

# 무인항공기를 활용한 가설구조물의 길이와 기울기 측정에 관한 연구

강민국\* · 신승현\*\* · 박종근\*\*\* · 원정훈\*\*\*\*†

## A Study on Measurement of Length and Slope of Temporary Structure using UAV

Min-Guk Kang\* · Seung-Hyeon Shin\*\* · JongKeun Park\*\*\* · Jeong-Hun Won\*\*\*\*†

### †Corresponding Author

Jeong-Hun Won

Tel : +82-43-261-2459

E-mail : jhwon@chungbuk.ac.kr

Received : November 17, 2022

Revised : December 17, 2022

Accepted : December 19, 2022

**Abstract** : A method for measuring the length and slope of a temporary structure using an unmanned aerial vehicle (UAV) and 3D modeling method is proposed. The actual length and slope of the vertical member of the specimen were measured and compared with the measured values obtained by the proposed method for the specimens with and without the vertical protection net installed. Based on the result of measuring the length of the temporary structure specimen using the UAV and 3D modeling method, the measured value showed an error of 0.87% when compared to the actual length in the specimen without the vertical protection net installed. In addition, the error of the slope was 0.63°. It was thought that the proposed method could be usable for the purpose of finding parts in wrong installation state on the temporary structure and informing the manager in charge. However, in the case of the specimen with the vertical protection net, the measurement showed a 1.46% error in length and 2.77° difference in slope. Therefore, if a vertical protection net is to be installed in a temporary structure, the measurement accuracy should be improved by utilizing an image processing method, etc.

Copyright©2022 by The Korean Society of Safety All right reserved.

**Key Words** : length, slope, temporary structure, unmanned aerial vehicle (UAV), 3D modeling

## 1. 서론

최근 건설 분야의 공사 진행 상황 판단 및 모니터링 분야, 건설장비 통제와 건설자동화 등에 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)를 활용하는 연구와 적용사례가 꾸준히 증가하고 있다<sup>1-4)</sup>. 특히 건설현장에서 무인항공기를 효과적으로 사용할 수 있는 분야는 측량이며 정밀측량 시 약 0.02 m 정도의 정밀도 확보가 가능한 것으로 알려져 있다<sup>5)</sup>. 또한, 무인항공기를 활용하여 고화질 영상을 취득하고 3차원 모델을 제작할 수 있으며, 시설물에 대한 균열, 누수, 백태, 박리 등에 대한 안전진단에도 무인항공기의 활용이 증가하

고 있다<sup>6,7)</sup>. 반면, 기존의 영상장비 및 레이저스캐너 등을 활용한 구조물의 변위 측정 방법은 정밀도는 높으나<sup>8)</sup> 사람의 접근이 어려운 시설물을 대상으로 활용하기 어렵다는 한계점이 존재한다.

무인항공기의 활용은 스마트건설안전 기술의 한 분야<sup>9)</sup>이며, 건설현장 안전관리를 위해 무인항공기가 활용 가능한 분야는 작업 상태의 확인, 작업자의 불안정한 행동 확인, 가설 구조물의 설치 상태 확인 등이 가능하다. 비계, 동바리와 같은 가설구조물은 공사를 위해 일시적으로 설치되며 시공 후에 철거하는 부재로 구조성능과 자재 노후화 등의 영향으로 구조가 변형될 수 있으며, 나아가 사고로 이어지는 경우가 발생하고

\*충북대학교 안전공학과 박사과정 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

\*\*충북대학교 빅데이터협동과정 박사과정 (Department of Big Data, Chungbuk National University)

\*\*\*대전보건대학교 재난소방·건설안전과 교수 (Department of Disaster Fire and Construction Safety, Daejeon Health Institute of Technology)

\*\*\*\*충북대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering / Department of Disaster Prevention Engineering & Department of Big Data, Chungbuk National University)

있다<sup>10)</sup>. 가설구조물의 설치 상태 중 길이와 설치 기울기는 시공 정밀도와 함께 변형 정도를 나타낼 수 있는 정도이므로 현장 안전 점검에서 자주 측정되는 항목이다. 일반적으로 가설구조물의 길이는 줄자 등으로 실측이 되며, 설치 기울기는 디지털 경사계를 사용하여 직접 측정된다. 가설구조물의 모든 부재를 측정하는 것은 시간이 소요되므로 현장 점검 시 모든 부재를 실측하는 것은 어려운 현실이다.

