

제방 균열의 분광정보 및 반사율 특성에 관한 연구

김종태^{1*}, 이창훈¹, 강준구²

¹자연과기술, ²한국건설기술연구원 국토보전연구본부

A Study on the Spectral Information and Reflectance Characteristic of Levee Crack

Jong-Tae Kim^{1*}, Chang-Hun Lee¹, Joon-Gu Kang²

¹Nature and Technology Inc.

²Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of
Civil Engineering and Building Technology

요약 본 연구는 제방 균열의 탐지를 위해 드론 기반의 초분광 영상을 활용하여 균열의 분광정보 및 반사율을 분석하는 것이 목적이다. 초분광 센서는 드론에 탑재된 Nano-Hyperspec을 사용하였으며 안동댐 하류 제방 균열을 대상으로 조도별 초분광 영상을 촬영하였다. 조도와 최대강도에 대한 분석 결과 상관관계를 보였으며 비균열 영역과 균열 영역의 결정계수는 각각 0.9864, 0.9851로 계산되었다. 각 영역별 같은 포인트의 반사율은 조도에 상관없이 유사한 값과 패턴을 보였으며 반사율 계산 시 기준이 되는 백색판이 조도에 따라 변하기 때문인 것으로 판단된다. 균열 영역에서 반사율은 비균열 영역에 비해 가시광선에서는 5.65%, 근적외선에서는 4.58% 낮게 나타났다. 향후 드론 촬영을 위한 짐벌 방향과 카메라 각도 등이 보정되면 좀더 정확한 균열 탐지가 가능하며 특히 초분광 영상은 일반 RGB 영상으로 확인이 어려운 균열 심도, 점토광물 종류 등에 대한 탐지가 가능하기 때문에 제방 안정성 평가를 위한 선제적 대응방법이 될 것으로 판단된다.

Abstract This study examined the spectral information and reflectance of cracks of an embankment with drone-based hyperspectral imagery for crack detection. A Nano-Hyperspec mounted on a drone was used as a sensor, and hyperspectral videos of different intensities of illumination of the cracks on the embankment located in the downstream of Andong-Dam were obtained. An analysis of the data value of the illumination and peak data-value, the coefficients of determination were calculated to be 0.9864 of the uncracked areas and 0.9851 of the cracked area. The reflectance of each area showed a similar value and pattern, regardless of the intensity of illumination. This result may have occurred because the reference values of the white reference as the calculation criteria of reflectance varied according to the intensity of illumination. The reflectance at the cracked area was 5.65% lower in visible light and 4.58% lower in near-infrared light than that at the uncracked area. The detection of cracks may offer more precise results in further studies when the gimbal direction and camera angles of the drone are calibrated. Because hyperspectral imagery enables the detection of crack depths and types of clay minerals, which are difficult to identify in general RGB imagery, it can serve as a preemptive measure for evaluating the embankment stability.

Keywords : Cracked Area, Drone, Hyperspectral Imagery, Illumination, Reflectance

본 논문은 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(20AWMP-B121100-05)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Jong-Tae Kim(Nature and Technology Inc.)

email: kjtt98@naver.com

Received June 25, 2020

Accepted September 4, 2020

Revised July 21, 2020

Published September 30, 2020

1. 서론

제방 사면 내 균열은 기후변화에 따른 강수량 증가 뿐만 아니라 제체의 노후화 등으로 인해 급격하게 증가하고 있으며 안정성 확보를 위한 해결방안의 요구사항도 지속적으로 높아지고 있다. 그러나 하천과 저수지 제방은 모니터링이나 공학적 평가 없이 자연상태의 하도를 따라 오래전부터 주변 재료를 사용하여 축조되었으며 재해발생 시 보강하는 방식으로 현재의 형태를 갖추고 있는 것이 대부분이다[1]. 또한 균열 등 이상징후 발생 시 육안으로 관찰해야 하기 때문에 먼 단위 측정 및 분석이 어려운 현실이다.

이를 위해 최근 드론(drone)을 활용한 연구가 수행되고 있지만 일반 RGB 영상의 경우 건물이나 도로 등 장애물이 없을 경우만 영상 확보와 분석이 용이하며, 제체 균열의 경우 식물과 표토 내 유기물 등 다양한 물질로 인해 정확한 탐지가 어려울 수 있다.

