

# 기구축 공간데이터를 활용한 3차원 건물모델의 위치정합 기법 연구

- ICP 알고리즘 구현 중심으로 -

## A Study on Position Matching Technique for 3D Building Model using Existing Spatial Data

- Focusing on ICP Algorithm Implementation -

이재희\* · 이인수\*\* · 강지훈\*\*\*  
Lee, Jaehee · Lee, Insu · Kang, Jihun

### Abstract

Spatial data is becoming very important as a medium that connects various data produced in smart cities, digital twins, autonomous driving, smart construction, and other applications. In addition, the rapid construction and update of spatial information is becoming a hot topic to satisfy the diverse needs of consumers in this field. This study developed a software prototype that can match the position of an image-based 3D building model produced without Ground Control Points using existing spatial data. As a result of applying this software to the test area, the 3D building model produced based on the image and the existing spatial data show a high positional matching rate, so that it can be widely used in applications requiring the latest 3D spatial data.

Keywords: Drone, 3D building model, position matching, spatial data

## 1. 서론

최근 스마트시티, 디지털트윈, 스마트건설, 자율주행 등의 분야에서 항공 및 지상 라이더, 항공 및 드론에 탑재된 카메라 등 다양한 센서를 이용한 영상 데이터가 획득되고 있으며(임성하 외 2020; 김민수·박두열 2020), 이런 다종의 데이터를 각 분야에서 활용하고, 서로 연결하기 위한 매개체로서 공간데이터의 중

요성이 크게 부각되고 있다. 이러한 공간데이터를 활용하는 사용자들은 국토교통부, 환경부 등의 중앙부처는 물론 민간 기업들까지 다양해졌으며, 보다 최신의 데이터를 지속적으로 요구하고 있다. 과거 공간데이터는 대부분 항공영상이나 위성영상을 이용하여 대규모로 제작되었다. 이에 따라 영상 취득과 처리에 많은 비용과 시간이 필요하여 갱신이 신속하게 이루어지지 않는다는 한계를 지녔다(서홍덕·김의명 2020).

※ 본 연구는 국토교통부 수요처 맞춤형 실감형 3D 공간정보 갱신 및 활용지원 기술개발 과제(3차년도) 보고서를 발제하고 내용을 보완함.

\* 공간정보연구원 선임연구원 LX Spatial Information Research Institute (first author: jhlee82@lx.or.kr)

\*\* 공간정보연구원 수석연구원 LX Spatial Information Research Institute (corresponding author: les05@lx.or.kr)

\*\*\* 공간정보연구원 선임연구원 LX Spatial Information Research Institute (kangdaejang@lx.or.kr)

이러한 문제를 해결하고 보다 효율적인 공간데이터를 구축하기 위한 다양한 방법들이 연구되었다. 최신의 2차원 벡터지도를 효율적으로 구축하기 위한 OSM (Open Street Map)과 같은 커뮤니티 매핑 서비스들이 개발되었고, 무인항공기의 발전과 활성화에 따라 소규모 지역에서의 3차원 공간데이터 구축 방법들이 제안되었다(Gustafsson and Zuna 2017; Koeva et al. 2016). 드론영상을 이용한 3차원 공간데이터 구축을 위해 Pix4Dmapper, Metashape, Contextcapture 등의 상용 S/W와 ODM(Open Drone Map)등의 오픈소스 기반 S/W들이 개발되었다. 개발된 S/W들은 공간데이터 구축을 위한 여러 프로세스를 자동화하여 2차원 정사영상, 3차원 포인트 클라우드와 모델 등을 생성하며, 이 과정에서 지상기준점을 활용하여 위치 정확도를 높인다. 높은 위치정확도의 결과물은 기구축된 이종 혹은 동종의 공간데이터와의 융합 및 대체가 용이하여 바로 활용이 가능해진다. 하지만 정확한 위치 확인을 위한 지상기준점 측량 작업은 많은 시간과 비용이 요구되는 과정으로, 드론을 이용해 저비용으로 고해상도 영상을 얻을 수 있음에도 불구하고 신속한 갱신이 이루어지지 않는 가장 큰 이유이다. 이를 보완하기 위해 RTK(Real Time Kinematic), PPK(Post Processed Kinematic) GNSS 등을 이용한 드론 촬영 방식이 연구되고 있으나(Zhang et al. 2019; Khoramshahi et al. 2020), 이재원·성상민(2018) 등의 정확도 비교 연구에서 지상기준점을 이용한 방식에 비해 아직은 위치정확도가 부정확함을 확인할 수 있다.