무인항공기를 활용하여 가설구조물의 설치 길이와 기울기를 측정하는 기술의 개발은 가설구조물의 안전성을 확보하는 선제적인 기술로 사용될 수 있다. 다만, 건물 전체를 한 장에 담아 촬영한 영상은 해상도가 낮아 가설구조물의 상태를 정밀하게 식별하기 어려운 문제가 있다<sup>11,12)</sup>. 해상도 저하를 해결하기 위해 건물 전체를 여러 면과 각도에서 촬영한 다수의 영상을 활용하면 가설구조물 점검에 활용될 수 있다. 촬영된 여러 장의 영상을 하나씩 점검하는데 많은 시간이 소모되며 점검 영역의 식별에도 문제가 발생하나, 3D 모델링의 활용으로 문제점을 보완할 수 있다. 3D 모델링은 영상으로 식별하는 점검 영역의 한계를 3차원으로 확장하여 2차원 영상의 미비점을 보완해 줄 수 있는 장점이 있다<sup>7,13)</sup>. 또한, 무인항공기와 3D 모델링을 통한 안전점검은 레이저스캐너 등의 장비보다 저가의 장비를 활용하여 접근이 어려운 현장 내 가설물의 설치 정확도 등을 우선적으로 점검하고, 설치 상태가 문제가 되는 위치를 시공 담당자들에게 알려주어 효율적인 안전관리를 수행하는 보조적인 방법으로 활용될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 무인항공기와 3D 모델링 기법을 적용하여 가설구조물의 설치 길이와 기울기 측정 방법을 제안하였다. 실험을 통하여 대상 가설구조물에 대해 실측한 길이와 기울기 값을 무인항공기와 3D 모델링 기법을 활용하여 측정한 값과 비교하여 제안한 방법의 정확도를 분석하였다. 또한, 본 연구에서 사용한 장비는 활용성 측면에서 저가로 쉽게 구할 수 있는 무인항공기를 사용하였다.

## 2. 실험 대상과 연구 방법

실험을 위해 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 비계 1단의 가설구조물을 설치하고 비계에 수직보호망을 설치한 실험체를 설치하였다. 가설구조물의 크기는 3.10 m × 1.27 m × 2.32 m이며 3D 모델링을 활용한 길이 및 기울기 측정 시 변위에 따른 측정오차를 최소화하기 위해 수직재와 수평재가 연결되는 수직재의 각 끝단을 기준으로 수직재 길이를 재설정하였다. 이때 실측된 수직재의 길이는 1.715 m이다.

### 2.1 실험 가설구조물

3D 모델링 시 재현율이 떨어지는 가설구조물의 뒤쪽 수직재는 대상에서 제외하고, 앞쪽 수직재 3개를 대상으로 기울기를 측정하였다. 가설구조물의 각 위치별 명칭은 Fig. 2와 같이 V-1는 앞쪽의 왼쪽에 위치한 수직재를 의미하고, V-2 수직재는 앞쪽의 중앙 수직재, 그리고 V-3는 앞쪽의 오른쪽 수직재를 나타낸다.

디지털 경사계를 이용한 기울기 측정 시 오차를 줄이기 위해 구조적 변화가 없는 평평한 지점인 수직재의 상층부 끝점과 하단부 끝점을 기준으로 Fig. 3과 같이 0.15 m 떨어진 위치에 붉은색 마스킹 테이프로 측정 지점을 표시했다. 또한, 3D 모델링에서 계측되는 길이 및 기울기의 Z축 좌표값의 오차를 줄이기 위해 노란색 마스킹 테이프를 수직재의 X축과 Y축에 표시하였다.



