

드론을 활용한 지상기준점 측량 자동화 기술의 개념디자인

Conceptual Design of Ground Control Point Survey Automation Technology Using Drone

박재우¹, 염동준^{2*}

Jae-Woo Park¹, Dong-Jun Yeom^{2*}

〈Abstract〉

In recent construction sites, digital maps obtained through drone photogrammetry have garnered increasing attention as indispensable tools for effective construction site management. the strategic placement of Ground Control Points (GCPs) is crucial in drone photogrammetry. Nevertheless, the manual labor and time-intensive nature of GCP surveying pose significant challenges. The purpose of this study is to design the concept of automated GCPs survey technology for enhancing drone photogrammetry efficiency in construction sites. As a result, the productivity of the automated method was analyzed as 118,894.7m²/hr. It is over 25% productivity improvement compared to traditional methods. In future studies, economic analysis of automated methods should be studied.

Keywords : Digital Map, Construction Site, Smart Construction, GCP(Ground Control Point), Auto-arrangement

1 정회원, 주저자, 한국건설기술연구원, 건설정책연구소, 수석연구원

2* 정회원, 교신저자, 한국건설기술연구원, 건설정책연구소, 박사후연구원/공학박사

E-mail: diyeom@kict.re.kr

1 Department of Construction Policy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

2* Department of Construction Policy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

1. 서론

최근 건설 현장에서는 드론 사진측량 성과품인 디지털 맵이 공사관리의 필수요소로 주목받고 있다. 특히, 토공현장에서는 건설 작업의 효율성과 정확성을 높이는 데 그 역할을 하고 있다[1]. 그러나 현재는 디지털 맵을 성과품으로써 사용하기 위한 제도적 기반이 부족하여 현업에서 디지털 맵을 성과 실적으로 받아들이는데 제약이 있는 것으로 조사되었다.

디지털 맵이 성과품으로써 그 가치를 인정받기 위해서는 그 정밀도를 검증하는 것이 중요하다[2]. 드론 사진측량은 현업에서 가장 활발하게 활용되고 있는 건설현장 디지털 맵 생성 기술이다[3]. 상기 기술을 통해 생성된 디지털 맵의 정밀도를 확보하는 확실한 방법은 적정위치에 지상기준점(GCP; Ground Control Point)를 배치하는 것이다[4]. 선행연구(Park and Yeom, 2022)에서는 일정 수준의 디지털 맵 정밀도를 확보하기 위해 지상기준점 설치 간격을 200m 이내로 설정해야 한다고 제시하였다[5].

그러나, 지상기준점 측량 작업은 드론 사진측량 과정 중 가장 노동집약적이고 많은 시간이 소요된다[4]. 지상기준점 배치 위치마다 인력이 투입되어 대공표지판 설치, GNSS 측량 등의 작업을 반복해야 하며, 지점의 인력 접근성에 따라 작업 소요시간이 늘어나거나, 배치가 불가능한 상황이 발생하기도 하는 것으로 조사되었다.

따라서, 본 연구의 목적은 인력 투입 없이 신속 정확하게 지상기준점을 배치할 수 있는 지상기준점 측량 자동화 기술의 개념설계를 수행하는 것이다. 해당 기술은 드론 사진측량의 작업 효율성을 높이고, 비용과 시간을 절약할 수 있는 유용한 기술 대안이 될 것으로 기대된다.

2. 이론적 고찰

2.1 드론 활용 건설현장 디지털 맵 생성

국내·외 건설산업에서 스마트 기술 기반의 업무 변화가 이슈로 대두되고 있으며, 이 중 드론을 활용한 건설현장 3차원 정보 생성 기술이 주목받고 있다[6]. 또한, 단순히 3차원 정보를 생성하는데서 그치는 것이 아니라 이를 활용하여 지형공간정보를 생성하고, 공사 영향요인을 관리하는 등의 연구가 수행되고 있다[7-8].

