Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Vol. 39, No. 3, 179-186, 2021
https://doi.org/10.7848/ksgpc.2021.39.3.179

ISSN 1598-4850(Print)
ISSN 2288-260X(Online)
Original article

영상을 활용한 시설물 안전점검 작업 효율성 향상 방안 연구

A Study on Improving the Efficiency of Facility Safety Inspection Work Using Images

전경식[1] · 김진태[2] · 이병길[3]
Jeon, Kyungsik · Kim, Jintae · Lee, Byoungkil

Abstract

In general, the daily safety inspection activities, which investigate damages in structures and measures the size of the damage, have been relied heavily on the visual inspection so far. Since the probe of the condition and performance of facilities by such personnel is often dependent on the subjective judgment of the investigator, the consistency and repeatability of the probing results may reduce. Particularly, damage located in a difficult-to-reach place depends mainly on experience with the naked eye, and an unsafe method using a ladder has mainly applied when necessary. Therefore, in this study, we tried to propose a way of using images that can reduce the deviation between safety inspection investigators, enhance objectivity, and improve the safety of workers. In this study, we have applied homographic transformation as a method of correcting the image. As a result of analyzing the size of the damage in the corrected image of the test subject, it confirms that the accuracy of measuring the magnitude of the damage can satisfy the target levels of 5.0mm and 0.005m^2, the target accuracy levels. As a result of the field verification test to which the proposed image correction technique applied, the coefficient of variation of the crack length in the structure decreased from 5.4~7.0% to 0.072~0.12%, and that of the damaged area from 10.9% to 1.6%. It confirms that the measurement accuracy is improved. Therefore, it is expected that this study on the image utilization technique in safety inspection activities can increase the accuracy of damage measurement and improve the reliability of the safety inspection reports and exterior survey drawings.

Keywords : Facility, Safety Inspection, Homographic Transformation, Rectification, Scaling

초 록

일반적으로 구조물에서의 손상을 조사하고 손상 크기를 측정하는 일상안전점검 활동은 지금까지 점검인력에 의한 육안점검에 크게 의존하고 있다. 이러한 인력에 의한 시설물의 상태 및 성능점검은 조사자의 주관적 판단에 의존하는 경우가 많기 때문에 측정결과의 일관성과 반복성이 저하될 수 있다. 특히 접근이 어려운 곳에 위치한 손상은 육안에 의한 경험에 주로 의존하고 있으며, 필요한 경우에 사다리를 이용하는 안전하지 못한 방법이 주로 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 안전점검 조사자 간 편차를 줄여 객관성을 확보하고, 작업자의 안전성을 강화할 수 있는 영상 활용 기법을 제안하고자 하였다. 본 연구에서는 촬영대상과의 거리와 촬영각도에 따른 영상의 변화를 보정하는 방법으로 평면사영변환을 적용하였다. 실험대상에 대한 변환된 영상에서 손상 크기를 분석한 결과 손상 크기 측정의 정확도는 목표 수준인 5.0mm와 0.005m^{2}를 만족시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 제안된 영상 보정 기법을 적용한 현장검증시험 결과, 구조물에 발생된 균열의 길이의 변동계수는 5.4~7.0%에서 0.072~0.12%로 감소하였고, 손상 면적의 변동계수는 10.9%에서 1.6%로 줄어들었고, 측정의 정확도가 향상되는 것을 확인하였다. 그러므로 안전점검 활동에서의 영상 활용 기법에 대한 본 연구를 통해 손상 크기 측정 정확도 향상 및 안전점검 보고서와 외관조사망도에 대한 신뢰도 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 시설물, 안전점검, 평면사영변환, 편위수정, 축척변환

Received 2021. 05. 21, Revised 2021. 05. 28, Accepted 2021. 06. 09

1) Member, Dept. of Construction Safety, Ph.D. Student, Kyonggi University (E-mail: ilovecivil@naver.com)
2) Member, Dept. of Construction Safety, Ph.D. Student, Kyonggi University (E-mail: yongin-kjt@hanmail.net)
3) Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University (Email: basil@kgu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 제정 이후 특정관리대상시설물에서 편입된 제3종 시설물이 관리 대상으로 추가 지정되면서 점검 대상이 크게 늘어나고 있으며, 안전점검을 수행하기 위한 진단기관과 점검인력의 신규 유입이 늘어나고 있다(MoLIT, 2017; MoLIT. 2021). 숙련되지 않은 인력이 업무를 수행하게 되면서 균열, 손상면적과 같은 동일한 안점점검 대상 위험요인에 대한 측정에서 점검자간 편차는 물론이고 동일 점검자의 측정에 대한 반복성에 문제가 발생하고 있다.