Fig. 1. Experimental lay-out.

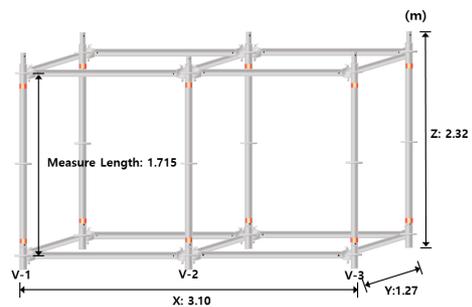


Fig. 2. Dimension of temporary structure.

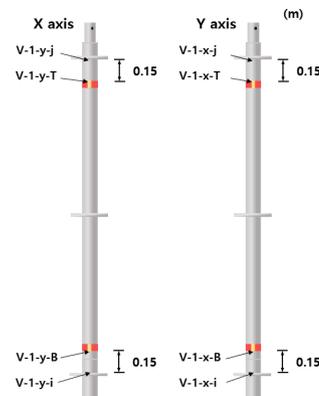


Fig. 3. Slope measurement location.

## 2.2 측정 방법

무인항공기와 3D 모델링을 활용하여 가설구조물의 길이와 설치 기울기를 측정하기 위한 제안 방법은 Fig. 4와 같다. 먼저 가설구조물을 설치하고, 길이와 기울기를 측정한다. 다음으로 무인항공기를 활용하여 가설구조물을 촬영하고, 촬영한 결과물을 이용하여 3D 모델링을 생성한다. 생성한 3D 모델링에서 길이를 추출하고, 가설구조물의 좌표값을 구면좌표계에 활용하여 기울기를 계산한다. 마지막으로 3D 모델링을 통해 측정한 길이, 기울기 값과 실측한 길이, 기울기 값을 비교한다.

일반적으로 가설구조물에 설치되는 수직보호망을 고려하기 위하여 실험은 수직보호망이 설치되지 않은 가설구조물을 대상으로 한 실험 1과 수직보호망이 설치된 가설구조물을 대상으로 한 실험 2로 구성하였다.

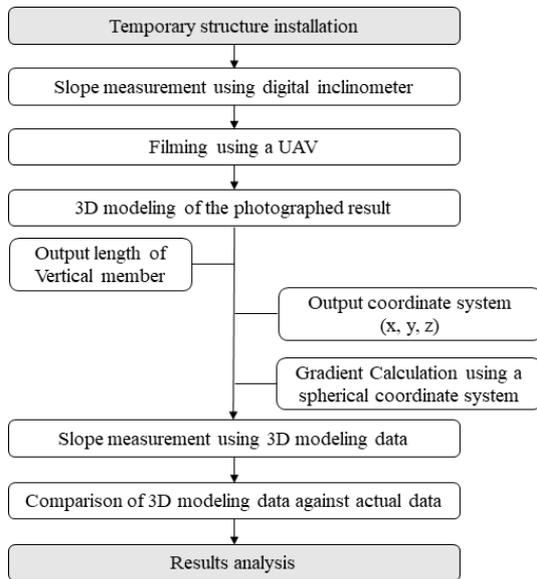


Fig. 4. Research procedure.

## 2.3 대상 가설구조물 실측

수직재의 길이는 줄자를 사용하여 측정하고, 디지털 경사계를 이용하여 기울기를 측정하였다. 실험 구조물의 기울기를 측정은 WYLER사의 디지털 경사계인



Fig. 5. Digital inclinometer(Clinotronic PLUS) and Measured slope.

