

# 무인항공기의 국토모니터링분야 적용을 위한 연구

## A Study on the Application of UAV for Korean Land Monitoring

김덕인<sup>1)</sup> · 송영선<sup>2)</sup> · 김기홍<sup>3)</sup> · 김창우<sup>4)</sup>

Kim, Deok-In · Song, Yeong-Sun · Kim, Gihong · Kim, Chang-Woo

### Abstract

UAV(Unmanned Aerial vehicle) could be effectively applied in a field of land monitoring for analyzing disaster area and mapping, because it can quickly acquire image data at low costs. For this reason, we reviewed the legal system related to mapping, and proposed suggestions for improving in legal system, due to introducing the UAV to Korean land-monitoring through this paper. Also, we evaluated spatial and time accuracy of the digital map, which are generated from UAV images that were taken for occasional map updates and disaster detections. As a result, the mean error is about 10m if only GPS/INS data used, while using GCP(Ground Control Points) it is about 10cm. Therefore, we conclude that the UAV could be effective method in korea land-monitoring field

Keywords : UAV, Land-Monitoring, Occasional Map Update, Legal System

### 초 록

무인항공기는 운용비용이 저렴하고 데이터를 신속하게 취득할 수 있는 장점이 있기 때문에 재해지역의 분석, 지도제작 등과 같은 국토모니터링 분야에 효과적으로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 무인항공기의 국토모니터링분야 적용가능성을 평가하기 위해서 지도제작과 관련된 법제도를 검토하고 개선방안을 제시하였다. 또한 수시갱신용 지도제작 및 재난·재해분야 적용 가능성을 살펴보기 위하여 무인항공기 영상을 취득 후 자료처리를 수행하고 정확도를 평가하였다. 자료처리결과 GPS/INS자료만을 이용했을 경우 약 10m, 지상기준점을 이용했을 경우 10cm의 오차를 보였으며, 따라서 국토모니터링분야에 무인항공기를 효과적으로 활용이 가능함을 알 수 있었다.

핵심어 : 무인항공기, 국토모니터링, 수시갱신용 지도제작, 법제도

## 1. 서 론

무인 항공기(UAV: unmanned Aerial Vehicle)는 사람이 탑승하지 않는 항공기를 의미한다. 우리나라의 항공법상에서는 “사람이 탑승하지 아니하는 것으로 무인동력비행장치의 경우 연료의 중량을 제외한 자체중량이 150킬로그램 이하인 무인항공기 또는 무인회전익비행장치, 무인비행선의 경

우 연료의 중량을 제외한 자체 중량이 180킬로그램 이하이고, 길이가 20미터 이하인 무인비행선”으로 규정되어 있다. 무인 항공기는 비교적 가격이 저렴하고, 운용이 용이하기 때문에 과거 주로 정찰, 표적을 위한 군사용으로 많이 사용되어 왔으나, 최근에는 농업분야, 어업분야, 기상관측분야, 통신분야, 엔터테인먼트 분야 등에서 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 광범위한 활용에도 불구하고 측량분야에서는 지형의

1) Member, Geostory Corporation (E-mail: kdikkk@hanmail.net)

2) Member, Dept. of Aerial Geoinformatics, Inha Technical College (E-mail: point196@inhatc.ac.kr)

3) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University (E-mail: ghkim@gwnu.ac.kr)

4) Member, National Geographic Information Institute (E-mail: Jumbo@korea.kr)

Received 2014. 01. 11, Revised 2014. 02. 05, Accepted 2014. 02. 27

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

변화를 탐지하거나 현황과악용 등 그 활용이 비교적 제한적이었다. 그러나, 최근에는 디지털 카메라의 성능향상과 GPS/IMU 등 항법장치의 경량화 및 정밀도 향상 등으로 인해 무인항공기를 이용한 지도제작 및 국토모니터링 등에 활용하고자 하는 시도가 증가하고 있다.

무인항공기를 공간정보분야 적용을 위한 많은 연구가 국내외적으로 수행되어 왔다. 스웨덴의 Rickard *et al.*(2008)은 무인항공기를 이용하여 지도제작을 수행하였다. 사용된 무인항공기는 Yamaha RMAX 모델이며 IMU센서와 GPS 수신기를 장착한 회전익으로 촬영시 위치 정확도를 평가하기 위해서 GPS를 이용한 칼만필터와 SLAM 추정치를 이용하여 평가하였다. 중국의 Lin(2008)은 무인항공기를 이용하여 공간정보구축 및 지도제작을 실시하였으며, 비행체는 무인비행기와 무인비행선을 이용하였으며 카메라는 초광각으로 4방향 촬영 후 하나의 영상으로 모자이크하여 작업을 수행하였다. 일본의 Nagai(2009)은 무인헬기에 GPS, IMU, 카메라, 레이저 스캐너 등을 장착하여 3차원 지도제작을 수행하였다. 연구에 사용된 무인헬기는 Fuji Heavy사에서 제작한 RPH2 모델이며, 장착된 GPS, IMU 센서를 이용하여 direct-georeferencing을 수행, 정밀한 3차원 지도를 제작하였다. 이탈리아의 Bendea *et al.*(2010)은 저가의 무인항공기를 이용하여 유적지의 지도제작을 수행하였다. 사용된 무인항공기는 Pelican 모델이며, 카메라 거치대를 제작하여 연구를 수행하였다.

