

## Flood Monitoring and Damage Assessment Using UAV

Mi Kyoung Choi<sup>1#</sup>, Micah Lourdes Felix<sup>2</sup>, Ji Hye Shin<sup>2</sup>, Geun Sang Lee<sup>3</sup>, Kwan Sue Jung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> International Water Resources Research Institute, E2, Daehak-ro 99, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, E2, Daehak-ro 99, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

<sup>3</sup> Department of Cadastre and Civil Engineering, Vision College of Jeonju, Jeonju, Korea

### Abstract

The magnitude and frequency of water-related disasters, such as torrential rainfall and typhoons, have been rapidly increasing due to climate change, causing massive casualties and property damages. A rapid and accurate investigation of flood damage is critical for efficient disaster management. However, flood damage investigations, such as flood inundation surveys or property damage surveys, takes considerable time to be completed in South Korea. This study suggests a flood monitoring process using drones, which has been fostered as one of the core industries in South Korea for its technological advancement and utilization. The process of drone-based flood monitoring includes sensor installation, flight plan, video recording and downloading, video connection, extraction of flood area extents, and application to the actual flood event in July 2020. The findings in this study suggest improvements on used drones, legal rules and regulations and solutions to technical issues with drones. Despite various limitations and problems, drone-based flood monitoring can help provide assistance in efficient disaster management through fast monitoring and verification of inundated areas.

**Key words:** water hazard, UAV, damage assessment, flood monitoring

### 1. 서론

국제기후변화 관련기구가 제시한 연구에 따르면 우리나라는 2100년까지 매년 평균강수량이 1.79mm 씩 증가하여 90년 동안 약 161mm이상이 증가할 것으로 분석되고 있다(MOLIT, 2014). 특히, 국내 자연재해는 매년 꾸준히 발생해 연평균 약 3,600억 원의 피해와 7,700억 원의 복구비가 발생하는 것으로 나타났으며

2009~2018년 사이 발생한 재해 중 88%는 호우와 태풍으로 인한 홍수피해인 것으로 나타났다(MOIS, 2019). 2020년 여름에 발생한 집중호우는 동남아시아 국가들을 비롯한 중국과 일본 그리고 국내에 대규모 홍수피해를 발생시켰다. 부산지역은 7월 23~24일 시간당 최대 87mm의 강수량을 기록하면서 지하철도, 주차장, 도로 등이 침수되었고, 초량 제1지하차도에서 급격히 유입된 빗물로 인하여 3명의 인명피해가 발생하기도

# The 1st author: Mi Kyoung Choi, Tel. +82-42-821-7745, Fax. +82-42-821-8957, e-mail. [choi.mk1981@gmail.com](mailto:choi.mk1981@gmail.com)

\* Corresponding author: Kwan Sue Jung, Tel. +82-42-821-5675, e-mail. [ksjung@cnu.ac.kr](mailto:ksjung@cnu.ac.kr)

하였다. 7월 27일 기준 보험회사에 접수된 침수 피해 차량은 총 1천 465대였으며, 차량 피해액만 161억 원으로 추산되었다(Yonhap News, 2020a).

막대한 피해에도 불구하고, 과거에는 홍수피해가 발생하였을 때 기상상황이나 지형여건으로 인하여 적시성과 해상도가 높은 조사 결과를 얻기 어려웠다. 이는 즉각적인 피해에 대한 대응이 어렵고 순차적인 해당분야의 전문가들의 분석(홍수흔적조사, 피해전수조사, 홍수피해시뮬레이션 등)이 완료될 때까지 개략적인 피해 산정이 어려웠기 때문이다(Jung, et. al., 2015).

한편 드론의 기술발전 및 활용 가능성 증대로 국내에서는 드론 산업을 미래 신성장 동력 산업의 하나로 육성하기 위하여 정부에서 무인이동체 발전 5개년 계획(2016~2020년)을 심의·확정하였으며, 국토부, 미래부, 산업부를 중심으로 다양한 사업을 추진하고 있으며 지자체별로 드론 산업을 육성하고 있다(MOLIT, 2019). 수자원 및 하천관리 분야에서도 드론을 활용하여 댐 및 보 모니터링, 녹조 모니터링, 하천지형 모니터링 및 지도 생성, 위험물 및 개발 감시, 홍수나 가뭄 모니터링에 활용할 수 있다(MOLIT, 2019).