Table 1. Specifications of digital inclinometer

Size (mm)	Sensitivity	Stabilization time (Sec)	Range(°)
100×75×30	0.020	1	±45

Clinotronic PLUS를 이용하여 수직재의 X축, Y축 방향의 상단과 하단의 기울기를 측정하였다(Fig. 5). 사용한 경사계의 특성은 0.020 mm/m의 정밀도, ±45°의 관측범위를 갖는다(Table 1).

## 3. UAV 활용한 기울기 측정

### 3.1 영상촬영 및 3D 모델링

영상촬영 장비는 무인항공기, CCTV, 지상 로봇 등이 있다. 대규모 높이와 폭으로 설치되는 가설구조물을 대상으로 CCTV, 지상로봇을 활용한 촬영은 접근이 어려운 한계를 가지나, 무인항공기는 접근성이 높으며 현장에서 쉽게 활용되고 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 무인항공기는 저가로 쉽게 보급 및 활용 가능한 제품인 DJI사의 Mini 2 모델이며(Fig. 6), GPS와 하향 비전 시스템을 사용하여 자체 위치를 결정하고 안정화시킬 수 있다. 최대 12M 유효 픽셀, 1/2.3" CMOS 센서의 카메라가 장착되었으며 상세한 제원은 Table 2와 같다.

영상 촬영과 3D 모델링 구현 시, 영상의 화질, 모델링 방법, 촬영 거리 및 각도 등의 다양한 변수가 존재한다. 특히, 영상의 화질이 높고, 촬영 거리가 대상물과 가깝고, 다양한 각도에서 촬영할수록 3D 모델링 시 생성되는 포인트클라우드의 수가 많아져 측정 정확도가 높아진다. 3D 모델링은 대상 구조물 영상 간의 공통 지점을 자동으로 찾는 기법을 기반으로 하는 영상처리



Fig. 6. Picture of used UAV(DJI Mini 2).

Table 2. DJI Mini 2 specifications

Category	Data	Category	Data
Takeoff weight	249 g	Max speed	6 m/s
Max flight time	31 min	Max ascent speed	2 m/s
GNSS	GPS+GLONASS+ GALILEO	Max descent speed	1.5 m/s

소프트웨어인 Pix4D mapper 프로그램을 사용하였다. 사용된 프로그램은 영상에서 다수의 특징점을 식별하고, 식별된 특징점을 연결하여 3D 영상을 생성할 수 있는 장점이 있다. 또한, 다양한 가격대의 무인항공기로 촬영하더라도 제안 방법이 적용 가능함을 증명하기 위해 저가의 무인항공기를 사용하여 보편적인 수준의 영상 화질을 사용하였다. 가설구조물 촬영 방법은 3D 모델링 시 상용프로그램에서 권장하는 촬영 가이드에 따라 Fig. 7과 같이 무인항공기를 활용하여 촬영 대상물을 기준으로 30° 하방, 45° 하방에서 촬영하였다.

촬영 경로는 Fig. 8과 같이 실험체를 중심으로 지면 방향으로 30도, 45도 각도에서 반원 형상을 그리며, 높은 해상도를 얻기 위해 사진 중첩률은 수직 90%, 수평

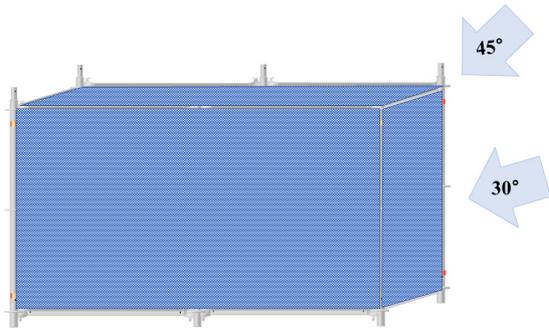


Fig. 7. Photographing methods of temporary structures.

