



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년11월27일
 (11) 등록번호 10-1922831
 (24) 등록일자 2018년11월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01N 21/25 (2006.01) G01N 21/17 (2006.01)
 G01N 33/38 (2006.01) G06N 3/08 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 G01N 21/25 (2013.01)
 G01N 33/383 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2018-0012021
 (22) 출원일자 2018년01월31일
 심사청구일자 2018년01월31일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2011242365 A*
 WO2010046968 A1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 서울시립대학교 산학협력단
 서울특별시 동대문구 서울시립대로 163 (전농동, 서울시립대학교내)
 (72) 발명자
 조수진
 서울특별시 동대문구 서울시립대로 163 서울시립대학교
 (74) 대리인
 특허법인 천지

전체 청구항 수 : 총 10 항

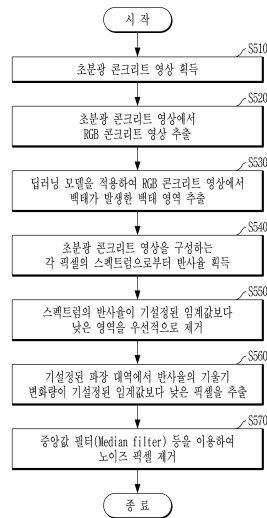
심사관 : 장일석

(54) 발명의 명칭 **콘크리트 상태를 판정하는 영상분석장치 및 영상분석방법**

(57) 요약

콘크리트 상태를 판정하는 영상분석장치는 딥러닝 모델을 적용하여 RGB(red, green, blue) 콘크리트 영상에서 백태가 발생한 백태 영역을 추출하는 딥러닝 모델 적용부; 그리고, 상기 백태 영역에 해당하는 초분광 콘크리트 영상의 스펙트럼을 분석하여, 상기 백태 영역에 포함되어 있는 백태부를 정량화하는 초분광 영상 분석부를 포함할 수 있다. 이로써, 신속하고 정확하게 콘크리트 상태를 판정할 수 있는 영상분석장치 및 영상분석방법이 제공될 수 있다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

G06N 3/08 (2013.01)

G01N 2021/1776 (2013.01)

G06T 2207/10036 (2013.01)

G06T 2207/20084 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1615009298

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 건설기술연구사업

연구과제명 무인검사장비 기반 교량구조물 신속진단 및 평가기술 개발

기여율 1/1

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2017.03.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

콘크리트 상태를 판정하는 영상분석장치에 있어서,

무인 비행체에 탑재된 초분광 카메라를 통해 획득되는 초분광 콘크리트 영상으로부터, RGB(red, green, blue) 콘크리트 영상을 추출하는 RGB 영상 추출부;

비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태와 손상 상태의 콘크리트 상태를 복수의 그룹으로 나누어 딥러닝 모델의 트레이닝에 적용하고, 상기 딥러닝 모델을 이용해 상기 RGB 콘크리트 영상에서 백태가 발생한 백태 영역을 추출하는 딥러닝 모델 적용부와; 그리고,

상기 초분광 콘크리트 영상의 영역들 중 상기 백태 영역에 해당하는 초분광 영역의 스펙트럼을 분석하여, 상기 백태 영역에 포함되어 있는 백태부를 정량화하는 초분광 영상 분석부를 포함하고,

상기 초분광 영상 분석부는,

상기 백태 영역에 해당하는 초분광 영역에 포함된 각 픽셀의 스펙트럼인 대상 스펙트럼과 기준 스펙트럼에 SAM(Spectral Angle Mapper)을 적용하여 상기 대상 스펙트럼과 상기 기준 스펙트럼 간의 각도를 파악하고, 상기 각도가 기설정된 임계범위에 속하는 경우에 상기 임계범위에 속하는 픽셀을 상기 백태부로 판단하고, 상기 백태부의 픽셀들 중 노이즈 픽셀을 중앙값 필터(median filter)를 통해 제거하고,

상기 임계범위는 상기 백태부에 관한 판단 결과의 정확도, 정밀도, 및 재현율에 기반해 도출된 4~8도 이고,

상기 기준 스펙트럼은 스펙트럼 반사율 및 반사율 기울기 변화량에 따라 결정되고,

상기 비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태의 그룹은 줄눈을 포함하는 비손상 콘크리트, 거미줄을 포함하는 비손상 콘크리트, 오염 물질을 포함하는 비손상 콘크리트, 구조물이 꺾인 비손상 콘크리트, 및 표면이 튀어 나온 콘크리트를 포함하고,

상기 손상 상태의 콘크리트 상태의 그룹은 백태를 포함하는 콘크리트, 박리 및 균열을 포함하는 콘크리트, 및 박락을 포함하는 콘크리트를 포함하는

영상분석장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 딥러닝 모델 적용부는 영상 분석용으로 정렬된 나선신경망의 가중치에서 학습을 재시작하는 전이학습을 이용하여 상기 백태 영역을 추출하는 것을 특징으로 하는

영상분석장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 딥러닝 모델 적용부는 상기 나선신경망에 입력될 기본 데이터 크기에 맞추어 윈도우를 이동시켜 스캐닝을 수행함으로써 상기 윈도우 내부의 물체가 백태일 확률과 콘크리트일 확률을 획득하고,

상기 획득한 확률을 이용하여 확률 지도(probability map)를 계산한 뒤, 백태로 판단된 확률이 특정 임계값을

넘어서는 픽셀들을 추출하여 백태 영역을 탐지하는 것을 특징으로 하는 영상분석장치.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 초분광 영상 분석부는,
 상기 대상 스펙트럼으로부터 반사율을 획득하고,
 상기 백태 영역에 해당하는 초분광 영역에서 상기 대상 스펙트럼의 반사율이 기설정된 제1 임계값보다 낮은 영역을 제거하고,
 기설정된 파장 대역에서 상기 반사율의 기울기 변화량이 기설정된 제2 임계값보다 낮은 픽셀을 상기 제거되고 남은 초분광 영역으로부터 추출하는 것을 특징으로 하는 영상분석장치.

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항에 있어서,
 상기 기준 스펙트럼은 방해석 스펙트럼인 영상분석장치.

청구항 8

콘크리트 상태를 판정하는 영상분석방법에 있어서,
 비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태와 손상 상태의 콘크리트 상태를 복수의 그룹으로 나누어 딥러닝 모델의 트레이닝에 적용하는 단계;
 무인 비행체에 탑재된 초분광 카메라를 통해 초분광 콘크리트 영상을 획득하는 단계와;
 상기 초분광 콘크리트 영상에서 RGB(red, green, blue) 콘크리트 영상을 추출하는 단계와;
 상기 딥러닝 모델을 적용하여 상기 RGB 콘크리트 영상에서 백태가 발생한 백태 영역을 추출하는 단계와; 그리고
 상기 초분광 콘크리트 영상의 영역들 중 상기 백태 영역에 해당하는 초분광 영역의 스펙트럼을 분석하여 상기 백태 영역에 포함되어 있는 백태부를 정량화하는 단계를 포함하고,
 상기 백태부를 정량화하는 단계는,
 상기 백태 영역에 해당하는 초분광 영역에 포함된 각 픽셀의 스펙트럼인 대상 스펙트럼과 기준 스펙트럼에 SAM(Spectral Angle Mapper)을 적용하여 상기 대상 스펙트럼과 상기 기준 스펙트럼 간의 각도를 파악하는 단계와;
 상기 각도가 기설정된 임계범위에 속하는 경우에, 상기 임계범위에 속하는 픽셀을 상기 백태부로 판단하는 단계와; 그리고
 상기 백태부의 픽셀들 중 노이즈 픽셀을 중앙값 필터(median filter)를 통해 제거하는 단계를 포함하고,
 상기 임계범위는 상기 백태부에 관한 판단 결과의 정확도, 정밀도, 및 재현율에 기반해 도출된 4~8도 이고,
 상기 기준 스펙트럼은 스펙트럼 반사율 및 반사율 기울기 변화량에 따라 결정되고,
 상기 비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태의 그룹은 줄눈을 포함하는 비손상 콘크리트, 거미줄을 포함

하는 비손상 콘크리트, 오염 물질을 포함하는 비손상 콘크리트, 구조물이 꺾인 비손상 콘크리트, 및 표면이 튀어 나온 콘크리트를 포함하고,

상기 손상 상태의 콘크리트 상태의 그룹은 백태를 포함하는 콘크리트, 박리 및 균열을 포함하는 콘크리트, 및 박락을 포함하는 콘크리트를 포함하는

영상분석방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 백태 영역을 추출하는 단계는, 영상 분석용으로 정렬된 나선신경망의 가중치에서 학습을 재시작하는 전이 학습을 이용하여 상기 백태 영역을 추출하는 것을 특징으로 하는

영상분석방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 백태 영역을 추출하는 단계는,

상기 나선신경망에 입력될 기본 데이터 크기에 맞추어 윈도우를 이동시켜 스캐닝을 수행함으로써 상기 윈도우 내부의 물체가 백태일 확률과 콘크리트일 확률을 획득하는 단계와; 그리고

상기 획득한 확률을 이용하여 확률 지도(probability map)를 계산한 뒤, 백태로 판단된 확률이 특정 임계값을 넘어서는 픽셀들을 추출하여 백태 영역을 탐지하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

영상분석방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 백태부를 정량화하는 단계는,

상기 대상 스펙트럼으로부터 반사율을 획득하는 단계와;

상기 백태 영역에 해당하는 초분광 영역에서 상기 대상 스펙트럼의 반사율이 기설정된 제1 임계값보다 낮은 영역을 제거하는 단계와; 그리고

기설정된 파장 대역에서 상기 반사율의 기울기 변화량이 기설정된 제2 임계값보다 낮은 픽셀을 상기 제거되고 남은 초분광 영역으로부터 추출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

영상분석방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 기준 스펙트럼은 방해석 스펙트럼인

영상분석방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 콘크리트 상태를 판정하는 영상분석장치 및 영상분석방법, 보다 구체적으로 딥러닝 학습을 이용하여 콘크리트 상태를 판정하는 영상분석장치 및 영상분석방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 콘크리트 구조물의 내구성에 영향을 주는 요인은 물리적 요인 및 화학적 요인이 있을 수 있다. 내구성에 영향을 주는 물리적 요인은 표면 마모, 공극 속에 생기는 염류의 결정압으로 인한 균열, 동결 및 화염과 같은 극단적인 온도 환경이 될 수 있다. 내구성에 영향을 주는 화학적 요인은 산성 용액으로 인한 시멘트의 용해, 황산염이나 알칼리 골재 반응에 의한 팽창 반응, 콘크리트 속 강재 부식, 해수 속의 콘크리트 등이 될 수 있다.

[0003] 백태 및/또는 박락은 이런 열화에 의해 발생될 수 있다. 백태(efflorescence)는 노후화된 콘크리트 표면에 발생되는 백색의 결정으로, 콘크리트중의 황산 칼슘, 황산 마그네슘, 수산화칼슘 등이 물에 녹아 침출되어 대기 중의 탄산가스와 화합되어 생성될 수 있다. 백태가 발생하는 원인은 콘크리트 타설 직후 시멘트 중의 가용 성분이 표면에서 석출되기도 하며, 콘크리트 구조체에 우수 및 지하수 등이 침입하여 콘크리트 중의 가용 성분이 콘크리트 표면으로 이동되어 발생될 수 있다. 백태는 콘크리트 구조물에 모세관 공극 또는 균열이 발생된 결합부로 물이 침투하고 있는 부위에서 발생될 수 있다. 따라서 백태가 발생한 부위에 대한 상세 점검을 실시하시고 균열 등의 결합 유무를 판단하여 구조물에 대한 근본적인 보수를 우선적으로 시행할 수 있어야 한다. 콘크리트 박리 및 박락은 동결 용해 등과 같은 원인에 의해 발생될 수 있다. 콘크리트 박리(scaling)는 콘크리트 표면의 모르타르가 점진적으로 손실되는 현상이며, 박락(spalling)은 콘크리트가 균열을따라서 일부 조각이 떨어져 나가는 현상이다.

[0004] 백태 및/또는 박락은 콘크리트 구조물의 노후화 정도를 나타내는 징후로서, 발생 부위에 대한 주의를 기울일 필요가 있다. 일반적으로 콘크리트의 백태 및 박락에 대한 진단 및 정량화는 주로 육안검사를 통해 이루어지고 있다. 육안 검사 시 색상만으로 백태의 판단을 수행하므로, 오염 물질과의 완벽한 구분이 어려울 수 있으며, 박락의 깊이와 넓이만 계측함에 따라, 실제 박락의 부피를 정량화하기 어려울 수 있다. 또한 백태 및 박락이 발생한 구조물이 전문 인력이 접근하기 어려운 구조물인 경우 손상검출의 사각지대가 존재할 수 있다.