초분광 영상은 균열 등 목표 대상물의 분광정보를 구체적으로 표현하기 때문에 기존 다중분광 (multispectral) 영상에 비해 세밀한 분석이 가능하다[2, 3]. 또한 드론을 활용한 안전 점검은 기존 인력의 한계에서 벗어나 접근이 어려워 육안 점검이 불가능한 지형의 안전 점검을 효과적으로 수행할 수 있는 가장 효율적인 대안으로 대두되고 있다[4].

최근 건축물 등 구조물 노후화에 따른 콘크리트 안전 진단은 활발히 진행되고 있으며 인력에 의한 균열점검 현장조사에 대한 대안으로 자동화 균열점검 기법에 대한 연구가 수행되고 있다. Kim et al.[5]은 콘크리트 구조물 균열탐지를 위한 레이저 영상분석에 대해 연구하였으며 3차원 균열정보획득기법을 개발하였다. Kim[6]은 DSLR 카메라를 이용하여 6,000 × 4,000 해상도의 콘크리트 영상에 탐색을 통해 균열 후보를 검출하고 임계값을 이용하여 균열 부분과 배경 부분을 나눈 후 잡음을 제거하는 방식으로 균열을 추출하였다.

Cho et al.[7]은 영상획득 시 조도와 촬영 거리에 따른 균열 폭에 대한 연구를 수행하였으며 영상기반 균열 감지 시 카메라 위치 및 조도 변화를 고려한 운영의 필요성을 제시하였다. Kang et al.[8]은 초분광 영상과 하천 수심의 상관관계를 통해 수심을 예측하는 연구를 수행하였으며 Lim et al.[9]은 근적외선(NIR) 영역대에서 변화되는 함수비 별로 모래, 화강풍화토, 카올리나이트(kaolinite)를 초분광 카메라로 촬영하여 반사율을 추출하였고, 흙의 함수비와 가장 연관성 높은 매개변수를 찾

기 위하여 선정된 매개변수와 함수비를 변수로 하여 함수비 예측모델을 구축하였다.

국외에서는 드론과 이미지 분석기법을 활용한 외관 점검 기술이 수행되었다. Nieniewski[10]은 균열을 감지할 수 있는 자동 검사 시스템을 개발하였으며 균열 추출을 위한 영상분석을 제안하였다. Chen et al.[11]은 카메라 촬영에 의한 균열영상 획득 및 영상분석에 의한 균열도를 작성하였으며 Su[12]는 디지털카메라로 촬영한 콘크리트 영상에서 그레이스케일(GRAYSCALE)로 색을 바꾼 후 이미지 잡음을 제거하는 방식으로 균열부분과 비균열 부분을 구분하였다. Nishikawa[13]는 Genetic programming을 사용하여 균열을 탐지하는 이미지 필터를 만들었으며 입력되는 이미지의 해상도, 평균밝기, 표준 편차에 따라 잡음을 제거한 후 구분을 하였다. 또한 초분광 영상을 활용해 지표면에 대한 피복정도와 표적탐지를 위한 방법 연구도 발표되었다[14, 15, 16].

그러나 기존 균열 탐지에 관한 연구들은 RGB영상을 활용한 분석 및 알고리즘 개발이 대부분이다. 특히 콘크리트 등 건축물을 대상으로 적용이 되었으며 촬영의 어려움 등으로 외부 환경에 따른 보정과 영향에 대한 검증 및 평가 연구는 부족하다.

따라서 본 연구에서는 균열에 대한 탐지 및 모니터링을 위해 안동댐 하류 제방 균열을 대상으로 조도별 드론 기반의 초분광 영상을 획득하였다. 또한 영상분석 프로그램을 이용하여 균열과 비균열의 최대강도 등 분광정보를 분석하고 반사율을 비교하였다.

2. 연구방법

제체의 안전율을 감소시키는 원인 중 하나는 균열의 확장이다. 이런 이유로 균열에 대한 탐지 및 모니터링은 제방의 안정성을 확보하기 위해 매우 중요하다. 그러나 균열을 탐지하기 위한 현장조사는 환경조건에 따라 한계가 있다.