무인항공기의 장점으로서 신속한 데이터 취득 및 이를 통한 분석을 들 수 있으며, 이러한 특징은 여러 가지 재난-재해 분야에 무인항공기를 효과적으로 활용할 수 있음을 의미한다. 유럽에서는 Aeronautics사의 Aerostar를 이용하여 유럽 국가에서 무인 항공기를 이용한 산불감지 모니터링을 계속적으로 수행하고 있다. 주요목적은 산불을 최대한 빨리 감지하고 대처하기 위함이다. 산불감지를 위하여 일반카메라뿐만 아니라 적외선 열화상카메라를 장착하여 산불감지에 효율을 높이고 있으며, 산불 진압 시 지휘소 역할을 담당하고 있다(www.uvonline.com). 이스라엘에서는 Aero-light 무인항공기에 카메라를 장착하여 오염원의 감지 및 식별에 사용하였다. 적용 분야로 특수 화학 탐지기를 장착하여 오염원 감지를 수행하는 것뿐만 아니라 원자력발전소 주변의 방사능 오염도를 감지하여 중앙관제 센터에 실시간으로 정량적인 자료를 전송하는 시스템을 도입하여 활용하고 있다(http://www.airforcetechnology.com).

국내에서는 무인항공기의 관련연구초연구로서 Kang (2010)은 회전익 항공기의 영상정보를 이용하여 이동물체를

자동으로 추적하고 지상으로 영상 및 기타의 자료를 실시간 전송하는 기술과 관련 이론에 대한 연구를 실시하였다. 특히, 영상 안정화 기법을 적용하여 색상정보에 대한 히스토그램 역투영 알고리즘과 CAMShift 알고리즘이 적용된 컬러기반 표적 추적 영상처리를 통해 정확한 표적인식 및 지속적인 추적 성능의 향상의 성과를 얻었다. Hong(2010)은 RGB 모델과 HSI 모델을 이용하여 추적 대상 객체 컬러를 지정하여, 객체 내의 잡음을 제거하기 위한 모핑 기법을 사용하여 이동체에 대한 추적 시스템을 제안하였다. 그 외에도 무인항공기를 측량용으로 활용하기 위한 다수의 연구가 수행되었다.

무인항공기로부터 취득된 데이터를 지도제작용 데이터로 활용을 하기 위해서는 무인항공기의 카메라 제원과 같은 정확한 데이터가 필요하다. 향후 무인항공기가 국내의 다양한 분야에 활용이 되고 많은 기여를 하기 위해서는 기본적인 연구를 통하여 제도화되고 관련 법규와 작업규정이 제작되어야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 무인항공기에서 취득된 데이터를 분석하여 평면 정확도를 확인하였다. 또한 이 데이터의 처리 결과를 바탕으로 재해지역 및 수시갱신에 활용하기 위한 무인항공기 적용가능성을 평가하였다.

## 2. 국내 무인항공기의 현황 및 관련 규정 검토

### 2.1 무인항공기의 도입현황 및 국토모니터링 활용 사례

국내에 도입된 대표적인 무인항공기는 마이크로드론사의 MD4-200/MD-1000(회전익)이다. 2009년부터 골프장, 토사 붕괴 지역, 토목건설현장 등의 고해상도 촬영을 실시하였고, 최근에는 육군정보학교의 모의 전투실현에 적용하여 현재 사업성을 검증받고 있다. Trimble사의 Gate-Wing X100(고정익)은 현재 국내에서 적용되고 있는 비행체중 유일한 고정익의 비행체이며, 일반적인 항공사진측량 방식으로 구성되어 있다. 국내에서 개발된 (주)공간정보의 AOS-I(8엽기 회전익)은 현재 재해발생의 우려가 있는데 접근이 곤란한 위험 지역의 정기적인 모니터링에 이용되고 있다. 또한 투자자에게 투자유치 후보지역의 3차원 영상정보를 제공하는데도 활용되고 있다.

국내 국토모니터링 측면에서 무인항공기는 크게 재난-재해분야와 시설물관리 분야에서 활용되고 있다. 재난-재해관련 활용사례로서 Jang(2010)은 소형 무인항공기에 gimbal mount를 장착하여 RPV 방식에 의한 원격조정으로 접근 불가능한 붕괴사면을 촬영하여 각 사면의 중-횡단면을 나타내었다. Cho *et al.*(2007)은 무선조종 헬기 영상을 이용하여 절

