Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 19, No. 4 pp. 63-68, 2018

https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.4.63
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

RTK-GPS 무인항공사진측량의 위치결정 정확도 평가

이재원*, 성상민
동아대학교 토목공학과

Assessment of Positioning Accuracy of UAV Photogrammetry based on RTK-GPS

Jae-One Lee*, Sang-Min Sung
Dept. of Civil Engineering, Dong-A University

요 약 무인항공사진측량에서 지상기준점(GCP: Ground Control Point)의 설치는 시간과 비용이 가장 많이 소요되는 작업공종이다. 최근 항법센서와 통신기술의 급속한 발전으로 RTK(Real Time Kinematic) 또는 PPK(Post Processed Kinematic) 방식과 같이 지상기준점을 사용하지 않고도 무인항공사진측량이 가능한 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 기체가 활용되고 있다. 본 연구에서는 무기준점에 의한 RTK- UAV 측량의 잠재성을 평가하고자 지상기준점을 사용한 비 RTK(non-RTK)-UAV 측량과 비교 실험을 수행하였다. 즉 지상기준점의 수를 달리하여 비 RTK(non-RTK) 방식의 UAV와 무기준점에 의한 RTK 방식의 UAV로 동시에 촬영하여 획득된 영상으로 제작한 성과물의 위치정확도를 비교 분석하였다. 영상취득은 촬영고도 약 160m에서 Canon IXUS 127 카메라(초점거리 4.3mm, 화소크기 1.3㎛)로 이론적인 GSD는 약 4.7cm이다. 실험결과, 비 RTK 방식에 의한 지상기준점의 수에 따른 위치정확도의 RMSE(평면/수직)는 GCP가 5개인 경우 각각 4.8cm/8.2cm, 4개인 경우 5.4cm/10.3cm, 3개인 경우 6.2cm/12.0cm로 나타났다. 그리고 비 RTK 방식의 무기준점인 경우에는 평면과 수직위치 오차의 RMSE가 각각 112.9cm, 204.6cm로 매우 크게 증가하였다. 하지만 무기준점으로 RTK 방식을 적용한 무인항공사진측량의 경우에는 평면과 수직위치 정확도가 각각 13.1cm, 15.7cm로 비 RTK 방식에 비하여 오차가 현저하게 줄어들었다. 연구결과, 무기준점으로도 정밀한 위치 결정이 가능한 RTK 방식의 무인항공사진측량은 경제성이 크게 증가하여 향후 공간정보 분야에의 활용성이 기대된다.

Abstract The establishment of Ground Control Points (GCPs) in UAV-Photogrammetry is a working process that requires the most time and expenditure. Recently, the rapid developments of navigation sensors and communication technologies have enabled Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to conduct photogrammetric mapping without using GCP because of the availability of new methods such as RTK (Real Time Kinematic) and PPK (Post Processed Kinematic) technology. In this study, an experiment was conducted to evaluate the potential of RTK-UAV mapping with no GCPs compared to that of non RTK-UAV mapping. The positioning accuracy results produced by images obtained simultaneously from the two different types of UAVs were compared and analyzed. One was a RTK-UAV without GCPs and the other was a non RTK-UAV with different numbers of GCPs. The images were taken with a Canon IXUS 127 camera (focal length 4.3mm, pixel size 1.3㎛) at a flying height of approximately 160m, corresponding to a nominal GSD of approximately 4.7cm. As a result, the RMSE (planimetric/vertical) of positional accuracy according to the number of GCPs by the non-RTK method was 4.8cm/8.2cm with 5 GCPs, 5.4cm/10.3cm with 4 GCPs, and 6.2cm/12.0cm with 3 GCPs. In the case of non RTK-UAV photogrammetry with no GCP, the positioning accuracy was decreased greatly to approximately 112.9 cm and 204.6 cm in the horizontal and vertical coordinates, respectively. On the other hand, in the case of the RTK method with no ground control point, the errors in the planimetric and vertical position coordinates were reduced remarkably to 13.1cm and 15.7cm, respectively, compared to the non-RTK method. Overall, UAV photogrammetry supported by RTK-GPS technology, enabling precise positioning without a control point, is expected to be useful in the field of spatial information in the future.

