

무인비행장치 항공사진 기반 도시 객체의 3차원 변화탐지

이화중¹, 엄대용^{2*}

¹한국교통대학교 대학원, ²한국교통대학교 사회기반공학전공

3D Change Detection of Urban Objects Based on Aerial Photos of Unmanned Aerial Vehicle

Hwa-Joong Lee¹, Dae-Yong Um^{2*}

¹Graduate School, Korea National University of Transportation

²Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation

요약 입체화된 도시는 2차원에서 3차원으로 나아가 시간적 변화 요소를 포함한 4차원적으로 변화하고 있으며, 이러한 급격한 도시의 변화를 효과적으로 탐지하여 신뢰성 높은 3차원 도시정보를 제공하기 위해서는 3차원의 공간정보를 기반으로 도시의 지형 및 지물의 3차원 변화를 효과적으로 탐지할 수 있는 기술이 필수적이다. 본 연구는 무인비행장치로부터 촬영되는 고해상도 영상을 이용하여 고정밀 3차원 모델을 생성하고 도시 객체의 변화를 3차원으로 탐지할 수 있는 플랫폼을 구축하여 3차원의 도시변화를 보다 효율적으로 탐지할 수 있는 기술을 모색하고자 한 것이다. 이를 위해 무인비행장치로부터 획득되는 고해상도 항공사진에 기반한 3차원 변화탐지 작업 프로세스를 설계하고 도시지역을 대상으로 구축한 3차원 실사모델을 이용하여 대상지 내 변화 정보를 3차원으로 탐지하였다. 그리고 3차원 변화탐지 기술과 탐지 결과에 대한 신뢰도 및 활용성을 점검하기 위하여 변화가 발생한 객체에 대한 탐지율을 분석한 결과 94.4%의 탐지율을 나타내었다. 또한 탐지 객체의 측위정확도를 분석한 결과, 관련 규정에서 제시하고 있는 측위정확도의 허용기준을 만족하는 결과를 도출할 수 있었다. 이로서 본 연구에서 제시한 3차원 변화탐지 기술의 활용 가능성을 제시할 수 있었다.

Abstract The city information is changing from 2D to 3D and 4D, which includes temporal change factors. Therefore, detecting 3D topographical changes and features within an urban area based on its 3D spatial information to effectively study such rapid city changes and provide reliable 3D city information is an essential technology. Hence, in this study, we developed a technology that could detect 3D urban changes effectively. This technology used a high-precision 3D model based on high-resolution aerial photographs of the urban area taken from a UAV(Unmanned Aerial Vehicle). As part of this development, we designed a 3D change detection work process based on these high-resolution aerial photos and detected the 3D change information of an urban study area using the 3D model. Eventually, the check for the reliability and utility of the 3D change detection technology showed that its detection rate was 94.4%. In addition, the location accuracy of this technology in detecting the objects satisfied the tolerance criteria for location accuracy suggested in the relevant regulations. As a result, it was possible to demonstrate the effectiveness of the 3D change detection technology developed in this study.

Keywords : Urban Information, 3D Change Detection, 3D Urban Model, UAV, Aerial Photography

본 논문은 2022년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였으며, 연구자료를 협조해 주신 (주)청강 관계자들에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Dae-Yong Um(Korea National University of Transportation)

email: dyum@ut.ac.kr

Received July 18, 2022

Accepted September 2, 2022

Revised August 31, 2022

Published September 30, 2022

1. 서론

최근 우리나라의 인구는 점차 감소추세를 보이고 있으나 대도시와 그 주변 인구는 오히려 증가하는 도시 쏠림 현상의 발생으로 수도권 팽창 및 대도시의 광역화가 가속되고 있다[1]. 이러한 급격한 도시화와 인구 이동의 결과로 도시는 점차 확대되어 스프롤 현상이 심화되고 있으며, 이로 인해 국토 공간상의 인구 불균형과 양극화가 심화됨은 물론 도시지역 내에서는 주거문제, 환경문제, 교통문제, 교육문제, 부동산 가격의 폭등 등 다양한 사회 문제를 야기하고 있는 실정이다[2]. 이와 같이 도시와 도시간의 인구 이동과 도시내 인구의 이동은 도시를 크게 변화시키고 있으며, 도시를 구성하는 다양한 시설 등의 밀집화와 함께 고층화 및 입체화가 가속화되고 있다[3]. 따라서 현재까지 도시는 평면적인 확장과 같은 변화가 주를 이루었다면 최근에는 도시 시설물 등의 고층화와 입체화에 따라 3차원적으로 변화하고 있다[4].

입체화된 도시의 변화는 이제 2차원적 변화탐지에서 3차원의 변화탐지 그리고 나아가 시간적 변화 요소를 포함한 4차원적으로 도시의 변화를 탐지할 수 있어야 한다[5]. 그러나 현행 변화탐지는 주로 사람에 의해 수동적으로 수행되고 있으며, 최근에 들어 영상기반 기술이 발전함에 따라 도시를 대상으로 촬영된 항공영상 또는 위성영상 등 2차원의 영상에 기반한 평면적인 변화탐지로 이루어져 왔다[6]. 따라서 3차원의 도시변화를 효과적으로 탐지하고 고도화된 도시정보를 신속하고 정확하게 제공하기 위해서는 3차원 공간정보의 획득과 이를 이용한 3차원의 변화탐지 기술의 확보가 선결되어야 한다.

