

건축물 사용승인 제도의 현장조사 자동화를 위한 UAV활용방안 연구

이승현¹ · 류정림² · 추승연^{2†}

¹경북대학교 건축학과, ²경북대학교 건축학부

A Study on Utilization of Unmanned Aerial Vehicle for Automated Inspection for Building Occupancy Authorization

Seung Hyeon Lee¹, Jung Rim Ryu², and Seung Yeon Choo^{2†}

¹Dept. of Architecture, Kyungpook Nat'l Univ.

²School of Architecture, Kyungpook Nat'l Univ.

Received 13 September 2016; received in revised form 12 January 2017; accepted 16 January 2017

ABSTRACT

The inspection for building occupancy authorization has lacked objectivity due to manual measurement methods. This is why connivance of the illegal buildings has been rampant, which has led to so many incidents. Consequently, this law has lost its intent to protect people's lives and property. In this study, for the purpose of improvement of this law, the research was conducted by the utilization of unmanned aerial vehicle for automated inspection for building occupancy authorization. Theoretical considerations about building occupancy authorization and the trend of UAV technology were accomplished. Secondly, a series of reverse engineering was conducted including digital photography, network RTK-VRS surveying and post-processing data. Thirdly, the resultant spatial information was used for building occupancy inspection authorization in a BIM platform and the effectiveness and applicability of UAV-based inspection was analyzed. As a result, methodology for UAV-based automated building occupancy inspection authorization was derived. And it was found that eleven items would be possible to be automated among thirty total items for building occupancy authorization. Also it was found that UAV-based automated inspection could be valid in inspecting building occupancy authorization due to authentic accuracy, effectiveness and applicability with government policy.

Key Words: Automated inspection, Building information modeling, Building occupancy authorization, Digital photogrammetry, Spatial information, UAV

1. 서 론

1.1 연구의 배경

오늘날 전 세계는 제조업과 정보통신기술

(Information and Communications Technologies, ICT)의 융합으로 이뤄지는 4차 산업혁명을 맞이하고 있다. 더불어 인간이 하기 힘든 일을 기계나 컴퓨터가 대체하는 자동화 또한 급속도로 이루어지고 있다. 이와 같은 정보통신기술을 활용한 자동화를 통해, 인류는 반복적이거나 정확성을 필요로 하여 기계·컴퓨터가 더 잘하는 일은 기계·컴퓨터

[†]Corresponding Author, choo@knu.ac.kr

터가 하도록 맡기고, 판단이나 추리, 창의력을 필요로 하여 사람이 해야만 하고 사람이 더 잘하는 일에 좀 더 집중을 할 수 있게 되었다. 시대흐름에 맞춰 건설산업에서도 BIM(Building Information Modeling), GIS(Geographic Information System), UAV(Unmanned Aerial Vehicle), AR/VR(Augmented Reality/Virtual Reality) 등 건설분야에 정보통신기술을 융합하는 연구 및 건설자동화를 위한 실무적용이 국내외로 활발히 진행되고 있다. 정부 또한 각종 건설분야에서 정보통신기술을 적극적으로 도입하고 있는 추세로, 최근 국토교통부는 '2016년 국토부 업무계획'을 발표하면서 국토교통분야 7대 신산업으로 UAV·공간정보·스마트시티·제로에너지빌딩 등을 선정하였다. 이러한 산업 및 국가 주도하의 건설-ICT융합 사업의 전개로 모든 건축물에 대한 공간정보를 포함한 고차원적 데이터의 수요가 점차 늘어나고 있으며, 이에 따라 공간정보 및 건물정보구축을 위한 현장조사 및 실측자동화 기술의 중요성도 증대되고 있다. 현장조사 및 실측자동화 기술현황을 살펴보면, 3D스캐너와 UAV는 광범위에 걸친 신속하고 정확한 공간정보 수집이 가능하고 신뢰도 높은 데이터를 기반으로 현장 실측을 대체할 수 있어 실효성이 클 것으로 기대되고 있다.

건축물 사용승인은 건축물이 사용되기 전에 건축물이 적절한 절차에 의거하여 설계, 시공, 감리가 이루어졌는지 최종확인 하는 절차로서 국민의 생명과 재산 보호하는데 그 목적이 있다. 하지만 현재 건축물 사용승인 제도의 현장조사 방식은 조사·검사 결과에 대한 객관성이 부족하여 제도개선이 필요한 시점이다. 건축물 사용승인 현장조사는 사람이 직접 장비를 들고 건물을 돌아다니면서 실측을 하는 방식으로 도수측정에 의한 오차발생여지가 크며, 돌아다니면서 건물의 전부를 살펴보는 데 그 한계가 있다. 또한 현장조사 후 적법성유무만 표기하는 검사조서 이외에 결과의 객관성을 입증할만한 가시적인 증거자료가 없다. 이로 인해 위법건축물 묵인으로 인한 건축윤리상실문제, 불법건축물로 인한 안전사고문제가 많이 일어나고 있으며, 이는 공공복리증진이라는 본래 제도의 취지에 어긋나고 있다. 이에 건축물 사용승인 현장조사과정에서 UAV를 활용한 현장조사 및 실측자동화 기술을 도입한다면, 실측 오차율 감소, 건축

물 전 범위에 대한 전수조사가능, 건축물 공간정보구축 등의 효과가 있어 현장조사의 객관성을 입증할 수 있을 것이라 판단하였다.

1.2 연구의 목적 및 방법

본 연구는 UAV를 활용하여 건축물 사용승인 현장조사의 자동화를 통해 건축물 사용승인 현장조사·검사의 객관성을 높이고, 이러한 제도개선에 따른 본래의 공공의 안전과 재산보호라는 취지 복원에 이바지함을 목적으로 한다. 더불어 건설분야에서의 ICT적용 연구의 일환으로서 UAV를 활용한 건축물 공간정보 구축방안 및 국가정책과의 연계한 UAV기반 공간정보의 활용가능성을 살펴보고자 한다.

본 연구를 통하여 건축물 사용승인 현장조사 시 UAV로 획득한 데이터를 기반으로 현장조사·검사 자동화가 가능한지 살펴, UAV를 이용한 건축물 사용승인 자동화 방안 및 그 절차를 밝히고, 건축물 사용승인 조사·검사 시 현장조사항목 중 자동화가 가능한 항목을 도출하고, 사용승인 도면과 공간정보를 비교·검토한 결과를 종합하여 그 실효성을 검증하고, UAV기반 공간정보의 정부정책과 연계한 활용가능성을 판단하고자 한다. 연구의 흐름은 Fig. 1과 같다.

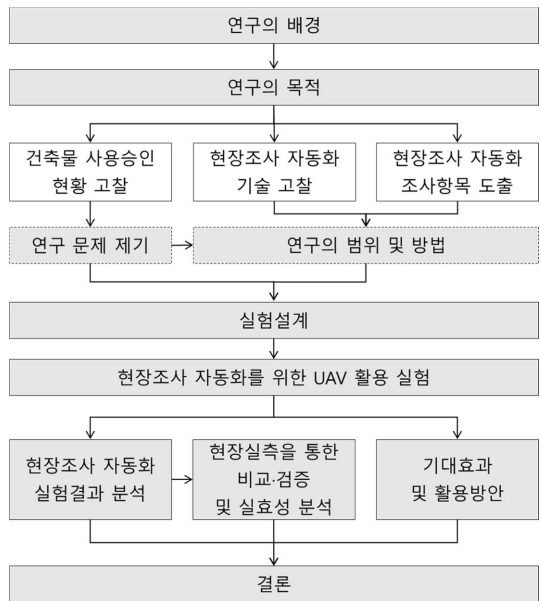


Fig. 1 Flow of Research

2. 이론고찰

2.1 건축물 사용승인 제도의 현황 및 문제점

건축물은 반드시 건축법 규정에 의거하여 합법적인 절차에 따라 설계 및 시공, 감리가 이루어져야만 한다. 건축물 사용승인은 건축법 제22조(건축물의 사용승인)에 의거하여 건축물 준공 후 건축물이 건축법을 준수하여 적법하게 시공이 이루어졌는지를 허가권자가 확인하여 해당 건축물의 사용허가를 승인해주는 절차이다. 건축물 사용승인의 전체과정은 다음 Fig. 2와 같다.

