

무인항공기(UAV)를 활용한 건설현장 가시설물 안전관리

전병희¹ · 김남균² · 견계원³ · 최봉진^{4*}

¹강원대학교 방재전문대학원 교수, ²산림조합중앙회 산림종합기술본부 선임연구원, ³강원대학교 방재전문대학원 교수,
⁴강원대학교 방재전문대학원 석사과정

Safety Management of Steel Pipe Scaffold using UAV

Byong-Hee Jun¹, Nam-Gyun Kim², Kyo-Won Jun³, and Bong-Jin Choi^{4*}

¹Professor, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

²Senior Researcher, Forest Technology Division, National Forestry Cooperative Federation

³Professor, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

⁴Master Course Student, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

요약

본 연구에서는 건설현장을 대상으로 무인항공기(UAV) 촬영을 통하여 얻어진 사진측량 자료를 이용하여 작업발판 등의 가시설물 설치에 대한 적정성을 검토하였다. 연구대상은 강원대학교 삼척캠퍼스내 건물보강공사를 위한 가시설물이다. 검토대상은 강관비계의 띠장방향 비계기둥 간격, 장선방향 비계기둥 간격, 띠장 간격이다. 무인항공기 측량자료를 이용하여 검토한 결과 장선방향 비계기둥 간격은 기준을 잘 준수하여 설치되어 있었으나, 띠장방향 비계기둥 간격과 띠장 간격은 기준에 미달된 개소도 다수 발견되어 개선이 요구되었다. 특히 띠장 간격은 대부분 지점에서 기준에 미달되어 있었다. 무인항공기촬영으로 3차원 자료를 이용하여 입체적인 측량이 가능하여, 타 시설물에 가려져 있거나 내부에 위치한 시설물도 측량이 가능하였다. 무인항공기 촬영을 통하여 신속하게 현장의 상태를 자료화할 수 있으며, 현장인력의 작업을 방해하지 않고 측량을 수행할 수 있었다. 가시설물의 설치기준은 작업자의 안전확보를 위해 반드시 준수되어야 함에도 불구하고 현장에서는 아직 소홀히 다루어지고 있음을 알 수 있었다. 현장공정관리에 무인항공기 등을 활용하여 정기적으로 점검을 할 수 있도록 법적 제도가 보완되어야 한다고 판단되었다.

핵심용어: 가시설물, 무인항공기, 안전관리

ABSTRACT

In this study, the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) was applied for the photogrammetry of the construction site and the safety management of steel pipe scaffold. The research site is a temporary facility for building reinforcement on Samcheok Campus of Kangwon National University. The installation condition of the steel pipe scaffold was investigated, and the pillar distance, the beam distance and the wale distance were surveyed. As a result, it was found that the beam distance of the scaffold in the longitudinal direction was in good agreement with the standard, but the pillar distance and the wale distance were found to be less than the standard. Three-dimensional data can be used in drone shooting to enable three-dimensional measurement, so that it is possible to measure facilities hidden or located inside other facilities. Through the drone shooting, the condition of the site can be quickly recorded and the surveying can be carried out without interfering with the work of the field personnel. Although the installation of the temporary structure must be strictly observed to ensure the safety of the workers, it is found that the installation standards are still neglected in the field. In order to prevent this practice, it was thought that the legal system should be supplemented so that it could be checked periodically by using UAV in the field process management.

Keywords: Temporary structure, UAV (Unmanned Aerial Vehicle), Safety management

*Corresponding author: Bong-Jin Choi, cjzl246@naver.com

Received: 9 August 2019, Revised: 27 August 2019, Accepted: 4 September 2019



1. 서론

건설공사에서 일반적으로 설치되는 가설구조물에는 흙막이지보공, 비계, 거푸집지보공, 가설통로 등이 있다. 그 중 비계는 가설 발판이나 사람이나 장비, 자재 등을 올려 작업할 수 있도록 임시로 설치한 가설 발판과 그 부속 시설물을 말한다. 이런 가설구조물은 임시로 사용 후 철거되기 때문에 설치단계부터 안전관리가 부족하기 쉽고, 사용 중 추락, 전도, 낙하 등의 안전사고 발생가능성이 높다. 건설업에서의 사고사망자는 전체 산업의 43.4%를 차지하며, 발생형태별로는 넘어짐 21.5%, 떨어짐 14.5%로 나타났다(Ministry of Employment and Labor, 2018). 넘어짐 사고와 떨어짐 사고는 대부분 건설현장 안전관리가 부족한 것이 원인이며, 특히 비계에서의 작업발판 설치가 미흡해서 사고로 이어지는 경우가 많다. 특히 건설재해 중 중소규모 건설현장에서의 재해비율이 높아서 이러한 건설현장의 위험을 예방할 수 있는 적극적인 대책이 필요하다(Jang and Go, 2018). 이를 개선하기 위해서는 정부차원에서 소규모 건설사업장에 대한 구체적인 대안이 마련되어 제도적 개선과 현실적인 개선방향이 필요하다(Han, 2017).

