

재해 대응을 위한 CRP기반 시설물 모니터링 기법의 계측조건 영향 분석

이 동 환¹ · 임 정 현¹ · 박 지 환¹ · 유 병 준¹ · 박 승 희^{2*}

¹성균관대학교 미래도시융합공학과, ²성균관대학교 건설환경공학부

Study on Measurement Condition Effects of CRP-based Structure Monitoring Techniques for Disaster Response

Donghwan Lee¹, Junghyun Leem¹, Jihwan Park¹, Byoungjoon Yu¹ and Seunghee Park^{2*}

¹Department of Convergence Engineering for Future City, Sungkyunkwan Univ., Suwon, 16419, Korea

²School of Civil, Architectural Engineering and Landscape Architecture, Sungkyunkwan Univ., Suwon, 16419, Korea

Abstract

Climate change has become the main cause of the exacerbation in natural disasters. Social Overhead Capital(SOC) structure needs to be checked for displacement and crack periodically to prevent damage and the collapse caused by natural disaster and ensure the safety. For efficient structure maintenance, the optical image technology is applied to the Structure Health Monitoring(SHM). However, optical image is sensitive to environmental factors. So it is necessary to verify its validity. In this paper, the accuracy of estimating the vertical displacement was verified with respect to environmental condition such as natural light, measurement distance, and the number of image sheets. The result of experiments showed that the effect of natural light on accuracy of estimating vertical displacement was the greatest of all. The measurement angle which was affected by the change in measurement distance was also important to check the vertical displacement. These findings will be taken into account by applying appropriate environmental condition to minimize errors when the bridge was measured by camera. It will also enable the application of optical images to the SHM

Keywords : close-range photogrammetry(CRP), structural health monitoring, environmental condition

1. 서 론

최근 지속적인 기후변화와 도시화로 인하여 도시지역의 자연재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이로 인한 구조물의 피해규모가 증가하고 있는 추세이다(Lee, 2016). 이를 예방하기 위해 대부분의 토목 구조물의 지속적인 유지관리의 필요성이 요구된다. 이에 정부는 구조물 안전관리 특별법을 제정하여 정기적인 구조물의 안전진단을 수행하고 있으며, 이를 효과적으로 수행하기 위해 신규 건설되는 주요 토목 시설물 및 대형 건축물의 거동파악과 유지관리를 위하여 변위 계측 시스템이 도입되었다(Choi, 2009; Lee, 2008). 하지만 이러한 시스

템이 도입되지 못한 구조물의 유지관리를 위해 신속하고 빠르게 구조물의 변형을 파악하고자 하는 기법들에 대해 많은 투자와 연구가 활발하게 진행되고 있다.

구조물 유지관리를 위해 광학 이미지 기반 기법Close-range Photogrammetry(CRP)기법을 적용하려는 많은 연구가 진행되고 있으며, 구조물 유지관리에 적용을 위해 추정데이터의 정확성을 평가하는 연구가 진행되고 있다. 관련 선행 연구를 살펴보면 건물의 내·외부 공간을 디지털 카메라로 촬영하여 3D 모델을 작성하여 부재의 길이를 비교하여 정확성을 검증하였고(Klein, 2012), 교량의 부재를 비 측량 카메라로 촬영한 사진을 이용하여 교량 부재에 대한 3차원 모델을 작성하여,

* Corresponding author:

Tel: +82-31-290-7525; E-mail: shparkpc@skku.edu

Received November 14 2017; Revised November 28 2017;

Accepted November 29 2017

©2017 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

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.

부재별 크기를 비교하여 정확성을 검증하였다(Bhatla, 2012). 또한 스테레오 디지털 카메라를 이용한 사진측량의 정확도를 검증하기 위해 대상물에 대한 촬영거리와 촬영각도를 다양하게 설정하여 발생하는 오차를 이용하여 정확도를 검증하였다(Kim, 2010). 또한 구조물 변위계측을 위해 실제 처짐 계측 값과 비교를 통한 정확도 분석이 진행되었다. 하지만 외부 환경에서 CRP기법의 환경조건 및 카메라 활용에 따른 영향을 클 것으로 예상되며, 그에 따른 정확도 비교에 관한 연구가 필요하다(Han, 2009; Cho, 2014).

본 논문에서는 비 측량용 카메라를 이용하여 구조물 유지 관리를 하는데 적용하기 위해 수직변위 차이를 둔 시편을 촬영한 사진을 이용하여 촬영조건에 따른 수직변위 추정의 정확도를 검증하고자 한다. 이를 위해서 1, 2, 3, 5mm의 차이가 있는 시편을 제작하고 해당 시편에 Target marker를 부착하여 사진 촬영을 하였다. CRP기법의 적용에 영향을 미치는 인자로 촬영거리, 촬영사진 매수, 조도를 선정하여 그 기준에 맞추어 측정하였다. 촬영된 사진을 이미지 프로세싱을 통해 Target marker의 3D 좌표점 도출하여 Z축 값을 이용하여 수직 변위를 추정하여, 그 오차값을 이용하여 각각의 요인에 따른 영향력을 확인하고자 한다.