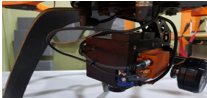
원격탐사의 경우 균열 탐지를 위해 광범위한 지역의 정보 수집과 활용이 가능하다. 특히 초분광 영상은 육안으로 관찰이 불가능한 다양한 재료의 정보를 확보할 수 있으며 드론 탑재가 가능해지면서 활용 영역이 넓어져 식생 등으로 구분이 어려운 균열에 대한 정확한 구별이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 균열 탐지를 위해 초분광 영상을 활용하여 균열(cracked area)과 비균열 영역(uncracked

area)에 대한 조도별 반사율 특성을 비교하고 균열 영역의 고유정보를 확인하는 것이 목적이다. 영상은 드론에 탑재된 초분광 센서를 활용하였으며 낙동강 하천제방 내 균열을 대상으로 촬영하였다. 측정은 각 영역별로 5개 포인트를 선정 후 조도 변화에 따라 촬영을 실시하였다. 또한 영상분석 프로그램을 이용하여 최대강도값(PDA, peak data value)을 산정하였으며 백색판(white reference)을 기준으로 각 영역에 대한 반사율을 보정하였다.

드론(독일 Aibotix의 Aibot X6, 2축 짐벌)에 탑재된 초분광 센서는 미국 Headwall Photonics사의 Nano-Hyperspec을 사용하였으며(Table 1) 영상분석은 Harris Geospatial Solutions사의 ENVI 5.5버전을 활용하였다.

Table 1. Specification of hyperspectral sensor and drone[17]

AibotX6 and Sensor	Specification of sensor	
	Wavelength range	400-1000 nm
	Spatial bands	640
	Spectral bands	270
	Lens	17mm, FOV15.9°
	Output	16 bit
	Gimbal	2 axis

드론을 이용한 영상자료 획득은 대기에 의한 흡수, 반사 등의 영향을 받기 때문에 보정이 필요하다. 그러나 현장의 낮은 고도에서 초분광 센서를 이용하여 분광정보를 획득할 경우에는 대기에서 발생하는 복사휘도나 재료에서 반사되는 에너지가 대기의 영향을 거의 받지 않기 때문에 본 연구에서는 대기보정을 고려하지 않았다[18]. 특히 본 연구에서는 균열 영역과 비균열 영역에 대한 비교를 목적으로 하고 지상에서 근접 촬영하였으므로 드론 흔들림과 대기의 영향을 거의 받지 않은 것으로 판단되어 기하보정을 고려하지 않았다.

또한 반사율은 99% 이상의 반사특성을 갖는 백색판을 이용하여 태양복사에너지의 변화에서 발생할 수 있는 오차를 최소화 하고 반사율로 변환시켰으며 영상분석을 통해 산정되는 강도값(data value)은 분광복사량 (radiance) 값을 의미한다.

Table 2는 CASE 및 측정 포인트 구분을 위한 표를 나타낸다. 영역은 균열과 비균열로 구분하였으며 CASE는 조도에 따라 구분하였다. 측정 포인트는 영역별 동일한 지점 5개에 대해 조도별로 촬영 후 강도값과 최대강

도를 분석하였다.

Table 2. Classification of detection point

Area	Illumination	CASE	Point No.
Uncracked area	98,447	1	U1-1 ~ U1-5
	67,545	2	U2-1 ~ U2-5
	28,315	3	U3-1 ~ U3-5
Cracked area	98,447	1	C1-1 ~ C1-5
	67,545	2	C2-1 ~ C2-5
	28,315	3	C3-1 ~ C3-5

3. 초분광 영상 및 반사율 분석

비균열 영역과 균열 영역을 대상으로 조도에 따른 최대강도값의 변화를 분석하기 위해 먼저 5개 포인트에 대한 강도값을 분석하였다. Fig. 1 ~ Fig. 3은 5개 포인트에 대한 파장별 강도값을 나타낸다.