취단면의 토사유출인자 산정에 대한 연구를 진행하여 대상 지역의 상황변화에 따른 침사지 및 저류지 규모의 변경과 같은 상황에 빠르게 대처하는 방안을 제시하였다. Yoon(2007)은 무인헬기 기반에 화재 감시 시스템을 개발하고자 하였다. 특히 산불 감지를 통해 화재로 인한 피해를 최소화 할 수 있게 테스트 베드상에서 실제 적용 실험을 실시하여 네트워크 기술 및 무인항공 기술을 접목한 새로운 형태의 화재 감시 시스템을 제안하였다. Jang *et al.*(2011)은 무인항공기를 이용하여 해안에 산재한 표찰물을 탐지하는 새로운 방법을 제시하고자 하였다. 특히 고안된 알고리즘은 배경 차감 기법을 적용하여 연구대상 해안의 각기 다른 모래 상태로 인해 발생하는 물체 추출 오차를 감소시키고 해양환경 감시 분야에 활용성을 증대 시켰다. Jung *et al.*(2010)은 무인항공기를 활용하여 3차원 공간정보 제작에 활용한 사례를 제시하였다. 특히 이 연구에서는 변화가 빈번히 발생하는 도시지역의 3차원 공간정보를 신속하게 취득하는 기법과 처리공정을 개발하여 제시하였고, 1/1,000 수치지형도 수치갱신에 적용하여 정량적인 분석을 실시함으로써 향후 공간정보 활용에 신뢰성을 향상시켰다. Cheon *et al.*(2009)은 회전익형 무인항공기에 gimbal mount를 장착하여 토목공사, 건축공사 모니터링을 실시하여 적용가능성과 활용성에 대한 신뢰성을 향상시켰다. Lee *et al.*(2012)은 저도고 기반에서 멀티센서 사진측량 시스템의 캘리브레이션에 대한 연구를 수행하여 무인항공기 영상의 처리효율을 높이는 연구를 수행하였다.

시설물관리 분야에서 Bae *et al.*(2010)은 무인헬기를 이용하여 전력시설물 감시 기술 개발에 대한 연구를 진행하였다. 현재의 전력 시설물 감시는 지상에서 육안으로 실시하여 정비를 판단하고 있다. 이 연구를 통해 최적의 감시 방안을 제시하였고, 새로운 시설물 관리 기법의 방안을 제시하였다. 뿐만 아니라 성우엔지니어링, 유콘시스템에 의해서 송전탑 점검무를 시범 실시하여 활용에 대한 가능성을 제시하였다.

## 2.2 국토모니터링 적용을 위한 법제도의 검토

무인항공기와 관련된 기술들은 획기적으로 발전하고 있으나, 무인항공기를 효과적으로 활용하기 위한 법제도에 대한 검토 및 개선은 미흡한 상황이다. 무인항공기와 관련된 국내의 법으로는 항공법, 항공법시행규칙, 훈령 및 고시에 명시된 규정이 대표적이며, Kim *et al.* (2011)은 항공법 측면에서 무인항공기를 효율적으로 재해탐지분야에 활용하기 위해서 현행 규정을 검토하고 개선방향을 제시하였다. 이 연구에서 재해탐지용 무인항공기 운용의 문제점으로서 무인항공기는 현재 국내 항공법 상 초경량비행장치 범위에 포함될 수 있으나

재해탐지용 무인항공기에 대한 규정이 명시되어 있지 않는 문제점을 언급하였다.

무인항공기를 이용하여 재난·재해, 수시갱신과 같은 지도 제작용으로 활용하기 위해서 먼저 관련 법제도를 검토가 필요하며, 이를 위해서 본 연구에서는 항공법 외에 관련 법 및 규정들을 검토하였다. 국토모니터링 분야에서 무인항공기의 주요 적용분야는 재난·재해분야와 수치지도의 수치갱신 분야로 나눌 수 있다. 우리나라는 현재 자연재해대책법을 통하여 국가 재난·재해와 같은 상황에서 신속하게 재해지도를 작성하도록 규정하고 있다. 자연재해대책법 제21조에 의하면, “지방자치단체의 장은 자연재해를 경감하고 신속한 주민 대피 등의 조치를 위하여 재해지도를 제작 활용하여야 한다.”고 명시되어 있다. 그리고 재해 상황의 기록 및 보존 등을 명시한 제21조의 2에는 피해 원인 분석, 조사 및 복구사업 등에 활용하기 위하여 필요한 경우 공간영상정보 자료를 수집하거나 항공사진측량 등을 수행할 수 있다고 명시되어 있다.

Fig. 1에서 보듯이 자연재해대책법에서는 “재해 공간영상정보 취득”과 “재해지도 작성 중에서 재해정보지도”를 명기하고 있다. 재해 발생 직후부터 일 단위 작업절차와 내용을 살펴보면 먼저 “재해지도 작성기준 등에 관한 지침”에 의거 재해발생 후 1일 이내에 촬영을 실시하여 공간정보를 구축한다. 또한 발생 후 3일 이내에는 초동조사에 필요한 영상 및 중간성과물, 7일 이내에 피해면적산출, 정사영상 등을 소방방재청에 제공함을 원칙으로 한다. 추가적으로 7일 이후에는 국토지리정보원이 보유하고 있는 다양한 공간정보를 이용하여 피해지역에 대한 과거 영상과 비교분석을 실시하며 시계열적인 분석을 실시한다. 위에서 보듯이 항공사진측량을 이용한 재해 공간영상정보 취득과 재해정보지도 작성을 위한 법적 근거는 완비된 상태이다.

