

3D 제작과 정사영상 생성을 위한 UAV 최적 촬영 조건 연구

A Study on the Optimal Shooting Conditions of UAV for 3D Production and Orthophoto Generation

조정민¹⁾ · 이종석²⁾ · 이병길³⁾

Cho, Jungmin · Lee, Jongseok · Lee, Byoungkil

Abstract

Recently studies on how to use the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) are actively being conducted, and the National Geographic Information Institute published the 『Work Guidelines for Public Surveying of Unmanned Aerial Vehicles』. However, the guidelines do not provide the optimum shooting conditions required for each application. In this study, we tried to find the suitable shooting conditions for the production of 3D (Three-dimensional) spatial information and orthophoto. To this end, 45 experiments were conducted by various altitudes, overlaps, and camera angles within an above ground level of 150m. For evaluating the 3D modeling by shooting conditions, point densities of 9 verification areas were analyzed, and to evaluate the orthophotos, 1/1,000 digital maps were compared. Considering the quality of the output and the processing time for precise 3D construction, an altitude of 50m, an overlap of 70~80%, and a camera angle of 80~90° are suitable as shooting conditions, and an altitude of 100m and camera angle of 80~90° are suitable for orthophoto generation.

Keywords : UAV, Flight Height, Overlap, Camera Angle, Point Cloud, Orthophoto

초 록

최근 무인비행장치의 활용방안에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이를 지원하기 위해서 국토지리정보원은 『무인비행장치 이용 공공측량 작업지침』을 제정하였다. 하지만 작업지침에는 각 활용 분야에 필요한 최적의 촬영 조건은 제시되어 있지는 않다. 본 연구에서는 측량분야에서 많이 활용되는 3D 공간정보, 정사영상 제작에 적합한 촬영 조건을 알아보려고 하였다. 이를 위해 특별승인을 받지 않아도 비행할 수 있는 고도 150m 이내에서 다양한 고도, 중복도, 촬영각도에 따라 45번의 실험을 진행하였다. 3D 모델링의 촬영조건별 품질을 파악하기 위해 총 9 곳의 검증영역의 점밀도를 분석하였으며, 정사영상과 1/1,000 수치지도를 비교하였다. 결과물의 품질과 작업시간을 고려할 때, 정밀 3D구축을 위해서는 촬영고도 50m 중복도 70~80% 촬영각도 80~90°의 촬영조건이 적합하고, 정사영상 제작에는 촬영고도 100m 촬영각도 80~90°의 촬영조건이 적합함을 알 수 있었다.

핵심어 : 무인비행장치, 비행고도, 중복도, 촬영각도, 포인트 클라우드, 정사영상

Received 2020. 11. 22, Revised 2020. 11. 26, Accepted 2020. 12. 08

1) Member, Undergraduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University (E-mail: whwjalds0302@naver.com)

2) Member, Ph.D. Student, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University (E-mail: jstrend@naver.com)

3) Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University (Email: basil@kgu.ac.kr)

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.

1. 서론

UAV는 과거 군사목적용으로 사용되었으나, 근래에는 다양한 센서들을 장착하여 군사목적 이외의 용도로 사용이 가능해졌다. UAV를 이용하여 항공사진측량 후 도출 가능한 결과물은 DEM (Digital Elevation Model), DSM (Digital Surface Model), DTM (Digital Terrain Model), Point Cloud, 정사영상 등이 있으며, 위 결과물에 대해서 각 분야별 실용성에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 실생활에 적용되기에 이르렀다. Lee *et al.* (2016)은 UAV 사진측량을 이용하여 산림훼손지역의 현황 분석 등을 진행하였으며, Lee *et al.* (2020b)은 UAV를 이용하여 촬영각도별 항공사진촬영을 하고 DSM과 DTM을 제작하여 건축물 대장에 적용하였으며, Lee *et al.* (2020a)은 UAV 영상을 이용하여 DTM을 제작하였고 토석류 수치해석에 활용하였다. Lee and Park (2018)은 지적재조사 사업을 위해 정밀도로지도 구축을 위해 MMS (Mobile Mapping System) 등을 사용하였으나, MMS를 이용한 정확한 자료를 획득하기 어려운 구간에서는 UAV 등을 이용하여 보완할 수 있다고 하였다.