3.1 조도에 따른 최대강도 비교

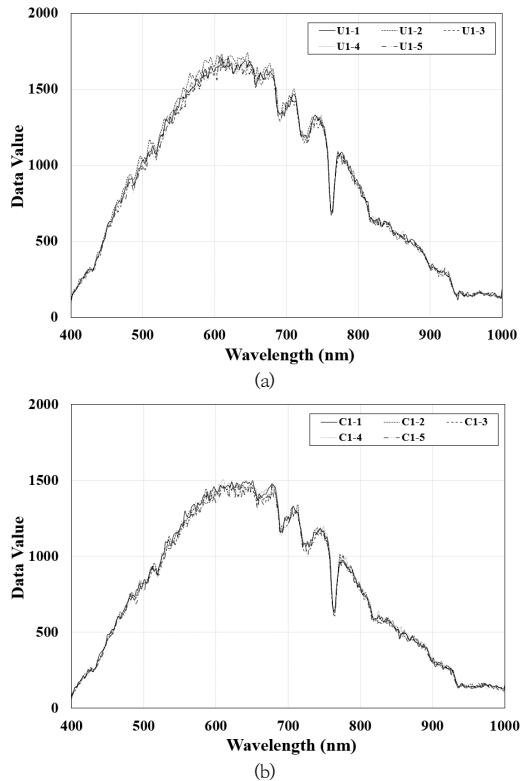


Fig. 1. Data value on uncracked area and cracked area at CASE 1
(a) uncracked area (b) cracked area

Fig. 1은 CASE 1(조도 98,447 lx)에 대한 파장 대비 강도값으로써 각 영역별 5개 포인트는 가시광선 영역의 특징에 따라 비슷한 패턴을 보였다. 비균열 영역의 최대 강도는 U1-2의 1739이며 각 포인트별 최대강도의 범위는 1703 ~ 1739(밴드범위 : 94 ~ 112), 균열 영역에서 최대강도는 1505(C1-4)이며 범위는 1464 ~ 1505(밴드 범위 : 96 ~ 114)로 나타났다. Table 3은 CASE 1의 각 포인트별 최대강도, 최대강도 시 파장과 밴드를 나타낸다.

Table 3. Peak data value on detecting point at CASE 1

CASE 1	P.D.V.	Wavelength on PDV	Band on PDV
U1-1	1708	619.43	100
U1-2	1739	646.25	112
U1-3	1712	608.26	95
U1-4	1715	608.26	95
U1-5	1703	606.03	94
C1-1	1496	650.71	114
C1-2	1479	621.67	101
C1-3	1464	619.43	100
C1-4	1505	610.49	96
C1-5	1475	646.25	112

Fig. 2는 CASE 2(조도 67,545 lx)에 대한 파장대비 강도값으로써 각 영역별 5개 포인트는 가시광선 영역의 특징에 따라 비슷한 패턴을 보였다. 비균열 영역의 최대 강도는 U2-3의 1137이며 최대강도의 범위는 1102 ~ 1137(밴드범위 : 94 ~ 112), 균열 영역에서 최대강도는 981(C2-1), 최대강도의 범위는 923 ~ 981(밴드범위 : 106 ~ 126)로 나타났다. Table 4는 CASE 2의 각 포인트별 최대강도, 최대강도 시 파장과 밴드를 나타낸다.

Table 4. Peak data value on detecting point at CASE 2

CASE 2	P.D.V.	Wavelength on PDV	Band on PDV
U2-1	1136	610.49	96
U2-2	1104	646.25	112
U2-3	1137	606.03	94
U2-4	1106	606.03	94
U2-5	1102	610.49	96
C2-1	981	632.84	106
C2-2	946	677.53	126
C2-3	936	673.06	124
C2-4	923	650.71	122
C2-5	964	646.25	112

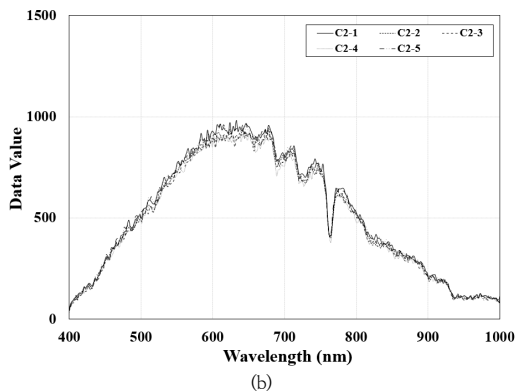
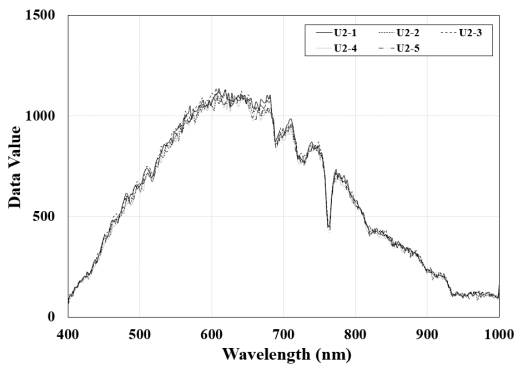