UAV를 활용한 홍수모니터링을 수행하기 위한 기술 및 시스템을 정립한다면 신속한 홍수 상황 전달 및 피해액 추정이 가능하고, 홍수 예측 및 피해 시뮬레이션 등 홍수 관련 모델 모의의 검·보정 자료로도 활용할 수 있다. 또한 UAV를 활용한 홍수 피해조사는 기존의 홍수흔적조사에 비하여 적시성 및 정확성이 우수할 뿐만 아니라 소요되는 인력의 규모도 축소시킬 수 있다. Restas(2015)는 홍수 전, 중, 후 홍수 관리를 위하여 하천 모니터링을 제안했다. 홍수 이전에는 UAV 촬영을 통하여 3차원 지형자료를 구축하고, 홍수기 동안은 범람이나 수위를 모니터링 하며, 홍수기 이후에는 복구나 피해액 산정을 위한 모니터링 방법을 제시하였다. Salmoral, et. al.(2020)은 UAS(Unmanned Aircraft Systems)을 홍수 위험 관리에 활용하기 위한 프레임워크를 제시하였다. 최근 UAV를 이용한 홍수모니터링 기술은 가이드라인을 제시하는 경우가 많으며

실제 현장에 적용하고 있는 사례는 많지 않다. 하지만 Feng, et. al.(2015)은 UAV를 활용하여 범람영역을 촬영하여 홍수지도 작성의 정확도를 검토하고 도시 범람 모니터링의 가능성을 제시하기도 하였다.

본 연구에서는 국내 적용할 수 있는 UAV를 이용한 홍수모니터링 체계를 구축하기 위하여, UAV에 부착하여 활용할 수 있도록 제작한 센서보드와 피해액 산정을 위하여 개발한 소프트웨어를 기반으로 UAV를 활용한 홍수 모니터링 프로세스를 제안하고, 2020년 7월에 발생한 대전 지역 홍수상황 모니터링 사례를 통하여 홍수모니터링 프로세스를 재검토하고자 한다.

## II. 홍수모니터링 체계 및 기술 개발

### 1. 홍수모니터링을 위한 시작품 개발

#### 1) 홍수모니터링용 센서보드 개발

기존 UAV는 자동촬영모드나 수동촬영모드를 통하여 부착되어 있는 카메라를 통하여 사진과 동영상을 촬영한다. 영상분석에 활용하기 위한 사진 촬영의 경우 자동촬영모드에서 대상영역과 고도, 속도, 중첩도 등의 설정을 통하여 비행계획을 수립하고, 촬영한 사진은 사진 중첩 프로그램(Pix4D mapper, Correlator 등)을 이용하여 대상영역의 전체 상황을 파악할 수 있는 정사영상을 제작한다. 하지만 일반 카메라로 촬영한 영상은 수체의 빛 반사 혹은 식생부와 수체가 접하는 부분에 색상이 명확하지 않은 경우들이 발생하여 경계처리에 문제점이 발생하였다. 수차례 실험을 통하여 근적외선 파장을 기록하는(육지는 백색에 가까운 색으로 표현하고 수체는 상대적으로 흑색에 가깝게

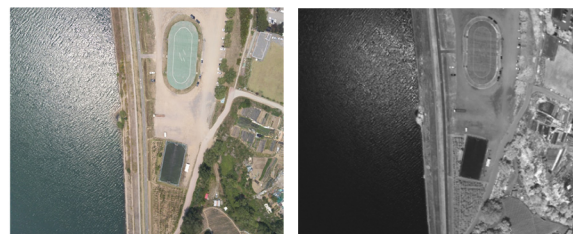


Figure 1. Comparison of images taken with RGB and NIR sensors

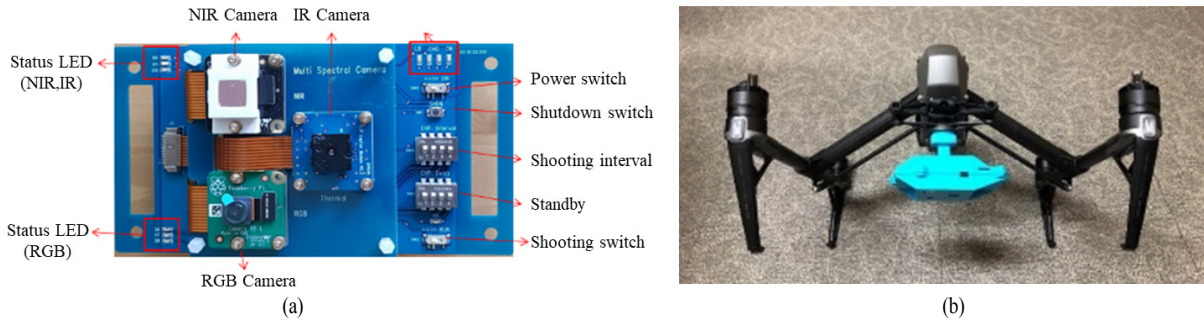


Figure 2. Internal structure of the sensor board and mounting position on UAV

표현하는) NIR(Near Infra Red Band) 센서를 추가로 활용하기 위하여 기존의 RGB센서에 850 nm NIR밴드 필터를 장착하여 NIR센서로 활용할 수 있도록 하였다 (<Figure 1>).

