

연구사례 조사 및 정확도 분석에 의한 무인항공사진측량의 유효성 평가*

이근왕** · 박준규**

Validation of Unmanned Aerial Photogrammetry by Research Case Study and Accuracy Analysis

Lee Keunwang · Park Joonkyu

〈Abstract〉

Recently, the development of sensor technology has led to an increase in research on unmanned aerial photogrammetry in various fields such as digital mapping, monitoring, cadastral survey, coastal survey, and topographic survey. However, existing studies are mainly limited experiments and analysis of specific application field, which is insufficient to demonstrate the validity of unmanned aerial photogrammetry for geospatial information construction. In this study, the studies related to the accuracy of unmanned aerial photogrammetry were investigated. The flight altitude and accuracy of horizontal direction is proportional to the GSD by analyzing the results of the individual studies conducted on the unmanned aerial photogrammetry within the last 5 years. In addition, the accuracy of the evaluation results varied widely according to the experimental conditions, and the problems of the previous studies that lacked the number of samples to evaluate the results were identified. A total accuracy analysis of 322 checkpoints yielded an accuracy of 0.028m in the horizontal direction and 0.044m in the vertical direction. In the future, the results of this study can be used as a basis for the validity of spatial information construction using unmanned aerial photogrammetry.

Key Words : Accuracy, Case Study, Geospatial Information, Photogrammetry, Unmanned Aerial Vehicle

I. 서론

정보통신 기술과 센서 기술의 발달로 무인항공기

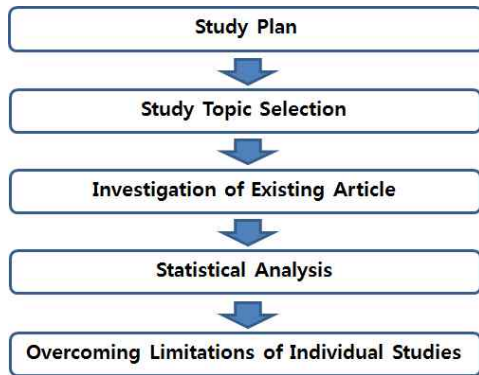
와 관련된 많은 연구가 이루어지고 있다[1]. 또한 스마트폰, 인터넷 포털, 내비게이션 등 각종 매체를 통해 제공되는 지도정보 또는 위치서비스가 대중화됨에 따라 공간정보의 효과적인 구축방안으로 무인항공기의 적용이 증가하고 있다[2]. 무인항공사진측량은 기존의 유인항공사진측량보다 저고도에서 촬영하므로 다소 흐린 날씨에도 적용이 가능하며, 상대적으

* 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2018R1C1B6004021)

** 청운대학교 멀티미디어학과 교수

*** 서일대학교 토목공학과 부교수(교신저자)

로 저렴한 운용비용과 우수한 GSD(Ground Sample Distance)를 가지는 장점이 있다[3]. 무인항공기와 관련된 최근의 연구는 수치지도 제작, 지형모델 생성, 경제성 평가, 모니터링, 현황측량 등 다양한 분야에 적용이 되고 있으며, 정확도에 대한 평가가 수행되었다[4-6]. 하지만 기존의 연구들은 특정 활용분야에 대한 제한적 실험과 분석이 주를 이루고 있어 무인항공사진측량의 특징을 제시할 수 있는 통계적 유효성이 높다고 할 수 없어 기존 연구의 결과들에 대한 통합적 분석이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 무인항공사진측량과 관련된 최근의 문헌 조사를 수행하고, 연구 결과를 종합적으로 분석하고자 한다. <그림 1>은 본 연구의 연구흐름을 나타낸다.



<그림 1> 연구 흐름도

II. 분석 대상 연구의 선정

무인항공사진측량 관련 연구는 상용 무인항공기의 개발과 보급 증가에 따라 최근 증가하고 있으며, 2000년대 초반 시스템의 개발 연구를 시작으로 최근에는 다양한 분야에 적용을 위한 성과물 산출과 정확도 검증에 대한 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 분석 대상 연구의 선정을 위해 최근 5년 이내 연구에 대한 문헌조사를 수행하였다. <표 1>은 최근

5년 이내의 관련 연구를 나타낸다.

