 평가부지 전체 면적과 부지 특이적인 특성들을 고려하여 격자(1)의 크기가 조절될 수 있다. 예를 들어, QGIS 소프트웨어가 이용되어 격자(1)가 설정될 수 있다. 본 출원의 실험 예에서는 그리드 유형이 '사각형 (폴리곤)'으로 적용되었고, 수평 및 수직 간격이 5 m로 설정될 수 있다. 하지만 이에 한정되는 것은 아니며, 부지 특성에 따라 다른 그리드 유형과 간격이 선택될 수 있다. 본 출원의 실험 예에서는, 거리 계산의 편의성을 위하여 미터 단위로 좌표가 계산되는 'EPSG 32652 - WGS 84 / UTM zone 52N'이 적용되었으며, 이후의 모든 과정은 동일한 좌표계로 투영되어 수행될 수 있다. 하지만 이에 한정되는 것은 아니며, 평가 대상 부지의 위치에 따라 적절한 좌표계가 선택될 수 있다.
- [0127] 도 4를 참조하면, 상기 단계에서 설정된 격자(1)에 대하여 격자(1)의 중심점이 설정되고, 각 중심점의 좌표(2)가 도출될 수 있다.

- [0128] 도 5를 참조하면, 상기 A광산 부지의 수치지도가 이용되어 등고선(3, 4)과 DEM이 구축될 수 있다. 보다 구체적으로, 국토정보플랫폼(<https://map.ngii.go.kr/mn/mainPage.do>)으로부터 내려받은 1:5000 축척의 수치지도(.dxf)를 QGIS 소프트웨어에서 불러오고, 상기 수치지도가 shape 파일(.shp)로 변환된 후에 주곡선(F0017111)과 계곡선(F0017114)이 추출되어 상기 등고선도가 작성될 수 있다.
- [0129] 도 6을 참조하면, 상기 등고선도로부터 각 등고선의 고도값이 추출되고, "TIN 보간"이 실행되어 상기 단계에서 설정된 격자 범위에 대한 DEM(래스터 파일, 5)이 작성될 수 있다.
- [0130] 도 7을 참조하면, 상기 DEM에 대하여 QGIS 소프트웨어의 "경사도 분석"을 통해 상기 단계에서 설정된 격자 범위의 경사 지도(래스터 파일, 6)가 작성될 수 있다.
- [0131] 도 8을 참조하면, 상기 현장 조사를 통해 조사된 토양의 토성 및 유기물 함량이 Soil water characteristics equations에 대입되어 토양 수리전도도(hydraulic conductivity)가 예측될 수 있다. 토양 수리전도도는 "역거리 가중(IDW) 보간"이 실행되어 상기 단계에서 설정된 격자 범위의 수리전도도 지도(래스터 파일, 7)가 작성될 수 있다.
- [0132] 본 출원의 실험 예에 따르면, 상기 단계에서 도출된 DEM, 경사 지도, 수리전도도 지도에 대하여 QGIS 소프트웨어의 "폴리곤화(래스터를 벡터로)"가 각각 실행되고, "Point Sampling Tool"을 이용하여 상기 단계에서 설정된 격자 중심점 좌표에 해당하는 DEM(m), 경사도($^{\circ}$), 수리전도도(mm/hr)가 도출될 수 있다. QGIS 소프트웨어의 메뉴에서 상기 기능이 보이지 않는 경우에는 "플러그인 관리 및 설치"를 통해 'Point Sampling Tool'의 설치가 선행될 수 있다.
