

# 컨테이너 크레인 모델의 동영상 기반 지진응답 변위 분석

이창근<sup>1</sup>, 한동엽<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경동엔지니어링, <sup>2</sup>전남대학교 토목공학과

## Analysis of Seismic Response Displacement Based on Video of Container Crane Model

Chang Keun Lee<sup>1</sup>, Dongyeob Han<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kyong Dong Engineering Co. LTD

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Chonnam National University

**요약** 최근 국내에서 규모 3.0 이상의 지진 발생 빈도가 높아지고 있으며, 다양한 측정 기법을 이용하여 구조물에 대한 지진 영향을 평가하는 연구가 이루어지고 있다. 본 연구는 컨테이너 크레인 구조물의 지진 응답을 분석하기 위하여 동영상 기반 관측 기법을 적용하였다. 실험을 위하여 진동대 위에 크레인 구조물 모형을 설치하고 가속도계를 이용하여 가진 정보를 취득하였다. 동영상 기반 변위 정보를 얻기 위하여 세 가지 단계로 영상을 처리하였다. 첫째, 크레인 모형에 부착된 타겟 기준점과 동영상의 초기 프레임을 이용하여 카메라 표정을 수행하였다. 둘째, 모든 프레임을 대상으로 타겟의 3차원 위치정보를 산출하였다. 셋째, 가진 정보와 동영상 기반 변위 정보를 비교하여 정확도를 평가하였다. 실험 결과, 진동대에 근접해 있는 하단의 타겟들은 가진 정보와 유사하게 나타났으며, 크레인 상부 타겟들은 더 큰 변위를 보여주었다. 본 연구를 통하여 동영상 기반 변위 측정 기술이 구조물 운동 측정에 적용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

**Abstract** Recently, the frequency of earthquakes exceeding magnitude 3.0 has increased in Korea, and thus, research is being conducted to evaluate the impact of earthquakes on structures using various measurement techniques. In this study, we applied a video-based observation technique to analyze the seismic response of container crane structures. The study involved mounting a crane model on a vibrating table and obtaining excitation information using accelerometers. Three steps were used to obtain video-based displacement information. First, cameras were calibrated using target reference points attached to the crane model and initial video frames. Second, the 3D positional information of targets was obtained for all frames. Third, accuracy was evaluated by comparing excitation and video-based displacement information. Results showed that targets near the base of the shaking table displayed displacements similar to excitation displacements, while upper crane targets exhibited larger displacements. This study demonstrates the suitability of video-based displacement measurement techniques for assessing structural movements.

**Keywords** : Displacement, Video, Photogrammetry, Earthquake, Crane

이 논문은 전남대학교 연구년교수 연구비(과제번호: 2020-3939) 지원에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Dongyeob Han(Chonnam National Univ.)

email: hozilla@chonnam.ac.kr

Received December 6, 2023

Revised January 4, 2024

Accepted February 6, 2024

Published February 29, 2024

## 1. 서론

기상청 지진발생빈도 조사(2011년~2019년)데이터에 따르면 규모 3.0이상의 지진발생빈도는 15년 5회, 16년 34회, 19년도에는 14회 등이다[1]. 5.8의 경주지진이 일어남을 시작으로 1년 후인 2017년 포항 지진, 2022년 괴산에서 규모 4.1에 지진이 발생하였다. 지진으로 인하여 구조물에 영향이 가해졌을 때 직접적인 인명 및 재산 피해가 발생가능하고 장기적으로 구조적 문제 발생할 수 있다. 이로 인해 5.0 이상에 지진이 가해지는 영향에 대한 피해저감 기술의 개발 필요성이 증가하고 있다[2]. 컨테이너 크레인인 주로 항구에 설치되어 화물 운송에 비중있는 역할을 하는 구조물이다. 1995년 고베 대지진에서 컨테이너 크레인에 물리적 손상이 발생했으며, 이로 인하여 몇 개월 혹은 몇 년까지 경제적 영향이 나타났다[3]. 국내에서도 광양항 등에서 크레인 사고가 발생하고 있고, 크레인에 대한 지진취약도 분석[4], 크레인 계류시설의 지진시 동적거동 특성 연구[5] 등 관련 연구가 진행되었다.