현장 관리기법을 개선을 통한 안전성 향상에 관한 연구로서 건설현장에서의 안전관리가 인력에 의존하여 진행될 경우 체계적인 예방 및 관리가 제대로 되지 않을 수 있으며, 시스템적인 안전관리를 도입함으로써 그 한계를 극복할 수 있다고 제안하였다(Kim, 2011; Carter and Smith, 2006; Hong et al., 2005).

안전성 향상을 위한 현장 중심의 기술적 대책으로서 일반적인 작업발판을 고정하는 거리보다 길이를 조절하여 장선에 고정하는 길이조절형 안전발판을 제안하기도 하였다(Ko and Jang, 2014). 강관비계의 설치 기준에서 우리나라 근로자 신체치수를 고려할 필요가 있으며 피장 간격과 안전난간 높이 등이 개선될 필요가 있다고 제안하였다(Kim, 2014).

최근에는 IT기술을 접목하여 건설현장의 안전성을 향상시키려는 연구가 다수 진행되었다. 실내실험에 초음파센서와 스트레인 게이지를 이용하여 흙막이 변위분석을 통해 공사 시 구조물의 붕괴예측이 가능하였다(Moon et al., 2011). 스마트폰의 위성항법시스템(GPS)를 이용하여 근태 관리에 활용하여 현장관리 운영을 효율화하는 것이 가능하였다(Lee et al., 2009; Ahn et al., 2012). 시스템적인 안전관리를 위해서는 사물인터넷 기술을 도입하여 정보의 공유성과 신속성을 획득할 수 있었다(Paik, 2014). 레이저 스캐닝을 도입하여 고정밀도 현장 측량과 공정관리가 가능하였다(El-Omari and Moselhi, 2008).

최근에 무인항공기를 영상산업뿐만 아니라 산업현장에 적용하여 생산 및 안전관리에 활발히 활용되고 있다. 무인항공기는 광파기를 이용한 경우 보다 인력이 적게 소요되고, 작업시간도 크게 단축되는 것으로 보고되었다(Shin et al., 2017). 그리고 광파기의 경우 현장주변에서 인력이 측정하는 반면, 무인항공기는 원격측량에 해당하므로 현장작업에 방해가 비교적 적다고 예상된다. 본 연구에서는 건설현장에서 무인항공기의 장점을 활용하여 현장측량과 가설시설물 설치기준 준수 확인을 위한 적용가능성을 검토하였다.

2. 연구방법

2.1 무인항공기측량

본 연구에서는 Phantom 4(DJI)를 이용하였다. 이 모델은 중량이 1.38 kg으로 비교적 가볍고, 30분간 비행이 가능하여 중, 소규모 지역의 촬영에 적합하고 상대적으로 저렴하게 시스템을 구성할 수 있으며 충돌회피 기능을 갖추고 있다. 최고비행속도는 72 m/s이나 정밀한 측량을 위해서 저속으로 비행하면서 촬영하였다. 본체에는 GPS/GLONASS가 내장되어 있어 지리 정보를 취득할 수 있으며, 짐벌을 이용하여 안정적인 정사영상을 획득할 수 있다. 무인항공기영상을 이용하여 공간정보를 제작하는 과정을 Fig. 1에 나타내었다.

촬영된 영상은 Pix4D mapper 소프트웨어를 이용하여 사진접합(Align photo), 지형구축(Building Dense Cloud), 질감구축(Build mesh), 재질생성(Build texture)의 과정을 거쳐 정합을 수행한다. 무인항공기 사진측량에서는 여러 장의 사진을 기

하학적 원리를 적용하여 접합하는 다중영상접합을 이용한다. 촬영된 중복영상에서 영상매칭을 통해 3차원 Point Cloud Data로 피사체를 재구성하는 Structure from Motion(SfM)기법을 이용하게 된다. SfM기법에서는 카메라 초점거리, 영상 크기 등의 정보를 이용하여 접합을 위한 영상의 특징점을 추출한다(Lee et al., 2016). 또한 영상정보를 이용하여 증강현실과 3차원모델링의 응용이 가능하다.