- [0133] 상기 단계에서 도출된 각 영역의 경사도를 기반으로 경사 가중치(u)가 설정될 수 있다. 상기 경사 가중치(u)는 상기 표 1과 같이 경사도에 따라 결정될 수 있다.
- [0134] 상기 단계에서 도출된 각 영역의 DEM(m)을 기반으로 고도 가중치(F_{DEM})가 설정될 수 있다. 사전 현장조사를 통해 확인된 오염 핫스팟(hot spot)의 고도와 비교하여 고도가 높은 영역의 고도 가중치(F_{DEM})는 0.5, 낮은 영역의 고도 가중치(F_{DEM})는 1로 계산될 수 있다.
- [0135] 상기 단계에서 도출된 각 영역의 수리전도도(mm/hr)를 기반으로 투수 등급 가중치(F_{percol})가 설정될 수 있다. 투수 등급은 "표토의 침식 현황 조사에 관한 고시"중 <별표 6>의 토양 투수 등급에 따라 구분될 수 있다. 투수 등급 가중치(F_{percol})는 상기 표 2와 같이 수리전도도에 따라 결정될 수 있다.
- [0136] 도 9를 참조하면, 상기 식 2~상기 식 4에 따라 개선된 IDW가 적용된 각 격자 중심점의 구리, 아연, 카드뮴의 농도가 예측되고, QGIS 소프트웨어가 이용되어 오염 분포도(8)가 작성될 수 있다. "토양환경보전법 시행규칙"의 <별표 3> 및 <별표 7>의 토양오염우려기준과 토양오염대책기준을 기반으로 정화조치 혹은 생태위해성평가 등 후속 조치가 필요한 범위가 선택될 수 있다.
- [0138] 본 출원의 실험 예에 따른 개선된 IDW 및 기존 IDW의 비교
- [0139] 도 10 및 아래 표 6을 참조하면, 본 출원의 실험 예에 따른 효과를 비교하기 위해 기존 IDW와 본 출원의 실험 예에 따른 개선된 IDW로 예측한 Cu, Zn, Cd의 농도가 비교될 수 있다(표 6과 도면 8). 두 예측 결과의 평균 제곱근 오차(Root-mean-square deviation, RMSE)는 각각 797mg/kg와 169mg/kg로 도출되었다. 본 출원의 실험 예에 따른 개선된 IDW 방법에 따른 예측 결과의 통계적 유의성을 확인하기 위해, 기존 IDW와 본 출원의 실험 예에 따른 개선된 IDW로 예측된 농도와 측정농도 사이의 동질성 평가가 수행되었다. 측정농도와 예측농도의 차이 값은 정규분포를 따르지 않기 때문에, 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed rank test)을 통해 측정 농도와 예측농도에 유의한 차이가 없음이 평가될 수 있다. 기존의 IDW는 유의확률이 0.0001 이하로 측정농도와 예측농도 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 평가되었다. 반면, 본 출원의 실험 예에 따른 개선된 IDW를 적용한 예측농도는 측정농도와 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(유의확률 0.5093). 따라서 본 출원의 실험 예에 따른 개선된 IDW는 경사지에 존재하는 폐광산 부지 중 구리, 아연과 카드뮴 농도 분포 예측에 적합한 것으로 입증될 수 있다.