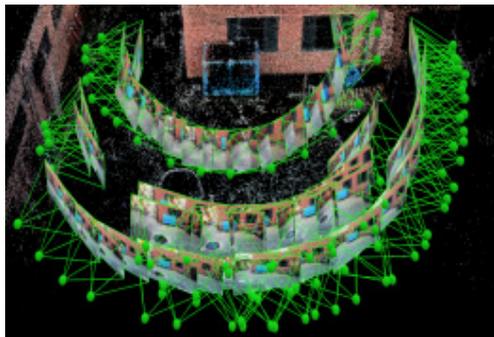


Fig. 8. Photo shooting point using UAV.



Fig. 9. Point cloud.



Fig. 10. Triangular mesh.

80%로 촬영하였다. 촬영한 영상은 3D 모델링 소프트웨어인 Pix4D를 통해 Fig. 9, Fig. 10과 같이 포인트 클라우드(point cloud)와 삼각 메쉬를 생성하여 가설구조물의 길이, 기울기 측정에 이용했다.

### 3.2 지상 기준점 설정

지상기준점(Ground Control Point: GCP)은 기본 측량의 위치를 표시한 삼각점으로 일정 수량의 영상화소의 관측벡터가 해당 화소의 지상좌표에 잘 부합되도록 조정하여 위치 정밀도를 증가시킨다. 본 연구에서는 공공측량작업 규정에 따라 GPS측량을 통한 위치 정밀도를 향상시키기 위하여 Table 3과 같은 제원을 갖는 Geomax zenith 35 pro를 사용하였다.

지상기준점(GCP)을 기준으로 촬영된 영상의 좌표값을 지상좌표로 전환시키는 작업으로 지상기준점 측량을 통한 절대좌표 변환을 실시하였다. Table 4는 각 해당하는 지점의 각 위치 좌표값이다. 각 화소가 나타내는 X, Y 지상거리를 나타내는 지상표본거리(Ground Sampling Distance : GSD)는 짧을수록 더 정밀한 거리와

Table 3. Geomax zenith specifications

Category	Data
Q-Lock ProTM functionality	Lowest noise and advanced multipath mitigation for highest reliability
Initialisation reliabiliy	> 99.9%
Measurement engine	NovAtel OEM7, 555 channels, multi-frequency / -constellation
GPS tracking	L1 C/A, L1C, L2C, L2P, L5
GLONASS tracking	L1 C/A, L2 C/A, L2P, L3
BeiDou tracking	B1I, B1C, B2I, B2a, B2b, B3I
Galileo tracking	E1, E5a, E5b, AltBOC, E6
QZSS tracking	L1 C/A, L1C, L2C, L5, L6
NavIC tracking	L5
Positioning rate	5 Hz, 20 Hz (opt)
SBAS	EGNOS, WAAS, MSAS, GAGAN

**Table 4.** Ground control point(GCP)

Coordinate system	Korea 2000 / Central Belt 2010			
	Division	X	Y	Z
GCP1		447517.309	241068.886	62.727
GCP2		447518.523	241065.680	62.695
GCP3		447524.907	241072.745	62.732

**Table 5.** Ground sampling distance (GSD) and root mean square error (RMSE)

Number of GCP	Ground sampling distance (GSD)	RMSE
0	0.51 cm	-
1	0.65 cm	-
2	0.85 cm	111.76 cm
3	0.49 cm	1.3 cm

면적이 계산 가능하며, 값이 작을수록 높은 해상도를 나타낸다. 평균제곱근오차(Root Mean Square Error : RMSE)는 관측값의 불일치도를 나타내는 값으로 수치 값이 작을수록 높은 정밀도를 나타낸다. 본 실험에서는 0~3개 지점을 설정하여 비교한 결과, 지상 기준점 3개를 설정하였을 때 지상표본거리가 0.49 cm로 가장 작게 나타났고, 평균제곱근오차도 최소값인 1.3 cm로 가장 높은 위치 정밀도를 나타냈다(Table 5). 따라서 3D 모델링 시 가장 높은 해상도와 위치 정밀도를 나타내는 3개 지점의 지상기준점(GCP)으로 설정하였다.