Fig. 2. Data value on uncracked area and cracked area at CASE 2
(a) uncracked area (b) cracked area

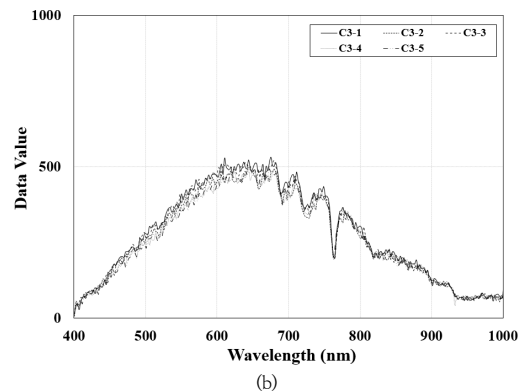
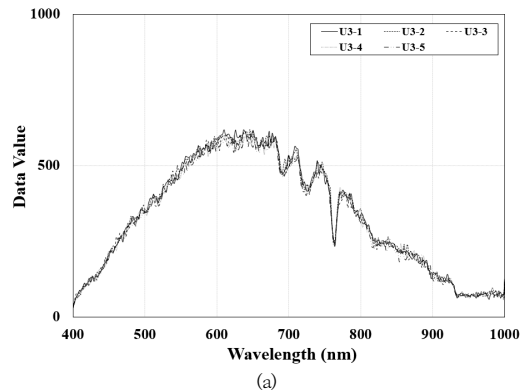


Fig. 3. Data value on uncracked area and cracked area at CASE 3
(a) uncracked area (b) cracked area

Fig. 3은 CASE 3(조도 28,315 lx)에 대한 파장대비 강도값으로써 각 영역별 5개 포인트는 가시광선 영역의 특징에 따라 비슷한 패턴을 보였다. 비균열 영역에서 최대강도는 U3-2의 619이며 각 포인트별 최대강도의 범위는 602 ~ 619(밴드범위 : 96 ~ 112), 균열 영역에서 최대강도는 532(C3-1)이며 최대강도의 범위는 493 ~ 532(밴드범위 : 111 ~ 127)로 나타났다. Table 5는 CASE 3의 각 포인트별 최대강도, 최대강도 시 파장과 밴드를 나타낸다. 전체 영역에 대해 최대강도가 확인된 파장의 범위는 606.03 nm ~ 679.76 nm로써 조도에 상관없이 일정 범위를 보이는 것으로 나타났다.

Table 5. Peak data value on detecting point at CASE 3

CASE 3	P.D.V.	Wavelength on PDV	Band on PDV
U3-1	618	610.49	96
U3-2	619	646.28	112
U3-3	614	639.54	109
U3-4	602	646.25	112
U3-5	604	646.25	112
C3-1	532	675.29	125
C3-2	498	644.01	111
C3-3	520	679.76	127
C3-4	495	679.76	127
C3-5	493	673.06	124