이와 같이 3차원적으로 변화하는 도시의 변화를 효과적으로 탐지하고 이에 대응하기 위해 신속하고 신뢰성 높은 3차원 도시정보의 구축과 변화탐지를 위한 처리기술의 확보에 대한 필요성이 증가하고 있다[5]. 따라서 최근의 기술발전과 도시변화 추세에 효과적으로 대응하고 고도화된 사용자들의 요구를 적절히 반영하기 위해서는 신속하고 신뢰성 높은 3차원의 도시모델의 제공과 이에 기반한 3차원의 도시변화를 탐지함으로써 현행 2차원적 도시변화 탐지로 인한 제한된 정보의 제공에 따른 한계를 넘어 입체적인 대축척 정보를 제공할 수 있는 기술의 확보를 통해 도시변화 탐지와 3차원 정보 제공을 위한 고도화 전략이 필요한 시점이라 할 수 있다[7,8].

최근 4차 산업혁명의 핵심 기술로 부각되고 있는 무인비행장치는 항공사진과 위성사진이 가지는 단점을 보완하고 사용자의 요구에 시기 적절히 대응할 수 있는 대안

으로 급부상하고 있다[9,10]. 따라서 무인비행장치 항공사진을 도시변화 탐지에 적용할 경우, 신속하고 신뢰성 높은 3차원의 공간정보를 제공할 수 있게 됨으로써 빠르게 변화하는 도시의 현상에 대한 정보를 효과적으로 대응하고 사용자들의 요구에 적절히 반영할 수 있을 뿐 아니라 이에 기반한 3차원의 도시변화를 효과적으로 탐지할 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 3차원적 도시변화를 탐지하고 이에 수반한 다양한 3차원 도시정보를 효율적으로 제공하기 위하여 무인비행장치로부터 촬영되는 고해상도 항공사진을 기반으로 고정밀 3차원 실사모델을 제작하고 이를 이용하여 도심지역내 객체들의 변화를 탐지할 수 있는 3차원 변화탐지 기술을 설계함으로써 3차원의 도시변화를 보다 효율적으로 탐지하기 위한 기술을 모색하고자 한다. 이를 통해 3차원 도시모델을 통한 3차원 도시계획 및 설계, 3차원 변화탐지 기술에 의한 3차원 도시 관리 기술의 고도화를 실현하고 도시변화정보를 이용하여 다양한 도시문제를 해결하기 위한 정책 입안의 지원에 본 연구의 결과에 대한 활용성을 검토하고자 한다.

2. 본론

2.1 연구설계

본 연구는 무인비행장치로부터 획득한 영상을 이용하여 실세계의 재현이 가능한 고정밀 3차원 실사모델(LoD4)을 생성하기 위한 기술을 적용하고 이에 기반한 3차원 변화탐지 공정 설계를 통한 플랫폼을 구축하여 3차원 도시변화의 탐지와 그 활용성을 검토하는 것을 목적으로 한다.

본 연구의 내용은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 무인비행장치로부터 획득되는 고해상도 항공사진을 이용하여 도심지역내 객체들에 대해 최적화된 3차원 모델의 생성 방안을 제시하고자 한다. 두 번째는 도시 객체에 대한 3차원 실사모델과 그 제작 과정에서 생성되는 점군자료 등을 이용하여 도시 개발 및 재생에 따른 변화 객체를 추출하고 개발지의 지형적 변화와 객체에 대한 3차원의 각종 정보를 취득할 수 있는 3차원 변화탐지 기법의 공정을 설계하는데 있다. 세 번째는 설계된 3차원 변화탐지 공정에 기반하여 탐지한 3차원 변화 객체에 대한 정확도 검증을 통해 본 연구에서 제시한 3차원 변화탐지 기법의 신뢰도를 검증하고자 하였다. Fig. 1은 이상의 연구내용을 정리한 것이다.