다양한 센서를 동시에 촬영하기 위하여 한 개의 센서보드에 RGB, NIR 센서를 탑재하고, 주로 야간에 발생하는 홍수상황 촬영을 위하여 적외선 센서(IR:Infra Red) 까지 탑재한 센서보드를 개발하였다 (<Figure 2>, (a)). 기존의 적외선 카메라는 주로 열에 의한 재난 예방을 감지하기 위하여 사용되고 있다. Kim, *et. al.*(2013)은 국가산업시설인 통신망, 전력시설, 원자력 및 화력발전소, 중대형 건물, 문화재, 금속 및 철강공장, 화학공장, 정유공장 등 대형공장의 사건과 사고를 근본적으로 방지하기 위한 객체의 온도와 움직임을 고수준으로 감지하기 위하여 적외선 열영상 및 CCD 카메라 기반 화재감지 및 연기감지가 가능한 화재감지 시스템을 개발하였다. Kim & Kim(2010)은 재난 감시를 위한 디지털 미디어 프로세서 기반의 적외선 열화상 처리 시스템을 개발하여 화재발생과 같은 재난 상황을 감시하는 알고리즘을 구현하기도 하였다.

RGB, NIR, IR 센서를 탑재한 센서보드를 드론에 부착하면 기존 드론에 탑재되어 있는 카메라 뿐 만 아니라, 세가지 센서의 영상을 동시에 획득할 수도 있다 (<Figure 2>, (b)). 개발한 센서보드 촬영 영상은 드론에 탑재되어 있는 카메라와 유사하게 중·횡 중복도를 60~70%로 맞추어 촬영하기 위하여 비행속도를 Normal(8.5 m/s)과 Normal+(11.8 m/s)로 구분하여 비행고도에 따른 적정 촬영 시간 간격을 테스트하고 <Table 1>과 같이 매뉴얼로 작성하였다. <Table 1>에 따르면, 비행속도 8.5 m/s, 비행고도 150 m로 설정할 경우 촬영 시간간격은 4초가 가장 적당하며, 비행속도 11.8 m/s, 비행고도 150 m로 설정할 경우 촬영 시간간격은 3초가 적당하다는 것을 알 수 있다.

2) 피해액 산정 소프트웨어 개발

홍수피해의 치수경제성분석은 다차원 홍수피해액 산정방법(MD-FDA; Multi-Dimensional Flood Damage Assessment)에 의하여 시행하고 있으며, 이는 MOLIT(2004)에서 수행한 「치수사업 경제성분석 방법 연구」에서 제시된 방법이다. MD-FDA 방법은 사망 및 이재민과 같은 인명피해를 포

Table 1. Image overlap based on flight velocity, altitude, and time interval between capturing images (acceptable ranges are highlighted in gray)

Time interval(s)	Flight velocity: normal (8.5 m/s)				Flight velocity: normal + (11.8 m/s)			
	100	120	150	200	100	120	150	200
2	81 %	84 %	88 %	91 %	75 %	79 %	84 %	87 %
3	72 %	77 %	82 %	86 %	62 %	68 %	75 %	81 %
4	62 %	69 %	76 %	82 %	49 %	58 %	67 %	75 %
5	53 %	61 %	70 %	77 %	36 %	47 %	59 %	69 %



Figure 3. Splash screen and graphic user interface of the flood assessment software

함하여 건물, 건물내용물, 농경지, 농작물, 산업체 유형 및 재고자산 그리고 공공시설에 대한 직접 피해액을 계산하도록 설계되었으며, 건물이나 농경지 객체에 대해 실제 침수심을 별도로 적용할 수 있다. 최근 국내 여건을 고려한 피해 산정 방법들이 개발되고 있으나 MD-FDA를 이용한 피해액 산정 방법은 아직도 널리 활용되고 있다. 국내에서는 Lee, et. al.(2006a)이 MD-FDA를 활용하여 도시지역을 중심으로 내수배제에 따른 산업체 유형자산과 공공시설물의 피해율을 연구하였고, Lee, et. al.(2006b)은 GIS 자료인 DEM과 수리모델링 결과를 기반으로 침수심을 계산하여 행정구역별 피해액을 산정하였다. Lee, et. al.(2017)은 MD-FDA 방법을 반영하기 위해 건물 레이어를 이용하여 주거 지역과 산업 지역에 대한 홍수피해액을 평가하였으며, 농업지역은 토지피복도를 반영하여 농경지와 농작물의 홍수피해액을 계산하였다. 본 연구에서는 Lee, et. al.(2017)이 제시한 MD-FDA 방법을 기반으로 홍수피해액을 산정할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다(<Figure 3>). 초기 개발한 소프트웨어는 구동 시 범람지역의 통계연보, 건물도, 지적도, 농작물 현황 등을 지자체나 공간포털 홈페이지(www.nsd.go.kr)를 통하여 다운받아 입력자료로 사용할 수 있게 하였다. 하지만 침수가 발생한 이후 자료를 확보하고 피해액을 산정하기 위해서는 긴 시간이 소요되기 때문에 신속한 소프트웨어 자동화를 위하여 전국의 산업체 통계연보, 건물도, 행정구역도, 지적도를 DB로 구축하였다. 또한 홍수 전후 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model) 영상의 비교를 통하여 침수심을 산정