UAV의 촬영 조건에 관한 연구로 Vallet *et al.* (2011)은 GCP (Ground Control Point) 12개를 사용하여 고도 100, 150m에서 취득한 데이터를 이용한 결과 10~15cm가량의 정확도를 보인다고 하였고, Küng *et al.* (2011)은 Pix4D 소프트웨어를 이용하여 GCP를 사용하지 않는 경우 2~8m 가량의 오차가 발생하며 GCP를 사용하는 경우 오차를 5~20cm 까지 줄일 수 있다고 하였고, Harwin and Lucieer (2012) 등은 UAV를 이용하여 1~3cm의 점 간격이 떨어진 고정밀 포인트 클라우드를 제작할 수 있다고 하였다. 또한 Neitzel and Klonowski (2011)는 다양한 프로그램을 통해 포인트 클라우드를 제작하여 이를 비교함으로써 점밀도에 따른 정성적 평가를 실시하였다. Rosnell *et al.* (2011)은 UAV를 이용하여 계절에 따른 포인트 클라우드의 변화를 연구하였다. Lee and Lee (2017)는 고도 100m, 중복도 70%, 촬영각도 65°, 90°의 조건에서 벽면에 대한 점의 매칭 성과를 정량적으로 비교 분석하여 고경사로 촬영된 영상이 저경사로 촬영된 것에 비해 벽면이 더 잘 모델링 된다고 하였다.

국토지리정보원의 『무인비행장치 이용 공공측량 작업지침』 제3장 무인항공사진 촬영, 제13조(촬영계획)에는 평탄한 저지대 지역에서는 횡 65% 중 60%, 매칭점이 부족하거나 높이차가 있는 지역에서는 횡 75% 중 70%, 높이차가 크거나 고층건물이 있는 지역에서는 횡 85% 중 80%의 중복도로 촬영하여야 한다고 되어 있으나, 3D 공간정보 제작이나 정사영상 제작에 적합한 촬영 조건이 구체적으로 제시되어 있지 않다. 또한 세계적인 UAV 제조 회사인 DJI사에서는 Phantom4 RTK를 이용할

때 2D 정사영상 제작의 기본값은 촬영경로는 단일 격자이며, 촬영각도는 90° 횡중복 80% 중중복 70%를 권장하고 있으며, 3D 구축의 경우 촬영경로는 이중 격자이며 촬영각도는 60° 횡중복 80% 중중복 80%를 권장하고 있어 촬영고도에 대한 조건이 누락되어 있다. 이와 같이 선행연구 등에서 측량분야에서 많이 수행되고 있는 3D 공간정보 구축과 정사영상 제작을 위한 최적 촬영조건이 제시되고 있지 않기 때문에, 본 연구에서는 두 가지 활용분야를 위한 최적 촬영조건을 도출하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 특별비행승인 없이 촬영가능한 고도인 50m, 100m, 150m 촬영고도에서 중복도와 촬영각도를 조정된 실험 결과를 분석하여 최적 촬영조건을 제시하였다.

2. 실험 방법

연구대상지역은 경기대학교 수원캠퍼스 공과대학 부근으로 집현관, 공대실습실, 광고관, 육영관, 창업보육센터가 포함되며, 면적은 약 13,000m²이다(Fig. 1). 연구 대상 지역은 공역이므로 비행승인신청 및 항공사진촬영허가를 얻었다. UAV를 이용하여 고도 150m를 초과하여 운용 시 특별승인을 받아야 하므로 본 연구에서는 경기대학교 수원캠퍼스 집현관 옥상에서 AGL (Above Ground Level) 50m, 100m, 150m 에서 촬영하였다. 중복도는 60%, 70%, 80%를 사용하고, 촬영각도는 연직방향을 90°로 하여 80°, 70°, 60°, 50°를 사용하였다. 이 때 중복도는 중중복과 횡중복을 동일하게 하고 촬영각도는 기체의 비행방향으로 전방을 향하도록 하였으며, 이중격자 촬영이 되도록 비행경로를 설정하였다. 이와 같이 촬영고도, 중복도, 촬영각도를 조합하여 총 45회의 촬영을 시행하였다. 촬영에는 Phantom4 RTK 장비를 이용하였으며, 기지국은 국토지리정보원 RTCM-SWUN31을 사용하였다. UAV 촬영당시 위성은 최소 30개 이상 수신되었다. 촬영시간은 오전 11시에서 오후 2시 사이에 촬영하였으며, 기상이 맑은 경우만 촬영하였다. 카메라 설정은 자동으로 하였으며, f(조리개)값은 4.0~5.6 정도로 관측되었으며, 셔터스피드는 1/320~1/400 정도로 관측되었다. 카메라는 DJI사의 내장카메라를 이용하였다. UAV 및 카메라의 제원은 Table 1과 같다.



