

## 수상기준점을 활용한 드론 사진측량의 정확도 평가

김병우\* · 홍순헌\*\* · 오재현\*\*\* · 황대영\*\*\*\*

Kim, Byungwoo\*, Hong, Soonheon\*\*, Oh, Jaehyun\*\*\*, Hwang, Daeyoung\*\*\*\*

## Evaluate the Accuracy of Drone Photogrammetry Surveying Using Water Reference Points

### ABSTRACT

Most studies using drone is confined utilization on the ground and regulation. The drone in the water is rarely used in hydrographic surveying because of the limit of flight time and image matching. This paper is the basic research for drone hydrographic photogrammetry. The accuracy of hydrographic photogrammetry, using buoys for water reference point, was evaluated. The accuracy is influenced by the accuracy of the water reference points like the photogrammetry. The position of water reference points set up on water, keep on changing due to various environmental factors such as wind speed and water velocity. The position continuously changed of the water reference points were measured 3 times using Total Station and VRS. Experiments were conducted at two reservoirs in Gimhae City, and the accuracy of the manual image matching using the water reference points is 40 cm and 80 cm. Allowable accuracy of the ocean boundary survey is  $\pm 2$  m, the results of this study are fully available. The maximum position error of the water reference point for ensuring accuracy within  $\pm 2$  m is 1.8 m.

**Key words :** Drone, Drone hydrographic photogrammetry, Water reference point, Accuracy, Image matching

### 초 록

현재까지의 드론을 이용한 대부분의 연구는 지상에서의 활용 및 규제에 관한 연구가 주로 이루어 졌다. 비행시간과 영상정합의 한계로 해양에서의 드론은 거의 사용되지 않는다. 본 연구는 수상에서 드론을 이용한 영상정합을 위한 기초 연구로 부표를 이용한 임의의 수상기준점을 통해 영상을 정합하고 정확도를 분석하였다. 수상기준점을 이용한 영상정합의 정확도는 항공사진측량과 동일하게 기준점의 정확도에 영향을 받으며, 수상에 설치된 임의의 수상기준점은 풍속, 유속 등 다양한 환경요소의 영향으로 위치가 계속 변화한다. 움직이는 수상기준점의 좌표는 Total Station과 VRS를 이용해 중복 측량하였다. 실험은 김해시 저수지 2곳에서 수행하였으며, 수상기준점을 활용한 수동영상정합 정확도는 각각 40 cm와 80 cm 이다. 해양경계측량의 허용오차가  $\pm 2$  m 이므로 본 연구 결과는 충분히 활용 가능한 것으로 평가된다.  $\pm 2$  m 이내의 정확도를 확보 하기 위한 수상기준점의 최대 위치오차는 1.8 m 이다.

**검색어 :** 드론, 드론 수상측량, 수상기준점, 정확도, 영상정합

\* 정회원 · 부산대학교 사회환경시스템공학과 공학박사수료 (Pusan National University · [rottneapple@pusan.ac.kr](mailto:rottneapple@pusan.ac.kr))

\*\* 종신회원 · 교신저자 · 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수 (Corresponding Author · Pusan National University · [hsh1963@pusan.ac.kr](mailto:hsh1963@pusan.ac.kr))

\*\*\* 정회원 · 부산대학교 사회환경시스템공학과 공학석사 (Pusan National University)

\*\*\*\* 정회원 · 부산대학교 사회환경시스템공학과 공학석사 (Pusan National University)

Received October 24, 2016/ revised November 28, 2016/ accepted March 6, 2017

# 1. 서론

## 1.1 연구 배경 및 목적

과거 단순 취미 생활에서 시작된 드론(무인항공기)은 현재 농업, 재난, 문화재 관리, 토목 등 다양한 분야에 활용되고 있으며 현재에도 활용 범위가 점점 증가하고 있다. 측량 분야 역시 항공사진측량에서 드론 사진측량으로 빠르게 변화하고 있다. 항공사진측량은 카메라를 이용해 넓은 면적을 정량적이고 정성적으로 측량하며, 동시에 다양한 센서를 활용한 원격탐사가 가능하다. 이에 반해 드론 사진측량은 운용시간이 짧고, 한 번에 탑재 가능한 센서가 제한적이다. 그러나 드론 사진측량은 촬영이 용이하며, 접근성 및 경제성이 좋고 고해상도 기반의 높은 정확도를 확보가능하기 때문에 사용성이 증가하고 있다.