2. 연구 방법 및 장비

이 장에서는 CRP기법과 연구에 활용하는 연구장비에 관련한 정보를 다룬다. 카메라 및 렌즈의 특성을 CRP 프로그램에 인식시키는 과정인 카메라 보정에 대해 서술하고, 그에 따른 결과값을 통해 카메라 및 렌즈의 특징을 CPR 프로그램에 인식시키는 과정을 설명한다.

2.1 Close-range Photogrammetry(CRP)

Close-range Photogrammetry(CRP)는 대상물체의 사진을 이용하여 물체의 형상정보를 도출하는 기법이다(Klein, 2012). 두 개 이상으로 다른 위치에서 디지털 카메라로 촬영된 2D 이미지를 이용하여 대상물체를 3D 정보를 도출하는 것으로, 관련 기술을 활용해서 3D 좌표점, 3D 형상정보 등과 같은 도출할 수 있다(Zhu *et al.*, 2009).

CRP를 이용한 형상정보를 도출하기 위해 두 장 이상의 이미지를 이용하여 동일한 부분을 선정한다. 카메라 포지션과 각 사진별 표시된 기준점의 동일화를 진행한다. 기준점 동일화를 통해서 3D 형상정보를 작성할 수 있다(Golparvar-Fard, 2011, Klein, 2012).

CRP기법을 활용할 수 있는 상업용 소프트웨어가 개발되어



있으며, 오토데스크 Photofly, 마이크로 소프트 Photosynth가 있다. 상업용 소프트웨어는 다른각도에서 촬영한 사진 내에서 동일한 포인트를 결정해서 삼각측량기법을 이용하여 3D 좌표 점을 계산할 수 있다. 비측량용 디지털 카메라로 촬영한 사진을 이용하여 대상구조물에 대한 3D 형상정보를 만들 수 있다(Triggs, 1999). CRP는 몇가지 제한사항 있는데 자연광이나 다른 조명이 충분하지 않으면 촬영한 사진을 활용하는데 제한점이 있다. 또한 대상물체의 표면이 다른 재질 또는 재료일 경우 3D 형상정보가 정확하게 형성되지 않을 수 있다(Remondino, 2006). 이에 본 논문에서는 이러한 CRP의 환경요인의 변화에 따른 수직변위 계측 정확도를 확인하고자 한다.

2.2 연구장비

본 연구에서 일반 보급형 DSLR 카메라를 계측장비로 사용하였다. 카메라와 렌즈의 제원은 Table 1과 같다. 해당 장비는 일반 보급형 카메라로써 2420만 화소 크롭바디 보급형 카메라입니다. 해당 장비는 22.3×14.9mm CMOS 이미지 센서를 가지고 있다.

렌즈는 Canon EF-S 24mm F 2.8 STM를 활용하였다. 해당 렌즈는 초점거리는 24mm, 화각은 59° 10' 가지고 있어 건물 및 교량과 같은 규모가 큰 대상체를 촬영하는데 적합하다.

Table 1 Specification of DSLR and Lens

Parameter		Content
	Model	Canon eos 750D
	Image sensor	24.2 megapixels 22.3×14.9mm CMOS
	Shutter speed	30-1/4000 sec
	Continuous shooting	Max. Approx. 5fps
	Image type	JPEG, RAW
	Size/Weight	131.9×100.7×77.8mm/ 555g
	Model	Canon EF-S 24mm F 2.8STM
	Focal Length	24mm
	Diagonal Angle of View	59°10'

2.3 카메라 보정

카메라를 사진측량에 사용하기 위해서 카메라 고유 특성을 프로그램에 인식시키는 과정이 필요하다. 보정과정에서 필요한 카메라 고유특성은 초점거리, 사진주점, 카메라 이미지 센서, 렌즈 왜곡이 있다. 비 측량용 카메라를 보정하기 위해서는 일반적으로 다량의 기준점을 이용해야 하는데 이를 위해서

보정 과정에 활용하는 표적지를 촬영한 사진을 이용하여 보정한다(Park, 2012).

