

드론을 이용한 보도블럭 탈락 탐지 가능성 연구

신정일
서울기술연구원 연구기획실

A Study for Possibility to Detect Missing Sidewalk Blocks using Drone

Jung-il Shin
Research Planning Department, Seoul Institute of Technology

요약 보도는 보행자의 안전하고 쾌적한 통행을 목표로 하는 시설로, 다양한 재질의 블럭으로 포장되어 있다. 현재 우리나라는 보도 포장상태에 대한 정량적인 조사 방법이 부재하여 효율적인 조사 방법의 개발이 필요한 실정이다. 최근 드론은 다양한 분야에서 효율적인 조사 도구로 활용되고 있으나, 보도의 포장상태를 조사한 사례는 제한적인 실정이다. 본 연구는 드론을 이용한 보도블럭 파손 탐지 방법 개발을 위한 초기 연구로써 보도블럭의 탈락에 국한하여 탐지 가능성을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 보도블럭을 인위적으로 제거하여 탈락 상황을 모의하였고, 드론을 이용하여 0.7 cm 해상도의 영상을 촬영하였다. 영상 전처리를 통해 획득된 포인트 클라우드 자료의 특성으로 보도블럭 탈락 부위에서 포인트들이 갖는 표고의 분산이 높게 나타났다. 이러한 특성을 이용하여 보도 영역에 해당하는 격자에 포함되는 포인트들의 표고에 대한 분산에 4가지 임계치를 적용하여 보도블럭 탈락 부위를 탐지하는 실험을 진행하였다. 그 결과 정탐지율 70-80 %, 누락오차 20-30 %, 추가오차 2 % 이하의 탐지정확도를 획득하여 보도블럭 탈락의 탐지 가능성이 높은 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 제한적인 환경에서 모의된 보도블럭 탈락을 대상으로 하였으므로 향후 실제 환경을 고려한 추가 연구를 통해 효율적이고 정량적인 보도블럭 파손 탐지 방법이 개발될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract Sidewalks are facilities used for the safe and comfortable passage of pedestrians and are paved with blocks of various materials. Currently, Korea does not have a quantitative survey method for the pavement condition of sidewalks, so it is necessary to develop an efficient survey method. Drones are being used as an efficient survey tool in various fields, but there are limited studies in which sidewalks have been investigated. This study investigates the possibility of detection by limiting the missing sidewalk blocks using a drone. This study is an initial study on the development of a method for detecting damage in sidewalk blocks. For this, sidewalk blocks were artificially removed to simulate a dropout situation, and images were acquired with 0.7-cm resolution using a drone. As a characteristic of the point cloud data acquired through image pre-processing, there was high variance of the elevation of the points in the missing area of the sidewalk block. Using these characteristics, an experiment was conducted to detect the missing parts of the sidewalk block by applying four thresholds to the variance of the elevation of points included in the grid corresponding to the sidewalk area. As a result, the detection accuracy was shown with a positive detection ratio of 70-80%, omission errors of 20-30%, and commission errors lower than 2%. It is judged that the possibility of detecting missing sidewalk blocks is high. This study focused on detecting a simulated missing sidewalk block in a limited environment. Therefore, it is expected that an efficient and quantitative method of detecting damaged sidewalk blocks can be developed in the future through additional research with considerations of the actual environment.

Keywords : Drone, Sidewalk Blocks, Missing, Detection, Point Cloud

본 논문은 2020년도 서울기술연구원(과제번호: 2020-BA-001, 드론을 이용한 보행 및 차량통행 위험요소 탐지 기술 개발)의 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jung-il Shin(Seoul Institute of Technology)

email: jishin@sit.re.kr

Received April 12, 2021

Revised May 4, 2021

Accepted May 7, 2021

Published May 31, 2021

1. 서론

보도는 보행자를 위한 도로의 일부로서 보행자의 안전하고 쾌적한 통행을 목표로 하는 시설이다[1]. 보도 포장에는 다양한 재료가 사용되고 있으며, 대부분 블록 형태를 갖는다. 현재 우리나라에서는 보도의 포장상태에 대한 정량적인 조사 방법과 보수 기준이 부재한 실정이다[2]. 보도블럭의 파손은 보행자의 안전하고 쾌적한 통행에 지장을 줄 수 있어 그 상태를 정량적으로 조사할 수 있는 다양한 방법의 개발이 필요하다.