Fig. 1. Study area in Kyonggi university

Table 1. Specifications of Drone and camera

Phantom4 RTK	
Weight	1,391g
Flight Time	approx. 30minutes
GNSS System	GPS+BeiDou+Galileo+GLONASS
Multi-Frequency Used	L1,L2,B1,B2,E1,E5a
Precision RTK GNSS	Horizontal 10mm +1ppm RMS / Vertical 15mm +1ppm RMS
Gimbal Controllable Range	3-axis , -90~30°
Camera Sensor	1" CMOS; Effective pixels: 20 M
Lens	FOV 84° ; 8.8 mm / 24 mm
Max Image Size	5472×3648(3:2)
Photo	JPEG, RGB

GCP (Ground Control Point)와 CP (Check Point)는 VRS-RTK를 이용하여 측량하였으며, 평균 PDOP는 2.2, 평균 RMSE는 3.05cm를 얻어, 『공공측량 작업규정』의 네트워크 RTK 측량 규정 중 허용 정밀도 규정인 수평 0.05m, 수직 0.1m 및 PDOP 3 이하를 만족하였다. 측량 결과는 Table 2과 같다.

Table 2. GCP and CP survey result

Name	NX(m)	EY(m)	Elev(m)
KY701	522471.18	203394.47	102.27
KY702	522467.44	203384.57	102.57
KY708	522415.38	203434.37	101.65
KY709	522383.75	203433.60	101.89
...			
ky732	522432.63	203562.71	95.13
ky737	522292.76	203546.25	102.74

GCP배치의 형태는 Kim *et al.* (2018)의 연구결과에 따라 외각에 4개 이상 그리고 그 내부에 다수의 지상기준점을 사용하여 총 18점을 사용하였다. Fig. 2는 지상기준점(청색)과 검사점(적색)의 배치를 나타낸다. 촬영경로는 DJI사의 전용 컨트롤러 3D 구축 기능을 이용하여 자동으로 설정하였다. Fig. 3는 고도 50m 중복도 60% 촬영각도 90° 조건에서의 촬영경로이다.



Fig. 2. Distribution of GCPs and CPs



Fig. 3. Drone path

3. 실험 결과

3.1 정확도 평가

18점의 GCP를 사용하여 사진기준점측량을 수행한 결과 RMSE (Table 3)는 1.2cm ~ 4.2cm로 나타났으며, 촬영 고도에 따라 증가하였다(Table 4).

Table 3. Accuracies of aerial triangulation

AGL(m)	Overlap (%)	Camera Angle (°)	RMSE (cm)
150	80	90	2.7
150	80	80	1.9
150	80	70	3.2
...
50	60	80	2
50	60	70	2
50	60	60	1.3
50	60	50	1.3