보정과정은 표적지의 크기와 종류를 선택하고, 표적지를 대상으로 6장 이상의 사진을 촬영한다. 촬영된 사진을 이용하여 프로그램에 카메라와 렌즈의 특성을 인식시킨다. 보정절차에 따른 보정결과의 적합성은 Total errors를 통해서 확인한다. Total error가 1.0이하 일 때, 그 보정 결과를 활용하여 프로그램에서 사용할 수 있다.

Fig. 1은 보정절차에 활용한 사진은 12장이며, 표적지를 중심으로 4군데에서 사진촬영이 진행되었다. 각 위치별로 카메라를 가로로 촬영하고, 좌측으로 90°로 촬영하고, 우측으로 90°로 촬영한다. 12장의 촬영사진을 CRP 프로그램인 Photomodeler에 입력하여 보정절차를 진행하였다.

Table 2에는 위에서 언급한 보정절차를 통해서 도출된 결과를 나타낸다. 보정결과 적합성은 보정결과와 Table 1과 카메라 이미지 센서 및 렌즈에의 제원과 비교할 수 있다. Lense의 초점거리, 이미지 센서 상의 주점 위치, 그리고 렌즈의 왜곡값 알 수 있다. 그리고 보정의 수준은 Overall residual RMS와 Maximum Residual 그리고 Photo Coverage를 통해서 확인

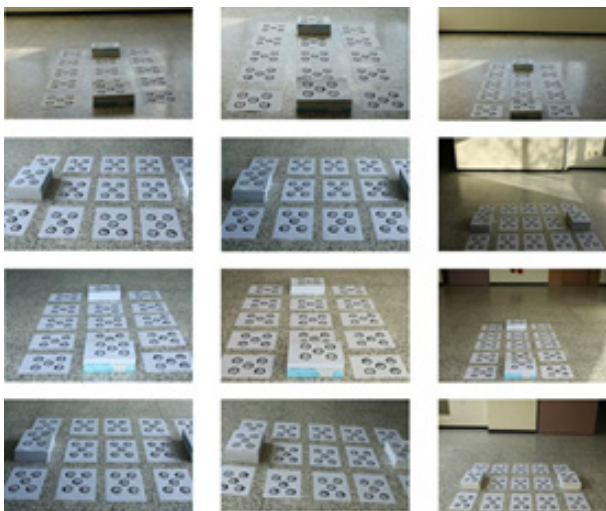


Fig. 1 Input photographs in the calibration

Table 2 Result of camera calibration

Content		Value
Camera Parameter	Focal length(mm)	25.1474
	Xp(principal point x)(mm)	11.2675
	Yp(Principal point y)(mm)	7.6058
	K1-radial distortion 1	2.067e-004
	K1-radial distortion 2	-3.176e-007
	P1-decentering distortion 1	2.206e-005
	P2-decentering distortion 2	-8.547e-006
Calibration Quality	Overall Residual RMS(pixels)	0.1300
	Maximum Residual(pixels)	0.4945
	Photo Coverage(%)	86%

할 수 있다.

본 논문에서는 보정절차를 통해서 얻어진 결과의 적합성은 앞서 설명한 것과 같이 Total errors를 통해서 확인할 수 있다. 본 연구에서의 Total error는 0.752로 1.0보다 작은 값을 나타내고 있어 보정결과를 활용하는데 적합하다.

3. 실험 조건 및 데이터 취득

3.1 실험 방법

시편에 부착한 Target marker를 촬영하기 위해서는 보정된 카메라(Canon eos 750D camera: sensor size 22.3×14.9mm, 2400만화소)와 24mm 렌즈를 이용하여 대상 시편을 촬영하였다. 촬영된 사진을 이용하여 대상 시편에 부착한 Target marker의 3차원 좌표점을 도출해낸다. 실험 방법은 CRP기법을 이용할 때 계측 정확도에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 대상으로 하였고, 그 인자는 환경조건으로 자연광의 영향을 받고, 촬영거리는 1, 2, 3m를 대상으로 한다. 사진 매수는 4, 8, 16장으로 구분하여 촬영을 진행하였다. 계측 범위를 1, 2, 3, 5mm로 하여 각 각의 수직변위차이가 있는 시편을 만들어 실험을 진행하였다.

대상 시편에는 상판에는 Target Marker 8개와 하판에 Target Marker 8개를 부착한다. 대상 시편의 사진을 Photomodeler에 입력하여 이미지 프로세싱을 진행한다. 이미지 프로세싱이 완료되면, 대상시편을 기준으로 해당 시편을 촬영한 카메라 위치를 확인할 수 있다. 해당 Point들은 각기 3D 좌표점을 도출할 수 있다.

