

## UAV 항공영상을 이용한 저수지 피해 모니터링 및 파악\*

Reservoir failure monitoring and identified by the UAV aerial images

Jin Ki Park\*\*, Jong Hwa Park\*\*\*

Department of Rural and Agricultural Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro,  
Seowon-gu, Cheongju, Korea

### Abstract

The Gueyon reservoir, situated at Yeongchon region, Kyongbok, is prime water storage facilities for agricultural purposes. This reservoir, built by earthen dam and managed by state authority, suffered an embankment failure on August 21, 2014. Every year during monsoon, heavy rainfall causes deterioration and collapse of small earthen dams possess a serious threat to the safety and wellbeing of surrounding rural areas. It may also weaken the soil and lead to a piping and structural failure.

This paper discuss the use of low cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based remote sensing system for post-disaster assessment and monitoring of reservoir embankment failure. For reservoir management, a software was developed for acquisition, post processing and analysis of UAV-based aerial imagery. It used a streamline workflow comprising flight planning, data-acquisition, post processing and finally with precise topographical information an accurate Arial image and ortho-rectified map has been created. Product of UAV aerial imagery work are truly beneficial and content richer information which can be more helpful for decision support system.

**Key words:** UAV, reservoir, embankment failure, precision topography

---

\* 이 논문은 2014학년도 미래부 협업기반연구사업(ICT기반 농업재해 예측 대응 평가에 관한 연구)연구비에 의해 연구되었음.

\*\* Tel. +82-43-261-2572. Fax. +82-43-271-5922. E-mail. krfamily@nate.com

\*\*\* Corresponding author. Tel. +82-43-261-2577. E-mail. jhpak7@cbnu.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Jan. 23, 2015 / Revised: Mar. 16, 2015 / Accepted: Apr. 10, 2015

### 국문초록

괴연저수지는 경북 영천에 위치한 농업용저수지이다. 괴연저수지는 흙댐으로 만들어졌으며 시군관리저수지로 2014년 8월 21일 제체가 붕괴되었다. 매년 장마철에는 집중호우와 댐의 열화로 인한 소형 흙댐의 붕괴가 발생하여 농촌 지역 주민의 안전과 생활을 위협하고 있다. 집중호우와 제방의 열화는 토양을 약화시키고 파이핑 및 구조물의 파괴를 야기하고 있다.

본 논문에서는 저가의 무인 항공기 (UAV)를 사용하여 저수지 제방 파괴 후 평가 및 모니터링을 위한 원격 탐사 시스템에 대해 검토하였다. 저수지 관리를 위해서 비구조적 대책으로 UAV 기반 영상 취득, 후 처리, 영상해석 방법을 개발 하였다. 비행 계획, 데이터 수집, 후 처리 및 정밀 지형 생성에 관한 간단한 흐름과정은 취득 영상 활용과 정사영상지도 제작을 위해 사용하였다. UAV 항공영상 작업의 생성물은 보다 효과적인 의사결정 지원 시스템으로 풍부한 정보 내용 및 매우 유용한 정보를 제공할 것이다.

**주제어:** 무인항공기, 저수지, 제체 붕괴, 정밀지형도

## 1. 서론

저수지는 강수량이 적고 유역이 큰 하천이 없는 지역 등에 농업용수 확보를 위해 물을 저장하여 취수할 수 있도록 인공적으로 조성한 연못이나 호수를 말한다. 이러한 저수지는 삼국시대부터 현재에 이르기까지 오랜 역사를 거쳐 농지개발과 농어촌용수 부족 해소를 위해 축조되었다. 현재는 농업용수만이 아니라 홍수조절기능 등 지역의 귀중한 수원으로써 농업의 초석 역할을 하고 있다.

2014년을 기준으로 전국에는 17,477개의 저수지가 분포해 있다. 이 중 약 81%에 해당하는 14,105개의 저수지는 지방자치단체 소관 시·군·구 관리 저수지이며 나머지 3,372개가 한국농어촌공사 관리 저수지이다(박종운 등, 2010; 한국농어촌공사, 2014). 이러한 저수지는 지역 문화와 깊은 관계를 가지고 있으며 주변 농지 및 야산과 일체가 되어 다양한 생물 서식장소로 활용되면서 그 지역 문화를 형성하고 있다. 최근 들어 저수지는 저수지를 활용한 휴식공간과 테크를 이용한 산책길 조성 등 자연 환경과 접할 수 있는 공간을 제공하고 있으며 생물들의 서식 공간 및 환경을 활용한 환경 및 생태 교육장으로 활용하는 등 저수지가 갖는 다양한 기능으로 지역발전의 중심 역할을 하고 있다.

그러나 농업인구의 감소, 농촌의 고령화, 노후 저수지의 증가, 지구 통폐합에 따른 수리조합의 부재 등은 저수지 유지관리 방법의 개선을 필요로 하고 있다. 특히 이상기상 및 집중호우 등은 저수지 방재 및 재해관리에 많은 부담으로 작용하고 있다. 특히 농업용저수지는 1945년 이전에 축조된 저수지가 8,350개로 시·군·구 관리 저수지의 56%를 차지하고 있다. 이와 같이 70년 이상 경과된 저수지는 시간이 경과할수록 노후화로 인한 붕괴위험, 유입토사 퇴적에 따른 유효저수량 감소 등 안전 및 기능상 문제점을 가지고 있어 재해발생 위험이 높아 위기관리 문제가 과제로 남아 있다.

지방자치단체 소관 저수지 제체는 전체 14,105개소 중 14,087개소(99%)가 흙댐 구조로 되어 있어 월류시 붕괴위험이 높은 구조로 되어 있고 나머지 18개소(1.0%)는 콘크리트 구조로 되어 있다. 홍수

조절방식은 95%이상이 여수도를 통한 자연 월류식으로 홍수기를 대비한 제한수위 운영이 불가능하며 유입수량이 급증할 경우 조절이 불가능한 경우가 대부분이다.