건축허가와 사용승인 시 허가권자 혹은 대행하는 자는 감리완료보고서와 공사완료도서를 바탕으로 건축에서부터 전기설비, 통신, 가스, 소방, 에너지 등 법적으로 준수해야 할 사항들이 ① 허가·신고한 설계도서대로 시공이 이루어졌는지 ② 서류 및 도서가 적합하게 작성되었는지 현장조사를 통하여 점검하고, 건축허가조사 및 검사조서 또는 사용승인조사 및 검사조서를 작성하여서 제출해야 한다. 현재 건축허가 및 사용승인 현장조사 및 검사는 건축법 제27조(현장조사·검사 및 확인업무의 대행)에 의거하여 특별검사 제도를 도입해 허가권자를 대신하여 건축사사무소 개설신고를 한 자에게 대행하고 있다. 그러나 대행제도는 제도 및 운영에 따른 한계로 많은 문제점이 발생하고 있다.

가장 큰 문제는 도수측정으로 이루어지는 현재의 현장조사 방식이다. 현장검사는 주어진 기간 내에 이루어져야 하지만, 사람이 직접 장비를 이용하여 실측하기 때문에 오랜 시간이 소요된다. 또한 규모가 큰 건축물의 경우, 여러 가지 위험요소로 인해 도수실측이 불가능하거나 육안검사만으로는 조사의 한계가 있기 때문에 정확한 전수조사가 힘들다. 다음으로 건축사 대행업무의 위반사례를 살펴보면 현장조사에서 가장 크게 나타나고 있는데, 위반행위가 발생하는 근본적인 이유는 객관

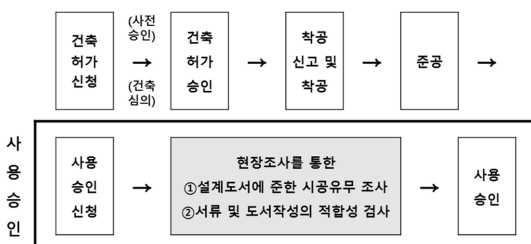


Fig. 2 Process of Building Occupancy Authorization

적이지 못한 검사방식에 기인한다. 현재 검사방식은 대행자가 실측조사 후 육안검사를 통해 검사조서에 적법성 유무만을 기재하도록 되어 있다. 이로 인해 현장조사의 객관성과 공정성이 저해되고, 입증이 불가능하다는 점 때문에 관할구청에서 현장검사를 실시하지 않는 한 위법행위를 적발하기에는 많은 어려움이 따르고 있다. 특히 도로, 대지, 공지 등 건축물 실외조사에서 위법행위를 목인했을 시에 주차난과 주거환경악화 등 공공환경을 저해시키며, 피난공간부족 및 소방차 접근불가도로 등 안전사고의 위협으로 직결될 수도 있기에 제도의 보완이 시급하다고 판단되었다. 하지만 건축물 사용승인 대행에 관한 선행연구를 살펴보면, 제도적 측면에서의 행정적 개선에만 초점을 둔 연구가 대부분이다. 이에 현장조사방식의 근본적인 개선을 위해서는 현장조사 자동화 기술이 필요하다고 판단하였다.

2.2 현장조사 자동화를 위한 기술고찰

현재 건축분야에서는 UAV 및 3D스캐너가 현장조사 및 실측자동화에 활용되고 있다. UAV는 무인 항공 장치로 사람이 탑승하지 않은 채 지상에서의 무선 전파를 유도해 원격조정 하거나 또는 사전비행경로설정을 통한 자율비행모드로 비행하는 비행체를 의미한다. 이 비행체에 카메라나 센서를 탑재하여 항공촬영 및 수치사진측량 등이 이루어진다. 3D 스캐너는 레이저를 대상을 향해 투사하여 레이저가 반사되어 돌아오는 시차를 이용하여 실물 또는 실제 환경으로부터 그것의 형상이나 패턴을 디지털 데이터로 전환하는 장치이다.

Table 1 Analysis on Inspection Technologies

분류	장점	단점
UAV	- 광범위 지역 신속 조사 가능 - 정밀성 양호 - 조사 접근성 우수 - 데이터 셋 구축 가능	- 실내조사 불리
3D 스캐너	- 데이터 셋 구축 가능 - 정밀성 우수	- 장비가격 고가 - 규모가 커질수록 불리
도수 측정	- 장비 소지 및 사용 용이 - 장비가격 저렴	- 측정 시 많은 품이 소요 - 규모가 커질수록 불리 - 여러 대의 장비 필요 - 데이터 기록 불리

위의 Table 1은 두 기술의 장단점을 비교·분석한 표이다. 두 기술에 대한 장단점을 분석한 결과, 경제성, 효용성을 고려할 때 UAV를 통한 항공촬영이 도수측정 및 3D 스캐너보다 건축물 사용승인 현장조사 자동화를 위한 기술로 더 적합하다고 판단하였다. 이에 UAV활용에 관한 선행연구를 살펴보면 UAV는 다양한 이점으로 그 활용이 증가하고 있으며, 여러 분야에서의 융합연구가 진행되어오고 있다. 그 특징을 살펴보면, UAV를 통한 항공촬영은 첫째, 유인항공기나 위성을 통한 촬영과는 달리 신속하게 데이터를 취득할 수 있으며, 신속한 모니터링이 가능하다(Jung *et al.*^[13]; Kim *et al.*^[3]). 둘째, 유인항공기나 인공위성, 3D 스캐너를 이용한 촬영에 비해 편의성, 경제성 측면에서 유리하다(Cho^[10]; Lee *et al.*^[5]). 셋째, 저고도 항공촬영이 가능하여 위치정확도와 공간해상도를 확보한 고해상도 영상정보와 공간정보를 취득할 수

있고, 연계활용 가능성이 크다(Cho *et al.*^[4]; Lee *et al.*^[6]). 이와 같은 기술동향을 고려하여 UAV를 건축물 사용승인 현장조사에 활용한다면 건물에 대한 접근성이 좋기 때문에 광범위에 걸친 신속하고 정확한 공간정보 수집이 가능하고, 오차가 적고 정확도가 높은 공간정보를 기반으로 조사와 검사가 이루어지기 때문에 사용승인 조사의 신뢰도가 향상될 것으로 사료된다.

2.3 현장조사 자동화를 위한 조사항목 도출

건축물 사용승인조사 및 검사조서 전체 항목 (Table 3) 중에서 이론적 고찰을 통해서 UAV를 활용한 수치사진측량으로 조사가 가능하며, 개선효과 및 기대효과가 가장 클 것으로 판단되는 건축물 실외조사에 해당하는 9개 조사항목을 도출하였다. 더하여 대지면적과 건축면적을 통해 도출할 수 있는 건폐율, 대지면적과 공개공지면적을 통해 도출할 수 있는 공개공지 확보항목을 포함하여 총 11개의 항목을 선정하였다. 선정된 항목에 관하여 건축법시행령을 분석하여 각 항목에 대한 조사목적 및 조사방법을 Table 4로 요약하였다. 법령은 건축법시행령 및 대구광역시 건축조례를 기준으로 하였으며 세부 내용은 다음과 같다.