현재 안전점검 분야에서는 시설물의 손상을 검출하기 위하여 영상분석 기법을 활용하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 고성능 카메라를 이용하여 콘크리트 구조물의 균열을 자동으로 검지하기 위한 영상분석이 시도되었다(Lee *et al*., 2012; Kim, 2016). 차량을 이용하여 터널 내부의 균열을 영상을 이용하여 검사할 수 있는 고속 카메라 장비가 개발되었고(Park, 2013), 터널 내의 조도 및 측정거리에 따라 균열 폭을 구분하는 방법이 개발되었다(Cho *et al*., 2014). 영상 촬영이 어려운 대상물에 대해서는 산업용드론과 영상분석 기법을 접목한 구조물 외관 손상 자동검출 시스템이 연구되었다(Kim *et al*., 2017). 최근에는 콘크리트 구조물의 균열 탐지에 딥러닝과 영상처리기법의 적용이 연구되고 있다(Kim *et al*., 2018; Jung *et al*., 2019).

이처럼, 영상분석 기법을 활용한 안전점검은 시설물을 촬영한 영상을 분석하여 균열, 열화 등의 손상을 검출하며, 이러한 처리과정을 통해 안전점검 활동의 효율성을 제고할 것을 기대할 수 있다. 하지만 선행연구는 대부분 교량, 터널, 저장탱크 등 중·대형 시설물의 안전점검에 적용하기 위한 연구로, 고성능 사진기를 요구하며, 현업에 적용할 만큼 상용화되어 있지 않다. 따라서 다수의 제3종 시설이 포함된 소규모 시설의 접근이 어려운 손상에 대한 일상점검의 객관성과 신뢰성을 높이기 위해서는 이용이 용이한 사진기를 이용한 단순한 방법의 도입이 필요하다.

이에 본 연구에서는 급격히 늘어나고 있는 안전점검 대상 시설물에 대한 육안을 이용한 일상점검을 대체하여 점검인력 간의 편차를 줄이고, 신뢰성을 제고할 수 있는 방법을 제안하고 실제 적용하여 그 활용성을 검증하였다. 이를 위해, 우선 모의 시편에 대해 촬영거리, 각도를 달리하여 촬영한 영상의 경사를 보정하여 측정한 손상 크기의 정확도를 검증하고, 다음으로, 10명의 점검인력이 동일한 현장을 육안 점검한 결과와 영상을 이용하여 점검한 결과를 비교하여 객관성과 신뢰성을 검증하였다.

2. 영상을 활용한 시설물의 손상 파악 기법

2.1 영상 활용 방안

시설물에 있어 균열, 열화 등의 손상은 필연적인 현상이며, 이러한 손상들이 시설물에 미치는 영향을 판단하기 위하여 손상의 정도 및 진행성 여부를 명확하게 파악하여야 한다. 시설물의 손상은 그 원인이 다양하고 복합적인 요인에 의해 발생하는 경우가 많으므로 시설물에 손상이 발생했다면, 그 원인을 여러 관점에서 추적할 필요가 있다. 손상의 경우 접근이 가능하면 줄자, 균열확대경 등 간단한 측정기기로 실측이 가능하나, 접근이 곤란한 경우 육안에 의존하여 길이와 면적을 산정하므로 실제 손상규모와 상이한 경우가 발생한다. 또한 육안에 의한 이력 검토 시 손상의 진행성을 판단하기가 곤란하다. 측정 결과가 상이할 경우 손상규모 산정의 정확도가 저해되고, 진행성 유무를 판단하지 못할 경우 손상에 대한 적절한 보수방안을 제시하지 못하므로 결과에 대한 신뢰를 보장할 수 없게 된다. 그러므로 주기적인 안전점검에서 객관성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 측정의 높은 정확도가 필수적이라고 할 수 있다.