2002년 태풍 루사의 영향에 의한 강원 강릉의 장현저수지 및 동막저수지 붕괴, 집중호우 등에 따른 2007년 전남 보성의 춘정저수지 및 전남 고흥의 대사저수지 등은 유입 수량의 증가에 따른 월류로 저수지가 붕괴되었다. 이후 대규모 농업용저수지는 설계기준 보안을 통해 정비 또는 개수되고 있으나 소규모 시·군·구 관리 저수지는 안전진단 등급이 C등급 이하도 많은 것으로 나타났다(윤창진, 2010). 한국시설안전공단(2013)의 ‘2000년 이후 전국 저수지 관리현황’ 자료에 따르면 한국농어촌공사가 관리 중인 전국 저수지 3,374곳 가운데 1,545곳에 대한 안전진단을 실시한 결과 95%(1,474개)가 안전 하위등급인 C·D 등급을 받은 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 2014년 8월 21일 붕괴된 경북 영천의 괴연저수지 사례를 통해 저수지 붕괴에 따른 피해 파악 방법을 제안하고자 하였다.

무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)는 기존의 위성과 항공 영상으로 얻기 힘든 일정 지역 정보를 짧은 시간에 관측 가능하고 같은 장소를 반복해서 주기적으로 관측이 가능하여 시간변화 파악이 가능한 장점을 가지고 있다(정성혁 등, 2010; Hong et al., 2007). 또한 무인항공기는 지상조사에서 얻기 어려운 공간정보와 재해지역 등 접근이 어려운 지역의 영상을 재해발생 후 바로 취득하여 적은 비용으로 재해 상황 파악이 가능한 특징을 가지고 있다. 이러한 특징은 지상조사 및 위성과 항공 영상을 이용하여 얻기 어려운 농업재해 등 방재분야에서 발생하는 문제를 파악하고 해결하는데 매우 중요한 정보를 제공할 수 있는 점들이다. 최근에 빈번하게 발생하고 있는 저수지붕괴 등의 피해규모와 피해액 등을 산정하는데 UAV의 접근성과 순시성은 기존의 방식으로 얻을 수 없었던 저수지 주변 지역의 공간정보를 빠른 시간에 얻을 수 있고 피해 정도를 정확하게 파악할 수 있는 지형정보를 제공해주고 있다. 반복성과 정시성은 위성과 항공 영상 취득에 많은 비용과 절차 및 시간이 소요되는 문제점을 해결할 수 있어 재해전의 상황을 알고 재해에 따른 상황 변화 및 복구진행 파악 등에 요구되는 사항을 파악하는데 유용할 것이다. 원격성은 저수지 재해 발생으로 접근이 곤란한 지역 관측에 직접 접하지 않고 정보를 취득할 수 있어 재난관리 분야에 매우 유용하게 활용할 수 있는 특징을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 UAV를 이용하여 저수지 피해 모니터링에 유용한 정밀지형도를 작성하고 재해가 발생한 저수지의 피해상황 파악과 피해복구 활용 방법을 제안하고자 하였다.

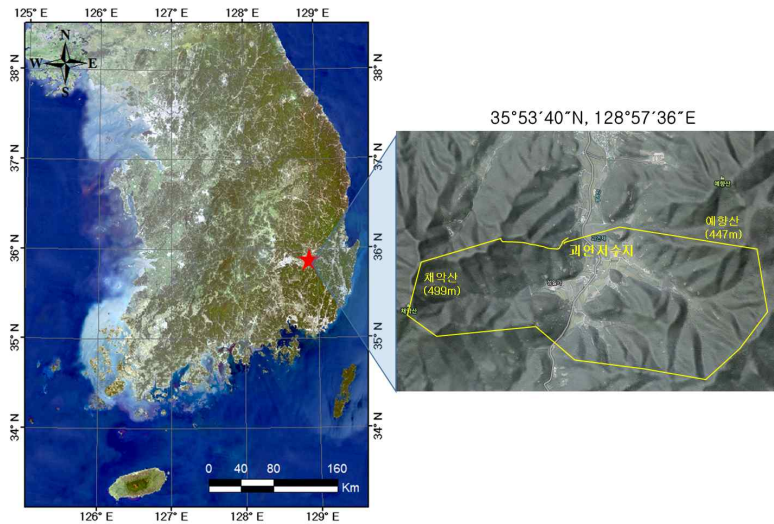
## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구대상지역

연구대상지역은 경상북도 영천시 괴연동에 위치한 괴연저수지로 지자체인 영천시관리 저수지이다. 괴연저수지는 그림 1과 같이 채악산(499m)과 예향산(447m)으로 둘러싸여 있는 유역으로 유역면적이

125ha, 관개면적 28ha이다. 저수지 제체는 1945년에 토언제중심점토형으로 축조되었다. 제방 길이는 160m, 높이는 5.5m, 유효저수량은 61,400m<sup>3</sup>이며 한발빈도는 3년 (저수지는 3년 이상 한해에도 관개 가능한 수리시설로 계획) 이다.

괴연저수지는 2014년 8월 21일 오전 9시 저수지 물넘이(여수토) 주변이 붕괴되었다. 21일 이전 영천 기상관측소에서 관측된 강우량은 2014년 8월 17일 22.5mm, 18일 128.0mm, 19일 9.5mm, 20일 25.0mm, 21일 65.5mm로 5일 동안 227.8mm가 내렸다. 이 비로 축조한지 69년 경과된 괴연저수지는 물넘이(여수토) 우안이 붕괴되면서 제방 주변 토사와 저수지 물이 쏟아져 하류로 흘러가게 되었다. 이 과정에서 저수지 하류지역의 슈퍼마켓과 오소리농장이 물에 잠기고 포도밭과 옥수수 밭 등 농경지 일부가 침수되었다. 또한 지대가 낮은 도로와 가드레일 일부는 침수 또는 파손되는 재해가 발생하였다.



