

무인항공사진을 이용한 저수지 방재 모니터링

Reservoir Disaster Monitoring using Unmanned Aerial Photogrammetry

박홍기*

Park, Hong Gi

要 旨

저수지에 대한 방재계획은 저수지의 수위와 수면 면적에 대한 시계열적인 변화 상태를 직관적으로 모니터링하여 보다 신속하게 대책이 수립되어야 한다. 본 논문은 주기적인 무인항공사진측량을 통해 제작되는 정사영상을 이용하는 방안을 제시하고 적용가능성을 분석하였다. 아산시 성내저수지를 대상으로 총3회의 무인항공사진측량을 실시하여 정사영상을 제작하고, 각각의 성과를 비교하여 저수지의 시계열별 수위 변화와 수면 면적의 변화 상태를 분석하였다. 분석결과, 강우에 따른 수위 상승과 수면 면적의 증가를 효과적으로 관측할 수 있었다. 정사영상 성과는 지상측량에 의한 실측성과 비교하여 최대오차가 X좌표는 7.5cm, Y좌표는 10.8cm, 높이는 14.1cm 이내의 범위에 들었으므로 향후 무인항공사진측량 방법이 저수지의 방재 관리를 위한 모니터링 업무에 충분히 적용될 수 있음을 검증하였다. 또한 정사영상을 취득하는 데에는 촬영에 약 2시간, 그리고 영상처리에 약 4시간이 소요되어 촬영 당일 영상분석이 가능하므로 긴급을 요하는 방재 업무에 최적일 것으로 판단된다.

핵심용어 : 무인항공사진측량, 정사영상, 방재, 저수지 관리

Abstract

The Disaster planning for the reservoir should be more quickly and intuitively establish measures by means of the sequential monitoring of change status of the reservoir water level and water surface area. This paper presents an approach using the orthophoto image produced by the periodic unmanned aerial photogrammetry and analyzed the feasibility. Total three time of unmanned aerial survey were conducted to make orthophoto images for the Seongnae reservoir and we analyzed the amount of changes for water level and surface area compare with each images. As the Analysis results, it was possible to effectively observe the increase in the water level rises and the surface area due to the rainfall. The maximum deviations of orthophoto images was 7.5cm in X-direction, 10.8cm in Y-direction and 14.1cm in elevation compare with ground surveying results. Therefore, we conclude that the unmanned aerial photogrammetry could be applied with comprehensive reservoir monitoring works for disaster management for reservoir in the future. And, the orthophoto production takes about two hours to shoot the images, and approximately four hours is considered for the image processing. So, the unmanned aerial photogrammetry is considered to be the best disaster work that requires urgent because analysis is possible in the shooting day.

Keywords : Unmanned Aerial Photogrammetry, Orthophoto, Disaster Prevention, Reservoir Management

1. 서 론

최근 이상기후로 인한 집중호우로 저수지 제방이 붕괴되고 홍수가 발생되고 있어 이에 대한 근본적인 대책이 절실히 요구되고 있다. 저수지의 방재관리를 효율적으로 하기 위해서는 수위와 수면의 변화상태 등을 주기적으로 모니터링 하여 그에 따른 대책을 적기에 수립해야 할 필요가 있다.

현재 한국농어촌공사에서 운영 중인 농촌용수종합정

보시스템(RAWRIS)은 농촌용수 물 관리 정보화사업의 메인 시스템으로서 자동수위계를 통해 얻어진 저수지의 실시간 수위자료를 1시간 간격으로 제공하고 있다. 또한 실시간 강우자료와 자동수위 관측 자료를 활용하여 호우발생시 저수지로의 홍수유입량과 방류량을 자동으로 분석하거나, 예상되는 강우량을 직접 입력하여 홍수량을 파악하는 농촌홍수관리시스템이 개발되어 농촌용수종합정보시스템에서 운영되고 있다. 그러나 저수지 운영의 의사결정 참고자료는 수치적으로 제공하

Received: 2014.11.10, revised: 2014.12.02, accepted: 2014.12.04

* 정희원 · 가천대학교 토목환경공학과 교수(Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Gachon University, hgpark@gachon.ac.kr)

는 것 외에 저수지 수면의 영상자료도 요구된다. 또한 재난 전후의 지형 모니터링에서 항공영상의 효용성은 매우 크다.