본 연구는 도로명주소건물DB 등의 기구축 공간데이터(이하, 기준데이터)를 활용해 드론 또는 항공 영상을 기반으로 생성된 개별 3차원 건물모델(이하, 원본데이터)의 위치 개선 방법을 제시한다. 연구내용은 기존 드론 또는 항공 영상 처리 과정 고찰, 3차원 건물 모델 위치정합 알고리즘 탐색, 그리고 기구축 공간데이터를 활용한 개별 3차원 건물모델의 자동 위치정합

소프트웨어 프로토타입(이하, 프로토타입) 개발 등이다. 지상기준점 없이 제작된 영상의 결과물이 연구에서 제시된 기법을 통해 기구축 공간정보와 높은 정확도를 보일 경우 드론 영상 빅데이터를 활용하여 국가 공간정보 오픈플랫폼(브이월드), 공간정보 포털 등의 3차원 건물 객체를 저비용으로 신속하게 갱신할 수 있다. 이는 환경, 건설, 문화, 안전, 교통 등 다양한 분야에서 공간정보의 활용을 촉진하는 데 기여할 것으로 판단된다.

## 2. 드론영상 기반 3차원 모델 구축

### 2.1. 드론 영상 처리

3차원의 포인트 클라우드와 모델, 2차원의 정사영상과 DSM 등을 획득할 수 있는 드론 촬영의 경우 일반적으로 위치참조(geo referencing) 목적의 지상기준점을 이용한다. 이는 정확한 절대적 좌표를 획득하여 다양한 기구축 공간정보와 융합하고, 활용하기 위해서이다. 한상현·정갑용(2015)에서는 5개의 지상기준점 설치 후 임의의 10점에서 정확도를 비교한 결과 지상기준점을 이용하지 않는 경우 평균 약 5.5m의 편차가 발생함을 확인하였다. 이재원·성상민(2018)에서는 지상기준점 설치 개수에 따른 평면 및 수직 위치 정확도를 RMSE로 확인하였는데, 5개인 경우 각각 4.8cm, 8.2 cm, 4개인 경우 각각 5.4 cm, 10.3 cm, 그리고 3개인 경우 각각 6.2cm, 12.0 cm로 각각 나타나 많은 지상기준점의 설치 및 이용이 위치정확도를 높일 수 있다고 밝혔다. 이와 유사한 결과는 9점과 6점의 지상기준점을 배치시킨 후 결과를 비교한 한승희(2019)에서도 확인할 수 있다. 9점을 배치시킨 경우 평면 및 수직위치 오차는 각각 14~16cm, 60cm를 보여 6점인 경우보다 각각 50%, 33% 감소함을 확인하였다. 선행연구를 통해 높은 위치정확도의 공간데이터를 구축하기 위해서는 지상기준점 취득 및 이를 이

용한 결과물 생성이 필수적임을 확인할 수 있다. 문제는 지상기준점의 취득에는 많은 시간과 비용이 필요로 한다는 점이다. 윤부열 외(2016)는 무인비행장치의 표준품셈을 제시하였는데, 1 km<sup>2</sup>, 1.2 km<sup>2</sup>, 0.14 km<sup>2</sup>, 0.1 km<sup>2</sup>, 0.48 km<sup>2</sup>의 5개 촬영면적에 지상기준점 및 대공표지 설치에 따른 인력과 시간을 모든 경우에 대해 2인 기준으로 0.5일이 필요하다고 밝혔다. 이는 1인으로 환산 시 1일의 작업 시간에 해당하는 것으로 촬영 준비 및 수행에 보통 2~3일이 소요되는 것을 감안하면 높은 비율을 차지한다. 이러한 시간과 비용을 개선하고 정확도를 높이기 위해 최근 RTK-GPS와 PPK 등을 이용한 촬영 방법이 제안되고 연구되고 있다. 하지만 이재원·성상민(2018)의 연구에서 무기준점/RTK-GPS/5개 지상기준점 적용 시 평면 오차는 각각 112.9 cm/13.1 cm/4.8 cm로 나타나 지상기준점 이용한 경우에도 낮은 정확도를 보였다.

Figure 1은 지상기준점을 이용하는 일반적인 드론 영상처리 과정을 나타낸다. 하지만 드론 영상 처리 과정에서 지상기준점의 활용은 필수 요소는 아니다. 영상의 외부표정요소만으로 촬영된 각 영상 간 매칭을 통해 상대적인 위치는 파악할 수 있기 때문이다. 실제로 드론영상 처리 S/W 중 하나인 Pix4Dmapper에서는 상대적인 위치만을 포함하는 결과물 생성을 위해서는 지상기준점 측량을 생략할 수도 있다고 밝히고 있다(Pix4Dmapper 2017). 지상기준점이 없이 처리된 결과물은 크기, 방향, 절대 위치 정보가 포함되지 않기 때문에 기 구축된 이종 혹은 동종의 공간데이터와의 융합 및 대체를 위해서는 생성된 결과물의 위치 개선과정을 필요로 한다.