<그림 1> 괴연저수지 위치 및 유역면적

## 2. 연구재료

본 연구에서 사용한 무인항공기는 그림 2와 같은 회전익으로 크기는 1,300×1,300×140mm이다. UAV 무게는 3.5kg이며 프로펠러는 8엽으로 구성되어 있다. 촬영 광학센서는 Sony NEX-5T (1,610만 화소)를 이용하였다. 비행경로 설정 및 항공영상 촬영은 대상유역에 대해 노트북에서 자동비행 경로를 설정하고 일정 중첩도로 자동촬영 하도록 하였다.

취득영상의 왜곡 방지는 기준점 조사를 실시하여 기준점측량에서 적용되는 GPS 측량법인 GPS-RTK를 사용하였다. GPS-RTK는 상대측위 방식으로 GPS 측위시 발생하는 각종 오차를 2대 이상의 GPS 수신기에서 동시 소거함으로써 수 mm의 정확한 위치를 측정하는 방식이다. GPS측량법은 후처리방법을 사용하였다. 영상해석은 Photo Scan 및 ArcGIS를 사용하여 영상접합(모자이크), 2D평

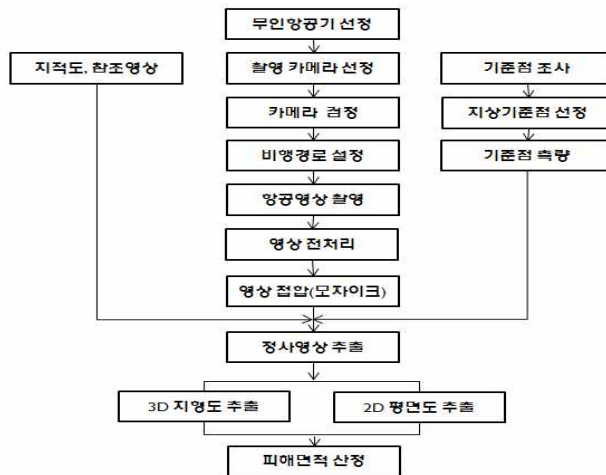
면도 및 3D지형도를 작성하였다.



<그림 2> 회전익 UAV의 구성

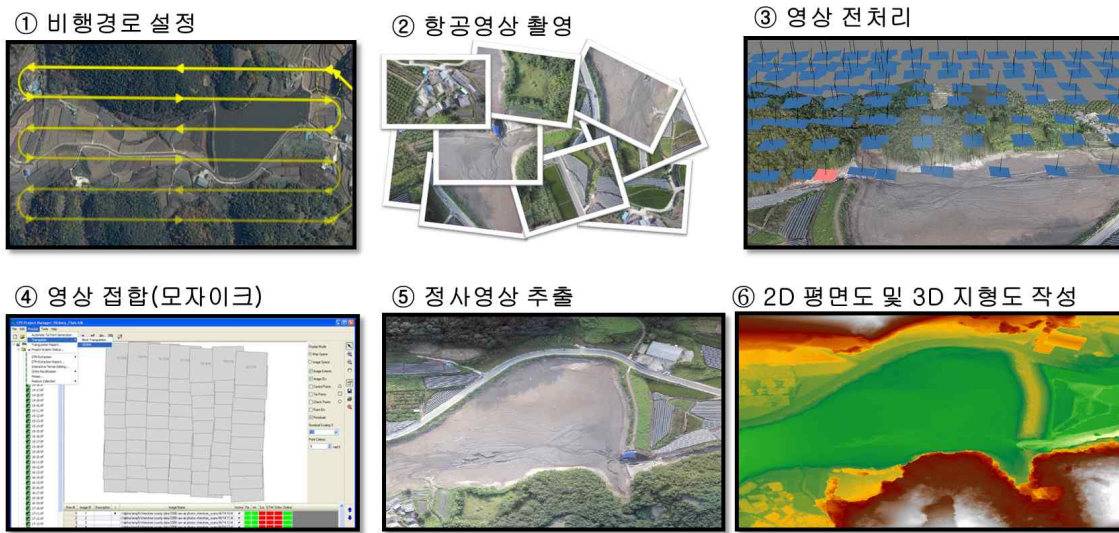
### 3. 연구방법

본 연구는 그림 3과 같이 자료처리 공정 및 피해면적 산정 과정을 거쳐 수행하였다. 먼저 UAV는 회전익을 선정하였다. 촬영카메라 및 센서는 Sony NEX-5T를 선정하여 검정 과정을 거쳐 붕괴된 피연저수지 유역에 대해 영상 중중첩도 및 횡중첩도를 60%로 설정하여 2회로 나누어 338장 (153장 + 185장)을 촬영하였다. UAV영상 촬영면적은 43ha(0.43km<sup>2</sup>)이며, 공간해상도는 4cm/pixel로 초고해상도 영상이다. 무인항공 사진측량 시스템의 정확도 분석은 대상지역내에 20개의 기준점을 선정하고 기 설치 되어 있는 기준점으로부터 토털스테이션을 이용하여 지상기준점 측량을 실시하고 영상접합(모자이크)에 따른 영상왜곡 오차를 최소화 하였다.



<그림 3> 자료처리 공정 및 피해면적 산정 흐름도

UAV의 항공영상 촬영 비행경로 설정부터 3D 지형도 및 2D 평면도를 작성하는 주요 과정은 그림 4와 같은 순서로 진행하였다.