최근 무인항공기를 이용한 연구로는 고정익 무인항공기와 회전익 무인항공기의 결과비교(Lee and Choi, 2016), 무인항공기의 피사체 탐지 및 추적을 위한 알고리즘 개발(Cho et al., 2011), 무인항공기를 이용한 매핑 및 정확도 평가(Park et al., 2016), 무인항공기 비행제어 시스템 개발(Byun et al., 2016), 무인항공기 안전규제 쟁점(Lee, 2016), 무인항공기의 사생활 및 소유권 침해에 관한 연구(Park, 2015) 등 무인항공기의 활용성을 극대화하기 위한 연구가 이뤄졌다.

또한, 무인항공기를 이용한 지적에 관한 연구(Lee et al., 2013), 고정익 무인항공기를 이용한 노천광산 지형측량(Lee and Choi, 2015), 무인항공기 공공업무 활용(Lee et al., 2016), 국토관리를 위한 무인항공기 응용(Kim and Lim, 2016) 등 무인항공기를 활용한 다양한 연구가 이뤄지고 있다.

현재까지의 드론에 관한 연구는 지상에서의 정확도 및 활용성 평가에 국한되어 왔다. 그러나 지상과 달리 해양에서의 드론 활용에 관한 연구는 거의 진행되지 않고 있다. 해양경계측량의 허용오차는 ±2 m로(해상경계확인을 위한 수로측량업무규정 제 9조) 수 cm의 정확도를 요구하는 지상측량에 비해 더 쉬워 보이지만, 바람과 파도 등 다양한 환경요인으로 위치가 항상 변화하기 때문에 허용오차가 상대적으로 크다. 특히 드론의 경우, 기계의 성능과 영상정합의 문제로 해양측량에 사용이 어렵다. 대부분의 저가형 드론은 촬영고도가 낮고, 화각이 작은 일반 디지털 카메라가 부착되어있어 한 장의 사진에 넓은 범위가 촬영되지 않는다. 항공사진측량은 한 장의 사진에 저수지나 강과 같은 특수 지형이 촬영되더라도 다른 지형지물이 많고 한 번에 대부분의 범위를 촬영하기에 영상정합에 어려움이 없다. 그러나 드론 사진측량을 통해 특수 지형을 촬영한 경우 영상의 대부분이 물인 경우가 많다. 물은 지상과 달리 지형지물이 적고 계속 흐르기 때문에 GCP (Ground Control Point) 또는 Tie Point로 사용가능한 특수점이 없어 기존의 항공사진측량 및

드론 사진측량의 영상정합 기법의 사용이 불가능하다. 이에 본 연구는 수상에서의 영상정합을 위한 기초 연구로 부표와 같은 임의의 수상기준점(WRP : Water Reference Point)을 이용한 수상에서의 특수 점을 영상정합에 이용한다.

## 1.2 연구 지역

본 연구는 임의의 수상기준점을 이용한 영상정합을 위해 저수지 두 곳을 대상으로 실험을 수행하였다. 연구지역은 경상남도 김해시에 위치한 두곡저수지와 시례저수지이다. 첫 번째 연구지역인 두곡저수지의 넓이는 약 6,000 m<sup>2</sup> (60×100 m)이며, 가야대학교 내부에 위치하고 있다. 두곡저수지는 주위에 대학교 건물이 위치하고 있으며, 주위 건물에 비해 상대적으로 고도가 낮아, 바람이 약하며 저수지에 배수로가 설치되어 있어 물이 약하게 계속 흐른다.

