

Research Paper

체커보드 종류 및 촬영조건에 따른 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘 정확도 분석

Evaluating the Accuracy of an OpenCV-Based Length Measurement Algorithm: The Impact of Checkerboard Type and Capturing Conditions

김현민¹ · 권우빈² · 김하림² · 김형준¹ · 송승호³ · 조훈희^{4*}

Kim, Hyeonmin¹ · Kwon, Woobin² · Kim, Harim² · Kim, Hyungjun¹ · Song, Seung Ho³ · Cho, Hunhee^{4*}

¹Master's Course, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seongbuk-Gu, Seoul, 02841, Korea

²Ph.D Candidate, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seongbuk-Gu, Seoul, 02841, Korea

³Ph.D Course, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seongbuk-Gu, Seoul, 02841, Korea

⁴Professor, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seongbuk-Gu, Seoul, 02841, Korea

*Corresponding author

Cho, Hunhee

Tel : 82-2-3290-3328

E-mail : hhcho@korea.ac.kr

Received : November 17, 2023

Revised : November 27, 2023

Accepted : December 4, 2023

ABSTRACT

The OpenCV-based length measurement algorithm is anticipated to be effective for length measurement inspection tasks, providing objective inspection outcomes. Nonetheless, there is a notable gap in research regarding the influence of various checkerboard types and capturing conditions on the algorithm's accuracy in real-world construction settings. Consequently, this study proposes a methodology employing an OpenCV-based length measurement algorithm and checkerboard for digital construction inspection tasks. The findings suggest that using a checkerboard with square sizes of A4 or larger, and 50mm or larger, is optimal for capturing distances and angles within 4m and 90°, respectively, when deploying the algorithm. These insights are anticipated to provide practical guidelines for professionals conducting digital-based length measurement inspections.

Keywords : digital inspection, length measurement, OpenCV, checkerboard type, capturing condition

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

공사감리는 건축물이 설계도서의 내용대로 시공되는지 여부를 확인하고, 품질관리·공사관리 및 안전관리 등에 대하여 지도·감독하는 행위를 말한다. 공사감리자는 공사착수 전부터 공사완료까지 전 단계에 걸쳐 공사감리에 참여하며, 공사 단계에서는 하도급 적정성 검토, 공정관리, 시공지도 및 확인, 현장시공관리, 품질관리, 안전관리, 설계변경 적정여부의 검토·확인 업무를 수행한다[1]. 공사 단계의 주요 업무인 현장시공관리 시에는 해당공사의 특성, 공사의 규모 및 현장조건을 감안하여 수립한 검측체크리스트의 내용대로 시공되는지 육안검사·측량·입회·승인·시험 등을 통해 확인하게 된다. 검측업무는 공사감리자가 검측을 실시하고 검측결과를 시공자에게 통보하는 절차로 진행되는데, 검측결과가 불합격인 경우에 시공자는 보완시공 후 재검측을 받아야 한다[2].

위와 같은 감리업무의 수행 과정에서 알 수 있듯이 시공단계의 안전 및 품질관리 측면에서 감리업무는 중요하다. 그러나 최근 잇따른 건축물 붕괴사고로 감리자의 부실한 관리감독 문제가 지적을 받고 있다. 실제 국내에서 발생한 공동주택 붕괴사고는 구조검토서가 누락되거나 전단보강근이 미설치된 상황에서 공사감리자가 검측을 진행·승인한 것이 문제로 밝혀진 바



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

있다[3,4]. 이러한 부실감리의 주요 원인으로는 공사감리자 인력부족, 공사감리자의 과도한 업무량, 수동적인 검측업무 방식 등이 있다[5]. 한국토지주택공사(LH)의 ‘공사현장 감리인력 현황’에 따르면, LH가 자체감리하고 있는 공사현장의 85%가 법정 감리인력 기준을 미충족했으며, 부실시공 및 안전사고가 발생한 현장 대부분이 법정 감리인력을 배치하지 않았던 것으로 확인되었다[6]. 감리인력 부족은 업무량 가중으로 이어져 소수의 공사감리자가 수만 건에 달하는 검측업무를 실시한 뒤 검측 결과에 대한 감리보고서 작성까지 필요한 실정이다[7]. 또한, 현행 검측업무는 직접 개수를 세어 수량을 파악하고, 줄자를 이용해 길이를 측정한 뒤 설계도서와 대조하는 형식으로 수행되는데, 이러한 업무방식으로 인해 공사감리자는 직접 현장을 돌아다니며 검측을 실시해야 하므로 많은 시간이 소요되고, 육안으로 검측결과를 판정하여 오차가 발생할 수 있다[8].

현행 감리업무 수행과정에서 발생하는 문제를 해결하고자 정부는 신규 감리원 자격 완화 및 감리원 배치현황 제출 업무 전산화 등을 통해 신규 감리원 확보의 어려움을 해소하고, 감리원의 다수 현장 불법 이중배치를 방지할 수 있도록 감리제도를 개선했다. 건설현장에서는 디지털 기술의 보급이 가속화되면서 기존의 전통방식의 검측업무에서 벗어나 BIM(Building information modeling), AR(Augmented reality), LiDAR(Light detection and ranging), 컴퓨터비전(Computer vision)을 활용한 검측업무를 도입하기 시작했다[8,9]. 그중 컴퓨터비전은 컴퓨터가 이미지나 비디오를 처리해 유의미한 정보를 추출하고 해석하여 인식, 분류, 추적 등의 작업을 수행하는 기술로 LiDAR와 함께 현장정보 획득(스캐닝)기술로 사용되며, 이를 통해 수집된 정보를 토대로 현장정보를 인식하고 판정하게 된다[10]. 컴퓨터비전은 LiDAR와 비교했을 때 촬영 환경에 의한 민감도가 높고 많은 양의 정보처리가 필요하다는 단점이 존재하지만, 카메라를 통한 정보수집이 가능해 비용이 상대적으로 저렴하고 물체의 형태와 색깔, 종류를 파악할 수 있다는 장점을 지닌다는 점에서 검측업무를 보조할 수 있는 기술로서 활용 가치가 높다[11,12].