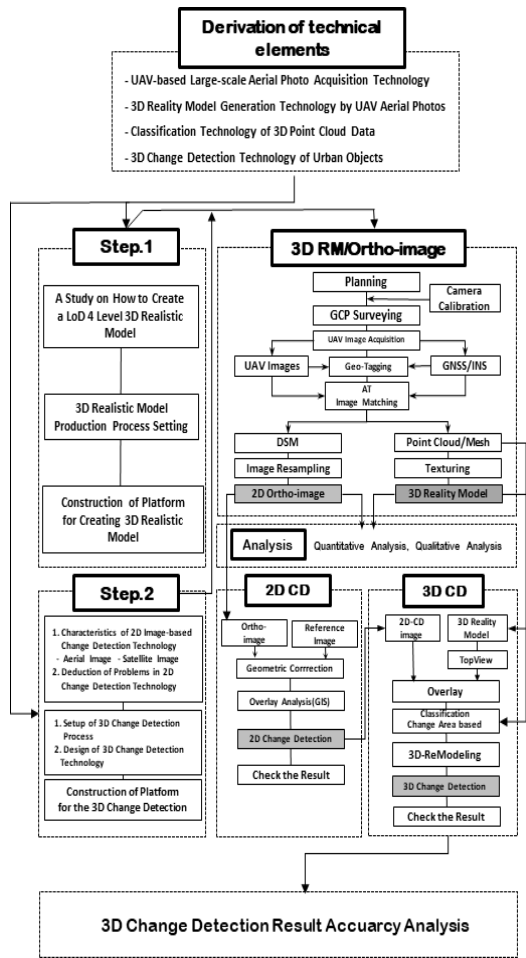


Fig. 1. Study workflow

2.2 3차원 변화탐지 알고리즘 설계

영상을 이용한 변화탐지를 위해서는 변화탐지 단계별로 요구되는 기능에 대한 정의가 필요하며, 일반적으로 변화탐지의 단계는 자료수집 및 전처리, 방사보정 및 기하보정, 자료의 정규화, 변화탐지분석 기능 수행, 정확도 분석 그리고 최종 결과물의 생성으로 구분된다[11]. Fig. 2는 영상을 이용한 변화탐지의 각 단계별 절차를 나타낸 것이며, Table 1은 각 단계별로 요구되는 기능을 정리한 것이다.

3차원 영상에 기반한 3차원의 변화탐지의 절차 역시 2차원의 변화탐지 절차와 큰 틀에서는 큰 차이를 갖지 않는다. 그러나 본 연구에서는 도심지역 내의 3차원 객체들에 대해 평면적인 변화를 넘어 3차원적 변화 양상을 도출하는 것을 목적으로 하고 있는 바, 일반화된 2차원 변화탐지 알고리즘과 차별화된 3차원 변화탐지 절차와 이에 기반한 3차원 변화탐지 알고리즘을 필요로 한다.

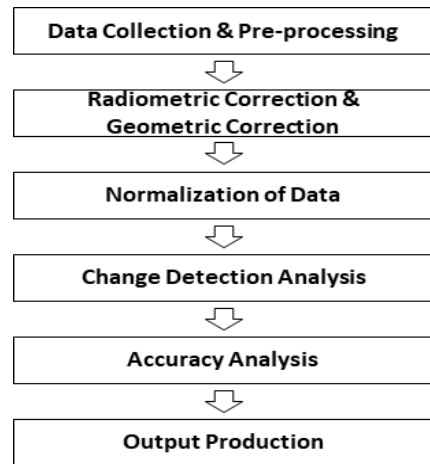


Fig. 2. Change detection process using images

Table 1. Required function for change detection using photos (Jeong Su, 2006)

Change detection stage	Required function
Data collection and pre-processing	·Image input/output function ·Same area cutting function
Radiometric correction and geometric correction	·Geometry correction function ·Radiometric correction and image enhancement function
Normalization of data	·Data conversion function ·Band calculation function
Perform change detection analysis function	·Various change detection algorithms - Image loan function - Image contrast function - Image superimposition function - Classification image change analysis function - Image operation function
Accuracy analysis	·Classification accuracy analysis function ·Band operation function
Create the final result	·Threshold setting function ·Image enhancement function ·Color conversion function

본 연구에서 3차원 변화탐지를 위해서 두 단계의 프로세스를 설계하였다. 첫 번째 단계(step)는 무인비행장치 항공사진으로부터 생성한 정사영상을 이용하여 2차원 변화를 탐지하는 단계이다. Fig. 2의 2차원 변화탐지의 절차를 보다 세분화하고 각 단계별 적용 알고리즘을 설정하여 새롭게 2차원 변화탐지 알고리즘을 구축하였다. Fig. 3은 본 연구에서 정사영상을 이용한 2차원 변화탐지를 위해 설계한 프로세스를 나타낸 것이다.