#### 4. 결과 분석

3D 모델링 프로그램을 이용한 길이 및 기울기 측정은 각 노드 값의 x축, y축, z축 위치 좌표를 이용하여 계산하였다. 가설구조물의 길이의 경우 수직보호망이 설치되지 않은 가설구조물(실험 1)의 길이는 줄자를 이용했을 때 1.715 m로 측정되었다. 3D 모델링을 통해 측정된 가설구조물 수직재 V-1의 길이는 1.696 m, V-2는 1.705 m, V-3는 1.700 m로 측정되었다. 따라서 실측값과 3D 모델링에서 도출한 길이의 평균 차이는 0.015 m이며, 실측 길이와 0.87% 오차를 갖는 것으로 분석되었다(Table 6).

수직보호망이 설치된 가설구조물(실험 2)의 실측 길이는 실험 1과 동일하며, 3D 모델링을 이용하여 측정된 수직재 V-1의 길이는 1.687 m, V-2는 1.686 m, V-3는 1.695 m로 측정되었다. 수직보호망이 설치된 실험에서는 실측값과 3D 모델링 값의 평균 길이 차이는 0.025 m이므로 실측 길이와 1.46% 오차를 갖는 것으로 분석되었다(Table 7).

실험 부재의 실측 길이와 무인항공기와 3D 모델링을 통해 측정된 길이의 오차는 수직보호망이 설치되지 않은 실험 1에 비해 수직보호망이 설치된 실험 2에서 크게 측정된 것을 알 수 있다. 수직보호망 설치에 따라 차이가 발생한 이유는 3D 모델링을 통해 길이를 측정할 때 대상물의 표면을 구성하는 한 점인 포인트 클라우드에서 좌표값을 추출하기 때문이다. 선택한 포인트 클라우드에 따라 달라지는 좌표값이 길이에 영향을 미치므로 실측값과 측정값의 차이가 발생한 것으로 판단된다. 즉, 가설구조물에 설치된 수직보호망의 존재로 수직상의 포인트 클라우드를 선택하기 어려우므로 수직보호망이 설치된 경우 측정 정확도가 떨어지게 된다.

수직보호망이 설치되지 않은 가설구조물의 X축, Y축의 상단과 하단의 기울기를 디지털 경사계를 이용하여 측정된 실측값과 3D 모델링을 통해 측정된 값을 비교하면(Table 8), 수직재 V-1의 기울기 차이는 0.43°, V-2는 0.49°, V-3는 0.98°로 나타났다. 수직재 V-1과 V-2의 실측값과 기울기 차이는 0.5°이내이므로 수직재 길이 1.715 m에 대해 상단의 변위가 15 mm 수준의 오차 범위 내로 설치 기울기 측정이 가능함을 의미한다. V-1 ~ V-3의 실측과 측정값의 평균 차이는 0.63°를 나타내며, 수직재 상단에서 18 mm의 상단 변위 발생이 측정 오차범위를 나타낸다. 따라서 가설구조물의 설치 상태가 잘못된 부분을 찾아서 관리자에게 알려줄 수 있는 목적으로 제안 방법은 신뢰도를 확보할 수 있다고 판단된다.

반면에 수직보호망이 설치된 가설구조물의 경우 디지털 경사계와 3D 모델링을 통해 측정된 기울기의 차이를 분석하면, 수직재 V-1의 평균 기울기 차이는 2.29°, V-2는 2.89°, V-3는 3.13°로 분석되었으며, 수직

**Table 6.** Length comparison in experiment 1

Member	Length(m)		Difference (m)	Mean difference (m)
	Actual measurement	Modeling measurement		
V-1	1.715	1.696	0.019	0.015
V-2	1.715	1.705	0.010	
V-3	1.715	1.700	0.015	