두 번째 연구지역인 시례저수지는 산 중턱에 위치하고 있으며, 면적은 약 68,400 m<sup>2</sup> (360×190 m)로 매우 넓기 때문에 시례저수지의 일부분만(약 10,000 m<sup>2</sup> : 200×50 m)을 이용하였다. 시례저수지는 비교적 넓은 면적에 바람이 강하게 불며, 물의 흐름이 빠르고 3변칙적이다. 본 연구는 크기가 작고 흐름이 약한 두곡저수지의 첫 번째 실험을 통해 수상기준점을 이용한 영상정합의 가능성을 평가하였고, 시례저수지에서 실시한 두 번째 실험을 통해 수상기준점의 활용성을 평가하였다(Fig. 1).

## 2. 연구 방법

본 연구는 해석사진측량의 GCP를 대체하기 위한 방법으로 수상의 부표를 이용하여 수상기준점을 작성하였다. 수상기준점을 통한 영상정합의 가능성을 평가하기 위해 저수지 두 곳을 대상으로 실험을 수행하였으며, 두곡저수지와 시례저수지의 실험조건은 동일하게 제한하였다. 연구에 사용한 드론은 DJI사의 회전익 Inspire-1이다. 부착된 카메라 화각(FOV)은 94°이며, 이미지 최대크기는 4,000×3,000 pixel이며, GPS/IMU가 내장되어 있다. 촬영 고도는

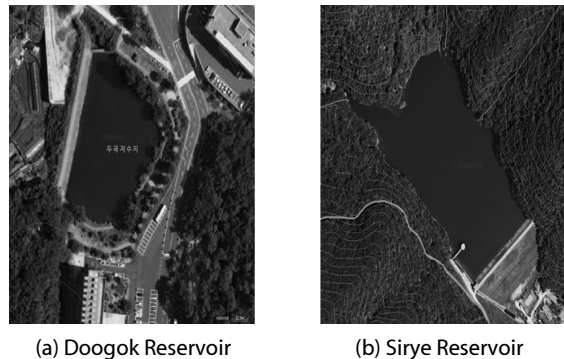


Fig. 1. Test Site

각각 40 m, 80 m, 중복 도는 80%이다. 수상기준점은 시중에 판매하는 30×40 cm 크기의 일반 부표를 이용하여 제작하였다. 영상정합은 일반적인 자동 영상정합 S/W가 아닌 수동 영상정합이 가능한 Erdas LPS S/W를 이용하여 수동 영상정합을 수행하였다. 영상정합을 위한 표정요소는 카메라 정보, GPS 등을 이용하여 획득하였으며, 영상정합의 기준이 되는 수상기준점의 좌표는 Total Station 및 VRS를 이용하여 측량하였다. VRS의 정확도는 3 mm + 0.5 ppm이며, Total Station의 정확도는 3 mm + 2 ppm으로 최대 측량거리가 200 m이므로 측량 기기의 오차는 최대 3.4 mm 이내이다. 그러나 수상기준점은 흐르는 물위에 있어 위치가 계속 변화하기 때문에 드론 촬영 동안 3회 무타겟 측량을 실시하여 평균값을 이용하였다.

**2.1 영상정합**

해석사진측량은 내부표정요소 및 외부표정요소를 이용하여 영상정합을 수행한다. 그러나 현재 이용되는 대부분의 드론 사진측량 영상정합 프로그램은 SIFT (Scale Invariant Feature Transform) 기법을 이용하여 외부표정요소를 사용하지 않고 영상을 자동 정합한다. 자동 정합된 영상은 SfM (Structure from Motion) 기법을 활용하여 점군을 생성, 정사영상 또는 수치지형도를 작성한다(Lee et al., 2016). 그러나 두 영상의 동일한 특수점 및 공액점을 추출하고 에피폴라라인을 통해 영상정합을 수행하는 SIFT와 SfM 기법은 물과 같이 계속 변화하는 대상을 상대로 사용이 불가능하다. 이에 본 연구는 해석사진측량학 방법은 기초로 부표를 이용한 수상기준점을 Control Point로 이용하여 영상정합을 시도하였다.