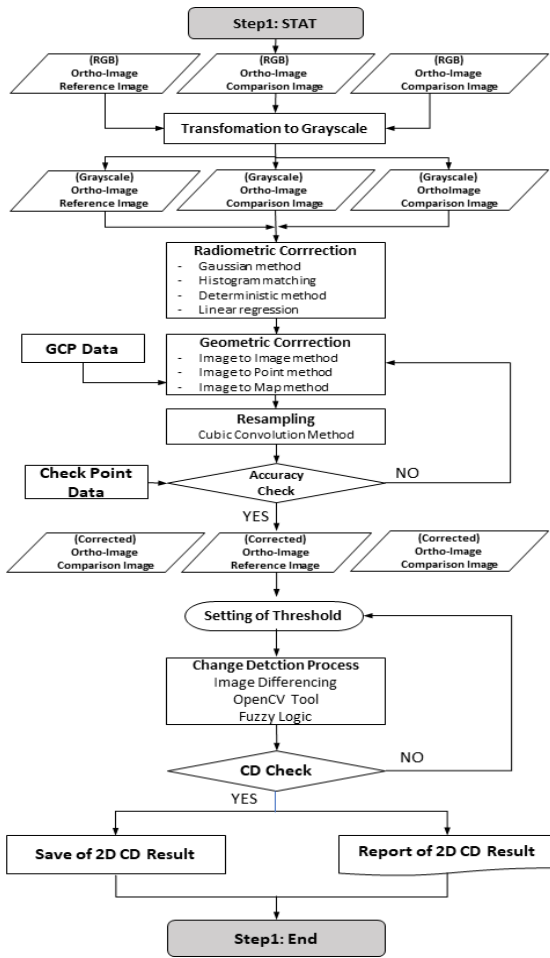


Fig. 3. 2D change detection process using ortho-images

두 번째 단계(step)는 step1의 결과물인 2차원 변화 탐지 결과를 입력자료로 이용하여 대상 객체에 대한 3차원의 변화를 탐지하는 단계로 설계하였다. 본 연구에서 3차원 변화탐지를 위한 방법론으로 사용자들의 인지능력을 향상시킬 수 있으며 임계값의 설정 과정 없이 3차원의 대상 객체를 추출할 수 있는 방법을 고안하고자 하였다. 더불어 실제 좌표가 부여된 상태에서 대상 객체의 검색이 빠르고 정확하게 탐색이 가능할 수 있도록 프로세스를 설계하고자 하였다. 본 연구에서 3차원 대상 객체의 변화탐지를 위한 처리 절차는 Fig. 4와 같이 설정하였다. Fig. 5는 Fig. 4의 절차에 의거하여 3차원 실사모델에 기반한 도시 객체의 3차원 변화탐지 프로세스를 나타낸 것이다.

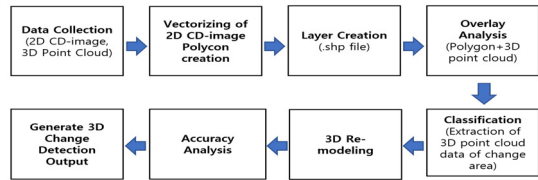


Fig. 4. 3D change detection procedure

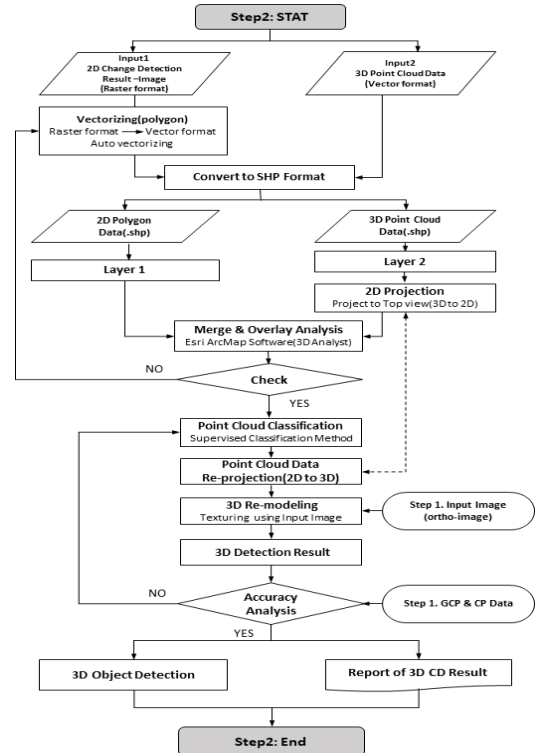


Fig. 5. 3D change detection process by 3D realistic model

2.3 도심지역 객체의 3차원 변화탐지

2.3.1 UAV 항공사진을 이용한 3차원 모델 생성

도시 객체의 3차원적 변화를 탐지하기 위하여 본 장에서는 무인비행장치를 이용하여 연구대상지에 대한 고해상도 항공사진을 획득하고 이를 기반으로 실감정사영상 및 3차원 실사모델을 구축하였다. 연구대상지는 연구 목적에 부합할 수 있도록 도시변화가 활발하게 진행되고 있고 특히 3차원적 변화가 뚜렷한 지역을 선정하고자 하였으며, 이에 도시개발사업이 진행되고 있는 서울시 양원지구 개발사업 부지를 선정하였다(Fig. 6).