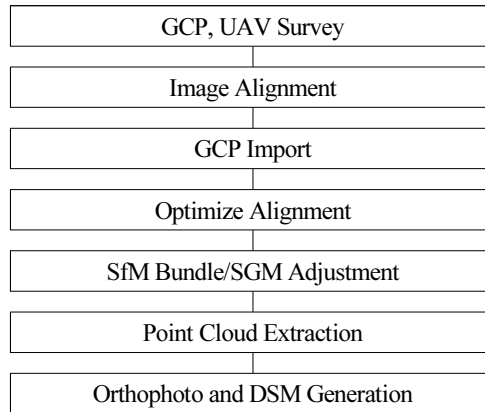


Fig. 1. Schematic Flow of UAV Survey

2.2 연구지역

본 연구에서는 강원대학교 삼척캠퍼스 내 건물의 외벽공사를 위한 현장을 대상으로 하여 가시설물을 중심으로 무인항공기촬영을 하였다. 촬영은 2019년 1월 30일 이루어졌으며, 총 57장이 촬영되었으며, 지상기준점(Ground Control Point, GCP)은 3지점이었다. Fig. 2는 현장내 GCP 위치, 번들 조정 그리고 최종적으로 완성된 정사영상을 나타내었다. Georeferencing mean RMS error는 0.022 m이었다.

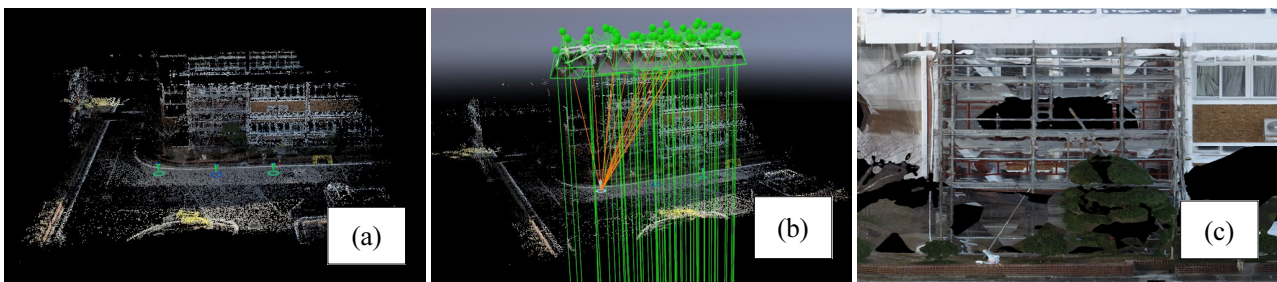


Fig. 2. GCP (a), Bundle Adjustment (b), Orthophoto Image (c) in Study Area

2.3 강관비계의 설치기준

가설구조물에 대한 국내 관련법규 및 지침으로는 포괄적 규정으로 산업안전보건법이 있고, 산업안전보건 기준에 관한 규칙에 가설통로, 계단의 구조, 거푸집 및 비계의 재료, 조립, 각각의 비계의 구조 등 안전상의 규정이 일반적으로 명시되어 있으며 가설공사 표준안전작업지침에 비계, 가설통로에 대한 종류별 안전대책이 제시되어 있다. 강관비계에 대한 설치기준은 “산업안전보건기준에 관한규칙”과 “가설공사 표준안전 작업지침”이 적용되고 있다.

비계와 안전난간에 대한 설치기준 중 이번 연구에서 검토대상으로 한 기준은 아래와 같다.

- ① 비계기둥의 간격은 띠장 방향에서는 1.5 m 내지 1.8 m, 장선방향에서는 1.5 m 이하로 설치하여야 하며, 비계기둥의 최고부로부터 31 m되는 지점 밑부분의 비계기둥은 2본의 강관으로 묶어 조립하여야 한다.
- ② 띠장의 수직간격은 1.5 m 이하로 하고 지상으로부터 첫 번째 띠장은 통행을 위해 비계 기둥의 좌굴이 발생되지 않는 한도 내에서 2 m 이내로 설치할 수 있다.