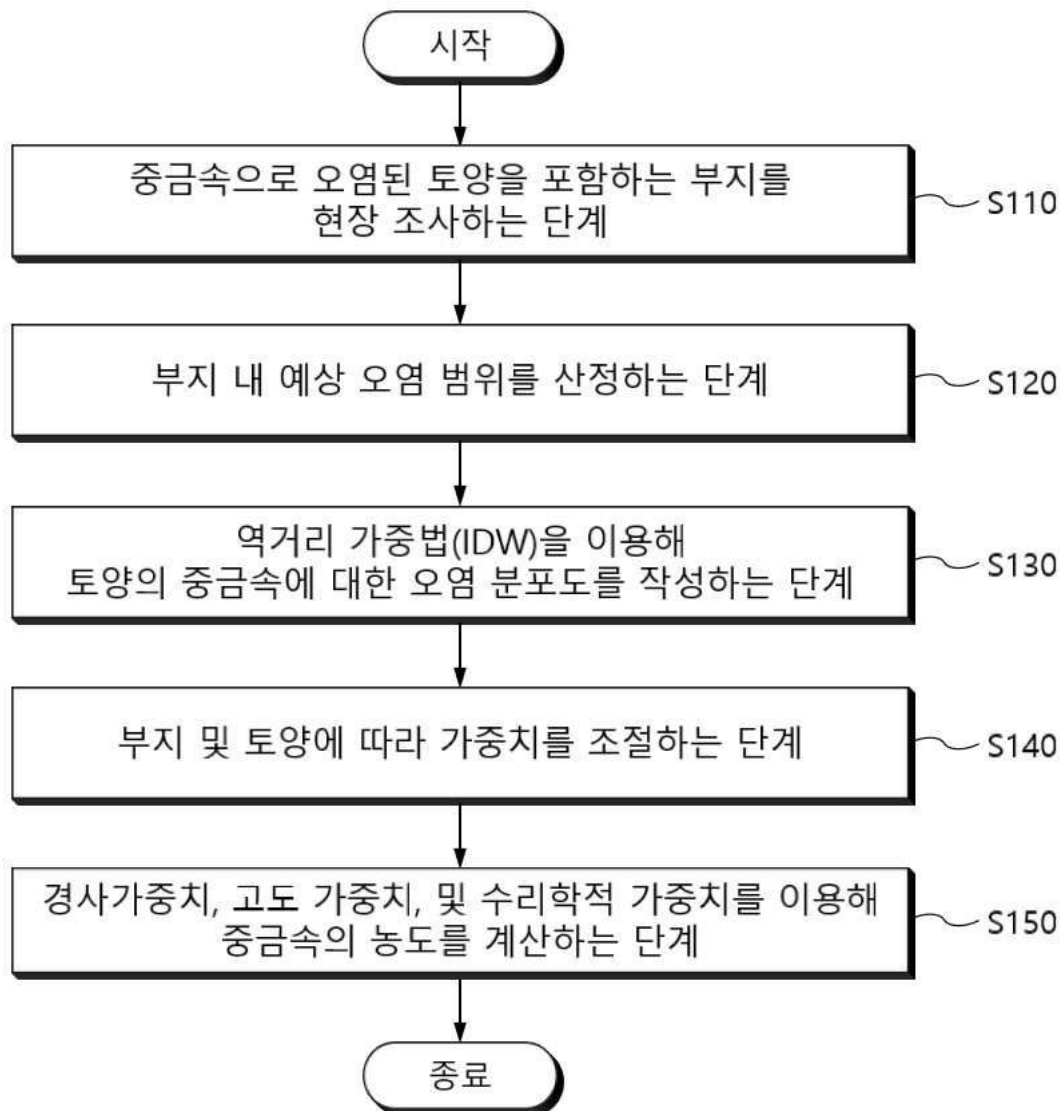
표 6

	화학종	측정치 (mg/kg)	예측치 (mg/kg)	
			기존 IDW	개선된 IDW
Val-01	Cu	198	459	265
	Zn	1467	1455	869
	Cd	13	19	11
Val-02	Cu	149	317	94
	Zn	328	695	210
	Cd	6	10	3
Val-03	Cu	312	1364	478
	Zn	1505	3901	1415
	Cd	19	45	16
Val-04	Cu	190	691	204
	Zn	420	2250	674
	Cd	7	27	8
Val-05	Cu	130	335	134
	Zn	291	1037	421
	Cd	6	14	6
Val-06	Cu	96	178	99
	Zn	190	570	323
	Cd	4	8	5

이상, 본 출원을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 출원의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 출원의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