드론은 2010년대 대중화되기 시작하였고, 최근 소형화, 자동화와 함께 다양한 센서를 탑재할 수 있도록 발전하고 있다. 또한 드론에서 획득된 영상과 같은 자료의 처리가 반자동화되면서 다양한 분야에서 조사 도구로 활용되고 있다[3]. 특히 접근이 어려운 지점 또는 접근은 용이하나 형태로 인해 조사 시간 및 비용 소요가 큰 대상에 대한 조사 효율성을 높일 수 있다는 장점을 갖고 있다.

드론을 이용한 조사 기술이 빠르게 발전하고 있다. 도시 분야에서는 접근이 어려운 다양한 시설물에 대한 안전점검이 주요 조사기술로 개발되고 있다[4]. 농업 분야에서는 생육현황 또는 병충해를 조사하는 기술이 주로 개발되고 있다[5]. 산림 분야에서는 병충해, 산불, 산사태 등 다양한 재난재해를 조사하는 기술이 중점적으로 개발되고 있다[6]. 도로포장 조사에 있어 평탄성, 포트홀, 균열 등을 조사하는 기술이 빠르게 개발되고 있다[7,8]. 그러나 보도의 포장상태에 대한 조사 기술은 전 세계적으로 관심이 낮아 선행연구가 제한적이며, 특히 드론을 이용한 보도의 포장상태를 조사한 연구사례는 매우 제한적인 실정이다.

본 연구에서는 드론을 이용하여 보도의 포장상태 중 보도블럭의 탈락에 대한 탐지 가능성을 파악하고자 한다. 보도블럭의 파손은 탈락, 밀림, 용기, 파임 등의 다양한 형태로 나타난다. 본 연구는 보도블럭 파손을 조사하기 위한 다양한 방법 중 드론을 이용한 방법에 대한 초기 연구로 제한적인 실험지역에서의 보도블럭 탈락만을 대상으로 한다. 평평한 지역에서 드론으로 취득한 영상으로부터 생성된 3차원 포인트 클라우드(point cloud)를 이용하였고, 표고의 분산을 이용하여 보도블럭 탈락의 탐지 가능성을 파악하고자 한다.

2. 연구지역 및 자료

2.1 연구지역

연구지역은 경기도 화성시의 폐쇄된 2차선 도로에 위치한 보도이며 평지에 위치하고 있다(Fig. 1). 보도는 폭 10 cm × 길이 20 cm × 높이 6 cm 크기의 벽돌 재질의 블럭으로 포장되어 있으며, 파손이 없는 평탄한 상태이다. 보도블럭 탈락을 모의하기 위하여 인위적으로 보도블럭을 제거하여 인접 부분에 배치하였다. 보도블럭의 탈락은 4가지 크기로 모의되었는데, Fig. 1 (b)와 같이 10 cm × 20 cm (블럭 1개), 20 cm × 20 cm (블럭 2개), 20 cm × 40 cm (블럭 4개), 40 cm × 40 cm (블럭 8개)로 구분할 수 있다. 본 연구에서 보도블럭의 탈락은 보도블럭을 제거하여 높이가 낮아진 지점과 제거한 블럭을 주변에 배치하여 높이가 높아진 지점을 모두 포함하는 의미를 갖는다.



Fig. 1. (a) A study site in Hwasung city, Korea and (b) removed sidewalk blocks

2.2 연구자료 취득

연구자료는 DJI Matrice 300 RTK 드론에 장착된 H20T 카메라로 촬영된 영상이다. 영상은 2021년 2월 24일에 촬영되었으며, 고도 25 m에서 412장의 영상이 촬영되었다(Fig. 2). 카메라와 영상의 사양은 Table 1과 같다.