3. 결과 및 토의

비계기둥 간격에서 띠장 방향은 1.8 m이하로 규정되어 있다. Fig. 3에는 띠장 방향 비계기둥 간격 추출을 위한 조사선을 녹색선으로 나타내고 있다. 각 층별로 측량된 기둥 간격과 기준의 충족여부를 Table 1에 나타내었다. 그 결과 기둥 간격 2-3, 3-3, 4-3은 기준에 충족하고 있으나, 나머지 기둥 간격은 기준에서 벗어나 있음을 알 수 있다.

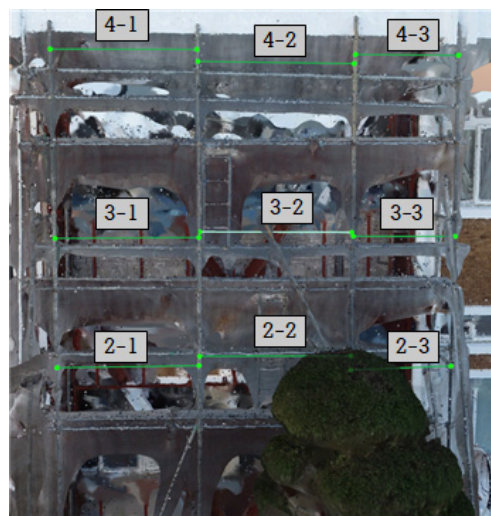


Fig. 3. Measurement of Pillar Distance of Scaffold

Table 1. Pillar Distance of Scaffold

	Distance (m)	Pass/Fail
2-1	1.92	Fail
2-2	2.10	Fail
2-3	1.40	Pass
3-1	1.91	Fail
3-2	2.07	Fail
3-3	1.42	Pass
4-1	1.89	Fail
4-2	2.08	Fail
4-3	1.40	Pass

본 연구에서 가시설물 설치 시 기준 충족여부에 대한 점검도 중요하지만, 측량지점이 적절하게 선택되어 있는지에 대한 확인도 중요하다. Fig. 4에서는 각 측량지점에 대한 실사영상을 나타내고 있으며 측량지점의 적절성을 확인할 수 있다.