오픈소스로 개발되고 있는 컴퓨터비전 라이브러리인 OpenCV(Open source computer vision)를 활용하여 객체 간의 거리를 측정할 수 있다. 검측업무에서 길이측정은 상당 비중을 차지하는데, 공사감리자가 줄자를 이용해 직접 길이를 측정하는 현행 방식 대신 카메라로 이미지를 촬영한 뒤 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘으로 검측업무를 수행한다면 업무의 효율성 향상과 함께 객관적이고 명확한 검측결과를 제시할 수 있다[7]. 그러나, 카메라는 3D 이미지를 2D로 투영하는 과정에서 왜곡을 발생시키므로 이를 보정하기 위해서는 카메라의 내부 파라미터(Intrinsic parameters)와 외부 파라미터(Extrinsic parameters)를 알아야 한다[13]. 내부 파라미터의 경우에는 이미지 내에서 패턴이 뚜렷하고 쉽게 감지할 수 있는 체커보드(Checkerboard)와 같은 샘플 이미지를 사용해 찾아낼 수 있다. 외부 파라미터의 경우에는 카메라 캘리브레이션(Camera calibration)을 통해 구한 내부 파라미터를 이용하여 찾아낼 수 있다. 따라서, 체커보드의 크기 및 내부 정사각형의 크기(이하 Square size)와 이미지 촬영 거리 및 각도에 따라 카메라 파라미터가 달라지므로 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘 적용에 앞서 언급한 각각의 변인들이 해당 기술의 정확도에 미치는 영향을 파악해야 한다. 특히, 다양한 크기의 검측 대상이 존재하고 촬영 환경이 제한적인 건설 현장의 특성상 촬영 거리 및 각도가 달라질 수 있고, 이는 해당 기술의 정확도에 영향을 미칠 수 있다.

이에 본 연구에서는 체커보드의 크기 및 Square size와 이미지 촬영 거리 및 각도에 따른 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘의 측정 오차를 분석하여, 해당 기술을 활용한 검측업무 수행에 적합한 체커보드와 촬영방법을 제시하고자 한다. 본 연구의 결과는 건설현장에 디지털 기반 시공감리 기술 도입 시 길이측정 검측업무에 대한 가이드라인으로써 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘의 측정 정확도에 영향을 미치는 변수로 체커보드의 크기 및 Square size와 이미지 촬영 거리 및 각도로 한정하였으며, 본 연구의 수행절차는 Figure 1과 같다.

첫째, 예비적 고찰에서는 카메라 캘리브레이션 및 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘의 원리를 설명하고, 체커보드가 길이측정 정확도에 미치는 영향에 관한 선행 연구와 건설분야 내 길이측정 기술 개발에 관한 선행 연구를 고찰하여 본 연구의 차별성을 제시하였다.

둘째, 체커보드의 크기, 체커보드의 square size, 이미지 촬영 거리, 이미지 촬영 각도를 각각 조작변인으로 설정하여, 해당 조작변인이 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘에 미치는 영향을 확인하는 실험을 진행하였다.

셋째, 실험을 통해 수집한 데이터를 분석하여 앞서 언급한 조작변인에 의해 발생하는 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘 측정 결과의 오차범위를 산정하고, 해당 알고리즘을 통한 길이측정 검측업무 수행 시 정확도 향상을 위한 가이드라인을 제안하였다.

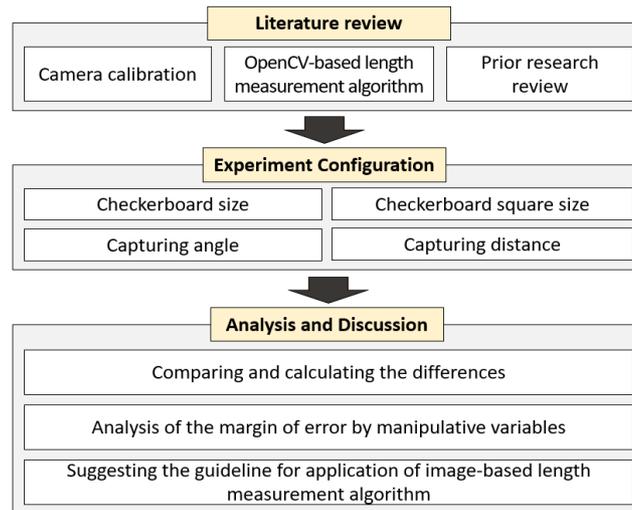


Figure 1. Research methodology employed in this study

2. 예비적 고찰

2.1 카메라 캘리브레이션(Camera calibration)

카메라 영상은 3차원 공간상의 점들을 2차원 이미지 평면에 투영함으로써 얻어지는데, 그 과정에서 깊이 정보를 소실하게 된다. 따라서, 카메라 영상을 이용한 3차원 또는 기하학적 해석을 위해서는 카메라 캘리브레이션(Camera calibration)이 반드시 선행되어야 한다. 카메라 캘리브레이션은 3차원 공간좌표와 2차원 영상좌표의 변환 관계를 설명하기 위해 카메라의 외부 파라미터(Extrinsic parameters)와 내부 파라미터(Intrinsic parameters)를 계산하는 과정으로, 이를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다[14,15]. (X,Y,Z)는 월드 좌표계(World coordinate system) 상의 3D 공간좌표로, Intrinsic camera matrix인 A와 월드 좌표계를 카메라 좌표계로 변화시키는 회전/이동변환 행렬인 [R|t]를 통해 2차원 영상좌표로 변환된다. 이때, A와 [R|t]를 각각 내부 파라미터, 외부 파라미터라고 부르며, 이들을 합쳐서 카메라 파라미터(Camera Parameters)라고 한다.

