

GNSS RTK 드론 기반 시설물의 3차원 모델링 향상

이용창* · 강준오**

Improvement of 3D Modeling Process of Facilities Based on GNSS_RTK Drone

Lee, Yong Chang* · Kang, Joon Oh**

ABSTRACT : In recent years, drones are expanding their use as highly efficient smart support equipment in all industries, including military as well as urban engineering planning and design, construction, In particular, the advancement of drones and GNSS(global navigational satellite system) positioning services, the high efficiency of visible color image RGB sensors, and various selective convergence between thermal infrared sensors and lidar scanning visibility sensors are becoming a key source of spatial information acquisition in the field of construction information modeling(BIM) and 3D digital twin modeling.

This study seeks to improve the efficiency of field and office works in drone aerial photography in 3D modeling of urban facilities. For these, after acquiring the 3D location of the drone aerial photography point in two positioning modes, standard GNSS surveying and GNSS RTK precise positioning, the 3D productions were reproduced through the SfM(structure from motion) image analysis process, and the accuracy and efficiency of the work process were compared and considered.

As a result of the study, when GNSS RTK precision positioning (VRS ; virtual reference service) is applied during outdoor filming, it was possible to reproduce and demonstrate the effectiveness of the digital twin modeling within the allowable range by omitting the GNSS surveying for additional ground control points and geo-tagging for the real-world model conversion of 3D image analysis results in image processing.

Keywords : Drones, GNSS RTK, BIM, Digital twin, GCP

1. 서론

드론은 BIM 및 디지털 트윈을 위한 핵심 지원 기술로 HW 및 운용을 위한 펌웨어 및 센서기술의 발전과 함께 점차 고도화 되고 있다. 특히, 비행체 플랫폼상에 각종 융합 센서(RGB, TIR; 열영상, 초분광 카메라, LIDAR 광파, GPR 전파 응용센서 및 환경센서 등)를 탑재하고 획득한 영상, 점군자료 및 다양한 감응정보를 실시간 및 사후 처리를 통

해 결정된 GNSS 측위 정보와 연계하여 군사분야 외에 건설, 도시공학의 입안에서 유지관리에 이르는 각 단계에서 다양하게 응용할 수 있는 결과물을 제공하는 스마트 지원기술로 현재, 산업 전 분야에서 널리 활용되고 있다.(Lee YC, 2017)

드론으로 취득된 영상은 SfM(Structure from Motion) 영상해석으로 3차원 수치표면모형(DSM ; Digital Surface Model), 수치표고모형(DEM ; Digital Elevation Model), 점군자료(Point clouds) 및 정사영상 등을 산출하게 된다. 특히, 영상해석 단계에서 중복영상의 특징점검출, 특징점 정합 등이 공선, 공면 및 공역조건의 충족을 전제로 1차 항공삼각측량(Aerial Triangulation)이 수행되어 상

* 인천대학교 도시과학대학 도시공학과 정교수, yclee@inu.ac.kr

** 인천대학교 도시과학대학 도시공학과 박사후 연구원, gnss@inu.ac.kr

호표정 요소가 산출되고 이로부터 특징점 기반의 카메라 공간좌표 내 3차원 점군 및 영상 산출물이 생성된다. 2차 항공삼각측량(Aerial Triangulation) 단계에서는 카메라 공간 내 3차원 영상모델을 지상기준점(GCP ; Ground Control Point)을 매개로 실세계 좌표를 가진 모델로 전환하면서 최종적인 내부표정요소 산출, 고밀도 3차원 점군자료, DSM, DEM 및 정사영상을 생성하는 절대표정 단계가 수행된다. 카메라 공간상의 3차원 모델을 실세계 모델로 전환하기 위해서는 지상기준점(GCP ; Ground Control Point)의 활용을 필수로 한다.(Lee YC, 2019, Do MS et al, 2018, Kim TH and Lee YC, 2020)

일반적으로 드론측량에는 저가 범용 GNSS 수신기로부터 드론 촬영점의 3차원 위치가 각 영상 촬영에 활용된 카메라 제원 및 설정값과 함께 메타속성정보로서 EXIF(EXchangable Image File format) 표준형식으로 수치영상에 자동기입되므로 촬영점의 위치 정확도가 비교적 낮은 편이다. 따라서, 지상기준점에 대한 별도의 GNSS 관측을 수행하고 2차 항공삼각측량 수행과정에서 3차원 카메라 공간 영상모델 내 GCP 측정점에 대해 각 사진상의 대응점을 픽셀 단위로 확대한 후, 개별적으로 확인하면서 Geo-tagging 작업을 반자동 및 수동으로 지정해야 한다.