- 대지의 안전조치는 배수 혹은 방습이 필요 없을 경우를 제외하고 인접도로보다 대지를 높게 하여 홍수나 폭우에 의한 피해를 막기 위함이며, 그 외에 성토를 통한 지반개량, 오수우수처리, 손깨우려 시 옹벽설치 등 대지안전 조치 여부를 조사한다.
- 토지굴착 부분에 대한 조치는 굴착 절토 매립 시 공사현장에 그 사실을 게시하여 불의의 사고를 미연에 방지하기 위한 조치로서, 토공사 안내를 공사현장에 게시하였는지를 조사한다.
- 대지 안의 조경은 공공환경 개선을 목적으로, 대지면적 200 m² 이상일 시 필수로 해야 하며, 대지면적에 대한 조경면적을 조사한다.
- 건축선 지정은 소방차 응급차의 진입로 확보를 위한 조치로서, 대지와 접하는 길이 2 m 이상, 폭 4 m 이상 도로를 확보하였는지를 진입도로의 폭과 길이를 측정하여 확인한다.
- 건축선에 의한 건축제한은 통행안전 및 위급상황 시의 차량이동 공간 확보를 목적으로, 4.5 m 높이 이하의 건축물과 담장의 건축선 초과여부를 확인한다.

Table 2 Analysis on Previous Research

연구제목	주요연구내용	비고
홍수 모니터링을 위한 UAV 연구동향 (정안철 외1, 2014)	UAV를 이용한 홍수 모니터링의 국내외 연구 동향 및 활용방안 소개	신속성 편의성
무인항공기의 국토모니터링분야 적용을 위한 연구 (김덕인 외3, 2014)	UAV의 국토모니터링분야 적용가능성 평가를 위한 지도제작과 관련된 법·제도검토 및 개선방안 제시	신속성 편의성
UAV를 이용한 정사영상제작의 정확도 및 경제성 분석 (조준희 석논, 2014)	UAV 활용 취득데이터 정확도 평가, GSD와 면적별 비용분석을 통한 UAV 활용 정사영상 제작의 경제적인 면적도출	경제성 정확성
무인항공기를 이용한 해안선 변화 추출에 관한 연구 (이강산 외2, 2015)	UAV를 이용한 해안지형 항공촬영 방안 및 해안선 변화 추출, 결과 분석	경제성 편의성
무인항공 사진측량을 이용한 고해상도 공간정보 취득 (조영선 외3, 2014)	UAV 사진측량기법을 이용한 고해상도 공간정보 취득 및 활용성 분석	정확성
무인항공기를 이용한 노후 주거지역의 석면 슬레이트 지붕 조사 기법에 관한 연구 (이승욱 외2, 2016)	UAV를 활용한 노후 주거지역의 석면 슬레이트 지붕 조사 기법에 관한 연구	정확성 편의성

Table 3 Categories of Building Occupancy Authorization

구분		현장 조사 내용	구분	현장 조사 내용	
실내조사	피난시설	직통계단의 설치	실내조사	내화구조	건축물의 내화구조
		피난·특별피난·옥외피난 계단의 설치			대규모건축물의 방화벽 등
		관람석 등으로부터의 출구설치		건축재료	건축물의 내장재료
		건축물 바깥쪽으로의 출구설치	실외조사	지하층	지하층 구조
		옥상광장의 설치		대지 및 도로	대지의 안전조치 등
		방화구획			토지굴착 부분에 대한 조치 등
		계단설치기준 및 구조			대지안의 조경
		거실의 반자·채광·환기			건축선 지정
		거실의 바닥		건축선에 의한 건축제한	
		경계 및 칸막이벽 구조		대지 안의 공지	건축선으로부터 이격거리
	건축물에 설치하는 굴뚝	인접대지경계선으로부터 이격거리			
	건축설비	승용승강기의 설치		높이제한	가로구역별 및 도로에 의한 높이제한
		승용승강기의 구조			일조확보를 위한 높이제한
		비상용승강기의 설치	건폐율 용적률	건폐율	
		비상용승강기의 승강장 및 구조		용적률	
		배연설비의 설치	도시설계	지구단위계획에의 적합여부	
		강제배수시설의 설치		공개공지의 확보	
		급수시설	용도제한	용도지역 및 용도지구 안에서의 건축물의 건축제한 등	
		온돌 및 난방설비의 설치		장애인 편의시설	관계법령에서 의무화된 시설
		열손실방지 조치	그 밖의 사항		
에너지 절약계획서 이행 여부					

- 건축선으로부터 이격거리는 도로 소통 원활, 위험물 취급 건축물에 대한 안전거리 확보 등 쾌적한 도시환경을 만들기 위해, 건축선으로부터 일정거리이상 이격하여 건물이 지어졌는지 여부를 조사한다.
- 인접대지경계선으로부터 이격거리는 채광 및 통풍 등을 통한 생활환경 조성, 피난·소화활동 보장, 화재발생시 2차 화재 예방, 지진 시 옆 건물과의 피해를 최소화하기 위한 조치로서, 조례에 의거하여 그 이격여부를 조사한다.
- 가로구역별 및 도로에 의한 높이제한은 ① 도시미관과 토지이용의 효율을 높이기 위해서 가로구역을 단위로 건축물의 최고 높이를 제한하였는지를 조사하며, ②도로에 의한 높이제한은 법령에서 삭제되어 조사항목에서 제외하였다.
- 일조확보를 위한 높이제한은 전용주거지역이나 일반주거지역에서 건축물을 건축하는 경우 정북

방향에 있는 인접 건물의 일조권을 확보를 목적으로 하며, 정북방향으로의 거리에 따른 건물의 높이를 측정한다.

- 공개공지의 확보는 일조·채광·통풍 등의 공간을 만들어 지역의 환경을 쾌적하게 조성하기 위해 조례로 지정한다. 대지면적에 대한 공개공지의 면적 측정을 통해 조사한다.
- 건폐율은 대지면적에 대한 건축면적의 비율을 제한함으로써 각 건축물의 대지에 여유 공지를 확보하여 도시의 평면적인 과밀화를 억제하기 위함이며, 대지면적에 대한 건축면적을 측정한다.

3. 현장조사 자동화를 위한 UAV활용 프로세스

3.1 현장조사 자동화 방안의 절차 및 조건

본 연구는 위의 이론고찰을 통해 도출한 건축물



Fig. 3 Process of Experiment for Automated Inspection for Building Occupancy Authorization

Table 4 Items for Building Occupancy Authorization & Statutory Inspection Method

현장조사 항목	법령에 의한 조사 방법
1. 대지의 안전조치 등	① 인접도로보다 높히 대지 조성 여부조사(배수 혹은 방습이 필요 없을 경우를 제외) ② 우수우수의 처리여부조사 ③ 성토를 통한 지반개량여부조사 ④ 손깨우러시 용벽설치여부조사
2. 토지굴착 부분에 대한 조치 등	토공사사실안내 공사현장 게시여부조사
3. 대지안의 조경	대지면적 200m ² 이상 일시 조경 설치여부조사
4. 건축선 지정	대지와 접하는 도로의 길이 2m 이상, 그 진입도로의 폭 4m 이상 확보여부조사
5. 건축선에 의한 건축제한	4.5m이하 건축물 및 담장의 건축선 초과여부조사
6. 건축선으로부터 이격거리	건축선으로부터 1m 이격여부조사 (조례)
7. 인접대지경계선으로부터 이격거리	인접대지경계선으로부터 1m 이격여부조사 (조례)
8. 가로구역별 및 도로에 의한 높이 제한	① 가로구역별 최고·최저 높이제한 준수여부조사 (조례) ② 건물높이 전면도로 반대편 경계까지 거리의 1.5배 이하 준수여부조사 (삭제)
9. 일조확보를 위한 높이제한	건물높이 9m 미만까지 정북방향 대지경계선으로부터 1.5m 이격, 건물높이 9m 이상 시 건물높이의 1/2 이격 준수여부조사
10. 건폐율	대지면적에 대한 건축면적비조사
11. 공개공지의 확보	대지면적에 대한 공개공지면적비조사 (조례)

사용승인 현장조사 항목 및 조사방법을 바탕으로 일련의 실험을 통하여 UAV를 활용한 건축물 사용승인 현장조사 자동화 가능성을 확인해보고자 하였다. 실험의 절차는 다음의 Fig. 3과 같이, 실제 건축물을 대상으로 조사항목 및 변인을 설정한 뒤, UAV를 활용하여 항공촬영을 실시한 후 획득한 데이터를 토대로 건축물 공간정보를 생성하여, 이를 BIM환경에서 현장조사를 실시하고자 한다. 실험을 통하여 건축물 사용승인 현장조사 자동화가 가능한 항목이 무엇인지, 건축물 사용승인 조사·검사가 어느 정도의 신뢰도와 효용성이 있는지 그 실효성을 검증하고자 하였다.