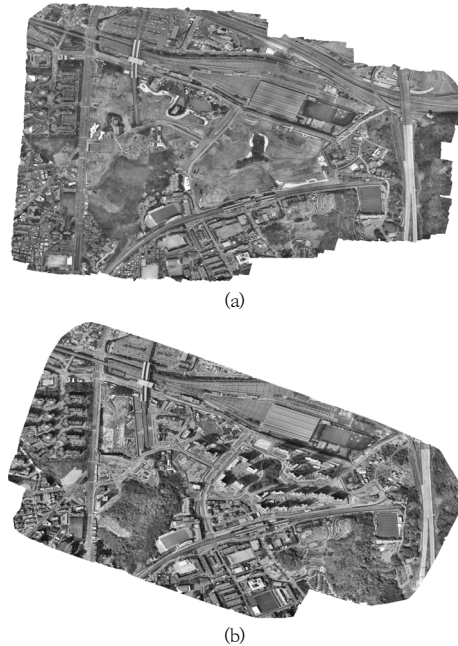
Fig. 6. Study site

대상지에 대해 무인비행장치를 이용하여 개발사업초기(2019.04)와 중기(2021.04)에 대해 항공사진을 촬영하였으며, 항공사진의 획득을 위해 회전의 무인항공기인 DJI Inspire-2(T650A)를 이용하였다. 촬영은 Pix4D(社)의 Pix4Dcapture을 이용하였으며, 고층건물이 밀집해 있는 지형의 특성을 고려하여 폐색영역의 발생을 최소화하기 위하여 촬영 대상지를 동서방향으로 3개와 남북방향으로 5개의 촬영경로를 격자형으로 설정하였고 촬영고도는 100m에서 수직촬영모드로 촬영하였다. 촬영 경로별 중중복도는 85%이상, 횡중복도는 80%이상으로 설정하였으며, 이외 촬영 조건은 '무인비행장치 이용 공공측량 작업지침'을 준용하였다. 이를 통해 최종적으로 연구대상지 전역에 대하여 공간해상도(GSD) 5cm급의 영상을 총 1560매 획득하였다.

그리고 실감정사영상 및 3차원 실사모델 제작에서 절대좌표의 부여와 정확도 검증에 위해 항공사진 촬영 시점별로 2회에 걸쳐 지상기준점(GCP) 및 검사점을 GNSS Network-RTK(VRS)에 의해 측량을 실시하였다. '무인비행장치 이용 공공측량 작업 지침'에서 정하고 있는 측량방법을 준용하여 실시하였으며[12], 기준점과 검사점은 1km² 당 9점 이상의 GCP와 GCP 수량의 1/3이상의 검사점을 설치하도록 규정하고 있는 바, 해당 규정 이상의 기준점과 검사점을 선정하여 측량하였으며, 개발사업 초기와 중기의 지형 및 지물의 변화를 고려하여 각 시기별로 촬영된 영상에서 식별이 명확하고 실제 접근성이 양호한 점을 선정하였다. 지상기준점 측량에 사용한 GNSS장비는 Trimble 5800 수신기를 사용하였다.

연구대상지에 대해 촬영된 영상과 기준점 측량에 의해 획득된 기준점성결과를 처리하여 정사영상과 3차원 실사모델을 생성하였다. 자료 처리를 위해 Pix4D社의 Pix4D mapper Pro를 사용하였으며, [영상과 사진좌표 매칭] → [영상정렬 및 정합] → [지상기준점 성과 입력] →

[[정밀]포인트클라우드 생성] 절차에 따라 처리하였다. 그리고 정사영상의 생성을 위해 획득한 점군자료를 이용하여 수치지표모델을 생성하고 영상과의 정합과정을 거쳐 실감정사영상을 생성하였다. Fig. 7은 항공사진 촬영 시기별로 제작된 실감정사영상을 나타낸 것이다.

Fig. 7. Reality ortho-image
(a) (2019.04) (b) (2021.04)

그리고 지상기준점측량으로부터 획득한 절대좌표를 입력하여 항공삼각측량(AT)을 수행하고 SIFT 영상정합과 SfM기법을 적용하여 점군자료 및 3차원 실사모델을 생성하였다. Fig. 8은 촬영 시기별로 제작한 3차원 실사모델을 나타낸 것이다.



(a)

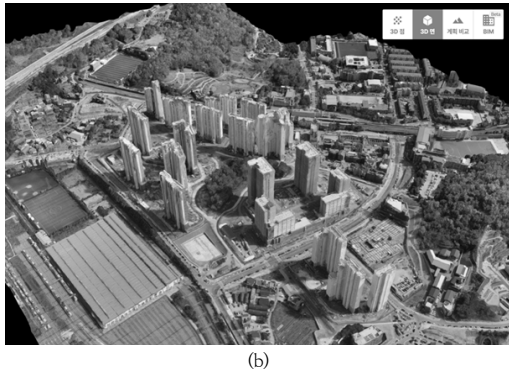


Fig. 8. 3D realistic model
(a) (2019.04) (b) (2021.04)

2.3.2 도심 객체의 2차원 변화 탐지

2.2장에서 구축한 3차원 변화탐지 알고리즘 step1에 의거하여 1차적으로 2차원의 변화탐지를 통해 변화 발생 영역을 추출하였다. 본 연구에서 2차원적인 변화를 탐지하는 목적은 3차원 실감모델에서 변화영역을 빠르게 검색하기 위해 우선적으로 변화 영역을 탐색하는 절차이며, 정사영상으로부터 시기별 2차원적 변화를 효과적으로 탐지하기 위하여 OpenCV (Open Source Computer Vision)기반의 프로그램을 구현하여 처리하였다.

2차원 변화탐지는 2019년 4월 정사영상을 기준영상으로 설정하고, 2021년 4월 정사영상을 비교영상으로 설정하여 처리하였으며, Fig. 9는 2차원 변화탐지 알고리즘과 2차원 영상변화탐지 템플릿을 이용하여 기준영상 대비 비교영상에서 추출한 2차원적 변화탐지 결과를 나타낸 것이다.