**2.2 사진기준점측량**

사진기준점측량은 Table 1과 같이 해석사진측량과 드론을 이용한 사진측량 모두에 이용된다. 사진기준점측량은 항공영상, GPS, IMU 등 다양한 자료를 이용하여 항공영상의 외부표정요소를 추출하는 것이다. 본 연구는 영상을 이용한 공간정보 자료를 작성하기 위해 Geo-Referencing을 수행하였다. 이는 영상을 이용한 3D 공간정보 구축을 위해 수행하는 작업으로 영상의 각 셀에 좌표

값을 등록시켜 준다. 이 작업을 위해 필요한 외부표정요소는 GPS를 이용해 위치정보 (X, Y, Z)를 획득하였고, IMU를 이용해 회전값 ( $\omega, \varphi, \kappa$ )을 획득한다. 그러나 본 연구에 이용된 드론은 짐벌이 부착되어 회전 값이 최소화 되었다.

**3. 결과**

**3.1 두곡저수지 분석 결과**

수상기준점을 이용한 수상사진측량의 가능성 평가를 위해 물의 흐름과 바람이 상대적으로 약한 두곡저수지에서 실험을 수행하였다. Table 2는 Total Station 및 VRS로 측량한 부표의 좌표와 수상기준점을 이용한 해양사진측량의 좌표를 비교한 RMSE 결과이다.

$$RMSE_{XY} = \sqrt{\sum [(Total\ Station_{XY}) - (Photo_{XY})]^2 / n} \tag{1}$$

$RMSE_{XY}$ 는 Eq. (1)과 같이 계산하였으며 Total Station 과 Photo는 Total Station과 사진측량을 통해 획득한 좌표이다. 실험에 사용된 부표는 총 20개로 사진 당 부표가 평균 7개 촬영되었다. 각 사진에서 3개의 부표를 기준점으로 활용하였다. 거리 RMSE는 36.3 cm이며 최대 RMSE는 40.8 cm로 나타났다.  $RMSE_X$ 의 최대 최솟값은 19.3 cm, 10.5 cm 이며,  $RMSE_Y$ 의 최대 최솟값은 21.2 cm, 8.8 cm이다. 1 m<sup>2</sup>에 사용된 수상기준점의 개수는 0.013개이다.

**3.2 시레저수지 분석 결과**

두 번째 연구지역인 시레저수지에서 수행한 실험은 두곡저수지와 동일하게 20개의 부표를 사용하였으며 사진 당 평균 5개의 부표가 촬영되었다. 두곡저수지와 동일하게 3개의 부표를 각 사진에서 기준점으로 사용하였다. 두곡저수지와 동일한 조건하에 수행된 시레저수지의 거리 RMSE는 81.0 cm 이며,  $RMSE_X$ ,  $RMSE_Y$ 는 각각 50.5 cm, 74.7 cm 이다.  $RMSE_X$ ,  $RMSE_Y$ 의 최댓값은 56

Table 1. Comparison of Photogrammetry

	Photogrammetry	Digital Photogrammetry	Hydrographic Photogrammetry
GCP	Ground Control Point	Ground Control Point	Water Reference Point
Image Matching	Orientation Elementry, Referece Point	SIFT, SfM	Orientation Elementry, Referece Point
Control Point Surveying	Geo-Referencing	Geo-Referencing	Geo-Referencing

Table 2. Availability of Water Reference Point

	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta d$	WRP per Area (WRP/m <sup>2</sup> )
Doogok Reservoir	0.141	0.137	0.363	0.013

Table 3. Availability of Water Reference Point

	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta d$	WRP per Area (WRP/m <sup>2</sup> )
Sirye Reservoir	0.505	0.747	0.810	0.0004

cm, 74 cm 이다. 시레저수지 1 m<sup>2</sup>에 사용된 수상기준점은 0.0004 개로 두곡저수지의 1/33 수준이다(Table 3).

