

도로교 구조물 손상 관리를 위한 이미지 기반의 교량 손상 정량화 기법

Image-based bridge damage quantification technique for road bridge structure damage management

정수완¹, 홍성삼², 김병곤^{3*}

Su-wan Chung¹, Sung-Sam Hong², Byung-Kon Kim^{3*}

요 약

노후 도로교 구조물 진단 및 점검에 있어서 손상의 길이나 크기 등의 정량화된 정보는 매우 중요하다. 그러나 현장에서 인력을 기반으로 손상의 길이나 크기를 재는 방법은 줄자를 활용하고 있어 효율성과 안전 문제가 발생하고 있으며, 측정결과에 대한 신뢰도와 정확성은 점검자의 숙련도에 따라 달라진다. 최근, 길이나 넓이를 측정할 수 있는 새로운 기기와 기술 등은 발전을 하고 있으며 이를 활용하면 노후교량의 진단 및 점검 작업의 생산성이 향상될 것으로 기대된다. 또한 모바일 기기를 통해 교량 하부 점검을 위하여 굴절차를 활용하지 않고도 측량이 가능하게 되면 작업자의 안전성도 향상될 수 있다. 본 논문에서는 노후 교량의 손상 정량화를 위해 이미지 센서와 IMU(Inertial Measurement Unit)센서 기반의 거리측정 기술을 제안한다. 모바일 기기를 통해 취득한 카메라 정보에 안드로이드 기반 ARCore의 Depth API를 활용하여 피사체와 카메라 사이의 거리를 구하게 된다. 그리고 이미지 해상도에 따른 픽셀당 크기정보는 카메라와 물체간 거리정보를 변수로 한 회귀식으로 도출할 수 있다. 이 회귀식을 통해 이미지 안에서 손상영역에 대한 크기정보를 구할 수 있게 된다. 마지막으로 개발한 ARCore기반의 거리측정 프로토타입의 측정 정확도 검증을 위해 교량 현장에서 취득한 거리정보를 실제 거리정보와 비교하는 실험을 수행하였고 그 결과 평균오차는 41mm, 평균오차율은 1.78%인 것으로 나타났다.

핵심어 : 도로교 관리, 교량손상, 손상 정량화, 깊이 추정, 이미지 분석

Abstract

Quantitative information such as the length and size of damage is very important in diagnosing and

1 Department of Future and Smart Construction Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Researcher]
e-mail: suwan@kict.re.kr

2 Department of Multimedia Contents, Jangan University, Gyeonggi-do, Korea [Professor]
e-mail: sunsamhong@jangan.ac.kr

3 Department of Future and Smart Construction Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Research Fellow]
e-mail: bkkim@kict.re.kr (Corresponding author)

* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(과제번호22POQW-C152690-04). 연구 지원에 감사드립니다.

Received(October 7, 2022), Review Result(1st: November 10, 2022, 2nd: December 5, 2022), Accepted(February 10, 2023), Published(February 28, 2023)



© 2023 The Authors. Published by NCIS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

inspecting old road bridge structures. However, since a tape measure is used to measure the length or size of damage in the field, the reliability and accuracy of the measurement results depend on the skill level of the inspector. Recently, new devices and technologies that can measure length or width are developing, and it is expected that the productivity of diagnosis and inspection of old bridges will be improved by utilizing them. In addition, if surveying is possible without using a multi-aerial platform to inspect the underside of the bridge through a mobile device, the safety of workers can also be improved. In this paper, we propose an image sensor and IMU(Inertial Measurement Unit) sensor-based distance measurement technology to quantify the damage of aging bridges. The distance between the subject and the camera is obtained by using the Android-based ARCore's Depth API for camera information acquired through a mobile device. And the size information per pixel according to the image resolution is derived by a regression equation using the distance information between the camera and the object as a variable. Through this regression equation, information on the size of the damaged area in the image can be obtained. In order to verify the measurement accuracy of the developed ARCore-based distance measurement prototype, an experiment was conducted to compare the data acquired at the bridge site with the actual distance information. As a result, the average error was 41mm and the average error rate was 1.787%.

Keyword : road bridge management, bridge damage, damage quantification, depth estimation, image analysis

1. 서론

국내의 많은 도로교 구조물은 노후화되어서 노후 교량의 유지관리가 중요한 사회 문제로 떠오르고 있다. 하지만 대부분의 교량은 콘크리트로 이루어져 있으며 이러한 콘크리트 구조물의 표면 균열 길이는 육안조사와 줄자 등의 장비로 조사되고 있다. 육안조사는 특정 작업자의 경험과 주관적인 판단에 따라 결과값이 달라지므로 신뢰성이 다소 미흡하며, 줄자 등의 계측 장비는 시간과 공간적 제약을 받는다. 현재 점검업무에서는 교량 손상에 대한 점검이 특정 조사자의 육안 검사로 이루어지고 있으며, 콘크리트 구조물의 손상은 효율적인 유지관리를 위한 기본적인 요소로 인식되어지고 있지만 효율적이고 신뢰성을 보유한 결과값을 기대하기엔 역부족인 실정이다. 따라서 노후 교량의 손상을 조사하는 방법에 시간적, 공간적 제약을 받지 않으며, 정확도와 신뢰성을 보유하고 편의성이 뛰어난 측정방법의 필요성이 대두되고 있다.