일반적으로 안전점검 시 사진을 촬영하지만 사진을 정면에서 찍기 어려운 위치에 발생한 손상에 대해서는 영상으로부터 정확한 손상의 크기를 측정하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 사진촬영 위치와 거리에 무관하게 영상으로부터 손상 크기를 정확하게 측정할 수 있는 간단한 방법을 제안하였다. 사진촬영 위치와 거리는 사진의 왜곡을 발생시킨다. 촬영위치에 따른 왜곡은 편위수정을 통해 보정할 수 있고, 거리에 따른 왜곡은 축척변경을 통해 보정할 수 있다.

편위수정과 축척변경에는 최소 3개 이상의 기준점이 필요하기 때문에 손상 부위 주변으로 4개의 기준점을 표시하고 기준점이 포함되도록 영상을 촬영한다. 촬영된 영상은 Fig. 1과 같이 A, B, C, D의 4개 기준점이 A', B', C', D'와 같이 왜곡되어 촬영된다. 이를 식 1의 평면사영변환(homographic transformation)을 응용하면 편위수정과 축척변환이 동시에 이루어진다(Seo *et. al*., 2014).

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

평면사영변환을 거치면 촬영각도와 축척을 바로잡은 영상을 얻을 수 있기 때문에, 영상에서 손상의 실제 크기를 측정할 수 있다. 이와 같이 처리된 영상을 외관조사망도나 안전점검 보고서에 삽입하고 추후 반기마다 실시하는 안전점검에서도 동일하게 촬영된 영상을 보정하면 영상의 이력을 통해서 손상의 진행

성을 판단할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

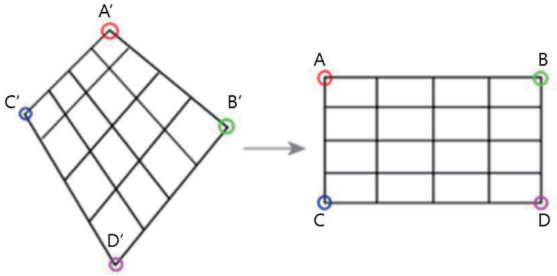


Fig. 1. Homographic transformation
(출처: https://webnautes.tistory.com/997)

2.2 사진촬영 장비 선정

앞서 살펴본 바와 같이 시설물 내부의 접근이 어려운 위치의 손상을 일상점검으로 다수 점검하는 작업자에게는 장시간 현장 조사가 가능한 경량 카메라가 필요하다. 실제 안전점검 활동에서 시설물의 손상 현황 촬영은 대부분 근거리에서 이루어지므로 중량의 고성능 카메라 보다는 고화질이면서도 장시간 휴대가 가능한 경량의 스마트폰으로 촬영 장비를 선정하였다. 본 연구에서 사용된 사진 촬영 장비는 Fig. 2와 같으며, 스마트폰 카메라 사양은 Table 1과 같다.

Fig. 2. Smart phone camera

Table 1. Specifications for the smart phone camera

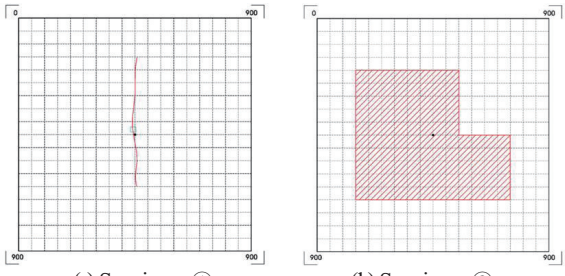
Items		Specifications
Display		158.3mm WQHD+HID
Size		151.7×69.1×7.9mm
Weight		163g
Resolution (Pixel)	Super wide angle	12MP (F2.2) 1.8㎛
	General	12MP (F1.8) 1.4㎛
	Telescope	64MP (F2.0) 0.8㎛
Focal Length	Super wide angle	13mm
	General	26mm
	Telescope	29mm
Pixel		64 million

3. 검증실험

본 연구에서는 개발한 영상 활용 방법의 효과를 검증하기 위하여 모의시편을 이용한 실험으로 정확도를 검증하고, 실제 사용 중인 시설물의 손상을 조사하여 객관성과 신뢰성을 검증하였다.

3.1 모의손상 검증실험

모의손상 검증실험은 시설물 벽면에 Fig. 3과 같이 실제 손상을 모사한 모의시편을 부착하였고, 짐벌에 스마트폰을 장착하여 초점거리 26mm인 일반화질을 이용하여 Fig. 4와 같이 촬영하였다. 촬영거리는 일반적으로 현장조사에서 손상을 촬영하는 거리를 감안하여 Z축 방향으로 1.5~3.0m를 0.5m 간격으로 설정하였고, 촬영각도는 정면에서 촬영하기 어려운 경우를 감안하여 X, Y축 방향으로 0.5~1.0m를 0.5m 간격으로 설정하였다(Table 2).