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & skew_cf_x & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = A[R | t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

내부 파라미터는 초점거리(Focal length), 주점(Principal point), 비대칭 계수(Skew coefficient)로 구성된다. 초점거리는 렌즈 중심과 이미지 센서와의 거리로 픽셀(Pixel) 단위로 표현되며, 초점거리는 카메라 렌즈의 화각, 확대·축소 정도를 결정하는 요소이다. 동일한 카메라로 촬영한 영상이라고 할지라도 해상도에 따라 이미지 센서 1개의 픽셀에 대응하는 물리크기

가 변하기 때문에 초점거리도 바뀌게 되므로, 카메라 캘리브레이션 시 초점거리를 고려해야 한다. 주점은 카메라 렌즈의 중심에서 이미지 센서에 내린 수선의 발에 대한 영상 좌표로 초점거리와 동일하게 픽셀단위로 표현되며, 물리적으로 구성된 카메라의 실제적인 중심 좌표를 의미한다. 주점은 일반적으로 영상의 중심점과 동일하지만, 카메라 조립과정에서 렌즈와 이미지 센서의 수평이 어긋나면 주점과 영상 중심점이 다른 값을 갖게 된다. 영상의 모든 기하학적 해석은 주점을 이용하여 이루어지기 때문에, 영상기하학에서 주점은 매우 중요한 파라미터이다. 비대칭 계수는 이미지 센서 픽셀 배열의 y축이 기울어진 정도로 0에 가까울수록 픽셀 격자가 대칭적으로 정렬되어 있음을 의미한다. 최근의 카메라는 Skew 에러가 거의 없기 때문에 카메라 모델에서 별도로 비대칭 계수를 고려할 필요가 없다.

외부 파라미터는 카메라와 외부공간과의 기하학적 관계에 관련된 파라미터로 카메라 좌표계와 월드 좌표계 사이의 변환 관계를 설명한다. 외부 파라미터의 경우, 카메라 고유의 파라미터가 아니기 때문에 카메라를 어떤 위치에서 어떤 방향으로 설치했는지에 따라 달라지게 된다. 카메라의 외부 파라미터를 구하기 위해서는 먼저 카메라의 내부 파라미터를 구한 뒤, 미리 알고 있는 또는 샘플로 뽑은 3차원 공간좌표-2차원 영상좌표 매칭 쌍을 이용하여 이들의 변환관계를 파악하면 된다.

2.2 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘

본 연구에서 사용한 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘은 카메라 캘리브레이션을 통해 구한 내·외부 파라미터를 토대로 월드 좌표계와 이미지 평면상의 기하학적 관계를 파악하여 원하는 대상의 길이를 측정하는 방식이다. 카메라 내부 파라미터 캘리브레이션의 경우에는 Zhang's method를 활용하여 사전에 촬영한 체커보드 이미지 20장에 대해 캘리브레이션을 수행하며, 카메라 외부 파라미터 캘리브레이션의 경우에는 OpenCV 라이브러리인 SolvePnp 함수를 사용하여 4개 이상의 월드좌표계와 이에 대응하는 이미지 지점을 통해 캘리브레이션을 수행하게 된다.

월드좌표계와 이미지 평면 상의 기하학적 관계를 토대로 카메라 원점으로부터 정규 이미지 평면(Normalized image plane) 상의 한 점을 지나는 벡터를 계산하면 해당 벡터가 가상의 평면과 만나는 지점의 월드 좌표를 도출할 수 있다. 이러한 원리를 적용하면 임의의 지점에 대한 월드 좌표를 알 수 있으므로 이미지 평면 상에서 길이를 측정하고자 하는 2개의 지점에 대한 월드 좌표를 도출한 뒤, 두 좌표 간의 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 계산하면 길이를 측정할 수 있다.

2.3 기존 연구 고찰

컴퓨터비전 기술을 기반으로 한 길이측정에 관한 선행 연구들이 국내외에서 활발히 진행되고 있다. Sarker et al.[16]의 연구에서는 ZED camera를 활용하여 콘크리트 균열의 길이와 깊이를 측정하는 방법을 제시하였지만, ZED 카메라라는 별도의 장치와 전용 소프트웨어가 필요하고 촬영 가능한 각도가 120°로 제한된다는 한계가 있다. Yang et al.[17]은 FCN(Fully convolution network)을 활용하여 픽셀수준에서의 균열을 탐지하고 길이를 측정하여 도로 표면 이미지 상의 균열탐지 모델인 CrackNet에 비해 학습시간이 감소시켰다. 하지만, FCN 적용 시 균열 간 교차점 및 이미지 내 가장자리에 위치한 균열의 감지가 부정확하게 수행되어 오차율은 13.27~177.79%로 비교적 크게 나타났으며, 픽셀 단위의 균열 데이터를 실제 길이로 변환하는 과정 및 실시간 이미지 처리 능력에 대한 보완이 필요하다. Carrasco et al.[18]은 Anisotropic smoothing, Segmentation, Stabilized central points by k-means adjustment로 이루어진 3단계 알고리즘을 통해 false crack을 최소화하여 오차 0.15mm 내외로 길이를 측정하였으나, 이는 제한된 데이터 샘플만을 통해 도출된 결과라는 한계가 있다. 또한, Kwon et al.[19]의 연구에서는 두 가지 크기의 체커보드를 이용하여 카메라 캘리브레이션의 정확도를 비교하였다. Kim and Kwon[20]은 체커보드의 크기, 타겟의 크기와 타겟점의 개수에 따른 카메라 캘리브레이션의 정확도를 비교하였다. 이들의 연구는 내부 파라미터 캘리브레이션에 영향을 미치는 체커보드만을 변수로 설정하였기 때문에 외부 파라미터 변화가 정확도에 미치는 영향을 파악할 수 없다.