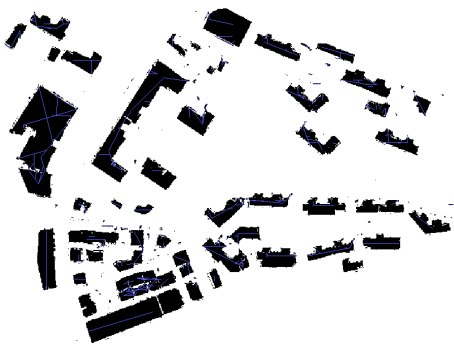


Fig. 9. Result of 2D change detection
(2019.04 vs 2021.04)

2.3.3 도심 객체의 3차원 변화 탐지

2차원 정사영상을 이용하여 기준영상을 기준으로 시기별 평면적 변화탐지 결과Fig. 9를 이용하여 본 연구에서 개발한 3차원 변화탐지 알고리즘(step2)의 처리 절차에 의거 3차원 변화탐지를 위한 처리를 수행하였다. 3차원 변화탐지를 위한 프로그램은 2차원 변화탐지 결과와 3차원 점군자료 간 중첩분석, 점군자료 분류 등의 과정에서 ETRI社의 ArcMap 10.8.1을 이용하였으며, 분류된 점군자료를 이용한 3차원 리모델링 과정에서는 Pix4D Mapper를 이용하였다.

3차원 변화탐지를 위해 입력되는 자료는 2차원 변화탐지 결과 파일과 대상지역의 3차원 점군자료이다. 이들 자료는 각기 다른 자료구조를 가짐에 따라 우선 상이한 입력 데이터의 구조를 일치시키기 위하여 래스터 파일 포맷인 2차원 변화탐지 결과 파일에 대해 자동벡터라이징(Raster to Vector conversion)을 통해 탐지 영역을 벡터구조로 전환하고 각각을 GIS 범용 파일 포맷인 SHP 파일로 변환하였다. 그리고 SHP파일로 변환된 2차원 변화탐지 결과인 2차원 폴리곤 데이터와 3차원 점군자료의 변화 데이터는 ArcMap을 통한 중첩분석을 위해 각각 레이어로 저장하였다. Fig. 10은 레이어간 중첩결과를 나타낸 것이다.

그리고 교차 중첩에 의해 폴리곤의 경계내에 포함되는 점군자료만을 추출하였으며, 그 결과를 3차원 점군자료로 재투영하였다(Fig. 11). 그리고 재투영에 의해 생성한 3차원의 점군자료를 해당 시기의 정사영상을 이용하여 재모델링(re-modeling)을 실시하였다. Fig. 12는 재모델링의 결과를 나타낸 것이다.

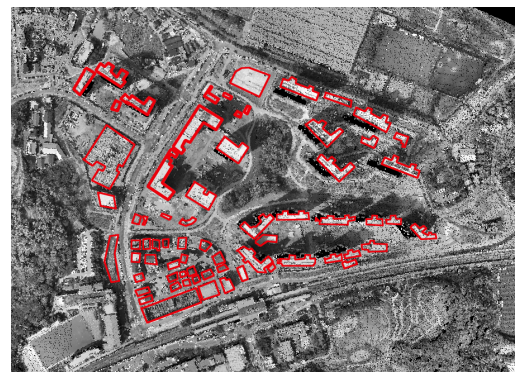


Fig. 10. Result of layer overlap(ArcMap)

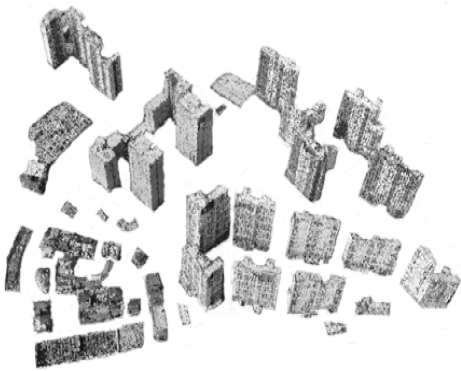


Fig. 11. 3D reprojection result of change object point cloud data

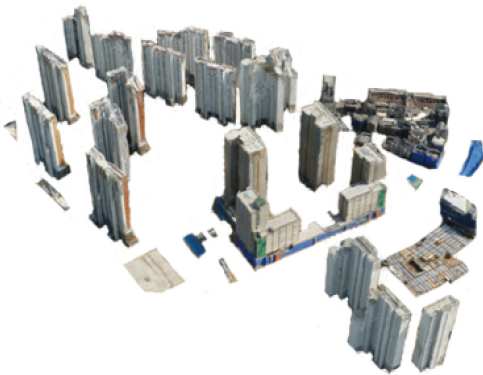


Fig. 12. Result of 3D change detection

이 결과는 시계열간 변화의 탐지를 위해 기준 시기인 2019년 04월 데이터와 비교 시기인 2021년 04월 데이터간의 변화 객체만의 3차원으로 추출하여 3차원으로 재구성한 것이다. 이 결과는 본 연구에서 3차원 실사모델에 기반하여 대상 객체에 대한 3차원적 변화를 탐지를 위해 설정한 3차원 변화탐지 알고리즘에 의해 최종적으로 획득한 결과물로서 기존의 영상을 기반으로 수행되었던 2차원적 변화 탐지로 인한 평면적 해석의 한계를 극복하고 시계열의 3차원적 변화를 효과적으로 탐지할 수 있는 기술을 개발함으로써 변화양상을 현실과 동일한 모델을 통해 입체적으로 해석할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

2.3.4 3차원 변화탐지 결과 검증

본 연구를 통해 도출한 3차원 변화탐지 결과의 활용 가능성을 검증하기 위하여 대상지내 시계열별 변화 탐지율과 탐지된 3차원 객체를 대상으로 측위 정확도를 평가하였다.