**Table 7.** Length comparison in experiment 2

Member	Length(m)		Difference (m)	Mean difference (m)
	Actual measurement	Modeling measurement		
V-1	1.715	1.687	0.028	0.025
V-2	1.715	1.686	0.029	
V-3	1.715	1.695	0.020	

Table 8. Slope comparison in experiment 1

Measurement	Slope(°)		Difference (°)	Mean difference (°)	
	Actual measurement	Modeling measurement			
V-1	X slope	-0.36	-0.8	0.44	0.43
	Y slope	-0.43	-0.85	0.42	
V-2	X slope	-0.5	-1.19	0.69	0.49
	Y slope	-0.52	-0.81	0.29	
V-3	X slope	-0.52	-1.29	0.77	0.98
	Y slope	-0.22	-1.41	1.19	

Table 9. Slope comparison in experiment 2

Measurement	Slope(°)		Difference (°)	Mean difference (°)	
	Actual measurement	Modeling measurement			
V-1	X slope	-0.36	-2.19	1.83	2.29
	Y slope	-0.43	-3.18	2.75	
V-2	X slope	-0.5	-3.23	2.73	2.89
	Y slope	-0.52	-3.56	3.04	
V-3	X slope	-0.52	-3.69	3.17	3.13
	Y slope	-0.22	-3.3	3.08	

보호망이 설치된 경우 실측 기울기와 차이가 증가된 것을 알 수 있다(Table 9). 수직보호망이 설치된 경우 평균 2.77°의 기울기 차이가 발생하였으며, 길이 1.715 m에 비해 상단의 변위가 83 mm의 측정 오차가 발생함을 의미하므로 기울기 측정에 활용될 수 없다고 판단된다. 즉, 수직보호망의 존재로 기울기의 차이가 길이 차이보다 비교적 크게 나타난 것을 알 수 있으므로 수직보호망의 영향으로 포인트 클라우드의 선정 등에 장애가 발생한 것으로 판단되며, 수직보호망에 의한 장애를 제거할 수 있는 영상 이미지 처리 등의 방법의 적용을 추가적으로 연구하여야 한다.

### 5. 결론

본 논문에서는 무인항공기와 3D 모델링 기법을 활용한 가설구조물의 길이와 기울기를 측정하는 방법을 제안하였다. 수직보호망을 설치한 실험체와 설치하지 않은 실험체를 대상으로 제안한 방법으로 실험체 수직재의 길이와 기울기를 측정하여 실측값과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 무인항공기를 활용하여 가설구조물을 촬영하고, 2D 영상의 중복구역을 정합하여 형상을 디지털상에서 3D로 구현한 후 3D 모델링에서 길이를 추출하고, 좌표

값을 구면좌표계에 활용하여 기울기를 측정한 제안 방법은 가설구조물 실험체의 길이를 실측값과 비교하여 비교적 정확하게 산출한 것으로 분석되었다. 수직보호망이 설치되지 않은 실험체에서는 측정값은 실측 길이와 0.87% 오차를 나타내며, 기울기는 평균 0.63°를 나타내므로 가설구조물의 설치 상태가 잘못된 부분을 찾아서 관리자에게 알려줄 수 있는 목적으로 제안 방법은 신뢰도를 확보할 수 있다고 판단된다.

2) 수직보호망이 설치된 실험체의 경우, 길이차이는 평균 1.46%를 나타내었으며, 기울기는 평균 2.77°의 차이가 발생하였다. 수직보호망의 설치로 포인트 클라우드의 선정 등에 장애가 발생하여 길이와 기울기 측정의 오차가 증가된 것으로 판단된다. 따라서 수직보호망이 설치된 경우, 영상처리 방법 등을 활용하여 측정 정확도를 향상시키는 연구 등을 통해 측정 정확도를 증가시켜야 한다.