(a) Specimen ① (b) Specimen ②

Fig. 3. Simulated damage specimen for the experiment

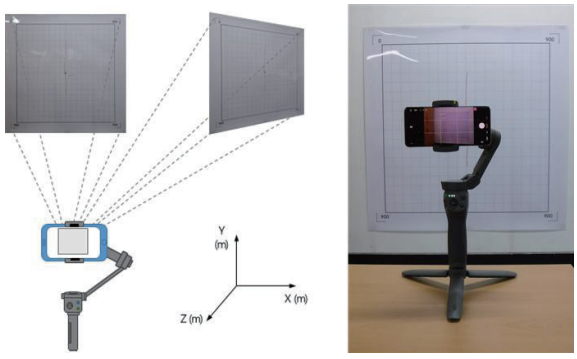


Fig. 4. Installation of imaging camera

시편에 표기된 기준점 간 거리는 X, Y축 각각 1.0m이고, 점검기구를 이용하여 손상의 크기를 실측하였다. 실측된 손상은 Fig. 3 (a)의 시편 ①은 500mm, Fig. 3 (b)의 시편 ②는 0.250m²였다.

Table 2와 같이 총 22회 촬영하고, 평면사영변환을 통해 편위수정과 축척변환한 영상에서 측정한 값과 실측값을 비교하였다.

Table 2. Variables according to the distance and angle of Imaging

Experiment		X-axis [m]	Y-axis [m]	Z-axis [m]
Type-1	A-1	0	0	1.5
	B-1	0.5	0	1.5
	C-1	1.0	0	1.5
	D-1	0	0.5	1.5
	E-1	0	1.0	1.5
	F-1	0.5	0.5	1.5
	G-1	1.0	1.0	1.5
Type-2	A-2	0	0	2.0
	B-2	0.5	0	2.0
	C-2	1.0	0	2.0
	D-2	0	0.5	2.0
	E-2	0	1.0	2.0
	F-2	0.5	.5	2.0
	G-2	1.0	1.0	2.0
Type-3	A-3	0	0	2.5
	B-3	0.5	0	2.5
	C-3	1.0	0	2.5
	D-3	0	0.5	2.5
	E-3	0	1.0	2.5
	F-3	0.5	.5	2.5
	G-3	1.0	1.0	2.5
Type-4	A-4	0	0	3.0

촬영거리 및 각도에 대한 영상 처리 과정은 Fig. 5와 같으며, 실측한 손상 크기와 영상 처리 후 측정된 손상 크기를 비교한 결과는 Table 3과 같다. 왜곡된 영상을 보정하는 과정에서 카메라 렌즈 왜곡, 변환과정의 화소값 재배열 등에 의해 영상 내 미세 부등변위가 발생할 수 있으나, 본 연구에서는 고려하지 않았다. 손상 측정 오차의 크기는 실제 점검자가 육안점검에서 통상적으로 확인하는 최소 길이단위 10mm, 최소 면적단위 0.01m^{2}의 절반인 5.0mm와 0.005m^{2}를 목표로 설정하였다.

Fig. 5에서 촬영 거리와 각도를 달리하여도 평면사영변환 후에 최종적으로 얻어지는 결과는 동일함을 알 수 있다. 변환된 영상은 AutoCAD에 1:1 Scale로 디스플레이한 후 화면에서 균열과 손상의 크기를 측정하였다. 촬영 거리에 따른 정확도는 정면에서 영상을 획득한 실험 A-1, A-2, A-3, A-4를 비교하였으며, 실측 결과와 보정된 영상에서 산정된 균열 길이의 오차는 0.49~2.94mm, 최대 오차율은 0.59%로, 단면 손상의 경우 손상 면적 오차는 0.001~0.003m^2, 최대 오차율은 1.20%로 나타났다. 촬영각도에 따른 균열 길이의 오차범위는 0.08~2.99mm, 최대 오차율은 0.60%로, 손상 면적 오차범위는 0.000~0.003m^2, 최대 오차율은 1.20%이다.