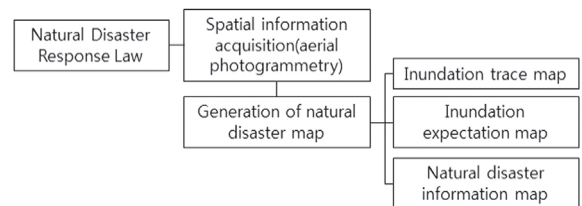


Fig. 1. Spatial information acquisition and mapping of disaster map in the Natural Disaster Response Law

무인항공기의 수치갱신용 지도제작과 관련된 내용으로서 지도제작을 담당하고 있는 국토지리정보원에서는 무인항공기에 대한 작업규정을 제정하기 위한 연구사업이 지속적인

로 수행 중에 있다. “영상지도제작에 관한 작업규정” 제 35 조에 정사영상의 정확도를 평면위치오차는 출력 시 도상 1.0 mm 이내이어야 하고, 인접지역 및 음영지경의 색상변화로 인한 불연속성이 없어야 한다고 명시하고 있다. 재난·재해의 경우 재해정보지도 작성을 위한 근거가 마련되어 있는 반면 지도제작용으로 무인항공기의 활용은 이제 시작 단계이므로 국토지리정보원에서 관련 규정 및 품셈 등이 마련되어야 하고 공공측량규정도 무인항공사진측량의 내용이 포함되어야 할 것으로 사료된다. 위의 내용을 정리하면 다음과 같다.

- ① 작업규정 신설
  - “무인항공사진측량 작업규정(안)”제작 필요
  - 항공사진측량 작업규정, 영상지도제작 작업규정 내용 포함되어야 함
- ② 품셈 제작
  - 무인항공기 촬영 및 영상 후처리 공정에 대한 품셈(안) 제정 필요
  - 신속재해 DB제작 및 정밀 공간 데이터베이스용으로 분리하여 제작 필요
- ③ 공공측량분야
  - 공공측량에 무인항공사진측량 내용 포함
  - (예시) “제50조(무인항공사진측량) 무인항공기를 이용한 영상지도, 수치지도 제작방법 및 기준은 영상지도 제작에 관한 작업규정과 수치지도 작성 작업규칙과 국토지리정보원장이 고시한 무인항공사진측량 작업규정 및 수치지도 작성 작업내규를 적용 한다”

### 3. 정확도 검증을 위한 자료처리 및 분석

#### 3.1 사용 무인항공기 및 데이터 취득

본 연구에서는 무인항공기의 정확도를 평가하기 위해서 수원시 영통구 지역에 대해 무인항공기 촬영을 수행하고 촬



Fig. 2. SmartOne UAV



영 후 처리에 걸리는 시간 및 정확도를 분석하여 무인항공기의 공간정보 활용가능성을 분석하였다. 연구지역 촬영에 사용한 무인항공기는 스웨덴 고정익 SmartOne 장비이고, 사용한 카메라는 Canon S95 모델이다. 촬영 후 전처리는 Aerial Mapper, 후처리는 PhotoModeler S/W를 사용하였다. Fig. 2는 본 연구에서 사용한 무인항공기이며, 무인항공기의 재원은 Table 1과 같다.

Table 1. Specifications of UAV

Category	Specifications
Model	SmartOne
Country	Sweden
UAV Type	fixed-wing
Flight altitude	100 ~ 1,200m
Flight speed	within 50km
Size and weight	size 1.2m, weight 1.2kg
Flight velocity	within 10cm per second
Flight time	40 min
Take off/landing	auto/manual

본 연구에서 사용된 카메라 내부표정요소는 Table 2의 chess-board를 실내촬영 한 후에 PhotoModeler S/W의 camera calibration을 수행하여 도출하였으며, 축별 주점 거리( $f_x, f_y$ ), 주점좌표( $c_x, c_y$ ) 및 왜곡량 계수는 Table 2와 같다.

Table 2. Specifications of S95 digital camera

Focal length(mm)	$f_x$	6.2245e+000	 S95 camera	
	$f_y$	6.2249e+000		
Pixel size(mm)	size	2.0331e-003		
	GSD(mm)	gsd 5.0000e+001		
Principal point(mm)	$c_x$	4.1572e-002		 chess-board
	$c_y$	-3.3731e-002		
Lens distortion (mm)	$k_1$	-5.7822e-002		
	$k_2$	1.6362e-002		
	$k_3$	1.3447e-002		
	$p_1$	1.4977e-003		
	$p_2$	2.0931e-003		
	skew	-1.6186e-002		

연구지역에 대한 항공 삼각측량을 수행하기 위하여 9점의 지상기준점을 사용하였으며, 지상기준점은 대상지역 전체에 분포하도록 취득하였다. 사용된 지상기준점에 대한 좌표는 Table 3과 같고, 좌표계는 UTM(Universal Transverse Mercator)투영법을 사용하였고, 정표고는 Korea 2000 Datum을 사용하였다. 정확도 평가를 위한 검사점은 기준점 외의 점을 사용하여야 하지만 본 연구에서는 실험환경의 제한으로 인해 기준점을 검사점으로 이용하여 정사영상의 위치정확도를 검수하였다.