Gonçalves(2015), Jaud(2019), Andriolo(2020)는 UAV를 활용하여 해안 지역(Coastal Areas)의 지형 변화를 모니터링하고 그 기술의 실효성을 입증하였으며[9-11], Siebert(2014)는 대규모 굴착 및 토공 현장에 일정한 고도로 드론 측량을 수행하고, 다수의 지상기준점(Ground Control Point)을 활용하여 보다 높은 정확도의 지형 모델링 결과를 도출하였다[12]. 또한 Shahbazi(2015)는 드론을 활용한 사진측량에 있어 정확한 3D 환경 모델링 시스템을 개발하고 평가하는 연구를 수행하였으며[13], Kršák(2016), Daakir(2017), Mukhlisin(2023)은 저가형 경량화 드론을 활용하여 비용효과적으로 사진측량 정확도를 향상시키기 위한 연구를 수행하였다[14-16]. Lim(2015)은 초경량 드론을 이용하여 항공사진 촬영을 실시하고, 영상처리를 통해 정밀한 수치고도모델을 작성하고 횡단면도를 추출함으로써 접근이 어려운 준설토 투기장의 토공량을 신속·정확하게 측정할 수 있는 방법을 제시하였다[17].

상기 조사에서 확인할 수 있는 것처럼 드론을 활용한 디지털 맵 생성 등 건설현장에서의 활용 노력은 지속적으로 증가하고 있으며, 특히 생성되는 디지털 맵의 정밀도를 확보하기 위한 연구가 다수

수행되고 있는 것으로 분석되었다. 특히 디지털 맵의 정밀도 확보를 위해 다수의 지상기준점을 활용하여 정밀도를 확보하는 연구가 일부 수행된 것으로 확인되었다. 그러나, 이와 같은 지상기준점 배치의 중요성에도 불구하고 자동화 등의 대안 마련을 통해 작업 소요시간을 단축시키려는 연구는 그 필요성에도 불구하고 부재한 것으로 확인되었다.

한편, 현업에서 드론을 활용하여 건설현장의 디지털 맵을 생성하는 프로세스는 아래 Fig. 1과 같은 것으로 조사되었다.



Fig. 1 Digital map generation of construction site using drones

2.2 지상기준점 측량 현황 및 문제점

지상기준점 측량은 드론을 활용하여 건설현장의 디지털 맵을 생성함에 있어, 그 정밀도를 확보하기 위해 필수적으로 수행되어야 하는 과정이다. 보다 상세하게는 드론으로 취득된 이미지들을 연계 활용할 때 정확한 좌표 값을 지닌 측량점을 고정함으로써, 산출물로 생성되는 점군 데이터, 표면모델, 정사영상 등의 위치 정확도를 제고할 수 있다.

드론으로 취득된 이미지는 드론에 내장된 GPS 센서를 기반으로 좌표 정보를 포함하고 있으나, GPS 센서가 가지는 오차로 인해 성과품에서도 오차가 크게 발생할 수 있으며, RTK 드론을 활용한다고 해도 기체의 고속 이동, 자세의 불안정 등으로 인해 일정 오차를 포함하게 된다. 즉, 지상기준

점 측량은 일정 수준 이상의 정확도가 확보된 성과품을 제공하기 위해 필수적으로 수행되어야 한다.

그러나, 지상기준점 배치 위치마다 반드시 인력이 투입되어 대공표지판 설치, GNSS 측량 등의 작업을 반복해야 하므로 생산성이 저하되며(Fig. 2), 배치 위치의 인력 접근성에 따라 위험지역 측량, 측량 불가지점 등이 발생할 수 있음은 물론, 지상기준점 망실 및 장애물에 의한 정보 취득이 불가능한 경우가 발생할 수 있어, 현업에서도 해당 작업의 자동화 등 대안 마련이 필요하다고 인식하고 있다.



Fig. 2 Ground Control Points(GCPs) survey

3. 드론을 활용한 지상기준점 측량 자동화 기술의 개념디자인

3.1 기술 개요 및 요구사항 정의

앞서 기술된 지상기준점 측량 작업의 문제점 해결을 위해, 본 연구에서는 사람이 직접 지상기준점에 해당하는 실제 위치에 방문하는 수고를 없애고 인력 투입 없이 신속히 지상기준점을 추출할 수 있는 기술을 제시하고자 한다.