Keywords : Digital Surface Model, Orthoimages, Positioning Accuracy, Real Time Kinematic, UAV-Photogrammetry

*Corresponding Author : Jae-One Lee(Dong-A Univ.)
Tel: +82-51-200-5739 email: leejo@dau.ac.kr
Received February 5, 2018 Revised (1st March 7, 2018, 2nd March 27, 2018)
Accepted April 6, 2018 Published April 30, 2018

1. 서론

최근 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 이용하여 소규모 지역을 대상으로 신속한 공간정보취득이 가능한 무인항공사진측량(UAV Photogrammetry)은 기존의 방법에 비해 시스템 운영의 유연성과 경제성이 탁월한 것으로 입증되고 있다. 특히 고해상도 카메라의 탑재로 대축척 지형도의 수정 및 갱신과 지적경계 설정에도 활용이 가능해 지고 있다[1,2]. 하지만 무인항공사진측량에서 영상등록(image registration)을 위해서는 시간과 경비소모가 큰 지상기준점(GCP: Ground Control Point) 설치 작업이 필수적이다. 기존의 항공사진측량에서는 고가의 GPS/INS 장비를 탑재하여 센서의 위치와 회전각을 관측하여 실시간(RTK: Real Time Kinematic) 혹은 후처리 방식(PPK: Post Processed Kinematic)으로 외부표정요소를 직접 결정하는 Direct Georeferencing 기술의 활용이 보편적이다[3].

최근 이러한 RTK/PPK 방식이 소형 UAV에도 접목되어 지상기준점의 설치 없이도 무인항공사진측량이 가능한 UAV가 활용되고 있다. RTK 방식의 무인항공사진측량은 UAV에 탑재된 GNSS(Global Navigation Satellite System) 수신기와 기지국 또는 VRS(Virtual Reference Station)와 무선이동통신망이나 WiFi로 연결하여 보정데이타를 전송하여 상대측위 기법으로 UAV 위치와 자세를 실시간으로 결정하는 기술이다. 하지만 건물이나 산림 등 장해물로 인한 보정자료의 전송을 위한 통신 연결이 불가능한 경우에는 미지정수의 결정이 float 상태가 되어 위치정확도의 저하가 나타난다. 이때는 후처리 방식에 의한 PPK 기술을 적용하여 위치정확도를 확보하여야 한다. 그리고 RTK 혹은 PPK 무인항공기체는 지상기준점 설치가 필요 없는 장점이 있지만 추가로 특정한 장비와 소프트웨어가 필요하여 장비가 고가인 단점도 있다[4].

소형 UAV에 RTK-GNSS 기술을 적용한 초창기 연구로는 독일에서 상시관측소(SAPOS)와 모뎀으로 연결하여 상대 측위를 실시한바 있다. 본 실험에서는 기체에 처리 장치를 탑재하지 않아 모든 자료를 WiFi 망을 통해 지상으로 전송 후 처리하는 과정에서 연결이 단락되어 결과 정확도의 확보가 어려웠다[5]. 그 후 이러한 단점을 보완하고자 2 주파수 GPS 수신기(Novatel)와 기계식 IMU(ADIS 16488)을 탑재하여 위치정확도 5cm, 자세각 0.5deg의 결과로 무인항공사진측량의 가능성을 제시하였다[6]. 최근에는 이에 더하여 RTK 적용 시 횡스트립의 및 기준점 수에 따른 위치결정의 정확도 변화를 분석하거나 Lever arm과 시각동기화의 영향 등을 고려하는 연구가 활발히 진행되고 있다[7,8]. 한편 국내 관련분야의 연구로는 도시방재정보 구축목적으로 약 $0.6km^2$ 면적에 PPK GNSS 방식을 적용한 결과 위치정확도 수평 8cm, 수직 12cm가 가능하고, 기존 방식과 비교하여 시간적으로는 40%의 절약이 가능함을 제시하였다[9].이상과 같이 무기준점에 의한 RTK/PPK GNSS 무인항공사진측량의 적용 가능성과 활용성이 급속히 증가하고 있는 추세에 비하여 국내의 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 RTK-GNSS 기반의 무인항공사진측량의 실험을 통하여 국내 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 자료 취득 및 처리