Table 4. RMSE according to AGL

AGL (m)	RMSE (cm)
50	1.85 ± 0.44cm
100	2.59 ± 0.56cm
150	3.31 ± 0.63cm

Table 5. Accuracy of observation using CPs

Observation	Max Error(m)			RMSE Error(m)		
	E	N	H	E	N	H
50m 80% 50°	0.023	-0.033	-0.034	0.011	0.018	0.017
50m 80% 60°	0.024	-0.030	-0.076	0.013	0.015	0.044
50m 80% 70°	0.029	-0.011	-0.099	0.017	0.007	0.055
50m 80% 80°	0.049	-0.063	-0.052	0.021	0.028	0.037
50m 80% 90°	0.033	-0.040	-0.069	0.019	0.022	0.040
50m 70% 50°	0.045	-0.051	-0.052	0.020	0.023	0.029
50m 70% 60°	0.037	-0.042	-0.048	0.018	0.018	0.046
50m 70% 70°	0.021	-0.033	0.068	0.013	0.017	0.036
50m 70% 80°	-0.030	-0.044	-0.044	0.019	0.022	0.064
50m 70% 90°	0.040	-0.048	0.061	0.019	0.021	0.040
50m 60% 50°	0.016	-0.019	-0.063	0.011	0.012	0.030
50m 60% 60°	-0.029	-0.039	-0.103	0.019	0.018	0.060
50m 60% 70°	0.040	-0.056	0.089	0.019	0.026	0.058
50m 60% 80°	-0.030	0.025	-0.071	0.015	0.017	0.043
50m 60% 90°	0.038	-0.059	0.069	0.017	0.028	0.041
100m 80% 50°	0.052	-0.050	-0.072	0.025	0.027	0.048
100m 80% 60°	0.055	-0.034	-0.024	0.037	0.019	0.018
100m 80% 70°	0.049	-0.059	-0.090	0.023	0.025	0.049
100m 80% 80°	0.039	0.032	0.059	0.018	0.021	0.031
100m 80% 90°	0.087	-0.078	0.101	0.038	0.033	0.055
100m 70% 50°	-0.038	-0.026	-0.070	0.024	0.013	0.050
100m 70% 60°	0.033	-0.027	-0.071	0.016	0.014	0.049
100m 70% 70°	0.027	0.013	0.052	0.019	0.008	0.033
100m 70% 80°	0.029	-0.018	-0.086	0.016	0.011	0.061
100m 70% 90°	0.059	-0.057	-0.103	0.033	0.025	0.054
100m 60% 50°	0.038	-0.017	-0.063	0.023	0.011	0.038
100m 60% 60°	0.050	0.007	-0.031	0.023	0.004	0.016
100m 60% 70°	0.058	-0.027	0.052	0.027	0.015	0.032
100m 60% 80°	0.008	-0.012	-0.031	0.007	0.007	0.019
100m 60% 90°	0.050	0.037	-0.079	0.021	0.016	0.034
150m 80% 50°	0.070	-0.036	0.086	0.034	0.019	0.051
150m 80% 60°	0.036	0.034	0.048	0.024	0.019	0.034
150m 80% 70°	-0.052	-0.034	0.093	0.030	0.019	0.065
150m 80% 80°	0.017	-0.026	-0.057	0.010	0.014	0.033
150m 80% 90°	-0.043	0.044	0.059	0.019	0.024	0.042
150m 70% 50°	0.031	-0.027	-0.095	0.020	0.018	0.047
150m 70% 60°	0.031	0.030	0.053	0.016	0.019	0.028
150m 70% 70°	0.001	0.037	-0.078	0.018	0.021	0.055
150m 70% 80°	-0.046	-0.031	-0.016	0.023	0.019	0.009
150m 70% 90°	0.049	0.045	-0.097	0.025	0.027	0.049
150m 60% 50°	-0.044	0.026	-0.053	0.022	0.016	0.025
150m 60% 60°	0.074	-0.038	0.067	0.038	0.016	0.030
150m 60% 70°	0.015	0.069	0.069	0.008	0.016	0.042
150m 60% 80°	-0.061	0.029	-0.095	0.027	0.017	0.057
150m 60% 90°	0.035	0.028	-0.088	0.017	0.013	0.042

『무인비행장치 이용 공공측량 작업지침』에 따라 6점의 검사점을 이용하여 정확도를 검증한 결과는 Table 5과 같다. 실험의 모든 촬영조건에서 『무인비행장치 이용 공공측량 작업지침』에서 요구하는 정확도를 만족하였다.

3.2 벽면 점밀도 및 작업시간 평가

Harwin and Lucieer (2012)의 연구에서 3D 공간정보의 구축에서 포인트 클라우드의 점밀도가 90~110점/m²일 경우 GCP를 충분히 인식할 수 있다고 하였다. 따라서 벽면에 대해서도 동일한 기준을 적용하면 입면을 충분히 식별할 수 있을 것으로 본 연구에서는 Harwin and Lucieer (2012)의 기준을 준용하여 벽면 점밀도를 평가하였다. Pix4D 소프트웨어에서 제시되는 Results에 포함된 점밀도는 생성된 모든 포인트 클라우드를 작업 대상 영역의 부피로 나누어 산출되는 것으로 본 연구에서 기준으로 설정한 점밀도(90~110점/m²)와 비교할 수 없다. 그러므로 본 연구에서는 각 촬영조건 별로 산출된 포인트 클라우드의 벽면에 대한 점밀도의 변화를 알아보기 위해서 벽면에 검증영역을 설정하였다. Fig. 4는 집현관 외벽에 설정된 검증영역이다.