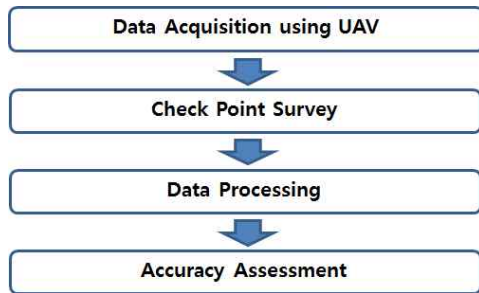
<표 1> 최근 5년 이내의 관련 연구[1-19]

No.	Title	Quantitative results
1	UAV-based Land Cover Mapping Technique for Monitoring Coastal Sand Dunes[1]	NDVI
2	A Study on Utilization 3D Shape Pointcloud without GCPs using UAV images[2]	Accuracy
3	Acquisition of Subcentimeter GSD Images Using UAV and Analysis of Visual Resolution[3]	Resolution
4	Accuracy Analysis of Cadastral Control Point and Parcel Boundary Point by Flight Altitude Using UAV[4]	Accuracy
5	Utilization Evaluation of Digital Surface Model by UAV for Reconnaissance Survey of Construction Project[5]	Accuracy
6	Orthophoto and DEM Generation Using Low Specification UAV Images from Different Altitudes[6]	Accuracy
7	Analysis of the Spatial Information Accuracy According to Photographing Direction of Fixed Wing UAV[7]	Accuracy
8	Accuracy and Economic Evaluation for Utilization of National/Public Land Actual Condition Survey Using UAV Images[8]	Accuracy
9	Electric Power Line Dips Measurement Using Drone-based Photogrammetric Techniques[9]	Measurement
10	A Study of Three Dimensional DSM Development using Self-Developed Drone[10]	Accuracy
11	Accuracy of Parcel Boundary Demarcation in Agricultural Area Using UAV-Photogrammetry[11]	Accuracy
12	Lane Extraction through UAV Mapping and Its Accuracy Assessment[12]	Accuracy
13	A Study on the Application of UAV for Korean Land Monitoring[13]	Accuracy
14	A Comparative Analysis between Photogrammetric and Auto Tracking Total Station Techniques for Determining UAV Positions[14]	Measurement
15	Digital Map Updates with UAV Photogrammetric Methods[15]	Accuracy
16	Accuracy Evaluation and Terrain Model Automation of Reservoir Using Unmanned Aerial Vehicle System[16]	Accuracy
17	Reconnaissance Surveying for Cultural Assets using Unmanned Aerial Vehicle[17]	Accuracy
18	Orthophoto and DEM Generation in Small Slope Areas Using Low Specification UAV[18]	Accuracy
19	Application of UAV Photogrammetry for Standardization of Shoreline Survey[19]	Accuracy

최근 발표된 무인항공사진측량 관련 연구는 지도 제작, 지형모델의 생성, 공간분석 등 다양한 주제로 수행되었으며, 대부분의 연구에서 결과의 검증 및 활용성 파악을 위해 정확도 평가가 이루어 졌다. 본 연구에서는 기존 연구에서 정량적 결과를 포함하고 있는 연구를 대상으로 종합적인 분석을 수행하였다.

III. 기존 연구사례 조사 및 분석

기존 연구에서 수행된 무인항공사진측량에 의한 공간정보 구축 및 정확도 평가의 과정은 크게 무인항공촬영, 검사점측량, 자료처리, 정확도 평가의 과정으로 구분된다. <그림 2>는 기존 연구의 정확도 평가 과정을 나타낸다.



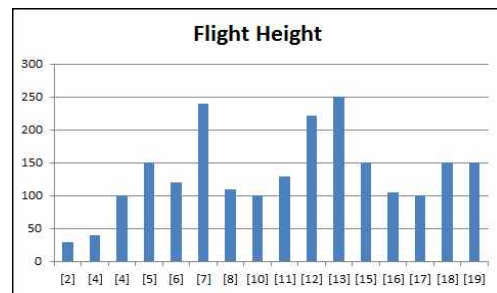
<그림 2> 정확도 평가 과정 - 기존 연구

무인항공사진측량에 의한 공간정보 구축의 결과 분석을 위해 기존 연구에서 수행된 데이터 취득 및 처리 현황을 <표 2>에 정리하였다.