시레저수지에 설치한 수상기준점은 강한 바람과 배수로 때문에 유속이 빨라 기준점의 위치 변화가 상대적으로 크다. 두곡저수지에 설치한 수상기준점은 처음과 끝의 위치오차는 20 cm 이내로 작게 나타났지만, 시레저수지의 수상기준점은 처음 획득한 좌표와 마지막에 획득한 좌표가 약 2.6 m의 오차를 보였다.

### 3.3 연구결과 비교 분석

Fig. 2는 두곡저수지와 시레저수지의 포인트별 위치오차를 나타낸 그래프이다. 두곡저수지와 시레저수지 모두 2개점에서 과대오차가 발생하였다. 과대오차가 발생한 2점을 제외하면 오차가 각각 10 cm, 50 cm 이내로 매우 높다. 두 저수지에서 발생한 과대오차는 각 스트립의 처음과 마지막 영상에서 발생했다. 과대오차가 포함된 영상은 지형지물의 영향으로 수상기준점이 고루 분포되지 않고 타 영상과의 정합이 가장 적은 기준점에서 나타났다. 그렇기 때문에 타 수상기준점에 비해 정확도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

두곡저수지와 시레저수지 연구 결과를 비교하면 시레저수지의 위치 오차가 두곡저수지와 비교하여 약 3~4배 큰 것으로 나타난다. 이러한 오차의 원인은 세 가지로 분석된다. 첫 번째 원인은 면적당 수상기준점의 차이이다. 두 저수지의 면적당 수상기준점의 차이는 0.013개과 0.0004개로 약 32배 차이난다. 기준점의 정확도가 확보된 경우, 사진측량의 정확도와 기준점의 개수는 비례관계이므로, 면적당 수상기준점의 차이는 정확도 저하의 원인으로 분석된다.

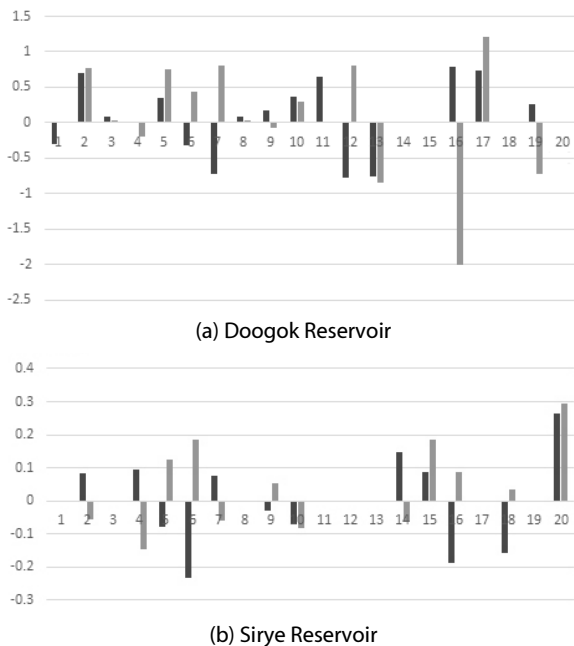


Fig. 2. Distance Error of Test Field

두 번째 오차 원인은 환경의 차이이다. 앞서 설명한 바와 같이 시레저수지는 풍속과 유속이 빨라, 수상기준점의 위치변화가 크다. 항공사진측량의 정확도는 기준점 정확도의 영향을 받는다. 이에 본 연구는 수상측량의 정확도 향상을 위해 수상기준점을 측량 시작 전, 후로 3회 측량하였다. 시레저수지의 수상기준점 오차는 여러 가지 환경요인으로 두곡저수지에 비해 약 13배 크다. 기준점은 항공사진측량 정확도 결정의 가장 중요한 요소로 이 기준점의 정확도가 상대적으로 낮은 시레저수지 결과 역시 낮게 나타난 것으로 판단된다.

세 번째 오차원인은 연구지역 특성이다. 두곡저수지는 작고 땅으로 둘러싸인 지형이다. 그렇기 때문에 영상정합에 유리하며 물이 전체적으로 일정한 방향으로 흐른다. 그러나 시레저수지의 경우 전체 지형이 넓고 드론으로 촬영하는 것이 어려워 일부지역만을 사용하였기 때문에 저수지 중앙에 가까운 부분의 정확도가 더욱 감소한다(Fig. 3).