[0005] 또한, 콘크리트에 발생된 백태나 박락은 비정상 상태의 콘크리트 상태로 오인될 수 있는 정상적인 콘크리트 상태와 구분이 잘되지 않아 손상된 콘크리트와 정상인 콘크리트를 구별하여 판단할 수 있는 방법에 대한 연구도 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 신속하고 정확하게 콘크리트 상태를 판정할 수 있는 영상분석장치 및 영상분석방법을 제공하는 것이다.

[0007] 또한 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 비정상 상태로 오인될 수 있는 정상 콘크리트와 백태가 발생한 콘크리트를 분류할 수 있는 영상분석장치 및 영상분석방법을 제공하는 것이다.

[0008] 또한 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 효과적으로 백태가 발생한 콘크리트의 상태를 판단할 수 있는 영상분석장치 및 영상분석방법을 제공하는 것이다.

[0009] 또한 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 백태가 발생한 콘크리트의 면적을 정밀하게 정량화 할 수 있는 영상분석장치 및 영상분석방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 실시예인 콘크리트 상태를 판정하는 영상분석장치는 딥러닝 모델을 적용하여 RGB(red, green,

blue) 콘크리트 영상에서 백태가 발생한 백태 영역을 추출하는 딥러닝 모델 적용부와; 그리고, 상기 백태 영역에 해당하는 초분광 콘크리트 영상의 스펙트럼을 분석하여, 상기 백태 영역에 포함되어 있는 백태부를 정량화하는 초분광 영상 분석부를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 딥러닝 모델 적용부는 비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태와 손상 상태의 콘크리트 상태를 복수의 그룹으로 나누어 트레이닝하고, 상기 비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태의 그룹은 줄눈을 포함하는 비손상 콘크리트, 거미줄을 포함하는 비손상 콘크리트, 오염 물질을 포함하는 비손상 콘크리트, 구조물이 꺾인 비손상 콘크리트, 및 표면이 튀어 나온 콘크리트를 포함하고, 상기 손상 상태의 콘크리트 상태의 그룹은 백태를 포함하는 콘크리트, 박리 및 균열을 포함하는 콘크리트, 및 박락을 포함하는 콘크리트를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 딥러닝 모델 적용부는 영상 분석용으로 정렬된 나선신경망의 가중치에서 학습을 제시작하는 전이학습을 이용하여 상기 백태 영역을 추출할 수 있다.

[0013] 상기 딥러닝 모델 적용부는 상기 나선신경망에 입력될 기본 데이터 크기에 맞추어 윈도우를 이동시켜 스캐닝을 수행함으로써 상기 윈도우 내부의 물체가 백태일 확률과 콘크리트일 확률을 획득하고, 상기 획득한 확률을 이용하여 확률 지도(probability map)를 계산한 뒤, 백태로 판단된 확률이 특정 임계값을 넘어서는 픽셀들을 추출하여 백태 영역을 탐지할 수 있다.

[0014] 상기 초분광 영상 분석부는, 상기 초분광 콘크리트 영상을 구성하는 각 픽셀의 스펙트럼으로부터 반사율을 획득하고, 상기 초분광 콘크리트 영상에서 상기 스펙트럼의 반사율이 기설정된 임계값보다 낮은 영역을 제거하고, 기설정된 파장 대역에서 상기 반사율의 기울기 변화량이 기설정된 임계값보다 낮은 픽셀을 추출할 수 있다.

[0015] 상기 초분광 영상 분석부는, 상기 초분광 콘크리트 영상을 구성하는 각 픽셀의 스펙트럼과 기준 스펙트럼에 SAM(Spectral Angle Mapper)을 적용하여 상기 픽셀의 스펙트럼과 상기 기준 스펙트럼의 각도가 기설정된 임계범위에 속하는 경우에, 상기 임계범위에 속하는 픽셀을 백태부로 판단할 수 있다.

[0016] 상기 기준 스펙트럼은 방해석 스펙트럼이고, 상기 임계범위는 4~8도 일 수 있다.

[0017] 본 발명의 다른 실시예인 콘크리트 상태를 판정하는 영상분석방법은, 초분광 콘크리트 영상을 획득하는 단계와; 상기 초분광 콘크리트 영상에서 RGB(red, green, blue) 콘크리트 영상을 추출하는 단계와; 딥러닝 모델을 적용하여 상기 RGB 콘크리트 영상에서 백태가 발생한 백태 영역을 추출하는 단계와; 그리고 상기 백태 영역에 해당하는 초분광 콘크리트 영상의 스펙트럼을 분석하여 상기 백태 영역에 포함되어 있는 백태부를 정량화하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0018] 본 발명의 실시예에 따르면, 신속하고 정확하게 콘크리트 상태를 판정할 수 있는 영상분석장치 및 영상분석방법이 제공될 수 있다.

[0019] 또한 본 발명의 실시예에 따르면, 비정상 상태로 오인될 수 있는 정상 콘크리트와 백태가 발생한 콘크리트를 분류할 수 있는 영상분석장치 및 영상분석방법이 제공될 수 있다.

[0020] 또한 본 발명의 다양한 실시예에 따르면 효율적으로 백태가 발생한 콘크리트의 상태를 판단할 수 있는 영상분석장치 및 영상분석방법이 제공될 수 있다.

[0021] 또한 본 발명의 다양한 실시예에 따르면 백태가 발생한 콘크리트의 면적을 정밀하게 정량화 할 수 있는 영상분석장치 및 영상분석방법이 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라 초분광 카메라를 이용하여 콘크리트 상태를 촬영하는 것을 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 영상분석장치의 제어 블록도이다.

도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따른 딥러닝 모델을 적용하여 백태 영역을 추출하는 것을 설명하기 위한 도면이다.

도 4a 및 도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 백태 콘크리트와 정상 콘크리트의 반사율을 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 영상분석방법을 설명하기 위한 제어 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따라 백태부 추출에 적용되는 SAM를 설명하기 위한 도면이다.

도 7a 및 도 7b는 본 발명의 다른 실시예에 따라 백태부 추출에 이용되는 방해석 스펙트럼과 정상 콘크리트의 스펙트럼을 도시한 도면이다.

도 8a 내지 도 8f는 본 발명의 다른 실시예에 따라 백태부를 추출하는 것을 설명하기 위한 콘크리트 영상이다.

도 9a 내지 도 9d는 본 발명의 다른 실시예에 따라 복수의 콘크리트 영상에서 백태부를 추출할 때 적용하는 SAM의 임계각도에 따른 정확도, 정밀도 및 재현율을 도시한 그래프이다.

도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 영상분석방법을 설명하기 위한 제어 흐름도이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른, 컴퓨팅 장치를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0024] 본 명세서에서, 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0025] 또한 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '연결되어' 있다거나 '접속되어' 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '직접 연결되어' 있다거나 '직접 접속되어' 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0026] 또한, 본 명세서에서 사용되는 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용되는 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도로 사용되는 것이 아니다.
- [0027] 또한 본 명세서에서, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0028] 또한 본 명세서에서, '포함하다' 또는 '가지다' 등의 용어는 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품, 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것일 뿐, 하나 또는 그 이상의 다른 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0029] 또한 본 명세서에서, '및/또는' 이라는 용어는 복수의 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다. 본 명세서에서, 'A 또는 B'는, 'A', 'B', 또는 'A와 B 모두'를 포함할 수 있다.
- [0031] 콘크리트 구조물의 내구성은 기상 작용, 물리/화학적 작용, 기계적 작용 등의 성능 저하 외력에 저항하여 역학적, 기능적인 성능을 보유할 수 있는 능력을 의미할 수 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 내구성은 다양한 열화 원인에 의해 저하될 수 있다. 따라서 콘크리트 구조물은 주기적으로 안전 진단이 필요할 수 있다. 예를 들면, 교량의 보강주기는 15-20년이 될 수 있다. 현재 우리나라에 나라에서 공용 중인 도로교의 약 40%가 2000년 이전에 건설된 교량들이며, 조만간 유지 보수 수요의 급격하게 증가될 수 있다. 교량의 유지관리는 현재 안전성 중심에서 성능 중심으로 전환되고 있으며, 내구성 평가의 중요성이 점차 부각되고 있다.
- [0032] 콘크리트 구조물의 안전 진단을 위하여, 콘크리트 구조물의 이상 상태 여부를 비접촉 및 비파괴적으로 판별할 수 있는 방법이 요구되고 있다. 콘크리트의 이상 상태는 백태 및/또는 박락 등이 될 수 있다. 콘크리트 백태 및/또는 박락 등은 콘크리트 노후화의 징후이므로, 콘크리트의 백태 및 박락에 대한 탐지 및 정량화 방법이 필요할 수 있다.
- [0034] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라 초분광 카메라를 이용하여 콘크리트 상태를 촬영하는 것을 도시한 도면이다.
- [0035] 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따르면 콘크리트 표면(Concrete Surface)에 발생한 백태(Efflorescence)를 초분

광 카메라(hyperspectral camera)가 촬영하고 있으며, 초분광 카메라에서 얻은 초분광 영상(hyperspectral image)은 콘크리트의 상태 판단에 사용될 수 있다.

- [0036] 초분광 영상은 영상 내의 각 픽셀이 가지는 스펙트럼 특징을 획득하고 분석하여 특정 물체를 식별하거나 특정 화학 물질을 검출하는 것이다. 일반 RGB(red, green, blue) 카메라가 단순히 3개의 색상 채널(Red, Green, Blue)로 영상을 나타내는데 반하여, 초분광 영상은 사용자가 원하는 파장 대역을 수십에서 수백 개로 나누어 각 대역의 분광 광도(Luminous Intensity)를 수집한다. 초분광 카메라는 라인 스캐닝(Line Scanning)을 통하여 피사체가 반사하는 빛을 촬영한다. 그 후 분광기를 이용하여 촬영한 빛을 일정 간격의 스펙트럼의 대역으로 분할한다. 마지막으로 분할된 데이터는 최종적으로 3차원 데이터 큐브(Data Cube)의 형태로 저장된다.
- [0037] 각 화학 분자는 고유한 스펙트럼 형태를 가지고 있으며 가시광선에서 나타나는 스펙트럼의 형태에 따라 물질이 나타내는 색상이 달라진다. 초분광 영상은 이러한 고유한 스펙트럼 형태를 분석하는 비접촉, 비파괴 장비로써 공학 분야뿐 아니라 천문학, 농업, 생물, 의학, 지구과학, 물리학 등 여러 분야에 걸쳐 두루 활용되고 있다.
- [0038] 본 실시예에서는 초점 렌즈가 달린 근적외선 초분광 카메라(PS-VNIR, Specim, Spectral Imaging Ltd., 핀란드)가 사용되었으며, 초분광 카메라는 푸쉬브룸 스캐닝(Pushbroom scanning) 라인 스캐닝으로 작동하면서 2D 이미지를 수집할 수 있다. 스펙트럼 범위는 가시광선 및 근적외선 (VNIR) 범위에서 400-1000nm이며, 전체 프레임은 1392x1040의 해상도를 가질 수 있다.
- [0039] 초분광 영상은 상용 소프트웨어인 ENVI (Harris Corporation, FL, USA)를 사용하여 분석되었으며, 이하 기술된 실시예에서 초분광 카메라를 피사체로부터 약 1.5m 정도 이격시켜 촬영하였고, 99%의 황산바륨 반사판(Barium Sulfate Reflector)을 백태 근처에 배치하여 정규화(Normalize)의 기준으로 사용하였다.
- [0040] 초분광 카메라 및 콘크리트 상태를 판단하는 영상분석장치는 다양한 형태로 구성할 수 있다. 예를 들면, 초분광 카메라를 거치식으로 설치할 수 있으며, 위성에 탑재할 수 있으며, 무인 항공기(UAV 및 drone등)에 탑재할 수 있다. 초분광 카메라를 탑재한 무인체를 활용하여 인력의 접근이 위험하거나 불가능한 위치에서 백태 및 박락의 진단 및 정량화가 가능할 수 있다.
- [0041] 본 발명의 다양한 실시예들은 초분광 이미지를 이용하여 콘크리트 구조물의 백태 및 박락의 진단 및 정량화를 수행할 수 있는 장치 및 방법들을 제안한다. 본 발명의 다양한 실시예들은 초분광 카메라를 활용하여 일반 콘크리트, 백태, 기타 오염 물질들을 정상적인 콘크리트와 구분하고, 백태 및/또는 박락이 발생된 위치 및 크기를 판별하여 콘크리트 이미지에 표시할 수 있다.
- [0042] 본 발명에 따르면, 콘크리트 상태를 판단하기 위한 영상 분석 장치 및 방법은 비접촉, 비파괴 기반으로 콘크리트 상태를 판정할 수 있으며, 이로 인해 콘크리트 구조물에 손상을 끼치지 않으면서 용이하게 콘크리트의 백태 및 박락을 탐지할 수 있다. 또한, 초분광 이미지를 기반으로 콘크리트 상태를 판정함으로써, 시각적인 판단 방법에 비해 백태 탐지의 신뢰성을 확보할 수 있으며, 초점 및 해상도가 허용하는 범위 내에서 광범위한 영역을 탐지할 수 있다. 또한 무인 비행체를 이용할 수 있어, 사람이 접근하기 어려운 콘크리트 구조물(예를 들면, 바닥판, 주탑, 교량 하부 등)의 원격 탐사를 할 수 있다.
- [0043] 또한, 본 발명에 따르면, 초분광 카메라에서 획득한 영상에 딥러닝 모델을 적용하여 신속하게 백태 또는 박락이 발생한 부분을 추출하고 추출된 부분으로부터 백태 또는 박락이 발생한 부분을 정량화하는 영상분석방법이 제공될 수 있다. 딥러닝 모델의 적용으로 인하여 백태의 탐지를 빠르게 수행할 수 있으며, 이미 탐지된 백태 주변부만을 이용하여 정량화를 수행하므로 정량화의 정확도가 증가할 수 있다.
- [0045] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 영상분석장치의 제어 블록도이다.
- [0046] 본 실시예에 따른 영상분석장치(100)는 초분광 카메라(A)로부터 콘크리트에 대한 초분광 영상을 수신하여 정상 상태의 콘크리트와, 비정상 상태, 즉 손상된 콘크리트 부위를 구별하는 위한 영상 분석을 수행한다. 이를 위하여 영상분석장치(100)는 RGB 영상 추출부(110), 딥러닝 모델 적용부(120) 및 초분광 영상 분석부(130)를 포함할 수 있다.
- [0047] 초분광 카메라(A)는 피사체의 초분광 영상을 획득할 수 있으며, 본 발명에서 피사체는 콘크리트가 될 수 있다. 초분광 카메라(A)는 가시광선 대역과 적외선 대역(예를 들면 VNIR 및 SWIR 대역)의 초분광 영상을 획득할 수 있다.
- [0048] 콘크리트 구조물은 교량, 대형 건축물이 될 수 있다. 이런 콘크리트 구조물은 자연 장애물 및 구조물의 높이 등에 의해 초분광 카메라(A)를 이용하여 촬영하기 어려울 수 있다. 따라서 초분광 카메라(A)를 무인 비행체