드론을 이용한 지상기준점 배치 자동화 기술은 드론과 지상기준점 배치 장치, 그리고 컴퓨터 프로그램으로 구성된다. 드론은 지상기준점 배치 장치를 이용하여 자동으로 지상기준점을 배치하고, 이를 컴퓨터 프로그램이 인식하여 디지털 맵을 생성하는 방식이다. 이를 통해 인력 투입 없이 보다 빠르고 정확하게 지상기준점 설정 과정을 처리할 수 있다.

이러한 드론 기반 지상기준점 배치 자동화 기술은 측량 작업의 효율성을 높이고, 비용과 시간을 절약할 수 있는 유용한 기술이다. 또한, 이 기술은 인력 투입 없이 자동화된 작업을 처리하기 때문에 인적 오류를 줄일 수 있으며, 작업자의 안전성을 높일 수 있다는 장점도 있다.

그러나, 기술의 사용을 위해서는 드론 조종 및 컴퓨터 프로그래밍 등의 기술적인 지식이 필요하다. 또한, 드론 조종 시 안전사고 발생 가능성이 있으므로 안전 대책이 요구된다.

3.2 개념디자인

본 연구에서는 드론 기반 지상기준점 배치 자동화 장치의 구성과 작동 원리, 그리고 장단점 등을 제시하고, 이를 통해 드론 활용 디지털 맵 생성 작업의 효율성 제고 및 비용 절감, 작업 생산성 확보 등의 소요시간 절감 등을 높이고, 비용과 시간을 절약할 수 있는 유용한 기술을 제안하고자 한다.

해당 기술은 RTK(Real-Time Kinematic) 신호를 수신할 수 있는 로버, 드론의 기울기 정보 취득을 위한 IMU(Inertial Measurement Unit), 지면과의 거리를 측정하기 위한 레이저 레벨기를 대표적인 하드웨어 장비로 활용한다. 상기 하드웨어에서 취득된 RTK-GPS 정보와, 3축 기울기 값, 지면과의 거리 정보를 활용하여 추출된 지상기준점들 각각의 절대좌표를 산출하는 방식이 적용된다. 아래 Fig. 3은 상기 기술을 설명할 수 있는

대략적인 개념디자인을 수행한 것이다.

상기 개념디자인은 드론으로부터 지상기준점을 근접 촬영한 영상이 입력되면, 영상을 분석하여 지상기준점의 실제 위치를 인식하는 개념을 적용하였다. 지상기준점의 실제 위치(좌표) 계산을 위해서는 레이저 거리측정기의 빛을 지상기준점으로 조사하고, 계산된 직선거리와 드론의 IMU값(X, Y 축 기울기)으로 좌표 보정을 수행하여 지상기준점의 실제 위치 도출한다.

개념디자인을 활용하여 지상기준점의 좌표는 아래와 같이 계산할 수 있다. Fig. 4를 살펴보면 최종적으로 도출해야 하는 지상기준점의 좌표는 (x', y', z') 이며, RTK-GPS, IMU, 레이저 거리측정기를 통해 알고있는 값은 드론의 현재 위치 좌표인



Fig. 3 Conceptual design of automated GCPs survey technology

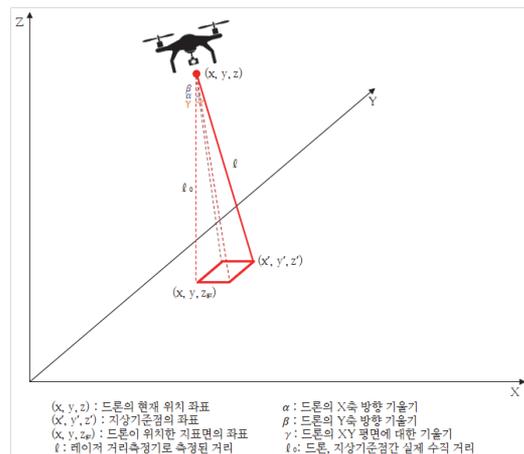


Fig. 4 Diagram for ground control point calculation

(x, y, z)와 드론의 X, Y축 기울기인 α, β , 레이저 거리측정기로 측정된 거리인 l 이다.