최근에는 이러한 한계를 벗어나기 위해 첨단 영상기술과 딥러닝 분석 등을 활용한 구조물 점검 기술 개발을 적극적으로 추진하고 있으며 국내에서도 많은 연구가 진행되었다 [1-4]. 그러나 대부분의 연구는 1종 대형교량을 대상으로 하며 손상 유형 또한 균열에 대한 것이었다.

본 연구에서는 대다수의 3종 교량을 대상으로 하며 균열 외에도 백태, 누수, 박리, 박락, 철근 노출 등에 대한 손상 유형의 정량화를 범위로 한다. 손상 정량화를 위해서는 손상부위와 촬영자 간의 거리 정보가 중요한데 이를 측정하기 위해서는 3D 카메라를 활용한 방법과 모바일 카메라를 활용한 방법이 있으며 관련 연구는 활발하게 진행 중이다 [5-8]. 3D 카메라는 카메라와 물체 사이의 깊이 정보를 얻을 수 있고 이를 이용하면 xy-평면으로 나타나는 영상 대신 xyz-공간의 3차원 정보를 획득할 수 있다. 현재 3D 카메라 기술로는 스테레오 카메라를 이용한 방법, 구조광을 이용

한 방법, 비행시간(ToF; Time of Flight)를 이용한 방법, 그리고 초점의 흐려짐을 이용한 깊이 추정 (DFD; Depth from Defocus)를 이용한 방법들이 활발하게 연구되고 있다. 스테레오 카메라, 구조광 방법, 비행시간 방법을 사용한 3D 카메라는 모두 한 개의 디지털 카메라 외에 깊이를 측정할 수 있도록 추가적인 장치가 필요하다. 이는 3D 카메라의 물리적 크기가 커지고 단가가 상승할 수 있다는 단점을 가진다 [9].

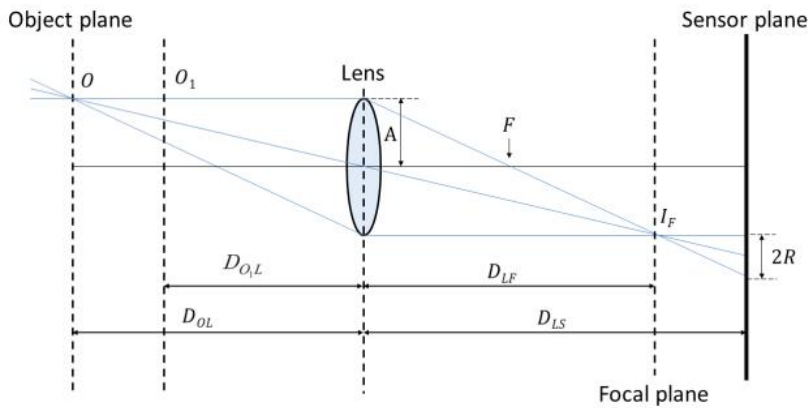
따라서 본 연구에서는 현장 점검자의 사용성을 고려하여 모바일 카메라를 활용한 정량화 방법을 제안한다. 이를 위해 안드로이드 기반 ARCore를 활용한 거리추정 어플리케이션을 개발하여 실제 교량 현장에서 거리측정을 수행한다. 또 실제 손상과의 거리와 제안한 프로토타입의 거리를 비교하여 그 오차를 분석하고 적용가능성을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문과 관련된 3D 깊이추정 기술을 소개하였고, 3장에서는 제안하는 기술을 서술하였다. 4장에서는 제안하는 기술의 성능을 평가하기 위한 실험결과를 설명하였고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 단일 카메라를 이용한 3D 깊이 추정 방법

[그림 1]은 카메라에서 상이 맺히는 기하학적 구조를 나타낸다. 물체로부터 방사된 빛은 렌즈에 의해 굴절되어 초점면의 점에 모아진다.



[그림 1] 카메라에 상이 맺히는 기하학적 구조 [10]

[Fig. 1] The geometric structure of the image formed by the camera

렌즈의 초점이 F인 얇은 렌즈를 갖는 카메라의 경우 렌즈로부터 초점이 맞는 물체 평면까지의

초점거리와 초점이 맞춰진 영상에서 렌즈까지의 거리 간의 관계는 얇은 렌즈 법칙에 의해 식 (1)과 같이 표현된다 [9].

$$\frac{1}{D_{OL}} + \frac{1}{D_{LF}} = \frac{1}{F} \quad (1)$$

하지만 이미지 센서 평면이 초점면과 일치하지 않으면, 이미지 센서에 맺힌 상은 반지름이 R 인 원형으로 나타난다. 이때, 렌즈와 피사체 사이의 거리 D_{OL} 과 R 사이의 관계식은 식 (2)와 같다.