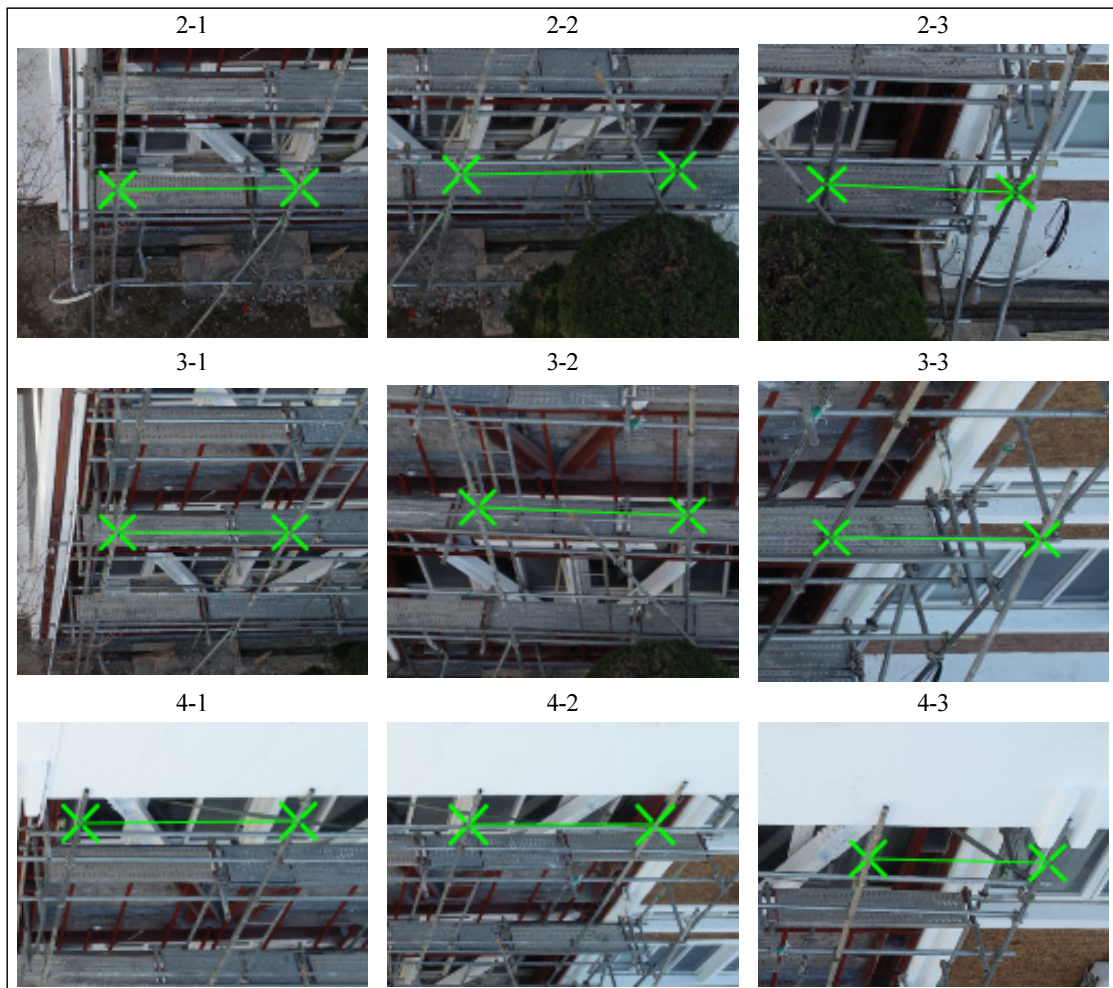


Fig. 4. Images for Measurement of Pillar Distance

비계기둥 간격에서 장선 방향은 1.5 m 이하로 규정되어 있다. Fig. 5는 장선방향 기둥 간격 측량을 위한 포인트 지정을 보여 주고 있다. 장선방향 간격은 상하로 크게 차이가 없을 것으로 예상되어 최상부의 간격을 2군데에서 측량하는 것으로 하였다. 측량된 장선방향 기둥간격과 기준의 충족여부를 Table 2에 나타내었다. 그 결과는 2군데 모두 기준을 충족하는 것으로 나타났다.



Fig. 5. Measurement of Beam Distance of Scaffold

Table 2. Beam Distance of Scaffold

	Distance (m)	Pass/Fail
1	0.65	Pass
2	0.68	Pass

Fig. 6에서는 각 측량지점의 상세사진을 나타내고 있다. 장선방향 비계는 비교적 내부에 위치하고 있어 다른 설비 등으로 가려져 있는 경우가 많고 건물외벽과 밀착되어 있고 측량에 어려움이 있다. 무인항공기 촬영에서도 외벽부분의 측량은 비교적 용이한 반면 내부측량은 촬영의 해상도나 다른 구조물의 방해 등으로 어려움이 있었다. 그러나 Fig. 6에 보인 것과 같이 무인항공기는 여러 각도에서 촬영하기 때문에 여러 측면에서의 장선방향의 측량이 가능한 것으로 나타났다. 또한 내부적인 상황을 입체적으로 검토할 수 있는 장점이 있었다.

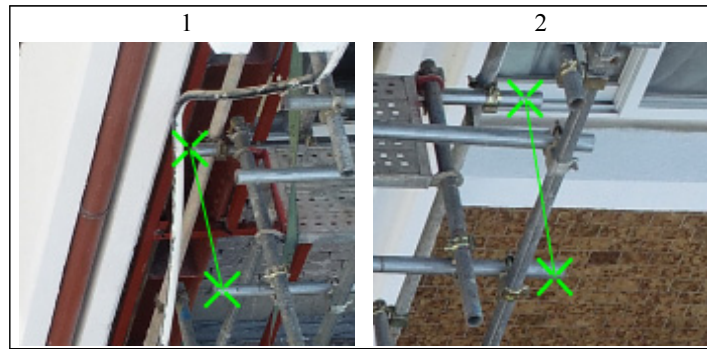


Fig. 6. Variation of Water Surface Slope

띠장간격은 1.5 m 이하로 설치하며, 지상에서 첫 번째 띠장은 높이 2 m 이하의 위치에 설치하도록 규정되어 있다. Fig. 7은 띠장 간격 추출을 위한 조사선을 나타내고 있다. 띠장 간격은 각 층별로 측량하여 간격과 기준의 충족여부를 Table 3에 나타내었다. 1번 간격을 측량할 때 화단의 나무 등의 방해물이 있었지만 입체적 촬영을 통해서 방해물의 뒷면에서 측량할 수 있었다. 이렇게 무인항공기 촬영은 입체적 결과물을 만들기 때문에 현장에서 방해물이 있어도 측량할 수 있는 장점이 있다. Fig. 8에서는 각 측량지점의 상세사진을 통해서 측량지점의 정확성을 확인할 수 있다.