**Table 3. Control points for aerial triangulation**

	X(m)	Y(m)	Z(m)
GCP1	327469.35	4127200.69	79.16
GCP2	327448.08	4127136.58	74.38
GCP3	327479.66	4127137.74	74.44
GCP4	327500.94	4127196.42	77.89
GCP5	327532.56	4127305.83	78.06
GCP6	327625.56	4127275.50	78.03
GCP7	327555.67	4127189.23	77.88
GCP8	327601.20	4127167.59	78.18
GCP9	327560.76	4127080.43	74.74

무인항공기를 이용한 촬영은 비교적 바람이 적은 날을 택하여 촬영을 하였으며, Fig. 4에서 보는 바와 같이 대상면적은 약 1km<sup>2</sup>로서 데이터 취득 지역, 날짜, 비행고도, 지상해상도, 스트립 등은 Table. 4와 같다. 무인항공기의 영상은 무인항공기 촬영고도 약 250m에서 7스트립으로 43매, 지상해상도 약 5cm급으로 취득되었다. Fig. 3은 전체 대상지역과 비행 경로 및 영상취득지점들을 나타내고 있다.

**Table 4. Study area and description**

	Description
Study area	Suwon-Si, Yeongtong-Gu
Acquisition date	2012.11.07
Acquisition area	0.1km <sup>2</sup>
Flight altitude	250m
GSD	5cm
Number of photo	43
Number of strip	7



**Fig. 3 Study area and data acquisition status**

**3.2. 자료처리 및 정확도 평가**

무인항공기 촬영 후 취득된 영상에 대하여 항공 삼각측량을 수행하고 정사영상을 제작하여 정확도를 비교하였다. 재난·재해가 발생한 지역에 대해서는 지상기준점과 같은 공간정보를 취득하기 어렵기 때문에 기준점 없이 GPS/INS 초기치를 외부표정요소로 활용하여 생성된 성과물의 정확도를 평가하고, 검사점을 이용하여 항공 삼각측량을 수행한 결과를 비교하였다. 무인항공기로부터 취득된 데이터를 이용하여 자료처리를 수행한 절차를 요약해서 정리하면 아래 Table 5와 같다.

**Table 5. UAV data process**

Steps	Description
<b>Plan</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fieldwork and check the take-off and landing place</li> <li>2. Decision of the GSD and the shooting overlap</li> <li>3. Setting of the shooting line</li> </ol>
<b>Photographing</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Take-off</li> <li>2. Photographing with Auto-Pilot</li> <li>3. Landing</li> <li>4. Checking photo storage and photo log data</li> </ol>
<b>Pre-processing</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Copy of the photo and log data</li> <li>2. Export of EOP parameter using Aerial Mapper S/W</li> <li>3. Checking photo number and EOP Parameter</li> </ol>
<b>Import GCP</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sorting photo using PhotoModeler S/W and making point cloud</li> <li>2. Importing GCP</li> <li>3. Measurement GCP on photo</li> </ol>
<b>Post-processing</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Making DSM using PhotoModeler S/W</li> <li>2. Making ortho-photo using PhotoModeler S/W</li> <li>3. Exporting ortho-photo and DSM</li> </ol>

항공 삼각측량은 PhotoModeler S/W를 이용하여 수행하였고, 접합점은 자동으로 추출하였다. 아래 Fig. 4, 5은 항공 삼각측량을 수행한 결과를 이용하여 정사영상 및 자동으로 수치표고모형을 제작한 것이다. 정사영상의 해상도는 5cm급이고, 수치표고모형은 10cm급으로 제작되었다.



Fig. 4. Ortho-photo



Fig. 5. DEM

정사영상은 GPS/INS 초기치와 지상기준점을 이용한 항공 삼각측량의 결과를 이용하여 각각 제작하였고, 9개의 검사점을 정사영상과 중첩한 후 평면상에 발생한 위치오차를 분석

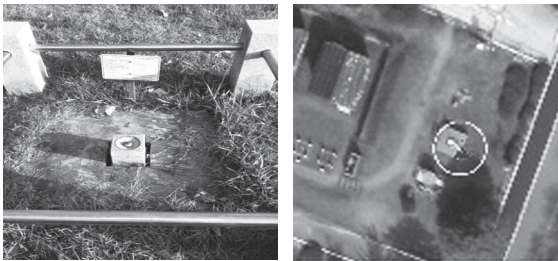


Fig. 6. Assessment of accuracy

하였다. 다음 Fig. 6의 좌측영상은 지상기준점의 위치를 나타내고 있고, 우측은 제작한 정사영상의 위치정확도를 분석하는 그림이다.