먼저 두 축의 기울기가 주어졌을 때, 평면의 기울기(γ)를 구하는 과정을 수식으로 정리하면 아래와 같다.

- 1) 주어진 값 : X축 기울기 α , Y축 기울기 β
- 2) 평면의 법선 벡터 : $(\alpha, \beta, -1)$
- 3) 벡터 크기의 정규화 : 법선 벡터의 크기(H)를 정규화하여 단위 벡터 변경식 (1)

$$H = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + (-1)^2} \quad (1)$$

정규화된 법선 벡터(V_H) 산정식 (2)

$$V_H = (\alpha/H, \beta/H, (-1)/H) \quad (2)$$

- 4) 평면의 기울기(γ) : 정규화된 법선 벡터의 Z축 성분인 $(-1)/H$ 의 크기로 정의식 (3) (기울기는 각도로 표현)

$$\gamma = (-1)/\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + (-1)^2} \quad (3)$$

평면의 기울기(γ) 값을 알게되면 드론, 지상기준점간 실제 수직 거리(l_0)를 다음 식 (4)에 의해 계산할 수 있다.

$$l_0 = l \cos\{(-1)/\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + (-1)^2}\} \quad (4)$$

마지막으로 드론, 지상기준점간 실제 수직 거리(l_0)와 드론의 X, Y축 기울기인 α, β 를 활용하면 최종적으로 도출해야 하는 지상기준점의 좌표인 (x', y', z')를 아래 식 (5-7)에 의해 계산할 수 있다.

$$x' = x + [l \times \cos\{(-1)/\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + (-1)^2}\} \times \tan(\alpha)] \quad (5)$$

$$y' = y + [l \times \cos\{(-1)/\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + (-1)^2}\} \times \tan(\beta)] \quad (6)$$

$$z' = z - (l \times \cos\{(-1)/\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + (-1)^2}\}) \quad (7)$$

3.3 작업 프로세스

Fig. 5는 개념디자인의 활용에 따른 건설현장 디지털 맵 생성을 위한 드론을 활용한 지상기준점 측량 자동화 기술을 개략적으로 보여주는 흐름도

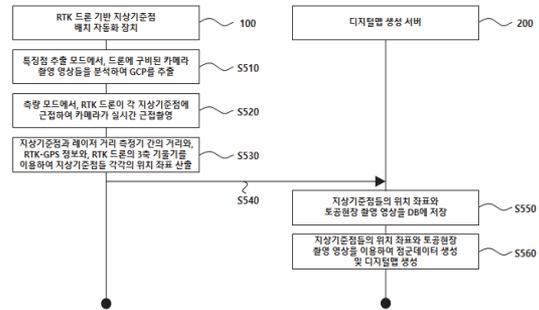


Fig. 5 Flowchart of ground control point survey[18]

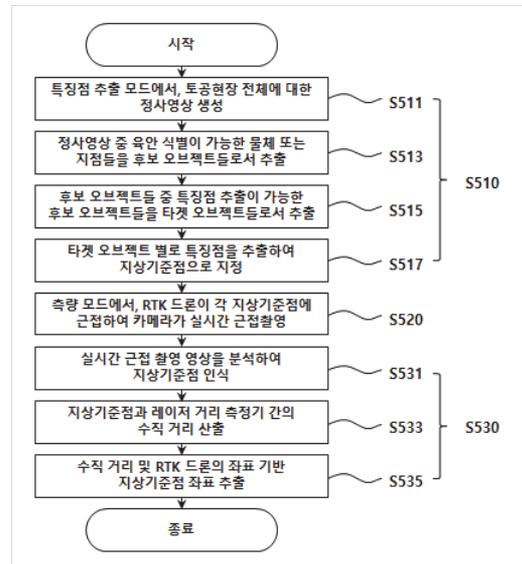


Fig. 6 Detailed flowchart of ground control point survey[18]

이며, Fig. 6은 그 방법을 보다 자세히 보여주는 흐름도이다[18].