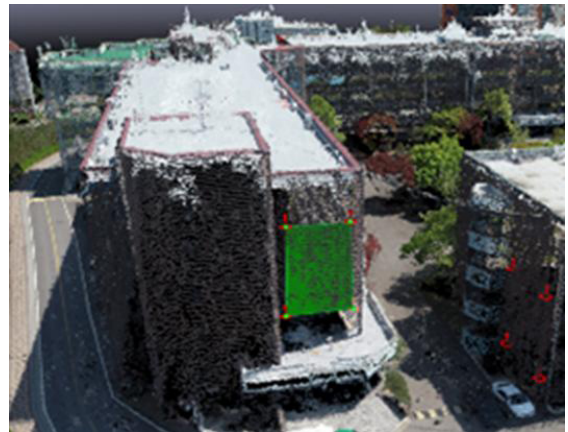


Fig. 4. Verification area on point cloud

Fig. 4와 같은 방법으로 광교관 2개소(6gang1(S), 6gang2(S)), 집현관 1개소(7gang1(E)), 창업보육센터 3개소(hyun1(N), hyun2(E), hyun3(W)), 육영관 2개소(8gang1(N), 8gang2(S)), 그리고 공대실습실 1개소(sill(S)) 등 총 9개 검증영역을 설정하였다. 검증영역은 연구 대상지역에 포함된 건물 전체에 고루 설정하였으며, 벽면의 방향도 동서남북 방향에 고루 분포하도록 하였다. 본 연구에서는 검증영역 각 좌표에 대해 앞서 분석된 정확도를 고려하여 각각의 좌표에 버퍼(±X, Y (=3cm)와 ±Z (=10cm))를 주고, 영역 내에 포함된 포인트 클라우드의 수

Table 6. Processing time, wall point density, Pix4D report point density, GSD according to shooting conditions

Shooting Condition (Altitude, Overlap, Camera Angle)	Number of Images	Processing Time (second)	Wall Point Density (points/m ²)	Pix4D Report Point Density (points/m ²)	GSD (cm)
50m 80% 90°	237	3972	113.3	344.5	2.1
50m 80% 80°	274	5148	119.9	329.5	2.1
50m 80% 70°	314	5917	121.4	286.7	2.2
50m 80% 60°	323	6486	125.7	183.0	2.7
50m 80% 50°	406	8635	134.1	117.3	3.5
50m 70% 90°	221	3831	114.8	346.2	2.0
50m 70% 80°	242	4229	112.9	327.6	2.1
50m 70% 70°	263	4796	122.9	265.3	2.2
50m 70% 60°	291	5729	130.8	179.3	2.6
50m 70% 50°	308	6761	120.0	92.0	3.4
50m 60% 90°	149	2057	93.5	288.2	2.1
50m 60% 80°	163	2638	91.2	274.1	2.1
50m 60% 70°	187	3060	92.0	230.2	2.3
50m 60% 60°	200	3589	86.3	157.6	2.6
50m 60% 50°	211	4292	95.9	68.6	3.5
100m 80% 90°	152	2954	34.0	64.1	3.6
100m 80% 80°	178	3464	36.0	60.4	3.7
100m 80% 70°	214	4161	37.6	48.4	4.0
100m 80% 60°	250	5001	41.9	31.4	4.7
100m 80% 50°	292	5877	41.1	16.3	6.3
100m 70% 90°	98	1628	28.0	52.6	3.6
100m 70% 80°	113	1920	28.8	50.8	3.7
100m 70% 70°	125	2098	28.4	41.6	4.0
100m 70% 60°	148	2613	27.9	26.4	4.7
100m 70% 50°	169	3057	28.7	12.2	6.8
100m 60% 90°	80	1407	24.5	47.2	3.6
100m 60% 80°	90	1490	25.8	43.5	3.7
100m 60% 70°	107	2030	23.5	24.7	4.1
100m 60% 60°	119	2072	21.9	14.0	4.8
100m 60% 50°	122	2151	21.1	11.0	6.7
150m 80% 90°	71	1249	12.9	17.4	5.1
150m 80% 80°	91	1597	16.5	16.7	5.3
150m 80% 70°	96	1645	12.6	13.6	5.7
150m 80% 60°	109	1968	12.6	9.2	6.8
150m 80% 50°	127	2234	12.3	4.7	9.1
150m 70% 90°	71	1211	13	17.5	5.2
150m 70% 80°	82	1621	13.6	17.2	5.3
150m 70% 70°	94	1618	11.6	13.5	5.8
150m 70% 60°	107	1893	11.6	9.1	6.8
150m 70% 50°	125	2234	11.8	4.4	9.3
150m 60% 90°	56	943	10.2	15.5	5.2
150m 60% 80°	63	1082	9.2	14.5	5.3
150m 60% 70°	77	1328	13.5	16.3	5.9
150m 60% 60°	80	1396	8.5	8.0	6.9
150m 60% 50°	93	1638	9.6	4.1	9.4

를 구하여 45개 실험조건 각각의 평균 점밀도, 작업시간, GSD (Ground Sample Distance) 등을 산출하였다. Table 6에 촬영조건 별 영상수, 총 처리 시간, 벽면 점밀도, Pix4D 보고서 점밀도, GSD를 정리하였고, Fig. 5는 벽면 점밀도의 촬영조건에 따른 벽면 점밀도의 변화를 보여주고 있다.