앞서 설명하였듯이 도출된 결과는 실제 길이와 동일하게 맞추기 위해서는 기준선의 길이를 입력해야 스케일 결정되고, 원점으로 활용할 포인트도 지정해 주어야 한다. 해당 입력을 완료하면 Target marker 16개의 좌표점이 도출된다. 도출된 좌표점에서 하판 Target marker 1~8의 Z축 평균값, 하판 Target marker 9~16의 Z축 평균값을 구해서 그 차이를 수직변위차로 산출한다.

3.2 데이터 취득 및 실험 결과

대상시편을 기준으로 실험조건에 맞추어 시편에 대한 사진을 촬영하였다. 촬영조건은 자연광과, 촬영거리, 촬영매수를 대상으로 하여 진행하였다. 조도는 윤량이 3과 9로 구분하였고, 촬영거리는 1, 2, 3m로 나누었다. 촬영매수는 4매, 8매, 16매로 나누어 촬영을 진행하였다.

촬영된 사진을 이용하여 이미지 프로세싱을 진행하였다. 각

Table 3 Result of error on vertical displacement estimation(amount of clouds: Lv 3)

displacement (mm)	Content	Measurement Distance: 1m			Measurement Distance: 2m			Measurement Distance: 3m		
		4 Sheets	8 Sheets	16 Sheets	4 Sheets	8 Sheets	16 Sheets	4 Sheets	8 Sheets	16 Sheets
5	Measurement(mm)	5.412	5.412	5.395	5.41	5.42	5.43	5.30	5.34	5.34
	Gap(mm)	0.412	0.412	0.395	0.409	0.419	0.427	0.303	0.344	0.344
	Percent(%)	8.25%	8.23%	7.90%	8.17%	8.38%	8.55%	6.06%	6.88%	6.87%
3	Measurement(mm)	3.829	3.894	3.850	3.729	3.772	3.785	3.610	3.658	3.669
	Gap(mm)	0.829	0.894	0.850	0.729	0.772	0.785	0.610	0.657	0.669
	Percent(%)	27.62%	29.80%	28.34%	24.31%	25.72%	26.17%	20.32%	21.92%	22.32%
2	Measurement(mm)	1.156	1.118	1.117	1.037	1.085	1.093	1.028	1.052	1.050
	Gap(mm)	-0.844	-0.882	-0.883	-0.963	-0.915	-0.907	-0.972	-0.948	-0.950
	Percent(%)	-42.22%	-44.08%	-44.17%	-48.13%	-45.73%	-45.37%	-48.62%	-47.43%	-47.51%
1	Measurement(mm)	2.901	2.780	2.806	2.643	2.776	2.769	2.811	2.782	2.769
	Gap(mm)	1.901	1.780	1.806	1.643	1.776	1.769	1.811	1.782	1.769
	Percent(%)	190.13%	177.98%	180.60%	164.30%	177.63%	176.90%	181.13%	178.23%	176.93%

Table 4 Result of error on vertical displacement estimation(amount of clouds: Lv 9)

displacement (mm)	Content	Measurement Distance: 1m			Measurement Distance: 2m		
		4 Sheets	8 Sheets	16 Sheets	4 Sheets	8 Sheets	16 Sheets
5	Measurement(mm)	6.986	6.977	6.941	6.986	6.977	6.941
	Gap(mm)	1.986	1.977	1.941	1.986	1.977	1.941
	Percent(%)	39.7%	39.5%	38.8%	39.7%	39.5%	38.8%
3	Measurement(mm)	6.754	6.714	6.651	6.754	6.714	6.651
	Gap(mm)	3.754	3.714	3.651	3.754	3.714	3.651
	Percent(%)	125.1%	123.8%	121.7%	125.1%	123.8%	121.7%
2	Measurement(mm)	11.310	11.235	11.192	11.310	11.235	11.192
	Gap(mm)	9.310	9.235	9.192	9.310	9.235	9.192
	Percent(%)	465.5%	461.8%	459.6%	465.5%	461.8%	459.6%
1	Measurement(mm)	2.420	2.389	2.361	2.420	2.389	2.361
	Gap(mm)	1.420	1.389	1.361	1.420	1.389	1.361
	Percent(%)	142.0%	138.9%	136.1%	142.0%	138.9%	136.1%

각의 수직변위의 기준이 되는 촬영거리 1m, 2m, 3m에서 촬영한 사진을 이미지프로세싱이 가능하였다. 이를 이용하여 Target marker 3D 좌표점을 산출하였고, 각각의 평균에 대한 차를 구하여 수직변위를 계측을 진행하였다. 그리고 산출된 계측값의 정확도를 파악하기 위해 상대오차값을 산출하였다. 산출된 결과는 Table 3과 4와 같이 정리하였다.