Fig. 5를 참조하면 아래와 같은 프로세스로 작업이 진행됨을 알 수 있다.

- 1) 전자장치는 특징점 추출 모드에서, RTK 드론에 구비된 카메라로부터 토공현장을 촬영하여 취득된 영상을 분석하여 지상기준점을 추출한다.
- 2) 전자장치는 측량 모드로 전환하여 드론이 각 지상기준점에 근접하여 지상기준점을 포함하는 영역을 실시간 근접 촬영한다.
- 3) 전자장치는 지상기준점과 레이저 거리측정기 간의 거리와 RTK-GPS 정보, RTK 드론의 3축 기울기를 활용하여 지상기준점의 절대 좌표를 산출한다.
- 4) 모든 지상기준점 좌표가 추출되면 지상기준점의 좌표와 카메라에 의해 촬영된 이미지를 디지털 맵 생성 서버로 전송한다.

Fig. 6의 S510, S530 단계를 자세히 설명하면 아래와 같다.

- 1) 전자장치는 특징점 추출 모드에서, RTK 드론이 건설현장을 이동하는 동안 카메라가 프레임이 중첩되도록 촬영한 다수의 영상으로부터 토공현장 전체에 대한 정사영상을 생성한다.
- 2) 생성된 정사영상 중 육안 식별이 가능한 물체 또는 지점을 판단하여 지상기준점 후보 오브젝트로 추출한다. 이때, 전자장치는 후보 오브젝트들이 추출된 지점에서의 드론 위치정보와 후보 오브젝트의 식별정보, 정사영상 내에서 후보 오브젝트의 위치정보를 맵핑 저장한다.
- 3) 후보 오브젝트 중 특징점 추출이 가능한 타겟 오브젝트를 선정하고, 특징점 추출을 통해 지상기준점을 추출한다.

4. 재래식 및 자동화 방식의 생산성 분석

이 장에서는 Fig. 2의 재래식 지상기준점 측량 방식과, 3장에서 도출된 개념디자인을 활용한 자동화 방식의 작업 생산성을 비교 분석하여, 자동화 방식 도입시의 실제 이점을 정량적으로 확인하고자 한다. 여기서 생산성은 작업 현장의 면적 대비 소요시간으로 정의되었으며, 시간당 작업 면적 (m^2/hr)으로 표현하였다.

4.1 생산성 분석 대상 현장 개요

본 연구에서 지상기준점 설정을 위한 생산성 분석 검증 대상으로 삼은 현장은 동작구 소재의 $409 \times 339m^2$ 규모 공동주택 현장이다(Fig. 7). 현장 내의 고저차는 최대 55m로 지상기준점 설치를 위해 이동하기에는 다소 난이도가 있으나, 현장 외부가 기 개발지역이므로 현장 외부의 지상기준점을 취득하는데는 용이한 것으로 판단된다.

해당 현장에 대한 지상기준점 설치 계획은 아래 Fig. 8과 같다. 선행연구[5]에서 제시한 기준을 고려하여 설치 간격이 설정되었으며, 지상기준점은 현장 외부 8개소, 현장 내부에 4개소를 측량하는 것으로 계획되었다.

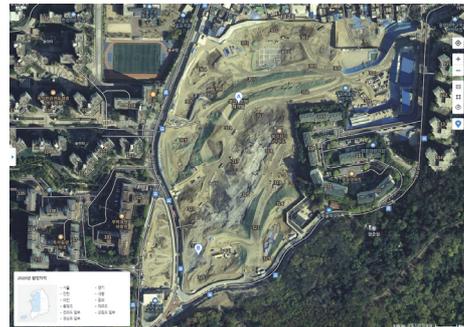


Fig. 7 Target site overview[19]



Fig. 8 Ground control point layout plan[5]