연구자료의 위치정확도 향상을 위하여 6개의 지상기

준점(ground control point, GCP)를 취득하였다(Fig. 2). GCP는 영상에서 관측이 쉬운 차선의 교차점 및 대공 표지를 대상으로 하였고, RTK-GNSS 측량을 실시하였다.

Table 1. Specification of camera and image

Camera	Model	Zenmuse H20T
	Pixel	4056 × 3040
	FOV	82.9°
	Focal length	4.5 mm
Flying Height		25 m
Overlap		90 %
Sidelap		70 %
Number of image		412
Image resolution (GSD)		0.7 cm
Band		3 (B, G, R)

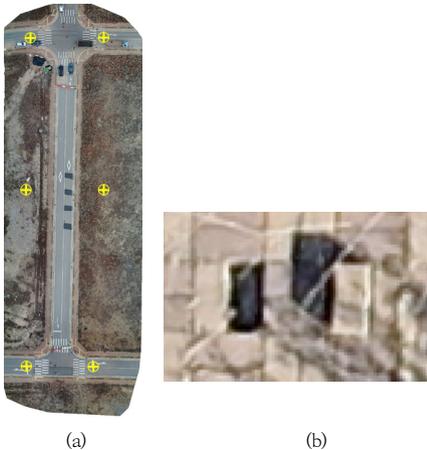


Fig. 2. (a) Mosaic image of 412 acquired images at 25 m height using H20T camera and DJI Matrice 300 RTK drone and (b) enlarged image for an area of missing sidewalk block

2.3 연구자료 전처리

촬영된 영상은 영상정렬, 영상정합, 포인트 클라우드 추출의 전처리 과정을 거쳤다. 이 과정은 Pix4D (Pix4D S.A., Switzerland) 소프트웨어를 이용하여 반자동으로 처리하였다.

영상정렬(Image orientation)은 촬영한 낱장 영상을 촬영한 카메라의 3차원 위치(WGS 84와 EGM 96기준 X, Y, Z)와 자세(Omega, Phi, Kappa) 정보를 이용하여 각 영상을 공간 상에 배치하는 것이다(Fig. 3). 정렬된 영상들에서 나타나는 카메라 위치와 자세의 초기 신뢰도(initial uncertainty)는 Table 2와 같다.

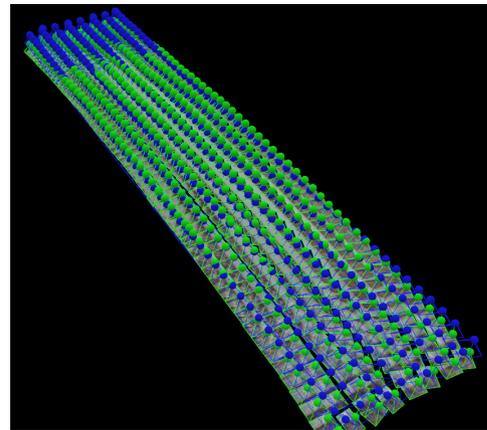


Fig. 3. Oriented images with camera position and attitude

Table 2. Initial absolute uncertainty of camera position and orientation

	X (m)	Y (m)	Z (m)	Omega (°)	Phi (°)	Kappa (°)
Mean	0.118	0.131	0.198	0.069	0.064	0.086
Sigma	0.017	0.028	0.005	0.008	0.005	0.001

영상정합은 낱장 영상에서 중복된 지점으로 판단되는 화소(정합점)를 추출하는 과정과 정합점(keypoints)을 이용하여 영상의 위치와 자세를 조정하는 번들조정(bundle adjustment)는 과정을 포함한다. 본 연구에서 사용한 소프트웨어인 Pix4D는 영상정합(feature matching) 기법으로 Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) 기법을 사용한다[9,10]. 2차원 번들조정에 사용된 정합점(keypoints)은 총 6,528,015개이고 3차원 번들조정에 사용된 정합점은 2,084,141개이다. 또한 번들조정 시 영상에 포함된 GCP 관측을 통해서 카메라의 위치와 자세 신뢰도를 Table 3과 같이 향상시켰다. 또한 전처리를 통해 획득된 영상의 평균 위치정확도(RMSE)는 Table 4와 같이 X, Y, Z 모두 약 2 cm 이다.