2.1 연구 방법

RTK 방식의 무인항공사진측량의 정확도를 검증하기 위해 연구대상지역 내의 지형지물을 이용하여 총 5개의 기준점과 8개의 검사점을 VRS-GPS 측량으로 좌표를 취득하였다. 그 후 RTK 방식의 무인항공기체와 RTK 방식이 아닌 일반 무인항공기체를 동일한 조건에서 촬영하여 그 결과를 상호 비교하였다. 그리고 지상 기준점의 영향을 분석하기 위하여 지상기준점 5, 4, 3점을 사용한 비 RTK 방식과 지상기준점을 사용하지 않은 비 RTK 방식, 무기준점에 의한 RTK 방식 및 지상기준점 2점을 이용한 RTK 방식으로 6개의 경우로 나누어 촬영 및 분석하였다(Fig. 2). 그 후 각각의 경우에 따라 정사영상과 DSM을 제작하고, 평면위치 정확도와 수직위치 정확도를 추출하여 상호 비교하였다. 본 연구의 전체적인 흐름도는 Fig. 1과 같다.

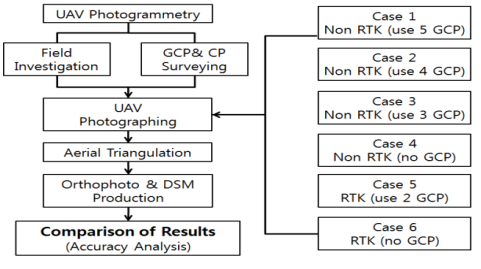

Fig. 1. Study flowchart

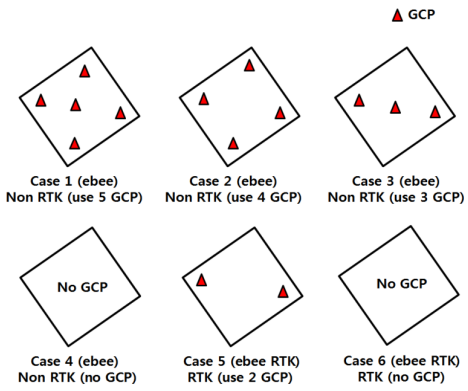

Fig. 2. GCP allocations for each case

2.2 연구대상 지역

본 연구의 대상지는 부산광역시 기장군에 소재하는 농경지, 주거지, 하천 및 일부 산지로 이루어진 지역이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 약 500m × 500m의 면적으로 촬영하였다.

Fig. 3. Location of study area(google map)

2.3 지상기준점 및 검사점 측량

무인항공 촬영 전에 Fig. 4와 같이 연구대상지역내에 위치한 맨홀의 모서리, 건물의 모서리 등 명확한 지형·지물을 선정하여 측량을 수행하고 이를 지상기준점과 검사점으로 이용하였다.

Fig. 4. GCPs & CPs Survey

Fig. 5는 지상기준점과 검사점의 분포도이며, 지상기준점은 대성지의 각 외곽에 1점씩을 배치하고 중앙에 별도로 1점을 추가하여 블록의 기하적 안정성을 높이고자 하였다.