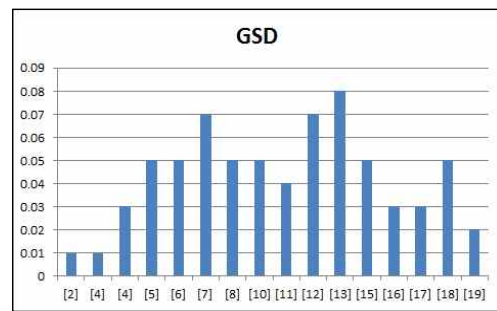
기존 연구에서는 주로 개별 연구에서 수행된 실험 조건에서의 정확도 평가만이 수행되었으며, 비행고도, GSD 및 정확도의 관계에 대한 분석이 상대적으로 부족하였다. 본 연구에서는 무인항공사진측량에 의한 공간정보 구축 결과의 통합적 분석을 위해 비행고도, GSD 및 정확도에 대한 통합적 분석을 수행하였다. <그림 3>은 기존 연구의 비행고도 및 GSD가

<표 2> 기존 연구에서 수행된 데이터 취득 및 처리 현황

Ref.	UAV type	Flight Height	GSD
[2]	Rotary Wing	30m	0.01m
[4]	Rotary Wing	40m 100m	0.01m 0.03m
[5]	Rotary Wing	150m	0.05m
[6]	Rotary Wing	120m	0.05m
[7]	Fixed Wing	240m	0.07m
[8]	Rotary Wing	110m	0.05m
[10]	Rotary Wing	100m	0.05m
[11]	Fixed Wing	130m	0.04m
[12]	Fixed Wing	222m	0.07m
[13]	Fixed Wing	250m	0.08m
[15]	Fixed Wing	150m	0.05m
[16]	Fixed Wing	105m	0.03m
[17]	Rotary Wing	100m	0.03m
[18]	Rotary Wing	150m	0.05m
[19]	Fixed Wing	150m	0.02m



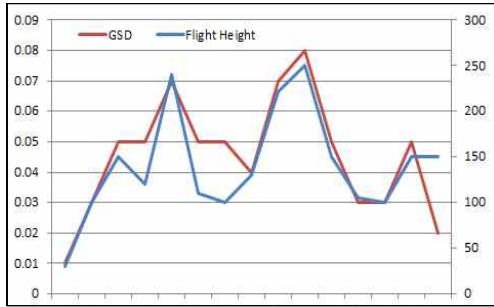
(a) 비행고도



(b) GSD

<그림 3> 비행고도 및 GSD - 기존 연구

며, <그림 4>는 비행고도와 GSD의 관계를 나타낸다.



<그림 4> 비행고도와 GSD의 관계

무인항공기를 이용한 공간정보 취득은 고정익 및 회전익 기체를 이용하여 비행고도 30m ~ 250m에서 이루어졌으며, 데이터 처리를 통해 생성된 정사영상의 GSD는 0.01 ~ 0.08m였다. <그림 4>에서 보는 것과 같이 GSD는 비행고도에 비례하는 것으로 나타났다. 기존 연구에서의 정확도 평가는 검사점의 숫자, 수평위치 정확도, 수직위치 정확도 등에 대한 항목에 대해 수행되었다. <표 3>은 개별 연구에서 수행된 정확도 평가 현황을 나타낸다. <표 4>와 <표 5>는 무인항공기를 활용한 공간정보의 수평 및 수직방향 정확도 평가 결과를 나타낸다.

<그림 5>는 기존 연구들에서 수행된 무인항공사진측량의 정확도 평가결과와 GSD의 관계를 나타낸다.