(unmanned aerial vehicle(UAV), drone) 또는 위성에 장착하여 콘크리트 구조물을 촬영할 수 있다. 영상분석장치(100)는 이러한 초분광 카메라(A)와 유선 또는 무선 통신할 수 있는 통신부를 더 포함할 수 있다. 이때 통신부는 근거리 무선 통신(wifi, wibro 등) 방식을 사용할 수 있으며, 또는 공중 무선 통신(LTE, WCDMA 등) 방식을 사용할 수 있다. 초분광 카메라(A)를 탑재한 무인 비행체와 영상분석장치(100)를 연동하여 운용하는 경우, 대형 콘크리트 구조물에서 콘크리트 외부 손상에 대한 정보를 경제적이고 수월하게 획득하고 데이터베이스화하여 구조물의 유지관리 비용을 크게 절감할 수 있다.

[0049] RGB 영상 추출부(110)는 초분광 콘크리트 영상에서 RGB 콘크리트 영상을 추출할 수 있다. RGB 영상 추출부(110)는 초분광 콘크리트 영상에서 빨간색(690nm), 녹색(600nm) 및 파랑(520nm)의 스펙트럼 구성 요소를 가져와 초분광 영상과 동일한 크기 및 픽셀 해상도를 갖는 RGB 콘크리트 영상을 구성할 수 있다.

[0050] RGB 콘크리트 영상은 드론 및 스마트폰 등에 의해 무작위로 촬영된 영상으로부터 백태의 위치를 찾는 데 사용되며, 초분광 콘크리트 영상은 백태의 크기를 정량화하는 데 사용될 수 있다.

[0051] 초분광 카메라를 사용하면 유사한 밝기를 나타내는 백태와 콘크리트를 손쉽게 구분할 수 있다. 하지만, 전체 대역 약 400~2500nm 중 절반 이하인 가시광선 및 적외선 대역의 400~1000nm의 대역의 스펙트럼만을 분석하는 저가의 초분광 카메라(A)를 사용하는 경우, 다소 부정확한 결과를 나타낼 가능성이 존재한다. 현재 400~2500nm 대역을 측정 가능한 초분광 카메라는 가격이 1억원 이상을 호가하며 부수적인 추가 장비가 필요하기 때문에 교량 안전진단을 위해 구매하기에 무리가 있다. 따라서 합리적인 가격의 장비를 사용하는 동시에 백태와 콘크리트가 아닌 다른 부분을 제거하여 탐지의 정확도를 높이기 위하여 본 발명에 따른 경우, 딥러닝 기반 알고리즘을 초분광 영상의 분석에 사용할 수 있다.

[0052] 딥러닝 모델 적용부(120)는 딥러닝 모델을 적용하여 RGB 콘크리트 영상에서 백태가 발생한 백태 영역을 추출할 수 있다.

[0053] 딥러닝 모델은 기계 학습의 한 분야로 여러 비선형 변환 기법의 조합을 통해 다량의 데이터를 분류하기 위한 최적의 가중치를 갖는 인공신경망을 획득하는 방법이다. 인공신경망은 입력층과 출력층 사이를 연결하는 수많은 은닉층으로 구성되며 이들을 연결하는 최적의 가중치를 계산하기 위해 경사하강법(Gradient descent), 오차역전파법(Back-propagation), 드롭아웃(Dropout) 등과 같은 기법들이 적용될 수 있다. 최근 발달된 그래픽 처리 장치(Graphics Processing Unit, GPU)를 사용하면 최종적으로 가중치를 획득하기 위한 수많은 연산을 효율적으로 수행될 수 있다. 딥러닝 모델은 인터넷 기반 빅데이터가 발달하여 인공신경망의 성능을 결정짓는 학습 데이터 획득이 수월해지면서 기계 학습 분야에서 주목 받고 있는 모델이다.

[0054] 본 실시예에 적용된 딥러닝 모델은 토론토 대학교에서 개발한 나선 신경망(Convolutional Neural Network), 일명 Alexnet을 변형시킨 것이다(Krizhevsky 등, 2012). 기존 딥러닝 모델을 사용 목적에 맞게 조정하여 사용하는 방법을 전이학습(Transfer Learning)이라고 하는데, 전이학습을 이용하면 기존의 영상 분석을 위해 학습된 딥러닝 모델을 사용하기 때문에 모델 자체를 구축하는 노력을 절감할 수 있는 장점이 있다. 또한 영상분석용으로 정렬된 신경망의 가중치 값에서 학습을 재시작하기 때문에 학습시간도 감소될 수 있다. 본 실시예에 따른 딥러닝 모델 적용부(120)는 영상 분석용으로 정렬된 나선신경망의 가중치에서 학습을 재시작하는 전이학습을 이용하여 백태 영역을 추출할 수 있다.

[0055] 본 실시예에 따르면, 딥러닝 모델의 트레이닝을 위하여 백태 사진 약 519장과 백태가 없는 무손상 콘크리트 표면 사진 약 977장, 기타(식생 등) 사진이 1,504장이 웹스크래핑 기법을 사용하여 수집되었다. 한편, 학습된 인공신경망의 성능을 검증하기 위해 학습 이미지 중 20% 따로 분류하여 테스트 이미지로 활용하였으며 약 90%의 정확도를 나타내었다.

[0056] 딥러닝 모델 적용부(120)는 비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태와 손상 상태의 콘크리트 상태를 복수의 그룹으로 나누어 트레이닝할 수 있다. 예를 들어, 비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태의 그룹에는 줄눈을 포함하는 비손상 콘크리트, 거미줄을 포함하는 비손상 콘크리트, 오염 물질을 포함하는 비손상 콘크리트, 구조물이 꺾인 비손상 콘크리트, 표면이 튀어 나온 콘크리트가 포함될 수 있다. 또한, 손상 상태의 콘크리트 상태의 그룹은 백태를 포함하는 콘크리트, 박리 및 균열을 포함하는 콘크리트, 박락을 포함하는 콘크리트를 포함할 수 있다.

[0057] 기존의 영상 분석 방법에 따르면, 정상적이지만 그 모양이나 색깔 또는 형상이 백태 또는 박락이 발생한 비정상 콘크리트와 유사한 콘크리트는 손상된 콘크리트로 잘못 판단되는 문제점이 존재했다. 본 실시예에 따른 경우, 비정상 상태로 오인될 수 있는 수많은 사진을 수집하여 트레이닝 시킴으로써 이러한 오판에 따른 판단 오차율을

감소시키고 판단의 정확도를 높일 수 있다. 즉, 본 실시예에 따른 경우, 사람의 육안이 아닌 딥러닝 모델을 이용하여 신속하고 정확하게 콘크리트 손상 유형을 파악하고 백태 영역을 탐지할 수 있는 영상분석방법이 제공된다.

- [0058] 딥러닝 모델 적용부(120)는 나선신경망에 입력될 기본 데이터 크기에 맞추어 윈도우를 이동시켜 스캐닝을 수행함으로써 윈도우 내부의 물체가 백태일 확률과 콘크리트일 확률을 획득하고, 이 확률을 이용하여 확률 지도(probability map)를 계산한 뒤, 백태로 판단된 확률이 특정 임계값을 넘어서는 픽셀들을 추출하여 백태 영역을 탐지할 수 있다.
- [0059] 상술한 바와 같이, 본 실시예에 따른 딥러닝 모델은 Alexnet을 기반으로 만들어졌기 때문에, 딥러닝 모델 적용부(120)는 Alexnet이 제공하는 기본 데이터 입력 크기에 맞추어, 윈도우를 이동시키면서 스캐닝을 실시한다. 넓은 영역의 영상을 작은 단위로 분할하는 과정에서 백태의 특징이 손상될 수 있는 가능성이 존재하고, 이로 인하여 백태부 추출의 정확도가 떨어질 수 있다. 정확도 감소를 최소화 하기 위하여 딥러닝 모델 적용부(120)는 탐지 대상의 이미지의 가로 세로 분할 개수를 바꾸는 동시에 일정 각도로 회전시키며 확률을 획득할 수 있다.
- [0060] 그런 후, 딥러닝 모델 적용부(120)는 획득된 확률을 토대로 확률 지도를 계산한 후, 백태로 판단된 확률이 특정 임계값을 넘어서는 픽셀들만을 추출하여 백태 영역을 탐지할 수 있다.
- [0062] 도 3a 내지 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따른 딥러닝 모델을 적용하여 백태 영역을 추출하는 것을 설명하기 위한 도면이다. 학습된 딥러닝 모델의 검증을 위하여 실제 백태가 발생한 콘크리트 구조물에서 백태의 촬영 시험을 수행하였다.
- [0063] 도 3a는 초분광 콘크리트 영상에서 추출한 RGB 콘크리트 영상으로 건물 구조물에서 계단부의 누수로 인하여 백태가 발생한 것을 나타내고 있다.
- [0064] 도 3b는 기존의 초분광 콘크리트 영상만을 이용하여 백태 영역을 탐지한 결과를 나타낸 것으로 백태 영역뿐만 아니라, 백태 영역과 스펙트럼이 비슷한 부분까지도 백태로 분류할 가능성이 높다.
- [0065] 도 3c는 본 실시예에 따라 딥러닝 모델 적용부(120)에서 획득한 확률 지도에 따른 영상이다. 도시된 바와 같이 확률 지도에 따르면 백태일 확률과 콘크리트일 확률이 명확하게 구별되므로 백태 영역에 속하는 특정 임계값을 넘는 픽셀들을 추출할 수 있다.
- [0066] 도 3d는 본 실시예에 따라 도 3a의 RGB 콘크리트 영상을 분할하여 인공지능망에 의해 백태 탐지를 수행한 결과를 나타낸 것으로, 백태 영역이 명확하게 탐지되는 것을 확인할 수 있다.
- [0067] 즉, 본 발명에 따라 인공지능망을 이용한 딥러닝 모델을 적용하여 백태 영역을 탐지할 경우, 실제 백태 영역만을 우선적으로 추출해낼 수 있으며, 추출된 백태 영역에 후술할 초분광 영상에 기반한 백태 정량화 알고리즘을 적용할 경우, 백태부만을 정확하게 추출할 수 있다.
- [0068] 초분광 영상 분석부(130)는 딥러닝 모델 적용부(120)에서 탐지된 백태 영역에 해당하는 초분광 콘크리트 영상의 스펙트럼을 분석하여 백태 영역에 포함되어 있는 백태부를 정량화할 수 있다. 초분광 영상 분석부(130)는 도시하지 않은 초분광 콘크리트 영상에서 기설정된 대역의 스펙트럼을 추출하는 스펙트럼 추출부, 추출된 스펙트럼에서 기설정된 적어도 하나의 콘크리트의 파라미터에 대응하는 스펙트럼을 분석하는 스펙트럼 분석부, 분석된 스펙트럼에 기초하여 백태부를 정량화하는 백태 판단부를 포함할 수 있다.
- [0069] 상술한 바와 같이, 백태(Efflorescence)는 콘크리트 제품의 표면 또는 표면 근처에 형성되는 결정성 퇴적염(탄산염, 황산염, 염화물)이며, 일반적으로 백색을 띤다. 백태는 보통 시멘트 성분 중 칼슘, 나트륨 및 칼륨의 탄산염으로 이루어지며 콘크리트 구조물은 백태의 형성 과정에서 알칼리성을 잃게 된다. 백태가 형성되는 과정을 화학식으로 나타내면 다음 식 (1), (2)와 같으며, 최종적으로는 탄산칼슘(CaCO₃)이 백태의 주성분이 된다.