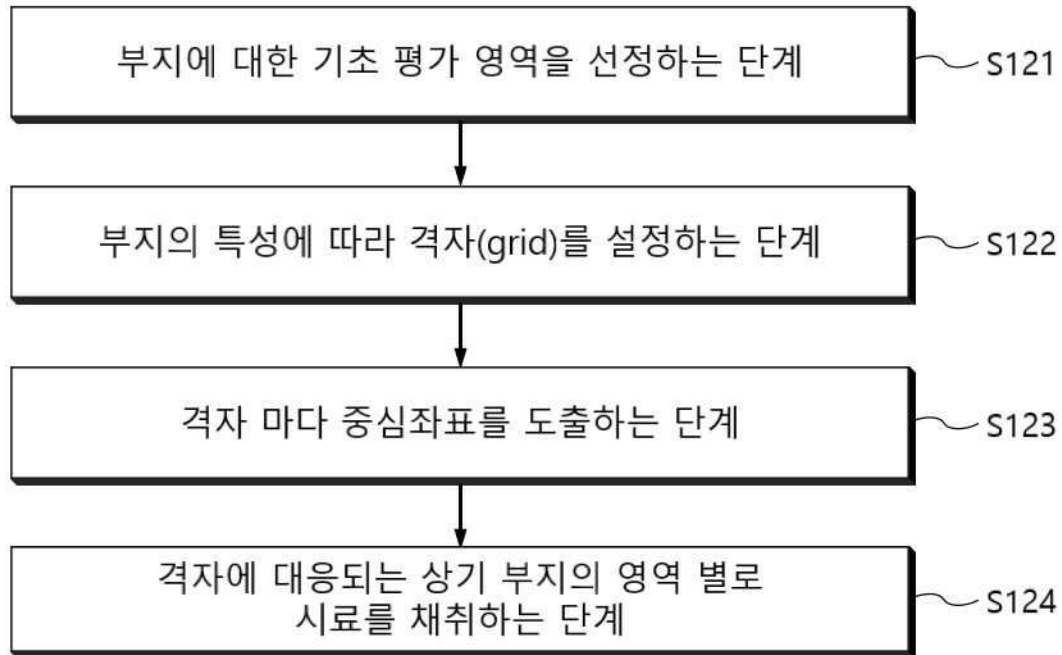
도면

도면1

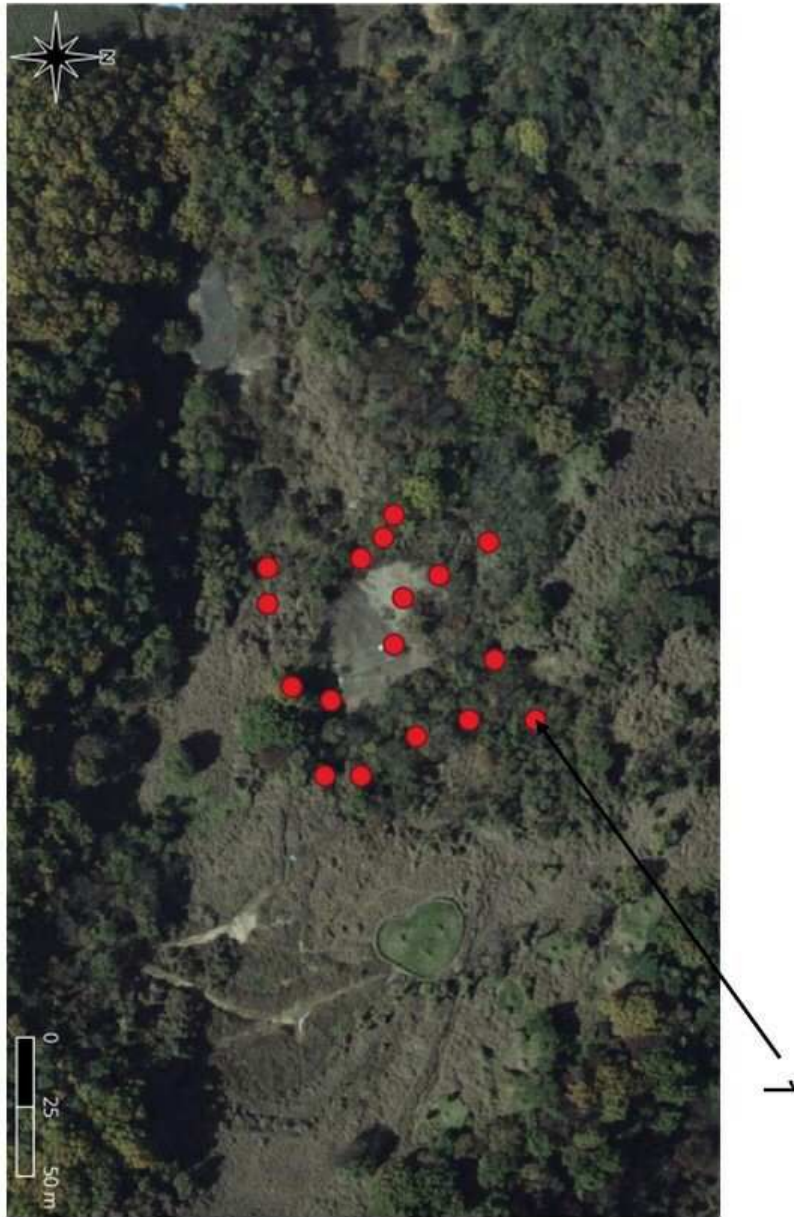