$$D_{OL} = \frac{FD_{LS}}{D_{LS} - F - 2fR} \quad (2)$$

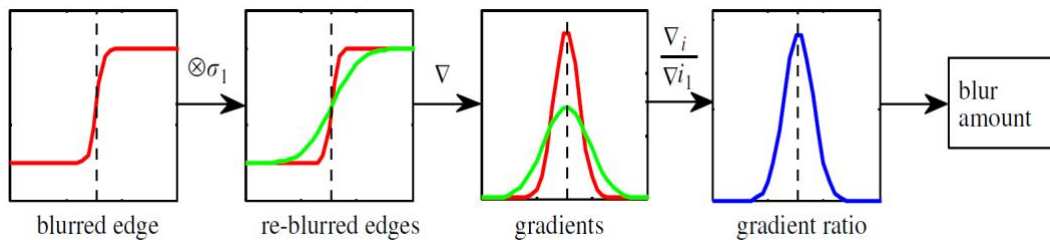
따라서 영상에서 피사체의 흐림 정도를 분석하면 카메라와 피사체 사이의 거리를 추정할 수 있다. 여기서 f 는 카메라의 f 값(f -number)이며, D_{LS} 는 렌즈에서 이미지 센서까지의 고정된 깊이로써 초점거리를 나타낸다.

1개의 영상을 이용한 DFD(Depth from Defocus)에서 초점의 흐려짐을 이용한 깊이 추정에 사용하는 영상 $i(x)$ 는 선명한 영상 $f(x)$ 와 점 확산 함수의 컨벌루션으로 모델링된다. 이때 점 확산 함수가 가우시안 함수로 모델링 된다.

$$i(x) = f(x) \otimes g(x, \sigma) \quad (3)$$

여기서 $g(x, \sigma)$ 는 표준편차 σ 를 갖는 가우시안 함수이다.

물체의 경계가 아닌 표면에서는 흐림 정도의 크기를 계산하기 어렵기 때문에, 영상에서 물체의 경계를 추출해야 한다. 초점이 맞는 물체의 경계는 경계면에서 흐림 효과가 전혀 없어서 선명한 계단함수 모양으로 모델링되지만, 초점이 맞지 않는 물체의 경계는 경계면 주변이 흐려져 [그림 2]의 첫 번째 박스와 같은 모양을 갖는다.



[그림 2] 1개의 영상을 이용한 DFD에서 흐림 정도의 크기 계산 방법 [9]

[Fig. 2] How to calculate the degree of blur in DFD using one image

흐림 효과를 명확하게 만들기 위하여 추출된 경계를 가우시안 커널 σ_1 을 이용하여 더 흐려지게

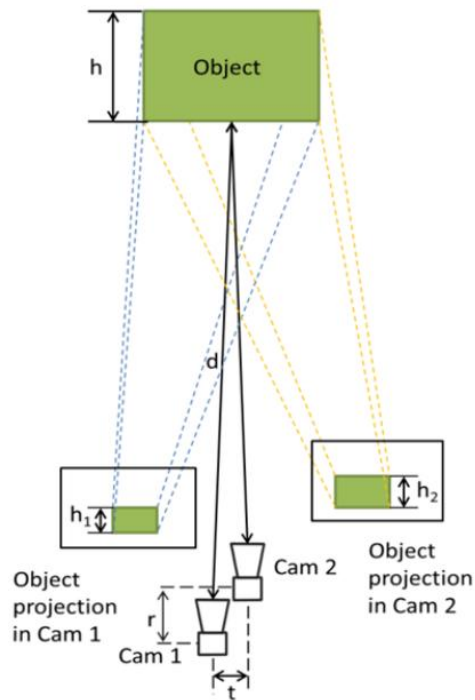
만든다. 이후 기존의 흐린 경계 i 와 다시 흐려지게 한 영상의 경계 i_1 에서 미분값 $\nabla i, \nabla i_1$ 을 계산하고, 각 미분값의 비율 $\nabla i / \nabla i_1$ 을 통해 흐림 정도를 추정한다. [그림 1]의 피사체 O_1 에 의해 카메라 센서에 맺힌 흐려진 원의 지름 $2R$ 은 다음과 같다.

$$2R = \frac{|D_{OL} - D_{OL}|}{D_{OL}} \frac{F^2}{f(D_{OL} - F)} \quad (4)$$

식 (4)를 통해 흐려진 원의 지름 $2R$ 로부터 $D_{OL} - D_{OL}$ 을 유도하여 깊이 맵을 구할 수 있다.