수학식 1



[0070]

[0071]

콘크리트가 일반적으로 보이는 낮은 반사율(Reflectance)과 백태가 보이는 높은 반사율은 백태를 검출하는 가장 대표적인 스펙트럼 특징 중 하나이다.

[0072]

도 4a 및 도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 백태 콘크리트와 정상 콘크리트의 반사율을 도시한 도면이다.

[0073]

도 4b과 같이 정상적인 일반 콘크리트가 가시광선 및 근적외선 대역에서 평균적으로 약 40%의 반사율을 갖지만 콘크리트 백태의 화학 성분(예: CaCO_3)은 동일한 대역에서 평균적으로 90% 내외의 높은 스펙트럼 반사율을 보이고 있다(도 4b).

[0074]

그러나 밝은 회색 표면을 가지는 일부 콘크리트 표면이 백태와 비슷한 수준의 높은 스펙트럼 반사율을 가질 수 있기 때문에, 스펙트럼 반사율만을 이용하여 백태를 검출하는 방법에는 한계가 있다. 따라서 초분광 스펙트럼의 기울기 변화량을 이용하면 더 객관적으로 무손상 콘크리트와 백태 콘크리트를 구별할 수 있다.

[0075]

도 4a에 도시된 바와 같이, 백태 콘크리트의 주요 성분인 CaCO_3 의 스펙트럼은 550 nm 대역 부근에서 완만한 기울기의 변화를 나타내지만, 콘크리트의 스펙트럼은 그 대역에서 급격한 변화를 보이고 있다(도 4b). 이와 같이 백태 콘크리트와 정상 콘크리트의 스펙트럼에서 보이는 반사율 및 기울기 변화량을 함께 적용하면 보다 정확하게 백태부를 정량화 할 수 있다.

[0076]

초분광 영상 분석부(130)는 상술한 스펙트럼의 반사율 및 기울기의 변화량뿐만 아니라 흡수율에 따른 스펙트럼의 변화 특성(absorption depth and position), 반사율에 따른 스펙트럼의 변화 특성(reflection height and position), 스펙트럼의 평균값 및 표준 편차(mean and standard deviation), 스펙트럴 커브의 연속성(continuity of spectral curve)과 같은 특징을 이용하여 백태부를 파악할 수도 있다.

[0077]

초분광 카메라를 이용하여 피사체를 촬영하는 경우, 촬영 대상 물질에 포함된 성분의 특성에 따라, 빛을 흡수하는 정도(absorption band)가 달라질 수 있다. 초분광 영상의 흡수 대역의 깊이, 면적 및 또는 위치를 이용하여 콘크리트의 백태 및/또는 박락을 탐지할 수 있다.

[0078]

또한, 동일한 색상을 갖더라도, 대상 물질의 구성 성분에 따라 다른 반사 형태(예를 들면 reflectance peak, increase/decrease of reflectance(ratio), reflectance slop 등)를 가질 수 있다. 따라서 초분광 영상 분석부(130)는 동일한 색상을 갖는 대상 물질에서 구성 성분을 분석할 때, 서로 다른 반사 특성을 이용하여 콘크리트의 백태 및/또는 박락을 탐지할 수 있다.

[0079]

또한, 특정한 스펙트럼에서 흡수되는 특성이 없거나 약한 물질인 경우, 초분광 영상 분석부(130)는 스펙트럼의 평균값과 표준편차를 이용하여 콘크리트의 백태 및 박락을 탐지할 수 있다.

[0080]

그리고, 초분광 이미지의 스펙트럼은 물질의 특성에 따라서 변화될 수 있으므로, 초분광 영상 분석부(130)는 연속되는 커브의 regression line의 특성을 이용하여 콘크리트의 백태 및/또는 박락을 탐지할 수 있다.

[0082]

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 영상분석방법을 설명하기 위한 제어 흐름도이다. 도 5를 참조하여 본 실시예에 따른 영상분석방법을 정리하면 다음과 같다.

[0083]

우선, 영상분석장치(100)는 초분광 카메라(A)로부터 초분광 콘크리트 영상을 획득할 수 있다(S510).

[0084]

본 실시예에서 초분광 콘크리트 영상을 제공하는 초분광 카메라(A)는 영상분석장치(100)와 별개의 구성 요소로 설명되었지만, 초분광 카메라(A)는 영상분석장치(100)와 일체형으로 구비될 수도 있고 이 경우, 초분광 카메라(A)는 영상분석장치(100)에 포함되는 구성 요소가 될 수 있다.

[0085]

그런 후, RGB 영상 추출부(110)는 초분광 콘크리트 영상에서 RGB 콘크리트 영상을 추출할 수 있다(S520).

- [0086] RGB 콘크리트 영상은 백태의 개략적인 위치를 찾는데 사용되며, 초분광 콘크리트 영상은 백태의 크기를 정량화하는 데 사용될 수 있다.
- [0087] 딥러닝 모델 적용부(120)는 딥러닝 모델을 적용하여 RGB 콘크리트 영상에서 백태가 발생한 백태 영역을 추출할 수 있다(S530).
- [0088] 이 때, 딥러닝 모델 적용부(120)는 비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태와 손상 상태의 콘크리트 상태를 복수의 그룹으로 나누어 트레이닝할 수 있고, 이 때, 비정상 상태로 오인될 수 있는 콘크리트 상태의 그룹은 줄눈을 포함하는 비손상 콘크리트, 거미줄을 포함하는 비손상 콘크리트, 오염 물질을 포함하는 비손상 콘크리트, 구조물이 꺾인 비손상 콘크리트, 표면이 튀어 나온 콘크리트를 포함할 수 있고, 손상 상태의 콘크리트 상태의 그룹은 백태를 포함하는 콘크리트, 박리 및 균열을 포함하는 콘크리트, 박락을 포함하는 콘크리트를 포함할 수 있다. 이와 같이 콘크리트 상태에 대한 상세한 그룹화 및 그룹의 트레이닝을 통하여 콘크리트와 손상된 콘크리트를 신속하고 정확하게 분별하고 백태 영역을 추출할 수 있다.
- [0089] 이 때 딥러닝 모델 적용부(120)는 영상 분석용으로 정렬된 나선신경망의 가중치에서 학습을 재시작하는 전이학습을 이용하여 백태 영역을 추출할 수 있다.
- [0090] 그런 후, 초분광 영상 분석부(130)는 백태 영역에 해당하는 초분광 콘크리트 영상의 스펙트럼을 분석하여 백태 영역에 포함되어 있는 백태부를 정량화할 수 있다.
- [0091] 구체적으로 초분광 영상 분석부(130)는 백태부를 정량화하기 위하여 초분광 콘크리트 영상을 구성하는 각 픽셀의 스펙트럼으로부터 반사율을 획득하고(S540), 초분광 콘크리트 영상에서 스펙트럼의 반사율이 기설정된 임계값(예, 제1 임계값)보다 낮은 영역을 우선적으로 제거할 수 있다(S550).
- [0092] 스펙트럼의 반사율이 기설정된 임계값 보다 낮은 영역은 백태일 가능성이 낮은 어두운 콘크리트, 균열 등에 의한 빈 공간일 수 있다. 임계값은 도 4b에 도시된 바와 같이 정상 콘크리트의 반사율로 파악될 수 있는 값으로 설정될 수 있고, 0.4 - 0.5 범위 일 수 있다.
- [0093] 그런 후, 초분광 영상 분석부(130)는 기설정된 파장 대역에서 반사율의 기울기 변화량이 기설정된 임계값(예, 제2 임계값)보다 낮은 픽셀을 추출할 수 있다(S560).
- [0094] 기설정된 파장 대역은 예를 들어 500nm-600nm 으로 설정될 수 있고, 이 파장 대역에서 기울기 변화량이 임계값보다 낮은 픽셀은 손상된 콘크리트, 즉 백태부로 판단될 수 있다.
- [0095] 마지막으로, 초분광 영상 분석부(130)는 추출된 픽셀에 노이즈를 제거하기 위한 필터, 예를 들어 중앙값 필터(Median filter) 등을 이용하여 노이즈 픽셀을 제거하면(S570), 백태부에 해당하는 최종적인 픽셀을 추출할 수 있다. 추출된 픽셀의 개수를 카운트하여 백태부를 정량화할 수 있다.
- [0096] 본 발명의 다른 실시예에 따른 초분광 영상 분석부(130)는 초분광 콘크리트 영상을 구성하는 각 픽셀의 스펙트럼과 기준 스펙트럼에 SAM(Spectral Angle Mapper)을 적용하여 픽셀의 스펙트럼과 기준 스펙트럼의 각도가 기설정된 임계범위에 속하는 경우, 임계범위에 속하는 픽셀을 백태부로 판단할 수 있다. 도 6은 본 실시예에 따라 백태부 추출에 적용되는 SAM를 설명하기 위한 도면이다.
- [0097] SAM은 두 스펙트럼 사이의 유사성을 각도로 표현하여 스펙트럼을 분류하는 방법의 하나로, SAM은 스펙트럼을 벡터의 개수와 동일한 차원을 가지는 공간 내 벡터의 형태로 나타낸다.
- [0098] SAM은 초분광 영상 내의 단일 픽셀 또는 특정 픽셀 그룹이 하나의 특정 성분을 나타낼 수 있고, 스펙트럼 간의 유사성을 비교하여 동일한 성분을 찾을 수 있다고 가정한다. 테스트 스펙트럼(test spectrum)과 기준 스펙트럼(reference spectrum) 사이의 각도 (α)는 다음 수학적 식 2와 같이 기하 벡터로 정의된 두 스펙트럼의 내적의 아크코사인(\cos^{-1})으로부터 유도된다.