하고 침수심별 경계영역을 추출하기 위한 알고리즘 기술도 탑재되어 있다. 이는 기존 DEM 자료와 홍수 시 촬영 영상을 통하여 생성한 DEM 자료와의 비교를 통하여 침수심을 산정하는 것을 목표로 개발하였다. 하지만 홍수 시 촬영한 영상을 토대로 영상접합 소프트웨어를 이용하여 생성된 DEM의 정확도가 낮고(Lee, et. al., 2015), 복잡한 보정작업이 필요하기 때문에 향후 드론을 이용한 DEM 생성의 정확도가 향상된 이후에 활용이 가능할 것으로 판단된다. 현재 기술로는 촬영된 영상만으로 침수심 추정에는 한계가 있기 때문에, 침수심은 추정하여 입력한다.

## 2. 홍수모니터링 프로세스

### 1) 홍수모니터링 촬영

개발한 센서보드를 부착한 드론을 이용하여 홍수 상황을 촬영하기 위해서는 촬영 시기를 선정하는 것도 중요하다. 홍수모니터링 시간을 확보하기 위하여 연구대상지의 강우를 예측하고 홍수의 도달시간을 수리수문학적으로 해석하기도 하지만 (KEITI, 2020), 본 연구에서는 최근 정부 차원에서 신속하게 발송하는 재난문자 활용을 제안한다. 정부에서 장마기간 폭우, 산사태 주의보, 홍수주의보 발령 상황 등을 실시간으로 알려주기 때문에 홍수주의보가 발령되었을 때 촬영대상지를 인터넷 지도 서비스 등을 통해 확인하고 촬영이 가능한 장소를 검토하여 이동 후 범람영역을 촬영한다. 드론으로 촬영한 동영상은 다운로드 후 뉴스나 실시간 재해 플랫폼에 업로드하여 홍수상황을

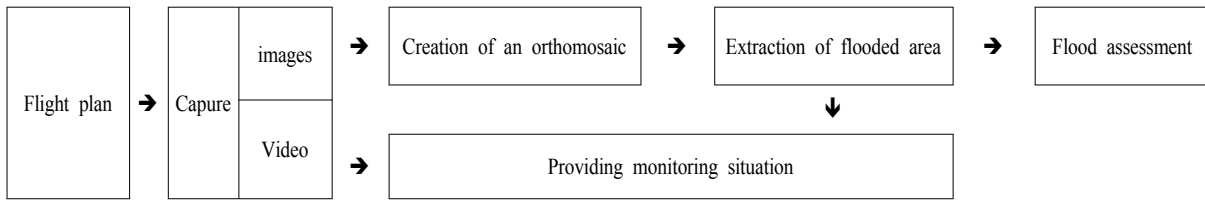


Figure 4. Schematic diagram of the flood monitoring process

신속하게 파악할 수 있도록 제공한다(<Figure 4>). 센서보드 영상은 WiFi(Wireless Fidelity)가 연결되는 영역에 있으면(7~8m 이내), USB를 이용하지 않아도 영상 다운로드가 가능하도록 설계되어 있기 때문에, 작업이 완료되기 전부터 영상 다운로드가 가능하다.

### 2) 영상접합 및 좌표 변환

드론을 이용하여 촬영된 영상은 WGS84 UTM 좌표를 가지고 있기 때문에 국내 좌표체계인 GRS80 TM좌표로의 변환이 필요하며 정확한 좌표 보정과 높이를 계산하기 위하여 일반적으로 지상기준점(GCP) 측량이 필요하다. 지상기준점 측량 없이 접합한 영상은 정확한 좌표를 가질 수 없기 때문에 홍수 모니터링 전이나 후에 해당 지역의 지상기준점 측량 후 홍수기 모니터링 영상을 촬영하면 정확한 좌표체계로의 변환이 가능하다. 지상기준점 측량 없이 접합한 영상은 영상에 좌표를 부여하기 위하여 수치지도나 좌표를 가진 정사영상과의 중첩을 통하여 영상에 좌표를 생성한다. 매핑 SW는 정사영상을 만들면서 해당 지역의 수치표면모델(DSM, Digital Surface Model), 수치표고모델(DEM) 자료를 동시에 생성하지만, 정확도 검증이 필수적으로 필요하다. 피해 면적이 넓을수록 영상접합 및 지형자료 생성에 처리 시간이 다소 늘어날 수 있으나, 수작업으로 재해 면적을 산출하는 과정에 비하여 시간을 상당히 줄일 수 있는 강점이 있어 긴급을 요하는 재난 피해 현장에 대한 신속한 파악과 분석이 가능하다(Jung, 2019).