기존의 연구에서는 길이측정의 대상을 콘크리트 균열로 한정하고 있어 검측업무의 다양한 길이측정 대상에 대한 분석은

미흡한 실정이다. 또한, 체커보드 크기 및 체커보드를 구성하는 타겟 크기와 개수에 따른 카메라 캘리브레이션의 정확도를 비교하는 연구가 수행되었으나, 해당 연구들은 내부 파라미터 캘리브레이션에 영향을 미치는 체커보드만을 조작변인으로 설정했다는 한계를 갖고 있다.

또한, 건설현장의 경우 협소한 촬영 공간, 현장에 설치된 가설 장비 등 원활한 촬영을 방해하는 요소들이 존재한다. 이러한 제한적인 환경 특성을 고려하여 체커보드 유형뿐만 아니라 촬영거리 및 각도와 같이 외부 파라미터 캘리브레이션에 영향을 미치는 요인들을 반영한 다양한 조건에서의 길이측정 정확도 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 체커보드의 유형과 이미지 촬영 거리 및 각도를 조작변인으로 설정하고 그에 따른 정확도를 비교하고자 한다.

3. OpenCV 기반 길이측정 알고리즘 정확도 측정 실험

3.1 실험 개요

본 연구에서 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘의 정확도 측정을 위한 실험절차는 아래 Figure 2와 같다.

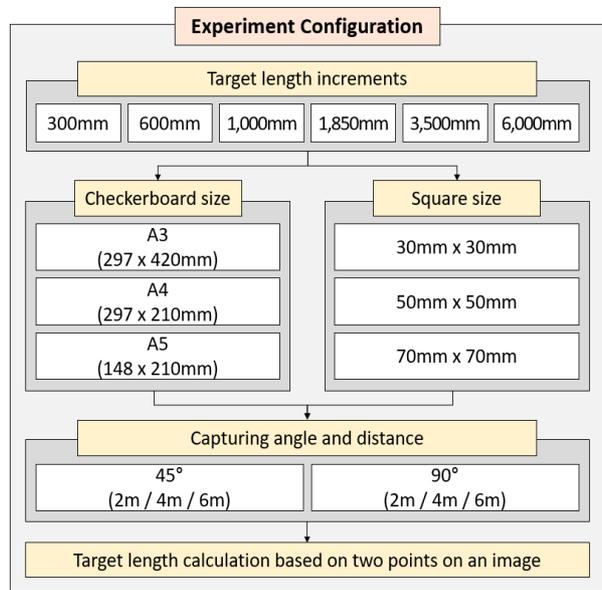


Figure 2. Experiment procedure outline of this study

건설현장 내 검측대상의 길이는 짧게는 300mm부터 길게는 6,000mm 내외에 이를 정도로 다양하게 분포하므로 이를 포괄할 수 있도록 국토교통부에서 고시한 설계기준과 표준시방서를 참고하여 철근의 중심 간격(300mm), 철근의 이음부(600mm), 철근고임재 및 간격재 배치 간격(1,000mm), 비계기둥의 간격(1,850mm), 동바리 수평 연결재 설치 높이 기준(3,500mm) 연장스팬 길이(6,000mm)를 길이측정 대상으로 선정하였다.

체커보드의 크기(Checkerboard size)는 일반적으로 출력이 용이한 규격인 A3(420×297mm), A4(297×210mm), A5(210×148mm)로 설정하였고, 체커보드를 구성하는 각각 30×30mm, 50×50mm, 70×70mm 크기의 사각형(Square)이 각 규격의 용지에 왜곡 없이 출력 가능한 최대 행·열 수로 체커보드 배열(Checkerboard type)을 결정하였다. 실험에 사용된 체커보드의 종류와 상세 규격은 아래 Table 1과 같다.

이미지 내의 길이측정 대상의 현상이 크게 표시될수록 명확하게 파악할 수 있고, 길이측정을 위한 양 끝 점(Point)의 지정

이 용이하기 때문에 본 실험에서 촬영 거리는 설정한 측정 대상 길이를 이미지 프레임 안에 가능한 한 크게 촬영할 수 있는 거리로 설정하였다. 촬영거리 2m에서는 측정 대상 최대 1,850mm, 촬영거리 4m에서는 최대 3,500mm, 6m에서는 모든(최대 6,000mm) 측정 대상 길이를 촬영할 수 있기 때문에 2m, 4m, 6m를 실험 조건으로 설정하였다. 본 실험에서 설정한 촬영 거리 별 촬영 가능한 길이측정 대상은 아래 Table 2와 같다. 촬영 각도의 경우 이미지 왜곡을 최소화하여 촬영할 수 있는 가장 이상적인 위치인 정면 촬영(90°)과 측정 대상 평면과 정면 촬영의 중간값(45°)을 측면 촬영으로 하여 수평 각도를 설정하였다. 두 가지 경우 모두 수직 각도는 정면 촬영(90°)에서 변경하지 않았다.