수학식 2

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{\vec{t} \cdot \vec{r}}{\|\vec{t}\| \cdot \|\vec{r}\|}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} t_i\right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^{nb} r_i\right)^{1/2}}\right)$$

- [0099]
- [0100] 수학식 2에서 t와 r은 각각 테스트 스펙트럼과 기준 스펙트럼을 나타내며, t_i와 r_i는 각 스펙트럼의 i번째 밴드 성분을 나타낸다. 2차원 평면에서 2개의 밴드(밴드 X 및 Y)를 갖는 스펙트럼에 SAM를 적용하면 도 6과 같이 나타낼 수 있다.
- [0101] 본 실시예에 따른 초분광 영상 분석부(130)는 콘크리트 표면을 촬영한 초분광 콘크리트영상에서 백태의 주성분인 탄산칼슘의 스펙트럼과 높은 유사도를 보이는 스펙트럼을 SAM을 사용하여 추출한다.
- [0102] 콘크리트 표면에서 탄산칼슘을 검출하여 백태를 검사하기 위해 초분광 영상 분석부(130)는 우선 먼저 USGS(United States Geological Survey) 스펙트럼 라이브러리 (USGS Spectral Library 2017)에서 탄산칼슘과 콘크리트의 스펙트럼을 조사한다. USGS 스펙트럼 라이브러리로부터 탄산칼슘을 포함하고 있지 않지만 탄산염 광물이자 탄산칼슘의 가장 안정한 형태인 방해석(Calcite)의 스펙트럼 데이터를 얻을 수 있다.
- [0104] 도 7a 및 도 7b는 본 실시예에 따라 백태부 추출에 이용되는 방해석 스펙트럼과 정상 콘크리트의 스펙트럼을 도시한 도면이다. 도시된 바와 같이, 방해석과 콘크리트의 스펙트럼은 반사율과 기울기에서 서로 다른 스펙트럼 특징을 나타내므로, 콘크리트 표면에서 방해석의 스펙트럼과 높은 유사도를 보이는 부분만을 백태로 간주하여 추출하는 것이 가능하다.
- [0105] 본 실시예에서는, SAM을 사용하여 제안된 접근법의 성능을 검증하기 위해 두 종류의 콘크리트 구조물에서 야외 실험을 실시하였다. 대상 구조물은 서울시립대에 위치한 건물의 외벽과 강원도 춘천에 소재한 교량인 등선교의 교각이다. 서울시립대학교 교내 건물 1층 콘크리트 벽에서 발견된 자연 발생 백태 2종을 초분광 카메라로 촬영하고, 등선교 교각에서 관찰된 매우 얇은 자연 백태와 천연 석회암(CaCO₃)으로 만들어진 석필을 사용하여 그린 인공 백태를 초분광 카메라로 촬영하였다. 탄산칼슘 스펙트럼과 유사도를 평가하여 백태를 탐지하는 본 실시예에 따른 영상분석방법의 타당성을 검토하기 위하여 인공백태를 실험에 포함시켰다.
- [0107] 도 8a 내지 도 8f는 본 발명의 다른 실시예에 따라 백태부를 추출하는 것을 설명하기 위한 콘크리트 영상이다.
- [0108] 도 8a는 초분광 콘크리트 영상에서 재구성된 RGB 콘크리트영상을 도시한 것으로, RGB 영상 추출부(110)는 초분광 콘크리트 영상에서 빨간색(690nm), 녹색(600nm) 및 파랑(520nm)의 스펙트럼 구성 요소를 가져와 초분광 영상과 동일한 크기 및 픽셀 해상도를 갖는 RGB 콘크리트 영상을 추출할 수 있다.
- [0109] 도 8b는 초분광 콘크리트 영상에서 추출한 백태 및 콘크리트 스펙트럼을 USGS 라이브러리의 방해석 기준 스펙트럼(탄산칼슘)과 비교한 그래프이다. 420-850nm의 범위에서 두 개의 탄산칼슘 스펙트럼(CO2004, HS4838)과 백태의 스펙트럼 예는 매우 유사하지만 콘크리트의 스펙트럼은 명확한 불일치를 보이고 있다.
- [0110] 도 8c는 방해석(CO2004)의 기준 스펙트럼과 각 픽셀의 스펙트럼에 SAM을 적용하여 얻어진 각도에 따른 색상을 도시한 영상이다. 2-4도 각도의 픽셀은 빨간색으로, 5-10도의 픽셀은 밝은 녹색으로, 11도 이상의 픽셀은 파란색으로 색으로 지정하였다. 도시된 바와 같이, 기준 스펙트럼에 대해 5도보다 작은 각도를 갖는 픽셀, 즉, 붉은 색에서부터 노란색 연두 및 녹색 계열은 전체 백태의 유사한 유사 형상을 나타내고 있다.
- [0111] 도 8d는 SAM을 적용할 때, 기준 스펙트럼과 각 픽셀의 스펙트럼 각도에 대한 임계값을 5로 설정했을 때 백태부로 탐지된 결과를 도시한 것이다. 도시된 바와 같이, 임계값을 5로 설정하였을 때 백태부로 추출된 부분은 도 8a의 RGB 콘크리트 영상과 유사한 형태를 보이고 있다.
- [0112] 보다 정확한 결과 분석을 위하여, 초분광 영상 분석부(130)는 SAM을 적용한 백태부 탐지 결과와 RGB 콘크리트

영상을 사용한 백태 탐지 결과를 비교하였다.

[0113] 도 8e는 RGB 콘크리트 영상을 이용하여 얻은 백태 탐지 결과를 나타낸 것으로 RGB 콘크리트 영상의 밝기에 대한 임계값을 달리하며 육안으로 관찰되는 백태와 가장 유사한 형상을 획득한 영상이다.

[0114] 도 8f는 백태부 탐지 결과와 RGB 콘크리트 영상을 사용한 백태 탐지 결과를 비교하기 위하여 이를 그래픽화한 것으로, True Positive, True Negative, False Positive 및 False Negative의 분포를 나타낸 것이다. True Positive는 흰색으로, True Negative는 검은색으로, False Positive는 붉은 색으로, False Negative는 노란 색으로 표시되었다. 도 8f에 도시된 바와 같이, 백태부는 True Positive를 나타내는 흰색으로 표시되고, False Negative를 나타내는 노란색 픽셀은 주로 경계에 있는 매우 얇은 백태를 따라 분포되며 False Positive를 나타내는 적색은 거의 검출되지 않는다. 이를 통해 매우 얇은 백태 및 부분적으로 착색된 백태를 제외한 범위에서 본 실시예가 제안하는 영상분석방법의 성능이 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

[0115] 한편, 아래 표 1은 네 가지 실험 케이스(시립대 교내-자연백태 1, 시립대 교내-자연백태 2, 등교선 P19-자연백태, 등교선 P19-인공백태)에서 각도 임계값을 5로 설정하였을 때 백태를 탐지한 결과의 정확도, 정밀도 및 재현율을 평가한 것이다.

표 1

실험 케이스	기준 스펙트럼 (USGS library)	정확도 (%)	정밀도 (%)	재현율 (%)	육안검사 모사 RGB 영상 밝기 임계값
시립대 교내-자연백태1	Calcite CO2004	90.6	98.4	64.6	90
	Calcite HS48.3B	92.6	98.2	72.6	
시립대 교내-자연백태2	Calcite CO2004	88.3	77.6	71.0	140
	Calcite HS48.3B	88.2	81.4	69.2	
등교선 P19-자연백태	Calcite CO2004	94.1	80.2	59.0	237
	Calcite HS48.3B	92.9	81.3	74.0	
등교선 P19-인공백태	Calcite CO2004	83.5	99.9	56.9	190
	Calcite HS48.3B	92.7	98.2	76.4	
평균		90.36	89.40	67.96	

[0116]

[0117] SAM을 이용하여 제안된 영상분석방법은 평균 90.36%의 정확도와 89.40%의 정밀도의 좋은 성능을 나타냈다. 한편, 본 실시예에 따른 영상분석방법은 57-77% 사이의 비교적 낮은 재현율을 나타내고 있는데, 그 원인은 RGB 콘크리트 영상을 사용한 백태 탐지 결과의 모호함에 따른 것으로 보인다. 재현율은 RGB 콘크리트 영상 백태 탐지 결과(도 8e)를 참값으로 간주함으로써 도출되는 결과이기 때문에 실제의 백태를 나타내는 참 값과 다소 차이를 보일 수 있는 RGB 콘크리트 영상에 대한 백태 탐지 결과에 따라 재현율의 평가가 달라질 수 있다.

[0118] 한편, 표 1과 같이 계산된 정확도, 정밀도 및 재현율은 픽셀 단위에서 얻어진 것으로, 실제 백태의 면적율은 조사단위 면적(예: 바닥판) 대비 백태의 외측경계 사각형의 면적의 비로 계산된다. 따라서, 발견된 백태의 형상이 유사할 경우, 백태의 면적을 역시 유사하게 나타나게 된다. 아래 표 2는 촬영한 초분광 콘크리트 영상에 대하여 계산한 면적율과 면적율 오차를 나타낸 것이다.

표 2

실험 케이스	조사단위 면적 (픽셀)	백태의 외측경계 사각형 면적(픽셀)		면적율(%)		면적율 오차(%)
		RGB 영상	초분광 영상	RGB 영상	초분광 영상	
시립대 교내-자연백태1	264	96	94	36.4	35.6	0.8
시립대 교내-자연백태2	107	68	64	64	60	4
등선교 P19-자연백태	106	42	42	39.62	39.62	0
등선교 P19-인공백태	121	99	98	81.8	80.9	0.9
평균	149.50	76.25	74.50	55.46	54.03	1.43

[0119]

[0120]

표 2에 제시된 조사 단위 면적은 백태의 외측 경계 사각형 면적과 평행을 이루는 선분을 가지며, 백태부를 촬영한 초분광 영상에 외접하는 사각형을 나타낸다. 본 실시예에서는 일반적인 조사 단위 면적(예: 바닥판)에 비하면 매우 좁은 범위의 조사 단위 면적이 설정되었으며 이는 보다 큰 면적율 오차의 요인이 될 수 있다. 이처럼, 다소 불리한 면적율 산정법에도 평균 1.43%의 면적율 오차를 나타내고 있으므로 본 실시예에 따른 초분광 콘크리트 영상 기반의 백태 탐지 기술이 실무에 적용 가능성이 높음을 보여준다.

[0121]

한편, SAM를 적용할 때의 각도 임계값은 특정 화학 물질에 따라 권장되는 값이 없으므로 영상분석방법에 가장 적합한 임계값을 찾는 것이 중요하다. 본 실시예에서는 최상의 임계값을 도출하기 위해, 각도 임계값을 2에서 10도로 변경하며 각 실험 사례의 정확도, 정밀도 및 재현율을 측정하였다.

[0122]

도 9a 내지 도 9d는 본 발명의 다른 실시예에 따라 복수의 콘크리트 영상에서 백태부를 추출할 때 적용한 SAM의 임계각도에 따른 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision) 및 재현율(Recall)을 도시한 그래프로, 도 9a는 시립대 교내-자연백태 1, 도 9b는 시립대 교내-자연백태 2, 도 9c는 등선교 P19-자연백태, 도 9d는 등선교 P19-인공백태에 대한 그래프에 해당한다.

[0123]

최적화된 임계값은 백태가 형성된 밀도에 크게 영향을 받을 수 있다. 시립대 교내-자연백태 1과 등선교 P19-인공백태는 비교적 두꺼운 백태 영역을 가지고 있었으나, 시립대 교내-자연백태 2 및 등선교 P19-자연백태는 대부분 얇은 백태를 가지고 있었다. 도 9b 및 도 9c에 도시된 바와 같이, 시립대 교내-자연백태 2 및 등선교 P19-자연백태 그래프에서는 각도 임계값이 증가함에 따라 정밀도가 빠르게 감소한다. 반면, 도 9a 및 도 9d와 같이, 시립대 교내-자연백태 1과 등선교 P19-인공백태에서는 8도보다 작은 각도에서 정밀도가 높은 것으로 나타났다.

[0124]

이것은 제안된 영상분석방법이 밀도가 높게 형성된 백태부의 탐지에 높은 정확도를 보이고 있으며, 비교적 얇게 형성된 백태부의 경우, 참 값의 불확실성으로 인하여 임계값에 따른 정밀도와 재현율의 분포가 고르게 나타나지 않는 것을 암시하고 있다.