### 3) 침수영역 추출

영상접합을 통하여 만들어진 정사영상에서의 범람

영역은 GIS를 이용하여 영역을 표시하여 shp파일 형태로 추출하여 피해면적 산정 및 피해액 산정 소프트웨어의 입력자료로 활용한다.

### 4) 홍수피해액 산정

드론 영상을 통하여 추출한 침수영역 shp파일과 추정된 침수심을 입력하면 구축된 DB를 기반으로 도시별, 행정구역별 피해액이 10분 이내에 완료된다. 또한 인터넷 지도 서비스와 연계되어 피해영역을 지도와 중첩하여 육안으로 확인 가능하다.

## III. 홍수모니터링 시범사례

갑천은 충청남도 대둔산 능선에서 발원하여 검천천, 두계천 등과 합류하여 대전광역시 도심지를 관류하는 금강의 제 1지류이다(Daejeon Metropolitan City, 2012)(<Figure 5>). 2020년 7월 30일 대전지역에 집중호우로 인하여 대전지역 갑천에 홍수경보가 발령되었고, 홍수관측소 관측 이래 가장 높은 하천 수위를 기록하였다(<Figure 6>). 홍수경보는 계획홍수량의 70%에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위 또는 5년 평균저수위로부터 계획홍수위까지 80%에 해당하는 수위가 발생하였을 때 발령한다(수자원법 시행규칙 제2조 제3항). 7월 30일 오전 4시 50분 갑천(만년교)에 홍수주의보 발령 안전 안내 문자가 발송되었으며, 오전 7시 40분 홍수경보 변경 안내 문자가 재발송되었다.

7월 30일 오전 11시경 갑천 가수원교 상류부터 잠수교까지 약 1 km에 해당하는 대상지의 홍수모니터링을 실시하였다. 촬영 영상은 Correlator3D 소프트웨어를 이용하여 영상 접합 및 지형자료를 생성하였다.