도면2

S120



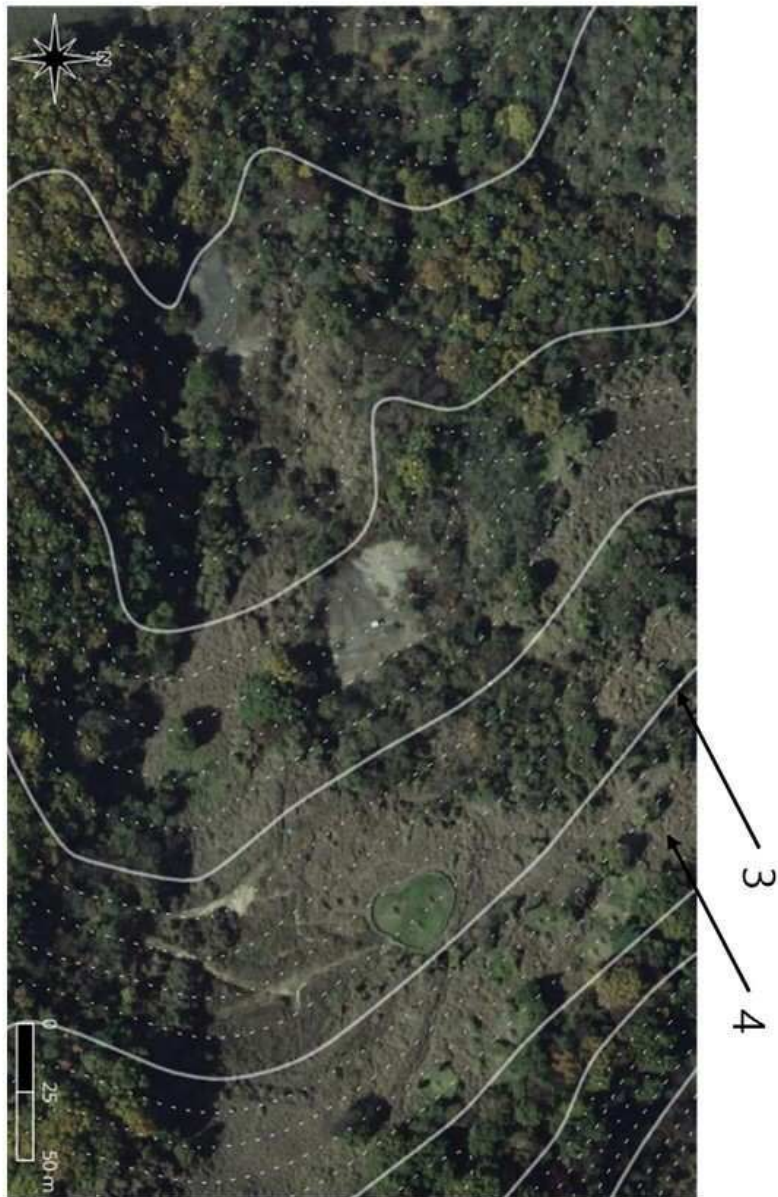