조사항목은 Table 4를 토대로 적용이 되지 않는 법규는 임의로 기대값을 설정하여 조사가능 여부를 판별하거나, 조사 내용을 변경하여 유사한 조사가 가능하도록 관련 기준을 설정하였다.

조사대상건물은 대구광역시 북구 산격동에 위치한 K국립대학교에 2016년에 지어진 규모 122 m²의 교내 체육시설이다. 본 건물을 조사 대상 건물로 선정한 이유는 첫째, 최근에 건축물 사용승인을 받았기 때문에 사용승인 도서확보가 용이하며, 둘째, 교내에 위치하여 UAV 저고도 항공촬영으로 인한 사생활 침해, 재산권 침해와 같은 법적 문제를 야기하지 않기 위함이다.

또한 실험에 앞서, 대상지는 교육연구시설 내 위치한 건물로서 따로 지적선이 존재하지 않았다. 이에 사용승인을 받은 도서 중 배치도와 함께 국가 공간정보유통시스템에서 해당 대지의 1:1000 GRS80 정사영상을 참고하여, 지적재조사 사업방식인 자연경계점 측정방식을 통해 조사의 기준이 되는 건

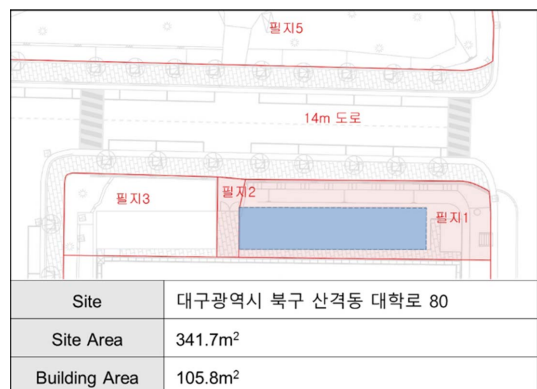


Fig. 4 Site Plan & Cadastral Map

축선, 대지경계선 및 도로선 등 토지경계를 새로이 설정하였다. 조사대상건물의 개요 및 설정기준은 다음의 Fig. 4와 같다. 대지면적은 필지1과 필지2를 합친 면적이다.

변인통제를 위해 UAV를 통해 생성된 공간정보를 기반으로 하는 건축물 사용승인조사의 신뢰도는 선행연구를 통해서 충분히 신뢰할 만 하다고 기대하였다. 또한 건축물 사용승인을 받은 도서를 실험의 대조군으로 설정하고 비교분석대상으로서 그 객관성이 충분한 것으로 보였다. 실험을 통해 예상가능한 변수는 도면과 실제 시공된 건물과의 오차, UAV를 통해 획득한 데이터의 오차로 추정하였으며, 실험을 통해서 이러한 오차들의 발생원인과 신뢰할 만한 허용오차범위에 포함되는지 분석하였다.

3.2 UAV활용 건축물 공간정보 제작

UAV를 활용한 건축물 공간정보 제작을 위해, 먼저 실제 건축물을 대상으로 UAV를 활용하여 저고도 항공촬영을 통해 고해상도의 영상을 획득하였다. 저고도 항공촬영에는 12.4M의 해상도의 디지털카메라를 탑재한 DJI사의 Inspire1 V2가 사용되었다. 대상건물로부터 10 m, 15 m 고도에서 15 m반경으로 설정하여 비행속도 2 m/s로 기체가 자동으로 비행하는 동안 연속 중첩 촬영을 실시하였고 중중복도 및 횡중복도는 각각 80%로 설정하였다.

다음으로 Network RTK-VRS GNSS측량을 통해 지상기준점(Ground Control Point, GCP)보정을 통한 위치정확도를 확보하였다. Network RTK-VRS GNSS측량이란 위성측위시스템(Global Navigation Satellite System, GNSS)을 이용한 가상기준점(Virtual Reference Station, VRS)기반의 실시간 이동측위측량(Network Real Time Kinematic,

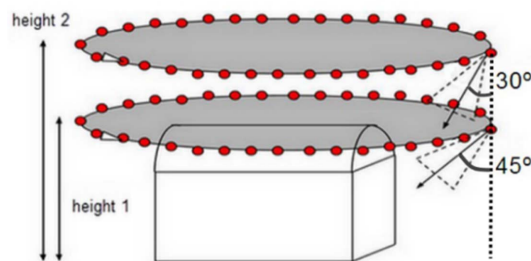



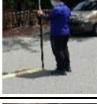

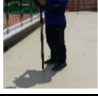


Fig. 5 Method for Aerial Photograph at Low Altitude^[13]

Table 5 GCPs and Coordinates

GCPs		X (North)	Y (East)	Z (Altitude)
GCP 1		164754.2011	365808.4164	40.7612
GCP 2		164757.3026	365826.2669	40.7349
GCP 3		164755.1434	365836.7930	40.8305
GCP 4		164732.8209	365813.8950	41.5798
GCP 5		164736.1697	365831.1272	41.5856
GCP 6		164748.9997	365821.8716	44.4440

Network RTK)으로 위성기준점 중에서 3점 이상을 기준국으로 하여 관측한 자료를 이용하여 계산한 보정 자료와 이동점에 설치한 GNSS수신기에서 관측한 자료를 이용하여 즉시 기선해석을 실시함으로써 이동점의 위치를 결정하는 작업을 말한다.^[14] 지상기준점은 영상에서 분명하게 식별이 가능한 주차선 등의 자연경계점을 활용하였고, 좌표체계는 ITRF 2000 Korea East Belt TM을 사용하였다. Table 5는 설정한 지상기준점과 그 좌표를 나타내고 있다.

마지막으로 획득한 항공영상에 대하여 영상 정합 및 데이터후처리를 거쳐 공간정보제작 한다. 이를 위한 프로그램으로 Pix4Dmapper가 사용되었다. Pix4Dmapper를 사용하여 영상정합을 위해 중첩된 이미지 영역에서 일치점(Tie Point)을 추출하는 단계를 거쳐 이미지 정합하고, 이를 다시 지상기준점을 통한 위치보정을 거쳐 위치정확도를 확보하였다(Fig. 6). 그 후 위치정확도를 확보한 데이터를 기반으로 후처리 과정을 거쳐 일정 공간해상도(Ground Sampling Distance, GSD)를 확보한 공간정보를 제작한다. 공간정보는 차례대로 점군 데이터(Point Cloud), 메쉬 기반 3D 모델(3D Mesh

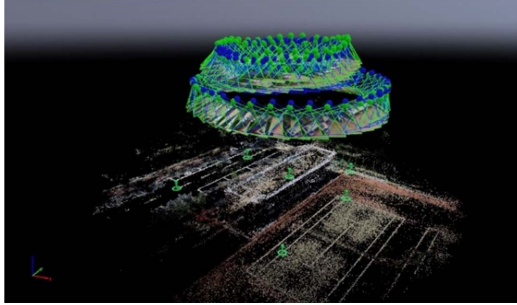


Fig. 6 Image Matching & Geometric Correction Using GCPs



Fig. 7 Point Clouds

Model)을 제작한 후 다시 점군데이터 및 3D 모델을 기반으로 정사영상, 수치표고모델(Digital Surface Model, DSM)을 제작하였다(Fig. 7).