[0125]

표 1, 표 2 및 도 9의 그래프를 통하여 본 실시예에 따른 영상분석방법의 경우, 각도의 임계 범위를 5 정도, 또는 4-8 정도의 범위에서 신뢰할 수 있는 평가 결과를 얻을 수 있다. 초분광 영상 분석에 널리 사용되는 ENVI 소프트웨어는 특정 물질의 스펙트럼 일치율을 나타내는 지표로 0.08 rad(=4.6도) 이하의 일치율은 “좋은”으로 0.081 ~ 0.14 rad(=4.6~8.0도)의 일치율을 “양호함”으로 분류하고 있다. 다소 얇은 백태부에 대한 정확도가 낮은 수치를 보이고 있지만 임계 각도 5도는 백태의 “좋은” 일치율의 탐지 결과를 위한 각도 임계값이 될 수 있다. 보다 넓은 범위의 얇은 백태까지 탐지할 필요가 있을 때, 최대 8 도의 각도 임계값을 사용하면 양호한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

[0127]

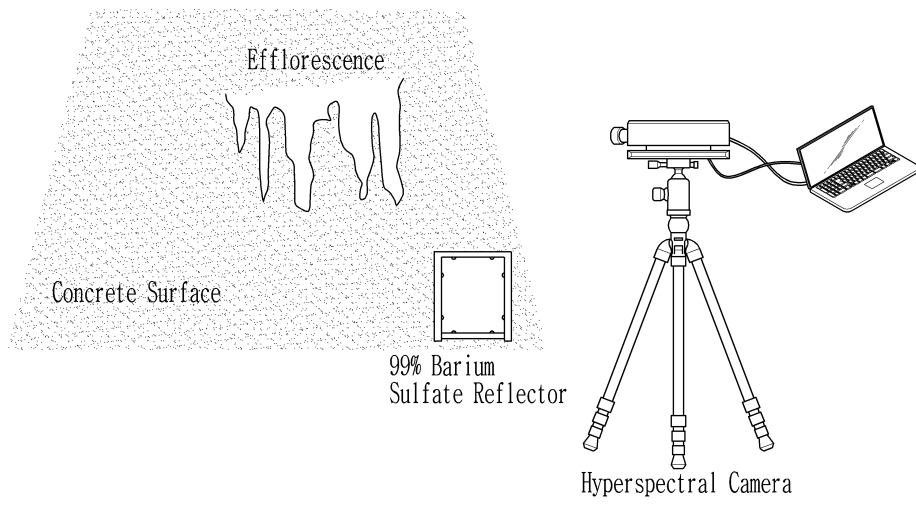
도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 영상분석방법을 설명하기 위한 제어흐름도이다. 도 10을 참조하여 본 실

시예에 따른 영상분석방법을 정리하면 다음과 같다.

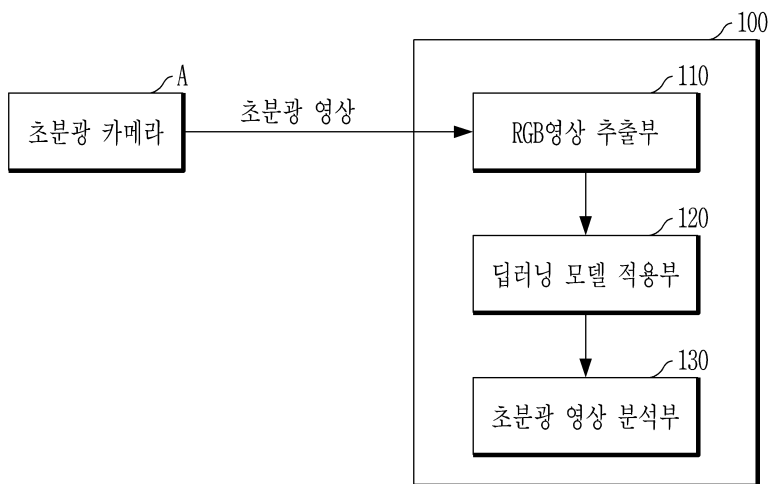
- [0128] 우선, 도 10에서 초분광 콘크리트 영상을 획득하는 단계(S1010), 초분광 콘크리트 영상에서 RGB 콘크리트 영상을 추출하는 단계(S1020), 및 딥러닝 모델을 적용하여 RGB 콘크리트 영상에서 백태가 발생한 백태 영역을 추출하는 단계(S1030)는 도 5에 설명된 내용과 대동 소이하니 중복된 설명은 생략한다.
- [0129] 딥러닝에 대해 백태 영역이 추출되면, 초분광 영상 분석부(130)는 초분광 콘크리트 영상을 구성하는 각 픽셀의 스펙트럼과 기준 스펙트럼에 SAM을 적용하여 상기 픽셀의 스펙트럼과 상기 기준 스펙트럼의 각도를 파악할 수 있다(S1040).
- [0130] 각도가 파악되면, 초분광 영상 분석부(130)는 픽셀의 스펙트럼과 기준 스펙트럼의 각도가 기설정된 임계범위에 속하는지 여부를 판단할 수 있다(S1050).
- [0131] 판단 결과, 픽셀의 스펙트럼과 기준 스펙트럼의 각도가 임계범위에 속하면 임계범위에 속하는 픽셀을 백태부로 판단하고(S1060), 픽셀의 스펙트럼과 기준 스펙트럼의 각도가 임계범위를 벗어나면 정상 콘크리트의 픽셀로 판단할 수 있다(S1070).
- [0132] 백태부로 판단된 픽셀수를 카운트하여 백태부를 정량화 하고, 이를 기반으로 하여 정확도, 정밀도 및 재현율을 평가할 수 있다.
- [0133] 이와 같이, 본 발명에 따르면 하나의 콘크리트 구조물에 대해 촬영한 전체 영상으로부터 딥러닝 모델을 기반으로 백태가 발생한 부위의 영상만을 우선 추출하고, 추출된 부위로부터 백태부를 정량화하는 영상분석방법이 제공된다. 딥러닝 모델의 적용으로 백태의 탐지를 빠르게 수행할 수 있으며 이미 탐지된 백태의 주변부만을 이용하여 정량화를 수행함으로써 판단의 정확도를 증가시킬 수 있다.
- [0135] 도 11은 본 발명의 실시예에 따른, 컴퓨팅 장치를 나타내는 도면이다. 도 11의 컴퓨팅 장치(TN100)는 본 명세서에서 기술된 장치(예, 영상분석장치 등) 일 수 있다.
- [0136] 도 11의 실시예에서, 컴퓨팅 장치(TN100)는 적어도 하나의 프로세서(TN110), 송수신 장치(TN120), 및 메모리(TN130)를 포함할 수 있다. 또한, 컴퓨팅 장치(TN100)는 저장 장치(TN140), 입력 인터페이스 장치(TN150), 출력 인터페이스 장치(TN160) 등을 더 포함할 수 있다. 컴퓨팅 장치(TN100)에 포함된 구성 요소들은 버스(bus)(TN170)에 의해 연결되어 서로 통신을 수행할 수 있다.
- [0137] 프로세서(TN110)는 메모리(TN130) 및 저장 장치(TN140) 중에서 적어도 하나에 저장된 프로그램 명령(program command)을 실행할 수 있다. 프로세서(TN110)는 중앙 처리 장치(CPU: central processing unit), 그래픽 처리 장치(GPU: graphics processing unit), 또는 본 발명의 실시예에 따른 방법들이 수행되는 전용의 프로세서를 의미할 수 있다. 프로세서(TN110)는 본 발명의 실시예와 관련하여 기술된 절차, 기능, 및 방법 등을 구현하도록 구성될 수 있다. 프로세서(TN110)는 컴퓨팅 장치(TN100)의 각 구성 요소를 제어할 수 있다.
- [0138] 메모리(TN130) 및 저장 장치(TN140) 각각은 프로세서(TN110)의 동작과 관련된 다양한 정보를 저장할 수 있다. 메모리(TN130) 및 저장 장치(TN140) 각각은 휘발성 저장 매체 및 비휘발성 저장 매체 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다. 예를 들어, 메모리(TN130)는 읽기 전용 메모리(ROM: read only memory) 및 랜덤 액세스 메모리(RAM: random access memory) 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다.
- [0139] 송수신 장치(TN120)는 유선 신호 또는 무선 신호를 송신 또는 수신할 수 있다. 송수신 장치(TN120)는 네트워크에 연결되어 통신을 수행할 수 있다.
- [0141] 한편, 본 발명의 실시예는 지금까지 설명한 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 기능을 실현하는 프로그램 또는 그 프로그램이 기록된 기록 매체를 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 상술한 실시예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 기술자라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.
- [0143] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 통상의 기술자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