수평방향에 대한 무인항공사진측량의 정확도는 0.008 ~ 0.09m로 나타났으며, 검사점의 숫자가 5개 미만인 [10]과 [18]을 제외하고는 GSD에 비례하는 경향을 보였다. 반면 수직방향에 대한 정확도는 0.018 ~ 0.07m로 GSD와의 상관성이 크게 나타나지 않았다. 이는 수직방향 정확도 평가에 이용되는 포인트클라우드 형태의 지형모델의 생성과정이 정사영상과 다르게 GSD의 직접적인 영향이 없기 때문이며, 향후 추가적인 연구를 통해 지형모델의 밀도에 따른 정확도의 분석이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 무인항공사진측량의 정확도 분석을 위해 기존 연구에서 사용한 검사점 322점에 대한 중

<표 3> 정확도 평가 현황 - 기존 연구

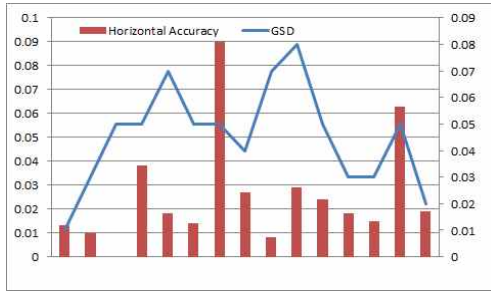
Ref.	Number of Check Point	Horizontal Position Accuracy	Vertical Position Accuracy
[2]	8	○	X
[4]	15	○	○
[5]	10	X	○
[6]	15	○	○
[7]	11	○	○
[8]	6	○	X
[10]	3	○	○
[11]	22	○	X
[12]	20	○	○
[13]	9	○	X
[15]	30	○	○
[16]	9	○	○
[17]	7	○	X
[18]	23	○	○
[19]	4	○	○

<표 4> 공간정보의 수평방향 정확도 평가 결과

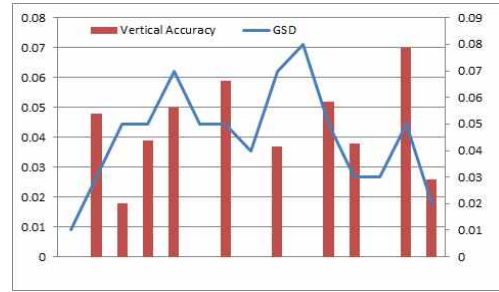
Ref.	Number of Check Point	Average(m)
[2]	8	0.013
[4]	15	0.010
[6]	15	0.038
[7]	11	0.018
[8]	6	0.014
[10]	3	0.090
[11]	22	0.027
[12]	20	0.008
[13]	9	0.029
[15]	30	0.024
[16]	9	0.018
[17]	7	0.015
[18]	4	0.063
[19]	23	0.019
Sum	0	-
Average(m)		0.028
RMSE(m)		± 0.057

<표 5> 공간정보의 수직방향 정확도 평가 결과

Ref.	Number of Check Point	Average
[4]	15	0.048
[5]	10	0.018
[6]	15	0.039
[7]	11	0.050
[10]	3	0.059
[12]	20	0.037
[15]	30	0.052
[16]	9	0.038
[18]	23	0.070
[19]	4	0.026
Sum	0	-
Average(m)		0.044
RMSE(m)		± 0.064

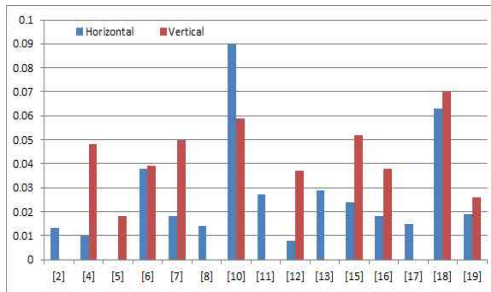


(a) 수평방향 정확도와 GSD

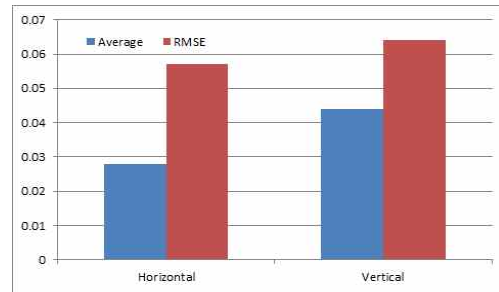


(b) 수직방향 정확도와 GSD

<그림 5> 정확도 평가결과와 GSD의 관계 - 기존 연구



(a) 개별연구의 정확도 평가 결과



(b) 종합적인 정확도 분석

<그림 6> 정확도 평가 결과

합적인 정확도 분석을 수행하였다. <그림 6>은 기존 연구의 분석을 통한 정확도 평가 결과를 나타낸다.