<그림 4> UAV를 이용한 3D 지형도 및 2D 평면도 작성 과정

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 호우에 의한 저수지 재해형태 분류

호우로 인한 저수지 재해에 관한 연구사례는 매우 적고 재해발생 후 속보적인 보고가 대부분이다 (山田康晴 등, 1986; 山本哲朗 등, 1998). 또한 수많은 재해에 대해 체계적으로 분류하여 분석한 연구 사례는 거의 없는 실정이다(Sherard, 1985). 기존의 연구는 소규모 피해를 포함한 재해 저수지의 통계적 연구와 붕괴와 같은 큰 피해가 발생한 저수지의 제체 토질 등에 관한 분석 연구가 대부분이다 (ICOLD, 1995). 또한 지자체의 시·군·구 관리 저수지는 대부분 규모가 작고 관리를 위한 매뉴얼 등이 없는 관계로 축조 당시 제체의 제원과 유역면적 등의 자료만 있을 뿐 구체적인 자료가 대부분 없는 실정이다.

저수지의 재해형태는 크게 월류파괴, 활동파괴, 침투파괴로 분류되며 이 중 침투파괴가 가장 많이 발생하는 것으로 보고되고 있다(小倉力와 根本清一, 1989). 괴연저수지 경우도 강우 등에 의한 침투파괴가 주원인으로 분석되고 있다. 또한 호우에 의한 저수지 재해는 강우 침투와 더불어 저수위 상승이 제체 안정성을 떨어뜨리는 영향으로 작용한 것으로 판단된다.

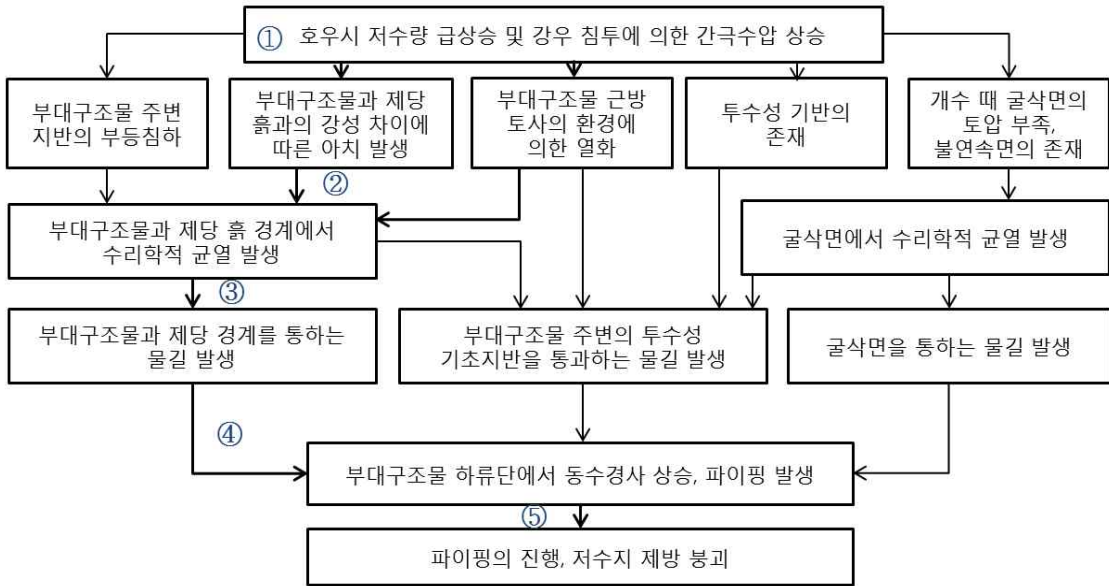
재해 유무를 나누는 요인을 명확하게 하기 위해서는 제체 토질 및 강우량 등의 통계적 분석만이 아

나라 재해를 입은 저수지에 대해 상세한 분석을 하여 파괴원인의 유형화 및 파괴에 이르는 파괴 메커니즘을 밝히는 것이 중요하다. 그러나 자료 및 예산 부족 등을 이유로 관련 연구가 체계적으로 이루어지고 있지 못한 실정이다(손인호, 2012). 따라서 저수지 관련 재해를 예방하고 평가하기 위해서는 저수지 재해위험지도 등 비구조적 대책을 마련해야 될 것이다.

## 2. 호우에 의한 저수지 침투파괴 메커니즘

호우로 인한 저수지 침투파괴는 크게 제체 성토 때문에 발생하는 침투파괴와 기초지반에서 발생하는 침투파괴, 부대구조물 주변에서 발생하는 침투파괴 등으로 나눌 수 있다(八木則男 등, 1983; 堀俊和, 2005). 지금까지 저수지붕괴에 따른 조사는 현장방문을 통해 사진 촬영 등으로 얻어진 자료에 기초하여 조사되어 왔다. 특히 시군관리 저수지의 조사는 예산부족 등을 이유로 실제 방문조사를 통한 원인규명 등도 이루어지고 있지 못하는 실정에 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 UAV를 활용한 영상분석 방법은 좋은 대안이 될 수 있을 것이다. 괴연저수지는 조사 결과 부대구조물인 물넘이(여수로) 주변에서 발생한 침투파괴로 분석되었다. 괴연저수지는 노후화 저수지로 그림 5와 같이 2014년 8월 17일부터 21일까지 5일 동안 227.8mm 내린 강우에 저수위가 급상승하여 제방주변 수압이 상승하여 지반이 약해진 물넘이(여수로)주변의 간극수압이 상승한 것으로 추정된다(①). 물넘이(여수로)주변 토사는 69년이 경과하는 동안 열화하여 부대구조물과의 강성 차이로 균열이 발생하여(②) 물 흐름길이 형성되고 물넘이(여수로)와 제방 흙 경계 부분에서 수리학적 균열이 생겨(③) 물길이 형성되면서 파이핑현상으로 진행되어(④) 저수지 제방의 일부가 붕괴(⑤)된 것으로 판단된다(Jaworski 등, 1981). 괴연저수지와 같은 노후화 저수지는 시간 경과와 더불어 ①의 과정을 거치면서 저수위의 상하 변화에 따른 건습 반복과 저수지 쪽 토사의 이동 및 이탈, 식물의 뿌리, 수생동물 및 쥐 등의 구멍 등 환경에 의한 열화현상이 제체의 차수성을 떨어트린 원인이 큰 것으로 생각된다. ③과 ④의 과정을 거치면서 차수성이 떨어진 물넘이(여수로) 주변에서는 파이핑현상이 진행되면서 수압이 증가함에 따라 제방 붕괴면적은 점점 커지면서 저수지 물은 빠르게 전부 제방 하류 하천으로 흐른 것으로 판단된다.