4. 조건에 따른 수직변위 계측 정확도 비교

앞서 실험한 결과를 토대로, 촬영조건인 촬영거리, 촬영매수, 자연광에 따라서 수직변위 추정의 정확성에 대해 비교·분석을 진행하였다. 이를 통해서 촬영조건에 따라서 영향을 미치는 수준을 파악하고자 하였다.

4.1 촬영매수에 따른 수직 변위 추정 정확도 검증

촬영 매수에 따른 수직변위 측정정확도를 검증하기 위해서

운량 3과 9일 때 촬영거리 별 촬영매수 변화에 따른 상대오차 비교를 분석하였다. 촬영 거리별로 나누어 촬영매수에 따른 상대오차 증감을 나타내었다. 상대오차의 비교를 위해 상대오차의 절대값으로 그래프를 작성하여 분석하였고, 그 결과는 Fig. 2와 Fig. 3과 같다.

Fig. 2와 같이 운량이 3일 때 촬영매수에 따른 수직변위 추정 정확도를 촬영거리별로 비교하였다. 총 12개의 조건에서 촬영 7개의 결과가 촬영매수가 증가할수록 상대오차가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 7개의 케이스를 나열해 보면 다음과 같다. 5mm의 경우 촬영거리 2m와 3m 일 때 증가했고, 3mm의 경우 촬영거리 2m와 3m, 2mm의 경우에는 촬영거리 1m일 때 증가하였고, 1mm의 경우 촬영거리 2m와 3m에서 증가한 것을 확인하였다. 이를 통해 사진 매수가 증가하는 원인을 추정해보면 시편과의 거리가 멀어질수록 사진에 노이즈가 많아져 사진이 많아질수록 상대오차 값이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3과 같이 운량이 9일 때 촬영매수에 따른 상대오차

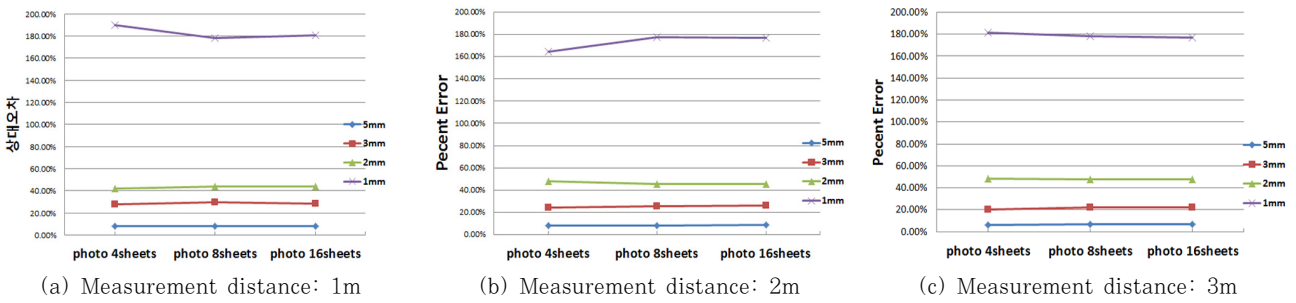


Fig. 2 Change of percent error according to a measurement distance(Amount of Clouds: Lv 3)

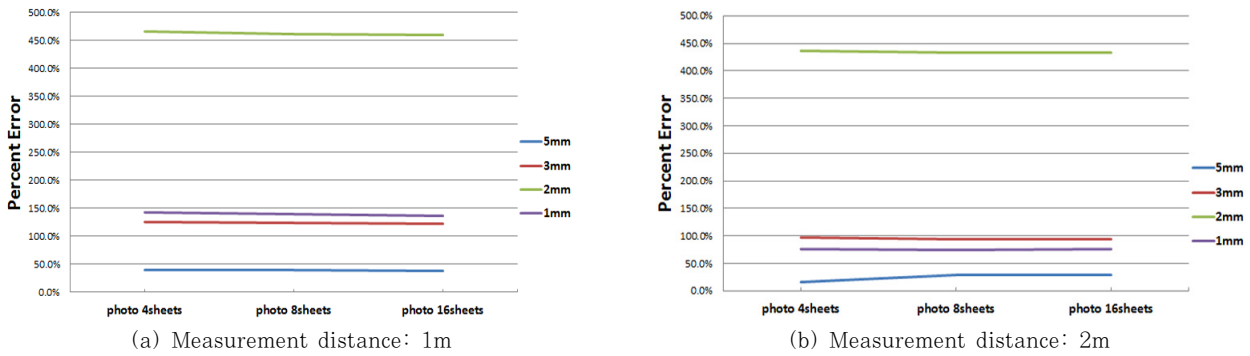


Fig. 3 Change of percent error according to a measurement distance(amount of clouds: Lv 9)