GNSS(GPS, GLONASS, GALILEO, BDS) 및 RNSS(QZSS, IRNSS 등) 측위 위성의 고도화에 따른 민간전용신호 서비스 확대, 위성측위 보강시스템(SBAS 및 GBAS) 등으로 위성 측위 정확도가 향상되고 있어 정밀측량은 물론, 지각 운동 모니터링, 정밀 유도 및 스마트 건설 응용 분야의 활용이 확대되고 있다.(GPS, 2024) GNSS 측위기술은 응용기술과학분야에서 일상생활 분야에 까지 사용장비 구성에 따라 다양한 정확도의 측위 정보를 제공하고 있다. 특히, 국내에서는 측지측량은 물론, 지적재조사, 국토정보 모니터링, LBS(Location Based Service), 디지털트윈 분야 및 자율주행 등 다양한 산업분야에서 활용되고 있어 각 분야에 적합한 GNSS 장비의 선정 및 구성의 효율성이 중요한 요소로 검토되고 있다.

GPS의 관측방법은 절대측위와 상대측위로 구분하며 상대측위는 정지관측, 신속정지관측, 이동측위, 의사 이동측위, 실시간 이동 측위로 나뉘어진다. 실시간 이동측위(RTK, Real Time Kinematic)에서는 기준국과 이동국 간의 거리에 의해 전리층과 대류층 효과와 같은 계통오차의 상관관계가 저

하되어 적절히 제거되지 않으므로 센티미터의 정확도를 획득하기 위해 기선의 길이를 10~15km로 제한해야 한다. 수년 동안 다양한 테스트를 통해 Network-RTK 솔루션이 단일 베이스라인 RTK 솔루션보다 우수하다는 것이 입증되었으며 가상기준국으로부터 실시간으로 보정을 제공하는 네트워크를 구축하고 있다.(Herbert et al. 2003) 가상기준점(VRS)을 사용한 Network-RTK 방식은 RTK방식에 비해 기선 길이의 제한이 적으며, 상시관측소의 데이터를 이용함에 있어 별도의 기준점측량 없이 실시간으로 이동국의 정밀한 위치를 결정할 수 있다.(국토지리정보원, 2024, GNSS 데이터 통합센터, 2024)

GNSS 고도화 및 CORS 기반 실시간 고정밀 측위방법 확충 향상되면서 국토지리정보원에서는 2024년 4월 1일부터 Network RTK 보정값 산정에 기존 GPS, GLONASS 위성외에 Galileo BDS 위성 신호정보를 포함하여 실시간 모호정수 해석 및 정밀도 향상을 도모하고 있다. 특히, 2024년 5월 11일부터 14일간 발생한 태양 흑점 폭발(Cycle25)에 의한 태양폭풍의 영향은 전리층 교란 영향 등으로 GNSS 실시간 측량의 경우, 전리층 지연 영향으로 수 m급의 측위오차를 초래하하므로 드론측량의 경우, 2주파 또는 다주파 위성신호를 활용한 실시간 GNSS 측위의 필요성이 주목되고 있다.

2. 연구목적 및 방법

본 연구는 시설물을 대상으로한 드론영상 기반 3차원 디지털트윈 모델링에서 내업 및 외업 공정의 향상을 통한 3차원 모델링의 효율화 방안을 모색하는 것이다. 이를 위한 연구방법으로 건물을 대상으로 드론 항공촬영점의 3차원 위치를 일반 GNSS 측량 및 GNSS RTK 정밀측위, 2가지 모드로 수행하였다. 특히, GNSS 상시관측소의 Network RTK 측량이 가능한 드론을 선정하여 실시간 정밀측량 모드(VRS 보정서비스)의 활성화 유무에 따른 두 가지 비행계획을 수립하여 각 경우별 촬영 영상을 획득하였다.(Trimble, 2024)

일반적으로 표준측위(Standard Point Positioning)에 의한 항공촬영 사진의 경우, 해석단계에서 실세계 3차원 좌표 모델로 전환을 위해 지상기준점(GCP)에 대한 GNSS 정밀측량을 별도로 수행하므로 본 연구에서도 자연점 타켓 및 인공점 타켓을 촬영 수행 전, 설정하여 별도의 추가 외업(GNSS 측량)을