특히 2014년의 영천지역은 7월까지 가뭄현상이 두드러져 오랜 기간 동안 낮은 수위를 유지하고 있던 제체가 일상적인 침윤선 윗부분의 차수성이 크게 떨어진 영향이 큰 것으로 분석된다. 이것은 장기간 제체가 불포화상태에 있음으로써 건조 및 식물뿌리 등에 의해 손상을 받은 상태에서 호우와 높은 수압을 견디지 못하고 파괴된 것으로 추정된다. 괴연저수지와 같은 노후화 저수지는 제체 열화 등의 영향으로 호우시 설계홍수위에 못 미치는 수위에서도 침투파괴가 발생하여 저수지가 붕괴되는 것으로 분석된다.



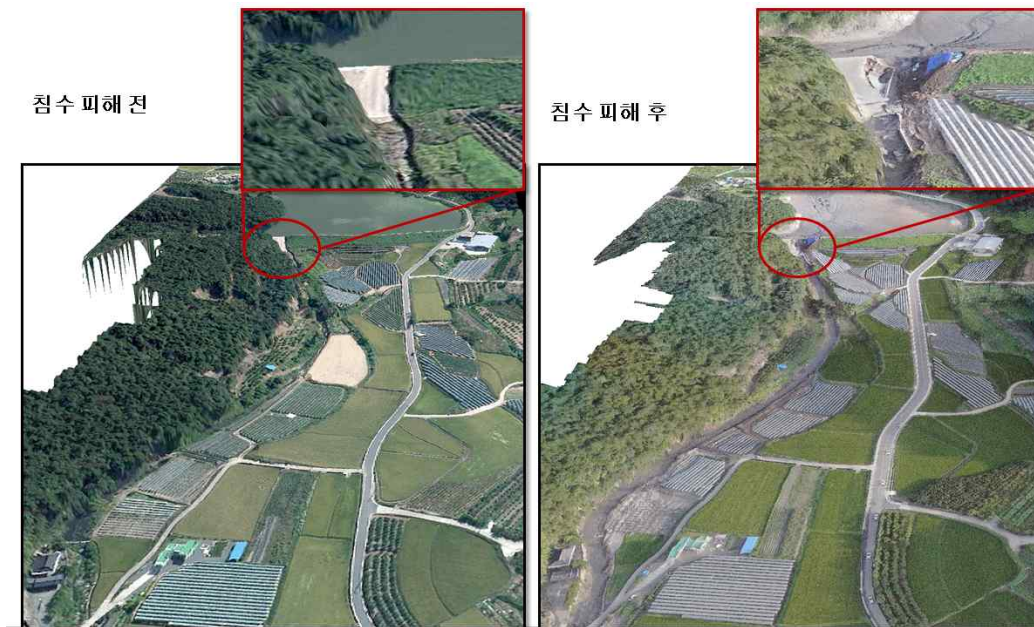
〈그림 5〉 저수지 부대구조물 주변 침투파괴 메커니즘

### 3. 정밀지형도 작성 및 침수면적 산출

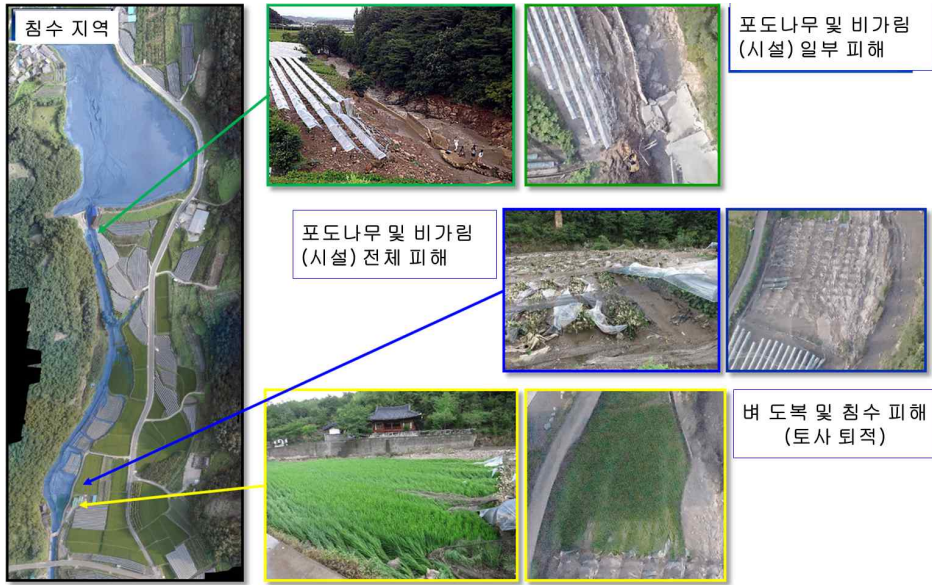
우리나라에 분포하는 대부분의 저수지는 계곡에 위치하는 계곡형저수지로 위성 및 항공 영상자료는 물론 실제 측량자료가 거의 없는 실정이다. 괴연저수지에 관한 지형정보 등은 거의 없어 피해를 분석하고 평가하는데 어려움이 있다. 따라서 괴연저수지에 대한 붕괴 이전 정보는 그림 5 (침수피해 전)과 같은 2011년의 다음 지도를 사용하였다. 다음 지도는 해상도가 떨어지나 하류 하천의 형상을 알 수 있어 참고자료로 활용하였다. 괴연저수지 붕괴 이후는 저수지 물이 전부 배제된 시점에서 UAV를 이용하여 관측 및 영상촬영을 실시하였다. 그림 6 (침수피해 후)는 2014년 8월 17일부터 21일까지 5일간 227.8mm의 호우로 괴연저수지의 둑 23m가 붕괴된 이후 UAV를 이용해 촬영한 무인항공 영상이다. 저수지 붕괴 전후의 영상 비교는 Ordinary Kriging (OK) 보간법을 활용하여 다음 영상을 UAV영상 수준으로 보간 한 후 수로 형상 등을 추출하였다.