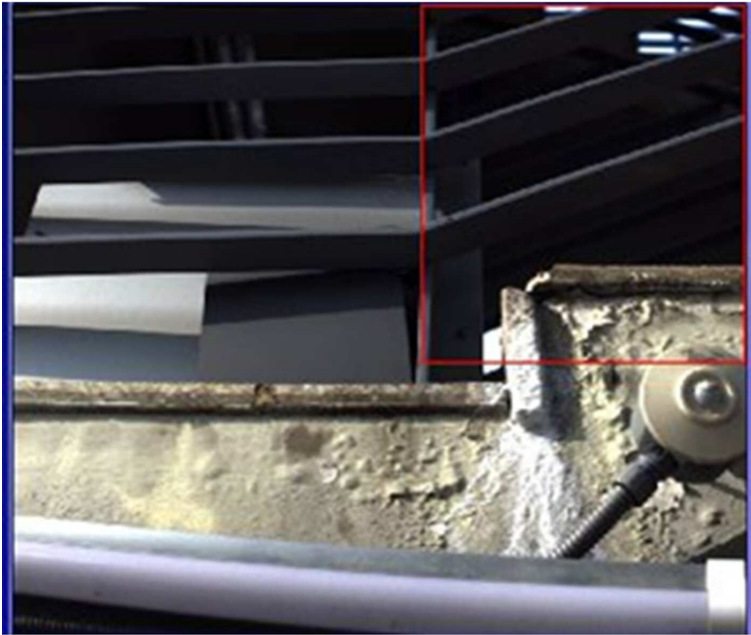
도면1



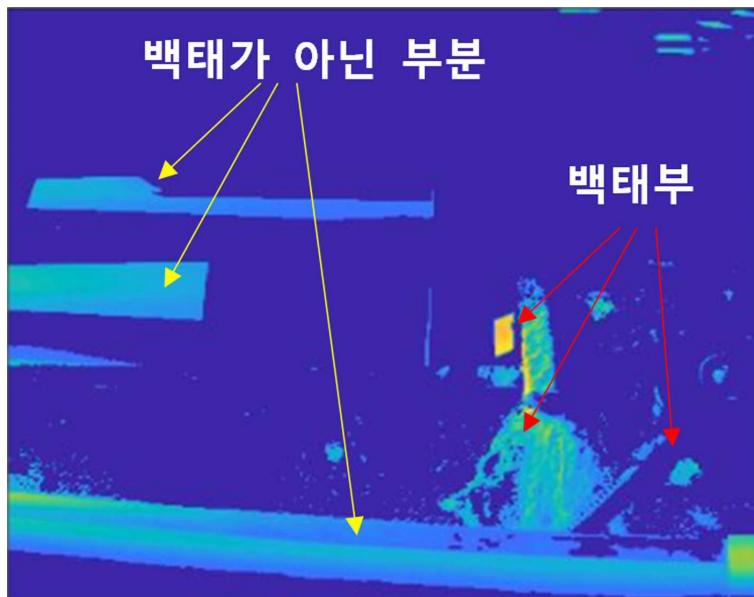
도면2



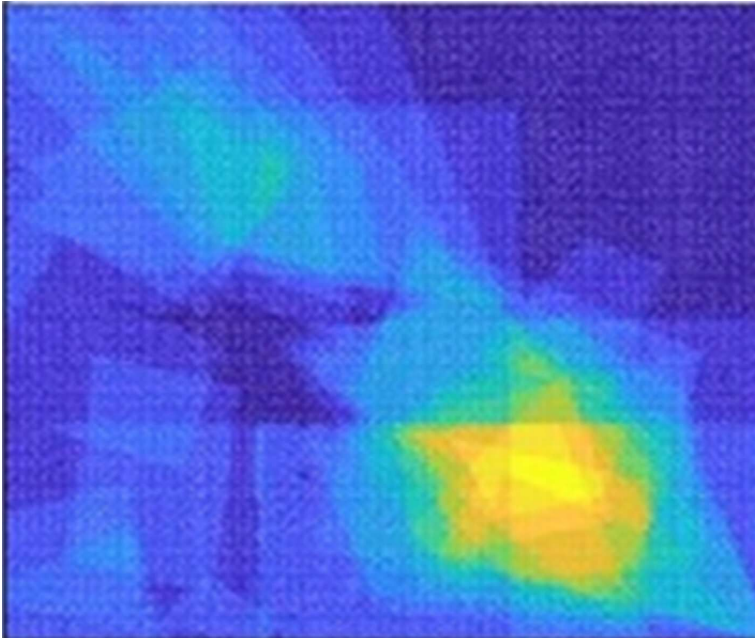
도면3a



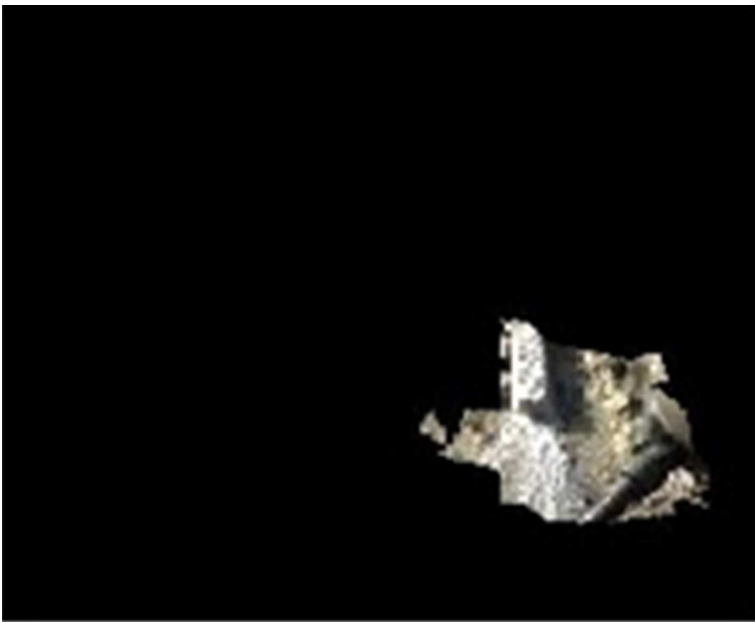
도면3b



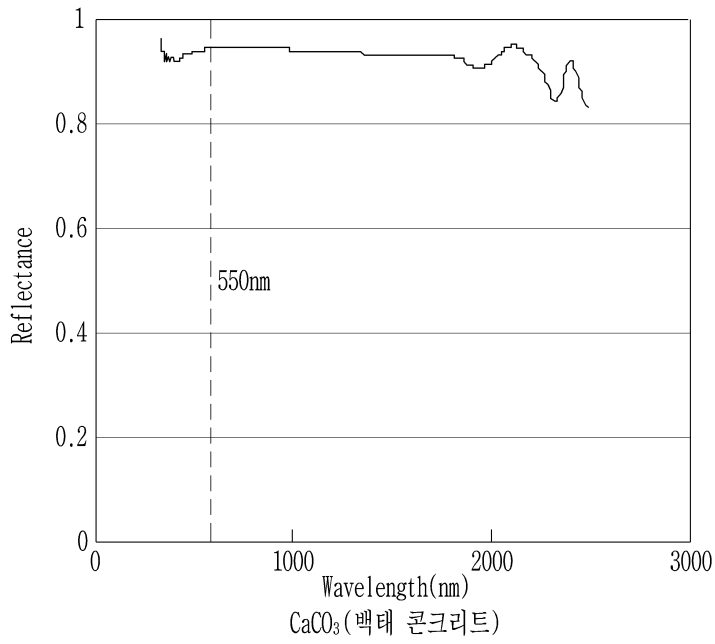
도면3c



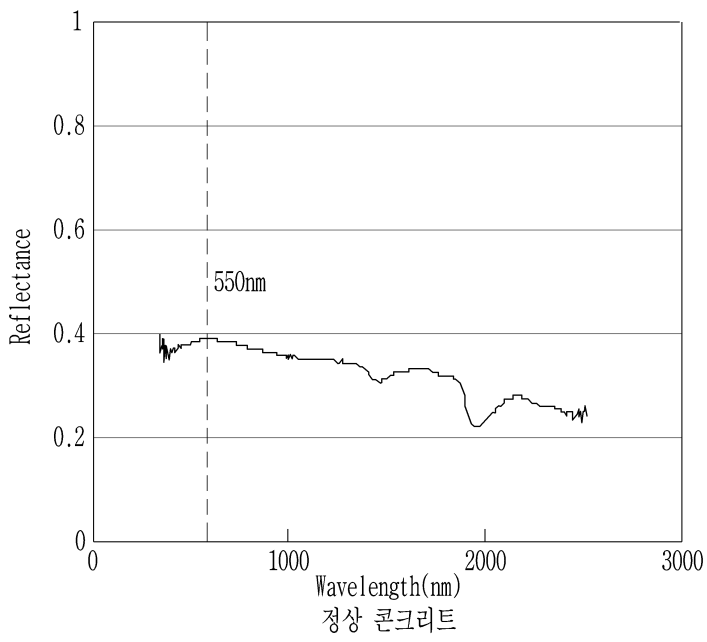
도면3d



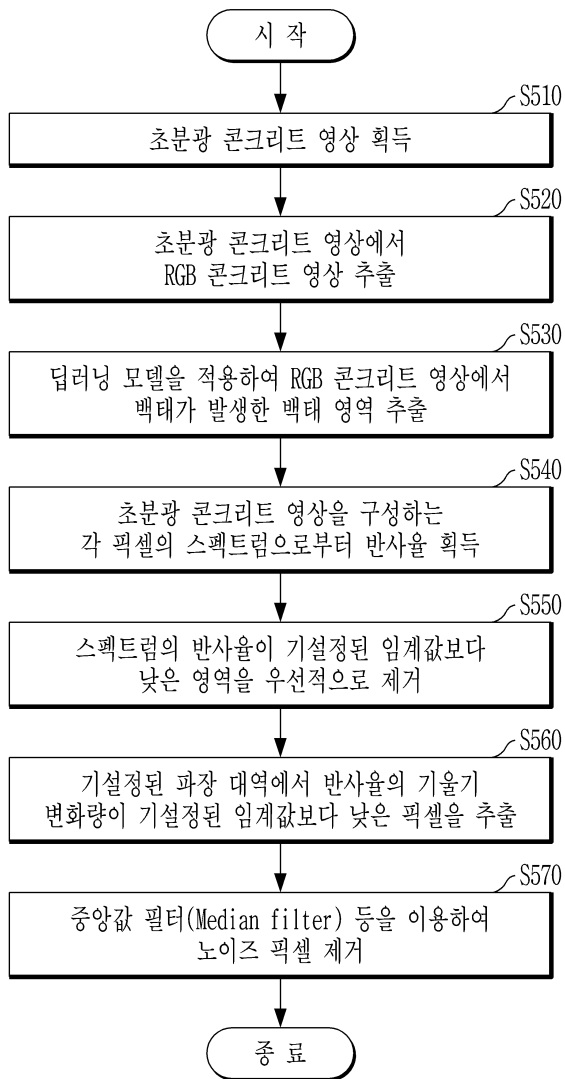
도면4a



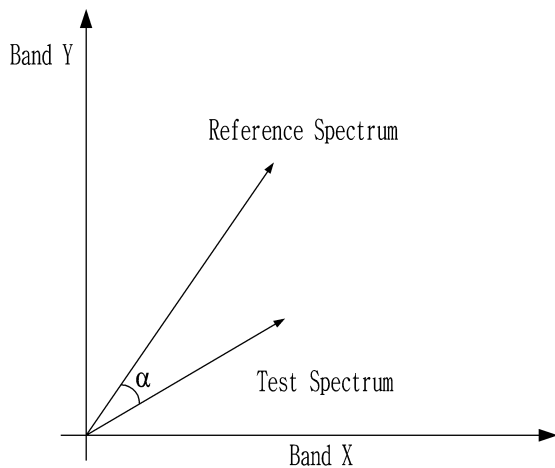
도면4b



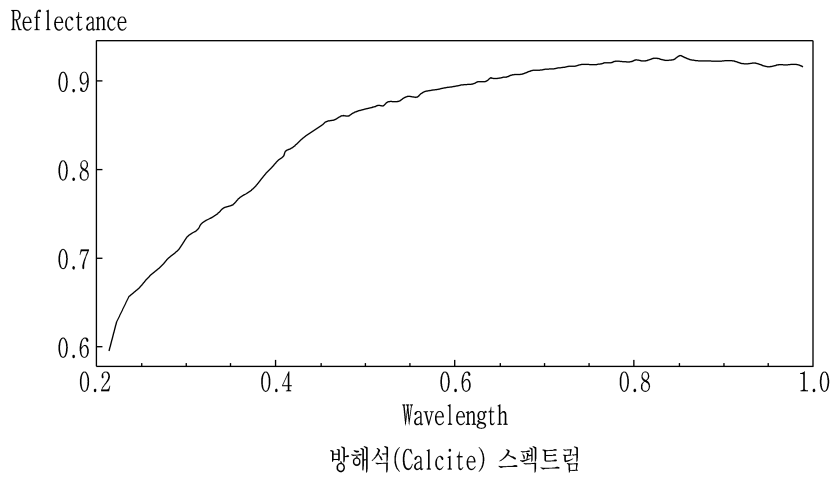
도면5



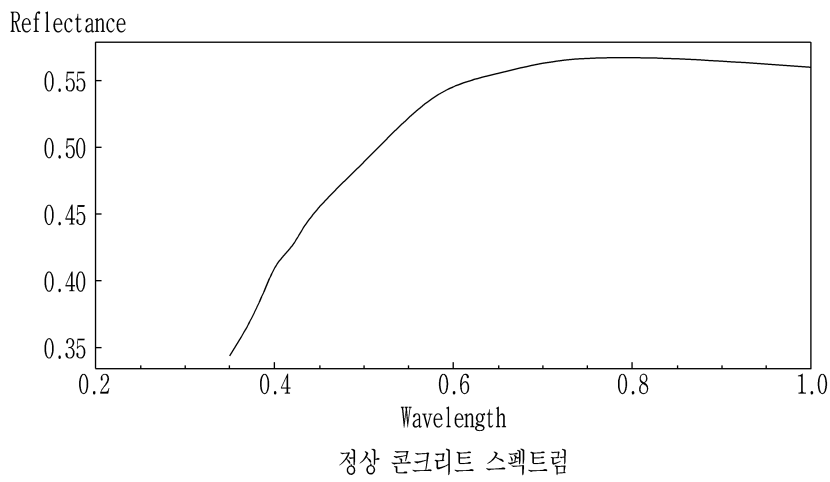
도면6



도면7a



도면7b

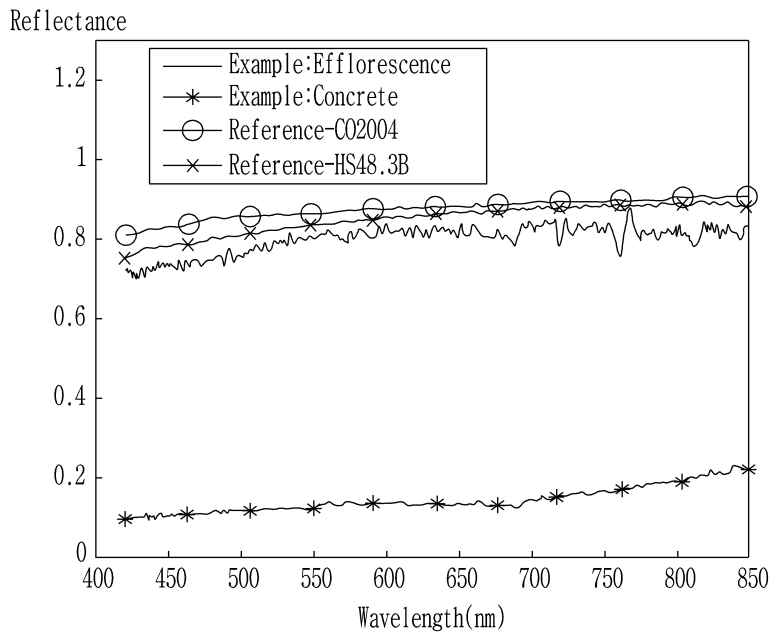


도면8a



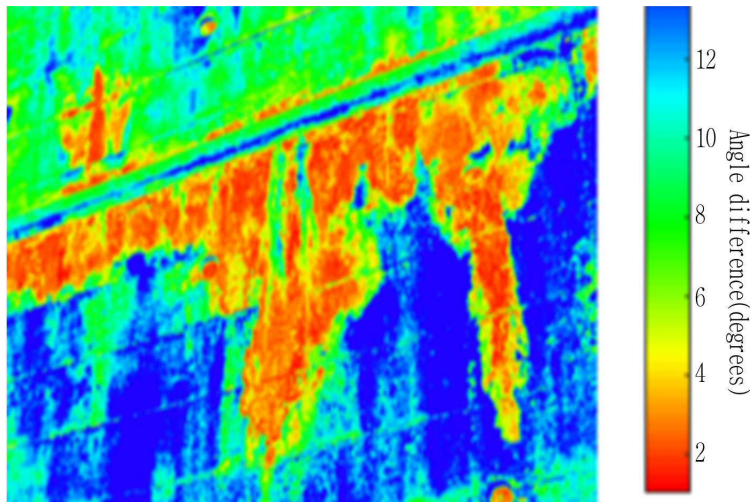