Table 3. Calibrated absolute uncertainty of camera position and orientation after bundle adjustment

	X (m)	Y (m)	Z (m)	Omega (°)	Phi (°)	Kappa (°)
Mean	0.005	0.005	0.017	0.012	0.010	0.003
Sigma	0.001	0.001	0.010	0.002	0.002	0.000

Table 4. Location accuracy after bundle adjustment at GCPs

	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Number of Observation
GCP 1	0.023	0.019	0.032	16
GCP 2	0.001	-0.050	-0.028	13
GCP 3	0.009	0.013	-0.015	24
GCP 4	-0.047	0.019	0.006	16
GCP 5	-0.019	-0.000	0.018	20
GCP 6	0.030	-0.002	-0.016	33
RMSE	0.026	0.024	0.021	-

포인트 클라우드 추출은 번들조정 결과를 이용하여 다시 영상의 정합점을 고밀도로 추출하여 3차원 공간의 포인트 클라우드로 추출하는 과정이다. 포인트 클라우드로 추출된 점은 31,740,569개로 평균 점밀도는 14,746 point/m²이다. 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 전처리 과정에서 획득된 포인트 클라우드 중 보도블럭 탈락을 포함하는 일부 영역을 수동으로 추출하여 사용하였다. 또한 포인트 클라우드의 좌표계는 UTM 52N 평면직각좌표계와 인천 해수면 기준 표고로 변환하여 사용하였다.

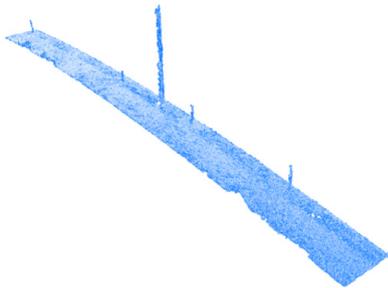


Fig. 4. Point cloud of sidewalk which has noise points such as trees and random noise

2.4 잡음 제거

전처리를 통해 획득된 포인트 클라우드 자료에는 보도 상에 위치한 나무, 가로등과 같은 불필요한 점과 센서에서 발생한 임의의 잡음(random noise)이 포함되어 있다. 이러한 잡음은 보도블럭 파손을 탐지하는데 있어 정확도 저하의 요인이 되므로 후처리를 통하여 제거하였다.

잡음을 제거하는 방법은 크게 두 단계로 구성된다. 첫째, Fig. 5와 같이 포인트 클라우드의 영역에 해당하는 20 cm × 20 cm의 격자망을 구성한 뒤 각 격자(cell) 내에 포함되는 포인트들의 표고의 중앙값을 산출한다. 둘째, 각 격자 내의 포인트들 중 중앙값보다 10 cm 이상

크거나 작은 표고값을 갖는 포인트를 잡음으로 정의하여 제거한다. 여기에서 잡음의 기준 10 cm는 수직방향(Z)의 평균오차 2 cm와 보도블럭의 높이 6 cm를 고려한 것이다. Fig. 6은 잡음제거 후의 포인트 클라우드를 보여주고 있고, Table 5는 잡음 제거 전과 후의 포인트 클라우드의 표고에 대한 통계치를 보여주고 있다.

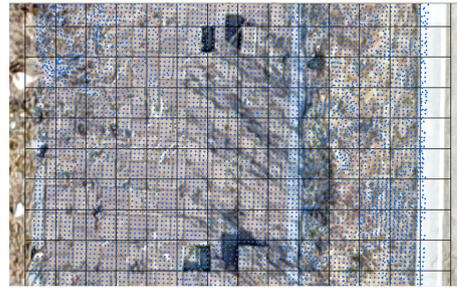


Fig. 5. Grid (20 cm × 20 cm) for noise removal of point cloud

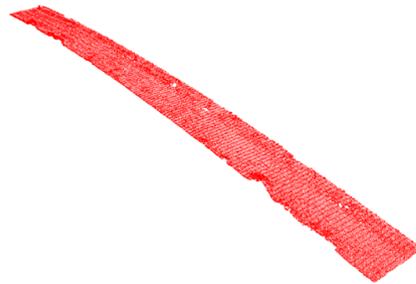


Fig. 6. Point cloud after noise removal

Table 5. Statistics of elevation for the original point cloud and noise removed point cloud