제방 붕괴로 인한 침수 면적은 그림 7과 같이 2.53ha (25,300m<sup>2</sup>), 포도밭 4필지, 논 3필지가 침수되었으며 침수로 인해 수로 폭이 넓어진 것을 알 수 있다. 침수로 인한 농경지 피해 면적은 0.51ha (5,122m<sup>2</sup>)로 포도밭 1필지 전체와 3필지 일부, 논 2필지 전체 및 논 1필지 일부로 파악되었다. 영상 하류 지역에는 슈퍼마켓과 농경지의 피해가 발생하였지만, 무인항공기 촬영 범위를 벗어나 피해 면적에서는 제외하였다. 그림 8은 UAV를 이용한 무인항공 영상으로 정밀지형도와 침수 및 피해 지역을 나타낸 그림이다. 그림과 같이 UAV를 이용한 무인항공 영상은 재해 발생 지역을 필요한 시기에 적시에 촬영하여 피해상황을 정확하게 파악하고 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 UAV촬영 영상은 복잡한 산의 계곡에 위치한 저수지의 정밀한 지형정보(4cm/pixel)를 얻을 수 있어 물의 흐름 및 논밭

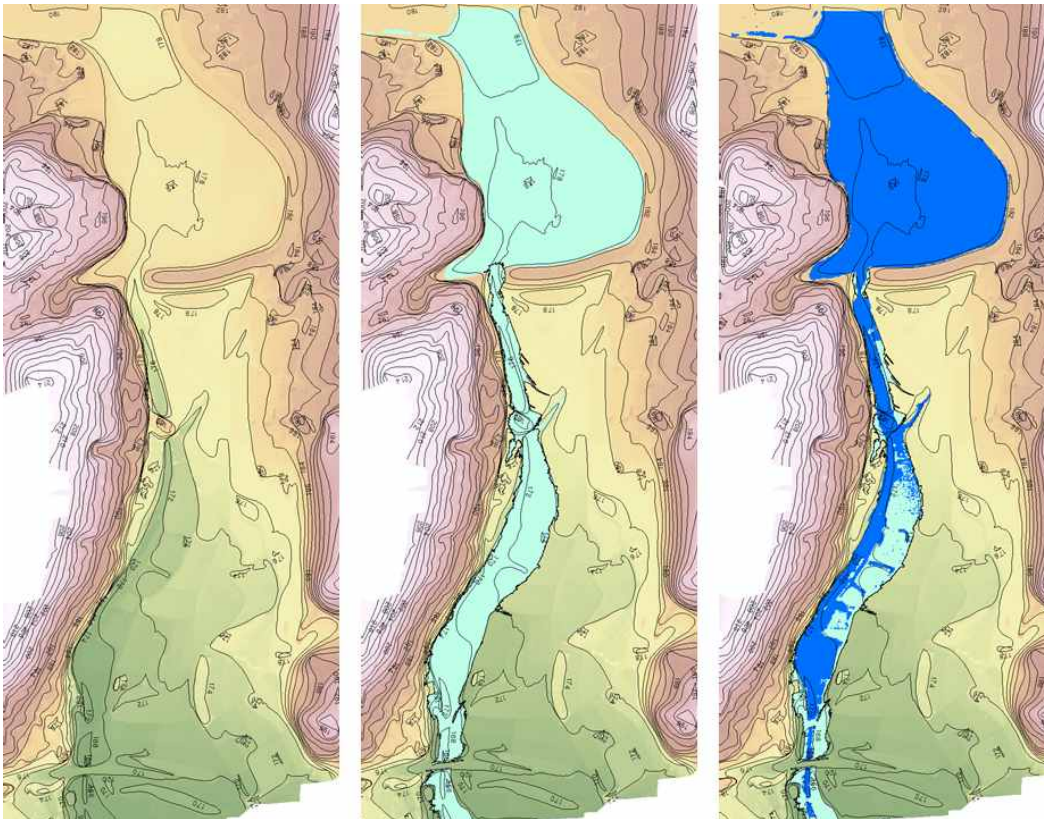
의 지형과 위치 등을 정밀하게 표현해 준다. 또한 재해지역의 현장을 손상하지 않고 보전하면서 좁은 공간에서도 정보를 취득할 수 있는 장점을 가진다. 침수지역도는 하류유역을 70개로 나누어 저수지 붕괴에 따른 유량이 흘러 하류 하천과 농경지 침수에 미친 정밀 침수구역을 추출하여 도시하였다. 침수피해지역은 영상의 침수 흔적과 현장조사 자료를 기초로 작성하였다. 일반적으로 자연대책법 등에서 침수면적 산출 및 대상지 선정은 현장조사를 통한 침수 흔적을 조사하여 실시하고 있다. 그러나 기존의 방법은 공간정보를 활용한 입체적인 평가 및 판단이 어렵기 때문에 보다 정확한 산출을 위해서는 UAV영상 등을 활용하는 방법이 매우 유용할 것이다. 또한 저수지 붕괴에 대한 UAV영상은 댐 붕괴 시뮬레이션 등에 활용한다면 댐 붕괴에 따른 하류지역의 피해 영향을 보다 정확하게 분석할 수 있을 것이다. 본 연구의 특징은 지금까지 일반 측량 작업을 통해 많은 비용과 시간을 투자하여 얻을 수 있는 지형정보를 UAV를 이용하여 보다 정밀하고 정확한 공간정보 자료를 쉽게 얻어 활용할 수 있다는 점이다. 이와 같이 UAV를 이용하여 취득한 무인항공 영상은 cm급 초정밀 고해상도 영상 및 지형도로 표현되므로 농촌지역의 저수지 재해위험지도 등을 작성하는데 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.