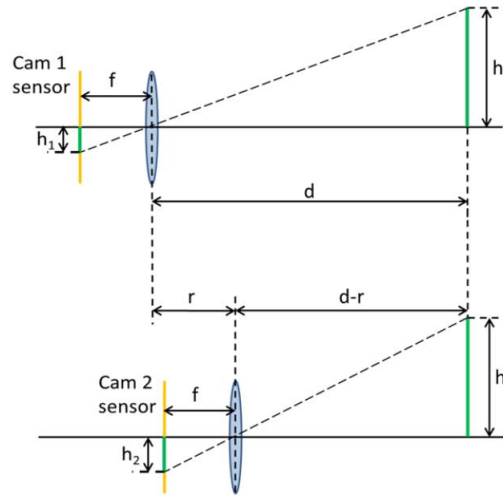
2.2 카메라 2대를 이용한 깊이 추정

[그림 3]과 같이 두 카메라가 세로로 거리 r 만큼 떨어져 있고 가로로 t 만큼 떨어져 있는 경우 높이가 h 인 물체가 주어지면 카메라1(h_1)에 대한 물체의 투영은 카메라2(h_2)의 투영값보다 작을 것이다. 이때 [그림 4]와 같은 모델을 사용하여 d 를 계산하기 위한 수학적 공식을 작성할 수 있다 [10].



[그림 3] 카메라 위치 및 개체 투영 [11]

[Fig. 3] Camera Position and Object Projection



[그림 4] 이동된 두 카메라의 기하학적 표현 [10]

[Fig. 4] Geometric representation of two moved cameras

$$\frac{h}{d} = \frac{h_1}{f} \quad (5)$$

$$\frac{h}{d-r} = \frac{h_2}{f} \quad (6)$$

여기서 f 는 첫 번째 및 두 번째 카메라의 초점거리이며 동일해야 한다. 식 (5)를 식 (6)으로 나누고 변환하면 구하고자하는 거리 d 는 다음 식 (7)과 같다.

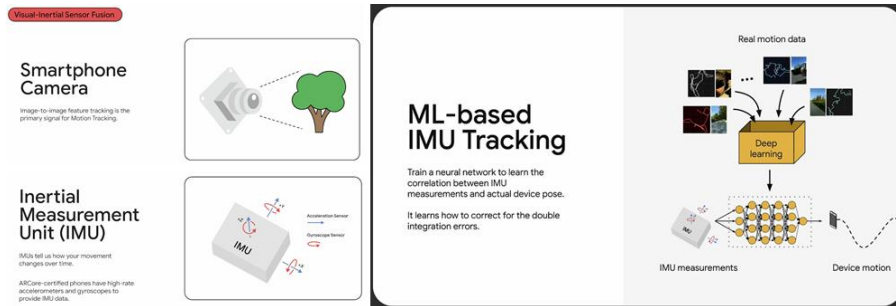
$$d = \frac{r}{1 - \frac{h_1}{h_2}} \quad (7)$$

2.3 ARCore를 활용한 깊이추정

구글에서 제공하는 안드로이드 기반 ARCore의 Depth API는 기기의 카메라가 장면에 있는 실제 물체의 크기와 모양을 이해하는 데 도움이 된다. 카메라를 사용하여 깊이 이미지 또는 깊이 맵을 만들어 앱에 AR 현실성 레이어를 추가하는 방식으로 깊이 이미지에서 제공하는 정보를 사용하여 가상 객체가 실제 객체 앞이나 뒤에 정확하게 표시되도록 하여 몰입감 있고 현실적인 사용자 환경을 구현할 수 있다.

깊이 정보는 움직임으로 계산되며, 가능한 경우 To-Time (To-Time) 센서와 같은 하드웨어 깊이

센서의 정보와 결합될 수 있다. 그러나 기기에 Depth API를 지원하는 별도의 센서가 필요하지 않다.



[그림 5] ARCore의 Depth API 구동원리 [11]

[Fig. 5] ARCore's Depth API Operating Principle [11]

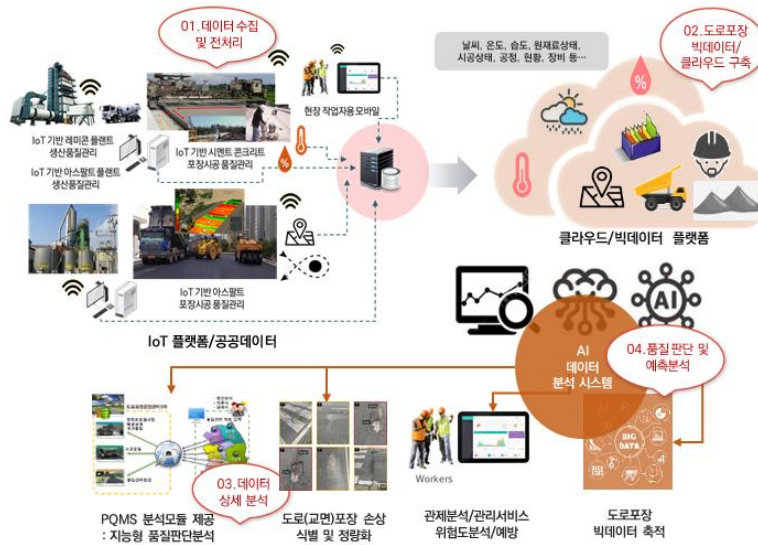
먼저 스마트폰의 카메라 센서로부터 이미지 대 이미지 특징점을 추적하여 카메라 위치 정보를 얻는다. 그리고 [그림 5]와 같이 관성 측정 장치(Inertial Measurement Unit : IMU)를 통해 시간이 지남에 따라 움직임이 어떻게 변하는지를 측정하게 되고 이때 가속도계와 자이로스코프 센서를 활용한다. 그리고 이러한 카메라 위치정보와 IMU 정보의 정밀도를 높이기 위해 머신러닝 기반의 위치 추정 알고리즘을 적용하였다. 이는 IMU 측정값과 실제 장치 자세 간의 상관관계를 신경망을 통해 학습하고 이중 적분 오류를 수정하게 된다.