우선 본 연구에서 설계한 3차원 변화탐지 프로세스에 의해 탐지한 변화 객체에 대한 탐지율을 분석하였다. 탐지 대상 객체는 기준 시기(2019.04) 대비 비교 1m 이상의 변화가 발생한 객체를 대상으로 하였으며, 대상 객체는 두 시점별로 제작한 3차원 실사모델의 표고값을 이용하여 추출하였다. 그 결과, 비교 시기(2021.04)에 표고 1m 이상의 변화가 발생한 객체의 총 수는 71개로 조사되었으며, 본 연구에서 3차원 변화탐지 프로세스에 의해 탐지한 객체의 총 수는 67개로 변화 객체의 탐지율은 94.4%로 분석되었다. 미탐지 객체들은 대부분 공사 자재 등 적재물들로 파악되었으며, 이를 고려할 때 3차원적으로 변화가 발생한 객체의 탐지율은 매우 높은 수준으로 판단된다.

그리고 탐지된 객체들을 대상으로 측위 정확도를 분석하였다. 이를 위해 2021년 4월에 촬영된 항공사진으로부터 식별이 명확하다고 판단되는 20점을 선점하여 검사점으로 설정하였으며, GPS Network-RTK(VRS) 측량 방법을 이용하여 현장에서 직접 3차원 절대좌표를 측정하였다. 그리고 탐지 객체를 이용하여 제작된 3차원 실사모델로부터 동일 지점에 대한 3차원 절대좌표를 취득하였다. 검사점들에 대해 측정된 두 가지 데이터 세트를 상호 비교 분석하였다. 이때, GPS Network- RTK(VRS) 측량 성과를 최확값으로 간주하여 상호 편차를 산출하였으며, Table 2는 그 결과를 나타낸 것이다.

Table 2. 3D coordinate deviation by checkpoint (GPS-3D Reality Model)

Check	Deviation(m)		
	X-Coord.	Y-Coord.	Z-Coord.
1	0.1102	0.1906	-0.1018
2	0.1200	0.1031	-0.2656
3	0.0872	0.0457	-0.1614
4	0.1524	0.0553	-0.1756
5	0.1226	0.0694	-0.1609
6	0.1001	0.0701	-0.3141
7	0.1070	0.0474	-0.0839
8	0.1971	0.0957	-0.1537
9	0.1016	0.1453	-0.1295
10	0.0961	0.0506	-0.0806
11	0.1105	0.1605	-0.0269
12	0.1753	0.1337	-0.1222
13	0.0896	0.1434	-0.0947
14	0.0678	0.0855	-0.1889
15	0.0997	0.0616	-0.1949
16	0.1000	0.0242	-0.2006
17	0.0983	0.0609	-0.0964
18	0.0142	0.0418	-0.1455
19	0.0441	0.0205	-0.3435
20	0.0800	0.0826	-0.0095

각 검사점별 편차를 이용하여 X, Y, Z 좌표별로 평균제곱근오차(RMSE)를 산출한 결과, 검사점 20점에 대한 X좌표의 RMSE는 0.1110m, Y좌표에 대한 RMSE는 0.0963m 그리고 Z좌표의 RMSE는 0.1737m로 분석되었다. 분석 결과, 3차원 변화탐지 기법에 의해 최종 탐지된 3차원 객체들의 평면측위 정확도는 9~12cm의 오차 분포를 나타내었으며, 수직측위 정확도는 평균 18cm 이내로 분석되었다. 이상의 분석 결과는 「항공사진측량 작업규정」[13] 및 「수치지도 작성 작업 규정」[14]의 1:1000 수치지도의 도화시 허용범위를 기준으로 평가한 결과 최대 0.4m 이내 그리고 표고점의 경우 0.3m 이내로 규정하고 있는 관련 규정의 기준을 만족함을 확인할 수 있었다.

이상 본 연구에서 구축한 3차원 변화탐지 알고리즘에 도시내 지형지물에 대한 3차원 변화를 탐지하고 대상 객체에 대한 탐지율과 그 측위 정확도를 분석한 결과, 관련 규정들에 부합할 수 있는 측위정확도를 확보함으로써 도시개발사업 전반에서 3차원 변화탐지 기법과 그 결과에 대한 활용 가능성을 입증할 수 있었다.