수행하였다. 2가지 모드로 획득한 영상을 SfM(Structure from Motion)영상해석을 통해 3차원 결과물을 산출하고 점점점의 실 관측성과를 기준으로 두 가지 모드 영상해석결과의 정확성 및 작업공정의 효율성을 비교·고찰하였다. 특히, SfM 영상 해석 단계에서 표준측위에 의해 획득된 드론 영상의 3차원 모델링 내업 공정은 3차원 카메라 공간 영상모델 내 GCP 측정점에 대해 각 사진상의 대응점을 픽셀 단위로 확대한 후, 개별적으로 확인하면서 Geo-tagging 작업을 반자동 및 수동으로 지정해야 한다. 이 경우, 3차원 모델링의 정확도에 영향을 주는 다양한 변수가 개입될 수 있어 각 사진상에서 최대한 확대를 유도하여 표식작업을 수행한다. 또한, 재현된 결과물의 2차 응용을 위한 정확성 검토를 위해 두 가지 촬영 영상의 점점점에 대한 정확성 검토는 물론, 디지털 트윈된 모델상 특정 부분의 거리, 면적, 체적 등을 비교고찰하고 종합적으로 내업 및 외업 공정의 효율성을 비교 분석하였다.

3. 해석이론

드론 촬영점의 실시간 위치를 센티미터(cm)급 실시간 정밀절대측위를 구현하기 위해서는 관측자로 부터 수 km 권역 내에 GNSS 기준국이 반드시 운영되어야 한다.

2024년 현재, 국토지리정보원에서는 87개소의 GNSS 실시간측망을 기반으로 Network-RTK 측위 서비스(VRS, FKP)를 시행하고 있다. 최근들어

GNSS 위성의 다양화, 위성 대수의 증가, 위성신호의 현대화 및 고도화, IGS 및 CNES의 GNSS 위성 궤도력 및 위성시계 보정정보, 전 세계 multi-GNSS 상시관측소 운영 센터의 인터넷을 매개로 한 SSR 보정값 서비스 등으로 실시간 정밀절대측위(PPP), Network-RTK 측위 정확도의 향상이 기대되고 있다. 그림 1은 GNSS 표준절대측위(SPP) 및 GNSS측위 오차원의 종류와 크기를 나타낸 것이다. GNSS 표준단독측위(SPP)의 경우, 측위 오차 원인 중 가장 큰 영향은 전리층 지연이다.

특히, 2024년~2025년 기간은 태양흑점 폭발 주기 Cycle25에 해당되는 해로서 전리층 지연 영향의 보정에 특히 주의를 요하고 있다. 그림 2는 GNSS 상시관측소를 활용한 실시간 RTK 정밀 측위기술 중, VRS 보정서비스를 활용한 이상기준점(GCP) 측량 및 드론 촬영과정을 나타낸 것이다.(우주전파센터, 2024)

VRS(Virtual Reference System)방식의 네트워크 RTK 보정신호는 그림 2.2와 같이 네트워크 RTK 시스템이 ① 다수 기준국에서 GNSS 관측 정보를 수신하여 제어국으로 전송하고 ② 중앙제어국은 수집된 상시관측소 자료를 실시간 해석하여 보정치를 생성, ③ GNSS 측위 사용자가 자신의 위치를 NMEA GGA 형식으로 제어국으로 전송하면, ④ 제어국은 사용자가 요청한 위치에서 가상적인 GNSS 관측자료와 주변 환경에 적합한 보정정보를 사요자에게 전송, ⑤ 사용자의 이동국이나 드론상에서 보정값을 활용하여 실시간 정밀위치를 산정하게 된다.(서울시청 GNSS 측위 서비스, 2024) 따라서, 상시관측소를 활용한 VRS Network RTK 측위 서비스는 양방향 통신을 전제로 하며 제어국에서 보정