Table 1. Productivity analysis of conventional GCP surveying

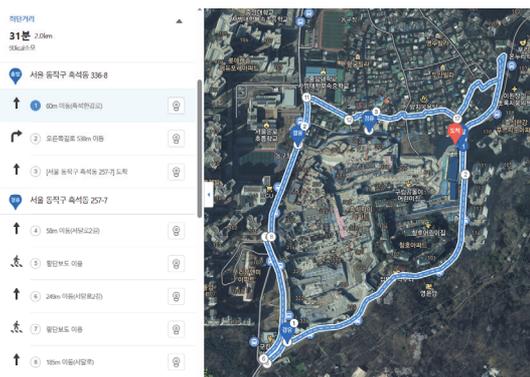
Conventional process		Working time (min)
Preparation work	•GCP deployment plan and checking the equipment	30.0
surveying work	•Walking time [Outside of site] (Path : 2.0km(Figure 9-(a)))	31.0
	•Walking time [Inside of site] (Path : 0.43km(Figure 9-(b)))	7.0
	•GCP target setup [Outside] (Use of topographic features)	0
	•GCP target setup [inside] (0.87min/ea, 4ea)	3.47
	•GNSS surveying (1.37min/ea, 12ea)	16.4
Total		87.87

4.2 재래식 및 자동화 방식의 생산성 분석

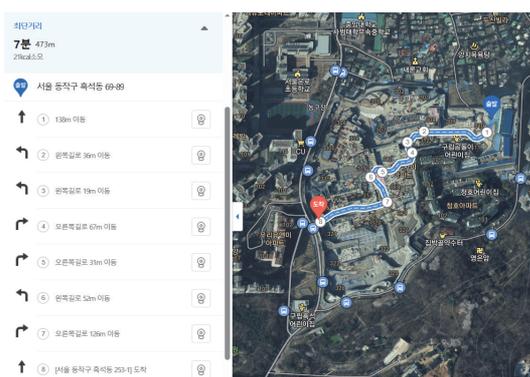
4.2.1 재래식 방식의 작업 소요시간 분석

재래식 방식의 작업 프로세스는 1)사전 준비, 2)측량 작업, 3)작업 정리의 3단계로 구분할 수 있다. 프로세스별 수행 작업 소요시간은 대부분 대상 현장에서 직접 측정하여 평균값을 활용한 것

으로 아래 Table 1과 같다. 단, 측량을 위해 도로로 이동하는 시간은 작업팀마다 편차가 발생할 수 있으므로, 카카오맵(Kakao Corp., 대한민국)을 활용하여 도로 경로에 따른 이동 소요시간을 계산하여 적용하였다(Fig. 9). 또한 3)작업 정리 프로세스의 경우 자동화 방식과 큰 차이가 없어 생산성 분석 대상에서 제외하였다.



(a) Walking time and path [Outside of site]



(b) Walking time and path [Inside of site]

Fig. 9 Travel time calculation of conventional method

4.2.2 자동화 방식의 작업 소요시간 분석

자동화 방식의 작업 프로세스도 비교의 용이성 확보 차원에서 동일하게 1)사전 준비, 2)측량 작업, 3)작업 정리의 3단계로 구분하였으며, 3)작업 정리 단계는 재래식 방식과 큰 차이가 없어 생산성 분석 대상에서는 제외하였다.

프로세스별 수행 작업 소요시간은 아래 Table 2와 같이 분석되었다. 드론 영상 취득 계획을 위한 어플리케이션으로는 Pix4D Capture 4.13.1 (Pix4D SA, 스위스)이 활용되었으며(Fig. 10(a)), 정사영상 생성을 위해서 오픈소스인 WebODM 1.9.19의 fast-orthophoto mode가 활용되었다(Fig. 10(b)). 드론의 경로 이동 분석에는 Dronelink pro 4.7.0(Dronelink LLC, 미국)이 사용되었으며, 이때 드론 이동속도 5%, 비행고도 80m를 유지하는 방식으로 시뮬레이션하였다(Fig. 11).