본 연구는 제안 방법을 현장에 적용 전에 실험실 단계에서 가설구조물의 길이와 기울기 측정의 정확도를 측정한 연구라는 제한이 존재한다. 다양한 현장의 설치 조건과 촬영 비행 방법, 조도 등의 환경 조건에 대한 실증 검증은 추후 연구를 통해 수행하여 제안 방법의 타당성을 확보하고자 한다.

**Acknowledgement:** This research was supported by Chungbuk National University Development Project Research Fund, 2021.

### References

- 1) J. S. Jeong, S. J. Han and L. S. Kang, "Development of Construction Site Monitoring System Using UAV Data for Civil Engineering Project", Korean J. Constr. Eng. Manag., Vol. 18, No. 5, pp. 41-49, 2017.
- 2) J. H. Lee, K. W. Jun and B. H. Jun, "Application of Drones for the Analysis of Hazard Areas in Mountainous Disaster", J. Korean Soc. Saf., Vol. 33, No. 3, pp. 65-70, 2018.
- 3) B. H. Jun, N. G. Kim, K. W. Jun and B. J. Choi, "Safety Management of Steel Pipe Scaffold using UAV", J. Korean Soc. Disaster Secur, Vol. 12, No. 3, pp. 59-67, 2019.
- 4) B. J. Woo, Y. K. An and J. J. Lee, "Computer Vision based Facility Inspection Technology", Proceedings of The Korea Institute For Structural Maintenance and Inspection, Vol. 24, No. 2, pp. 73-73, 2020.

- 5) J. R. Ryu, S. B. Lee and J. S. Nam, "Drone Application for Smart-Construction in Construction Sites", J. Korea Inst. Build. Constr., Vol. 19, No. 2, pp. 9-20, 2019.
- 6) H. Y. Kim, K. A. Choi and I. P. Lee "Drone Image-Based Facility Inspection - Focusing on Automatic Process Using Reference Images", J. Korean Soc. Geospatial Inf. Sci., Vol. 26, No. 2, pp. 21-32, 2018.
- 7) Y. S. Song, H. J. Lee, B. S. Kim and M. J. Park, "A Study on 3D Model Construction by Controlling Unmanned Aerial Vehicle of Camera Angle", J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 21, No. 2, pp. 149-157, 2021.
- 8) J. H. Kim, S. M. Lee, K. H. Lee, W. S. Choi and S. H. Baek, "Development of Non-Adhesive, Non-Contact Inclinometer SlopeLaser Measuring (ISLM) System and its Control Algorithm", J. Korean Assoc. Spat. Struct., Vol. 21, No. 3, pp. 33-42, 2021.
- 9) Y. S. Kim, T. K. Oh, N. E. Lee, C. S. Hong, S. Y. Lee and Y. G. Yoon, "A Study on the Actual Condition Analysis and Activation Plan of Smart Construction Safety Technology by the Survey," J. Korean Soc. Saf., Vol. 37, No. 1, pp. 30-40, 2022.
- 10) J. S. Lee, S. O. Moon, Y. B. Youn, N. G. Lim and T. K. Oh, "Study on the Safety Assurance for the Temporary Structures," J. Korean Soc. Saf., Vol. 33, No. 1, pp. 73-80, 2018.
- 11) K. I. Kim and J. S. Park, "Calibration of Radial Distortion and Synthesis of Panoramic Image from Multi-directional Camera Images", J. Korean Inst. Next Gener. Comput., Vol. 9, No. 6, pp. 56-60, 2013.
- 12) J. G. Martinez; M. Gheisari, and L. F. Alarcón, "UAV Integration in Current Construction Safety Planning and Monitoring Processes: Case Study of a High-Rise Building Construction Project in Chile", J. Manage. Eng., Vol. 36, No. 3, 2020.
- 13) J. Sun, B. Peng, C. C. Wang, K. Chen, B. Zhong and J. Wu, "Building Displacement Measurement and Analysis based on UAV Images", Autom. Constr., Vol. 140, 104367, 2022.