초분광 콘크리트 영상에서 재구성된 RGB 영상

도면8b



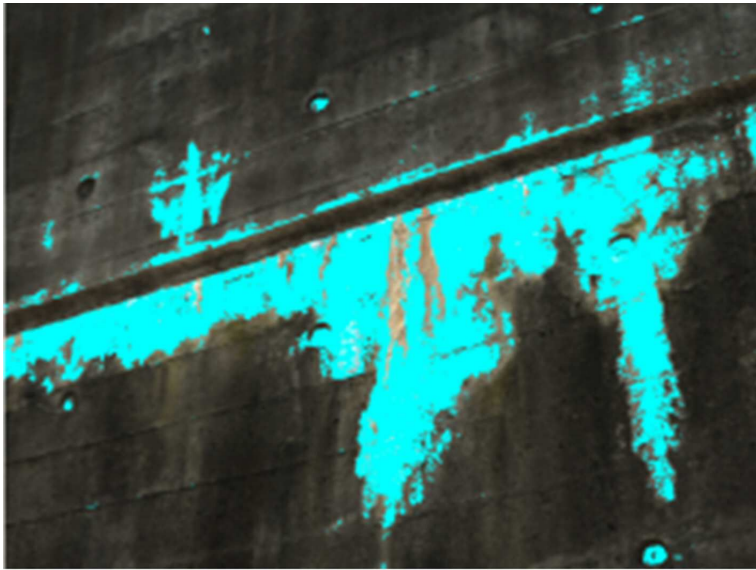
백태, 콘크리트 및 방해석 스펙트럼

도면8c



SAM에 따른 스펙트럼의 각도

도면8d



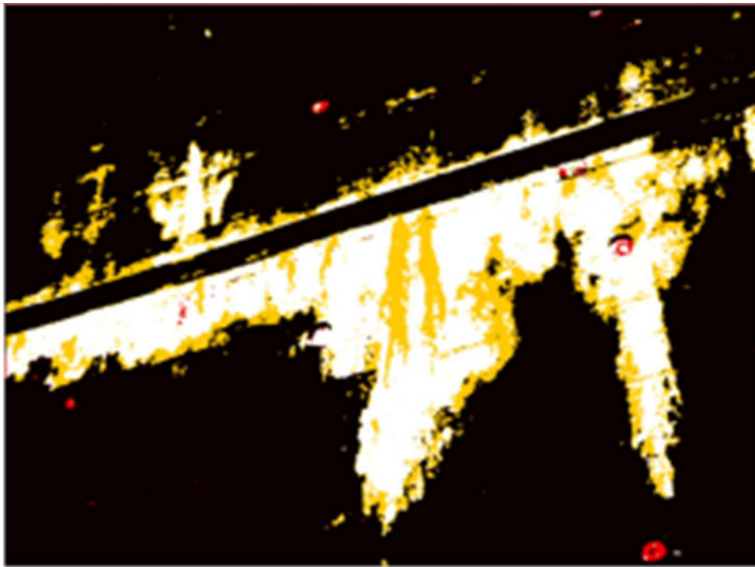
백태탐지 결과-임계값 각도 5

도면8e



RGB 콘크리트 영상 백태 탐지 결과

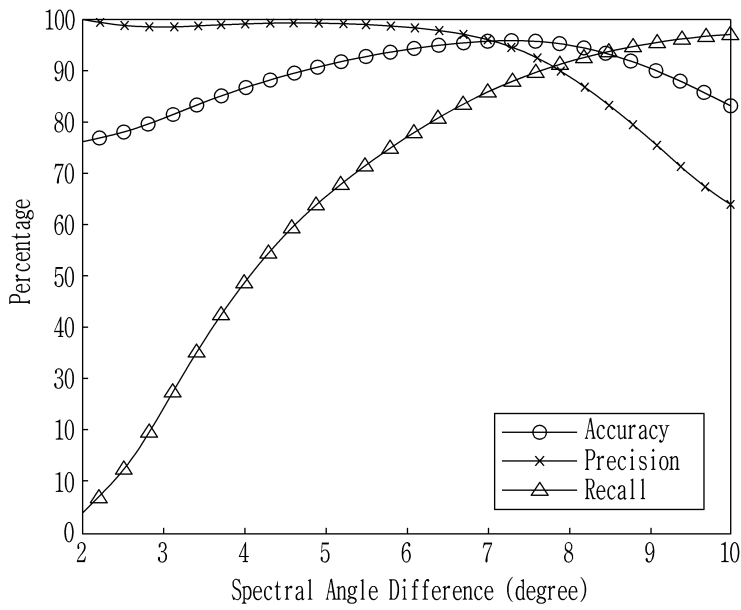
도면8f



True positive
 False positive
 False Negative
 True Negative

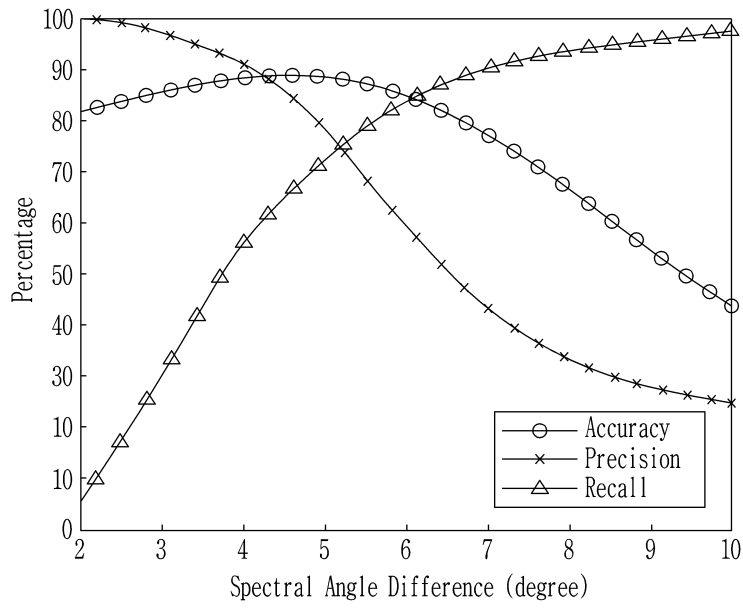
백태 탐지 결과의 성능 그래픽화

도면9a



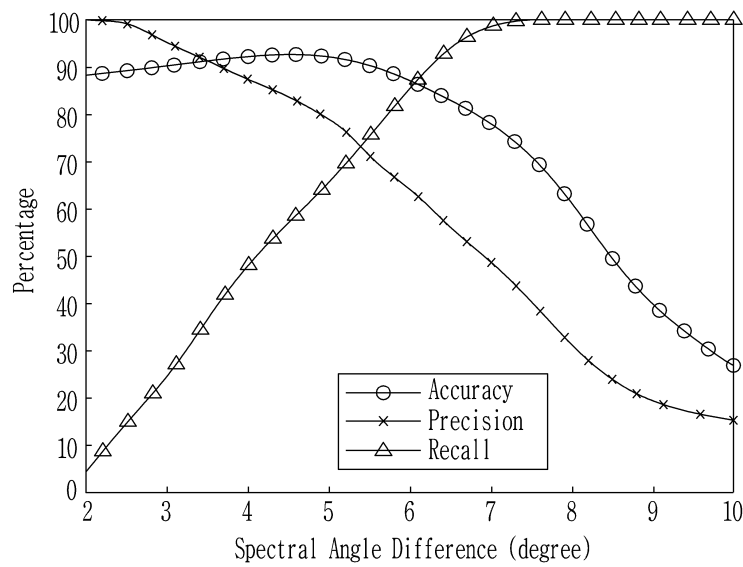
시립대 교내-자연백태 1

도면9b



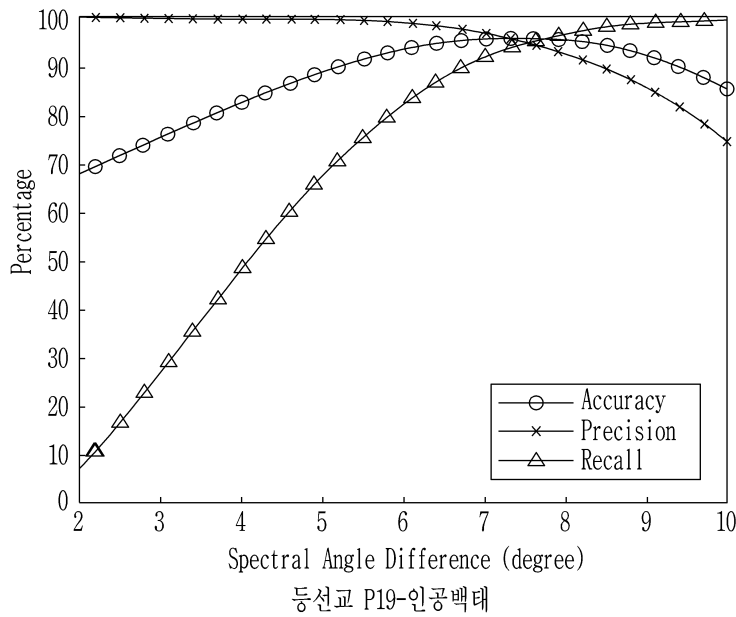
시립대 교내-자연백태 2

도면9c

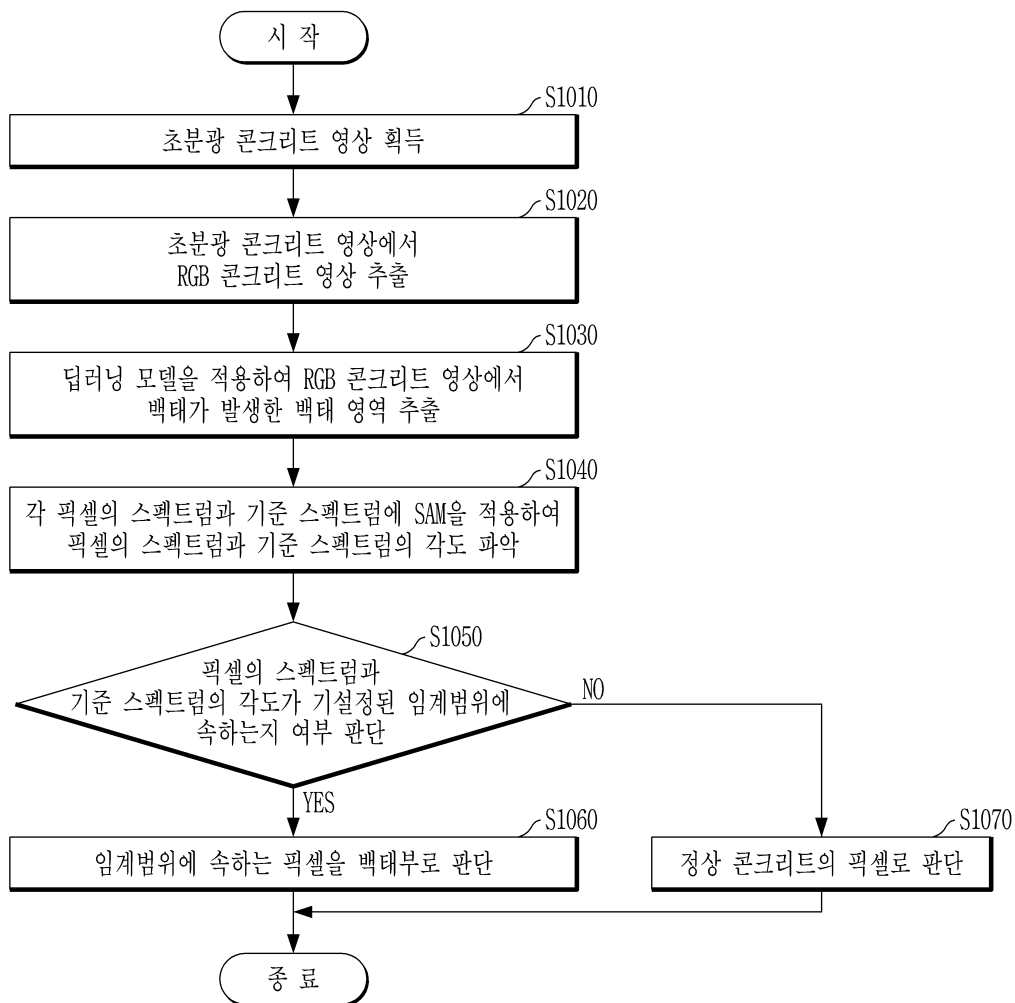


등선교 P19-자연백태

도면9d



도면10



도면11