Fig. 4는 수상기준점의 정확도와 수상사진측량의 정확도를 비교한 결과이다. 수상기준점의 위치 오차량과 수상사진측량의 위치 오차량의 상관관계는 Eq. (2)과 같다.

$$E_{pho} = 0.7559 \times (E_{WRP}) + 0.104 \quad (2)$$

$E_{pho}$ 는 사진 상의 위치 오차량이고,  $E_{WRP}$ 는 수상기준점의 위치오차이다. 두 오차량의 상관계수는 0.7559로 높게 나타난다. 즉, 해석사진측량과 동일하게 수상기준점의 정확도에 따라 사진측량의 정확도가 결정된다. 또한, 본 연구의 실험 환경(바람, 파도 등)보다 더 열악한 환경에서 측량이 수행될 경우를 고려하여 해양경계측량의 허용오차인  $\pm 2$  m 보다 높은 정확도인 1.5 m 이내의 오차량을

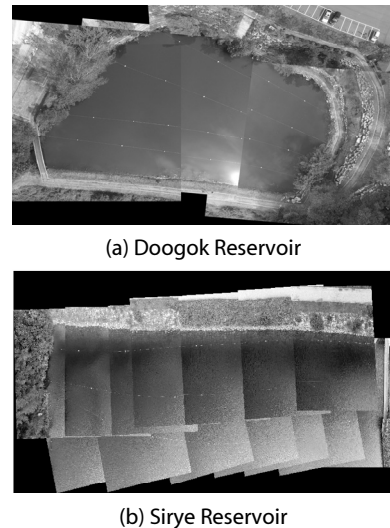


Fig. 3. Photogrammetry of Test Site

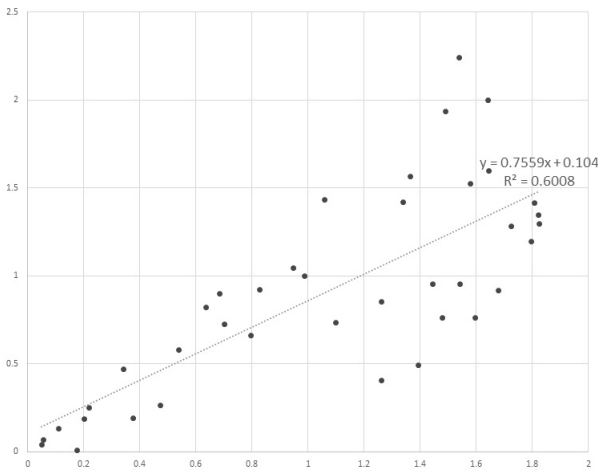


Fig. 4. Relation between WRP and Coordinate

확보하기 위한 수상기준점의 평균 허용오차는 1.8 m 이내인 것으로 나타났다(Eq. (2)).

#### 4. 결론

본 연구는 수상에서의 드론 활용을 위한 기초연구로 저수지 두 곳을 대상으로 수상기준점의 가능성 및 활용성을 평가하였다. 연구방법은 움직이는 드론을 이용하여 유체를 측량하는 것으로 수상기준점의 정확도는 약 81 cm이며 지상기준점의 정확도는 약 50 cm 이다. 본 연구는 수 cm의 정확도를 가지는 기존의 사진측량에 비해 정확도가 많이 낮으며, 파도를 관측 역시 정확도가 수 cm로 매우 높다(Kim et al., 2011; Yu et al., 2016). 본 연구와 기존의 연구를 비교하면 기존의 사진측량 또는 파도를 관측하는 방법은 촬영기와 피사체 중 한 가지 이상은 반드시 고정되어 있는 방식이다. 그러나 본 연구는 드론을 이용하여 유체를 측량하기 때문에 기존의 방법과 다른 새로운 방법을 필요로 한다. 또한 지상에서 수행되는 대부분의 측량은 수 cm 이내의 정확도를 요구하지만, 해양에서의 측량은 파도와 바람 등 다양한 이유로 ±2 m 이내의 정확도를 요구한다는 점에서도 큰 차이를 보인다.