해당 저수지를 전문으로 관리하는 사람은 수위 정보로 저수지 연안의 모습을 부분적으로 가늠할 수 있겠지만 일반적으로는 저수지 표면 면적 등 저수지 상황을 수위 정보만으로 직관적으로 파악하기는 어렵다.

수면의 변화를 모니터링하는 방법으로서 인력에 의한 직접조사는 대상지를 일일이 답사하여야 하며 접근이 난해한 연안 지점은 데이터취득에 어려움이 있다. 또한 위성이나 항공사진기술은 수위변화가 비주기적으로 발생되고 피해발생 시 신속한 현황조사가 이루어져야 함을 고려할 때 효과적인 모니터링에는 어려움이 있다. 반면 무인항공기(UAV, Unmanned Aircraft Vehicle)의 경우, 현장에 수시로 접근하여 비행고도에 따라 다양한 축척의 정사영상 취득이 가능하며 경사촬영 및 동영상 등 다양한 영상정보의 취득이 가능하기 때문에 저수지의 모니터링에 매우 효과적으로 활용할 수 있다 (Kim et al., 2010).

무인항공기를 이용한 항공사진측량 기술은 최근 여러 연구자들에 의해 다양한 실험이 진행되고 있다. 정사영상의 제작 및 정확도에 관한 연구로는 무인항공사진측량 기법으로 제작한 정사영상 성과를 지상측량 성과와 비교한 결과, 평면위치의 정확도가 10cm임을 검증한 연구가 발표되었다(Lee et al., 2013). 수시 갱신용 지도제작이나 재난·재해분야 적용 가능성을 검토하기 위한 연구로는 무인항공사진측량 결과, 지상기준점을 이용했을 경우 10cm의 오차범위로 정사영상을 제작하여 소규모 지역의 주제도 갱신이나 현장측량 작업을 대체하는 것이 가능함을 입증하였다(Kim et al., 2014).

무인항공사진측량을 이용한 3D공간정보구축에 관한 연구로는 도시지역에 대한 무인항공 사진촬영을 실시하여 3차원 모형을 제작하고 이를 1/1,000 수치지도 및 지상기준점 성과와 비교하여 3차원 가상도시 구축, 3D GIS 데이터베이스 갱신, 지형지물 변화정보 추출 및 수치지도 갱신에 활용할 수 있는 가능성을 제시하였다 (Jung et al., 2010). 더 나아가 무인항공사진측량 기술을 공사측량 분야에 적용하고자 실험한 사례로는 취득한 3차원 고해상도 정사영상을 기반으로 가상측량 프로그램에 의해 실내에서 현황도면 작성, 거리, 면적 및 물량계산 등의 작업을 수행하였다(Park et al., 2013). 또한 실제 공사가 진행되고 있는 현장의 시공측량에 적용하기 위하여 고해상도 공간정보를 취득한 경우로서, 청원군 가마지구의 토공사 현장을 대상으로 700 x

400m 면적에 대하여 고도 100m의 초근접 사진을 촬영하고 25점의 지상기준점을 사용하여 영상을 처리한 결과, X방향으로 2.29~3.75cm, Y방향으로 1.97~2.98cm, 높이방향으로 4.92~8.48cm 정확도의 고해상도 공간정보를 취득하고, 이를 이용하여 등고선도, 중횡단도 작성 및 시계열 분석 등을 수행한 바 있다(Cho et al., 2014). 이와 같이 무인항공기의 활용이 다양해짐에 따라 기술적, 법·제도적 규정과 동향을 분석하여 저비용으로 소규모지역의 최신 고화질 영상획득에 효과가 있음을 발표하였다(Yun et al., 2014).

본 연구에서는 무인항공사진측량 기법을 이용하여 저수지에 대한 고해상도 공간정보를 취득하여 정확도를 분석하고, 총 3회에 걸친 주기적 촬영성과를 바탕으로 영상의 시계열적 공간분석을 통해 재해, 환경 및 시설물관리 등을 위한 모니터링 업무의 적용 가능성을 평가하였다.