비교를 촬영거리 별로 분석하였다. 촬영거리 1m에서 사진 매수가 증가할수록 상대오차율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 촬영거리 2m에서도 4개중 3개의 케이스에서 감소하는 경향을 보이고 있다. 예를 들어 수직변위 3mm의 경우 사진매수 4매 일 때 125.1%에서 사진 매수 16매일 때 121.7%로 소폭 감소하는 것을 확인하였다. 하지만 2m로 변경되었을 경우 수직변위 5mm 사진매수 4매일 경우 96.2%에서 16매 일 경우 93.7%로 감소하는 경향을 보인다. 이것으로 볼 때 자연광의 영향이 적을수록 사진에서 발생하는 노이즈가 감소하고, 이에 따라서 계측 정확성이 증가하는 것을 확인할 수 있다

4.2 촬영거리에 따른 수직 변위 정확도 검증

운량 3과 9일때 촬영매수별 촬영거리에 따른 수직변위 추정 정확도 검증을 위해 Fig. 4는 운량이 3일 때 촬영거리에 변화

에 따른 상대오차를 동일한 촬영매수로 구분하여 비교하였다. 촬영거리가 증가할수록 상대오차 값은 소폭 감소한다. 수직변위 5mm의 경우 촬영사진 4매로 분석한 경우 촬영거리 1m일 때는 8.25%에서 2m일 때는 8.17%로 감소하고, 3m일 때에는 6.06%로 감소한다. 이는 시편으로부터 촬영거리가 증가할수록 촬영 각도의 변화에 의해 수직변위 차를 더욱 명확하게 구분할 수 있어 정확성이 증가하는 것으로 확인된다.

하지만 해당 경향과 다르게, 수직변위 2mm는 촬영거리가 증가할수록 상대오차가 오히려 소폭 상승하는 것을 확인하였다. 수직변위 2mm 촬영사진 4매인 케이스에서 촬영거리 1m에서는 -42.22%로 나타났는데 2m에서는 -48.13%로 증가하고, 3m 일 경우에는 -48.62%로 상대오차의 절대값이 상승하는 것을 확인하였다.

Fig. 5는 운량이 9일 때 촬영거리에 따른 상대오차 비교를 사진매수 별로 구분하여 그래프를 작성하였다. 촬영거리 증가에

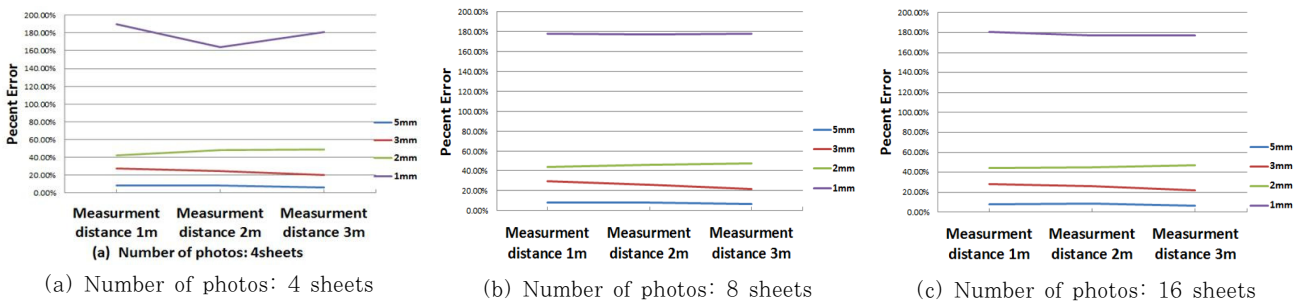
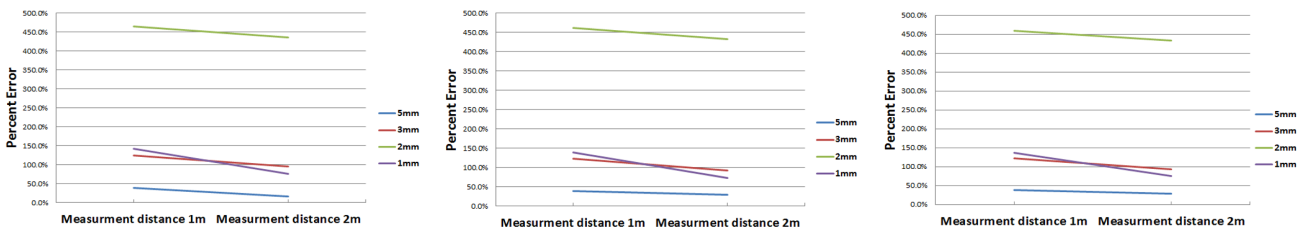


Fig. 4 Change of percent error according to the number of photos(amount of clouds: Lv 3)