	No. of point	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
Original	120936	76.613	0.700	74.998	82.361
Noise removal	118155	76.581	0.615	74.998	79.165

3. 보도블럭 탈락 탐지 방법

3.1 탐지 원리

보도블럭이 탈락된 부위는 주변에 비해 낮거나 높은 표고값을 갖는다. 그러나 보도에 지형에 의한 경사가 있을 경우 주변과 표고를 비교하는 방법은 한계가 있다. 따

라서 본 연구에서는 Fig. 7와 같이 보도블럭이 탈락된 부위에서 포인트 클라우드의 표고에 대한 분산이 커지는 것을 탐지 방법의 원리로 이용하였다.

보도블럭이 탈락되지 않은 부위는 약 2 cm의 범위에서 포인트의 표고가 나타나는 반면 보도블럭이 탈락된 부위에서는 약 4 cm의 범위에서 표고가 나타나는 것을 볼 수 있다.

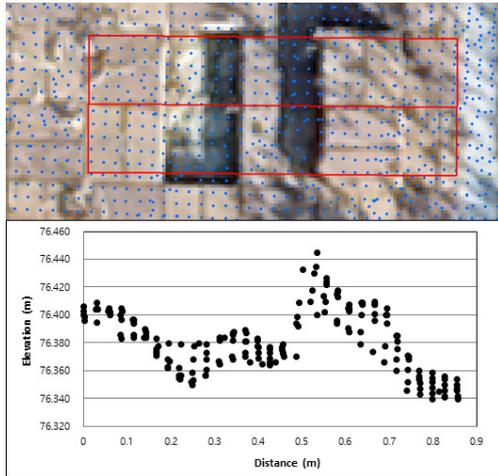


Fig. 7. Vertical profile of point cloud for an area including missing sidewalk blocks

3.2 탐지 방법

위에서 언급한 탐지 원리를 이용하여 보도블럭 탈락을 탐지하는 방법은 다음과 같다.

첫째, 포인트 클라우드의 영역에 해당하는 2차원 격자를 구성한다. 본 연구에서는 Fig. 8과 같이 격자의 크기 (cell size)를 20 cm × 20 cm로 하였는데, 그 이유는 한 격자 내에 최소 1개 이상의 보도블럭이 포함되게 하기 위함이다. 또한 격자의 값은 해당 격자 내에 포함되는 포인트들이 갖는 표고의 분산으로 정의하였다. Fig. 8 (a)는 탈락된 보도블럭이 포함된 위치에 대한 모자이크 영상이다. Fig. 8 (b)는 위에서 언급한 격자로 각 격자의 값은 격자 내에 포함된 포인트들이 갖는 표고의 분산이다. 보도블럭이 탈락된 부위가 그렇지 않은 부위에 비해 분산이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

둘째, 격자값이 임계치보다 클 경우 탈락부위로 탐지한다. 임계치는 평균 + n × 표준편차로 정의할 수 있고, 본 연구에서는 n값을 1.0, 1.2, 1.5, 2.0의 4가지로 부여하여 탐지정확도를 산출하였다.

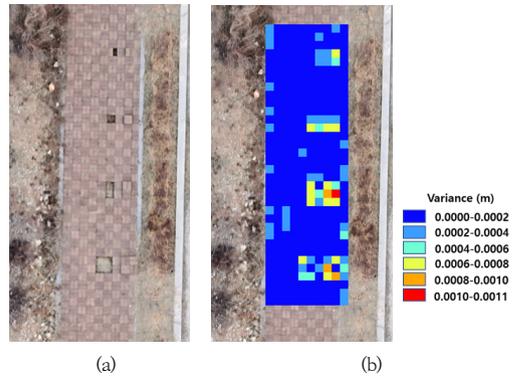


Fig. 8. (a) Mosaic image for the area with missing sidewalk block and (b) a grid for the area that cell values are variance of elevation within each cell

탐지결과는 사용된 격자와 동일한 크기의 격자로 출력되며, 이 때 보도블럭 탈락으로 탐지된 경우 격자값을 1, 아닌 경우 0으로 정의하였다.