위치정확도는 기준점을 사용하여 항공 삼각측량을 수행한 결과와 기준점 없이 GPS/INS 초기치로 제작한 정사영상에 대하여 분석하였다. Table 6은 분석 결과를 나타내고 있다. 지상기준점 없이 항공삼각측량 모델링을 한 정사영상의 경우 약 10m전후의 정확도를 나타내었고, 지상기준점을 사용하여 항공삼각측량 모델링을 수행한 정사영상의 정확도는 표준편차가 10cm 이내로 나타났다. Table 7은 지상기준점의 유무에 따른 항공 삼각측량 및 정사영상 제작의 평균오차와 표준편차를 정리하여 나타낸 것이다. Table 7에서 기준점을 사용한 성과의 경우 엄밀하게는 항공삼각측량의 성과로 볼 수 있다.

재해분야 UAV의 활용은 정확도 보다는 빠르고 신속하게 피해면적을 파악할 수 있는 데이터제작이 우선이다. 따라서 10m의 위치오차는 재난 및 재해와 같이 신속하게 공간정보를 구축하여 현장의 피해상황을 파악해야 하는 경우에 있어서 적용이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 지도제작용으로 사용해야 할 경우에는 국토지리정보원의 지도제작 관련 규정을 만족하는 정확도가 확보되어야 한다.

이러한 기준에 비추어 본 연구에서 무인항공기를 이용하여 항공 삼각측량 및 정사영상을 제작해본 결과, 지상기준점을 사용할 경우 항공 삼각측량의 결과는 “항공 삼각측량 작업내규” 제 54조의 1/2,500 ~ 3,000도화축척을 만족한다. 정사영상의 경우 “영상지도 작업규정” 제 35조의 영상지도의 평면오차는 출력 시 도상 1.0mm이내의 규정에 의하여 1/1,000 축척의 영상지도 제작이 가능한 것으로 나타났다(Table 7).

Table 6. Accuracy of check-points in ortho-photo

	X(m)	Y(m)	No-GCP		GCP	
			DX(m)	DY(m)	DX(m)	DY(m)
GCP1	327469.35	4127200.69	13.28	-2.42	-0.09	-0.05
GCP2	327448.08	4127136.58	14.38	8.64	-0.10	0.11
GCP3	327479.66	4127137.74	9.52	6.73	-0.05	-0.11
GCP4	327500.94	4127196.42	9.06	-3.42	-0.19	-0.01
GCP5	327532.56	4127305.83	10.08	-21.05	-0.14	0.08
GCP6	327625.56	4127275.50	-8.20	-22.14	0.07	0.03
GCP7	327555.67	4127189.23	-2.00	-5.92	-0.04	0.06
GCP8	327601.20	4127167.59	-9.74	-5.11	-0.02	0.06
GCP9	327560.76	4127080.43	8.40	4.90	-0.1	-0.04
<b>Mean</b>			<b>9.41</b>	<b>8.93</b>	<b>0.09</b>	<b>0.06</b>
<b>Standard Deviation</b>			<b>9.97</b>	<b>11.33</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>

**Table 7. Accuracy of aerial triangulation results and ortho-photo**

		GPS/INS Initial value		Ground Control Points		Remarks
		X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	
AT	Mean	10.52	9.98	0.04	0.04	<Article 54, internal rules of aerial photographic surveying law> • Standard satisfaction for making 1/25,000~1/3,000 scale digital map based on GCPs
	Standard Deviation	11.34	11.40	0.06	0.04	
Ortho-photo	Mean	9.41	8.93	0.09	0.06	<Article 35, image map work regulation> • Standard satisfaction for making 1/1,000 scale image map based on GCPs
	Standard Deviation	9.97	11.33	0.10	0.07	

**Table 8. The required time to construct database of 1km<sup>2</sup> area**

	Details	Day/Man
<b>Camera calibration</b>	- Acquisition of camera calibration sheet image - Calculation of camera calibration data	0.3day/man
<b>Photograph acquisition</b>	(1) Preparation ① Input of photograph acquisition area using Google map ② Input of flight altitude and overlapping area ③ Installation of wireless controller for UAV ④ UAV assembly and checkup (2) Aerial photograph acquisition(1km <sup>2</sup> : about 30~40 minute) ① Acquisition area according to flight altitude and GSD(ground sample distance) - 100m altitude (GSD : 3.4cm) : 0.4 km <sup>2</sup> - 150m altitude (GSD : 4.9cm) : 0.5 km <sup>2</sup> ② Acquisition area according to wind speed(flight altitude 150m) - Wind speed 1~3m/s : 0.5 km <sup>2</sup> , - Wind speed 4~7m/s : 0.4 km <sup>2</sup> - Wind speed 7~10m/s : 0.3 km <sup>2</sup> (3) Ground control system installation ① Plain area : 0.5 hour ② Residential and hill area : 1 hour ③ Mountainous area : 2 hour	0.5day/man
<b>Image processing</b>	(1) Image pre-processing using Aerial Mapper S/W ① Raw images download ② Image pre-processing ③ Exterior orientation parameters determination ④ Checking image matching results (2) Ortho-photo generation using PhotoModeler S/W ① Rapidly automatic ortho-photo generation	0.2day/man
<b>Product</b>	(1) Raw aerial photographs (2) Camera calibration data (3) Ortho-photos(mosaic image)	

무인항공기를 이용하여 자연재해 및 수시갱신분야에 적용하기 위해서는 정확도뿐만 아니라 시간적인 측면도 고려되어야 하며, 따라서 본 연구에서는 무인항공기를 이용하여 영상을 취득하고 무 기준점 자료처리를 수행하는데 소요되는

시간을 평가하였고, 그 결과는 Table8와 같다. Table 8의 자료처리 공정에서 카메라 캘리브레이션의 단계는 검증이 완료된 상태라면 데이터를 취득할 때마다 수행할 필요는 없으므로 소요시간을 생략할 수 있다. 자료처리를 위해 사용한

컴퓨터의 재원은 Table 9과 같다.