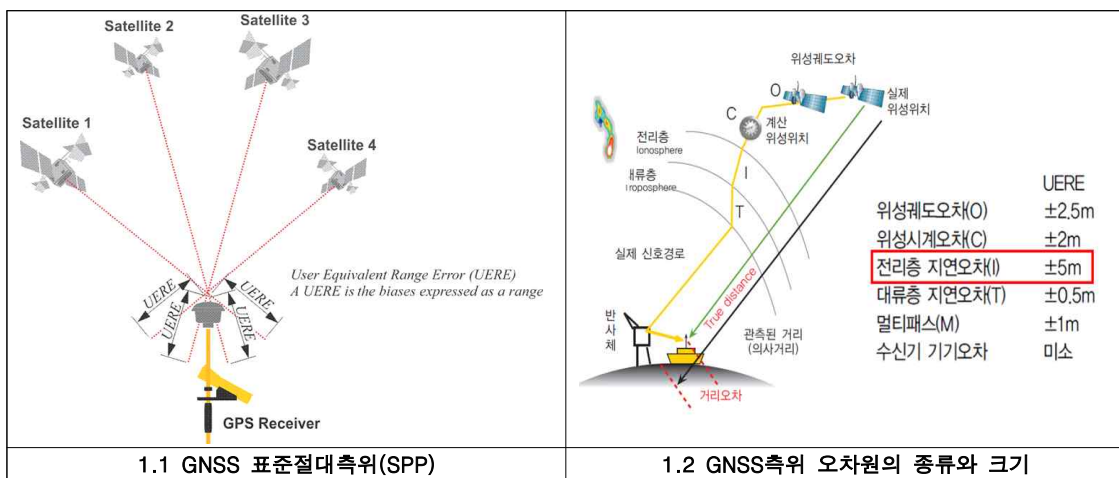


그림 1. GNSS 표준절대측위(SPP) 및 GNSS측위 오차원의 종류와 크기

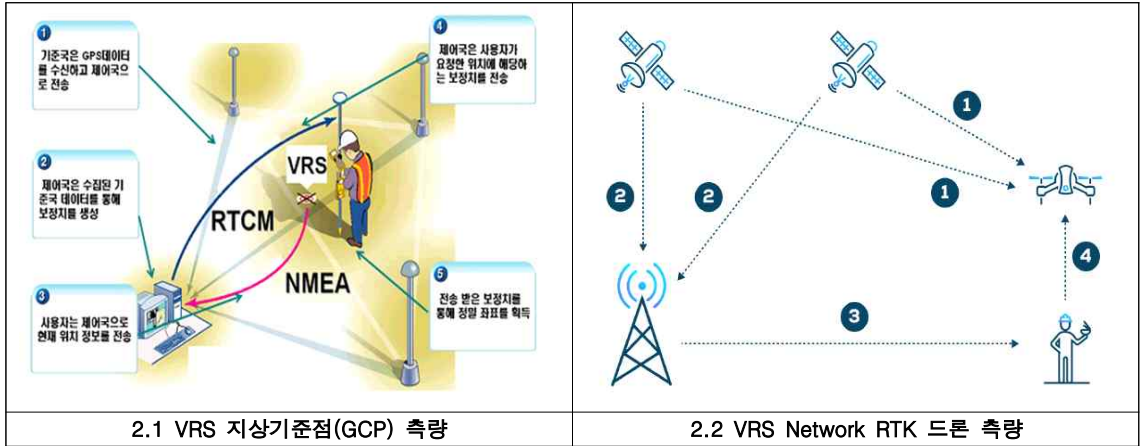


그림 2. GNSS 상시관측소 VRS 보정서비스 및 VRS 드론 촬영 흐름

정보 관련 연산이 대부분은 수행되므로 이용자 측 작업이 최소화 되는 장점이 있어 여러 나라와 기관에서 널리 활용되고 있다. 이외에도 GNSS 상시관측소 정보를 활용한 실시간 Network RTK 서비스 방식으로 FKP, MAC, CBI 서비스가 활용되고 있다.

영상기반 3D 모델링을 위한 사진측량 해석의 일련과정은 그림 3과 같다. 사진측량은 대상체를 중심으로 중복도 높게 여러 장 촬영된 2차원 영상에서 3차원 구조를 추정하는 프로세스로 하나의 영상을 기준으로 카메라의 위치 및 자세 정보를 기반으로 대상체의 3차원 정보를 추출한다. 대상체를 촬영한 카메라의 초점거리, 주점, 비대칭계수와 같은 내부 파라미터(intrinsic parameters)와 3차원에서 카메라가 얼마나 이동되었고 얼마만큼 회전되었는지에 대한 정보를 가진 외부파라미터(extrinsic parameter)를 통해 카메라 캘리브레이션

을 실시한다.