(a) Pix4d capture



(b) orthographic image process (WebODM 1.9.19 fast-orthophoto)

Fig. 10 Time calculation of automated Preparation work

Table 2. Productivity analysis of automated GCP surveying

Conventional process		Working time (min)
Preparation work	•Plan to setup drones and making orthographic image	5.0
	•Drone Flight and take images (409×339m, 234 images)	11.22
	•orthographic image process (234 images, GSD 10.14cm)	10.95
	•Send images to server (234 images, 1.09GB)	8.52
	•GCP surveying path generation	1.08
surveying work	•Moving along surveying path (Speed 5km/h, Elevation 80m)	15.87
	•Drone up/down (0.93min/ea, 12ea, Elevation 80m)	11.2
	•GCP data acquisition (0.25min/ea, 12ea)	3.0
	•Replacing the drone battery (RIH : 0.83min, Replacing 2min)	2.83
Total		69.67

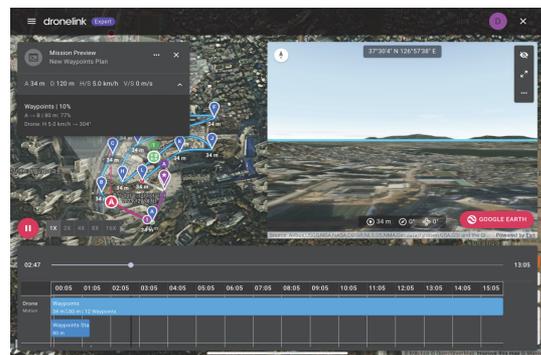


Fig. 11 Time calculation of automated surveying work

4.2.3 재래식 및 자동화 방식의 작업 생산성 분석

재래식 및 자동화 방식의 작업 소요시간 분석 결과, 대상 현장을 기준으로 재래식 방식 87.87분, 자동화 방식 69.67분으로 분석되었다. 이를 대상 현장 영역 0.138651km² 기준으로 분석하여 작업 생

산성으로 환산하면, 재래식 방식은 94,674.63m³/hr, 자동화 방식은 118,894.7m³/hr로 분석할 수 있다. 이는 자동화 방식의 작업 생산성이 재래식 방식에 비해 약 25.6% 더 높다는 것을 의미한다. 한편, 자동화 방식은 개념디자인 단계로 정확한 작업 소요시간 판단이 어려워 다소 보수적인 관점에서 생산성 분석을 수행하였으므로, 기술의 실질적인 개발 이후 생산성은 더욱 향상될 여지가 있다.

5. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 이론적 고찰 수행 결과, 드론을 활용하여 건설현장의 3차원 정보를 생성하는 기술개발이 활발히 이뤄지고 있으며, 특히 생성된 결과물의 정확도를 제고하려는 연구가 다수 수행되고 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 지상기준점 측량 현황 문제점 분석 결과, 지상기준점 측량 작업은 인력 의존도가 높고 작업 소요시간이 긴 작업으로, 지상기준점 배치 위치마다 인력이 투입되어 반복 작업을 수행해야 하므로, 이를 자동화 할 수 있는 대안 마련이 필요한 것으로 분석되었다.
- 3) 지상기준점 측량 자동화 기술의 요구사항 정의 결과를 토대로, 개념디자인 및 그 하드웨어 사양이 도출되었으며, 이를 실질적으로 활용하기 위한 기술의 구체적인 방안이 제시되었다.
- 4) 생성된 개념디자인을 활용하여 재래식 및 자동화 방식의 생산성 분석을 수행한 결과, 대상 현장을 기준으로 재래식 방식 94,674.63 m³/hr, 자동화 방식 118,894.7m³/hr의 생산성이 도출되었으며, 결론적으로 자동화 방식의 생산성이 재래식 방식 대비 25.6% 더 우수한 것으로 분석되었다.

본 연구는 다수의 연구에서 중요성을 강조하고 있는 지상기준점 배치 작업의 자동화 방안을 제시하고, 생산성 분석을 통해 그 실효성을 검증했는데 연구의 차별성과 중요성이 있다. 추후 연구를 통해 개념디자인을 실질적인 기술로서 발전시켜야 할 것이며, 경제성 분석을 통해 재래식 방식 대비 자동화 방식이 비용 효과적임을 증명하는 과정이 반드시 필요할 것으로 판단된다. 이러한 기술의 발전은 건설 및 지리 정보 분야에서 보다 효율적이고 정확한 지형지도 작업을 가능하게 할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(스마트 건설기술 개발사업: 23SMIP-A158708-04).