Fig. 7. Measurement of Wale Distance of Scaffold

Table 3. Wale Distance of Scaffold

	Criteria (m)	Distance (m)	Pass/Fail
1	Under 2	2.6	Fail
2	Under 1.5	1.94	Fail
3	Under 1.5	1.90	Fail

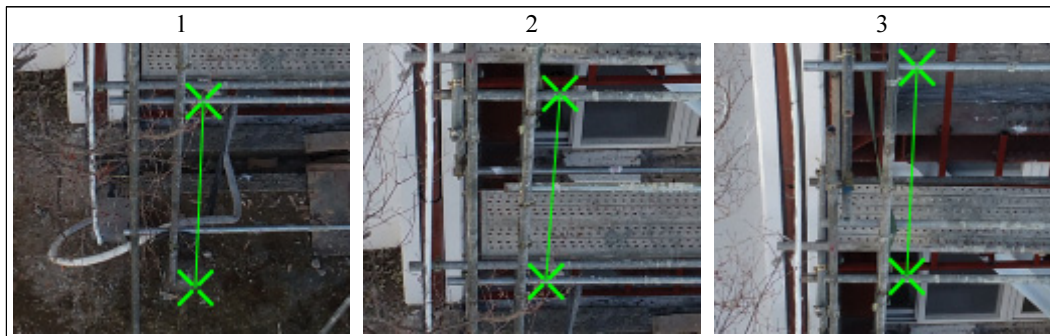
**Fig. 8.** Images for Measurement of Wale Distance

Table 3에 나타난 기준 충족여부에서 지면에서 첫 번째 피장은 2 m 이하로 설치되어야 하나 2.6 m로 측량되어 기준에 충족되지 못함을 알 수 있었다. 나머지 2번과 3번 간격도 기준에 충족되지 못함을 알 수 있었다.

피장간격은 1.5 m로 규정되어 있으나 작업자의 신장을 고려할 때 1.5 m는 지나치게 낮은 것으로 판단되며, 향후 적절한 기준설정이 필요하다고 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 건설현장의 안전관리를 향상시키기 위하여 무인항공기촬영을 이용한 현장측량과 가시설물 설치기준 준수 확인을 위한 적용가능성을 검토하였다. 무인항공기 촬영을 통하여 신속하게 현장의 상태를 자료화할 수 있으며, 현장인력의 작업에 방해되지 않고 측량을 수행할 수 있었다. 강관비계의 설치기준 준수여부를 확인하기 위한 측량을 실시하였으며, 피장 방향 비계기둥 간격, 장선방향 비계기둥 간격, 피장 간격을 측량한 결과 기준에 미달된 개소도 다수 발견되어 개선이 요구되었다. 특히 3차원 자료를 이용하여 입체적인 측량이 가능하며, 타 시설물에 가려져 있거나 내부에 위치한 시설물도 측량이 가능하였다.

가시설물의 설치기준은 작업자의 안전확보를 위해 반드시 준수되어야 함에도 불구하고 현장에서는 아직 소홀히 다루어지고 있음을 알 수 있었다. 이런 관행을 막기 위해서는 현장공정관리에 무인항공기 등을 활용하여 정기적으로 점검을 할 수 있도록 법적 제도가 보완되어야 한다고 판단되었다.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2018RIDIA3B07049326).