3. 이미지 기반의 교량 손상 정량화 기법

본 논문은 IoT기반 도로포장 품질관리 시스템 구축에 대한 연구의 일부로 수행되었다. IoT기반 도로포장 품질관리 시스템이란 [그림 6]에서 보듯이 도로포장 공용수명 연장을 목표로 콘크리트, 아스팔트 도로포장의 생산 단계에서부터 품질관련 데이터를 수집하고 전 처리하여 빅데이터 혹은 클라우드 데이터를 구축한다. 그리고 이러한 품질관련 데이터와 포장시공시의 데이터를 통해 품질 판단 및 예측분석을 하게 된다. 여기에서 노후 도로교 손상 정량화 연구는 IoT기반 도로포장 품질 관리 프로세스의 데이터 상세분석 단계에서 수행된다.

본 논문에서 제안하는 교량 손상 정량화 프로세스는 [그림 7]과 같다. 먼저 모바일 기기의 픽셀 당 넓이 정보를 회귀식으로 도출하고 교량의 손상 유형별 이미지 데이터를 모바일 기기를 통해 획득한다. 이후에 수집된 이미지 데이터로부터 이미지 깊이 정보를 취득하고 이를 데이터베이스에 저장하게 된다. 이후 촬영된 이미지에서 손상부위만을 분할하기 위하여 Mask R-CNN과 같은 segmentation 모델을 활용한다. 마지막으로 분할된 영역에 대한 픽셀값을 토대로 손상에 대한 넓이

를 구할 수 있게 된다.



[그림 6] IoT기반 도로포장 품질관리 시스템

[Fig. 6] IoT-based road pavement quality management system



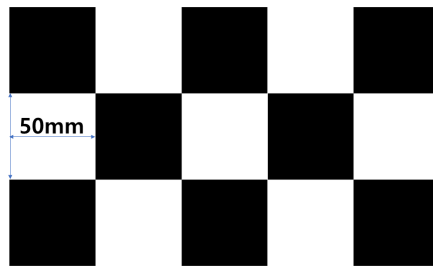
[그림 7] 딥러닝 기반 손상 정량화 프로세스

[Fig. 7] Deep learning-based damage quantification process

3.1 픽셀당 넓이 정보에 대한 회귀식 도출

카메라를 통해 획득한 이미지 내에서 손상영역의 실제크기를 추정하기 위해서 미리 촬영거리와 픽셀당 넓이에 대한 회귀식을 구하는 것이 필요하다. 이를 위해 미리 그 크기를 알 수 있는 타겟 이미지를 [그림 8]과 같이 제작하여 측정거리 별로 촬영한 이미지의 검은 영역 1칸의 픽셀수를 토

대로 픽셀당 면적을 산출해 낸다. 테스트에 사용된 타겟 이미지의 검은 영역 1칸의 넓이는 2,500mm²이고 촬영에 사용한 스마트폰 카메라 해상도는 1,908×4,032이다.



[그림 8] 실험에 활용한 타겟마커

[Fig. 8] Target markers used in the experiment

측정거리에 따른 픽셀당 면적은 [표 1]과 같이 나타났다. 이를 통해 픽셀당 면적을 변수로 하는 회귀분석을 수행하였다.

[표 1] 측정거리에 따른 픽셀당 면적

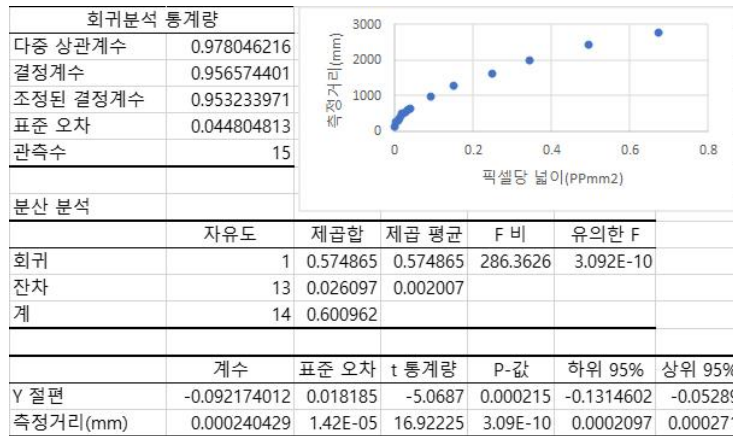
[Table 1] Area per pixel according to the measurement distance