진동대 시험에서 컨테이너 크레인의 내진 응답을 평가하기 위해 주로 접촉식 센서를 활용하여 시간 이력 데이터를 취득한다. 접촉식 센서를 이용한 데이터 취득에는 실험체의 무게, 센서 고정, 운용의 전문성 등 단점이 존재한다. 반면에 카메라와 같은 원격 측정 비접촉식 센서는 모니터링을 위한 부착 장비가 필요하지 않고, 상대적으로 저렴한 비용, 환경적 요소에 제약이 적어서, 구조물의 변위 관측 데이터 취득이 편리하다.

영상을 이용하여 구조물의 동적인 움직임을 측정하는 연구가 다양하게 진행되었다. 구조물의 다중 동적 변위 응답을 측정하거나 동적 변위를 관측하기 위하여 디지털 영상 상관 기법을 이용하는 방법이 제시되었다[6,7]. 정밀한 변위를 얻기 위하여 변형 없는 지점과 변형점 사이의 차이를 여러 점을 활용하여 2차 다항식으로 추정하였다. 실제 진동대 실험과 실의 교량에서 개발 기술을 적용하였으며 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)와 비교하여 정확도를 검증하였다. 또한 수직 방향으로 동시에 움직이는 대상체에 대하여 고정된 카메라를 사용하여 다중 지점의 2차원 변위를 동시에 추적하였다[8]. 대형 부유식 구조물의 파랑 응답 실험에서 다중 표적을 이용한 영상 기반 3차원 동적 응답 계측 연구도 수행되었다[9]. 진동대에 다양한 범위의 진동수와 변위를 입력하고 계측 결과의 분석을 통해 영상 기반 계측의 신뢰성을 검증하였다[10]. 60 Hz 캠코더 동영상

사용했으며, 0.2 ~ 6.0 Hz 진동수 범위와  $\pm 4 \sim \pm 32$  mm 최대 변위 범위에서 실험이 진행되었다. LDS(Laser Distance Sensor)를 기준값으로 정하고 비교한 결과, 영상계측 방법인 DDVS(Dynamic Displacement Vision System)는 동일 발생 변위에서 가진 진동수가 커질수록 오차값이 증가하였다. 진동대 위에서 다자유도 구조물 모형의 영상 기반 동특성을 추정하는 연구도 수행되었다[11]. 캠코더 계측 데이터를 활용한 동특성 추정 결과는 LDS 및 가속도계 계측 데이터를 통한 추정 결과와 전체적으로 유사하게 나타났다. 1/20 스케일의 항만 크레인에 대하여 진동대 위에서 지진 모사 실험을 통하여 크레인에 대한 변위를 구조물에 장착되어 있을 때, 주변의 고정된 물체를 관측하여 구조물 변위를 추정하는 연구도 수행되었다[12]. 강체 강관(Elephant Trunk Steel Pipe) 설치를 목표로 수중에서 강체에 대한 6자유도 추정에 대해 연구도 수행되었다[13].

기존 연구에서는 2차원 영상기반 변위 측정이 주로 이루어졌다. 본 연구에서는 내진 응답에 대한 동영상 데이터를 취득하여, 구조물의 3차원 시계열 변위 데이터를 생성하여 3차원 변위 이력을 분석하고자 한다.

## 2. 연구방법론

사진 측량은 19세기 후반부터 건설 공학에 사용되었다. 가시광선이 대상물에 반사되어 카메라 렌즈로 들어오는 것을 사진으로 기록한 후 이미지로부터 정량적(크기, 형상, 지형, 위치) 요소를 추출하고 정성적(객체의 특성) 요소를 해석해내는 측량학의 한 분야이다. 본 연구에서는 영상을 이용하여 3차원 좌표를 추정하고, 이에 대한 진동 분석을 진행하였다. 3차원 위치 추정과정은 Fig. 1과 같다.