도면3



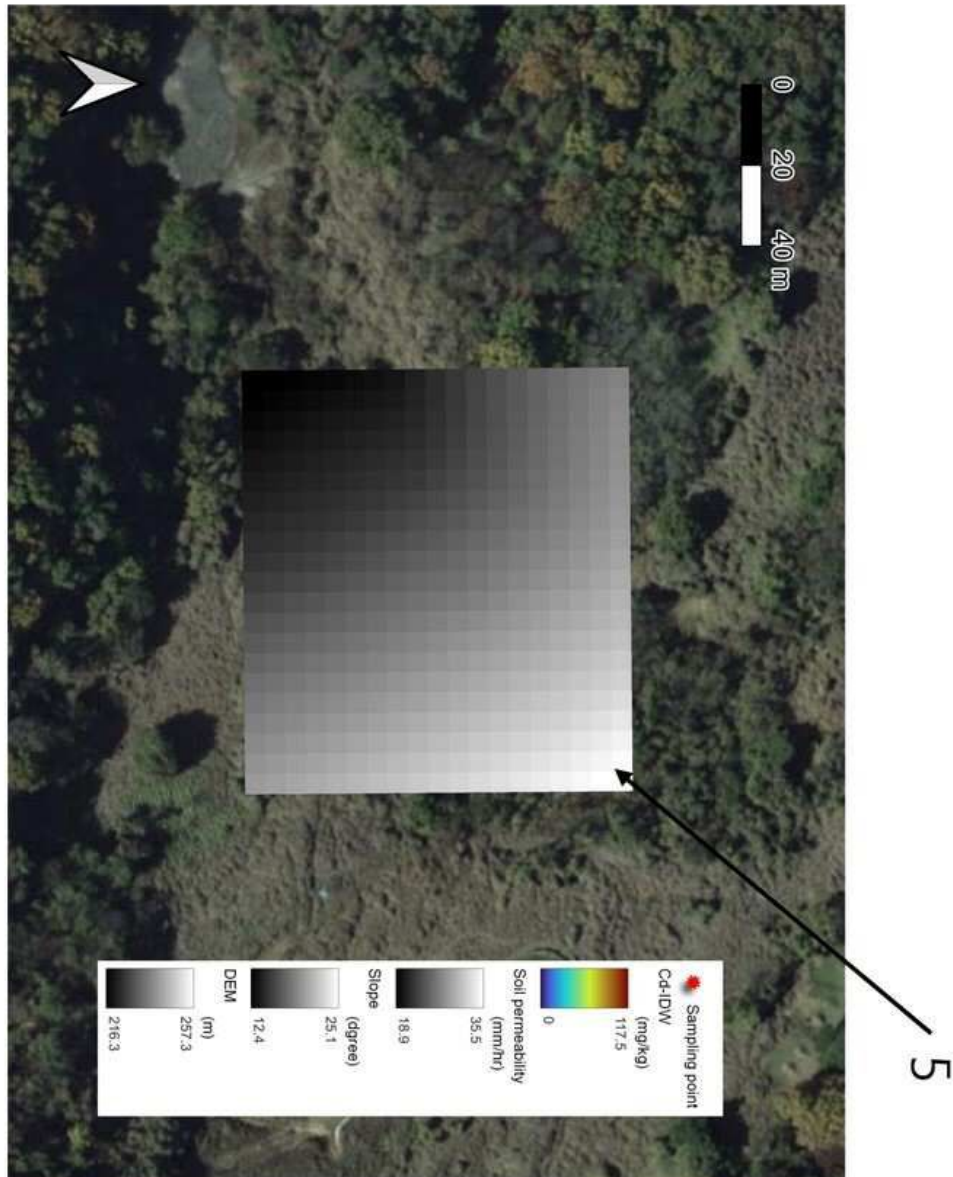
도면4