2. 데이터 취득 실험

2.1 실험 대상지

실험대상지는 충남 아산시 영인면 소재 성내저수지를 선정하였다. 본 저수지는 무인항공기의 국토모니터링 적용을 위한 실험의 일환으로 국토지리정보원에서 주기적으로 사진촬영을 실시하는 곳이다. 2014년 7월 이래 현재까지 매일 촬영한 다수의 영상이 확보되어 있으므로 저수지의 시계열별 공간자료를 이용한 연구가 용이할 것으로 판단되었다.

2.2 데이터 취득

2.2.1 지상기준점 측량

고정밀 정사영상을 제작하고 위치정확도를 검증하기 위하여 사진 상에서 식별이 뚜렷한 지형지물을 지상기준점으로 선정하였다. 대상지 전체에 대한 지상기준점



Figure 1. Study area

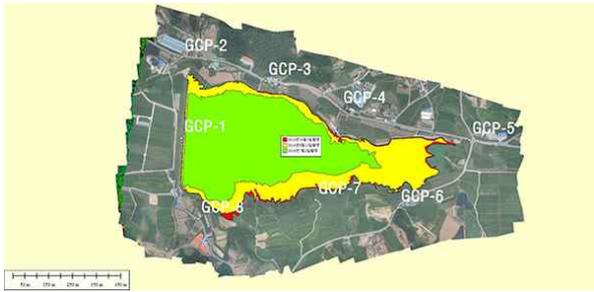


Figure 2. GCP locations



Figure 3. Realtime conversion of ellipsoid height to elevation using KNGeoid13 Geoid model

배치도는 Fig. 2와 같다.

지상기준점측량은 네트워크RTK 방법으로 실시하였다. 지상기준점측량에는 Spectra Precision사의 1급 GPS인 SP80장비를 사용하였다. 보다 높은 정확도의 지상기준점측량을 위해서는 GPS 정지측량 방법으로 평면좌표를 결정하고, 표고는 레벨을 이용하여 직접수준측량을 실시해야 하지만, 본 연구의 목적상 네트워크 RTK방법으로 3차원좌표를 취득하기로 하였다. 표고는 최근에 고시된 KNGeoid13모델을 적용하여 측정하였다. 따라서 평면좌표는 VRS방식의 네트워크RTK방법으로 취득하였으며 1세션 당 10에포크씩 관측하여 평균값을 산출하는 방식으로 총 3세션을 관측한 후 이들을 다시 평균하는 방법으로 결정하였다. 표고는 평면좌표와 동일한 방법으로 관측하여 얻은 GPS 타원체고를 컨트롤러에 탑재한 KNGeoid13모델을 이용하여 표고로 변환하여 결정하였다.

2.2.2 무인항공 사진측량

실험에 사용된 무인항공기는 스웨덴 SmartPlanes

AB사에서 제작한 SmartOne모델이다. 본 기체에는 비측량용 디지털카메라와 GPS, MEMS(Micro electro mechanical systems) 관성측정장치(IMU, Internal measurement Unit)센서 등이 탑재되어 있어 촬영과 동시에 매 사진의 외부표정요소가 실시간으로 취득되므로 Direct Georeferencing이 가능하다. 또한 이들 센서는 기체제작 시부터 항상 고정된 위치에 설치되어 있으므로 매 촬영 전 센서위치에 대한 윗셋측정이 필요없는 장점이 있다. 또한 SmartOne은 기체의 무게가 1.2kg에 불과하여 배터리 전원의 소모가 적고, 동체에 비하여 날개면적이 넓어 양력이 크게 발생되므로 비행이 매우 안정적이다. 이륙은 수동방식으로 좁은 지역에서도 손쉽게 이륙된다. 착륙은 수동, 반자동 및 자동방식 등 3가지 방식이 있는데, 넓은 착륙장소가 부족하고 기체 하강코스에 고층건물, 전선, 나무, 가로등 등의 장애물이 많은 우리나라 지형에서는 위험한 자동 착륙방식보다는 수동 내지는 반자동 착륙방식이 적합하다. 특히 성내저수지와 같이 착륙장소가 협소한 지역에서는 수동방식을 채택해야 한다. 그러나 기체의 수동착륙을 위해서는 일정 수준 이상의 숙달된 무선조종 능력이 요구되는 등의 어려움이 있다.