3. 결론

본 논문은 무인비행장치로부터 촬영되는 고해상도 항공사진을 이용하여 고정밀 3차원 실사모델을 생성하고 도시 객체의 변화를 3차원으로 탐지할 수 있는 플랫폼을 구축하여 입체적인 도시변화를 보다 효율적으로 탐지할 수 있는 기술을 모색하고자한 것으로 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 무인비행장치로부터 획득되는 고해상도 항공사진을 기반으로 제작한 실감 정사영상을 이용하여 2차원 변화탐지 프로세스를 설계하고 그 결과를 입력자료로 하여 3차원 실감모델과 융합하여 변화객체를 3차원으로 추출할 수 있는 3차원 변화탐지 프로세스를 제시하였다.

둘째, 도시 개발사업이 진행 중인 연구 대상지역을 대상으로 3차원 변화탐지 기법을 적용하여 대상지내 변화객체를 효과적으로 탐지할 수 있었다.

셋째, 3차원 변화탐지 기법과 탐지 결과에 대한 신뢰도 및 활용성을 점검하기 위하여 변화 객체에 대한 탐지율을 분석한 결과 94.4%의 탐지율을 보였다. 그리고 탐지 객체에 대한 측위정확도를 분석한 결과, X, Y, Z좌표의 RMSE는 각각 0.1110m, 0.0963m, 0.1737m로 분석되어 관련 규정에서 제시하고 있는 측위정확도의 허용기준을 만족하는 결과를 도출할 수 있었다. 이를 통해 3

차원 변화탐지 기술의 활용 가능성을 제시할 수 있었다.

넷째, 본 연구의 결과는 3차원 도시계획 및 설계, 3차원 도시 관리의 고도화에 기여할 수 있을 것이며, 스마트 시티의 구축을 위한 입체화된 도시정보의 제공과 도시문제 해결을 위한 의사결정을 효과적으로 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] J. Y. Kim, Outflow of youth population from the non-metropolitan area and concentration in the metropolitan area. Employment Trend Brief, Spring. Korea Employment Information Service, Korea. pp.1-15.
- [2] Y. S. Choi, "The Analysis of Occupational Characteristics of Emigrants from Small- and Medium-sized Cities in Non-metropolitan Areas in Korea", *The Korea Spatial Planning Review*, Vol.108, pp.3-18, 2021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15793/kspr.2021.108..001>
- [3] H. J. Lee, "Producing True Orthophoto Using Multi-Dimensional Spatial Information". *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* Vol.26, No.3, pp.241-253, 2008.
- [4] J. H. Kim, *Development of a mission module for creating a spatial data map for unmanned aerial vehicles with 2cm accuracy*. Master's Thesis, Konkuk University, Seoul, Korea, pp.3-10, 2020.
- [5] T. J. Kwon, J. R. Lee, S. R. Park, N. Y. Lee, "A Study on 3D Transformation Model for 2D GIS Terrain". *Journal of The Korea Society of Information Technology Policy and Management*, Vol.11, No.6, pp.1427-1433, 2019.
- [6] J. I. Ryu, *A Development and Implentation of Open BIM and GIS Information Convergence based Archi-Urban Spatial Information Model*. Ph.D dissertation, Kyungpook National University, Kyungpook, Korea, pp.1-11, 2016.
- [7] The Seoul Institute. (2019). Seoul's Geospatial Information Policy Improvement Plan. Seoul Research Institute Policy Task Research Report, Korea, pp.1-121.
- [8] J. H. Oh, S. W. Shin, J. H. Park, H. S. Lee, "3D Building Model Texture Extraction from Multiple Spatial Imagery for 3D City Modeling", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* Vol.25, No.4, pp.347-354, 2007.
- [9] S. C. Jeong, *A study on the security control and the image tracking of a drone to apply element technologies of the 4th industrial revolution*. Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea, pp.6-10, 2017.
- [10] J. O. Kang, Y. C. Lee, "Construction of 3D Spatial

Information of Vertical Structure by Combining UAS and Terrestrial LiDAR”, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, vol.49, no.2, pp.57-66, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.22640/lxiri.2019.49.2.57>

- [11] S. Jeong, “The Development of Change Detection Software for Public Business”, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol.14, No.4, pp.79-84, 2006.
- [12] National Geographic Information Institute, Guidelines for Public Surveying Using Unmanned Aerial Vehicles, [Internet]. National Geographic Information Institute, [cited 2022 August 1], Available From: <https://www.ngii.go.kr/eng/main.do> (accessed August 1, 2022)
- [13] National Geographic Information Institute, Rules of Operation for Aerial Photogrammetry, [Internet]. National Geographic Information Institute, [cited 2022 August 1], Available From: <https://www.ngii.go.kr/eng/main.do> (accessed August 1, 2022)
- [14] National Geographic Information Institute, Rules of Operation for Making Digital Maps, [Internet]. National Geographic Information Institute, [cited 2022 August 1], Available From: <https://www.ngii.go.kr/eng/main.do> (accessed August 1, 2022)

엄 대 용(Dae-Yong Um)

[정회원]



- 1997년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 4월 ~ 현재 : 한국교통대학교 사회기반공학전공 교수

〈관심분야〉

지형공간정보공학, 사진측량학

이 화 중(Hwa-Joong Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 한국교통대학교 토목공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 한국교통대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 대학원 박사과정

〈관심분야〉

지형공간정보공학