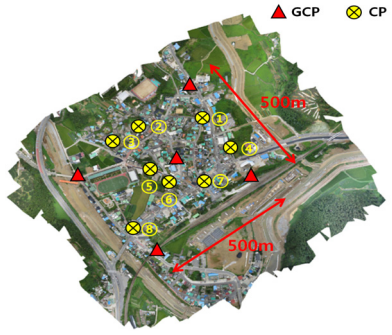

Fig. 5. Distribution of GCPs and CPs

2.4 영상취득 및 처리

무인항공영상의 촬영은 고정익 기체인 senseFly사의 ebee모델과 ebee RTK 모델을 이용하였다. 이 두 기체의 모습은 Table 1의 사진과 같으며, 각 기체의 제원을 함께 수록하였다. 두 모델의 기체에 장착된 카메라는 Canon IXUS 127 모델로 초점거리 4.3mm, 픽셀크기는 1.3㎛, 화소수는 24MP이다.

Table 1. Specifications of ebee and eBee RTK

Payload	senseFly ebee	senseFly ebee RTK
Appearance		
Weight	0.69 kg	1.1 kg
Flight time	max 50minute	max 59minute
Flight speed	11-25m/s	11-30m/s
GNSS/RTK receiver	no	L1/L2, GPS&GLONASS
use GCPs	Optional	Not required (RTK on) Optional (RTK off)

촬영조건은 앞에서 설명한 바와 같이 동일한 비행고도 160m에서 GSD 4.6cm로 동일한 중복도(P=70%, Q=60%)로 촬영하여 각각 약 300매의 영상을 취득하였

다. 촬영면적은 RTK 기체가 0.93km^2이며, 비 RTK 기체는 0.73km^2이다. 이와 같은 면적의 차이는 서로 다른 기체의 비행경로 설정시에 스트립 수의 차이에서 발생하였다. 다만 영상의 외곽부분의 면적이 늘어나 영상 중심 부근에 위치하고 있는 검사점의 정확도 성과에는 큰 영향을 미치지 않는다. (Table 2)

Table 2. Flight parameters for UAV images

Flight parameters \ UAV	eBee RTK	eBee
Altitude	160m	160m
Area	0.93km^2	0.73km^2
Number of strips	16	12
# images	300	219
GSD	4.6cm	4.6cm
Overlap	P=70%, Q=60%	P=70%, Q=60%

촬영 영상의 처리는 Agisoft사의 Photoscan을 사용하여 모든 경우에 대하여 AT 작업과 dense image 매칭 과정을 거쳐 정사영상과 DSM을 제작하였으며, Fig. 6에는 이들에 대한 가독성을 위해 대표적인 Case 1과 Case 6의 성과물만 나타내었다.

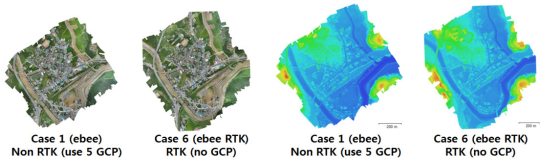

Fig. 6. Orthoimages and DSM

3. 결과분석

3.1 분석 방법

지상기준점의 개수가 무인항공사진측량의 평면 및 수직 위치정확도에 미치는 영향을 분석하기 위해 비 RTK 방식으로 지상기준점을 5개, 4개, 3개를 이용하여 획득한 성과물의 위치 정확도와, 무기준점에 의한 RTK 방식 무인항공사진측량(case 6)의 위치 정확도를 비교 분석하였다. 아울러 RTK 방식에서 지상기준점 2개를 사용한 결과(Case 5)와 무기준점에 의한 비 RTK 방식(Case 4)도 동시에 비교하여 RTK 방식의 효율성을 비교검토하였다. 모든 경우에 대하여 8개 검사점 좌표의 결과값들에 대한 잔차를 계산하여 평균제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error)를 산출하였다. 또한 아래의 Table 3의 "항공사진측량작업규정의 도화축척별 평면위치와 표고의 잔차 기준"을 참고하여 정확도를 평가하였다.

Table 3. Accuracy Standards for Photogrammetry Regulation

Map scale	standard deviation (m)	maximum error (m)
1/500～1/600	0.14	0.28
1/1,000～1/1,200	0.20	0.40
1/2,500～1/3,000	0.36	0.72
1/5,000	0.72	1.44
1/10,000	0.90	1.80
1/25,000	1.00	2.00

3.2 평면 위치 정확도

3.1에서 제시한 분석 방법에 따라 산출된 검사점들에 대한 평면위치의 잔차값에 대한 RMSE는 Table 4와 같다.