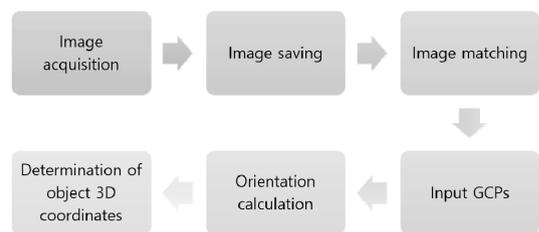


Fig. 1. 3D positioning process

영상의 지오레퍼런싱을 위하여 카메라 위치와 자세를 나타내는 외부표정요소와 렌즈 왜곡 등 카메라 내부에

서 광선 경로에 영향을 주는 내부표정요소가 필요하다. 표정과 관련된 좌표계는 4가지로 실세계(World), 카메라(Camera), 영상(Image), 센서(Sensor)로 이루어져 있다. 이들 좌표계 관계는 Fig. 2와 같다. 실세계 객체에서 카메라는 3차원 좌표 형태이고 영상과 센서는 2차원 좌표 형태로, 단계별 좌표 변환이 가능하다.

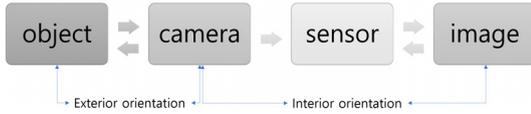


Fig. 2. Relationships in camera projection

공선조건은 객체 공간의 대상점, 사진 상의 한 점, 투영의 중심이 모두 일직선상에 존재하는 조건을 의미한다. 공간에서 공선이 서로 교차(Intersection)하여 만나면 임의 대상점에 대한 3차원 좌표 계산이 가능하다. 즉 표정정보와 공선조건식을 이용하면 입체 사진의 동일점에 대하여 반복계산으로 3차원 좌표 결정이 가능하다. 본 연구에서는 사진측량학적 방법을 사용하여 3차원 좌표를 결정하고 시계열 변위를 추정하였다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 크레인 진동 실험

항만 컨테이너 크레인 축소모형의 내진성능을 검토하기 위하여, 2020년 10월 27일~28일 동안 부산대 양산 캠퍼스 지진방재연구센터에서 크레인 축소 모형의 가진 실험을 실시하였다. 항만 크레인의 바닥 고정부를 마찰형과 핀형으로 설치 후 다리부 들뜸 여부, 크레인 위치별 최대 응답 가속도, 변위를 관측하였다. 이전 지진을 모사하는 특성값으로 각 지진별 규모, 진앙의 거리, 수평 및 수직 방향의 최고 가속도가 사용된다. 본 연구에서는 Iran 지진을 모사한 실험의 동영상을 이용하여 시계열 분석을 수행하였다(Table 1).

Table 1. Earthquake data

Name	Magnitude	Epicentral distance (km)	PGAH (g)	PGAv (g)
Zarand Iran Qadrooni Dam	6.40	23.62	0.22	0.11

1/20의 항만 크레인은 설계를 위해 기하학적 길이, 가속도, 탄성 계수 등 세 가지 독립적인 양으로 구성된 유사성 법칙에 기초하여 설계 및 제작되었다. 진동대는 고성능 10 g급 6자유도 진동대 시스템으로 건축물 내외장 설비(천장과 벽체, 전기 및 전력설비, 가스 및 상하수도 배관 구조 등), 건설기계 및 철도 등의 기간산업분야 비구조 요소에 대한 내진성능 검증, 진동내구성 실험이 가능한 장비이다.

Table 2. Camera specification

	D800E	D850
Manufacturer	Nikon	Nikon
Sensor	35.9×24.0mm CMOS	35.9×23.9mm CMOS
Effective pixels	36.30 million	45.75 million
ISO Sensitivity	100~6400	64~256,00
Lens	85mm	35mm
Video	1080p 24/25/30 fps 720p 24/50/60 fps	4K 30/25/24p 1920x1080, 60/50/24p

동영상 촬영을 위하여 DSLR 카메라 D850, D800E 총 3대가 사용되었으며, 35 mm 렌즈와 85 mm 렌즈를 사용했다(Table 2).