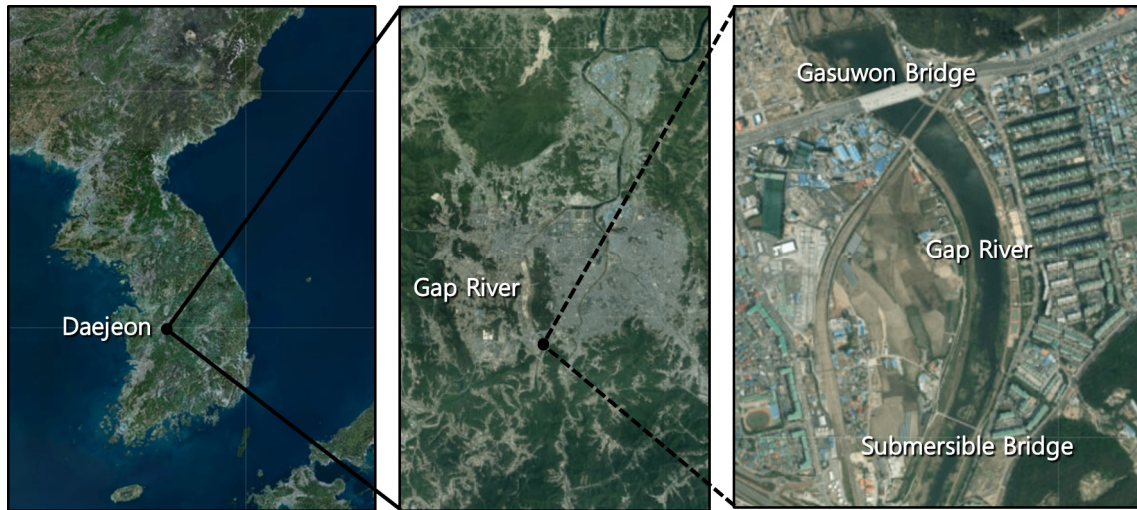


Figure 5. Flood monitoring location, and extents used in this study

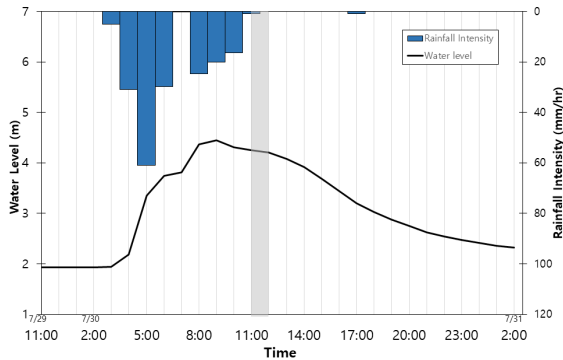


Figure 6. Water level at Gasuwon-gyu and rainfall intensity at Gasuwon from July 29 to 31. Grey line means capture time



Figure 7. Orthomosaic image taken by UAV. Red poly-line means flooded area

홍수 상황 촬영 시 지상측량을 할 수 없어 접합한 영상에서는 정확한 좌표를 알 수 없었다. 그래서 GIS 프로그램을 이용하여 1:1000 수치지도와 정사영상을 중첩하여 좌표 정보를 확인하였다.

중첩한 정사영상은 수재해플랫폼에 당일 6시간 이내에 업로드하여 정보를 제공하였다. 가수원교 상류 좌안 농경지와 우안 아파트 침수가 확인되었고, 침수 영역을 shp파일형태로 추출하였다(<Figure 7>). 침수 심은 뉴스 기사 영상을 통하여 (피해 영상의 아파트 건물 대비 침수 높이) 추정하였다. 우안 아파트 침수 심은 1 m로 추정하였으며, 좌안 농경지는 0.5 m로 추정하였다. 추출된 침수 영역은 피해액산정 소프트웨어에 바로 입력 자료로 활용하여 영상 접합 후 2시간 이내 피해액 산정을 완료하였으며, 피해액은 가수원동과 정림동을 포함하여 총 8,084,415,097원으로 산정되었다(<Table 2>).

#### IV. 고찰 및 결론

본 연구에서는 국내 홍수피해를 신속하고 정확하게 파악하기 위하여 UAV를 활용한 홍수모니터링 프로세스를 제시하였고 실제로 현장에 적용하였다.

센서보드 촬영 매뉴얼에 따라 촬영을 진행할 경우, 대상지(약 1 km 구간) 촬영 시 2~3시간이 소요된다.

Table 2. Estimated flood damages using UAV in the study area (unit: Korean Won)

Districts	Building	Building contents	Farmland	Farm produce	Greenhouse	Industry
Gasuwon-dong	0	0	133,382,747	149,410,760	31,524,470	533,258,709
Jungrim-dong	0	0	8,930,267	10,003,377	0	8,084,415,097

하천의 경우 강우가 그치고 시간이 지남에 따라 유역에서 유출되는 빗물로 인하여 수위가 상승하여 최대 수위 시의 영상 확보가 가능하지만, 하천이 아닌 제내지 범람이나 침수의 경우 관망으로 유입이 진행되면서 상황이 빠르게 종료되어 영상 확보가 어려운 경우가 발생할 수 있다. 그래서 넓은 영역을 단시간에 촬영하기 위해서는 비행고도를 높여야 하지만, 「항공안전법」 제127조에 따라 비행제한구역에서 비행하려는 경우 또는 150 m 이상의 고도에서 비행하는 경우 등에는 국방부, 혹은 관할지역 부대의 ‘드론 항공촬영 승인’이 필요하며 지방항공청의 ‘비행허가승인’ 절차를 거쳐야 하기 때문에(Jung, 2016) 법적으로 문제 없이 단기간에 즉각적으로 촬영을 하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 드론의 재해 활용성 제고를 위해서는 법적 체계를 완화하거나 보완할 수 있는 체계 및 시스템 정비가 필요하다.

영상접합 및 침수영역 추출도 모니터링 프로세스대로 진행이 되었다. 하지만 기존의 문제점이었던 드론 영상을 이용한 침수심 산정은 여전히 문제로 지적되었다. 기존의 LiDAR 측량 DEM 자료와 영상접합 시에 생성한 DEM 자료를 비교하였으나, 오차 범위가 2~3m를 상회하여 사용할 수 없었다. 향후 홍수피해조사 완료 후, 침수영역, 침수심과 피해액에 대한 정확한 검증이 필요하며, 수차례의 검증과정과 드론의 기술발전을 통하여 홍수모니터링 프로세스의 정확도를 향상시켜야 한다.