## 2.2. 드론 영상 처리 소프트웨어 고찰

최근 드론 활용의 증가에 따라 항공사진측량 개념을 수반한 다양한 드론영상처리 S/W가 개발되었다. Table 1은 4개의 상용 및 1개의 오픈소스 S/W를 정

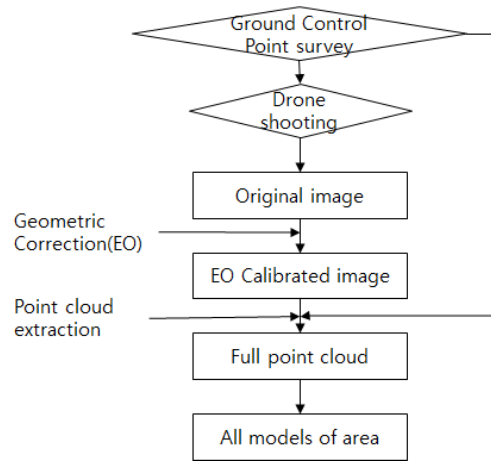


Figure 1. Flowchart of image-based 3D model generating using GCPs(existing technique)

리해놓은 것이다. 대부분의 S/W는 입력 데이터로 영상만을 이용한다. 상용 S/W의 해석 알고리즘은 비공개로 되어 있기 때문에 채택된 알고리즘을 상세히 알 수는 없으나(김태희·이용창 2020), 일반적으로 다각도에서 촬영된 영상을 이용한 3차원 형상 재현을 위한 SfM(Structure from Motion)알고리즘, 영상의 크기와 회전에 무관한 특징점 추출을 위한 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)알고리즘이 적용된다고 알려져 있다. 이를 통해 생성되는 결과물은 모든 S/W에서 동일하게 2차원 정사영상과 DSM, 3차원 모델과 포인트 클라우드이다. 3차원 모델은 기본적으로 모두 메쉬 형태로 표현되며, 포맷은 각 S/W마다 차이가 있지만 obj라는 표준 3차원 이미지 포맷을 공통적으로 채택하고 있다.

## 2.3. 기존 3차원 모델 구축 프로세스와의 차이

드론영상 처리 S/W에서 생성되는 3차원 모델의 표현 방식과 저장형태는 일부 차이를 보였지만, 처리되는 범위는 입력된 전체 지역으로 모두동일하다. 이는 촬영지역 내 여러 동의 건물이나 객체가 존재하는 경

Table 1. Comparison of UAV images processing S/W

Applications	Data source	Automatic modeling	output	3D model	
				type	format
Pix4Dmapper	Images, Video	Yes	3D model, TrueOrtho, DSM, Point Cloud	mesh	obj, fbx, ply, dxf
Metashape (former PhotoScan)	Images	Yes		mesh, solid	obj, 3ds, vrml, dae, ply, stl, fbx, dxf, kmz
OpenDroneMap	Images	Yes		mesh	obj
PhotoMesh	Images	Semi-automatic		mesh	3dml, citybuilder, osgb, obj, dae, terraexplorer for web
ContextCapture	Images	Yes		mesh	3mx, s3c, osgb, obj, dae, lod tree, fbx, stl, kml, ESRI i3S, SpaceEye3D

우라도 지표 혹은 촬영지역 내 가장 낮은 부분을 기반으로 연결된 하나의 광역 모델이 생성됨을 의미한다. 이러한 광역 모델의 생성은 데이터 처리 시간이 많이 소요된다는 단점을 지닌다. 김한결 외(2019)는 포인트 클라우드의 평면성 분석을 통한 건물 단위의 모델 생성 기법을 제시한 바 있으며, 김한결 외(2020)를 통해 솔리드 군집형 3차원 건물 모델 자동 추출이 가능함을 확인하였다. 군집형 3차원 건물 모델은 촬영지역 내 여러 동의 건물이나 객체가 있을 경우 각각의 개별 건물 단위로 모델을 생성하고 관리함을 의미한다. 개별 건물 모델 생성 시 각 모델에 대한 생성 시간과 메모리 손실이 적고, 건물 별 부분적인 변화가 있는 경우 갱신에 유리하다는 장점을 지닌다. 또한 실제 위치로 가정할 수 있는 높은 위치정확도의 기준데이터와 1:1 매칭이 될 경우 이를 이용한 위치정합 수행이 가능해지기 때문에 최초 생성된 모델의 위치정확도는 중요하지 않게 된다. 이는 많은 인력과 시간을 필요로 하는 지상기준점 측량을 생략할 수 있다는 것을 의미한다.