이후, SIFT(scale invariant feature transform)기법을 통해 영상마다 특징점을 추출하고 공역기하 구속조건을 만족하는 특징점을 매칭 및 필터링한다. 이렇게 생성된 각 영상의 특징점들을 SfM을 통해 번들 블록조정(bundle adjustment)하여 위치 관계를 확인, 밀도 낮은 3D 포인트 클라우드를 생성한다. 이 단계에서 실세계 스케일로 관측된 지상기준점(GCP, ground control point)의 정보를 입력하면 실세계 스케일의 밀도가 낮은 3차원 포인트 클라우드를 획득할 수 있다. 이후, 이 3차원 포인트들을 포함하고 있는 다수의 영상들로부터 다시 매칭하여 밀도 높은 실세계 3차원 포인트 클라우드를 생성한다. 이러한 프로세스를 기반으로 정사영상(orthophoto), DSM(digital surface model), 3D mesh 등 다양한 3차원 데이터를 획득한다.(Jakob et al. 2019)

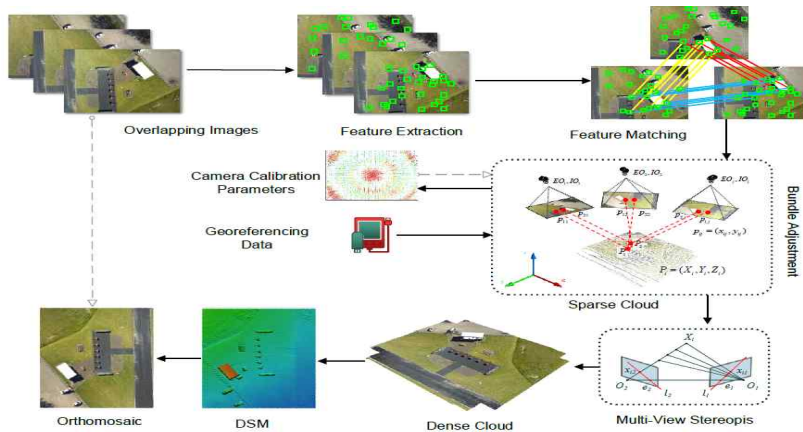


그림 3. SfM 영상해석 흐름도 (Farid 2017)

4. 관측 및 영상해석

4.1 대상지 및 관측



그림 4. 인천대학교 도시과학대학

	<ol style="list-style-type: none"> 1. 카메라 : 1" CMOS, 유효 픽셀: 20M 2. 렌즈 : FOV(82°), 8.8 mm 35 mm 환산: 24 mm f/2.8 ~ f/11, 1 m ~ ∞ 3. 이미지 크기 3:2 종횡비: 5472×3648(3:2) 16:9 종횡비: 5472×3076 JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG 4. 동영상 4K: 5472×3076 24/25/30p @100Mbps MP4/MOV(AVC/H.264, HEVC/H.265) 저장매체 : Micro SD 5. 조종기 최대전송거리 9km(무장애물)
--	---

표 1. EVO II pro Enterprise RTK 제원

연구대상지는 그림 4와 같이 인천대학교 도시과학대학 27호관 및 28호관 건물을 중심으로 약 250m×250m 규모로 다양한 형태의 건축물과 녹지가 있고 인구 유동이 많을 뿐만 아니라 캠퍼스 주변에 도로, 버스정류장과 같은 인프라를 일부 포함하고 있다. 데이터 획득은 표 1 제원의 EVO II pro Enterprise RTK 장비를 활용하였으며 Network

RTK 시스템을 작동한 상태로 1회, 작동을 중지한 상태로 1회로 총 2회 비행하였다. 자동 촬영 비행 설정은 고도 100m, 카메라 90°, 종횡중복도 80% 및 비행시간 12분으로 각각 126매씩 총 252매의 이미지를 획득하였다.

4.2 지상기준점(GCP) 측량



그림 5. 지상기준점(GCP) 및 점검점(CP) 위치

영상해석의 Geo-tagging 작업을 위한 지상기준점과 좌표 정확도 비교·분석을 위한 점검점을 그림 5와 같이 인공타겟 설치 및 식별이 용이한 자연점(도로 라인, 펜홀 모서리 등)을 설정하여 GNSS 측정을 통해 표 2와 같이 좌표를 획득하였다.