3.3 UAV기반 공간정보를 활용한 건축물 사용승인조사

데이터후처리 결과로 획득한 점군데이터, 3D 모델, 정사영상, DSM 등 공간정보의 GSD는 1 cm/pix 미만으로, 단위픽셀 당 1 cm의 물체를 식별 가능한 수준이다. 이는 단위 미터를 기준으로 1%의 오차율을 보여 건축 허용 오차(건축법 제 20조 관련)를 만족할 수 있을 것으로 기대되었다. 또한 결과물의 이미지 중첩도는 99%이상으로 충분히 렌즈의 왜곡에 대해서도 신뢰할 수 있었다. 이러한 공간정보를 활용하여 BIM(Building Information modeling, 건축정보모델링) 환경에서 건축물 사용승인조사를 실시하였다. 건축물 사용승인조사를 위해 BIM프로그램으로 Autodesk사의 Revit Architecture 2016(이하 Revit)을 사용하였다. Revit 환경에서 추출된 점군데이터 및 정사영상, DSM와 같은 공간정보를 CAD도면과 오버랩 한 후 평

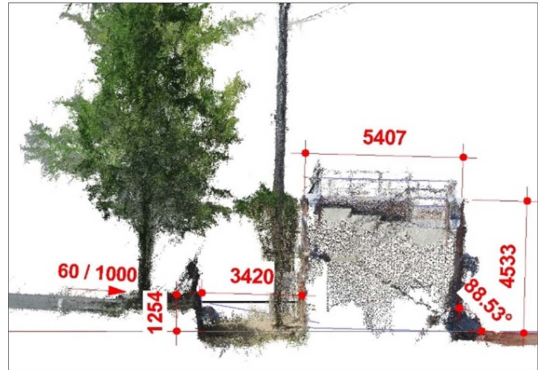


Fig. 8 Spatial Information-based Inspection for Building Occupancy Authorization Using Revit Architecture 2016

면 및 단면 뷰를 통해서 각 항목에 대해서 필요한 건물의 높이나 길이, 면적 또는 대지의 길이 거리 및 도로의 폭, 구배 등을 측정하였다. 측정값을 토대로 허가도면과 측정값을 비교·검토하여 검사조서를 작성하였다(Fig. 8).

BIM(Building Information Modeling)이란 건물의 전생애주기에 걸쳐서 건물에 대한 모든 형상정보와 속성정보를 포함하는 객체지향적 3차원 모델을 구축하여 시뮬레이션을 통해 현실에서 발생될 문제를 예측하고 그 해결을 위한 정보를 제공하여 올바른 의사결정을 돕는 기술 또는 건축정보모델링을 위한 일련의 제반 과정을 말한다. BIM환경에서 건축물 사용승인조사를 실시한 이유는 첫째, BIM은 통합정보플랫폼으로 객체지향적 모델을 통해 건축에 관한 모든 정보를 담을 수 있으며, 둘째, 상호운용성을 통해 건물에 관한 정보교환이 용이해 여러 의사결정권자와의 협업이 가능하고, 셋째, 의사결정권자들은 이러한 정보를 포함한 모델을 통해 건물유지관

리 등 향후 활용가능성이 높기 때문이다. 특히 BIM환경은 현재 세움터에 납품되는 CAD파일이거나 PDF, GIF이미지뿐만 아니라 점군데이터와 호환이 가능하며, 훗날 세움터에 BIM으로 작성된 도면납품이 활성화 되었을 때를 고려한다면 그 유용성이 클 것으로 기대되었다.

4. 현장조사 자동화를 위한 UAV활용 결과분석

4.1 UAV기반 건축물 사용승인 조사결과분석

Table 6은 위의 일련의 실험을 통해 획득한 공간 정보를 기반으로 실시된 건축물 사용승인 조사방

Table 6 Inspection Result Report for Building Occupancy Authorization Using Unmanned Aerial Vehicle

건축물 사용승인 자동화 항목	UAV를 활용한 조사 방법	활용 정보				완공 후 현황		비고	조사 가능 유무
		이미지 (Raster)	거리 (cm)	높이 (cm)	면적 (cm ²)				
1. 대지의 안전조치 등	① 대지레벨과 도로레벨의 차이 측정	-	-	●	-	[]일치 []불일치	[●]해당없음	고저차 : 1254mm	△
	② 정사영상을 통한 우수우수 맨홀설치 확인 및 대지 내 배수구배 확인	●	-	-	-	[●]일치 []불일치	[]해당없음	정밀조사 필요	
	③ 성토를 통한 지반개량 조사	-	-	-	-	[]일치 []불일치	[●]해당없음	조사불가	
	④ 정사영상을 통한 옹벽설치 확인	●	-	-	-	[●]일치 []불일치	[]해당없음	정밀조사 필요	
2. 토지굴착 부분에 대한 조치 등	정사영상을 통한 토공사 안내표지판설치 확인	●	-	-	-	[]일치 []불일치	[●]해당없음	가능할 것으로 기대	○
3. 대지안의 조정	대지면적에 대한 조정 면적 측정	-	-	-	●	()% 이상	[●]해당없음	면적측정으로 대체	○
4. 건축선 지정	건축선으로부터 건축물까지의 거리측정을 통한 진입도로 폭 및 대지와 접하는 도로의 길이 측정	-	●	-	-	[●]일치 []불일치	[]해당없음	-	○
5. 건축선에 의한 건축제한	정사영상을 통한 위반 유무 식별 및 4.5m이하 건축물과 건축선까지의 거리 측정	●	●	●	-	[●]일치 []불일치	[]해당없음	-	○
6. 건축선으로부터 이격거리	건축선으로부터 건축물까지의 거리 측정	-	●	-	-	[●]일치 []불일치	[]해당없음	-	○
7. 인접대지경계선으로부터 이격거리	인접경계선과 건축물까지의 거리 측정	-	●	-	-	[●]일치 []불일치	[]해당없음	-	○
8. 가로구역별 및 도로에 의한 높이제한	해당 가로와 면한 건축물 높이 측정	-	●	●	-	[]일치 []불일치	[●]해당없음	높이측정으로 대체	○
9. 일조확보를 위한 높이제한	건축물로부터 정북방향으로의 거리, 정북방향의 건물 높이 측정	-	●	●	-	[●]일치 []불일치	[●]해당없음	높이측정으로 대체	○
10. 건폐율	대지면적에 대한 건물면적 측정	-	-	-	●	(37.8695)%		중심선 측정불가	△
11. 공개공지의 확보	대지면적에 대한 공개공지면적 측정	-	-	-	●	()%	[●]해당없음	면적측정으로 대체	○

법 및 검사조서이다. 각 항목에 대하여 공간정보를 활용한 조사 및 검사 방법과 함께 사용승인을 받은 도면과의 비교를 통한 검사내용은 다음과 같다.