균열길이와 손상면적의 측정의 최대 오차는 2.99mm와 0.003m^{2}로 나타나 앞서 설정한 오차범위인 5.0mm와 0.005m^2 이내로 나타나 제시된 영상 활용 기법은 기대 정확도를 만족시키고 있다고 분석되었다. 모의손상을 이용하여 촬영거리 및 각도에 따른 손상 크기 분석에서 실측치와의 오차가 목표 오차범

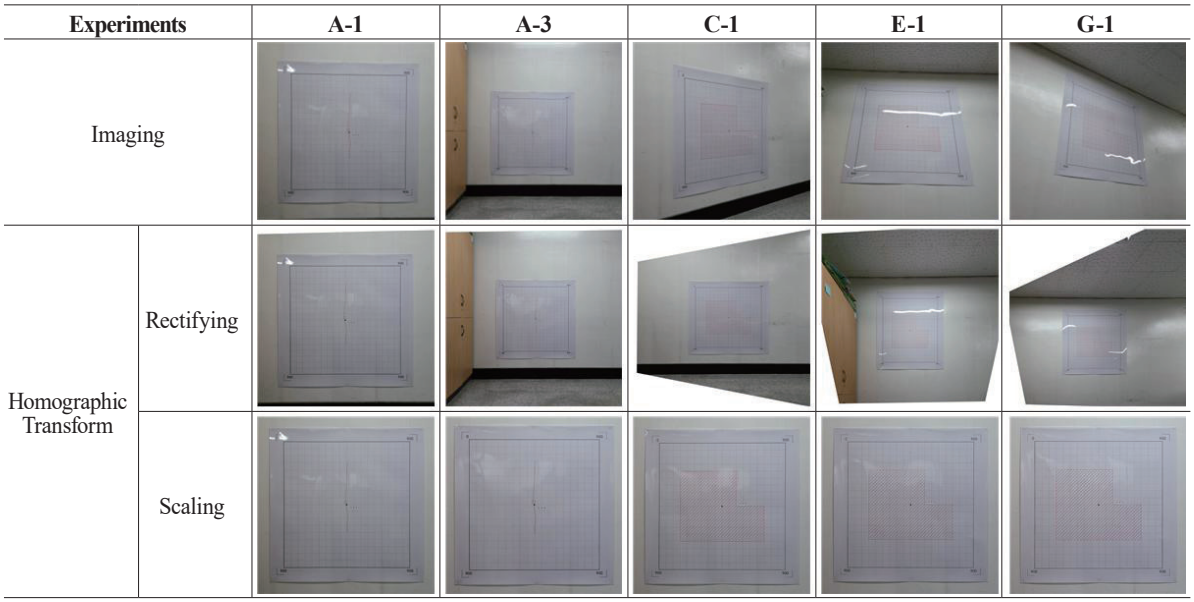


Fig. 5. Examples of proposed method

Table 3. Accuracy assessment of the experiments

Experiments	Specimen ① (Actual length: 500.00mm)			Specimen ② (Actual area: 0.250m²)		
	Image measurement	Difference (mm)	Error (%)	Image measurement	Difference (mm)	Error (%)
A-1	497.06	**2.94**	**0.59**	0.247	**0.003**	**1.20**
B-1	497.01	**2.99**	**0.60**	0.247	0.003	1.20
C-1	497.30	2.70	0.54	0.248	0.002	0.80
D-1	497.29	2.71	0.54	0.248	0.002	0.80
E-1	498.05	1.95	0.39	0.247	0.003	1.20
F-1	498.68	1.32	0.26	0.247	0.003	1.20
G-1	497.71	2.29	0.46	0.248	0.002	0.80
A-2	499.01	0.99	0.20	0.248	0.002	0.80
B-2	500.13	-0.13	-0.03	0.249	0.001	0.40
C-2	500.36	-0.36	-0.07	0.248	0.002	0.80
D-2	499.02	0.98	0.20	0.249	0.001	0.40
E-2	499.24	0.76	0.15	0.249	0.001	0.40
F-2	498.68	1.32	0.26	0.250	0.000	0.00
G-2	499.92	**0.08**	0.02	0.249	0.001	0.40
A-3	499.51	**0.49**	0.10	0.248	0.002	0.80
B-3	499.14	0.86	0.17	0.249	0.001	0.40
C-3	499.60	0.40	0.08	0.249	0.001	0.40
D-3	499.02	0.98	0.20	0.249	0.001	0.40
E-3	498.78	1.22	0.24	0.249	0.001	0.40
F-3	499.18	0.82	0.16	0.249	0.001	0.40
G-3	498.97	1.03	0.21	0.250	**0.000**	0.00
A-4	499.30	0.70	0.14	0.249	**0.001**	0.40