표 2. 지상기준점(GCP) 및 점검점(CP) 좌표

측점	X축	Y축	Z축
GCP-01	167409.049	530331.819	28.779
GCP-02	167438.791	530296.033	32.277
GCP-03	167505.869	530298.067	28.163
GCP-04	167549.645	530370.04	28.059
GCP-05	167479.687	530440.202	28.205
GCP-06	167419.097	530377.287	33.926
CP-01	167413.029	530355.626	28.819
CP-02	167532.58	530325.215	27.879
CP-03	167532.615	530395.372	28.022
CP-04	167453.446	530383.409	33.86
CP-05	167462.005	530375.218	33.895

5. 영상해석 및 공정분석

5.1 영상해석

영상해석은 상대적으로 좌표정확도가 높게 산출

되는 Pix4D사의 Pix4D Mapper를 활용하였다. Network RTK로 진행한 데이터는 별도의 공정 없이 프로그램 내 데이터 입력 후 산출되는 좌표계 설정만 수행하여 3D 모델을 구축하였고 GNSS 측정을 통해 획득한 점검점과 동일한 지점의 좌표를 추출하여 표 3과 같이 점검점에 대한 평균제곱근 오차(RMSE: Root Mean Square Deviation)로 산출하였다.

표 3. Network RTK 기반 3D 모델 좌표 정확도

	X축	Y축	Z축
RMSE	0.081	0.072	0.865

또한, GCP와 SPP측위 연계 방법 기반 데이터는 Geo-tagging 작업을 추가 수행하여 3D 모델을 구축하였으며 표 4와 같이 점검점에 대한 평균제곱근 오차를 산출하였다.

표 4. GCP와 SPP측위 연계 방법 기반 3D 모델 좌표 정확도

	X축	Y축	Z축
RMSE	0.061	0.058	0.033

분석결과 X, Y, Z축 좌표 정확도 모두 GCP와

SPP측위 연계 방법이 상대적으로 높은 정확도를 나타내었고 특히, Network RTK 기반 3D 모델은 5개의 점검점 모두에서 Z축의 오차가 크게 나타났다.

영상해석은 다수의 이미지 기반 항공삼각측량을 통해 이미지가 촬영된 위치 및 자세를 추적하고 GCP등의 구속조건이 없는 경우 이미지 데이터 내 촬영 위치 좌표를 기준으로 3D 모델의 좌표를 구성한다. 특히, 촬영위치정보와 계산된 위치정보의

부합도가 중요한데 그림 6과 같이 Network RTK 사용 전·후 및 GCP와 SPP측위 연계 방법의 이미지 데이터 촬영 위치(파란색)와 항공삼각측량에 의해 계산된 위치(녹색)의 부합도를 검토한 결과 Network RTK 사용 전보다 사용 후의 부합도가 높게 계산되었고 GCP와 SPP측위 연계 방법보다 낮게 계산되어 Network RTK의 오차가 상대적으로 크게 나타난 것으로 사료된다.