기존 연구의 분석을 통한 무인항공사진측량의 정확도는 수평방향 0.028m, 수직방향 0.044m였으며, RMSE는 각각 $\pm 0.057m$, $\pm 0.064m$ 로 나타났다. <그림 6>의 (a)에서 보는 바와 같이 개별연구에서 나타난 정확도 평가 결과는 0.008m ~ 0.09m로 실험 조건에 따라 편차가 크며, 일반적인 정확도 평가결과를 제시하기 위한 표본의 수가 부족하였으나 종합적인 분석을 통해 공간정보 구축의 수평 및 수직 정확도에 대한 통계적 결과를 도출할 수 있었다.

IV. 결론

본 연구에서는 공간정보 구축을 위한 무인항공사

진측량의 유효성을 평가하기 위해 성과물의 정확도를 주제로 이와 관련된 최근의 연구사례를 조사하였으며, 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 최근 5년 이내의 무인항공사진측량 관련 연구 중 정량적 결과를 포함하고 있는 15건의 연구결과를 조사하였으며, 개별적으로 수행된 기존 연구에 대한 분석을 통해 비행고도와 수평방향에 대한 정확도가 GSD에 비례함을 제시하였다.
2. 무인항공사진측량의 수직방향에 대한 정확도는 GSD와 상관성이 크지 않은 것으로 나타났으며, 이는 수직방향 정확도 평가에 정사영상이 아닌 지형모델이 이용되기 때문이며, 추가적인 연구를 통해 생성되는 지형모델의 밀도에 따른 정확도의 분석이 필요할 것으로 판단된다.
3. 기존 연구에서의 정확도 평가 결과는 실험 조건에 따라 편차가 크고, 일반적인 정확도 평가결

과를 제시하기 위한 표본의 수가 부족하였으나 본 연구를 통해 총 322점의 검사점들에 대한 종합적인 정확도 분석을 수행하여 수평방향 0.028m, 수직방향 평균 0.044m의 정확도를 산출하였다.

4. 향후, 본 연구의 결과는 무인항공사진측량을 활용한 공간정보 구축의 유효성에 대한 근거자료로 활용될 것이다.