Figure 2는 군집형 건물 모델 생성이 가능할 경우 Figure 1에 대응되는 드론영상 처리 과정을 나타낸다. 실선으로 표현된 부분은 지상기준점을 이용하는 일반적인 자료처리 과정이고, 점선으로 표현된 과정은 지상기준점 측량 및 적용 과정으로 본 연구에서 제시되는

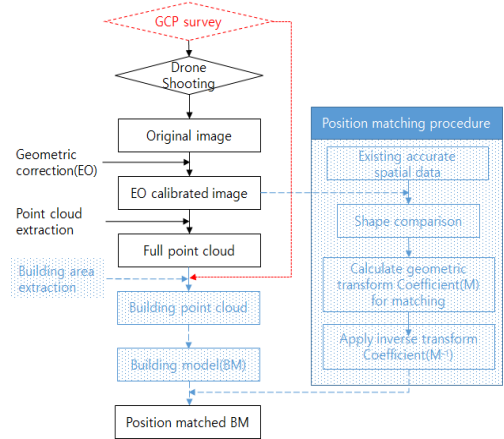


Figure 2. Flowchart of image-based 3D model generating without GCPs(proposed technique)

기법의 경우 생략되는 부분이다. 그리고 과선 및 도트 패턴으로 처리된 부분은 지상기준점을 대체하여 위치정합을 위해 기준데이터를 활용하는 부분을 의미한다. 최종 결과물의 경우에도 일반 상용 S/W를 이용할 경우 Figure 1과 같이 촬영지역 전체 건물 모델이 생성되지만, 제안된 프로세스에서는 개별 건물 모델이 생성된다는 점이 차이를 보인다.

### 3. 기구측 공간데이터를 활용한 3차원 모델 위치정합

#### 3.1. ICP 알고리즘 적용

개별 생성된 건물 모델과 기구측 공간데이터와의 위치정합을 위해 ICP(Iterative Closest Point) 알고리즘을 선택하였다. ICP는 3차원 스캐너에서 취득된 포인트 클라우드를 자동 등록(registration)하는데 사용되는 가장 대표적인 알고리즘(Rusinkiewicz and Levoy 2001)이다. 포인트 필터링 수행 및 최근접점 선택 후, 대응점들 사이의 거리가 임계값 이내로 들어올 때까지 포인트 페어 정합, 과대오차 제거, 오차 최소화, 변환을 반복한다. 포인트 경량화, 연산 복잡도 개선 등 성능 향상을 위해 개선된 형태의 다양한 알고리즘이 있지만, 기본적인 절차는 동일하다(Rusu et al. 2009; 김지건 외 2018). 이 알고리즘은 초기 정렬이 좋은 두 포인트 클라우드를 강체변환(Rigid Body Transform)으로 정합할 때 좋은 성능을 낸다(Deng 2011). 초기 정렬이 양호하지 않은 경우 국소 극소점(local minimum) 오류로 인해 잘못된 정합계수를 얻을 수 있지만(Penney et al. 2001) 일반적인 드론의 위치오차를 감안하여 임계값을 설정할 경우 무시할 수 있다. 본 연구에서는 오차 범위를 최대 30 m로 설정하여 오류를 무시하고자 하였다. 앞서 Pix4Dmapper의 매뉴얼에서와 같이 기준점을 이용하지 않은 모델일지라도 절대 위치 오차가 아닌 상대적 위치는 정확하게 생성할 수 있다. 따라서 3차원 모델의 지표면에 대한 2차원 평면의 선형 데이터와 기준이 되는 2차원 건물 데이터는 서로 다른 방식과 장비로 취득되었지만 스케일은 동일하다고 볼 수 있다. 즉, 두 데이터를 정합하기 위해서는 회전과 이동만 고려하는 강체변환을 적용할 수 있다.

ICP 알고리즘을 이용한 기구측 공간데이터 기반 3차원모델 위치정합 프로세스는 크게 데이터 전처리

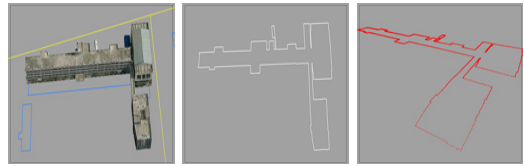


Figure 3. Mapping of 3D model data to point set data

과정과 ICP 기반 위치정합 계수 계산과정으로 구성된다. 3차원 건물의 수직위치는 수평위치가 결정된 이후, 해당 위치의 표고 값을 활용해 이동시키면 되므로 본 연구에서는 3차원 건물의 수평 위치만을 고려하였다.

#### 3.2. 데이터 전처리 과정

본 연구에서는 행정안전부 도로명주소 건물 DB 데이터를 기준데이터로 선택했다. 기준데이터는 사용자 목적 및 보유 데이터에 따라 선택할 수 있지만 2차원 벡터 형태의 포맷은 유지해야 한다. 선택된 3차원의 원본 데이터를 정합하기 위해 동일 유형의 포인트 셋 데이터로 변환하는 전처리 과정이 필요하다. 이 과정은 3차원 원본 데이터의 프로파일과 기준데이터의 외곽선을 포인트 셋으로 변환하는 과정으로 진행된다.