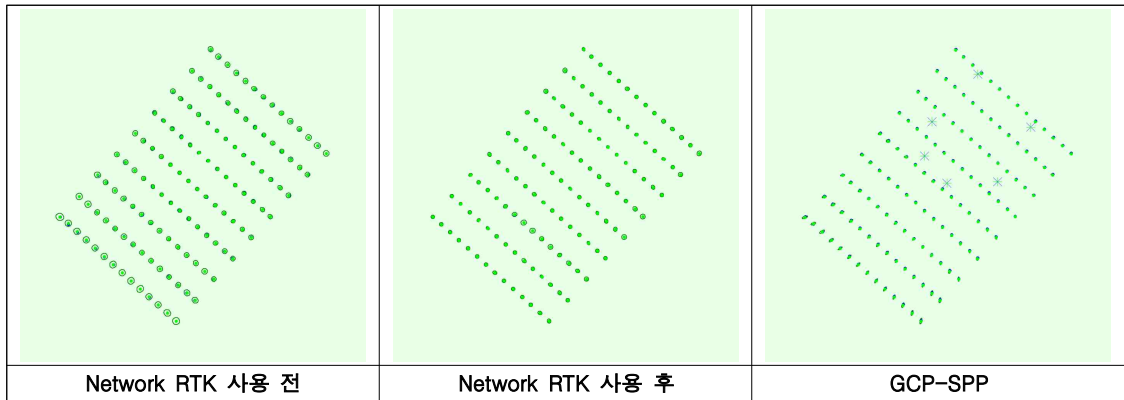


그림 6. 이미지 데이터 초기 위치 및 항공삼각측량 기반 계산된 위치의 부합도

4.2 드론 촬영점 GNSS 측위 방식별 공정 분석

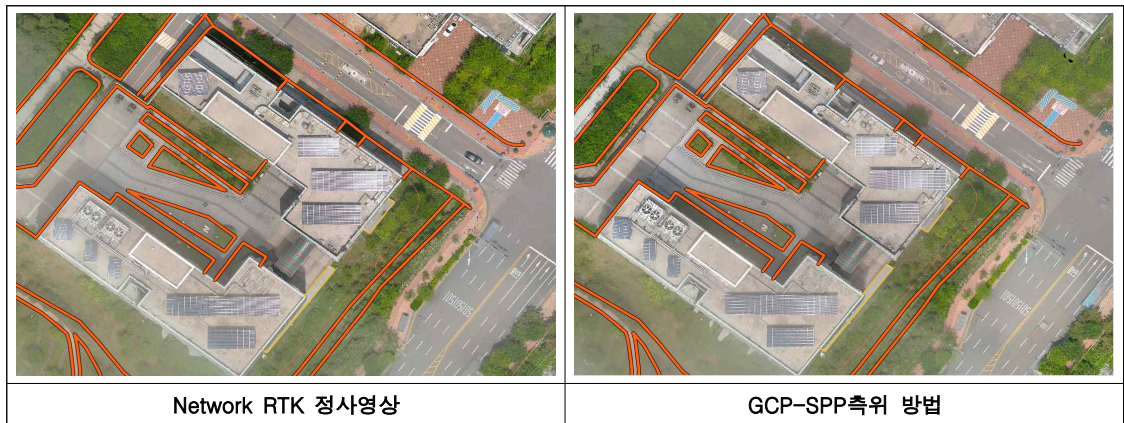


그림 7. 정사영상 및 수치지도 중첩 비교

Network RTK 및 GCP와 SPP측위 연계 방법으로 구축한 3D 모델을 정사영상으로 추출한 후 국토지리정보원에서 제공하는 수치지도와 그림 7과 같이 중첩 비교한 결과 두 방법의 시설물 3D 모델 모두 수치지도와의 중첩률이 높게 나타났다. 시설

물의 면적은 Network RTK는 5107.05㎡, GCP와 SPP측위 연계 방법은 5107.06㎡로 유의미한 차이는 발생하지 않았으며 체적 또한 80085.43㎡ 및 80085.45㎡로 유사한 결과로 산출되었다.

4.3 외업과 내업 공정의 향상 분석

Network RTK 방법 및 GCP와 SPP측위 연계 방법 기반의 3D 모델 구축 방법은 활용 장비와 소프트웨어는 동일하며 과정이 간단하고 자동화가 잘 되어있지만 공정과정 중 Network RTK 방법에

서 외업에서의 GNSS 설치 및 측정과 내업에서의 Geo-tagging 등 생략되는 공정이 다수 존재한다. 따라서, 공정 경과 시간을 기록하면 표 5와 같다. 다만, 표 5의 공정 경과 시간은 작업자의 숙련도나 하드웨어의 성능에 따라 다르게 나타날 수 있다.

표 5. 외업 및 내업 공정 경과 시간

구분	외업			내업			
	기준점 설치	GNSS 측정	드론 비행시간	항공 삼각측량	Geo-tagging	포인트 클라우드	DSM, 정사영상
Network RTK			12분	40분	-	120분	30분
GCP-SPP	60분	30분	12분	80분	60분	120분	30분

공정 경과 시간을 분석하면 Network RTK 방법은 기준점 설치 및 Geo-tagging을 위한 GNSS 측정 등의 외업을 생략하므로 드론 비행시간 12분이 외업 시간이며 내업의 경우 Geo-tagging 작업을 생략하므로 190분, 총 202분이 소요되었다. GCP와 SPP측위 연계 방법은 외업 102분, 내업의 경우 Geo-tagging 작업 후 항공삼각측량을 다시 수행하므로 40분이 추가되어 290분, 총 392분이 소요되었다. 따라서, Network RTK 방법이 GCP와 SPP측위 연계 방법 대비 시간적 효율이 향상된 것을 확인하였다. 특히, 데이터 구축 지역이 커질수록 기준점 설치 및 Geo-tagging 시간이 증가하는 것을 고려할 때 도시 단위 데이터 구축에 매우 효과적일 것으로 사료된다.