사진촬영은 2014년 7월2일과 8월12일 그리고 10월1일 등에 걸쳐 총 3회를 실시하였다. 각각의 촬영은 비행고도 250m에서 종중복 75%, 횡중복 60%의 조건으로 1회 촬영 시마다 각 2회의 비행으로 실시하였다. SmartOne은 250m로 고도를 설정할 경우 약 30분간 비행하여 0.5km²의 면적을 촬영할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이륙준비, 이륙, 촬영, 착륙, 카메라 저장영상 다운로드 등을 2회 실시하는데 2시간이 소요되었다. 현장에서 사무실로 복귀하여 정사영상을 제작하는 데에는 4시간이 소요되었다. 현장이동, 촬영 및 데이터처리 등 일련의 과정을 1일 이내에 종료할 수 있었다. 촬영사진은 1회 차에 330매, 2회 차에 347매, 3회 차에 330매가 취득되었다. 사용된 고해상도 카메라는 Canon

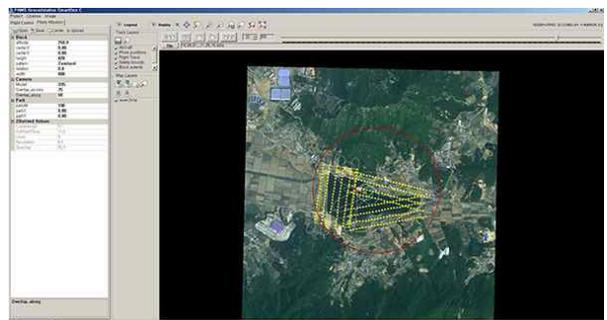


Figure 4. GCS flight monitoring

S95 제품으로 초점거리 28mm의 환산값에서 지상표본거리(GSD)가 8.1cm인 영상이 얻어졌다. Fig. 4는 무선모뎀이 연결된 노트북PC와 비행모니터링 및 비행체 제어용 소프트웨어로 구성된 GCS (Ground Control Station)에 의해 실시간으로 기록되는 비행화면을 나타내었다.

2.2.3 정사영상 제작

촬영된 사진을 비행 당시 실시간으로 취득한 각 사진의 외부표정요소와 함께 Agisoft사의 Photoscan 소프트웨어로 입력하여 Direct Georeferencing방법에 의해 자동으로 수치표면모형(DSM, Digital Surface Model)과 정사영상을 제작하였다. 하지만 무인항공기에 장착된 GPS와 관성측정장치(IMU)는 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)형식의 초소형 센서타입으로 유인항공기에서 사용되는 RTK-GPS와 정밀 INS장비에 비해서는 정확도가 비교적 많이 떨어진다. 그러므로 Direct Georeferencing방법으로 무인항공 촬영영상을 이용하여 정사영상을 제작하는 경우에는 수m의 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 8점의 지상기준점을 이용하여 항공삼각측량을 수행함으로써 거리와 면적을 정확히 산출하는 등 공학적 분석이 가능한 정사영상을 제작할 수 있었다. Fig. 5는 Photoscan소프트웨어에서의 영상처리 과정 중 일부를 나타내었으며, Fig. 6은 지상기준점을 이용하여 제작한 고정밀 정사영