참고문헌

- [1] S. K. Choi, G. H. Kim, J. W. Choi, S. K. Lee, D. Y. Choi, S. H. Jung, S. J. Chun, "UAV-based Land Cover Mapping Technique for Monitoring Coastal Sand Dunes," *Korean Society Of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.35, No.1, 2017, pp. 11-22.
- [2] 김민철·윤혁진, "UAV 영상을 이용한 무기준점 3D 형상 점군데이터 활용 연구," *한국산학기술학회, 한국산학기술학회논문지*, 제19권, 제2호, 2018, pp. 97-104.
- [3] 한수희·홍창기, "UAV를 이용한 Subcentimeter GSD 영상의 취득 및 시각적 해상도 분석," *한국측량학회, 한국측량학회논문지*, 제35권, 제6호, 2017, pp. 563-572.
- [4] 김정훈·김준현, "UAV를 활용한 비행고도별 지적기준점 및 필지경계점 정확도 분석," *한국측량학회, 한국측량학회논문지*, 제36권, 제4호, 2018, pp. 223-233.
- [5] 박준규·엄대용, "건설공사 현황측량을 위한 UAV DSM의 활용성 평가," *한국산학기술학회, 한국산학기술학회논문지*, 제19권, 제3호, 2018, pp. 155-160.
- [6] 이기림·이원희, "고도가 다른 저사양 UAV 영상을 이용한 정사영상 및 DEM 제작," *한국측량학회, 한국측량학회논문지*, 제34권, 제5호, 2016, pp. 535-544.
- [7] 이근상·최연용·정관수·조기성, "고정의 UAV의 촬영방향에 따른 DEM 및 정사영상 제작 정확도 분석," *한국지적정보학회, 한국지적정보학회지*, 제17권, 제3호, 2015, pp. 141-149.
- [8] 이상찬·김준현·엄정섭, "국공유지 실태조사 활용을 위한 UAV 영상의 정확도 및 경제성 평가," *한국측량학회, 한국측량학회논문지*, 제35권, 제3호, 2017, pp. 175-186.
- [9] 김유종·오재홍·이창노, "드론 기반 사진측량기법을 활용한 고압 송전선의 처짐량 측정," *한국측량학회, 한국측량학회논문지*, 제35권, 제6호, 2017, pp. 453-460.
- [10] 이병걸, "드론을 활용한 3차원 DSM추출을 위한 연구," *한국지구과학회, 한국지구과학회지*, 제39권, 제1호, 2018, pp. 46-52.
- [11] 성상민·이재원, "무인 항공사진측량에 의한 농경지 필지 경계설정 정확도," *한국측량학회, 한국측량학회논문지*, 제34권, 제1호, 2016, pp. 53-62.
- [12] 박찬혁·최경아·이임평, "무인항공기 매핑을 통한 차선 추출 및 정확도 평가," *한국측량학회, 한국측량학회논문지*, 제34권, 제1호, 2016, pp. 11-19.
- [13] 김덕인·송영선·김기홍·김창우, "무인항공기의 국토모니터링분야 적용을 위한 연구," *한국측량학회, 한국측량학회논문지*, 제32권, 제1호, 2014, pp. 29-38.
- [14] 김원진·김창재·조연주·김지선·김희정·이동훈·이은유·맹주필, "무인항공기의 위치 결정을 위한 사진 측량 기법과 오토 트래킹 토달스테이션 기법의 비교 분석," *한국측량학회, 한국측량학회*

회논문지, 제35권, 제6호, 2017, pp. 553-562.

- [15] 임수봉 · 서춘욱 · 윤희찬, “무인항공사진측량 방법에 의한 수치지도 갱신,” 한국측량학회, 한국측량학회논문지, 제33권, 제5호, 2015, pp. 397-405.
- [16] 김정면 · 박성식 · 김재휘 · 안승우 · 박성용 · 김용성, “무인항공시스템을 활용한 저수지 지형모델 생성 및 정확도 평가,” 한국농공학회, 한국농공학회논문집, 제59권, 제2호, 2017, pp. 57-67.
- [17] 이근상 · 최연웅 · 이민희 · 김신겸 · 조기성, “문화유적지 현황측량을 위한 무인항공기 활용 연구,” 한국지적정보학회, 한국지적정보학회지, 제18권, 제3호, 2016, pp. 25-34.
- [18] 박진환 · 이원희, “저사양 무인항공기를 이용한 소규모 경사지역의 정사영상 및 수치표고모델 제작,” 한국측량학회, 한국측량학회지, 제34권, 제3호, 2016, pp. 283-290.
- [19] 김민규 · 정갑용, “해안선 조사의 표준화를 위한 무인항공 사진측량 방법의 적용,” 인문사회과학기술융합학회, 예술인문사회융합멀티미디어논문지, 제7권, 제5호, 2017, pp. 953-960.



박준규
(Park Joonkyu)

2011년 3월~현재
서일대학교 토목공학과 부교수
2008년 8월 충남대학교 토목공학과(공학박사)
2003년 2월 충남대학교 토목공학과(공학석사)
2001년 2월 충남대학교 토목공학과(공학사)
관심분야 : 지형정보공학
E-mail : jkpark@seoil.ac.kr

논문접수일 : 2018년 12월 11일
게재확정일 : 2018년 12월 14일

■ 저자소개 ■



이근왕
(Lee Keunwang)

2001년 2월~현재
청운대학교 멀티미디어학과 교수
2000년 2월 숭실대학교 컴퓨터학과(공학박사)
1996년 2월 숭실대학교 컴퓨터학과(공학석사)
1993년 2월 한밭대학교 전자계산학과(공학사)
관심분야 : 멀티미디어, 멀티미디어 응용,
모바일 통신
E-mail : kwlee@chungwoon.ac.kr