Iran 지진을 모사한 실험의 동영상에 대하여 프레임을 추출하였다. 1번(좌) 3번(우) 카메라는 60 fps(frames per second) 동영상, 2번(중앙) 카메라는 30 fps 동영상으로 녹화되었다. 동영상의 열(column)은 1920화소, 행(row)은 1080화소로 3개 카메라 모두 동일한 크기로 촬영되었다(Table 3). 표정 작업에는 각 동영상의 첫 번째 프레임으로만 작업을 진행하였다.

Table 3. Video properties

	Frame width	Frame height	FPS
Camera 1	1920	1080	59.94
Camera 2	1920	1080	30
Camera 3	1920	1080	59.94

Fig. 3은 변위 측정을 위하여 설치된 크레인 위의 타겟 위치이다. 타겟은 상업용 소프트웨어인 metashape[14]를 통해 제작되었다. 타겟의 형태는 가운데 원이 있으며, 식별을 위해 바깥쪽의 형태만 타겟별로 다르다(Fig. 4). 안쪽 가장 작은 흰 원의 지름은 2 mm이며 바깥 검정원은 30 mm이다.

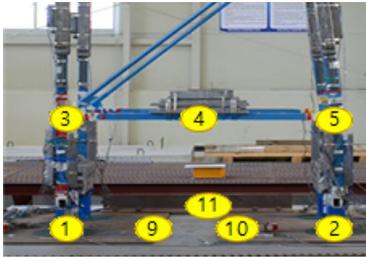


Fig. 3. Targets' distribution on the crain

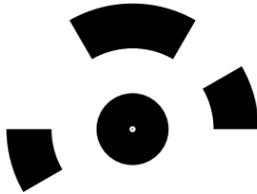


Fig. 4. Target Sample

3차원 좌표를 추정하기 위하여 타겟에 대한 지상기준점 정보를 토탈스테이션 라이카 TS15를 이용하여 관측하였다. 기준점 위치는 토탈스테이션의 위치로, 이 점을 원점(0, 0, 0)으로 지정하는 3차원 지역 좌표계로 구성하였다. 토탈스테이션의 각 측정 정확도는 '1' 다.

### 3.2 실험 결과

진동대 변위에 영향을 제거하기 위하여 진동이 시작되기 전인 동영상의 초기 프레임을 이용하여 카메라 표정을 수행하였다(Fig. 5). Metashape을 이용하여, 프레임을 불러오고, 3차원 타겟 기준점을 이용하여, 카메라의 내부표정과 외부표정 정보를 산정하였다. 이렇게 구한 표정 정보를 이용하여 이후 60 fps의 모든 프레임에서 원하는 타겟 위치에 대한 3차원 정보를 산출할 수 있었다.

Table 4는 Metashape을 이용하여 추정된 카메라 내부표정 요소이다. f는 초점거리로 화소 단위로 측정된다. k1, k2, k3는 방사 왜곡 계수, cx, cy는 화소 단위의 주점이고, p1은 접선 왜곡 계수, b1은 카메라 센서의 기울기(skew)이다.

Table 5는 추정된 카메라 외부표정 인자로 동영상을 취득할 때 카메라의 실세계 좌표체계에서의 기하 정보값이다. X, Y, Z는 카메라의 위치를 나타낸 값이고,  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ 는 각각 X, Y, Z축의 카메라 회전 각이다.

Table 4. Camera interior orientation of the first frame

	camera 1	camera 2	camera 3
f (mm)	85	35	85
f (pixel)	3158.006	1585.206	3163.22
k1	-0.009	-0.19	-0.12
k2	0.1876	7.3524	0.4681
k3	-1.0018	-114.36	-2.0279
cx (pixel)	-283.28	-121.9	205.561
cy (pixel)	9.2406	191.06	60.4913
p1	-0.0219	-0.0206	-0.0071
b1	33.6604	-9.7347	-1.4938