측정거리(mm)	가로(pixel)	높이(pixel)	픽셀당 면적(PPmm ²)
134	1680	1728	0.000861
242	750	758	0.004398
300	520	510	0.009427
...
1984	86	84	0.346069
2443	68	74	0.496820
2775	60	62	0.672043

회귀분석 결과는 [그림 9]와 같이 나타난다. 유의한 F값이 0.05보다 낮기 때문에 회귀분석 자체는 통계적으로 매우 유의하다.

결정계수(R²)는 0.956574401로 1에 가깝기 때문에 종속변인과 독립변인 사이에 상관관계가 높다고 볼 수 있다. 그리고 독립변수인 측정거리의 p값은 0.05보다 낮아 통계적으로 유의하다. 따라서 픽셀당 면적과 측정거리간의 회귀식은 다음 식 (8)과 같이 나타난다. 여기서 촬영거리 d가 최소 384mm이상인 경우에만 이 회귀식을 통한 넓이 계산이 가능하고 이는 현장에서 손상정보를 촬영할 경우 최소 이격거리가 384mm라는 것을 의미한다.

$$PPmm^2 = 0.000240429d - 0.092174012 \quad (\text{단, } d \geq 384) \quad (8)$$

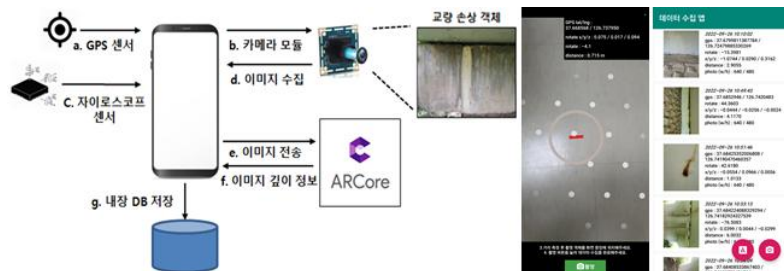


[그림 9] 회귀분석 결과 및 그래프

[Fig. 9] Regression analysis results and graphs

3.2 ARCore기반의 거리측정 프로토타입 개발

본 논문에서 제안하는 손상 정량화 방법은 ToF나 LiDAR센서 같은 별도의 센서나 레이저 계측 기기를 사용하지 않고 모바일 기기에 내장된 카메라모듈과 가속도센서, 자이로스코프 센서와 같은 IMU센서를 활용한다. 이는 현장에서 작업자가 모바일 기기만으로 신속하고 간편하게 측정작업을 수행할 수 있게 하기 위함이다.



[그림 10] 프로토타입 구동과정 및 화면

[Fig. 10] Prototype operation process and screen

개발한 프로토타입에서는 [그림 10]에서와 같이 가장 먼저 GPS센서를 통해 촬영 위치의 위도, 경도 값을 받아온다. 이후 카메라 모듈로부터 촬영 기기의 카메라 해상도 데이터 등 스펙 데이터를 수집한다. 자이로스코프 센서는 현장 이미지를 촬영하는 동안 촬영 기기의 회전각도 데이터를 수집한다. 카메라 모듈로부터 얻어진 현장 이미지 데이터는 Depth API로 전송되어 촬영 기기와 촬영 대상 간의 거리 정보를 수집하게 된다. 최종 현장 촬영 후, 센서 및 이미지 저장 경로 등 데이

터를 내장 데이터베이스에 저장한다.

앞서 기술한 ARCore의 Depth API를 활용해서 사용자가 바닥면이나 벽면을 인식하게 하고 원하는 지점에서부터 촬영자와의 거리를 표기해 주도록 화면을 구성하였다. 촬영하는 동안 스마트폰의 GPS정보와 회전각도 물체와의 거리 등이 화면상에 표기되도록 하였고 촬영된 이미지 파일과 함께 이들 정보도 함께 저장되도록 프로토타입을 개발하였다.

4. 실험 및 결과

4.1 실험 환경

실험은 3종 교량을 대상으로 하였다. 실험대상 교량은 총 3곳이며 RC슬래브교와 라멘교이다. 각각 공용연수는 18년, 23년, 24년으로 노후화된 교량으로 선정하였다.