4. 보도블럭 탈락 탐지 결과

탐지 결과의 정확도는 정탐지율(positive detection ratio), 누락오차(omission error), 추가오차(commission error)의 3가지 지표로 표현할 수 있다. 정탐지율은 육안 판독으로 제작한 기준자료(reference)에서 탈락 부위가 탐지 결과(detection)에서도 탐지된 비율을 의미하며, Eq. (1)과 같이 표현할 수 있다. 누락오차는 기준자료에서 탈락 부위가 탐지결과에서는 탐지되지 않은 비율로 Eq. (2)와 같이 표현할 수 있다. 추가오차는 기준자료에서는 탈락 부위가 아닌데, 탐지결과에서 탈락으로 탐지된 비율로 Eq. (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$DR = D_{Detection} / D_{Reference} \quad (1)$$

$$OE = N_{Detection} / D_{Reference} \quad (2)$$

$$CE = D_{Detection} / N_{Reference} \quad (3)$$

Where, DR denotes positive detection ratio, OE denotes omission error, CE denotes commission error, D denotes dropout sidewalk blocks, and N denotes normal sidewalk blocks

위에서 언급한 방법을 이용하여 보도블럭 탈락을 탐지한 결과는 Fig. 9와 같다. 임계치의 n값을 4가지로 다르게 부여한 결과 임계치가 낮을 경우 상대적으로 정탐지율은 높게 나타나지만 탈락부위가 아닌데 탈락으로 탐지되는 추가오차 또한 상대적으로 높게 나타난다. 임계치가 높을 경우 추가오차는 낮게 나타나지만 정탐지율 또한 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 임계치에 따른 4가지 탐지 결과에서 공통적으로 하단에 위치한 탈락 면적이 가장 큰 부위에서 누락오차가 주로 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이는 격자의 크기에 비해 탈락 면적이 넓어 중심부위에서는 격자 내의 분산이 크지 않기 때문이다.

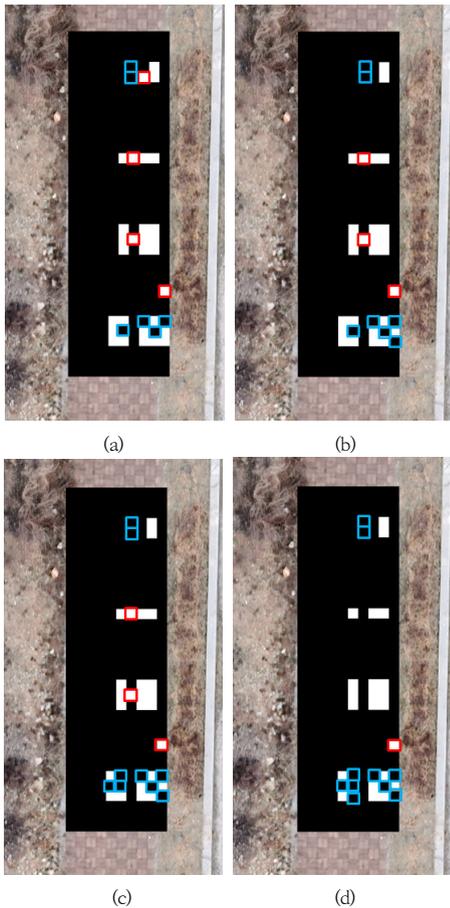


Fig. 9. Detection result of missing sidewalk blocks by thresholds with (a) $n = 1.0$ (b) $n = 1.2$ (c) $n = 1.5$ (d) $n = 2.0$, where, red squares are commission error and blue squares are omission error

Table 6부터 Table 9는 임계치에 사용된 n값에 따른 탐지정확도를 보여주고 있다. 임계치에 사용된 n값이 1.0인 경우 정탐지율 81.3 %, 누락오차 18.7 %, 추가오차 1.6 %로 나타났다. n값이 높아짐에 따라 정탐지율이 낮아지고 추가오차 또한 낮아져서, n값이 2.0일 때 정탐지율 68.8 %, 누락오차 31.2 %, 추가오차 0.3 %로 나타났다.