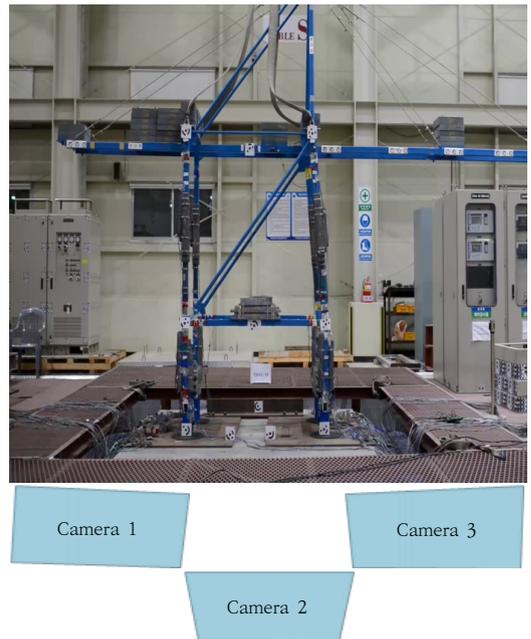


Fig. 5. Composition of camera and crane model

Table 5. Camera exterior orientation of the first frame

Parameters	Camera 1	Camera 2	Camera 3
X(m)	0.9937	2.0085	2.7433
Y(m)	2.2780	0.5051	2.3396
Z(m)	0.9591	0.9132	0.8714
$\omega$ (°)	81.7461	89.3707	82.2599
$\phi$ (°)	-2.3873	0.9918	10.3368
$\kappa$ (°)	0.1877	0.1698	3.3277

토탈스테이션을 이용하여 측정한 타겟 기준점의 3차원 좌표와 영상의 변위 조정을 통해 추정한 3차원 좌표를 비교하여 카메라 표정의 정확도를 평가하였다. 표정 과정에서 3 개의 동영상에 모두 나타나고, 진동대와 함께 움직이는 9번, 10번, 11번 점을 표정을 위한 기준점(GCP, Ground Control Point)으로 사용하였다. 표정의 절대 정확도 평가에 사용되는 검사점(CP, Check Point)은 기준점을 제외한 나머지 점인 1번, 2번, 3번, 4번, 5번 점을 사용했다. Table 6은 카메라 표정의 정확도 평가 결과이다. 기준점인 9번, 10번, 11번의 좌표 추정 오차는 0.0106 m(0.275화소)이고, 검사점 1번, 2번, 3번, 4번, 5번을 이용한 좌표 추정 오차는 0.0612 m(0.485화소)이다. 따라서 검사점의 화소단위 오차가 평균적으로 0.5 화소보다 작기 때문에 표정결과를 변위 추정 실험에 사용할 수 있을 것으로 여겨진다.

Table 6. Accuracy of camera orientation using the GCPs

Markers		X,Y,Z Error	
		(m)	(pixel)
GCP	point 9	0.0129	0.1922
	point 10	0.0130	0.3629
	point 11	0.0025	0.2399
	Total Error	0.0106	0.2750
CP	point 1	0.0459	0.2252
	point 2	0.0499	0.3075
	point 3	0.0747	0.3450
	point 4	0.0506	0.2516
	point 5	0.0770	0.9201
	Total Error	0.0612	0.4850

3개 카메라의 동영상을 동기화시키기 위하여 프레임으로부터 타겟의 2차원 변화량을 서로 비교하여 시계열 변화가 가장 유사한 지점을 찾아 이후 처리에 활용하였다. 3개 카메라 정보를 모두 활용해야 하지만, 2개의 카메라와 3개의 카메라를 사용했을 때 변위량이 유사하게 나타나고, 중앙에 위치한 2번 카메라의 해상도가 다른 2개의 카메라보다 낮기 때문에, 1번과 3번 카메라 데이터만을 사용하여 3차원 변위를 추정하였다(Fig. 6).

여러 타겟중에서 11번 타겟은 거리가 가장 먼 곳에 위치해 있으며, 이로 인해 초점이 명확하지 않게 촬영되었다. 따라서 11번 타겟은 변위 추정에서 제외하였다. 타겟의 시계열 변위 관측에서 상부에 위치한 타겟의 변위량이 가장 크게 나타났다. X축 방향에서 최대 약 28 mm 정도 변동폭이 나타났으며, Y축 방향에서 최대 약 7

mm 정도 변동폭, Z축 방향에서 최대 약 1.5 mm 정도 변동폭이 나타났다. 진동대에 가진이 멈추었을 때에도 변위가 서서히 감소하며 진동이 나타났다. 하단 중앙의 타겟은 변위량이 가장 작았으며, 대체로 가진 변위와 유사한 움직임이 나타났다. Table 7은 상단의 3번 타겟과 하단의 9번 타겟에 대한 변위 통계량이다.