- 대지의 안전조치 항목에 있어 본 실험 대상은 대지가 도로보다 낮지만 옹벽 및 우수관이 설치되어 있고, 구배가 잡혀 있어 배수 및 방수가 불필요하다는 점을 확인 할 수 있었다. 하지만 성도를 통한 지반개량여부를 비롯해 육안검사 이외에 전문적 지식을 바탕으로 면밀히 조사해야 함에 그 한계가 있었다.
- 토지굴착 부분에 대한 조치 항목에 있어 사용승인 이후에 조사를 실시하여 토공사 안내를 공사 현장에 게시하였는지 여부는 알 수 없었으나, 결과물의 1 cm급 공간해상도를 고려한다면 충분히 안내표지판을 식별할 수 있을 것으로 기대된다.
- 대지안의 조경 항목은 따로 조경이 설치된 부분이 없어 조사가 불가능하므로 건폐율 조사 시 건축물의 면적을 측정하는 것으로 대체하였다.
- 건축선 지정 항목에 있어 본 실험 대상은 4 m폭 이상의 도로와 접해 있어 건축선·도로선·대지 경계선이 일치하는 경우였다. 도로선에서 건물까지의 거리를 측정할 결과를 도면과 비교하였을 때 8.1 mm의 오차를 보였다. 오차율은 0.2%로 건축 허용 오차(건축법 제 20조 관련)중 건축선의 후퇴거리에 관한 오차율 3%를 충분히 만족하였다.
- 건축선에 의한 건축제한 항목은 항공촬영사진을 통해 건축물이 건축선을 초과하였다고 의심할 만한 정황이 없었으며, 단면을 통해서 확인한 결과 건축선을 초과한 건축물은 없었다.
- 건축선 및 인접대지경계선으로부터 이격거리에 관한 항목에 대해서 이격거리를 측정한 결과, 본 실험 대상은 건축한계선 및 인접대지경계선으로부터 충분히 이격되어 있음을 확인할 수 있었다.
- 가로구역별 및 도로에 의한 높이제한에 관한 항목에 있어 본 실험 대상은 가로구역별 높이제한이 없으므로 건축물의 높이를 측정하는 걸로 대체하였고, 조사결과 300 mm의 오차를 보였다. 오차율은 7.1%로 건축 허용 오차(건축법 제 20조 관련)의 건축물 높이에 관한 오차범위를 만족하지 못했다. 현장실측을 통한 정밀검사를 실시하여 데이터와 도면을 살펴 오차의 원인을 분석할 필요가 있다고 판단하였다.
- 일조확보를 위한 높이제한 항목에 있어 본 실험 대상은 해당사항이 없으나, 단면조사를 통해 높

이 및 거리를 측정할 수 있으므로 충분히 조사가 가능할 것으로 판단된다.

- 건폐율 조사는 구조체 또는 전체 벽체의 중심선에 대한 수평투영면적을 조사하는 것이므로, 수치사진측량을 통해서는 건물 외부마감의 최외곽선만 측정가능하기에 벽체두께가 제대로 시공되었다라고 가정하였을 때만 조사가 가능할 것으로 기대 된다. 이에 건축물 최외곽을 기준으로 건폐율을 측정한 결과 대지면적은 도면과 비교하였을 때, 오차율 0.5%로 건축 허용 오차(건축법 제 20조 관련) 중 건폐율(면적)에 관한 오차범위를 만족하였으나, 건물면적과 관련하여서는 3.1%의 오차율을 보여 정밀조사가 필요 하다고 판단했다.
- 공개공지의 확보 항목에 대해서는 대지안의 조경 항목과 같이 면적조사로 대체하였으며, 정사영상을 통해 충분히 조사가 가능할 것으로 기대된다. 결과적으로 11개의 조사항목 중에서 UAV기반 공간정보를 통해서 정확한 조사가 가능한 항목이 9개 있었고, 공간정보만을 가지고 조사가 어려운 항목이 2개가 있었다. 조사가가능항목 중에서 도면과 상이하여 현장실측을 통한 검증이 필요한 항목이 있기에, 건물 또는 대지의 높이, 길이, 면적에 대한 현장실측을 통하여 사용승인도면과 UAV기반 공간정보 중 어느 것과 그 실제치수가 더 유사한지, 이러한 치수의 차이는 허용오차범위에 포함되는지 검증이 필요하였다.

4.2 비교·검증 및 실효성 분석

승인도면 및 UAV기반 공간정보 및 현장실측 결과에 대한 오차비교분석을 위해, 조사항목은 아래 Fig. 9와 같이 설정하였으며 분석결과는 Table 7과 같다. 건물의 면적산출은 건축물 외부마감 최외곽

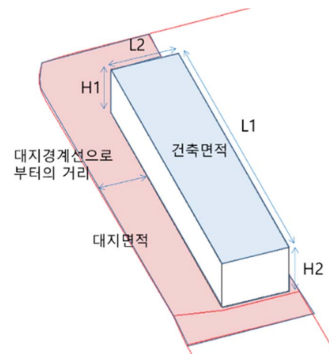


Fig. 9 Comparison Items for Error Analysis

Table 7 Comparison Analysis of Error

(길이: mm, 면적: m²)

항 목	결 과			실측과의 오차		오차율 (현장실측- 공간정보)	
	사용승인 도면	UAV기반 공간정보	현장 실측	사용승인 도면	UAV기반 공간정보		
대지경계선으로부터의 거리	3413.3	3421.4	3418.6	-5.3	2.8	0.1%	
건물의 길이	L1	23650	23952	23892	-242	60	0.3%
	L2	5300	5401	5390	-90	11	0.2%
건물의 높이	H1	4200	4535	4488	-288	47	1.0%
	H2	4200	4530	4470	-270	60	1.3%
건물면적	125.3	129.4	128.8	-3.5	0.6	0.5%	
대지면적	340.6	341.7	-	1.7		0.5%	

선으로 측정하였다.

위의 오차분석표를 보면 도면상에 명기된 치수보다 공간정보를 통해 측정한 치수의 값이 더 크울 수 있었다. 이를 현장실측을 통해 대지경계선으로부터의 거리, 건물의 길이, 건물의 높이, 건축면적, 대지면적에 대하여 정밀조사를 한 결과, 현장실측 값은 도면보다는 공간정보를 기반으로 조사한 결과값과 더 큰 유사성을 보였다. 이를 통해 공간정보기반의 조사 값이 실제 건물치수와 더 유사하다고 보여진다. 현장실측 결과를 비교해보

면 도면보다는 현장실측을 통한 결과값이 더 크게 나왔음을 알 수 있었는데, 이는 시공을 하면서 생기는 시공오차일 것으로 사료된다. 또한 UAV기반 공간정보와 현장실측을 통한 결과값의 오차를 건축 허용 오차(건축법 제 20조 관련)와 비교해 보았을 때, UAV기반 공간정보는 대지관련 건축기준의 허용오차 항목 중 거리는 3%, 건폐율은 0.5%, 용적률은 1% 이내라는 허용오차 범위를 만족하였다. 또한 건축물관련 건축기준의 허용오차 항목 중 건축물의 높이, 평면의 길이는 모두 2% 이내로 역

Table 8 Working Time

항 목		세부내용	시 간	
촬영	사전작업	위성지도 확인, 카메라 및 VRS장비 점검, 비행체 정비	1hr	
	비행준비	비행체 조립, 이착륙지점 답사, 촬영경로설정	0.5hr	
	지상기준점측량	지상기준점 설정 및 VRS-RTK측량	0.5hr	
	항공촬영	영상촬영, 영상 확인 및 검토	0.5hr	
소 계			2.5hr	
영상처리	영상처리 준비	원시영상 다운로드 및 품질검사, 프로그램 설정	0.5hr	
	전처리	사진정합, GCP설정	1hr	
	최종결과물제작	Point Cloud 및 3d Mesh	Half Size	Full Size
		DSM 및 정사영상	1.5hr	6hr
소 계			0.5hr	1.5hr
소 계			3.5hr	9hr
결과분석	사전작업	결과물 및 도면 오버래핑	0.5hr	
	건축물 사용승인 조사·검사	결과물을 통한 조사·검사	0.5hr	
		도면 비교 검증 및 검사조서 작성	0.5hr	
소 계			1.5hr	
합 계			7.5hr	12hr

시 기준에 부합하였다. 다시 말하면 UAV기반으로 생성된 공간정보를 통해 이루어지는 건축물 실외 정보에 대한 측정은 건축허용오차를 만족하므로 정확성에 있어 그 신뢰도를 확보할 수 있었다.