References

Ahn, C. S., Yoon, S.W., and Chin, S.Y. (2012). Diligence and Indolence Management System for Specialty Contractor on

- Construction Site Using GPS of Smart Phone. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 13(3): 56-66.
- Carter, G. and Smith, S. (2006). Safety Hazard Identification on Construction Project. *Journal of Construction Engineering and Management*. 132(2): 197-205.
- Han, S. T. (2017). A Study on the Improvement of Safety Management by the Cause of Accident in Construction Sites. Master's thesis. Seoul National University of Science and Technology. Korea.
- Hong, J. S., Bae, D. K., and Kim, J. J. (2005). A Safety Management Activity Improvement in Construction Sites through Analysis of Success Factors. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 6(5): 148-156.
- Jang, Y. R. and Go, S. S. (2018). A Risk Assessment Counterplan for Reducing the Accident Rates in Medium and Small sized Construction Sites. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 9(5): 90-100.
- Kim, D. W. (2011). Safety Management System for a Large Construction Project Using Real-time Location System. Ph. D. Dissertation. Korea University. Korea.
- Kim, Y. S. (2014). A Study on the Improvement of Construction Scaffolds Considering Structural Stability and Size of Workers. Master's thesis. Hanyang University. Korea.
- Ko, D. W. and Jang, M. H. (2014). Development of Adjustable Safety Foothold for Scaffoldings. *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*. 16(5): 191-198.
- Lee, H. S., Lee, K. P., Park, M. S., Kim, H. S., and Lee, S. B. (2009). A Construction Safety Management System Based on Building Information Modeling and Real-time Loading System. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 10(6): 135-145.
- Lee, Y. S., Lee, D. G. Yu, Y. G., and Lee, H. J. (2016). Application of Drone in Forest Damage Areas. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*. 24(3): 49-58.
- Ministry of Employment and Labor. (2018). Analysis of the Status of Industrial Accidents. Korea
- Moon, S. W., Choi, E. G., and Hyun, J. H. (2011). Safety Management of the Retaining Wall Using USN Sonar Sensors. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 12(6): 22-30.
- Paik, S. M. (2014). A Study on the Improvement of Construction Safety Management System Using the Internet of Things. Master's thesis. Gacheon University. Korea
- Samir E. and Osama M. (2008). Intergrating 3D Laser Scanning and Photogrammetry for Progress Measurement of Construction Work. *Automation in Construction*. 18: 1-9.
- Shin, H. S., Um, J. S., and Kim, J. H. (2017). A Study on Damage Scale Tacking Technique for Debris Flow Occurrence Section Using Drone Image. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 35(6): 517-526.

Korean References Translated from the English

- 고동우, 장명훈 (2014). 안전사고 감소를 위한 비계용 길이조절 안전발판 개발. *대한건축학회연합논문집*. 16(5): 191-198.
- 고용노동부 (2018). 산업재해 분석.
- 김대원 (2011). 실시간 위치인식기술을 적용한 대형건설현장 안전관리시스템. 고려대학교 박사학위논문.
- 김유식 (2014). 근로자 신체치수를 고려하고 구조적 안정성을 확보한 비계 기준 개선안에 관한 연구. 한양대학교 석사학위논문.
- 문성우, 최은기, 현지훈 (2011). USN 초음파 센서를 활용한 흙막이 안전관리. *한국건설관리학회논문집*. 12(6): 22-30.
- 백만승 (2014). 사물인터넷 적용을 통한 건설 안전관리 시스템 개선방안. 가천대학교 석사학위논문.
- 신현선, 엄정섭, 김준현 (2017). 드론영상을 활용한 토석류 발생구간의 피해규모 추적기법. *한국측량학회지논문집*. 35(6): 517-526.
- 장운라, 고성석 (2018). 중소규모 건설현장의 재해율 감소를 위한 위험성평가 방안. *한국건설관리학회논문집*. 19(5): 90-100.
- 안치선, 윤수원, 진상운 (2012). 스마트 폰의 위성항법시스템(GPS)를 활용한 전문건설업체 현장 근태관리 체계 구축. *한국건설관리학회논문집*. 13(3): 56-66.
- 이영승, 이동국, 유영걸, 이현직 (2016). 드론 사진측량을 이용한 산림훼손지역의 훼손 현황 분석. *한국지형공간정보학회지*.

24(3): 49-58.

이현수, 이광표, 박문서, 김현수, 이사범 (2009). 위치추적기술을 이용한 BIM기반 건설현장 안전관리 시스템. 한국건설관리학회논문집. 10(6): 49-58.

한상태 (2017). 건설현장 사고 원인별 안전관리 개선방향 연구. 서울과학기술대학교 석사학위논문.

홍정석, 배대권, 김재준 (2005). 건설현장 안전관리 성공요인 분석을 통한 안전관리활동 개선방안. 한국건설관리학회논문집. 6(27): 148-156.