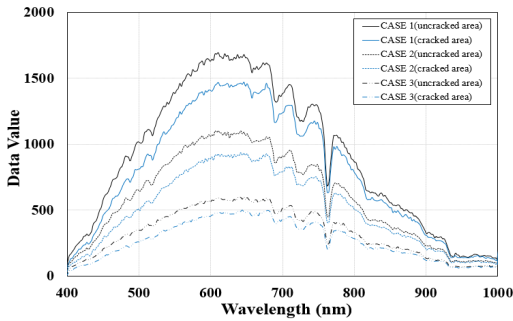


Fig. 4. Comparison on the Data value on uncracked area and cracked area

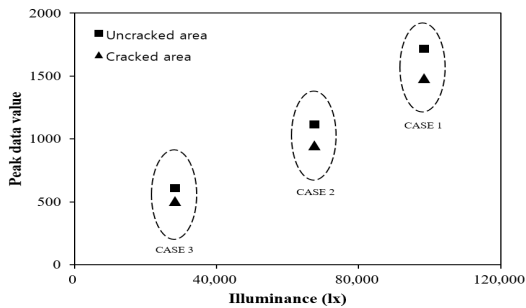


Fig. 5. Relationship of peak data value and illuminance on areas

Fig. 4는 각 영역별 평균 강도값을 CASE별로 비교한 그래프로써 가시광선의 파장에 따라 패턴은 비슷하게 나타났으나 강도값은 조도 및 균열 여부에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. Fig. 5는 각 CASE에 대한 5개 포인트의 평균 최대강도를 조도와 비교한 그래프이다. 조도와 최대강도의 비교 결과 조도가 높아질수록 최대강도값도 높아졌으며 비균열 영역과 균열 영역의 결정계수(R^2 , determination coefficient)는 각각 0.9864, 0.9851로 계산되었다. 모든 CASE에서 비균열 영역의 최대강도가 균열 영역보다 높게 나타났다. CASE 1에서는 비균열과 균열의 최대강도 차이는 231.6, CASE 2에서 차이는 167.0, CASE 3에서 차이는 103.8으로 조도가 높을수록 최대강도의 차이는 큰 것으로 나타났다.

3.2 조도에 따른 균열 및 비균열의 반사율 비교

조도에 대한 반사율 보정을 위해 백색판을 활용하였으며 그래프를 통해 비교하였다. 백색판은 균열 주변에 설치하였으며 반사율 계산은 Eq. (1)과 같이 기준이 되는 표준백색판에 해당되는 강도값(복사량)과 해당 영역(균열 및 비균열 영역)의 강도값(복사량)을 비교하여 반사율(R)을 계산하였다.

$$R = V_{target} / V_{reference} \quad (1)$$

Where, V_{target} denotes data value of target, $V_{reference}$ denotes data value of reference(white reference)

Fig. 6은 조도별 각 영역의 반사율을 나타내며 Fig. 7은 조도에 따른 반사율을 평균하여 각 영역별로 나타낸 그래프이다. 반사율 분석결과 비균열 영역과 균열 영역에서 차이가 있는 것으로 나타났으나 패턴은 비슷하게 나타났다.

반사율은 가시광선 파장 영역인 400 nm ~ 700 nm까지는 증가하였으며 근적외선 영역에서는 일정수준을 유지하다가 다시 증가하는 것으로 나타났다. Table 6은 각 영역과 파장에 대한 반사율을 나타낸 표이며 Fig. 8은 각 파장별 최대값, 최소값, 중앙값과 40%, 60%에 해당되는 값을 나타낸 그래프(box plot)이다. 본 연구에서는 가시광선과 근적외선으로 파장 영역을 나누고 가시광선은 청색광, 녹색광, 적색광으로 다시 구분하여 각 영역에 대한 고유정보를 비교하였다. 가시광선의 경우 각 파장별

(청색, 녹색, 적색광) 45개, 근적외선의 경우 134개의 분석 데이터(반사율 계산 데이터)를 활용하여 통계분석을 실시하였다. 분석결과 비균열 영역에서 가시광선 평균 반사율은 32.20%, 균열 영역의 가시광선은 26.55%이며 근적외선에서 비균열 영역은 반사율이 49.63%로써 균열 영역의 반사율(45.05)보다 높게 나타났다. 영역별 평균 반사율의 차이는 가시광선에서 5.65%, 근적외선에서는 4.58%로 나타났으며 표준편차(SD, standard deviation)는 가시광선에 비해 근적외선 파장에서 높게 나타났으며 반사율 범위가 넓기 때문인 것으로 판단된다.

Table 6. Average value of reflectance on areas

Area	Wavelength	Reflectance (%)				
		Min.	Max.	Average	S/D	
Uncracked area	BLUE (400 nm ~ 499 nm)	16.74	26.20	22.86	32.20	1.96
	GREEN (500 nm ~ 599 nm)	26.29	37.86	32.55		
	RED (600 nm ~ 699 nm)	38.33	44.02	41.18		
	NIR (700 nm ~ 999 nm)	43.78	61.54	49.63		
Cracked area	BLUE (400 nm ~ 499 nm)	5.72	20.36	17.50	26.55	3.40
	GREEN (500 nm ~ 599 nm)	20.60	31.91	26.64		
	RED (600 nm ~ 699 nm)	32.38	38.30	35.50		
	NIR (700 nm ~ 999 nm)	38.65	57.50	45.05		