다음으로 효율성 분석을 위해 작업별 소요시간에 관하여 Table 8과 같이 정리하였다. 그 결과, 촬영작업에 2시간 30분, 영상처리작업에 3시간 30분~9시간, 결과분석작업에 1시간 30분 정도가 소요되었다. 촬영작업의 소요시간에 대해서는 건물의 규모증가에 따라 지상기준점측량 및 항공촬영에서의 시간이 더 늘어 날 것으로 예상된다. 영상처리작업에 소요된 시간은 건물의 규모에 따른 사진 장수의 증가와 함께 결과물의 품질에 따라 소요시간의 차이가 컸다. 원본영상의 절반크기 수준인 일반품질의 결과물을 획득하기 위해서는 사진 100장에 대하여 대략 3시간 30분이 소요 되었으며, 원본크기 수준인 고품질로 했을 시 3배 정도의 시간이 더 소요되었다. 이는 결과물의 크기 차이만 있을 뿐 공간해상도 및 위치정확도는 동일하였으므로 일반품질의 결과물로서도 충분히 신뢰도 높은 검사를 수행할 수 있으므로, 일반품을 사용하여 영상처리 소요시간을 절약할 수 있을 것으로 기대된다. 결과분석 작업에 소요되는 시간은 1시간 30분으로 조사항목이 늘어나지 않는 한 건물의 규모가 증가하더라도 크게 영향을 미치지 않을 것으로 기대되었다. 효율성 분석 결과, 일반적 품질의 결과물으로도 충분한 조사가 가능하므로 UAV 기반 공간정보를 활용한 건축물 사용승인 조사는 7시간 30분 정도가 소요 될 것으로 보았다. 지자체별 확인대행업무 수행시점에 관한 연구를 살펴 보면, 서울특별시를 제외하고는 3~5일의 조사기간이 조례로 정해져 있으므로 조사기간 동안 충분히 건축물 실외부분에 대한 조사 및 검사 그리고 공간정보제작을 통한 객관적 자료 확보가 가능할 것으로 기대된다.

4.3 공간정보의 국가정책 연계 활용방안

건축물 사용승인조사를 위해 작성된 정사영상 및 3D모델과 같은 공간정보는 충분히 국가정책과 연계하여 활용 가능하다고 판단하였고, 이에 국가공간정보 기본법[법률 제12736호] 및 공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률[법률 제13796호]을 살펴 그 활용가능성을 알아보고자 하였다.

국가공간정보 기본법은 국가공간정보체계의 효

율적인 구축과 종합적 활용 및 관리에 관한 사항을 규정하고 있다. 같은 법 시행령 제15조 제3항 제2호 내지 제4호의 기준에 의해 기본공간정보 구축규정[국토교통부고시 제2016-161호] 제4조(위치 정확도)를 살펴보면 항공사진 및 위성영상 등 레스터데이터 형태의 기본공간정보는 공간해상도 50 cm 이상을 만족해야 한다. 사용승인 조사를 위해서는 GSD 1 cm급의 영상을 사용하므로 충분히 그 기준을 만족한다. 본 실험에서 사용된 보급형 UAV(Inspire 1)에 장착된 보급형 카메라(DJI FC 350)를 사용하여 GSD 1 cm 영상을 확보하기 위한 유효촬영고도를 계산하기 위해 위와 같은 조건하에 아래의 계산식(Formula 1)을 이용하여 촬영고도를 산출하였다. 카메라의 성능은 Table 9와 같다.

계산결과, 대략 22.9 m로 4~5층 높이의 건물에 대해서는 주변대지의 정보까지 획득이 가능한 충분한 높이라고 사료된다. 이 결과로부터 고비용의 GPS/INS(Inertial Navigation System) 카메라를 장착하지 않은 경량 무인항공기로도 저고도비행을 통해 국가기본공간정보 취득을 위한 충분한 공간 해상도를 획득할 수 있을 것으로 보인다.

공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률은 측량의 기준 및 절차, 지적공부, 부동산 종합공부의 작성 및 관리 등에 관한 사항을 규정하고 있다. 같은 법 제22조 제3항 일반측량 작업규정[국토지리정보원고시 제2016-3208호]은 건설공사의 설계, 시공, 준공, 공사시설물의 유지관리 등에 수반되는 일반 측량에 대한 기준, 방법, 절차를 정의하고 있다. 작업규정을 좀 더 살펴보면 UAV기반 항공사진측량 통한 준공측량, 지형현황측량은 같은 법 제12조 및 같은 법 시행 규칙 제8조에 의한 항공사진측량 작업규정[국토지리정보원고시 제2016-2609호]을 따르도록 명시되어 있다. 작업규정에 의하면 1:500축척의 정사영상의 위치정확도에 대한 허용오차범위는 표준편차 0.14 m, 최대값 0.28 m

$$\text{촬영고도}(H) = \text{공간해상도} \times \frac{\text{픽셀크기}}{\text{초점거리}}$$

Formula 1 Equation of Flight Height

Table 9 Camera Specifications

모델명	초점거리 (mm)	픽셀크기 (μm)	영상해상도
DJI FC 350	3.6	1.57	12MP

이내로 제한하고 있다. 위치정확도는 평균제곱근 오차(RMSE)의 크기로 정량적인 평가를 할 수 있는데, 본 연구에서 얻은 최종 정사영상의 RMSE (Root Mean Square Error) 값은 X, Y, Z 방향으로 0.0108 m, 0.0096 m, 0.0292로 계산되었다. 이는 결과적으로 1:500 축적기준의 오차수준 이하를 만족하는 수준이므로 수치지도로서의 정확성과 호환성을 확보하였다고 할 수 있다. 이는 국토재조사 사업 또는 정사영상제작에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

다음으로 공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 제12조 및 같은 법 시행규칙 제8조에 의한 3차원국토공간정보구축 작업규정[국토지리정보원 고시 제2016-429호]을 살펴 생성된 3차원 공간정보가 유효한지를 확인하고자 하였다. 3차원 건물 데이터 세밀도 및 가시화 정보 제작기준(제3조)을 살폈을 때, 본 연구에서 UAV기반으로 생성된 공간정보는 세밀도 Level 1~4 단계 중에서 Level 3 단계에 해당하는 수준으로 연합블록 형태, 지붕구조 제작, 수직적 돌출부 및 함몰부 제작, 실사 영상 텍스처라는 수준을 충분히 만족할 것으로 기대되었다. 또한 3차원 국토공간정보의 품질평가(제6조)는 대상영역 및 대상객체의 누락에 관한 완전성, 세밀도 및 가시화의 일관성 및 위상 일관성에 관한 논리 일관성, 기준좌표계 및 위치 정보의 정확성에 관한 위치 정확성, 표준데이터 셋의 항목 분류, 속성내용주제의 정확성에 대해서 평가를 실시한다. 연구를 종합해보면 위치정확도와 공간해상도를 충분히 만족하였기에 위의 각 항목에 대해 오류율 5% 이내의 적정품질을 가질 것으로 보인다. 더불어 3D모델 및 점군 데이터와 같은 3차원 공간정보는 BIM 역설계를 통해 형상정보뿐만 아니라 속성정보를 담을 수 있는 건물정보모델로 통합·구축이 가능하다. 건축예정건물에 대하여 건축물 사용승인 현장조사와 함께 공간정보와 형상정보, 속성정보를 포함한 BIM모델을 구축한다면 스마트시티사업 또는 3차원 국가공간정보구축사업에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 연구는 건축물 사용승인 현장조사의 자동화를 통한 조사의 객관성 향상 및 UAV 기술에 대한 활용성 탐구를 목적으로 하며, 건축물 사용승인을

위한 현장조사 및 검사항목 중 건축물 실외정보에 대하여 UAV를 활용한 저고도 항공촬영을 통해 수치사진측량을 실시하고 신뢰도 확보를 위한 지상 표본거리 설정을 통해 얻어진 공간정보를 활용하여 BIM 플랫폼에서 건축물 사용승인 조사 및 검사를 실시하였다. 이를 통해 건축물 사용승인 현장조사 자동화의 가능성을 분석하고 그 실효성 및 활용방안을 도출하였다. 본 연구를 통해 도출한 결과는 다음과 같다.