피해액 산정 결과에서는 우안 아파트(정림동)가 건물이 아닌 산업체로 피해액이 산정되었다. 이는 지도도와 건물도에서 비주거일 경우 산업체로 표기되는데 해당 아파트가 승인이 되어있지 않은 상태이기 때문에 DB자료에서 산업체로 구분되어 발생한 문제로 파악되었다. 또한 피해액 산정의 경우 농작물의 종류에

따라서 피해액의 차이가 급격한 차이를 보이기 때문에 초기 설정 시에 침수지역의 농작물 현황을 파악하는 것도 신속한 피해액 산정의 과제로 남는다. 또한 현재 피해액 산정은 최대 피해액을 산정하기 때문에 실제 피해보상 및 복구비용으로 산정하는 비용과 차이가 발생한다. 피해액 산정 결과는 침수 시 발생하는 지역별 피해 정도를 추정하여 관리자들의 판단에도 도움을 주는 것을 목적으로 하기 때문에 향후 지속적이고 다양한 사례 비교를 통하여 실제 피해액과의 비교 검증과정이 꾸준히 필요하다.

UAV를 활용한 재해 현장 추적은 주로 수작업으로 수행되던 기존의 조사체계에 비해 획기적으로 조사 시간 단축이 가능하며, 직접 수행하기 어렵거나 접근이 어려운 재난 현장에도 대응이 가능하다. 또한 재난 발생 시점부터 정확한 매핑 데이터를 근거로 하여 재난현장 공간정보 구축과 지도 작업이 가능하여 재난현장 상황관리와 복구 우선지역 선정, 복구 계획을 수립하는 데 상당한 강점을 지닌다(Jeong, 2019). 드론을 이용한 홍수모니터링을 효과적으로 지자체나 홍수통제소 등과 같은 국가기관에서 활용하기 위해서는 자율주행, LTE 통신과 클라우드 서버 운용을 기반으로 실시간 촬영 영상 확보 및 전송이 가능한 시스템 및 기술 개선이 필요할 것으로 판단되며, 향후 UAV를 활용한 홍수피해모니터링 및 피해산정기술은 기존의 홍수추적조사에 비하여 적시성과 정확성을 향상시킬 수 있기 때문에 신속한 의사결정 및 대처능력에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 감사의 글

본 연구에 도움을 주신 HQ TECH 이현석 박사님과 조형진 선생님, (주)브이앤지 김길수 이사님께 감사드

리며 본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (79610).

## References

- Daejeon Metropolitan City. 2012. Gapcheon River Master Plan Report.
- Feng, Q., J. Liu, and J. Gong. 2015. Urban Flood Mapping Based on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Random Forest Classifier: A Case of Yuyao, China. *Water*. 7(4): 1437-1455.
- Jeong, Woo Chul. 2019. Investigation of Disaster Damage using Drone Mapping. *Disaster&Safety*. 21(4): 25-29.
- Jung, Kwan Sue, Yeon Soo Kim, and Seong Ryeol Oh. 2015. Development of Flood Damage Estimation Technology Using UAV. *Water for Future*. 48(1): 51-59.
- Jung, Cham Sam. 2016. Urban Flood Damage Survey Using UAV and Drone. *Disaster Prevention Review*. 18(4): 46-54.
- Kim, Tae Wan, Chang Yong Choi, and Dong Myung Lee. 2013. A Design of Fire Detection System based on Infrared Thermal Imaging & CCD Camera. *Proceedings of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conference*. 597-598.
- Kim, Won Ho and Dong Keun Kim. 2010. Implementation of Infrared Thermal Image Processing System for Disaster Monitoring. *Journal of the Institute of Convergence Signal Processing*. 11(1): 9-12.
- KEITI. 2020. Annual Report: Technology of Real-time Flood Monitoring Assessment Using UAV.
- Lee, Geun Sang, Hyun Seok Lee, and Kwan Sue Jung. 2017. The Analysis of Flood Damage Assessment Using MD-FDA Based on Inundation Trace Map. *Journal of The Korean Cadastre Information Association*. 19(3): 29-40. DOI: 10.46416/JKCIA.2017.12.19.3.29
- Lee, Keon Haeng, Seung An Choi, Hung Soo Kim, and Myung Pil Shim. 2006. Application of Multi-dimensional Flood Damage Analysis for Urban Flood Damage. *Journal of Civil and Environmental Engineering Research*. 26(4B): 363-369.
- Lee, Soo Ahm, Tae Jung Kim, Jae In Kim, Min Chul Kim, and Hwi Jeong Chang. 2015. DSM Generation and Accuracy Anaysis from UAV Images on River-side Facilities. *Korean Journal of Emote Sensing*. 31(2): 183-191.
- MOIS(Ministry of the Interior and Safety). 2019. *2018 Statistical Yearbook of Natural Disaster*.
- MOLIT. 2004. Study on the Economic Analysis in Flood Control Projects.
- MOLIT. 2014. Economic Analysis Report on the Development of Safety Technology and Pre-emptive Response to Next-generation Earth and Earthquake.
- MOLIT. 2019. A Study on the Development of River Drone Optimized for Smart River Management.
- Restas, A. 2015. Drone Application for Supporting Disaster Management. *World Journal of Engineering and Technology*. 3(3C): 316-321.
- Salmoral, G., M. Rivas Casado, M. Muthusamy, D. Butler, P. P. Menon, and P. Leinster. 2020. Guidelines for the Use of Unmanned Aerial Systems in Flood Emergency Response. *Water*. 12(2): 521.
- Yi, Choong Sung, Seung An Choi, Myung Pil Shim, and Hung Soo Kim. 2006. GIS Based Distributed Flood Damage Assessment. *Journal of Civil and Environmental Engineering Research*. 26(3B): 301-310.
- Yonhap News. 2020a 7. 27. URL: <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200727145200002>
- Yonhap News. 2020b 8. 9. URL: <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200809033800052>