참고문헌

- [1] J. W. Park, D. J. Yeom and T. K. Kang, "Accuracy analysis of earthwork volume estimating for photogrammetry, TLS, MMS", *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, 24(4), pp.453-465, (2021).
- [2] M. Uysal, A. S. Topark and N. Polat, "DEM generation with UAV photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill", *Measurement*, 73, pp.539-543, (2015).
- [3] B. Kršák, P. Blišťan, A. Pauliková, P. Puškárová, L. Kovanic, J. Palková and V. Zelizňaková, "Use of low-cost UAV photogrammetry to analyze the accuracy of a digital elevation model in a case study", *Measurement*, 91, pp.276-287, (2016).

- [4] J. M. Cho and B. K. Lee, "GCP and PPK utilization plan to deal with RTK signal interruption in RTK-UAV photogrammetry", *Drones*, 7, pp.265-283, (2023).
- [5] J. W. Park and D. J. Yeom, "Method of establishing ground control points for realizing UAV-based precision digital maps for earthwork sites", *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21(1), pp.110-119, (2022).
- [6] J. H. Kim, D. J. Yeom, H. A. Ko and T. K. Kang, "Design of an information system prototype for generating and linking ultra-precision digital maps of construction sites", *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, 23(6), pp.1015-1024, (2020).
- [7] J. W. Park, W. G. Yun, S. S. Kim and J. H. Song, "A study on 3D geospatial information model based influence factor management application in earthwork plan", *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, 22(2), pp.125-135, (2019).
- [8] S. Guan, Z. Zhu and G. Wang, "A review on UAV-based remote sensing technologies for construction and civil applications", *Drones*, 6, pp.117-136, (2022).
- [9] J. A. Gonçalves and R. Henriques, "UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, pp.101-111, (2015).
- [10] M. Jaud, C. Delacourt, N. L. Dantec, P. Allemand, J. Ammann, P. Grandjean, H. Nouaille, C. Prunier, V. Cuq, E. Augereau, L. Cocquempot and F. Floc'h, "Diachronic UAV photogrammetry of a sandy beach in brittany (France) for a long-term coastal observatory", *Geo-Information*, 8, pp.267-279, (2019).
- [11] Andriolo, U., Gonçalves, G., Bessa, F., Sobral, P, "Mapping marine litter on coastal dunes with unmanned aerial systems: A showcase on the Atlantic Coast", *Science of the Total Environment*, 736, 139632, (2020).
- [12] S. Siebert and J. Teizer, "Mobile 3D mapping for surveying earthwork project using an unmanned aerial vehicle (UAV) system", *Automation in Construction*, 41, pp.1-14, (2014).
- [13] M. Shahbazi, G. Sohn, J. Théau and P. Ménard, "UAV-based point cloud generation for open-pit mine modeling", *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-1/W4, pp.313-320, (2015).
- [14] B. Kršák, P. Blišťan, A. Paulíková, P. Puškárová, L. Kovanic, J. Palková and V. Zelizňáková, "Use of low-cost UAV photogrammetry to analyze the accuracy of a digital elevation model in a case study", *Measurement*, 91, pp.276-287, (2016).
- [15] M. Daakir, M. Pierrot-Deseilligny, P. Bosser, F. Pichard, C. Thom, Y. Rabot and O. Martin, "Lightweight UAV with on-board photogrammetry and single-frequency GPS positioning for metrology applications", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 127, pp.115-126, (2017).
- [16] M. Mukhlisin, H. W. Astuti, R. Kusumawardani, E. D. Wardihani and B. Supriyo, "Rapid and low cost ground displacement mapping using UAV photogrammetry", *Physics and Chemistry of the Earth*, 130, 103367, (2023).
- [17] S. B. Lim, C. W. Seo and H. C. Yun, "Earthwork management for dredged soil dumping area by using drone", *Proceedings of the Conference on Korean Society of Civil Engineers, KSCE*, pp.99-100, (2015).
- [18] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, "RTK drone based GCP auto-arrangement apparatus for digital map creation of earthwork site", *Korea Patent No. 10-2242366*, (2021).