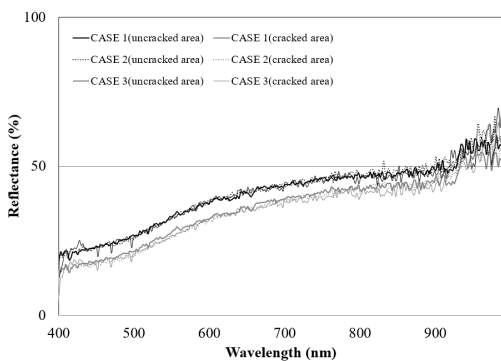


Fig. 6. Relationship of reflectance and wavelength on detecting point

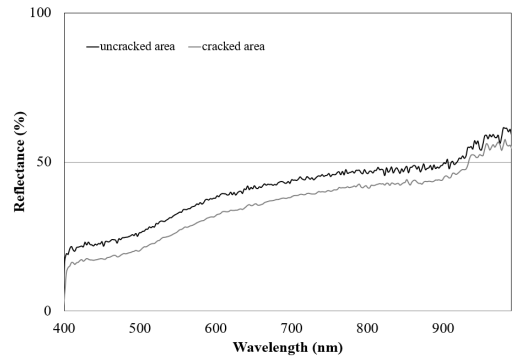


Fig. 7. Graph on the Reflectance of uncracked area and cracked area

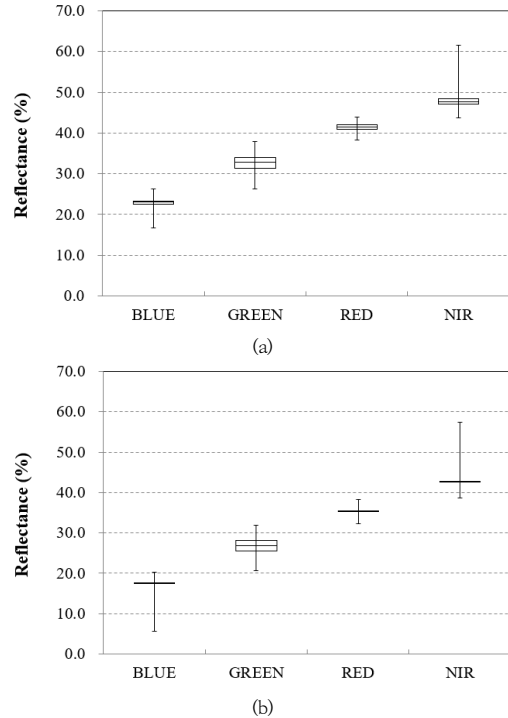


Fig. 8. Graph on the reflectance distribution of uncracked area and cracked area (a) uncracked area (b) cracked area

4. 결론

본 연구는 초분광 영상을 활용하여 균열과 비균열영역 5개 포인트에 대한 분광정보 및 조도별 반사율을 비교하고 균열 탐지를 위한 고유정보를 분석하는 것이 목적이다. 각 영역에 대한 비교 결과 조도에 따라 강도값의 차

이가 있었으며 조도의 증가에 따라 최대강도값도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 비균열 영역과 균열 영역의 최대강도가 나타난 파장 및 밴드의 범위는 유사하게 나타났다.

또한 반사율은 균열 영역과 비균열 영역의 범위 등 고유정보의 차이가 뚜렷하기 때문에 드론을 이용한 면단위 분석 시 육안으로 관찰이 어려운 균열에 대한 정확한 탐지가 가능할 것으로 판단한다.

향후 드론 촬영을 위한 3축 짐벌에 대한 시스템 개선과 카메라 각도 등이 보정되면 좀더 정확한 균열 분광특성 분석이 가능하며 균열에 대한 파장별 반사율의 데이터가 누적되면 균열로 인한 제방 붕괴의 선제적 대응을 위한 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