본 연구에서는 방향성을 갖는 노말 벡터(normal vector)정보를 이용해 건물의 표면이 지표면에서 직각 방향인 면을 제외한 모든 면을 추출하여 평탄화 된 모델 데이터인 프로파일 정보를 생성하였다. 처리 절차에 따라 생성된 프로파일의 외곽선을 따라 0.5m 간격의 포인트로 분할하여 포인트 셋을 생성하였다. 2차원 기준데이터의 경우 폴리곤의 외곽선을 그대로 사용하면 되기 때문에 추가적인 처리는 하지 않고, 원본 데이터의 프로파일과 동일한 간격의 포인트로 분할하여 포인트 셋을 생성하였다.

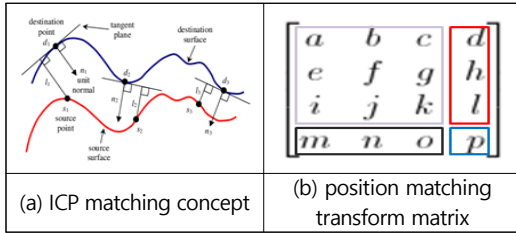


Figure 4. The concept of calculating the coefficient of position matching

### 3.3. 위치정합 계수 산출

위치정합 계수 산출을 위해 우선 위치정합 하고자 하는 원본 데이터와 기준데이터를 페어링 시킨다. 이때 페어링의 기준은 30 m 범위 내에서 가장 가까운 건물이 된다. 페어링된 객체 간 ICP 알고리즘 수행을 위해 3.2에서 설명된 원본 데이터의 포인트 셋과 기준데이터의 외곽선 폴리곤의 동일 간격 포인트 셋을 이용하여 ICP 매칭 처리한다. 매칭 방법은 강제 변환이며, 반복 횟수는 30번으로 설정하였다. 이 매칭의 개념과 이를 통해 산출되는 변환행렬은 Figure 4(b)에 나타났다. 변환행렬은 변환에 대한 크기 변화, 회전량, 이동변화량 정보를 포함한다. x, y, z 방향에 대한 크기 변화는 각각 3 × 3 행렬의 a, f, k에 해당하는데 본 연구에서는 크기가 변하지 않는 강제변환으로 모두 1로 표현되며, 실제 이동 변화량은 d, h, l에 표현된다. d, h, l은 순서대로 x, y, z의 변화량을 의미하는데 본 연구에서는 모델의 높이 변화는 수행되지 않으므로 l의 경우 0으로 제한된다.

## 4. 프로토타입 구현 및 결과

### 4.1. 위치정합 프로토타입 개요

Figure 2에서 제시한 3차원 모델의 위치정합 프로세스를 기반으로 지상기준점 없이 제작된 3차원 모델과 기준데이터와의 효과적인 위치정합 여부를 판단하



Figure 5. User Interface overview of prototype

기 위한 프로토타입을 개발하였다. 위치정합 프로토타입은 2차원 공간정보 데이터를 기반으로 3차원 모델의 위치정합 전과 후의 변화를 비교하는 것이 중요하기 때문에 지도화면을 중심으로 상단에는 기능메뉴를 우측에는 목록메뉴를 배치하였다. Table 2는 사용자 인터페이스 항목에 대한 상세 설명 자료, Figure 5는 사용자 인터페이스(UI)이다.

### 4.2. 프로토타입 성능 검증

위치정합 프로토타입의 테스트를 위해 원본 데이터로 여의도 지역의 3차원 건물 모델을, 기준데이터로 해당 지역의 도로명주소 건물 DB를 선택하였다. 3차원 건물 모델은 드론 영상을 기반으로 생성된 것이 아니라 브이월드 3차원 건물-LoD4에 해당하는 데이터를 선택하여 Figure 6에 나타났다. 브이월드 3차원 건물 데이터를 선택한 이유는 드론 영상 처리 S/W는 본 연구에서 적용하고자 객체 단위 모델 생성이 아닌 광역 모델 생성만을 지원하고 있기 때문이다. 브이월드 3차원 건물 데이터는 항공영상을 기반으로 생성되었으나, 객체 단위로 구성된 3차원 건물 모델이라면 원본 영상의 종류와 무관하게 모두 적용이 가능하다. 실험대상지역의 건물 객체는 A아파트, B아파트, 그리고 C고등학교 건물이며 이를 Figure 7(a)에 나타났다. Figure 7(b)는 서울 여의도 일대의 도로명주소 건물



Table 2. Detail description for User Interface

Menu	Contents
① Title bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Application button and system title display</li> <li>· Management of custom quick access toolbar</li> </ul>
② Ribbon bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Group menu by category based on task and functional unit</li> <li>· Controls added to the ribbon bar such as status view and limited surface view options</li> </ul>
③ Layer control window	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Classify all layers displayed on the work screen and display them on the map screen through a check box</li> </ul>
④ Setting/ Processing Window	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Position matching algorithm option setting, matching processing execution, display result information</li> <li>· Arrange sub-functions and execute commands using the toolbar at the top of the dialog box(including an outline description)</li> </ul>
⑤ Map screen	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Screen display of the 3D spatial information, 3D building model, and processing result information</li> </ul>
⑥ Status Information Window	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Display execution information, coordinate information, and program status information at the bottom of the program</li> </ul>

DB의 모습이며, 중앙의 일부 폴리곤이 위치정합이 필요한 건물을 나타낸다.