<그림 6> 2011년 호우피해 전 다음 지도와 2014년 8월 21일 UAV로 촬영한 무인항공영상



<그림 7> 제방 붕괴에 따른 침수 면적과 피해 상황



<그림 8> 제방 붕괴 후 작성한 정밀지형도(좌), 침수지역도(중앙), 침수 피해지역(우)

#### 4. 시군관리 저수지의 재해대책

윤창진(2010)은 시군관리 저수지 전수조사 결과 대부분의 저수지가 노후화로 인해 기능저하는 물론 인력과 예산부족에 따른 유지관리 부실로 시설물 상태가 열악하여 재해에 매우 취약한 것으로 보고하였다. 소방방재청은 시군관리 저수지에 대하여 새로운 안전관리기법을 정립하고 효과적인 재해대책을 수립하고자 2009년에 「저수지의 재해예방을 위한 안전관리기법 및 DB구축에 관한 연구」를 전국 시군관리저수지 14,105개소에 대하여 전수조사를 실시하고 안정성 변화분석, 피해예측 모델개발 등을 수행하였다. 전수조사 항목은 기본적인 시설 제원, 붕괴시 하류부 피해규모, 저수지 효용성, 정밀안전진단의 안전등급을 고려한 시설물 점검 체크리스트, 시설물 사진 등을 포함하여 구성하고 있다. 이러한 작업은 비구조적 대책 도입을 위한 기초 작업으로 판단된다. 따라서 이러한 DB 자료와 그림 8과 같은 정밀지형도를 연계하여 사용한다면 댐 붕괴 시물레이션에 따른 피해규모 예측과 복구 등에 유용하게 활용될 수 있을 것이다(Okuyama and Chang, 2004).

일본은 저수지 재해위험지도 작성을 통해 저수지 재해대책을 적극적으로 마련해 가고 있다. 주목할 점은 행정이 지역 주민과 대화를 거듭하면서 저수지 위험지도를 작성하는 방식이다. 이 방식에 주목하는 이유는 하천범람 지역은 많은 주민이 거주하는 비교적 광범위한 지역에서 피해 규모도 큰 반면, 저수지 범람피해는 특정 지역 또는 농촌 주민에 한정된다는 점이다. 따라서 해당 지역 주민이 저수지 붕괴에 따른 피해에 대한 충분한 인식을 가지고 행동하면 인적 피해는 최소한으로 막을 수 있다는 점이다. 이 방법은 적은 비용으로 주민이 직접 참여함으로써 가장 심각한 피해인 인적 피해를 크게 줄일 수 있을 것이다. 저수지의 비구조적 대책은 일반적으로 간이 측량을 기반으로 저수지가 붕괴했을 때 침수 깊이 50 cm 이상 되는 지역을 침수 구역도로 작성한다. 이 침수 구역도는 현지조사에서 확인된 위험 개소를 쓰기 위한 지도로 논의 결정된 비상 연락 체제·피난 장소·피난 경로·피난 구조 체제를 추가하여 저수지 재해위험지도를 완성하게 된다.

따라서 본 연구에서 얻어진 UAV항공영상 결과는 저수지 재해위험지도를 작성하는데 피해범위(침수범위)를 추정하는 방법으로 매우 유용할 것이다. 우리나라는 대부분의 저수지에 관한 정확한 지형자료를 가지고 있지 않다. 따라서 피해발생시 피해규모 및 피해액 산정에 어려움이 있을 뿐 아니라 피해예방을 위한 피난 경로, 피난장소 설정 등을 할 수 없어 피난구조 체계를 마련하는데 어려움이 있다. 이러한 저수지 재해위험지도를 작성하기 위해서는 저수지 주변의 정밀지형도 작성이 필요하며 이 자료에 다른 정보를 부가하여 재해에 활용할 수 있을 것이다. 이와 같은 정확한 정밀지형도는 자연재해에 대한 비구조적 대책 마련의 가장 중요한 정보제공 수단 중 하나이다. 따라서 UAV를 이용한 정밀지형도 작성은 지형 자료를 기초로 주민과 행정이 협력하여 저수지 재해위험지도를 작성할 수 있는 기초자료로 저수지 재해대책의 효용성을 높이는 역할을 할 것이다. 저수지 재해 관련 비구조적 대책 창출을 위한 성공 요인은 지역 특성을 반영한 지역주민의 재해 피해 경험 또는 인식, 재해에 대한 위기의식 빈도와 수, 행정과 주민의 소통과 지역 리더의 존재 등이 있을 것이다. 또한 저수지 재해위험

지도 작성에는 대상 저수지가 위치한 다양한 지역 환경을 배려하고 지역성을 중시하는 대처가 필요할 것이다.