Table 1. Typology of checkerboard used

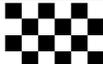
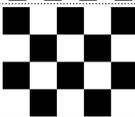
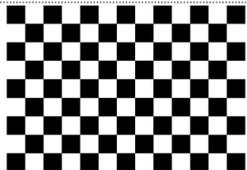
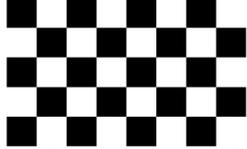
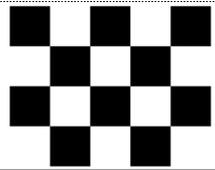
Checkerboard name	Paper Size (Checkerboard size)	Square size	Checkerboard type (Patterns of square)	Checkerboard image
A5_30	148×210mm (120×180mm)	30×30mm	6×4	
A4_30	297×210mm (270×180mm)	30×30mm	9×6	
A4_50	297×210mm (250×200mm)	50×50mm	5×4	
A3_30	420×297mm (390×270mm)	30×30mm	13×9	
A3_50	420×297mm (400×250mm)	50×50mm	8×5	
A3_70	420×297mm (350×280mm)	70×70mm	5×4	

Table 2. Incremental distances for specified capturing ranges

Capturing distance	Distance increments					
2m	300mm	600mm	1,000mm	1,850mm	-	-
4m	300mm	600mm	1,000mm	1,850mm	3,500mm	-
9m	300mm	600mm	1,000mm	1,850mm	3,500mm	6,000mm

3.2 실험 내용 및 결과

3.2.1 실험 방법

본 연구는 향후 길이측정 기술의 현장 적용 시의 상황을 모사하기 위하여 인천광역시 부평구에 위치한 OO아파트 공사현장에

서 실험을 수행하였다. 실제 현장에서의 기술 적용 시 촬영 장비의 기능 편의성, 휴대성 등을 고려하여 촬영 장비는 Apple社의 스마트폰인 iPhone 12의 내장 카메라를 사용하였다. 내장 카메라는 광각, 초광각의 2가지 화각대의 카메라로 구성되어 있는데, 이 중 광각 화각대의 카메라만을 사용하여 촬영하였다. 촬영 거리 및 각도는 아래 Figure 3, 4와 같이 실험 공간 바닥면에 마킹하여 촬영 위치를 표시하였다. 촬영 수직 각도의 경우 스마트폰 카메라 어플리케이션의 내장 기능을 활용하여 각도가 기울어지지 않도록 조정하였다. 촬영 시의 이미지 흔들림과 왜곡을 최소화하기 위하여 삼각대를 사용하여 실험을 수행하였고, 같은 조건의 길이 측정 경우별로 3장의 사진을 촬영하여 길이측정 알고리즘으로 사진마다 각각 길이측정을 수행하였다. 길이측정 알고리즘을 기반으로 계산된 측정 결과는 대상의 실제 길이를 기준으로 길이 차이를 계산하고, 오차율을 산정하여 측정 정확도를 분석하였다.



Figure 3. Onsite data capture at 4m, 90° angle



Figure 4. Onsite data capture at 2m, 90° angle

3.2.2 체커보드의 크기 및 Square size별 오차율 분석

본 연구에서 진행한 실험에서 같은 조건에 대한 길이측정 대상마다 3번의 측정값이 도출되었으며, 이를 기반으로 특정 촬영 조건, 체커보드 조건별로 측정된 모든 길이측정 오차에 대한 평균 오차율을 계산하였고 이는 아래 Figure 5와 같다. 체커보드 크기에 따른 오차율의 변화를 확인하기 위해 A5_30, A4_30, A3_30 체커보드를 사용한 길이측정 결과를 비교해보면 아래 Figure 6과 같이 촬영 각도가 90°인 상황에서는 오차율이 모두 1% 내외였으며, 오차율이 일정한 경향성을 보이지 않았다. Figure 7과 같이 촬영 각도가 45°인 상황에서도 촬영 거리가 6m인 상황을 제외하고는 오차율이 모두 1% 내외였다. 하지만, 촬영 각도가 45°인 상황에서는 체커보드 크기가 작을수록 오차율이 증가하는 경향성을 보였으며, 촬영 거리가 멀어질수록 체커보드 크기에 따른 오차율의 편차도 증가하는 양상을 보였다.

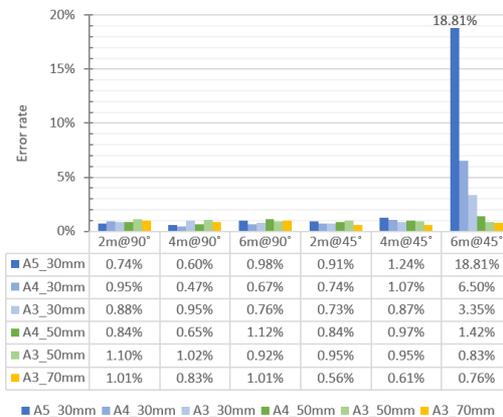


Figure 5. Error rates across various checkerboard sizes

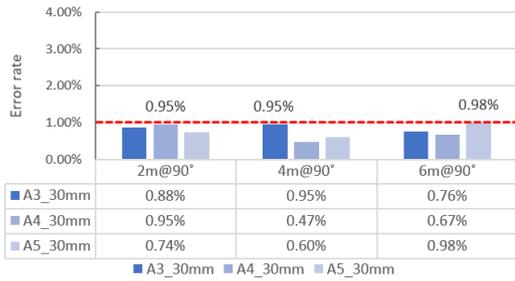


Figure 6. Error rates by checkerboard size at a 90° angle



Figure 7. Error rates by checkerboard size at a 45° angle

Square size 차이에 따른 오차율의 변화는 아래 Figure 8, 9를 통해 확인할 수 있다. A3_30, A3_50, A3_70 체커보드를 사용한 경우를 비교해보면, Figure 8과 같이 촬영 각도가 90°인 경우, 오차율이 모두 1% 내외였으며 오차율이 일정한 경향성을 보이지 않았다. Figure 9와 같이 촬영 각도가 45°인 경우도 촬영 거리가 6m인 조건을 제외하고 오차율이 모두 1% 내외의 결과를 보였다. 그러나, 촬영 각도가 45°이고 촬영 거리가 6m인 경우에 한해서는 Square size가 작을수록 오차율이 증가하는 경향성을 보였다. 또한, 동일한 상황에서 Square size가 30×30mm 이하인 A5_30, A4_30, A3_30에 대해서 체커보드 크기에 관계없이 오차율이 각각 18.81%, 6.50%, 3.35%로 매우 큰 오차를 보였다.