위 이내로 확인되어 실제 안전점검 활동에서 제시된 분석기법을 활용할 수 있을 것으로 확인되었다. 그러나 Table 3에서와 같이 촬영거리가 1.5m 이내일 경우 오차가 커지는 경향이 있는 것으로 확인되었고, 이는 스마트폰 카메라의 렌즈 왜곡에 따른 오차로 추정된다. 이에 대해서는 향후 자동화 프로그램 개발 시, 내부표정요소까지 고려하고, 촬영 시에는 손상부위가 렌즈 왜곡이 크지 않은 영상의 중심부에 위치할 수 있도록 촬영하여 오차를 줄여야 할 것으로 판단된다.

3.2 현장 활용성 검증 실험

제3종 시설과 같은 소규모 대상에 대한 안전점검은 육안에 의한 외관조사 중심으로 이루어지고 있어 점검인력의 역량에 따라 손상규모 판단에 대한 편차가 발생한다. 현장 검증 실험에서는 현재 사용 중인 시설물의 손상을 조사하여 영상분석 기법에 대한 객관성과 신뢰성 검증을 수행하였다.

현장 검증 실험은 Fig. 6과 같이 건축물 1개 층에 발생한 4개소의 손상을 대상으로 하였다. 우선 Fig. 7과 같이 발생한 손상에 대해 점검 기구를 이용하여 실측하여 실험 결과 분석에 필요한 기준 데이터를 확보하였다. 다음으로 안전점검 전문인력 10명이 4개소의 손상에 대한 육안 외관 검사를 수행하면서 동시에 영상을 촬영하여 촬영된 영상을 제안된 영상 활용 기법을 이용하여 처리한 후 영상에서 손상 크기를 측정하도록 하였다. 영상의 촬영은 제안된 방법의 활용성 검증을 위해 일반적으로 접근이 어려운 손상을 육안점검하는 거리로 손상 크기의 1.5배 정도의 거리에서 이루어졌다.

그리고 손상 크기를 실측한 값, 점검인력이 산정한 값, 영상활용 기법을 이용하여 측정된 값을 비교하여 정확도를 평가하고 분석하였다. 정확도 평가 결과는 Table 4와 같으며, 실측 대비 점검인력에 의한 균열 길이의 오차는 –110.0~105.0mm, 최대 오차율은 9.8%이며, 단면 손상의 오차는 –0.014~0.001m², 최대 오차율은 23.0%로 분석되었다.

영상분석을 통해 산정된 손상규모에 대한 정확도 분석 결과 실측 대비 영상분석으로 산정된 균열길이의 오차는 –3.58~2.92mm, 최대 오차율은 0.4%이며, 단면 손상의 오차

는 –0.001~0.000m²로 최대 오차율은 1.6%로 제시된 영상을 활용한 안전점검이 육안점검에 비해 신뢰성이 높으며, 앞서 시편을 이용한 정확도가 현장에서도 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 작업자 간의 편차를 알아보기 위해 변동계수(coefficient of variance)를 분석하였다. 점검인력의 육안에 의한 검사에서는 길이에 대한 변동계수는 손상에 따라 5.4~7.0%까지 넓이는 10.9%까지 상대적 변동이 크게 발생하고 있으나, 보정된 영상을 이용한 경우에는 길이에 대해 0.072~0.12%, 넓이에 대해 1.6%로 상대적 변동이 줄어들어 작업자 간 편차가 크게 줄어들었음을 알 수 있다. 실제 사용되고 있는 안전점검 대상에 대한 실험 결과를 통해, 안전점검에 영상을 활용하여 본 연구에서 목표로 한 손상 크기 측정의 객관성과 신뢰성을 높일 수 있음을 검증하였다.