첫째, UAV를 활용한 저고도 항공촬영, 지상기준점 측량, 데이터 후처리를 통한 공간정보 생성, 공간정보기반 건축물 사용승인조사 실시까지의 일련의 프로세스를 통해 UAV기반의 건축물 사용승인 현장조사 자동화 방안을 제안하였다. 이를 통해 기존의 방식보다 쉽고 빠르며, 위치기준점 및 공간해상도가 확보된 신뢰도 높은 데이터를 기반으로 올바른 의사판단 및 평가가 이루어질 것으로 보인다.

둘째, 건축물 사용승인조사에 대하여 도수측량을 사진측량으로 대체하여 누락 없이 건물 전체에 대한 실외조사가 가능했고, 더불어 건물에 대한 가시적이며 객관적 자료를 통한 직관적 비교를 통해 거리, 높이, 면적 등이 확인 가능했다. 실험을 통하여 건축물 사용승인 현장조사 30개 항목 중 실측이 필요한 실외조사 항목 11개 항목에 관해서 사용승인 자동화가 가능한 것으로 판단된다.

셋째, 그 효율성에 있어 건축물 사용승인 조사뿐만 아니라 더불어 건축물 공간정보를 함께 획득할 수 있으며, 일반적인 건축물 사용승인 조사·검사에 소요되는 시간보다 짧은 시간 내에 건축물 사용승인 조사가 가능했다. 또한 그 신뢰도 또한 건축 허용 오차(건축법 제 20조 관련)를 충분히 만족하였기에 실효성이 클 것으로 보인다.

넷째, UAV를 기반으로 생성된 공간정보는 건축 허용 오차뿐만 아니라 기본공간정보구축규정, 항공사진측량 작업규정, 3차원 국토공간정보구축 작업규정 허용기준을 만족하였다. 이는 국가정책과 연계하여 지적 재조사, 스마트시티, 정사영상 제작, 3차원 국가공간정보구축 등에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

연구결과, UAV를 활용한 건축물 사용승인 조사·검사는 실용적 측면에서 유효한 방법이 될 수 있음을 확인했다. 또한 본 연구를 통해서 UAV기술 도입을 통한 건축물 사용승인 현장조사 자동화 과

정에서 얻어지는 일련의 공간정보는 공유를 통해서 관에서는 모니터링 자료로, 대행 건축사에게는 판단의 기준이 되는 객관적인 참고자료가 될 것이며, 이를 통해 기존에 발생하던 위반 건축물의 목인으로 인한 건축윤리상실, 안전사고발생과 같은 사회적 문제를 해결하고 건전한 건축문화를 만들 수 있을 것으로 기대되었다. 향후, 건축물의 범위를 규모별, 용도별로 한정하여 보편적인 건물 또는 규모가 크고 그 형태가 복잡한 건물일 경우에도 본 연구에서 제시한 현장조사 자동화 방안이 유효한지에 대한 지속적인 후속연구가 진행될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2016R1A2B4015672).

References

1. Kim, H.I., Yu, K.S., Park, K.D. and Ha, J.H., 2008, Accuracy Evaluation of VRS RTK Surveys Inside the GPS CORS Network Operated by National Geographic Information Institute, *Korean Journal of Geomatics*, pp.139-147.
2. Kim, M.I., 2010, A Study on the Agency Business System for Building Permit and Completion Approval, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 26(8), pp.107-116.
3. Kim, D.I., Song, Y.S., Kim, G.H. and Kim, C.W., 2014, A Study on the Application of UAV for Korean Land Monitoring, *Korean Journal of Geomatics*, pp.29-38.
4. Cho, Y.S., Lim, H.M., Choi, S.G. and Jing, S.H., 2014, High Resolution Spatial Information Acquisition using UAV Photogrammetry, *Journal of Safety and Crisis Management*, 10(2), pp.273-287.
5. Lee, K.S., Choi, J.M. and Joh, C.H., 2015, Method to Extract Coastline Changes Using Unmanned Aerial Vehicle, *The Korean Geographic Society* 50(5), pp.473-483.
6. Lee, S.W., Hong, W.H. and Lee, S.Y., 2016, A Study on Slate Roof Research of Decrepit Residential Area by Using UAV, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design* 32(3), pp.59-66.
7. Yun, B.Y., Lee, J.O. and Lee, D.S., 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), pp.123-132.
8. Lim, H.M., 2010, *Construction and Updating of 3D Spatial Information for Small Areas using UAV*, Ph.D. Thesis, Chungbuk Univ.
9. Choi, M.J., 2014, *A Study on the System Improvement of the Field Investigation, Inspection and Agency Business System in the Architecture of the Buildings*, Master's Degree Thesis, Kongju Univ.
10. Choi J.H., 2014, *Accuracy and Economic Feasibility Study of Orthoimage Map Production Using UAV*, Master's Degree Thesis, The University of Seoul.
11. Ryu, J.R., 2016, *A Development and Implementation of Open BIM and GIS Information Convergence based Archi-Urban Spatial Information Model*, Ph.D. Thesis, Kyungpook Nat'l Univ.
12. Jung, A.C. and Jung, K.S., 2014, Research Trend of UAV for Flood Monitoring, *Korean Society of Civil Engineers*, pp.907-908.
13. Pix4D mapper 2.2 Manual, Figure 2. Ideal Image Acquisition Plan – Building, p.12, <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459#gsc.tab=0>
14. Spatial Information Terminology Dictionary, National Geographic Information Institute (NGII), <http://dic.ngii.go.kr/>



이 승 현

2016년 2월 경북대학교 건축학부 건축학전공 공학사
 2016년~현재 경북대학교 건축학과 석사과정
 관심분야: BIM(Building Information Modeling), CAAD(Computer-aided architectural design), 건축 계획·설계, 건축공간정보, 건축정보기술



류 정 립

2009년 2월 대구가톨릭대학교 건축학부 공학사
 2011년 8월 경북대학교 건축학과 공학석사(CAAD/BIM-GIS)
 2016년 8월 경북대학교 건축학과 공학박사(건축공간정보/BIM-GIS)
 2014년~현재 경북대학교 건축학부 겸임교수
 2016년~현재 주식회사 에프엠웍스 사내이사
 관심분야: BIM(Building Information Modeling), CAAD(Computer-aided architectural design), GIS (Geographic Information System), BIM-GIS융합, 건축공간정보



추 승 연

1994년 2월 경북대학교 건축공학과 공학사
 1998년 8월 홍익대학교 건축학과 공학석사
 2004년 2월 뮌헨공대(Technische Universität München) 건축학과 공학박사
 2005년 2월~현재 경북대학교 건축학부 정교수
 2015년 2월~현재 한국CDE학회 재무이사
 2015년 5월~현재 한국주거학회 운영이사
 2015년 5월~현재 친환경설비학회 이사
 2016년 4월~현재 대한건축학회 이사
 관심분야: BIM(Building Information Modeling), Energy-BIM, Digital Fabrication, BIM-GIS 융합, Convergence Technology(3D printer), FM(Facility Management), DFS (Design for Safety)