촬영고도 150m인 경우 중복도와 촬영각도가 포인트 클라우드 밀도에 큰 영향을 주지 않고 있으며 점밀도가 낮아 3D 구축에는 적합하지 않음을 알 수 있었다. 촬영고도 100m인 경우 중복도 80%에서는 촬영각도가 작을수록 점밀도가 높아지는 반면, 중복도 60%에서는 촬영각도가 클수록 점밀도가 높아지는 경향을 보였다. 촬영고도 50m에서는 중복도와 무관하게 촬영각도가 작을수록 포인트 클라우드의 점밀도가 높아지는 경향을 보였다.

Lee and Lee (2017)의 연구에서 고정사 촬영이 저경사 촬영에 비해 벽면의 모델링에 유리하다고 하였다. 본 연구의 실험결과에서도 촬영고도 50m에서는 중복도와 무관하게 선행연구와 동일한 결론을 얻을 수 있었다. 반면 촬영고도 100m에서는 중복도 80%일 경우 고정사가 유리하였으나, 중복도 60%, 70% 촬영고도 150m에서는 선행연구와는 무관한 결과를 얻었다.

촬영각도를 50°로 설정한 경우 90°에 비해 사진매수 및 처리 시간이 약 2배로 증가하였다. 이를 고려할 때, 110점/m² 이상의 점밀도가 만들어지는 촬영고도 50m, 중복도 70%와 80%의 조건에서는 촬영각도 80° 또는 90°의 촬영조건을 사용하는 것이 가장 합리적인 것으로 판단된다.

한편 Pix4D 보고서의 점밀도와 본 실험의 점밀도는 서로 상이한 경향을 보이고 있다. Pix4D 보고서는 작업 대상지역을 포함하는 입체에 대한 결과이기 때문에, 이를 기준으로 3D 구축의 품질을 평가하여서는 안 될 것으로 판단된다.

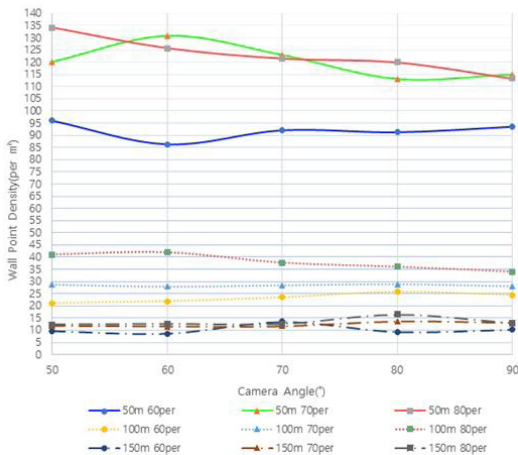
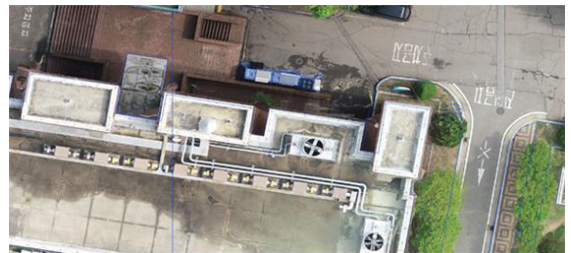


Fig. 5. Point densities according to the shooting conditions

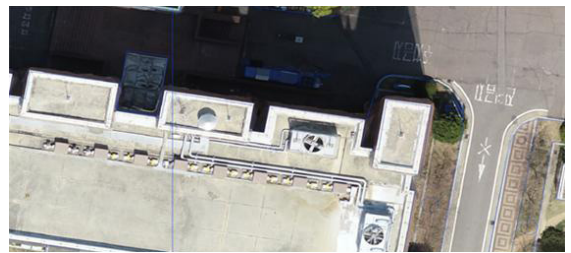
3.3 정사영상 평가

2017년에 제작된 연구대상 지역의 1/1,000 수치지도를 이용하여 본 연구에서 생성된 정사영상의 품질을 평가하였다. 중복도 80%, 촬영각도 90°에서 촬영고도에 따른 정사영상과 제작된 수치지도를 비교하였다(Fig. 6). 수치지도와 생성된 정사영상 간에 일치하지 않는 부분이 존재하였으나, 모든 촬영조건에서 일치하지 않는 부분이 동일하게 관측되는 것은 1:1000 수치지도의 정확도 문제로 판단된다.