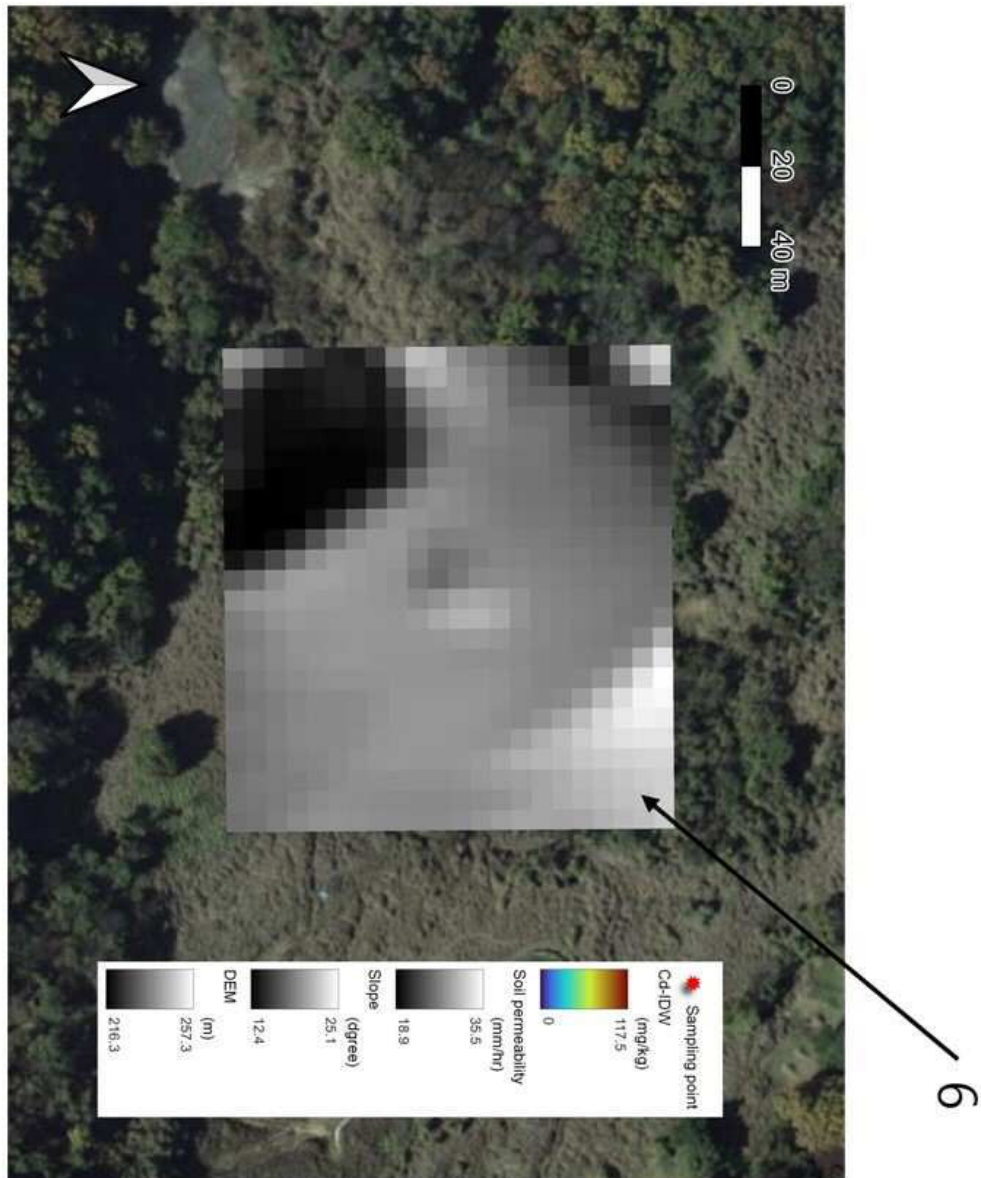
도면5



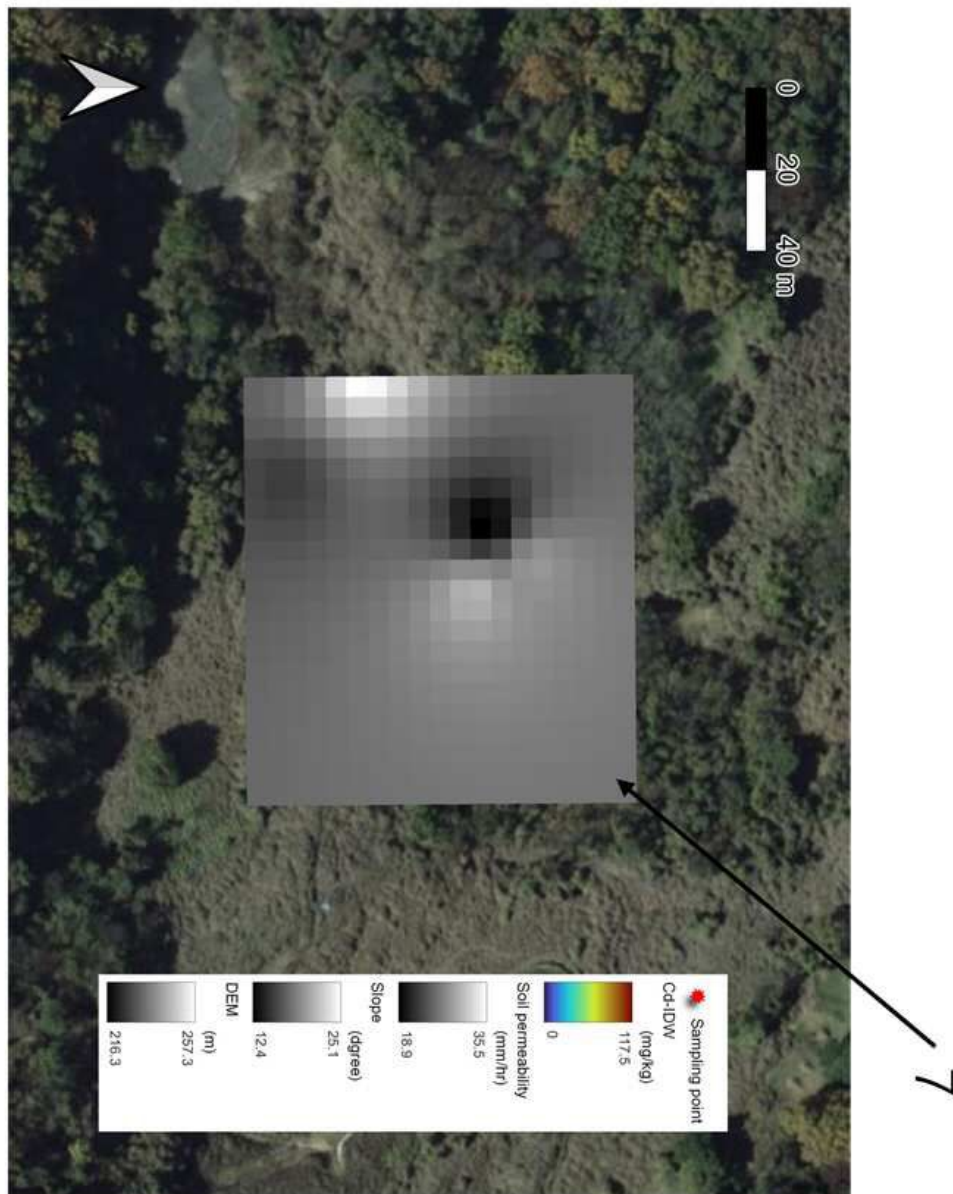