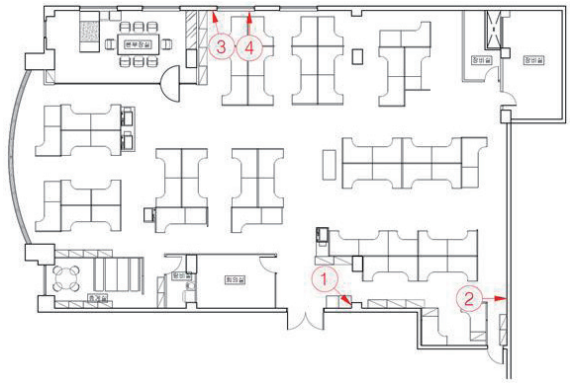


Fig. 6. Damaged position in site tests

D-1	D-2	D-3	D-4

Fig. 7 Measurement of damage size using inspection tools

Table 4. Test results by field verification

Position		Visual Inspection				Image Measurement			
		D-1 (mm)	D-2 (mm)	D-3 (mm)	D-4 (m²)	D-1 (mm)	D-2 (mm)	D-3 (mm)	D-4 (m²)
Actual measurement		**665**	**1,290**	**1,105**	**0.061**	**665**	**1,290**	**1,105**	**0.061**
Inspectors	1	650	1,350	1,100	**0.060**	**662.08**	1,293.27	1106.83	**0.062**
	2	600	1,300	1,200	0.060	664.86	1,291.29	1105.22	0.062
	3	650	1,300	1,200	0.060	664.00	1,292.18	1106.98	0.062
	4	700	1,200	1,100	0.060	663.00	1,292.49	1106.41	0.062
	5	650	1,300	1,100	0.070	662.69	1,292.46	1105.78	**0.061**
	6	700	1,300	**1,000**	0.060	663.56	1,291.52	1105.38	0.061
	7	650	1,250	1,100	0.060	663.35	1,290.51	1105.36	0.062
	8	700	**1,400**	1,200	0.075	663.04	**1,293.58**	1106.73	0.062
	9	600	1,200	1,000	0.060	663.50	1,292.97	1106.96	0.061
	10	700	1,400	1,200	**0.075**	663.00	1,291.74	1107.26	0.061
AVE.(mm)		660.0	1300.0	1120.0	0.064	663.3	1292.2	1106.3	0.062
STD.(mm)		39.4	70.7	78.9	0.007	0.8	1.0	0.8	0.001
Coefficient of variation		6.0	5.4	7.0	10.9	0.12	0.077	0.072	1.6

이상의 실험을 통해 볼 때, 제안된 것과 같이 영상을 활용하면 손상 크기 측정의 변동성을 축소시켜 안전점검의 오차 범위를 줄일 수 있기 때문에, 보다 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서 제안된 방법으로 최초 점검 시에 설정한 기준점을 이용하면 다음 점검에서도 위험하거나 접근이 어려운 손상 부위에 직접 접근하지 않고서도 안전을 확보할 수 있을 것이다.

4. 결론 및 고찰

본 연구는 육안을 이용한 시설물의 일상 안전점검을 효과적으로 보완할 수 있는 영상을 활용한 기법을 제안하고자 하는 연구로, 시편에 모사된 손상 크기를 영상을 활용하여 측정하고 그 정확도를 분석하였고, 현재 사용 중인 시설물의 손상 조사에 적용하여 제안된 기법의 현장 적용 가능성과 신뢰성을 검증하였다. 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

첫째, 모의 손상을 촬영한 영상을 처리한 후 손상 크기를 측정한 정확도는 균열 길이에 대한 오차 3mm(목표 ±5mm 이내) 이내, 손상 면적에 대한 오차 0.003m^2(목표 ±0.005m^2 이내)로 산출되어 실제 안전점검 활동 시 제시된 기법이 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 분석되었다.

둘째, 현장 검증 실험 결과 10명의 점검자의 육안점검 결과와 실측값 간의 오차는 균열 길이에서 최대 110mm, 손상 면적에서 최대 0.014m^{2}까지 발생하는 것으로 확인되었고, 편위수정과 축척변환된 영상에서 측정된 값과 실측값 간의 오차는 균열 길이에서 최대 3mm, 손상 면적에서 최대 0.001m^{2}가 발생하는 것으로 확인되어 제안된 영상분석 기법의 정확도가 현장에서도 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

셋째, 육안점검에 대한 점검자 측정값의 표준편차는 균열 길이에서 최대 78.9mm, 손상 면적에서 0.007m^{2}로 점검자 간의 편차가 크게 발생하고 있는 것으로 확인되었고, 처리된 영상에서 측정된 손상 크기의 표준편차는 균열 길이에서 최대 0.8mm, 면적단위 손상 0.001m^{2}로 편차가 매우 작음을 확인할 수 있었다. 이를 표준편차를 평균으로 나눈 변동계수는 균열 길이는 5.4~7.0%에서 0.072~0.12%로 감소하였고, 손상 면적은 10.9%에서 1.6%로 줄어들어 측정의 안정성이 최소 6배 이상 향상됨을 알 수 있었다.