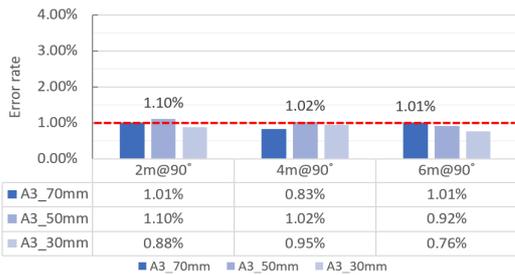


Figure 8. Error rates by square size at a 90° angle

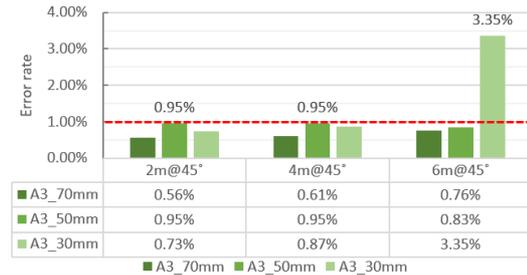


Figure 9. Error rates by square size at a 45° angle

3.2.3 촬영 거리 및 각도

촬영 거리가 2m에서 4m로 멀어지는 경우에 오차율은 체커보드 유형과 촬영 각도에 관계없이 1% 내외였지만, 촬영 각도가 45°인 경우에 한해서 오차율이 증가하는 경향성을 보였다. 아래 Figure 10과 같이 촬영 거리가 4m에서 6m로 멀어지는 경우에 촬영 각도가 90°인 상황에서는 오차율 1% 내외의 결과를 보였다. Figure 11과 같이 촬영 각도가 45°인 경우에는 A4_50, A3_50, A3_70의 오차율은 1% 내외였지만, Figure 12와 같이 A5_30, A4_30, A3_30의 오차율이 각각 18.81%, 6.50%, 3.35%로 촬영 거리가 4m일 때 대비 17.57%p, 5.43%p, 2.48%p 증가하는 결과를 보였다.

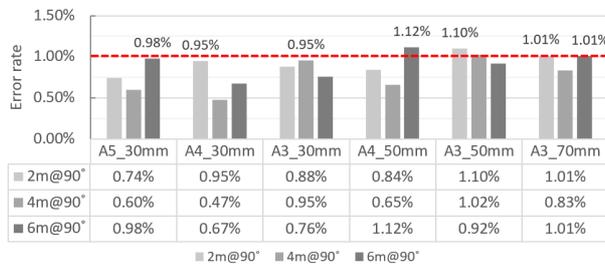


Figure 10. Error rates correlated with capturing distance at 90°

촬영 거리가 4m 이내인 경우, 촬영 각도에 관계없이 오차율이 1% 내외로 나타났지만, 촬영 거리가 6m인 경우는 오차율이 촬영 각도에 따라 큰 차이를 보였다. 촬영 각도가 90°인 경우는 6개의 체커보드 모두 오차율이 1% 내외였지만, 촬영 각도가 45°인 경우에는 6개 중 4개의 체커보드의 오차율이 촬영 각도 90°인 경우 대비 증가하였다. 특히, A5_30, A4_30, A3_30 체커보드를 사용하여 촬영 각도 45°의 조건으로 길이를 측정할 경우, 동일 체커보드를 사용하여 촬영 각도 90°의 조건으로 촬영한 경우보다 4배 이상 큰 측정 오차를 보였다.

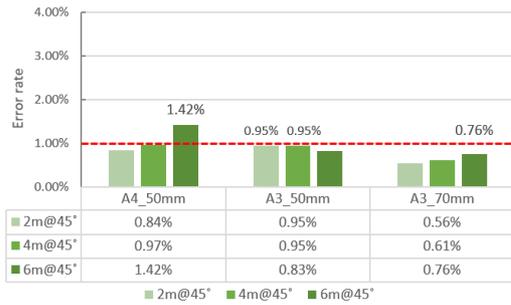


Figure 11. Error rates by capturing distance at 45°(for square size≥50×50mm)

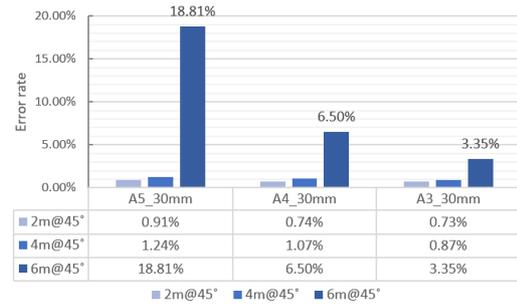


Figure 12. Error rates by capturing distance at 45°(for square size of 30×30mm)

3.2.4 측정대상 길이

A4_50 체커보드를 사용하여 길이를 측정할 경우, 측정대상의 실제 길이와 측정된 값의 차이는 Table 3, 4와 같다. 측정대상 길이가 1,000mm 이하인 경우, 측정대상의 실제 길이와 측정값의 차이는 일정한 경향성을 보이지 않았으며, 촬영 각도가 45°이고 촬영 거리가 6m인 경우를 제외하고는 오차율도 1% 내외로 나타났다. 촬영 각도가 45°이고 촬영 거리가 6m인 경우의 오차율은 2.62%로 비교적 크게 나타났는데, 이는 실제 길이와 측정값의 차이는 측정대상 길이가 600mm 또는 1,000mm인 경우보다 작으나 측정대상 길이가 이들보다 작아 오차율이 크게 산정된 것으로 판단된다. 반면, 측정대상 길이가 1,850mm 이상인 경우, 측정대상의 실제 길이와 측정값의 차이는 오차율과 함께 측정대상 길이가 길어짐에 따라 증가하는 경향성을 보였다. 이러한 경향성은 A4_50 체커보드 뿐만 아니라 본 실험에 사용된 다른 체커보드를 사용한 경우에도 모두 동일하게 나타났다.