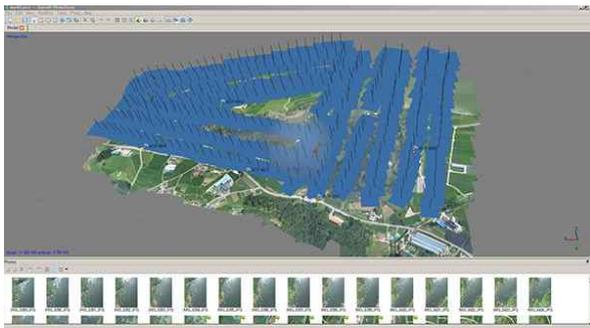


Figure 5. Image processing



Figure 6. High accurate orthophoto image

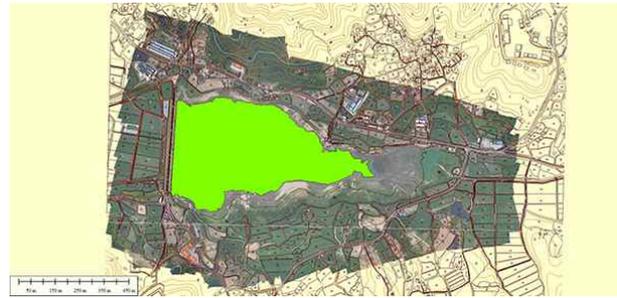


Figure 7. Map matching with orthophoto image

상을 나타내었다. 가장 간편하고 직관적인 방법으로 정사영상의 정확도를 확인하기 위하여 제작한 정사영상을 1/5,000수치지도와 중첩하였다. 그 결과, Fig. 7과 같이 제작된 정사영상은 기존 수치지도와 매우 정확하게 일치됨을 확인하였다.

2.2.4 정확도 분석

고정밀 정사영상은 지상표본거리(GSD)가 8.1cm인 무인항공 영상을 이용하여 Direct Georeferencing방법에 의해 자동으로 제작한 기초 정사영상을 기반으로 하였으며, 8개의 지상기준점 성과를 이용하여 정확도를 향상시켰다. 정사영상의 위치정확도 검증은 정사영상에서 추출한 지상기준점의 좌표와 지상측량에 의해 실측한 지상기준점의 좌표를 직접 비교하는 방법으로 수행하였다.

Table 1과 같이 기준 GCP좌표와 7월, 8월 및 10월에 제작한 정사영상 추출 좌표 간의 최대오차는 X 방향으로 약7.5cm, Y 방향으로 약10.8cm, 높이는 약 14.1cm 범위에 드는 것으로 나타났다. 본 저수지 주변의 지형은 기복이 거의 없는 평지인 관계로 비교적 높은 정확도의 결과를 얻을 수 있었으며, 이는 무인항공 사진측량 성과를 이용할 경우 고정밀의 공간분석이 가능함을 보여 준다.

Table 1. Result of GCP Surveying (Unit : m)

GCP	X	Y	H
GCP-0001	319942.796	4083230.110	24.878
GCP-0002	319944.792	4083570.391	29.732
GCP-0003	320294.775	4083470.172	27.321
GCP-0004	320607.624	4083351.076	26.021
GCP-0005	321145.718	4083221.253	24.291
GCP-0006	320848.604	4082936.536	25.605
GCP-0007	320502.954	4082969.686	22.702
GCP-0008	320014.155	4082890.659	28.682

Table 2. Result of check point surveying (2014.07.02)
(Unit : m)

GCP	X-7	Y-7	H-7	DX	DY	DH
GCP-0001	319942.867	4083230.115	24.867	-0.071	-0.005	0.011
GCP-0002	319944.792	4083570.438	29.653	0.000	-0.047	0.079
GCP-0003	320294.750	4083470.126	27.271	0.025	0.046	0.050
GCP-0004	320607.605	4083351.035	25.985	0.019	0.041	0.036
GCP-0005	321145.735	4083221.229	24.321	-0.017	0.024	-0.030
GCP-0006	320848.571	4082936.494	25.746	0.033	0.042	-0.141
GCP-0007	320502.971	4082969.612	22.610	-0.017	0.074	0.092
GCP-0008	320014.01	4082890.610	28.615	-0.046	0.049	0.067
RMSE				0.035	0.045	0.074

Table 3. Result of check point surveying (2014.08.12)
(Unit : m)

GCP	X-8	Y-8	H-8	DX	DY	DH
GCP-0001	319942.721	4083230.037	24.859	0.075	0.073	0.019
GCP-0002	319944.748	4083570.457	29.629	0.044	-0.066	0.103
GCP-0003	320294.746	4083470.100	27.331	0.029	0.072	-0.010
GCP-0004	320607.656	4083351.054	26.887	-0.032	0.022	0.134
GCP-0005	321145.721	4083221.293	24.277	-0.003	-0.040	0.014
GCP-0006	320848.591	4082936.487	25.691	0.013	0.049	-0.086
GCP-0007	320502.915	4082969.741	22.783	0.039	-0.055	-0.081
GCP-0008	320014.091	4082890.701	28.743	0.064	-0.042	-0.061
RMSE				0.044	0.055	0.077