Figure 8은 추출된 여의도 일대 건물을 임의로 위치 변환시킨 후 본 연구에서 기준 데이터로 선택한 도로명주소 건물 DB와 중첩한 그림이다. 1회 비행으로 획득된 영상을 이용해 생성한 모델은 동일 방향의 일정한 거리 오차를 보이게 된다. 하지만 여러 번의 비행으로 획득된 영상을 통합하여 처리할 경우 일관되지 않은 방향과 거리 오차를 가질 수 있다고 가정하고 임의로 변환시켰다. 건물에 따라 다르지만 평면 상의 이동

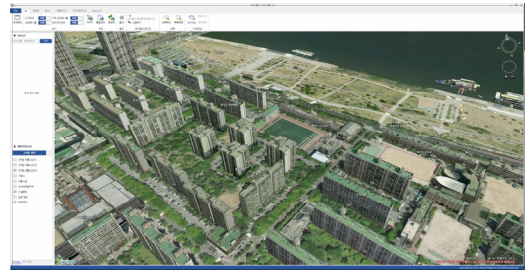


Figure 6. V-world screen capture of Yeouido

변화량과 회전변화량을 각각 1m~7m, 1°~7° 사이를 유지하여 초기 정렬에 따른 문제가 발생하지 않도록 하였다. 이때 1개의 모델은 검증을 위해 이동시키지 않았다. 건물 별 회전 및 이동량이 다르게 설정되었기 때문에 개별 건물에 대한 위치정합 변환계수를 산출하였고, 이를 적용하여 위치정합을 수행하였다. Figure 8(b)를 통해 3차원 건물모델은 기준데이터인 도로명주소 건물 DB와 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

위치 정합 수행 후 이동 전후의 회전 및 수평적 이동량 등의 정량적 변화를 파악하기 위해 도로명주소 건물 DB의 폴리곤 면적에 대한 위치정합이 이루어진 3차원 모델의 지표면 형상의 중첩률을 확인하여 Table 3에 나타냈다. 정합 전 임의로 이동시킨 3차원 모델과 기준데이터와의 최소, 최대 및 평균 중첩률은 각각 53.98%, 89.19%, 74.05%였으나, 정합 적용 후 중첩률은 각각 91.39%, 99.96%, 97.13%로 개선되었다. 평균 개선률은 약 23.08%로 확인되어 정합이 잘 이루어졌음을 확인할 수 있다. 만약 드론 1회 촬영으로 획득된 영상을 이용해 생성된 건물지역(일정한 방향과 거리 오차를 가지는 건물지역)의 경우 개별이 아닌 전역 변환계수 산출 및 적용도 가능할 것으로 생각된다.

## 5. 결론

환경, 건설, 문화, 안전, 교통 등 다양한 분야에 최신의 3차원 모델을 신속하게 제공하고 갱신하기 위한 위

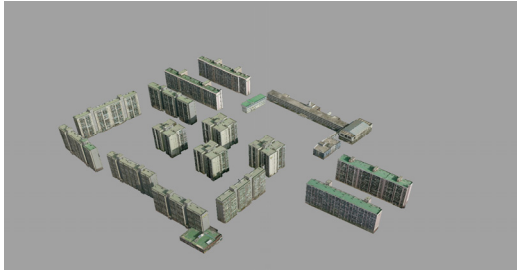


Figure 7(a). Extracted 3D building model(Source data)



Figure 7(b). 2D vector data(targeted data) including position matching source data in Yeouido

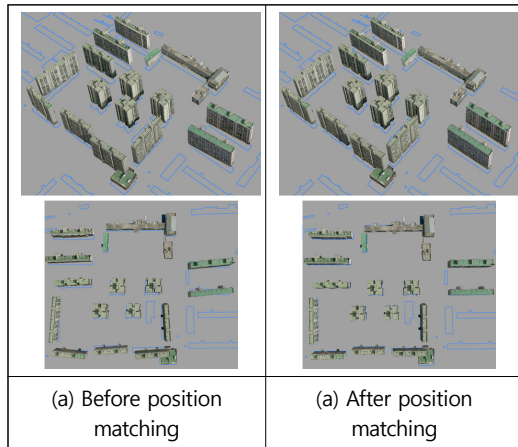


Figure 8. Comparison of 3D building models before and after the position matching

치정합 프로토타입을 개발하였다. 프로토타입은 사용자가 건물의 객체를 개별적으로 지정하고, 정합을 위한 기준 데이터를 선택하여 정합할 수 있도록 설계되

Table 3. Arbitrary movement and rotation on a plane and comparison of overlap rate before and after position matching