다양한 임계치를 부여하여 보도블럭 탈락을 탐지한 결과 정탐지율이 약 70 %에서 80 %로 나타났고, 2 % 이하의 추가오차를 보여주었다. 따라서 제시한 방법을 통해 보도블럭의 탈락을 높은 정탐지율과 낮은 추가오차로 탐지할 수 있다고 할 수 있다. 그러나 이는 본 연구의 실험 환경에 국한된 결과이므로, 다양한 지형과 파손형태를 갖는 실제 환경에서 추가적인 실험이 요구된다.

Table 6. Detection accuracy of missing sidewalk block ($n = 1.0$)

Reference \ Detection	Missing	Normal	Total
Missing	26	4	31
Normal	6	304	309
Total	32	308	340

Positive detection ratio = $26 / 32 = 81.3 \%$
 Omission error = $9 / 32 = 18.7 \%$
 Commission error = $5 / 308 = 1.6 \%$

Table 7. Detection accuracy of missing sidewalk block ($n = 1.2$)

Reference \ Detection	Missing	Normal	Total
Missing	25	3	29
Normal	7	305	311
Total	32	308	340

Positive detection ratio = $25 / 32 = 78.1 \%$
 Omission error = $7 / 32 = 21.9 \%$
 Commission error = $4 / 308 = 1.3 \%$

Table 8. Detection accuracy of missing sidewalk block ($n = 1.5$)

Reference \ Detection	Missing	Normal	Total
Missing	23	3	25
Normal	9	305	315
Total	32	308	340

Positive detection ratio = $23 / 32 = 71.9 \%$
 Omission error = $9 / 32 = 28.1 \%$
 Commission error = $3 / 308 = 1.0 \%$

Table 9. Detection accuracy of missing sidewalk block (n = 2.0)

Reference Detection	Missing	Normal	Total
Missing	22	1	25
Normal	10	307	315
Total	32	308	340

Positive detection ratio = $22 / 32 = 68.8 \%$
 Omission error = $10 / 32 = 31.2 \%$
 Commission error = $1 / 308 = 0.3 \%$

5. 결론

본 연구에서는 드론에서 촬영한 영상으로부터 추출한 포인트 클라우드를 이용하여 보도블럭의 탈락을 탐지할 수 있는지 그 가능성을 파악하고자 하였다. 보도블럭이 탈락하지 않은 부위에서는 포인트들이 갖는 표고의 편차가 약 2 cm로 나타나는 반면, 탈락한 부위의 경계에서는 편차가 약 4 cm로 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이러한 특성을 이용하여 20 cm × 20 cm 크기의 격자 내에 위치한 포인트들이 갖는 표고의 분산을 계산하였고, 4가지 임계치를 부여하여 탐지정확도를 분석하였다. 그 결과 정탐지율이 약 70 %에서 80 %, 누락오차가 약 20 %에서 30 %로 나타났고, 추가오차가 2 % 이하로 나타났다. 또한 임계치 산정 시 n값을 1.0에서 2.0까지 증가시켰을 때 나타난 추가오차의 감소에 비해 정탐지율의 감소가 상대적으로 크게 나타났다. 본 연구의 실험결과에 있어 임계치의 n값을 1.0으로 부여하여 추가오차가 높더라도 정탐지율을 높임으로써 누락을 방지하고, 의심지역에 대한 정보를 보다 많이 제공하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과를 종합하였을 때 실험환경에서는 높은 탐지정확도로 보도블럭의 탈락을 탐지할 수 있는 것으로 판단되었다.