Table 3. Average discrepancy between actual and measured lengths using A4_50

	300mm(mm)	600mm(mm)	1,000mm(mm)	1,850mm(mm)	3,500mm(mm)	6,000mm(mm)
2m@90°	1.6	1.4	10.3	28.8	-	-
4m@90°	1.9	1.1	4.1	10.9	51.1	-
6m@90°	4.6	6.2	6.8	8.2	40.2	110.7
2m@45°	0.9	3.6	7.9	31.2	-	-
4m@45°	1.9	5.6	8.5	17.8	52.5	-
6m@45°	7.9	9.0	13.2	5.4	36.1	106.9

Table 4. Margin of error for target length increments using A4_50

	300mm	600mm	1,000mm	1,850mm	3,500mm	6,000mm
2m@90°	0.54%	0.24%	1.03%	1.55%	-	-
4m@90°	0.62%	0.19%	0.41%	0.59%	1.46%	-
6m@90°	1.54%	1.03%	0.68%	0.44%	1.15%	1.85%
2m@45°	0.30%	0.59%	0.79%	1.69%	-	-
4m@45°	0.63%	0.93%	0.85%	0.96%	1.50%	-
6m@45°	2.62%	1.50%	1.32%	0.29%	1.03%	1.78%

3.3 OpenCV 기반 길이측정 검측업무 수행 가이드라인

건축법 시행규칙 제20조에서는 건축물 관련 건축기준의 허용오차를 2% 또는 3% 이내로 명시하고 있다[21]. 체커보드의 Square size가 30mm 이하인 체커보드를 사용 시 촬영 각도가 45°인 경우에는 체커보드 크기가 작아짐에 따라 오차율이 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, 촬영 각도가 45°이고 촬영 거리가 6m인 경우에 한해서는 Square size가 작을수록 오차율이 증가하는 경향성을 보였다. 따라서, 3% 이내라는 허용오차를 만족시키기 위해서는 검측업무 전 촬영조건에 따라 적절한 체커보드의 크기와 Square size를 결정하는 것이 권장된다.

촬영 거리가 6m인 경우, 오차율이 촬영 각도에 따라 큰 차이를 보이고, 촬영 각도가 45°인 경우는 촬영 거리가 증가함에 따라 오차율도 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서, 3% 이내라는 허용오차를 만족시키기 위해서는 촬영 각도 90°에서는 촬영 거리를 6m 이내, 촬영 각도 45°에서는 촬영 거리를 4m 이내로 촬영조건을 제한하여야 할 것으로 판단된다. 또한, 측정 대상의 길이가 1,850mm를 초과하게 되면 촬영 각도가 45°인 경우에서 촬영 각도가 90°인 상황 대비 오차율이 증가하는 결과를 보였다. 따라서, 측정대상의 길이가 1m를 초과하는 경우 촬영 각도가 정면(90°)이 되도록 촬영조건을 설정하는 것이 권장된다.

4. 결론

최근 국내에서 잇달아 발생한 건설현장의 부실시공 및 이로 인한 붕괴사고 등으로 인해 감리업무의 중요성이 대두되고 있으며, 공사감리자 인력부족, 과도한 업무량, 수동적인 업무 수행방식 등이 부실감리 문제를 야기하는 원인으로 지적되고 있다. 이에 현행 감리업무의 문제점을 해결하고자 제도적 개선과 더불어 건설현장에 디지털 기술의 보급을 가속화하고 있다. 특히, 컴퓨터비전을 통한 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘을 활용하면 검측업무의 상당 비중을 차지하는 길이측정을 보조할 수 있는 동시에 객관적이고 투명한 검측결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘 정확도 측정 실험을 통해 체커보드의 유형과 촬영조건이 해당 알고리즘의 정확도에 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 그 결과, 체커보드의 Square size가 30×30mm 이하인 경우와 촬영 거리가 6m, 촬영 각도가 45°인 경우에 오차율이 허용오차인 3%를 초과할 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서, OpenCV 기반 길이측정 알고리즘을 통한 검측업무 시 오차율을 감소시키기 위해서는 촬영 거리 4m 이내, 촬영 각도 90°의 조건 하, 체커보드 크기와 Square size를 각각 A4 이상, 50mm 이상으로 설정하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 건설현장에서 디지털 기술을 활용한 길이측정 검측업무 수행 시 가이드라인으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구는 체커보드의 유형과 촬영조건을 한정적으로 설정하여 건설현장의 다양한 변수를 반영하지 못했다는 한계가 있다. 향후 연구를 통해 촬영 각도 및 거리 등 실험조건을 다양화하여 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘이 실제 건설현장에 더욱 유연하게 적용될 수 있도록 연구를 수행할 예정이다.

요약

OpenCV 기반 길이측정 알고리즘은 길이측정 검측업무를 보조함과 동시에 객관적인 검측결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 건설현장 내에서 체커보드의 유형과 촬영조건이 해당 알고리즘의 정확도에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 디지털 기술을 활용한 검측업무 수행에 적합한 체커보드와 촬영방법을 제시하고자 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘 정확도 측정 실험을 수행하였다. 실험결과 OpenCV 기반 길이측정 알고리즘을 통한 검측업무 시 촬영거리 4m 이내, 촬영각도 90°의 조건 하, 체커보드 크기와 Square size를 각각 A4 이상, 50mm 이상으로 설정하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 디지털 기술을 통한 길이측정 검측업무 수행 시 가이드라인

으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 디지털 시공감리, 길이측정, 오픈 소스 컴퓨터 비전, 체커보드 유형, 촬영조건

Funding

This research was supported by a grant(RS-2022-00143493, project number:1615012983) from Digital-Based Building Construction and Safety Supervision Technology Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean Government.