**Table 9. PC Performance**

	Specification
CPU	Intel Core(TM) i7-3770 3.4G
Memory	4 GB
VGA	NVIDIA Quadro FX4800
HDD	INTEL SSDSC2CT120A3

Table 8에서 보는 바와 같이 1km<sup>2</sup> 지역에 대해서 Table 9에 기술된 장비의 성능으로 자료 처리를 하였을 때, 1일 이내로 공간정보의 생성이 가능한 것으로 평가되었다. 위와 같은 결과는 본 연구에서 사용한 카메라의 해상도와 촬영고도 및 처리 PC의 성능의 의한 결과이며 다른 조건에서는 차이가 날 수 있음을 명시한다.

### 3.3 결과분석

신속재해 모니터링 데이터베이스 구축체계의 핵심적인 장점은 기존 피해조사의 문제점을 해결하는 것이다. 기존 조사방법의 가장 큰 문제점은 인적 답사에 의존하여 피해현장을 조사함으로써 현장여건 및 피해상황에 따라 조사기간 및 조사내용이 일정하지 못하며 전체 지역에 대해 동일한 정밀도로 분석이 어렵고 체계적이지 못하였다. 하지만 무인항공기 등을 이용한 신기술 활용을 통한 신속재해모니터링 데이터베이스 구축체계는 재해 관련 법규에서 정의하는 7일 이내에 초동조사에 필요한 피해현황 등의 정보를 수집할 수 있으며, 현장여건에 상관없이 고해상도 영상을 취득할 수 있다.

무인항공기를 이용한 신속 데이터베이스 구축의 경우 촬영을 마친 후 성과물을 얻기까지 1km<sup>2</sup>당 1일 정도 소요되는 것으로 분석되었다(Table 8). 재난-재해와 같이 급작스러운 상황에서는 정확도 보다는 개략적인 현황과 문제를 분석하는데 초점이 맞추어지기 때문에 이러한 무인항공기 처리속도면 신속하게 데이터베이스를 구축하여 재난-재해 지역의 범위와 피해 범위, 보상 등의 산정 기준을 빠르게 결정할 수 있는 초기 자료로 충분하다고 판단된다. 무인항공기를 통해 구축할 수 있는 있는 공간정보를 위치정확도 및 제작시간에 따라 “신속 공간정보 구축” 과 “정밀 공간정보 구축”으로 프로세스를 구분할 수 있으며, 신속 공간정보구축의 경우 지상기준점측량 없이 촬영 후 정사영상 제작이 가능하여 신속하게 공간정보 구축이 가능한 장점이 있는 반면 10미터 전후의 오차를 포함하는 것으로 나타났다. 정밀 공간정보 구축의 경우

10cm 이내의 높은 정확도로 정사영상 제작이 가능한 반면 기존의 항공사진측량의 방법대로 대상지역에 대하여 지상기준점을 사용하여 항공삼각측량을 수행하여야 한다. 정밀 공간정보 구축의 경우 소규모 지역의 다양한 주제도 갱신이나 다양한 현장측량 작업을 대체하는 공간정보의 구축측면에서 활용성이 높을 것으로 사료된다.

## 4. 결론

본 연구는 최근 활용도가 높은 무인항공기 항공촬영기술을 이용하여 효율적인 국토모니터링을 수행할 수 있는지에 대한 연구이며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 무인항공기의 비행측용 일반카메라와 GPS/INS 초기치를 이용하여 항공 삼각측량을 수행할 경우 정확도는 10m, 지상기준점을 이용하여 항공 삼각측량을 수행할 경우 정확도는 10cm 정도로 나타났다. 이를 바탕으로 무인항공기의 비행측용 카메라로 촬영한 영상에 대해서도 지상기준점을 이용할 경우 높은 정확도의 공간정보를 구축이 가능하다고 판단된다. 향후 무인항공기도 높은 정확도를 요구하는 다양한 지도제작 장비로 활용하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

둘째, 무인항공기는 처리시간 및 정확도에 따라 “신속공간정보구축”과 “정밀공간정보구축”으로 분류할 수 있다. 신속공간정보의 경우 촬영에서부터 후처리 결과를 얻기까지 걸리는 시간이 1일 이내로 기존의 항공기에 비해 처리 시간을 획기적으로 단축할 수 있다. 따라서 재난-재해와 같은 신속하고 빠른 자료획득 및 피해상황을 파악하는 용도로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

셋째, 무인항공기의 활성화를 위해서는 국토지리정보원의 측량 관련법에 대하여 작업규정, 품셈이 제정되어야 한다. 공공측량에도 무인항공사진측량의 분야를 신설하여 무인항공기를 이용한 영상지도제작 및 수치지도 작성작업을 적용토록 해야 할 것이다.