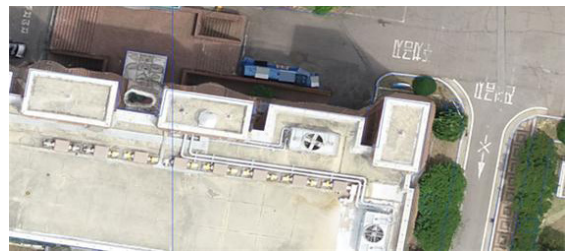
『무인비행장치 이용 공공측량 작업지침』에는 도화축척 1/500~1/600에서 GSD는 8cm 이내여야 한다고 되어 있다. 본 실험에서는 촬영고도 150m에서 촬영각도 50°로 촬영하는 경우 GSD가 8cm를 초과(Table 6)하였다. UAV를 이용하는 정사영상 제작에서 1/500정도의 축척을 목표로 한다면 촬영고도 150m 촬영각도 50°의 촬영조건은 사용할 수 없음을 알 수 있다.



(a) : 50m 80% 90° GSD=2.1cm



(b) : 100m 80% 90° GSD=3.6cm



(c) : 150m 80% 90° GSD=5.1cm

Fig. 6. Comparison of orthophoto with digital map by altitude

고도에 따라 점밀도가 감소하고 GSD가 커지므로 벽면의 불규칙삼각망의 크기가 증가하여 벽면에 불규칙한 기복이 발생하며, 시인성이 감소하는 것을 볼 수 있다. 가장 양호한 결과를 보이는 촬영고도 50m에서 중복도에 의한 영향과 촬영각도에 의한 영향을 Fig. 7과 Fig. 8로 각각 비교하였다.

촬영고도 50m, 촬영각도 90°에서 중복도를 달리하여 촬영한 결과에서는 중복도와 무관하게 건물 사이의 좁은 지역에서 폐색에 의한 영향이 원활하게 제거되지 않았다. 사진의 건물은 연구대상지역에서 가장 높은 건물로 이는 『무인비행장치 이용 공공측량 작업지침』에서 중복도를 높여야 하는 조건인 높이차가 있거나 높은 건물이 있는 경우에 해당하지만 중복도가 80%인 경우에도 폐색의 영향이 효과적으로 제거되지 않았다. Fig. 6의 (b)인 100m에서 촬영한 결과가 더욱 우수한 결과를 보이고 있어 UAV 촬영에서는 경우에 따라 중복도를 높이는 것보다 촬영고도를 높이는 것이 정사영상 제작에 더 효과적임을 알 수 있다.



(a) : 50m 80% 90° GSD=2.1cm



(b) : 50m 70% 90° GSD=2.0cm



(c) : 50m 60% 90° GSD=2.1cm

Fig. 7. Comparison of orthophoto with digital map by overlap

『무인비행장치 이용 공공측량 작업지침』에는 가능한 연직방향으로 촬영함을 원칙으로 하고 있으며, 촬영고도 50m, 중복도 80%로 실험한 결과 연직방향으로 촬영한 경우 가장 양호한 정사영상을 얻을 수 있었다.



(a) : 50m 80% 90° GSD=2.1cm



(b) : 50m 80% 70° GSD=2.2cm



(c) : 50m 80% 50° GSD=3.5cm

Fig. 8. Comparison of Orthophoto with digital map by camera angle

4. 결론

UAV가 일반화되면서 저층건물 위주로 이루어진 지역이나 구릉지 등에서 3D 구축과 정사영상 제작에 UAV가 많이 활용되고 있다. 국토지리정보원의 『무인비행장치 이용 공공측량 작업지침』에는 단순히 촬영 중복도만 규정되어 있고, DJI사의 권장 촬영조건도 중복도와 촬영각도만을 제시하고 있다. 본 연구에서는 UAV가 많이 활용될 수 있는 저층건물 지역의 3D 구축과 정사영상 제작에 적합한 촬영조건을 제시하고자 하였다. 촬영조건의 검토를 위해 촬영고도 50m, 100m, 150m, 중

복도 60%, 70%, 80%, 촬영각도 50°, 60°, 70°, 80°, 90°를 조합하여 총 45회의 실험을 수행하였다. 촬영조건 별로 9개 벽면에 설정된 검증영역의 점밀도를 구하여 3D 구축의 품질을 평가하고, 1/1,000 수치지도와 중첩하여 정사영상의 품질을 평가하였다. 평가 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 벽면에 대한 점밀도를 평가한 결과 촬영고도 50m에서는 중복도와 무관하게 촬영각도를 고경사로 사용할수록 점밀도가 증가하는 추세를 보였으며, 촬영고도 100m에서는 중복도가 80%로 높으면 촬영각도가 작을수록 점밀도가 증가하나, 중복도가 60%로 낮으면 촬영각도가 작아지면 점밀도도 감소하는 추세를 보였다. 또한 3D 구축을 위해 필요한 90~110 점/m²의 점밀도는 촬영고도 50m에서만 얻어졌으므로, 저층 건물에 대한 3D 구축을 위해서는 중복도, 촬영각도와 무관하게 촬영고도를 50m 정도로 해야 함을 알 수 있었다.