ORCID

Hyeonmin Kim,  <https://orcid.org/0009-0005-7368-329X>

Woobin Kwon,  <https://orcid.org/0009-0008-6790-2363>

Harim Kim,  <https://orcid.org/0000-0003-0236-6105>

Hyungjun Kim,  <https://orcid.org/0009-0000-8731-6195>

Seung Ho Song,  <https://orcid.org/0009-0003-1657-3639>

Hunhee Cho,  <https://orcid.org/0000-0002-2010-6641>

References

1. Public notice on detailed standards for building supervision [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2020 Dec 24. Available from: <https://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EA%B1%B4%EC%B6%95%EA%B3%B5%EC%82%AC%EA%B0%90%EB%A6%AC%EC%84%B8%EB%B6%80%EA%B8%B0%EC%A4%80>
2. Enforcement rule of the construction technology promotion act [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2023 Dec 31. Available from: <https://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?admRulId=50884&efYd=&admRulNm=%EA%B1%B4%EC%84%A4%EA%B3%B5%EC%82%AC%EC%82%AC%EC%97%85%EA%B4%80%EB%A6%AC%EB%B0%A9%EC%8B%9D%EA%B2%80%ED%86%A0%EA%B8%B0%EC%A4%80%EB%B0%8F%EC%97%85%EB%AC%B4%EC%88%98%ED%96%89%EC%A7%80%EC%B9%A8>
3. Kim GY. Press release on the collapse of apartment under construction by Hyundai Development Company [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2022 Mar 14. Available from: <https://www.korea.kr/news/policyBriefingView.do?newsId=156499293>
4. Kim GC. Press release on the collapse of apartment underground parking lot under construction [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2023 Jul 5. Available from: <https://www.korea.kr/briefing/policyBriefingView.do?newsId=156579078>
5. Mohamed M, Tran D. Effective strategies for allocating construction inspection resources in highway projects. Proceeding of In Construction Research Congress 2020. 2020 Mar 8-10; Reston, VA. Washington D.C (WA); American Society of Civil Engineers; 2020. p. 953-62.
6. Jang CM. Press release on the supervision of construction sites with holes [Internet]. Seoul (Korea): The Minjoo Party of Korea;

- 2022 Sep 29. Available from: <https://theminjoo.kr/main/sub/news/view.php?brd=17&post=1064948>
7. Yuan X, Smith A, Sarlo R, Lippitt CD, Moreu F. Automatic evaluation of rebar spacing using LiDAR data. *Automation in Construction*. 2021 Nov;131:103890. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103890>
 8. Freimuth H, Konig M. Planning and executing construction inspections with unmanned aerial vehicles. *Automation in Construction*. 2018 Dec;96:540-53. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.016>
 9. Luo H, Lin L, Chen K, Antwi-Afari MF, Chen L. Digital technology for quality management in construction: A review and future research directions. *Developments in the Built Environment*. 2022 Dec;12:100087. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100087>
 10. Cho HH. Smart construction supervising service by using digital technologies. *Architecture*. 2022 Oct;66(10):35-9
 11. Jo SH, Kim TY. Drone obstacle avoidance algorithm using camera-based reinforcement learning. *Journal of the Korea Computer Graphics Society*. 2021 Nov;27(5):63-71. <https://doi.org/10.15701/kcgs.2021.27.5.63>
 12. Bolourian N, Hammad A. LiDAR-equipped UAV path planning considering potential locations of defects for bridge inspection. *Automation in Construction*. 2020 Sep;117:103250. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103250>
 13. Kim JO, Lee DW. Detecting boundaries and corner for calibration of multiple thermal camera. *Proceeding of Conference on Information and Control Systems*. 2020 Oct 22-24; Jeju, Korea. Seoul (Korea); the Korean Institute of Electrical Engineers; 2020. p. 297-8.
 14. Park CH, Lee DW. Calibrating a depth camera based on deep learning of a 2D planar surface. *The Transactions of the Korean Society Automotive Engineers*. 2019 Jul;27(7):521-7. <https://doi.org/10.7467/KSAE.2019.27.7.521>
 15. Choi JH, Choi SR. Camera calibration principles and technology trends. *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*. 2022 Jun;28(2):29-35.
 16. Sarker MM, Ali TA, Abdelfatah A, Yehia S, Elaksher A. A cost-effective method for crack detection and measurement on concrete surface. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2017 Nov;42:237-41. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W8-237-2017>
 17. Yang X, Li H, Yu Y, Luo X, Huang T, Yang X. Automatic pixel-level crack detection and measurement using fully convolutional network. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2018 Aug;33(12):1090-109. <https://doi.org/10.1111/mice.12412>
 18. Carrasco M, Araya-Letelier G, Velázquez R, Visconti P. Image-based automated width measurement of surface cracking. *Sensors*. 2021 Nov;21(22):7534. <https://doi.org/10.3390/s21227534>
 19. Kwon SI, Seo HD, Kim EM. Comparison of stereo camera calibration according to checkerboard size. *Proceeding of Conference on Korean Society for Geospatial Information Science*. 2020 Jun 12; Online. Seoul (Korea); Korea Spatial Information Society; 2020. p. 226-7.
 20. Kim EM, Kwon SI. Comparison of the accuracy of stereo camera calibration according to the types of checkerboards. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 2020 Dec;38(6):511-9. <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2020.38.6.511>
 21. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Enforcement Rule Of Building Act [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2023 Nov 1. Available from: <https://www.law.go.kr/LSW//lsInfoP.do?lsId=006191&ancYnChk=0#0000>