각 축에 대한 변위량을 비교하면, X축 방향으로 가진이 주어졌기 때문에 X축에서 가장 크게, Z축(수직방향)에서 가장 작게 나타났다.

1번 타겟은 진동대 바로 위에 부착되어 있어 진동대 움직임과 유사하게 진동하였을 것으로 여겨진다. 1번 타겟은 진동대의 변위와 유사하게 최대변위 약 16 mm 정도 움직였다(Fig. 7). Y축 방향에서 최대 변위 이후에 약간 움직임이 나타났다. 동영상에서도 약간의 움직임이 나타났는데, 크레인이 완전하게 진동대에 고정되지 않아서 생기는 드리프트로 여겨진다.

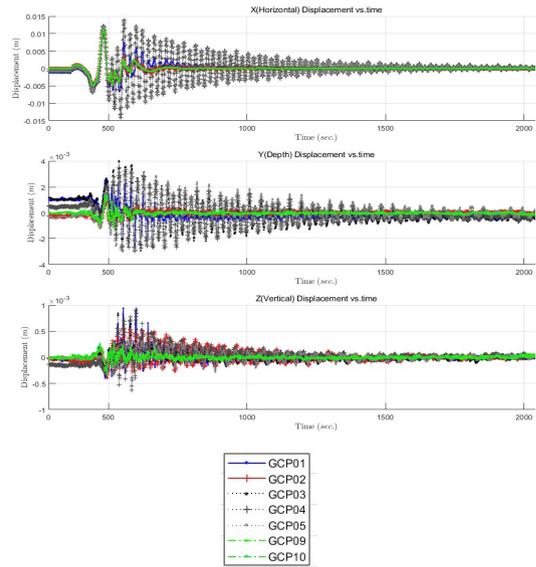


Fig. 6. 3D Displacement of all targets in X, Y, Z axes

Table 7. Displacement range of GCP 3 and GCP 9

Target	X(mm)			Y(mm)			Z(mm)		
	min.	max.	range	min.	max.	range	min.	max.	range
GCP 3	-14.1	13.9	28.0	-2.9	4.0	6.9	-0.3	0.9	1.2
GCP 9	-4.9	11.1	16.0	-1.1	1.4	2.5	-0.3	0.3	0.6

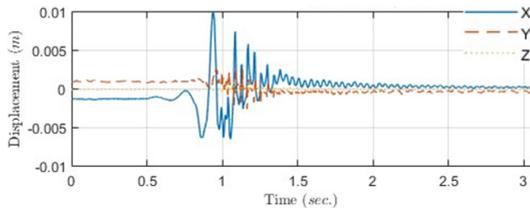


Fig. 7. Displacement of GCP 1

#### 4. 결론

구조물의 시계열 변위를 관측하기 위하여 동영상을 이용한 영상기반 3차원 좌표를 산정하였다. 카메라 외부 표정 정보를 활용해 동영상을 통해 3차원 좌표를 측정하였다. 동영상을 통한 3차원 좌표 추정은 가진량과 지진 구간에서 유사함을 나타냈지만 완전 일치하지는 않았다. 반면에 변위 폭은 가진량 약 16mm와 유사성을 보였다. 동영상을 통해 3차원 좌표를 추정한 결과에서 타겟 1번이 위치한 하단부 좌측 끝부분은 마지막에 Y축과 Z축에서 큰 변화를 보여준다. 주된 이유로는 포털 드리프트로 인한 크레인 Pin support 부분에서의 움직임으로 여겨진다.

동영상을 통한 변위추정에서 변위 형상이나 위치별 특징이 다르게 나타났다. 진동대에서 멀리 위치한 타겟에서 더 많은 진동, 최대 진폭 약 28mm로 나타나 변위 추정이 잘 수행되었으리라 여겨진다. 하지만, 추정값에 대한 오차보정이 좀더 정확히 이루어질 수 있다면 동영상을 통한 3차원 객체 변위추정 방법도 정확하게 이루어져, 영상기반 측정 활용이 다양한 분야에서 이용가능하다고 판단된다.