본 연구는 매우 제한적인 환경에서 보도블럭의 다양한 파손형태 중 탈락만을 대상으로 그 탐지 가능성을 파악하는데 초점을 맞추었다. 따라서 향후 본 연구의 결과를 바탕으로 한 다양한 추가 연구가 필요하다. 첫째, 실제 환경에서 나타나는 다양한 형태의 보도블럭의 파손을 정량적으로 분석하기 위하여 높이값 뿐만 아니라 영상에서 나타나는 색, 모양 등 다양한 특징을 종합적으로 고려할 수 있는 탐지 방법에 대한 추가 연구가 필요하다. 둘째, 드론영상과 같은 항공영상의 경우 가로수에 의한 차폐 문제가 발생할 수 있어 다양한 장비와 센서 그리고 촬영 방법에 대한 연구를 통해 최적의 보도블럭 파손 탐지 방

법을 도출할 필요가 있다. 셋째, 지형, 주변환경, 파손형태에 따라 보도 영역 추출 및 임계치 산출을 자동화할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 이러한 추가연구들을 통해 보다 효율적이고 정량화된 보도블럭 파손 탐지 방법이 개발될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] S. H. Oh, D. P. Sohn, S. N. Park, U. Y. Sung, S. J. Kim, Y. M. Choi, H. J. Choi, "A study on the establishment and management improvement plan for sidewalk facilities considering pedestrian rights and aesthetics", Korea Research Institute for Human Settlements, Korea, p.1.
- [2] J. L. Kim, H. K. Park, N. K., Cho, H. C. Moon, D. K. Park, "Research on damage classification and investigation method for sidewalk pavement evaluation", *Proceedings of 19th conference on Korean Society of Road Engineers*, Korean Society of Road Engineers, Yeosu, Korea, p.148, October 2017.
- [3] D. C. Tsouros, S. Bibi, P. G. Sarigiannidis, "A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture", *Information*, Vol.10, No.11, pp.349-374, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/info10110349>
- [4] H. Y. Kim, K. A. Choi, I. P. Lee, "Drone Image-Based Facility Inspection - Focusing on Automatic Process Using Reference Images", *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol.26, No.2, pp.21-32, June 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2018.26.2.021>
- [5] J. Shin, Y. Cho, P. Lim, H. Lee, H. Ahn, C. Park, T. Kim, "Relative Radiometric Calibration Using Tie Points and Optimal Path Selection for UAV Images", *Remote Sensing*, Vol.12, No.1726, pp.1-19, May 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12111726>
- [6] J. Shin, W. Seo, T. Kim, J. Park, C. Woo, "Using UAV Multispectral Images for Classification of Forest Burn Severity—A Case Study of the 2019 Gangneung Forest Fire", *Forests*, Vol.10, No.1025, pp.1-15, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10111025>
- [7] J. M. Kim, S. G. Hyeon, J. H. Chae, M. S. Do, "Road Crack Detection based on Object Detection Algorithm using Unmanned Aerial Vehicle Image", *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol.18, No.6, pp.155-163, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.6.155>
- [8] D. R. Kim, *A Study on Investigate Roughness of Road Pavement Using Drone*, Master's thesis, Seoul University of Science and Technology, Seoul, Korea, pp.9-38, 2020.
- [9] O. Küng, C. Streacha, A. Beyeler, J-C. Zufferey, D. Floreano, P. Fua, F. Gervais, "The Accuracy of

Automatic Photogrammetric Techniques on Ultra-light UAV Imagery”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol.XXXVIII-1/C22, pp.125-130, Sep. 2011.

DOI:

<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-125-2011>

- [10] D. G. Lowe, “Distinctive Image Features from Scale - Invariant Keypoints”, *International Journal of Computer Vision*, Vol.60, No.2, pp.91-110, Nov. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>

신 정 일(Jung-il Shin)

[정회원]



- 2007년 2월 : 인하대학교 일반대학원 지리정보공학과 (공학석사)
- 2012년 8월 : 인하대학교 일반대학원 지리정보공학과 (공학박사)
- 2012년 2월 ~ 2013년 7월 : 극지연구소 연구원
- 2013년 8월 ~ 2018년 8월 : ㈜지오스토리 연구소장
- 2018년 9월 ~ 2020년 4월 : 인하대학교 공간정보공학연구소 연구교수
- 2020년 5월 ~ 현재 : 서울기술연구원 연구기획실 수석연구원

〈관심분야〉

원격탐사, 공간정보