Table 4. Residuals at horizontal check points in RMSE(unit:cm)

CP no.	Case 1			Case 2			Case 3		
	dx	dy	Dxy	dx	dy	Dxy	dx	dy	Dxy
1	2.0	0.6	2.1	3.0	3.6	4.7	1.9	6.4	6.7
2	1.9	0.8	2.1	5.9	2.8	6.5	-3.0	-4.6	5.5
3	-4.4	-0.2	4.4	-3.8	2.2	4.4	4.7	4.3	6.4
4	-0.6	2.6	2.7	0.1	3.7	3.7	3.7	-4.6	5.9
5	-0.2	-4.0	4.0	-0.3	-4.0	4.0	-4.9	2.4	5.5
6	-2.6	2.0	3.3	-5.6	1.1	5.7	-1.7	6.8	7.0
7	-6.6	-0.9	6.7	-5.7	-2.0	6.0	-1.2	-3.5	3.7
8	-6.7	2.8	7.3	-4.7	-0.2	4.7	-5.1	-1.2	5.2
Max	-		7.3	-		6.5	-		7.0
RMSE	4.2	2.3	4.8	4.5	2.9	5.4	3.8	4.9	6.2
CP no.	Case 4			Case 5			Case 6		
	dx	dy	Dxy	dx	dy	Dxy	dx	dy	Dxy
1	-75.4	-0.9	75.4	1.9	-3.9	4.4	4.3	-16.3	16.9
2	-93.9	67.8	101.6	-6.3	-3.1	7.0	0.5	3.2	3.2
3	-104.4	56.2	108.5	5.1	-5.7	7.6	1.2	-1.1	10.2
4	-102.4	69.2	110.2	-1.1	5.0	5.1	6.8	7.7	10.3
5	-97.6	74.0	106.7	-3.6	-6.1	7.1	-2.4	-13.8	14.0
6	-99.2	82.9	110.5	0.7	3.7	3.8	-22.7	9.1	24.5
7	-105.0	72.9	113.6	-5.5	-4.8	7.3	-0.1	-8.9	8.9
8	-101.1	65.3	120.4	-1.7	5.5	5.7	2.1	4.3	4.8
Max	-		120.1	-		7.6	-		24.5
RMSE	104.5	70.2	114.0	4.1	5.2	6.6	9.2	10.1	14.2

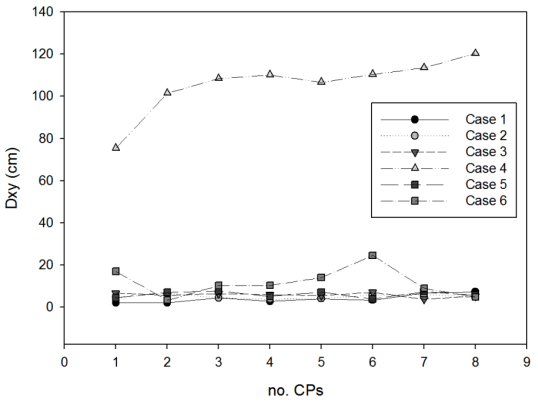

Fig. 7. Residuals at horizontal check points in RMSE

먼저 지상기준점의 개수에 따른 위치정확도를 분석하기 위해 비 RTK 방식에서 5개, 4개, 3개의 지상기준점을 사용한 결과를 비교하였다. 비교 결과 5개(Case 1)를 사용한 결과는 평면위치 RMSE 값이 4.8cm, 최대값 7.3cm로 매우 우수한 결과임을 알 수 있다. 4개(Case 2)의 경우 평면위치 RMSE 5.4cm, 최대값 6.5cm, 3개(Case 3)의 경우 평면위치 RMSE 6.2cm, 최대값 7.0cm의 결과로 지상기준점의 개수가 감소할수록 평면위치 정확도가 대략 0.6cm 정도로 일정하게 낮아지는 결과를 나타내었다.