## 5. 고찰

본 연구에서 사용한 무인항공기 및 카메라로 취득된 데이터로부터의 성과만으로 평가결과를 일반화하기에는 무리가 따르며, 국토모니터링 분야에 무인항공기를 보다 체계적으로 활용을 위해서는 무인항공기 및 탑재 카메라에 대한 성능기준 등이 조속히 마련되어야 할 것으로 판단된다.



## 감사의 글

본 연구는 국토지리정보원의 국토모니터링 연구사업의 결과이며 공간영상과 관계자분들께 감사드립니다.

## References

- Ministry of Public Administration and Security (2011), Countermeasures against Natural Disasters Act (in Korean)
- Ministry of Public Administration and Security (2012), Enforcement Ordinance of Countermeasures against Natural Disasters Act (in Korean)
- Ministry of Public Administration and Security (2012), Enforcement Regulations of Countermeasures against Natural Disasters Act (in Korean)
- Ministry of Public Administration and Security (2012), Guidelines for Natural Disaster Investigation and Recovery Plan (in Korean)
- National Emergency Management Agency (2006), Guidelines for Hazard Map Composition Standard (in Korean)
- National Geographic Information Institute (2012), Working Rules of Aerial Photogrammetry (in Korean)
- National Geographic Information Institute (2012), Working Rules of Image Map Production (in Korean)
- Bae, S.G., Koo, H.G., and Hwang, K.S. (2010), Development for Monitoring System for Electric Facilities using an Unmanned Helicopter, *Conference of The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 282-283. (in Korean with English abstract)
- Bendea, H., Cina, A., Piras, M., Marucco, G., and Mulassano, P. (2010), Posizionamento indoor con ricevitori a basso costo: quali prestazioni, *14a Conferenza nazionale ASITA*, Brescia, Italy, pp. 1-5.
- Cheon, J.H., Byeon, Y.S., Yeun, J.S., Song, W.J., Kim, J., and Kang, B.S. (2009), Development of Length-morphing Rotor Blade for Small UAV, *Conference of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, pp. 307-319. (in Korean with English abstract)
- Cho, Y.J., Lee, Y.D., and Jung, B.S. (2007), The Estimation of Soil Erosion Factors of Cutting Slope using RC Helicopter Image, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 10, No. 2, pp. 81-89. (in Korean with English abstract)
- Hong, S. B. (2010), The Camera Tracking of Real-Time Moving Object on UAV Using the Color Information, *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Flight Operation*, Vol.18 No.2, pp. 16-25 (in Korean with English abstract)
- Jang, H.S. (2010), 3D Stereoscopic Terrain Extraction of Road Cut Failure Slope Using Unmanned Helicopter Photography System, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 28, No. 5, pp. 485-491. (in Korean with English abstract)
- Jang, S.W., Lee, S.K., and Yeoun, H.J. (2011), Detection of Marine Debris by using Unmanned Aerial Photograph, *Journal of the Korean Society Of Marine Environment & Safety*, Vol. 17, No. 4, pp. 307-314. (in Korean with English abstract)
- Jung, S.H., Lim, H.M., and Lee, J.K. (2010), Acquisition of 3D Spatial Information using UAV Photogrammetric Method, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 28, No. 1, pp. 161-167. (in Korean with English abstract)
- Kang, T.W., Baek, G.Y., Lee, W.S., Lim, S.W., and Bang, H.C. (2010), Tracking of ground objects using image information for autonomous rotary unmanned aerial vehicles, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 38, No. 5, pp. 490-498. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.B., Kim, M.G., and Yun, H.C. (2011), Improvement of regulations for effective UAV operation in disaster detection, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 31, No. 3, pp. 509-517. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H., Choi, K.A., and Lee, I.P. (2012), Calibration of a UAV Based Low Altitude Multi-sensor Photogrammetric System, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 1, pp. 31-38. (in Korean with English abstract)
- Lin, Z. (2008), UAV for Mapping-Low Altitude photogrammetric survey, *The International Archives*

- of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1, Beijing, pp. 1183-1186.
- Nagai, M. (2009), UAV-Borne 3-D Mapping System by Multisensor Integration, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No. 3, pp. 701-708.
- Rickard K., Thomas S., David T., Gianpaolo C., and Fredrik, G. (2008), Utilizing Model Structure for Efficient Simultaneous Localization and Mapping for a UAV Application, *Proceedings of the 2008 IEEE Aerospace Conference*, Sweden, pp. 1-10.
- Yoon, D.Y. and Kim, S.H. (2007), A Design of Fire Monitoring System Based On Unmanned Helicopter and Sensor Network, *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 17, No. 2, pp. 173-178.  
<http://www.airforcetechnology.com> (last date accessed: 7 February 2014)
- <http://www.uvonline.com> (last date accessed: 7 February 2014)