넷째, 본 연구에서 제안된 영상 활용 방법을 활용하면 점검자 간의 편차는 물론 점검자의 반복 점검에서 발생할 수 있는 오차까지 제거할 수 있을 것으로 기대되며, 이를 통해 점검 보고서, 외관조사망도 등의 정확도와 신뢰도를 제고할 수 있을 것이다.

마지막으로 본 연구에서는 영상의 기하학적인 왜곡 보정에만 영상처리기법을 적용하였으며, 이를 내업에서 수행하여 외업에 비해 내업의 시간이 늘어났다. 이러한 연구 결과를 실제 일상점검 업무에 효과적으로 적용하기 위해서는 선행연구에서 제안된 손상 자동추출기법을 이용하여 점검인력이 현장에서 촬영한 사진을 바로 분석할 수 있는 어플리케이션이 개발하여야 할 것이다. 스마트폰에 기준점 식별, 평면사영변환, 균열 추출, 손상 식별 등의 기능이 자동화된 앱의 탑재를 통해 일상점검 업무를 보다 더 효율화 시킬 수 있을 것이다.

본 연구에서는 촬영거리가 손상 크기의 1.5배 이내일 경우 오차가 커지는 경향이 있는 것으로 확인되었다. 이는 스마트폰 카메라의 렌즈 왜곡에 따른 오차로 판단되며, 본 연구에서는 촬영 시 일정거리를 확보하여 촬영하여 왜곡의 영향을 줄여야 한다고 제안하였으며, 향후 연구에서는 이를 보정할 수 있도록 사진측량의 내부표정까지 적용하여야 할 것이다. 또한 3차원적인 시설물 손상을 측정하기 위한 사진측량기법을 손쉽게 적용할 수 있는 기법에 대한 연구도 필요할 것이다.

References

Cho,H.W., Yoon, H.J., and Park, J.J. (2014), 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. (in Korean with English abstract)

Jung, S.Y., Lee, S.K., Park, C.I., Cho, S.Y., and Yu, J.H. (2019), A Method for Detecting Concrete Cracks using Deep-Learning and Image Processing, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 35, No. 11, pp. 163-170. (in Korean with English abstract)

Kim, A.R. Kim, D.H., Byun, Y.S., and Lee, S.W. (2018), Crack Detection of Concrete Structure Using Deep Learning and Image Processing Method in Geotechnical Engineering, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.34, No.12, pp. 145-154. (in Korean with English abstract)

Kim, J.W. Jung, Y.W., and Rhim, H.C. (2017), Study on Structure Visual Inspection Technology using Drones and Image Analysis Techniques, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 17, No. 6, pp. 545-557. (in Korean with

English abstract)

Kim, Y.K. (2016), Development of crack recognition system for concrete structure using image processing method, *Journal of KIIT*. Vol. 14, No. 10, pp. 163-168. (in Korean with English abstract)

Lee, H.B., Kim, J.W., and Jang I.Y. (2012), Development of automatic crack detection system for concrete structure using image processing method, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. Vol. 16, No. 1, pp.64-77. (in Korean with English abstract)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017), *A Study on the Comprehensive Improvement of Safety Management System for Facilities*, Research Report. Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Seoul (in Korean).

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2021), Safety Diagnosis Specialized Institution, *Facility Management System*, http://www.fms.or.kr/com/mainFrame.do (last date accessed: 21 May 2021).

Park,H.S. (2013), Performance Analysis of the Tunnel Inspection System Using High Speed Camera, *Journal of KIIT*, Vol. 11, No. 4, pp. 1-6. (in Korean with English abstract)

Seo, S.I., Park, B.W., Lee, B., and Kim, J.I. (2014), Generation of Mosaic Image using Aerial Oblique Images, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 22, No. 3, pp. 145-154. (in Korean with English abstract)