References

- [1] D. S. Chang, *Evaluation of levee stability using river bed sediments and weathered granite soils and development of its seepage stability charts*, Ph.D dissertation, The graduate school Kyunghee University, pp.1-3, 2007.
- [2] F. Van der Meer, "Bayesian inversion of imaging spectrometer data using a fuzzy geological outcrop model", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.24, pp.4301-4310, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0143116021000047929>
- [3] S. H. Kim, K. S. Lee, J. R. Ma, M. J. Kook, "Current status of hyperspectral remote sensing: principle, data processing techniques and applications", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.21, pp.341-369, 2015.
- [4] J. W. Kim, Y. W. Jung, H. C. Rhim, "Study on Structure Visual Inspection Technology using Drones and Image Analysis Techniques", *J. Korea Inst. Build. Constr.*, Vol.17, No.6, pp.545-557, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2017.17.6.545>
- [5] J. H. Kim, Y. S. Shin, K. W. Min, "Line Laser Image Processing for Automated Crack Detection of Concrete Structures", *J. Comput. Struct. Eng. Inst.*, Vol.31, No.3, pp.147-153, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7734/COSEIK.2018.31.3.147>
- [6] Y. K. Kim, "Development of Crack Recognition System for Concrete Structure Using Image Processing Method", *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol.14, No.10, pp.163-168, 2016.
- [7] H. W. Cho, H. J. Yoon, J. J. Park, "An Experimental study on Crack Recognition Characteristics of Concrete Structure based on Image Analysis according to Illuminance and Measurement Distance", *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol.14, No.1, pp.85-91, 2014.
- [8] J. G. Kang, C. H. Lee, H. K. Yeo, J. T. Kim, "Correlation analysis on the water depth and peak data value of hyperspectral imagery", *Ecology and Resilient Infrastructure*, Vol.6, No.3, pp.171-177, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.17820/eri.2019.6.3.171>
- [9] H. H. Lim, E. Cheon, D. H. Lee, J. S. Jeon, S. R. Lee, "Soil Water Content Measurement Technology Using Hyperspectral Visible and Near-Infrared Imaging Technique", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.35, No.11, pp.51-62, 2019.
DOI: <http://doi.org/10.7843/KGS.2019.35.11.51>
- [10] M. Nieniewski, "Morphological detection and feature-based classification of cracked regions in ferrites", *Machine Graphics & Vision*, Vol.8, No.4, pp.699-712, 1999.
- [11] L. Chen, Y. Shao, H. Jan, C. Huang, Y. Tien, "Measuring System for Cracks in Concrete using Multi temporal Images", *J. Surv. Eng.*, Vol.2, pp.77-82, 2006.
- [12] T. C. Su, "Application of Computer Vision to Crack Detection of Concrete Structure", *International Journal of Engineering and Technology*, Vol.5, No.4, pp.457-461, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7763/IJET.2014.V5.596>
- [13] T. Nishikawa, "Concrete crack detection by multiple sequential image ltering", *In Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.27, No.1, pp.29-47, 2012.
- [14] D. Mhanolakis, G. Shaw, "Detection algorithms for hyperspectral imaging applications", *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.35, pp.29-43, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/79.974724>
- [15] D. Mhanolakis, D. Marden, G. Shaw, "Hyperspectral image processing for automatic target detection applications", *Lincoln Laboratory Journal*, Vol.14, pp.79-116, 2003.
- [16] H. M. Dierssen, A. Chlus, B. Russell, "Hyperspectral discrimination of floating mats of sea grass wrack and the macroalgae Sargassum in coastal waters of Greater Florida Bay using airborne remote sensing", *Remote Sensing of Environment*, Vol.167, pp.247-258, 2015.
- [17] Y. J. Kim, H. J. Han, J. G. Kang, "The Study on Spatial Classification of Riverine Environment using UAV Hyperspectral Image", *Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society*, Vol.19, No.10, pp.633-639, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.10.633>
- [18] J. G. Kang, C. H. Lee, J. H. Kim, D. W. Ko, J. T. Kim, "An analysis of spectral characteristic information on the water level changes and bed materials", *Ecology and Resilient Infrastructure*, Vol.6, No.4, pp. 243-249, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.17820/eri.2019.6.4.243>

김 종 태(Jong-Tae Kim)

[정회원]



- 2009년 8월 : 안동대학교 지구환경과학과 (이학박사)
- 2017년 4월 ~ 2018년 4월 : 경북도청 자연재난과 주무관
- 2004년 9월 ~ 현재 : 안동대학교 지구환경과학과 겸임교수
- 2018년 5월 ~ 현재 : 주식회사 자연과기술 대표이사

<관심분야>

토목공학, 영상분석

이 창 훈(Chang-Hun Lee)

[정회원]



- 2010년 2월 : 상지대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2015년 10월 ~ 현재 : 주식회사 자연과기술 선임연구원

<관심분야>

토목공학, 환경공학

강 준 구(Joon-Gu Kang)

[정회원]



- 2002년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

하천환경, 토목공학