Table 4. Result of check point surveying (2014.10.01)
(Unit : m)

GCP	X-10	Y-10	H-10	DX	DY	DH
GCP-0001	319942.792	4083230.050	24.846	0.004	0.060	0.032
GCP-0002	319944.775	4083570.451	29.621	0.017	-0.060	0.111
GCP-0003	320294.820	4083470.175	27.284	-0.045	-0.003	0.037
GCP-0004	320607.598	4083351.044	26.039	0.026	0.032	-0.018
GCP-0005	321145.777	4083221.320	24.276	-0.059	-0.067	0.015
GCP-0006	320848.659	4082936.428	25.673	-0.055	0.108	-0.068
GCP-0007	320502.891	4082969.691	22.741	0.063	-0.005	-0.039
GCP-0008	320014.130	4082890.695	28.631	0.025	-0.036	0.051
RMSE				0.042	0.057	0.055

3. 수위 및 수면면적의 변화량 분석

Photoscan으로 제작한 정사영상과 수치표면모형(DSM)을 Global Mapper 소프트웨어에서 중첩하여 제방의 높이, 수위 및 수면면적 등 방재관리에 필요한 인자들의 정량적 데이터를 추출하였다. 수위는 수치표면모형 자료에서 수애선에 대응하는 위치의 높이값을 추출하였다. 수면면적은 수애선을 디지털화하여 수면에 대한 폴리곤을 형성하고 이 면적을 구하는 방식으로 추출하였다. 추출한 제방의 표고는 24.8m이며 7월 수

위는 19.5m, 8월 수위는 21.4m 그리고 10월 수위는 21.7m인 것으로 나타났다. 기상청 자료에 의하면 성내 저수지와 가장 가까운 천안지역의 강우량은 2014년 7월 3일부터 8월11일까지 332mm, 8월13일부터 9월30일까지 269mm인 것으로 파악되었다.

따라서 강우가 332mm였던 기간에는 수위가 190cm 가량 상승하였으며, 강우가 269mm였던 기간에는 30cm가량 상승하였음을 알 수 있다. 수위의 증가에 따라 수면면적도 증가하였다. 정사영상에서 추출한 7월의 수면면적이 0.231km²이었던 반면, 8월에는 0.346km²로, 10월에는 0.357km²로 증가하여 수위에 따라 수면면적도 지속적으로 증가하였음을 알 수 있다. Fig. 8에서 Fig. 10까지에 수위의 증가에 따른 수면면적의 증가 상태를 월별로 나타내었으며, Fig. 11은 수치표면모형 자료를 기반으로 월별 수면면적을 모두 중첩하여 표현하였다.

이와 같이 주기적 또는 긴급으로 무인항공사진을 촬영하여 정사영상을 제작하면 수위 및 수면면적의 변화를 직관적이고 정량적으로 파악할 수 있으므로 신속한 방재대책을 적기에 수립할 수 있다. 그러나 담수면의 형태는 불규칙한 형상으로 이루어져 있으므로 강우에 따른 수위와 수면면적은 비선형적 증가추세를 보인다. 따라서 강우에 따른 수위의 변화량을 정확히 예측하고 이에 따른 방재대책을 수립하기 위해서는 수심측량을 실시하여 담수면의 형태를 정확히 파악하여야 한다. 또한 저수지 유역에 대한 지형공간자료를 바탕으로 강우



Figure 8. Surface area on July 2014



Figure 9. Surface area on August 2014



Figure 10. Surface area on October 2014

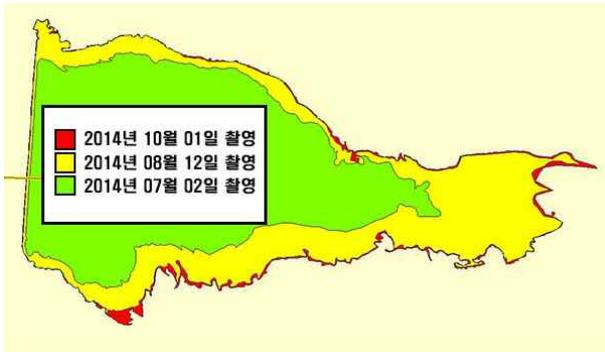


Figure 11. Comparison of each surface area

의 유하시간 등에 관한 데이터도 함께 고려해야 한다. 본 연구에서는 저수지 담수면과 유역의 지형자료가 구축되어 있다는 가정 하에, 무인항공사진 촬영을 통한 수위 모니터링의 적용성을 실험하는 수준으로 한정하였다.