본 연구에서 제시한 드론의 수상 사진측량 방법은 움직이는 부표를 이용한 영상정합으로 움직이는 부표의 위치를 파악하고 각 사진에서 3개 이상의 수상기준점을 이용하여 해석사진측량 방법을 이용한 영상정합이다. 이 방법을 통한 정확도 분석 결과, 거의 모든 측정에서 50 cm ~ 1 m 이내의 정확도를 확보하였다. 이 결과는 허용 오차량이 ±2 m 이내인 해양측량에서도 충분히 활용 가능한 것으로 평가된다. 향후 다양한 분야에 활용하기 위해서는 면적당 WRP, 중복도, 환경요소(풍속, 유속 등), WRP 허용 오차량 등 다양한 요소를 고려한 더 구체적인 방법을 필요로 한다.

또한, 본 연구에서 제시한 방법은 수상부유물을 이용한 수상기준점을 이용한 방법으로 수상부유물이 없는 순수 바다에서 활용이 불가능하다는 한계성을 지니고 있으며, 추가 연구가 필요시 된다.

#### References

Byun, J. K., Hur, G. B., LEE, K. H. and Suk, J. Y. (2016). "A study on UAV flight control system HILS test environment." *J. of Korean Society For Aeronautical And Space Sciences*, Vol. 44, No. 4, pp. 316-323 (in Korean).

Cho, S. W., Huh, S. S., Shim, H. C. and Choi, H. S. (2011). "An image processing algorithm for detection and tracking of aerial vehicles in short-range." *J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 39, No. 12, pp. 1115-1123 (in Korean).

Kim, D. J. and Lim, L. H. (2016). "Example of UAV for territorial management." *National Policy Brief*, Vol. 578, pp. 1-8 (in Korean).

Kim, S. J., Yu, K. K. and Yoon, B. M. (2011). "Real-time discharge measurement of the river using fixed-type surface image velocimetry." *J. of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 5, pp. 377-388 (in Korean).

Lee, H. S. (2016). "Civilian use of drone and safety regulation." *J. of Korea Administrative Law And Practice Association*, Vol. 45, pp. 81-103.

Lee, I. S., Lee, J. O., Kim, S. J. and Hong, S. H. (2013). "Orhthophoto accuracy assessment of ultra-light fixed wing UAV photogrammetry techniques." *J. of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 6, pp. 2593-2600 (in Korean).

Lee, K. W., Son, H. W. and Kim, D. I. (2016). "Drone remote sensing photogrammetry".

Lee, S. C., Yun, B. C., Kim, D. U. and Chae, J. I. (2016). "Using the drones in public duties." *J. of Korea Institute Of Communication Sciences*, Vol. 33, No. 2, pp. 100-106 (in Korean).

Lee, S. J. and Choi, Y. S. (2015). "Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (drone)." *J. of Korean Society for Rock Mechanics*, Vol. 25, No. 5, pp. 462-469 (in Korean).

Lee, S. J. and Choi, Y. S. (2016). "Comparison of topographic surveying results using a fixed-wing and a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (drone)." *J. of Tunnel and Underground Space*, Vol. 2, No. 24, pp. 24-31.

Park, C. H., Choi, K. A. and Lee, I. P. (2016). "Lane extraction through UAV mapping and its accuracy assessment." *J. of Korea Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol 2, pp. 11-19 (in Korean).

Park, S. U. (2015). "Die schädigung des eigentums und des privatlebens durch ein unbemanntes luftfahrzeug." *J. of Korean Civil Law Association*, Vol. 70, pp. 413-446 (in Korean).

Yu, K. K. and Hwang, J. G. (2016). "Development of a real-time surface image velocimeter using an android smartphone." *J. Korea Water Resour*, Vol. 49, No. 6, pp. 469-480 (in Korean).