6. 결론

시설물을 대상으로 VRS RTK 측위연계 영상해석 방식과 GNSS 실시간 측위 방식 즉, GNSS SPP 측위 및 GCP를 연계한 영상 해석 방식, 두 가지 경우의 모델링 정확성 및 내업과 외업의 작업 효율성을 비교 검토한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

첫째. 측위 및 영상해석 결과물의 정확성

- 1) 점검점 대상 측위성능을 비교 고찰한 결과 SPP 측위와 GCP를 연계한 영상해석은 평균제곱근오차 dX, dY, dZ 에서 각각 0.061m, 0.058m, 0.033m로 나타났다. 반면 Network RTK의 경우 0.081m, 0.072m, 0.865m로 상대적으로 낮게 나

타났다.

- 2) 두 가지 경우로부터 재현된 3차원 모델상의 건물 재현상태를 검토하기 위해 수치지도, 면적 및 체적 성과를 비교 고찰한 결과, 대등한 공차 내 있음을 확인할 수 있었다.

둘째. 외업 및 내업 공정의 향상 효과

- 1) 외업에서 실시간 정밀 비행계획 설정을 통한 자동화로 촬영과 관제가 편리하며 특히 이착륙 지점의 정밀관리로 조종자의 외업 부담 최소화를 유도하였다.
- 2) 외업에서 지상기준점 및 점검점 설치 및 측정의 생략으로 공기 및 비용 절감 등의 효율을 기대할 수 있다.
- 3) 내업에서 실세계 전환을 위한 Geo-tagging 작업 생략으로 영상처리에서 수동작업을 최소화하여 내업공정의 자동화 효율 향상을 기대할 수 있다.
- 4) Network RTK 방법이 GCP-SPP 방법 대비 Z축 오차가 크지만, X, Y축 오차가 낮고 공정 경과 시간이 짧아 신속성과 적시성이 요구되는 분야에 적합하며 기준점 설치 및 Geo-tagging 공정을 생략할 수 있어 넓은 지역의 데이터 구축에 효율적이다.

본 연구에서는 Network RTK 방법을 통한 도시 시설물의 3차원 모델 공정 시간을 단축할 수 있었지

만, 3D 모델 품질에 직결되는 좌표정확도의 오차를 발견하였다. 향후, Network RTK를 활용한 3D 모델 구축의 좌표정확도 개선을 위한 연구를 수행할 예정이다.

REFERENCES

- Lee Yong-Chang (2017) “UAS 영상기반 공간정보해석” 인천대학교 도서출판부.
- Lee Yong-Chang, Kang Joon-Oh (2019) “The Precise Three Dimensional Phenomenon Modeling of the Cultural Heritage Based on UAS Imagery” , Journal of Cadastre & Land Informatix, vol.49, no.1, pp.85-101.
- Lee Yong-Chang, Oh Seong-Jong (2020) “RTCM-SSR 보정요소 기반 1주파 Multi-GNSS 실시간 측위의 효용성 평가” , Journal of Cadastre & Land Informatix, vol.50, no.1, pp.107-123.
- Farid J (2017) “Small Unmanned Aircraft System (UAS) for Engineering Inspections and Geospatial Mapping[Thesis]” Oregon State University.
- Jakob I., Carlos C., Stefano P., Livia P., James O.C., Jacqueline R (2019) “Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review “ Current Forestry Reports. pp. 155-168.
- NGII (2018) Guidelines for Public Surveying Using Unmanned Aerial Vehicles[Internet], <https://law-.go.kr/admRullLsInfoP.do?admRulSeq=2100000118823>
- Do Myung-Sik, Lim Eon-Taek, Chae Jung-Hwan, Kim Sung-Hun (2018) “Accuracy Evaluation and Terrain Model Creation of Urban Space Using Unmanned Aerial Vehicle” , The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. vol.17 no.5 pp.117-127.
- Kim Tae-Hee, Lee Yong-Chang (2020) “오픈소스 기반 UAS 영상 재현 알고리즘 및 필터링 기법 비교” Journal of Cadastre & Land Informatix, vol.50, no.2, pp.155-168.
- 국토지리정보원 (2024), <https://map.ngii.go.kr/ms/mesrInfo/gnss/vrsUserView.do>
- Autel (2024), <https://www.autelpilot.eu/products/>
- GPS, (2024), <https://www.gps.gov/>
- GNSS 데이터 통합센터 (2024), <https://www.gnssdata-.or.kr/main/getMainView.do>
- Trimble (2024), <https://www.trimble.com>
- 서울시청 GNSS측위 서비스 (2024), <https://gnss.eseoul.go.kr>
- 우주전파센터 (2024), <https://spaceweather.rra.go.kr/main.do>