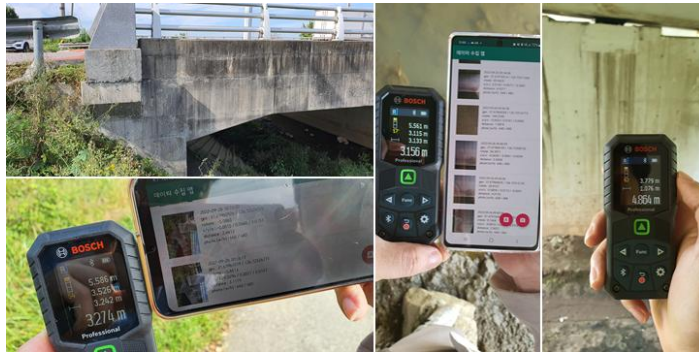
개발된 프로토타입 구동 및 촬영에 활용한 스마트폰 기종은 삼성 SM-N971N이며 카메라와 손상부위 간의 실제 거리측정을 위해서는 보쉬 GLM 50-27CG와 샤오미 HOTO 레이저 측량기기를 함께 사용하였다. 보쉬 GLM 50-27CG는 최대 측정거리 50m이며 정확도는 $\pm 1.5\text{mm}$ 이고 샤오미 HOTO는 최대 측정거리 30m에 정확도는 $\pm 2.0\text{mm}$ 이다.

4.2 거리측정 정확도 검증결과

이미지를 통해 교량 손상을 정량화하기 위해서는 촬영거리와 픽셀당 면적에 대한 회귀식을 활용하게 되며, 이때 교량 손상부위와 촬영자 간의 거리정보가 유일한 변수이다. 따라서 정확한 촬영거리 측정이 무엇보다 중요하기 때문에 본 연구에서 개발한 ARCore기반의 거리측정 프로토타입의 촬영거리 추정값과 실제거리 간의 비교를 통해 검증을 해보았다. 레이저 측정기기로 구한 거리값을 실제 거리로 보고 ARCore 기반 프로토타입으로 구한 거리와의 오차값과 실제거리 값에 대한 오차값의 비율을 오차율로 비교 검증해 보았다.

4.2.1 측정방법

프로토타입의 거리 측정값과 실제 거리와의 비교 실험을 위해 먼저 실험대상 교량의 하부에서 교대, 교각의 손상을 확인한다. 주된 손상 유형은 균열, 백태, 박리, 박락 등이 있었으며 해당 손상별로 이미지를 획득한다. [그림 11]과 같이 해당 위치에서 ARCore기반 프로토타입을 통해 거리정보를 취득하고 같은 위치에서 레이저 측정기기로도 마찬가지로 거리정보를 취득한다. 앞서 구한 회귀식에 따라 384mm이상 떨어진 곳에서 촬영하였으며 촬영 대상과 8,000mm이상 떨어진 곳에서는 ARCore기반 프로토타입으로 측정하는 것이 불가능하였다.



[그림 11] 실제 교량 현장에서의 테스트 수행

[Fig. 11] Conducting tests on real bridge sites

4.2.2 측정결과에 대한 정확도 평가

ARCore기반 프로토타입과 레이저 측정기기 각각으로 구한 거리 값과 오차 및 오차율은 [표 2]와 같다. 촬영거리는 4,000~8,000mm사이로 하였고 가장 적은 오차는 1,677mm에서 0, 가장 큰 오차는 5,810mm에서 95mm로 나타났다. 평균오차는 41mm이고 평균 오차율은 1.787%이다. 측정거리의 오차는 곧 정량화된 데이터의 오차와 같기 때문에 본 연구에서 개발한 ARCore기반 프로토타입의 거리측정 오차는 50mm 이내라고 볼 수 있다. 이는 실제 점검·진단 작업에서 줄자 등으로 잴 때 발생하는 오차 수준이며 이 거리값을 통해 구해지는 정량화 데이터 또한 정밀하다는 것을 의미한다.

[표 2] 프로토타입과 실제거리와의 오차 및 오차율

[Table 2] Error and error rate between prototype and actual distance

ARCore(mm)	레이저 측정기기(mm)	오차(mm)	오차율(%)
470	483	13	2.692
662	694	32	4.611
1,013	1,046	33	3.155
1,023	1,043	20	1.918
...
4,864	4,903	39	0.795
4,927	5,019	92	1.833
5,905	5,810	95	1.635
7,741	7,680	61	0.794
평균		41	1.787

5. 결론

이미지를 통해 도로교 손상 객체를 정량화하기 위해서는 물체와의 거리 정보가 반드시 필요하다. 그리고 이를 정확하게 측정하기 위한 방법으로는 ToF나 DFD 등과 같은 다양한 기법들이 존재한다. 이들 기법을 활용하면 보다 정확한 거리정보를 구할 수 있으나, 본 연구에서는 작업자의 편의성을 고려하고 추가적인 비용이 소요되는 센서를 활용하지 않는 스마트폰 기기를 활용한 거리측정 기법을 제안하였다. 이 때 거리측정을 위한 방법은 별도의 하드웨어에 의존하지 않고 스마트폰 자체에 내장된 센서와 소프트웨어적인 알고리즘을 통해서 해결한다. 따라서 측정되는 거리 값에 대한 신뢰성 확보가 필요하고 이를 검증하는 실험을 수행하였다.