(a) Number of photos: 4 sheets (b) Number of photos: 8 sheets (c) Number of photos: 16 sheets
Fig. 5 Change of percent error according to the number of photos(amt of clouds: Lv 9)

따라서 상대오차가 감소하는 경향이 나타난다. 예를 들어 수직 변위 5mm의 경우 사진 4매인 케이스에서 39.70%에서 16.50%로 감소하였고, 수직변위 3mm의 경우 125.10%에서 96.20%로 감소하였다. 수직변위 2mm의 경우 460.50%에서 436.20%로 감소한다. 앞서 분석한 운량이 3일 때 촬영 거리에 따른 상대오차 감소추세보다 운량이 9일 때 촬영 거리에 따른 상대오차 감소추세가 훨씬 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

4.3 조도에 따른 수직 변위 정확도 검증

본 논문에서 자연광이 충분할 때와 부족할 때를 구분하여 시편 촬영을 진행하였다. 운량에 따른 수직변위별 상대오차 평균값의 비교하였고, Fig. 6과 같다.

자연광이 충분여부에 따라 각 변위의 크기별로 비교해 보면 수직변위 5mm일 경우 7.7%에서 32%로 증가하였고, 3mm의 경우 25.17%에서 108.8%로 증가하였다. 그리고 2mm에서도 -45.92%에서 448.3%로 증가하였다. 하지만 1mm의 경우에는 178.20%에서 107.2%로 감소하였다. 하지만 대부분의 경우가 자연광이 충분할 경우 오차값이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 예외적으로 1mm를 대상으로 할 경우 자연광이 충분하지 않을 경우에 상대오차가 더 작은 것으로 확인되었다.

운량 Lv 9일 때 수직변위 2mm보다 1mm의 상대오차 절대 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 수직변위에 따른 상대오차 수준과 다름을 확인할 수 있었다. 이에 대해 추가적인

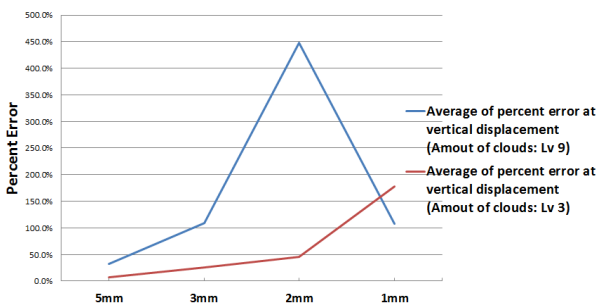


Fig. 6 Change of percent error according to cloud amount

연구를 통해 오차 발생이 다르게 나타난 것에 대해 검증해야 할 것이다.

계측 수직거리가 작을수록 상대오차의 값이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 5mm 이상의 큰 변위를 가진 수직변위를 측정하는데 상당한 정밀도를 가지고 측정이 가능할 것으로 파악되나 1mm나 2mm를 측정하는데 많은 제약 조건을 가질 것으로 판단된다.

5. 결 론

최근 기후변화에 따른 자연재해의 증가로 인해 구조물에 대한 철저한 유지관리의 필요성이 증대되고 있다. 신규 건설되는 구조물의 유지관리에 필요한 시스템이 적용되고 있으나 기존 구조물에 대한 효과적인 유지관리를 위한 기법개발이 필요하다. 이를 위해 광학이미지를 이용한 유지관리 기술 개발이 활발하게 진행되고 있다. 광학기술은 촬영조건에 따른 영향이 크므로 그 영향조건에 대한 검증이 필요하다.

본 논문에서는 CRP기법을 이용하여 수직변위를 계측하기 위해 여러 영향인자에 따른 수직변위 계측 정확성을 분석하였다. 영향인자로는 환경인자로서 자연광, 촬영거리와 이미지 프로 세싱에 활용할 사진매수를 구분하여 진행하였고, 정확성 평가를 위해 임차의 수직변위 차를 가진 판넬을 이용하여 실험을 진행 하였다.

각종 분석을 통해 확인한 결과 CRP기법을 이용할 경우 계측 정확도 많은 영향력을 주는 경우는 자연광에 의한 경우로 확인 되었다. 계측 수직변위별 분석을 통해서 확인한 결과운량이 3에서 9로 증가할 경우 수직변위 5mm일 경우 7.7%에서 32%로 증가하였고, 3mm의 경우 25.17%에서 108.8%로 증가하였다. 그리고 2mm에서도 -45.92%에서 448.3%로 증가하였다. 하지만 1mm의 경우에는 178.20%에서 107.2%로 감소하였다. 자연광 충분여부가 계측의 정확성에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

촬영거리에 따른 분석을 통해서 촬영거리가 증가할수록 상대오차는 감소하는 경향을 보였고 있는 사진촬영 각도가 고각에서 저각으로 변경되면서 수직변위 계측 정확성 높아진다.