둘째, 촬영각도가 낮아지면서 늘어나는 자료처리시간을 고려하면, 촬영고도 50m에서도 중복도 70%, 80%, 촬영각도 80°, 90°의 촬영조건이 사용하는 것이 가장 합리적임을 알 수 있었다.

셋째, 정사영상을 평가한 결과 촬영고도 50m에서는 연구대상지역 내에서 비교적 높이가 높은 건물의 수평구조물에서 폐색에 의한 영향이 많이 나타나며, 3cm 내외의 GSD가 나타나는 촬영고도 100m 촬영각도 80°, 90°의 촬영조건이 정사영상 제작에 적합함을 알 수 있었다.

넷째, 3D 데이터의 점군 밀도, 정사영상의 GSD, 자료처리시간을 종합적으로 고려하면 한 번의 촬영으로 3D 구축과 정사영상 제작을 동시에 적합하게 할 수 있는 촬영조건은 50~100m 사이의 촬영고도, 중복도 70% 이상, 촬영경사 80° 이상임을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 얻어진 결론은 DJI사의 Phantom4 RTK 기종을 이용한 한계를 가지고 있으나, 해당 장비에 대한 제조사의 권장 촬영조건과는 상이한 결론을 얻었다. 또한 이러한 최적의 촬영조건은 촬영에 사용된 카메라의 초점거리와 화각에 따라 달라질 수 있기 때문에 향후 보다 다양한 장비를 활용한 더 많은 실험을 통해 일반적으로 적용할 수 있는 최적 촬영조건에 대한 연구가 필요하다.

References

Harwin, S., and Lucieer, A. (2012), Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis

from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, *Remote Sensing*, Vol. 4, No. 6, pp. 1573-1599.

Kim, Yong Don, Park, Byung Wook, and Lee, Hyo Seong (2018), Accuracy analysis according to GCP layout type and flying height in orthoimage generation using low-cost UAV. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 26, No. 3, pp. 31~39. (in Korean with English abstract)

Küng, O., Strecha, C., Beyeler, A., Zufferey, J. C., Floreano, D., Fua, P., and Gervais, F. (2011), The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery, *In Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g)*, Zurich, Switzerland, 14-16 September 2011.

Lee, Byoungkil and Park, Hong Gi (2018), Review of high definition road map utilization for cadastral resurvey project, *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, 20(1), 97-107. (in Korean with English abstract)

Lee, K.R. and Lee, H.W. (2017), Comparison of orthophoto and 3D modeling using vertical and high oblique images taken by UAV, *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 25, No. 4, pp. 35-45. (in Korean with English abstract)

Lee, Seungjoo, Lim, Hyuntaek, Lim, Moojae, Lee, Eungbeom, Lee, Kang-Il, and Kim, Yongseong (2020a), Numerical analysis of debris flow using drone images and NFLOW, *Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol. 19, No. 3, pp. 1-8. (in Korean with English abstract)

Lee, Seung-weon, Kim, Min-Seok, Seo, Dong-Min, Baek, Seung-Chan, and Hong, Won-Hwa (2020b), A study on the building height estimation and accuracy using unmanned aerial Vehicles. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 36, No. 2, pp. 79-86. (in Korean with English abstract)

Lee, Young Seung, Lee, Dong Gook, Yu, Young Geol, and Lee, Hyun Jik (2016), Application of drone photogrammetry for current state analysis of damage in forest damage areas, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 24, No. 3, pp. 49-58. (in Korean with English abstract)

Neitzel, F. and Klonowski, J. (2011), Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 14-16 September, Zurich, Switzerland, Conference

on Unmanned Aerial Vehicle Geomatics, Vol. XXXVIII-1/
C22 UAV-g, 6 pages.

Pix4D, <http://pix4d.com/> (last date accessed: 21 Nov. 2020).

Rosnell, T., Honkavaara, E., and Nurminen, K. (2011). On geometric processing of multi-temporal image data collected by light UAV systems. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38, pp. 63–68.

Vallet, J., Panissod, F., Strecha, C., and Tracol, M. (2011), Photogrammetric performance of an ultra light weight swinglet UAV, *In Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g), Zurich, Switzerland, 14–16 September 2011.*