먼저 간단한 실험을 통해 거리값과 픽셀당 크기정보 간의 회귀식을 도출하였다. 이를 통해 거리값을 통한 정량화가 가능함을 보였으며, 촬영시에 최소 이격거리가 필요함을 알 수 있었다. 그리고 개발한 ARCore기반 프로토타입이 실제 교량 현장에서 정확한 거리정보를 제공할 수 있는지 확인하기 위한 테스트를 진행하였다. 그 결과 평균 41mm의 오차가 발생함을 알 수 있었고 이는 개발된 ARCore기반 프로토타입이 교량 손상 정량화에 충분히 활용이 가능하다는 것을 보여준 것이다. 그러나 거리정보를 획득하기 위한 촬영범위가 약 4,000mm~8,000mm로 제한적이었고 촬영 현상이 너무 어둡거나 밝은 경우에도 거리정보 획득이 불가능하다는 한계가 존재하였다.

교면 포장공사 이후에 품질관리나 예방적 유지관리를 위해서는 손상에 대한 정량화 정보와 더불어 실제 교면부에 부착된 IoT 센서에서 수집된 빅데이터를 가공하고 분석할 수 있는 IoT 플랫폼과의 연계가 필요하다. 이는 현재 국내에서 도로교통과 관련된 IoT 교면정보 수집 플랫폼이 개발되고 있는 시점으로, 수년 내 해당 기술과의 연계는 현실화 될 것으로 보인다.

향후 연구로는 ARCore외에도 ToF나 LiDAR센서가 내장된 스마트폰을 활용하여 보다 정밀한 거리정보를 구하는 연구가 필요할 것으로 보이며, 손상 정량화를 위해 이미지로부터 손상부위만을 자동 추출해 내는 딥러닝 기반 Segmentation 모델을 연구하고자 한다.

References

- [1] R. Amhaz, S. Chambon, J. Idier, V. Baltazart, “Automatic crack detection on 2D pavement images: An algorithm based on minimal path selection”, *IEEE Transaction on Intelligent Transportation System*, vol. 17, no. 10, October 2016, pp. 2718-2729, doi: 10.1109/TITS.2015.2477675.
- [2] L. Cui, Z. Qi, Z. Chen, F. Meng, Y. Shi, “Pavement distress detection using random decision forests”, *International Conference on Data Science*, August 8-9, 2015, Sydney, Australia, pp. 95-102, doi: 10.1007/978-3-319-24474-7_14.
- [3] S. Dorafshan, J. R. Thomas, M. Maguire, “Comparison of deep learning convolutional neural networks and edge detectors for image-based crack detection in concrete”, *Journal of Construction and Building Materials*, vol. 186, October 2018, pp. 1031-1045, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.011.
- [4] Y. I. Lee, B. H. Kim, S. J. Cho, “Image-based spalling detection of concrete structures using deep learning”, *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 30, no. 1, February 2018, pp. 91-99, doi: 10.4334/JKCI.2018.30.1.091.
- [5] S. Chen, X. Fang, J. Shen, L. Wang, L. Shao, “Single-image distance measurement by a smart mobile device”, *IEEE transactions on cybernetics*, vol. 47, iss. 12, December 2017, pp. 4451-4462, doi: 10.1109/TCYB.2016.2611599.
- [6] E. Ching, R. Alfred, M. A. Hijazi, T. T. Guan, “An Android Mobile-based Measurement Application-Object and Interior Room Measurement App”, *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 14, no. 20, December 2020, pp. 135, doi: 10.3991/ijim.v14i20.15415.
- [7] D. Y. Wang, J. S. Kim, T. G. Whang-bo, “A Design and Evaluation of Distance Measurement System Based on Mobile Platform”, *Korea Information Processing Society Conference*, May 10-11, 2013, Busan, Korea, pp. 371-373, doi: 10.3745/PKIPS.y2013m05a.371.
- [8] H. J. Kim, S. Y. Chi, “Principles and Trends of Depth Estimation”, *Journal of Information Technology and Applied Engineering*, vol. 9, no. 1, June 2019, pp. 37-43, doi: 10.22733/JITAE.2019.09.01.005.
- [9] S. G. Kim, Y. M. Ko, C. K. Bae, D. J. Kim, “3D Depth Estimation by a Single Camera”, *The Korean Institute of Broadcast and Media Engineers*, vol. 24, no. 2, March 2019, pp. 281-291, doi: 10.5909/JBE.2019.24.2.281.
- [10] N. Neshov, A. Manolova, “Objects distance measurement in augmented reality for providing better user experience”, *International Scientific Conference of Communications, Information, Electronic and Energy Systems*, November 26-29, 2020, Borovets, Bulgaria, pp. 1-6, doi: 10.1088/1757-899X/1032/1/012020.
- [11] K. Tsotsos, “A deep dive into ARCore”, *io.google*, <https://io.google/2022/program/eb1019d3-13c9-4a67-a090-17d8f85c2a80/>, (accessed September 15, 2022).