그리고 사진매수에 따른 분석을 통해서 사진매수가 증가하고, 거리가 증가할수록 수직변위 계측 상대오차가 증가하여, 계측 정확도가 낮게 나타난다. 촬영매수가 증가할수록 노이즈가 많아져 계측오차가 크게 나타난다. 본 연구를 통해서 구조물의 변형이나 처짐 측정할 경우 계측 환경조건이나 대상의 조건에 따라서 적합한 적용방법을 찾는 데 도움을 줄 것으로 판단한다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 재난관리지원기술개발사업의 연구비 지원(2017-MPSS31-001)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bhatla, A., Choe, S.Y., Fierro, O., Leite, F. (2012) Evaluation of Accuracy of as-built 3D Modeling from Photos Taken by Handheld Digital Camera, *Automa. Constr.*, 28, pp.116~127.
- Cho, H.-W., Yoon, H.-J., 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. Soc. Hazard Mitig.*, 14(1), pp.85~91.
- Choi, H., Ahn, C.H. (2009) Accuracy Analysis of Close-range Digital Photogrammetry for Measuring Displacement about Loading to Structure, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, 29(4), pp.545~553.
- Golparvar-Fard, M., Bohn, J., Teizer, J., Savarese, S., Pena-Mora, F. (2011) Evaluation of Image-based Modeling and Laser Scanning Accuracy for Emerging Automated Performance Monitoring Techniques, *Autom. Constr.*, 20, pp.1143~1155.
- Han, J.-H., Song, J.J., Jo, Y.D. (2009) Effect of Photographing Light Intensity on Rock Joint Survey in Mine Tunnels using Stereo Photogrammetry, *J. Korean Soc. Rock Mech.*, 19(6), pp.517~525.
- Klein, L., Li, N., Becerik-Gerber, B. (2012) Imaged-based Verification of As-built Documentation of Operational Buildings, *Autom. Constr.*, 21, pp.161~171.
- Kim, G.H., Youn, J.H., Park, H.J. (2010) The Accuracy of Stereo Digital Camera Photogrammetry, *J. Korean Soc. Surv. Geodesy, Photogramm. & Cartogr.*, 28(6), pp.663~668.
- Lee, J.-J., Park, Y.-S., Yun, C.-B., Koo, K.-Y., Yi, J.-H. (2008), An Overview of Information Processing Techniques for Structure Health Monitoring of Bridges, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 21(6), pp.615-632.
- Lee, M., Hong, J.H. (2016) Analysis of the Determining Factors on Natural Disaster Damage using Panel Model, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 16(4), pp.247~257.
- Park, H.-J., Kim, G.-H. (2012) The Accuracy Verification of 3D Modeling using Digital Camera, *J. Constr. & Environ. Res. Inst.*, 7(1), pp.134~140.
- Remondino, F., El-Hakim, S. (2006) Image-Based 3D Modeling: A Review, *The Photogrammetric Record* 21(115), pp.269~291.
- Triggs, B., McLauchlan, P., Hartley, R., Fitzgibbon, A. (1999) Bundle Adjustment – A Modern Synthesis, *IWVA '99: Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms*, pp. 298~372.
- Zhu, Z., Brilakis, I. (2009) Comparison of Optical Sensor-Based Spatial Data Collection Techniques for Civil Infrastructure Modeling, *J. Comput. Civil Eng.*, 23(3), pp.170~177.

요 지

기후변화에 따른 자연재해의 증가하고 있다. 이에 자연재해에 의한 토목구조물의 피해 및 붕괴를 예방하기 위하여 처짐 및 균열을 지속적인 관리가 필요하다. 이에 효과적인 구조물 관리를 위해 광학 이미지 기술이 유지관리 기술에 적용되고 있다. 하지만 광학이미지 기술은 촬영에 따른 주변 조건의 영향이 크며, 그 때문에 촬영조건에 대한 검증이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서 촬영조건으로 자연광, 촬영매수, 촬영거리를 따른 수직변위 추정값의 정확도에 대해 검증하였다. 실험을 통해 확인한 결과 자연광이 수직변위를 추정하는데 자연광이 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었고, 촬영거리 또한 수직변위를 검토하는데 주요한 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 본 결과를 통해서 외부환경에서 촬영하는데 활용하여 변위 추정 시 발생하는 오차를 최소화할 수 있으며, 이러한 과정을 통해 구조물 유지관리에 적용할 수 있다.

핵심용어 : 근접사진측량, 구조물 건전성 모니터링, 촬영조건