ID	movement (m)	rotation (°)	overlap rate(%)		Δrate (%)
			before	after	
1	0.00	0.00	92.52	92.52	0.00
2	1.52	3.75	89.19	99.27	10.07
3	4.40	3.01	74.68	99.10	24.42
4	4.31	2.99	74.38	97.96	23.59
5	4.50	2.89	72.48	98.40	25.92
6	4.50	2.64	72.30	98.24	25.94
7	3.33	2.94	71.37	96.14	24.78
8	6.08	3.00	53.98	96.61	42.63
9	3.91	3.04	85.09	96.44	11.35
10	1.90	6.17	80.06	94.41	14.36
11	1.48	5.80	77.04	95.48	18.43
12	5.04	1.97	62.64	91.39	28.75
13	4.49	2.04	65.74	97.54	31.81
14	4.41	2.06	65.54	98.06	32.52
15	3.17	4.79	85.77	98.01	12.24
16	3.54	4.97	80.51	99.96	19.45

었으며, 정합 과정은 포인트 클라우드 자동등록에 사용되는 ICP 알고리즘과 강제변환 매칭 기법을 적용하였다. 임의로 위치를 이동시킨 여의도 일대의 3차원 모델과 해당 지역의 도로명주소 건물 DB를 이용한 검증 등을 통해 위치정합에 의한 평균 중첩률이 약 20 % 개선됨을 확인하였다.

위치정합률의 개선은 확인하였으나 개발된 위치정합 프로토타입 활용을 위해서는 몇 가지 제약이 따른다. 먼저 ICP 알고리즘 적용을 위해 정합이 필요한 원본 데이터와 기준데이터의 매칭이 필요하므로 현재 대부분의 S/W가 생성하는 전역 모델은 적용이 불가능하며 지표면을 기준으로 건물 모델을 개별적으로 분리해내는 과정이 선행되어야 한다. 또한 기준 데이터와의 정합을 통한 위치정합은 3차원 모델의 절대적인 위치정확도 향상을 의미하는 것은 아니며, 기준 데이터와의 융합 혹은 기존 3차원 모델의 대체 및 개선



를 목적으로 해야 한다. 하지만 이러한 제약과 한계에도 불구하고 기존 데이터와의 높은 정합률을 확인하였으므로 ICP 알고리즘을 이용한 위치정합은 영상 기반으로 제작된 3D 건물객체의 품질향상, 실감콘텐츠 분야의 경쟁력 확보, 작업시간의 단축과 수시 갱신(브이월드) 체계를 지원할 수 있을 것으로 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 수요처 맞춤형 실감형 3D 공간정보 갱신 및 활용지원 기술개발 과제의 연구비 지원(21DRMS-B147287-04)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

### References

- 김민수, 박두열. 2020. 입체모형 활용 현황, 수요 및 구축 비용을 고려한 실현 가능한 3차원 입체모형 구축 방안 연구. *지적과 국토정보*. 50(1):215-229.
- Kim MS, Park DY. 2020. A Study on Feasible 3D Object Model Generation Plan Based on Utilization, Demand, and Generation Cost. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(1):215-229.
- 김지건, 이준희, 박상민, 고광희. 2019. 적은 오버랩에서 사용 가능한 3차원 점군 정합 방법. *컴퓨터그래픽스학회 논문지*. 24(5):11-19.
- Kim JG, Lee JH, Park SM, Ko KH. 2018. A Modified Method for Registration of 3D Point Clouds with a Low Overlap Ratio. *Journal of the Korea Computer Graphics Society*. 24(5):11-19.
- 김태희, 이용창. 2020. 오픈소스 기반 UAS 영상 재현 알고리즘 및 필터링 기법 비교. *지적과 국토정보*. 50(2):155-168.
- Kim TH, Lee YC. 2020. Comparison of Open Source based Algorithms and Filtering Methods for UAS Image Processing. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(2):155-168.
- 김한결, 황윤혁, 이수암. 2019. 무인항공기에서 생성된 포인트 클라우드의 평면성 분석을 통한 자동 건물 모델 생성 기법. *대한원격탐사학회지*. 35(6-1):973-985.
- Kim HG, Hwang YH, Rhee SA. 2019. Automatic Building Modeling Method Using Planar Analysis of Point Clouds from Unmanned Aerial Vehicles. *Korean Journal of Remote Sensing*. 35(6-1):973-985.
- 김한결, 황윤혁, 이수암. 2020. 포인트 클라우드 데이터 기반 군집형 솔리드 건물 모델 자동 생성 기법. *대한원격탐사학회지*. 36(6-1):1349-1365.
- Kim HG, Hwang YH, Rhee SA. 2020. Automatic Generation of Clustered Solid Building Models Based on Point Cloud. *Korean Journal of Remote Sensing*. 36(6-1):1349-1365.
- 서홍덕, 김의명. 2020. 포인트 클라우드에서 담러닝을 이용한 객체 분류 및 변화탐지. *지적과 국토정보*. 50(2):37-51.
- Seo HD, Kim EM. 2020. Object Classification and Change Detection in Point Clouds Using Deep Learning. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(2):37-51.
- 윤부열, 이재원, 이돈선. 2016. 무인비행장치(UAV)의 공간정보분야 적용을 위한 표준품셈(안) 작성에 관한 연구. *한국지적정보학회지*. 18(1):123-132.
- Yun BY, Lee JO, Lee DS. 2016. A Study on the Enactment of UAV Standard Estimating for Applying in Spatial Information Area. *Journal of The Korean Cadastre Information Association*. 18(1):123-132.
- 이재원, 성상민. 2018. RTK-GPS 무인항공사진측량