무기준점에 의한 RTK 방식인 Case 6의 경우에는 평면위치 RMSE 값이 14.2cm, 최대값 24.5cm로 5개의 지상기준점을 사용한 Case 1에 비하여 정확도가 약 3배 정도 낮아지고 있음을 알 수 있다. 하지만 Table 4의 "항공사진측량작업규정의 도화축척별 평면위치와 표고의 잔차 기준" 에서 1/1,000 ~ 1/1,200 도화축척의 표준편차와 최대값의 기준을 만족함을 확인할 수 있다.

또한 무기준점의 RTK 방식(Case 6)과 무기준점의 비 RTK 방식(Case 4)의 경우 Fig. 7과 같이 지상기준점을 사용한 경우인 Case 1, 2, 3, 5와 비교하여 각 검사점 마다 오차의 크기가 균일하지 않고 평면위치 RMSE 값에 비하여 큰 크기의 오차가 일부 검사점에서 발생하고 있어 정밀 위치결정에 활용 시에는 매우 유의하여야 함을 알 수 있다.

마지막으로 무기준점에 의한 비 RTK 방식인 Case 4의 경우 대부분의 검사점에서 1m를 초과하는(RMSE 112.9cm) 오차를 보여주고 있어 측량분야에의 활용은 불가능함을 알 수 있다.

3.3 수직 위치 정확도

평면위치 정확도와 마찬가지로 3.1에서 제시한 분석방법에 따라 산출된 검사점들에 대한 수직위치의 잔차값에 대한 RMSE는 Table 5와 같다.

Table 5. Residuals at vertical check points in RMSE(unit:cm)

CP no.	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
	dz	dz	dz	dz	dz	dz
1	7.6	8.6	12.3	236.1	11.3	15.2
2	5.1	9.4	12.4	256.1	10.3	16.7
3	8.6	9.5	9.6	165.2	12.3	14.5
4	9.2	10.3	8.3	198.1	12.3	12.7
5	9.5	9.6	12.3	121.4	10.4	11.7
6	5.5	5.5	11.6	201.3	10.8	10.3
7	8.1	10.6	12.3	153.3	10.3	16.4
8	6.1	12.3	10.3	162.3	11.8	18.2
Max	9.5	12.3	12.4	256.1	12.3	18.2
RMSE	8.2	10.3	12.0	204.6	12.0	15.7

먼저 비 RTK 기체로 촬영하여 지상기준점을 5개 사용한 Case 1의 경우에는 RMSE가 8.2cm로 상당히 우수한 결과이다. 4개를 사용한 Case 2의 경우 RMSE가 10.3cm, 3개를 사용한 Case 3의 경우 RMSE가 12.0cm의 결과로 평면위치와 마찬가지로 지상기준점의 개수가 감소할수록 대략 2.0cm 정도로 일정하게 낮아지는 결과를 나타내었다.

무기준점 RTK 방식인 Case 6의 경우에는 RMSE가 15.7cm로 Case 1에 비하여 약 2배정도 커지고 있다. 하지만 평면위치의 경우와 달리 각 검사점에서 잔차의 크기 변화가 심하게 발생하지 않고 있다. 마지막으로 무기준점으로 비 RTK 방식인 Case 4의 경우에는 RMSE가 204.6cm로 매우 커지고 있어 비 RTK 방식에서는 지상기준점의 설치가 필수적임을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 RTK GNSS 방식으로 무기준점으로 무인항공사진측량을 수행하여 위치결정 정확도를 평가하여 이의 활용 가능성을 제시하고자 하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 평면 및 수직위치정확도는 지상기준점의 개수의 감소에 비례하여 일정한 정확도 저하의 결과를 확인

할 수 있었다.