#### IV. 결론

저수지 방재 및 재해 경감을 위해서는 구조적 대책뿐만 아니라 비구조적 대책이 필요하다. 저수지의 재해 대책으로는 정기적으로 실시하는 일상 점검과 유지관리, 이것을 기반으로 실시하는 보수, 개수가 일반적이다. 가장 효과적인 방법은 보수, 개수에 의한 구조적 대책의 정비이다. 그러나 정비 사업만으로 많은 저수지 문제를 해결하는 것은 불가능하므로 저수지 재해를 줄이기 위한 비구조적 대책 마련이 필요하다. 물론 비구조적 대책으로는 저수지를 개수할 수 없기 때문에 저수지 붕괴 발생이나 손상 위험을 크게 줄일 수는 없다. 그러나 비구조적 대책은 가장 심각한 피해인 인적 피해를 크게 줄일 수 있는 매우 유용한 방법이다.

따라서 본 연구에서는 비구조적 대책으로 UAV를 이용한 정밀지형도를 작성하여 활용하고자 하였다. 연구대상으로 하는 괴연저수지는 축조된지 70년이 경과된 노후 저수지이다. 노후저수지는 집중호우 때 상류경사면에 침투과괴에 대한 약점이 존재하므로 집중호우 때 저수위가 빠르게 상승하면 붕괴에 이르는 메커니즘을 형성하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 최근 들어 늘어나고 있는 지구온난화에 따른 기후변화 영향으로 국지성 호우 또는 집중호우 및 가뭄이 반복되면서 노후화 저수지의 붕괴 또는 과괴를 야기하는 것으로 나타나고 있다. 관련 대책으로 UAV를 이용한 무인항공 영상은 체계적인 노후화 저수지의 비구조적 대책 마련에 필요한 정밀지형도를 제공하고 있어 저수지 붕괴에 따른 신속한 피해 모니터링 및 평가를 위한 원격탐사 시스템으로 피해사항에 대한 신속하고 정확한 데이터 수집에 매우 유용한 도구로 사용될 수 있을 것이다. 또한 기존조사 방식에 비해 정밀하고 신속 정확하다는 우수성을 가지고 있어 저수지 재해평가 등 의사결정 지원 시스템으로써 활용성이 높을 것이다.

#### 참고문헌

- 박종윤, 조형경, 정인균, 정관수, 이주현, 강부식, 윤창진, 김성준. 2010. 농업용 소규모 저수지의 붕괴에 따른 하류부 피해예측 모델링. 한국농공학회논문집. 52(6): 63-73.
- 손인호. 2012. Flood Risk Map 해외 제작 사례, 물과 미래. 45(9): 99-105.
- 윤창진. 2010. 저수지 재해예방을 위한 안전관리 및 DB구축. 물과 미래. 43(8): 73-76.
- 정성혁, 임형민, 이재기. 2010. 무인항공 사진측량을 이용한 3D 공간정보 취득. 한국측량학회지. 28(1):

161-168.

한국농어촌공사. 2014. 국정조사자료: 서울.

한국시설안전공단. 2013. 소규모 댐·저수지 안전성평가 및 보수·보강방안 연구: 서울.

Hong, Y., R. Adler and J. Verdin. 2007. Use of 21st century satellite remote sensing technology in natural hazard analysis. *Nat. Hazards*. 43: 165 - 166.

International Commission on Large Dams (ICOLD). 1995. *Dam failures statistical analysis*. Bulletin 99.

Jaworski, G. W., J. M. Duncan, and H. B. Seed. 1981. Laboratory study of hydraulic fracturing. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. ASCE: 713-732.

Okuyama, Y. and Chang, S. E. (eds). 2004. Modeling spatial and economic impacts of disasters. *Advances in spatial science*. Springer. New york.

Sherard, J. L. 1985. Hydraulic fracturing in embankment dams. Proceedings. *Symposium on Seepage and Leakage form Dams and Impoundments*. ASCE: 115-141.

小倉力, 根本清一. 1989. 小規模被害を含めたため池豪雨災害の實態, 農林水産省中國農業試驗場研究報告. 4: 1-11.

堀俊和. 2005. 農業用ため池の豪雨災害に関する研究, 農業工學研究所報告. 44: 139-247.

八木則男, 矢田部龍一, 山本浩司, 1983. 雨水浸透による斜面崩壊. 土木學會論文集. 330: 107-114.

山田康晴, 安中正實, 川口徳忠, 藤原信好. 1986. 昭和60年梅雨前線豪雨によるため池災害の特徴. 昭和61年度農業土木學會講演要旨. 320-321.

山本哲朗, 榎井明, 芋岡敏彦, 松本直. 1998. 1997年台風9号によって決壊したため池の堤体調査事例. 地盤工學會誌. 46(5): 40-42.

---

**박진기:** 충북대학교에서 공학박사 학위를 받고(논문: 인공지능영상을 이용한 쌀 생산량 예측 및 기후변화 시나리오 적용. 2014년 2월), 현재 충북대학교 농업과학연구소에서 박사후연구원으로 있다. 주요 연구 분야는 수리 및 농업 수리구조공학, 농업 및 환경 원격탐사이다. 주요 논문으로는 “A new approach to estimate the spatial distribution of solar radiation using topographic factor and sunshine duration in South Korea(2015)” 등이 있다 (krfamily@nate.com).

**박종화:** 일본 Kagoshima대학에서 농학박사 학위를 받고(논문: 전해 간석역 저질의 거동에 관한 연구. 1995년 2월), 현재 충북대학교 지역건설공학과 교수로 재직 중이다. 수리 및 농업수리구조공학, 환경원격탐사, 농업재해, 농업원격탐사가 주요 관심분야이다, 주요 논문으로는 “기상요소와 MODIS NDVI를 이용한 한국형 논벼 생산량 예측모형 (KRPM)의 개발(2012)”, “대전지역의 기상관측 데이터를 이용한 일사량 추정 모델 개발(2014)” 등이 있다(jhpak7@cbnu.ac.kr).