#### References

[1] Korea Meteorological Administration. Earthquake Occurrence Frequency [Internet], KOSIS, 2022. Available From: [https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=1396](https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1396) (accessed Dec. 06, 2023)

[2] G. Kim, S. Kim, J. Kang, "Application of Mid-story Isolation System for Seismic Response Reducing of Dome Structure," *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, vol. 16, no. 4, pp. 37-44, 2016. DOI: <https://doi.org/10.9712/KASS.2016.16.4.037>

[3] S. E. Chang, "Disasters and Transport Systems: Loss, Recovery and Competition at the Port of Kobe after the 1995 earthquake," *Journal of Transport Geography*,

vol. 8, no. 1, pp. 53-65, 2000.

DOI: [https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(99\)00023-X](https://doi.org/10.1016/S0966-6923(99)00023-X)

[4] I. H. Kim, Y. S. Gong, C. H. Sun, "Seismic Fragility Analysis for Harbor Crane," *Proceedings of the conference of the Korean Society for Marine Environment & Energy*, pp. 2242-2245, 2012.

[5] J. Oh, Y. Jeong, M. Kwon, "Study on the Dynamic Behavior Characteristics of an Earthquake in a Crane Pile Mooring Facility," *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, vol. 25, no. 3, pp. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11112/jksmi.2021.25.3.1>

[6] S. W. Kim, N. N. Kim, "Multi-point Dynamic Displacement Measurements of Structures Using Digital Image Correlation Technique," *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, vol. 13, no. 3, pp. 11-19, 2009.

[7] S. W. Kim, N. S. Kim, "Verification of Multi-point Displacement Response Measurement Algorithm Using Image Processing Technique," *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 30, no. 3A, pp. 297-307, 2010. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2010.30.3A.297>

[8] A. M. Khalil, "Two-dimensional Displacement Measurement Using Static Close Range Photogrammetry and a Single Fixed Camera," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 50, no. 3, pp. 219-227, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2011.07.003>

[9] J. H. Yi, J. H. Kim, W. M. Jeong, J. W. Chae, "Vision-Based Dynamic Motion Measurement of a Floating Structure Using Multiple Targets under Wave Loadings," *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, vol. 32, no. 1A, pp. 19-30, 2012. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2012.32.1A.019>

[10] S. H. Shin, K. J. Shin, H. J. Kim, "Reliability Verification of Vision-based Dynamic Displacement Measurement System," *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, vol. 21, no. 3, pp. 135-142, 2017.

[11] S. H. Shin, W. B. Park, H. J. Kim, "Vision-based System Identification for MDOF Structures through Shaking Table Test," *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, vol. 21, no. 4, pp. 179-186, 2017.

[12] Y. Lee, G. Lee, D. S. Moon, H. Yoon, "Vision-based Displacement Measurement Using a Camera Mounted on a Structure with Stationary Background Targets outside the Structure," *Structural Control and Health Monitoring*, vol. 29, no. 11, pp. e3095, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/stc.3095>

[13] J. P. Jhan, J. Y. Rau, C. M. Chou, "Underwater 3D Rigid Object Tracking and 6-DOF Estimation: A Case Study of Giant Steel Pipe Scale Model Underwater Installation," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 16, pp. 2600, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12162600>

[14] Agisoft LLC, Agisoft Metashape User Manual -

Professional Edition, Version 2.0 [Internet], 2023.  
Available From:  
[https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_2\\_0\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_en.pdf)  
(accessed Dec. 06, 2023)

---

이 창 근(Chang Keun Lee)

[정회원]



- 2020. 2월 : 전남대학교 공학대학 해양토목공학과 (공학사)
- 2023. 2월 : 전남대학교 일반대학원 건축토목공학과 (공학석사)
- 2022년 4월 ~ 현재 : 경동엔지니어링

<관심분야>  
공간정보

---

한 동 엽(Dongyeob Han)

[정회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 공과대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 서울대학교 공과대학원 지구환경시스템공학부 (공학박사)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 전남대학교 교수

<관심분야>  
공간정보