둘째, 평면위치 결정의 정확도는 비 RTK 방식의 지상기준점 5개를 사용한 경우 RMSE 오차가 약 4.8cm, 무기준점에 의한 RTK 방식인 경우에는 13.1cm로 나타났다. 이 결과는 "항공사진작업규정의 도화축척별 평면위치와 표고의 잔차 기준"의 1/1,000~1/1,200 도화축척의 표준편차와 최대값의 기준을 만족함을 확인할 수 있다.

셋째, 수직위치 결정의 정확도는 비 RTK 방식의 지상기준점 5개를 사용한 경우 RMSE 오차가 약 8.2cm, 무기준점에 의한 RTK 방식인 경우에는 15.7cm를 얻을 수 있었다.

넷째, 무기준점의 RTK와 비 RTK 방식의 경우 검사점별로 오차의 크기가 균일하지 않고 RMSE값에 비하여 큰 크기의 오차가 발생하므로 정밀 위치결정에 활용 시에는 크게 유의하여야 함을 알 수 있다.

다섯째, 지상기준점을 사용하지 않고도 평면 13.1cm, 수직 15.7cm의 위치 정확도 성과를 나타내는 RTK 방식의 무인 항공사진측량은 경제성이 크게 증가하여 향후 공간정보 분야에의 활용성이 기대된다.

본 연구의 결과는 특정 기종의 UAV를 이용하여 비교적 제한된 크기의 대상지역에 적용한 결과이므로 다른 기종의 UAV를 이용하여 다른 지형에 적용한 결과의 도출로 RTK-GNSS 무인항공사진측량의 보편적인 정확도 특성 분석이 필요하다.

References

[1] S. M. Sung and J. O. Lee, "Accuracy of Parcel Boundary Demarcation in Agricultural Area using UAV-photogrammetry", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 34, no. 1 pp. 53-62, 2016.
DOI: https://doi.org/10.7848/ksgpc.2016.34.1.53

[2] S. B. Lim, O. C. Seo and H. C. Yun, "Digital Map Updates with UAV Photogrammetric Methods", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 33, no. 5 pp. 397-405, 2015.
DOI: https://doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.5.397

[3] H. Burman, "Calibration and Orientation of Airborne Image and Laser Scanner Data Using GPS and INS", Dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2000.

[4] Pix4D[cited 2017 Aug 29], Available From: https://pix4d.com/rtk-ppk-drones-gcp-comparison(accessed Feb., 25, 2018)

[5] M. Rieke, T. Foerster, J. Geipel and T. Prinz, "High-Precision Positioning and Real-Time Data Processing of UAV-Systems", IASPRS, Volume XXXVIII-1/C22, pp. 119-124, 2011.

[6] C. Elling, L. Klingbeil, M. Wieland and H. Kuhlman, "A Precise Position and Attitude Determination system for Lightweight Unmanned Aerial Vehicles", *IAPRS,* vol. XL-1/W2, pp. 113-118, 2013.
DOI: https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-113-2013

[7] M. Gerk and, H. J. Przybilla, "Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTK-GNSS and Cross Flight Patterns", Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG), no. 1 pp. 17-30, 2016.

[8] H. Fazeli, F. Samadzadegan and F. Dadrasjavan, "Evaluating the Potential of RTK-UAV for Automatic Point Cloud Generation in 3D Rapid Mapping" *IAPRS,* Volume XLI-B6, pp. 119-124, 2016.
DOI: https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B6-221-2016

[9] J. K. Park and M. G. Kim, "PPK GNSS System based UAV Photogrammetry for Construction of Urban Disaster Prevention Information", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol. 7, no. 4 pp. 355-362, 2017.
DOI: https://doi.org/10.14257/AJMAHS.2017.04.83

이 재 원(Jae-One Lee) **[정회원]**

- 1984년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 독일 Hannover 대학교 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 2006년 2월 : 대한측량협회(現:공간정보산업협회) 연구개발실장
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수

<관심분야>
측량학, 사진측량

성 상 민(Sang-Min Sung) **[정회원]**

- 2016년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (박사수료)

<관심분야>
측량학, 사진측량