4. 결 론

본 연구에서 무인항공사진측량 기술은 단시간 내에 수위와 수면면적의 변화량을 정량적으로 관측하여 저수지의 홍수예측을 신속하고 정확하게 판단할 수 있어서 방재 모니터링에 효과적으로 활용할 수 있음을 확인하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 무인항공사진측량 방법은 기복이 적은 평지를 대상으로 지상기준점 성과를 이용할 경우 최대오차가 X방향으로 약7.5cm, Y방향으로 약10.8cm, 높이 약 14.1cm 이내인 고정밀 공간정보를 얻을 수 있는 기술임을 확인할 수 있었다.

둘째, 무인항공사진측량에 의해 취득한 정사영상으로부터 저수지의 수위와 수면 면적의 변화량 등 홍수위험인자를 정량적으로 추출함으로써 신속한 수방대책 수립에 매우 적합할 것으로 사료된다.

셋째, 정사영상을 취득하는 데에는 엔지니어의 숙련도에 따라 약간의 차이는 있으나 개략적으로 촬영에 2

시간, 영상처리에 4시간이 소요되어 촬영 당일 영상분석이 가능하므로 긴급을 요하는 방재 업무에 최적일 것으로 판단된다.

그러나 강우에 따른 수위예측을 보다 더 정확하게 하기 위해서는 수심측량을 통한 저수지의 내용적 측량자료와 저수량에 영향을 미치는 유역의 지형측량 자료가 필요하다. 향후 무인항공사진측량에 의한 정사영상 자료에 이들 자료를 추가로 보완한다면 기상예보를 바탕으로 수문학적 분석을 통한 신속한 방재계획 및 대응책 수립이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구를 위해 성내저수지의 무인항공사진 자료를 제공해 주신 국토지리정보원 공간영상과 관계자와 측량을 도와주신 동원측량(주) 관계자 분들께 감사드립니다.

References

1. Cho, Y. S., Lim, H. M., Choi, S. G. and Jung, S. H., 2014, High resolution spatial information acquisition using UAV photogrammetry, Korean Review of Crisis & Management, Vol.10, No.2, pp. 273–287. (in Korean with English abstract)
2. Jung, S. H., Lim, H. M. and Lee, J. K., 2010, Acquisition of 3D spatial information using UAV photogrammetric method, Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.28, No.1, pp. 161–168. (in Korean with English abstract)
3. Kim, D. I., Song, Y. S., Kim, G. H. and Kim, C. W., 2014, A study on the application of UAV for Korean land monitoring, Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.32, No.1, pp. 29–38. (in Korean with English abstract)
4. Kim, M. G., Jung, G. Y., Kim, J. B. and Yun, H. C., 2010, Applicability analysis of UAV for storm and flood monitoring, Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.28, No.6, pp. 655–662. (in Korean with English abstract)
5. Lee, I. S., Lee, J. O., Kim, S. J. and Hong, S. H., 2013, Orthophoto accuracy assessment of ultra-light fixed wing UAV photogrammetry techniques, Journal

- of the Korean Society of Civil Engineering, Vol.33, No.6, pp. 2593–2600. (in Korean with English abstract)
6. Park, M. H., Kim, S. G. and Choi, S. Y., 2013, The study about building method of geospatial information at construction sites by unmanned aircraft system(UAS), Journal of The Korean Cadastre Information Association, Vol.15, No.1, pp. 145–156. (in Korean with English abstract)
 7. Yun, B. Y. and Lee, J. O., 2014, A study on application of the UAV in Korea for integrated operation with spatial information, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol.22, No.2, pp. 3–9. (in Korean with English abstract)
 8. Yun, H. S. and Cho, J. M., 2011, Hydroacoustic application of bathymetry and geological survey for efficient reservoir management, Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.29, No.2, pp. 209–217. (in Korean with English abstract)
 9. <http://www.kma.go.kr> (last date accessed: 29 October 2014)