- 의 위치결정 정확도 평가. 한국산학기술학회논문지. 19(4):63-68.
- Lee JO, Sung SM. 2018. Assessment of Positioning Accuracy of UAV Photogrammetry based on RTK-GPS. *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 19(4):63-68.
- 임성하, 최규명, 조기성. 2020. 드론기반 도심지 디지털 3차원 모형 구축에 관한 연구. 지적과 국토정보. 50(1):163-180.
- Lim SH, Choi KM, Cho GS. 2020. A Study on 3D Model Building of Drones-Based Urban Digital Twin. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(1):163-180.
- 한상현, 정갑음. 2015. GCP 사용 여부에 따른 무인항공기 정사영상의 정확도 평가. 한국측량학회 학술대회자료집. 255-256.
- Han SH, Jung KY. 2015. Accuracy Evaluation of UAV based on GCP Usage. *Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*. 255-256.
- 한승희. 2019. 드론사진측량을 위한 프로젝트 설계방안. 대한토목학회논문집. 39(1):239-246.
- Han SH. 2019. Project Design Plan for Drone Photogrammetry. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 39(1):239-246.
- Deng F. 2011. Registration between Multiple Laser Scanner Data Sets. *Laser Scanning, Theory and Applications: IntechOpen*, p. 449-472.
- Gustafsson H, Zuna L. 2017. *Unmanned Aerial Vehicles for Geographic Data Capture: A Review*[Bachelor thesis]. Royal Institute of Technology. p.47-54.
- Khoramshahi E, Oliveira RA, Koivumaki N, Honkavaara E. 2020. An Image-Based Real-Time Georeferencing Scheme for a UAV Based on a New Angular Parametrization. *Remote Sensing*. 12(19):3185-3211.
- Koeva M, Muneza M, Gevaert C, Gerke M, Nex F. 2016. Using UAVs for map creation and updating. A case study in Rwanda. *Survey Review*. 50:312-325.
- Penney GP, Edwards PJ, King AP, Blackall JM, Batchelor PG, Hawkes DJ. 2001. A Stochastic Iterative Closest Point Algorithm (stochastic-ICP). Springer, Berlin, Heidelberg; p. 762-769.
- Pix4Dmapper. 2017. Do RTK/PPK drones give you better results than GCPs? [Internet]. [https://www.pix4d.com/blog/rtk-ppk-drones-gcp-comparison]. Last accessed 03 May 2021.
- Rusinkiewicz S, Levoy, M. 2001. Efficient variants of the ICP algorithm. In Proceedings of Proceedings Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling. p. 145-152.
- Rusu RB, Blodow N, Beetz M. 2009. Fast Point Feature Histograms (FPFH) for 3D registration. In Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. p. 3212-3217.
- Zhang H, Aldana-Jague E, Clapuyt F, Wilken F, Vanacker V, Oost KV. 2019. Evaluating the potential of post-processing kinematic(PPK) georeferencing for UAV-based structure-from-motion(SfM) photogrammetry and surface change detection. *Earth Surface Dynamics*. 7(3):807-827.

2021년 5월 4일 원고접수(Received)

2021년 6월 7일 1차심사(1st Reviewed)

2021년 6월 21일 2차심사(2nd Reviewed)

2021년 6월 28일 게재확정(Accepted)

### 초 록

최근 스마트시티, 디지털 트윈, 자율주행, 스마트 건설 등의 분야가 발전하면서 각 분야에서 생산되는 다양한 데이터를 서로 연결하기 위한 매개체로서 공간정보의 가치가 매우 중요해지고 있다. 특히 데이터의 최신성을 위해 공간정보의 신속한 구축과 갱신이 필요하다. 본 연구에서는 정밀한 위치정확도가 이미 검증된 기구측 공간데이터를 이용하여 지상기준점 없이 제작된 영상기반 3차원 건물모델의 위치를 정합시킬 수 있는 소프트웨어 프로토타입을 개발하였다. 이 소프트웨어를 실험대상지역에 적용한 결과, 지상기준점 없이 제작된 3차원 건물모델과 기구측 공간데이터가 높은 위치 정합률을 보여 최신의 3차원 공간데이터를 필요로 하는 분야에 적용될 수 있음을 확인하였다.

---

주요어 : 드론, 3차원 건물 모델, 위치정합, 공간 데이터