도면6



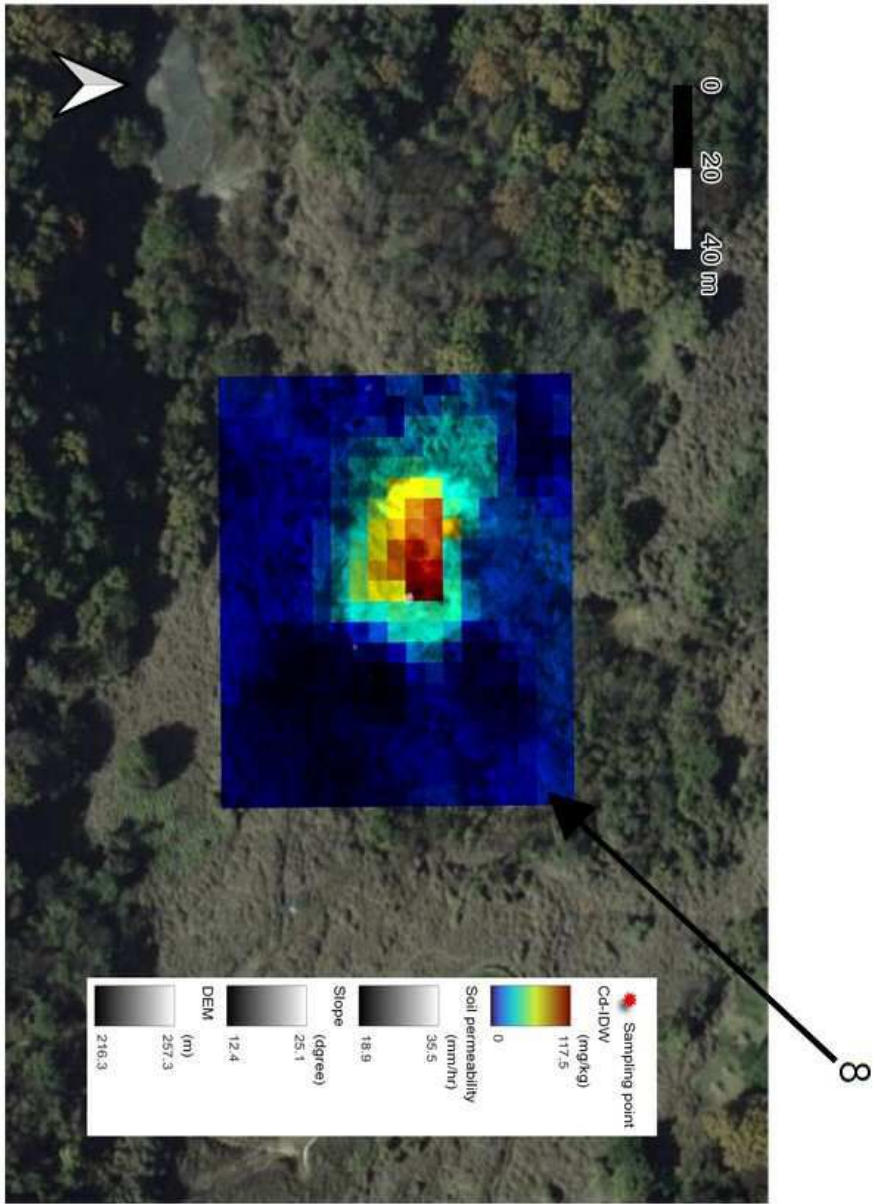
도면7



도면8



도면9



도면10