## Korean References Translated from the English

- 국토교통부. 2004. 치수사업 경제성분석 방법 연구.
- 국토교통부. 2014. 차세대 토사재해 선제대응 및 안전기술 개발 경제성 분석 보고서.
- 국토교통부. 2019. 스마트 하천관리를 위한 하천조사 최적화 드론시스템(River Drone)개발 기획.
- 김원호, 김동근. 2010. 재난 감시를 위한 적외선 열화상 처리 시스템의 구현. *한국신호처리시스템학회지*. 11(11): 9-12.
- 김태완, 최창용, 이동명. 2013. 적외선 열영상 및 CCD 카메라 기반 화재감지 시스템 설계. *한국정보통신학회 2013년도*

- 춘계학술대회. 597-598.
- 대전광역시. 2012. 갑천하천정비기본계획 보고서.
- 연합뉴스. 2020a년 7월 27일자. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200727145200002>
- 연합뉴스. 2020b년 8월 9일자. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200809033800052>
- 이건행, 최승안, 김형수, 심명필. 2006a. 다차원 홍수피해산정방법을 이용한 도시지역의 홍수피해액 산정. 대한토목학회 논문집. 26(4B): 363-369.
- 이근상, 이현석, 정관수. 2017. 침수흔적도 기반 MD-FDA를 이용한 홍수피해액 평가. 한국지적정보학회지. 19(3): 29-40.
- 이수암, 김태정, 김재인, 김민철, 정휘정. 2015. UAV영상을 활용한 수변구조물의 DSM 생성 및 정확도 분석. 대한원격탐사학회지. 31(2): 183-191.
- 이충성, 최승안, 심명필, 김형수. 2006b. GIS 기반의 분포형 홍수 피해산정 기법. 대한토목학회논문집. 26(3B): 301-210.
- 정관수, 김연수, 오성렬. 2015. UAV를 활용한 홍수피해산정 기술 개발. 물과미래. 48(1): 51-59.
- 정우철. 2019. 드론매핑(Drone Mapping)을 이용한 재난사고 피해조사. 재난안전. 21(4): 25-29.
- 정참삼. 2016. UAV와 Drone을 이용한 도시홍수 피해조사. 방재저널. 18(4): 46-54.
- 한국환경산업기술원. 2020. 환경기술개발사업 연차실적계획서: UAV를 이용한 실시간 홍수 모니터링 피해 산정 기술.
- 행정안전부. 2019. 2018 재해연보.

---

Received: Dec. 1, 2020 / Revised: Dec. 9, 2020 / Accepted: Dec. 9, 2020

## 드론을 활용한 홍수 모니터링 및 피해액 산정 기술 개발

국문초록 기후변화로 인한 집중호우와 태풍 등 재해의 규모 및 빈도가 급격하게 증가하면서 막대한 인명 및 재산피해가 발생하고 있다. 수재해를 효과적으로 대응하는 재난관리를 위해서는 신속하고 정확한 홍수 피해 조사가 필요하지만, 홍수흔적조사, 피해진수조사와 같이 홍수피해조사에 상당한 시간이 소요되었다. 본 연구에서는 기술발전 및 활용 가능성 증대로 국내에서 동력 산업의 하나로 육성하고 있는 드론을 활용한 홍수모니터링 프로세스를 제안하고 검증하고자 한다. 드론을 이용한 홍수모니터링은 센서 부착-비행계획수립-촬영-영상다운로드-영상접합-침수영역 추출-피해액 산정으로 진행되며, 실제 2020년 대전 지역에 발생한 침수 상황에 적용하였다. 또한 실제 드론을 활용한 홍수 모니터링을 통하여 법적인 규제나 기술적 문제들을 해결하기 위한 개선점을 도출하고 고찰하였다. 여러 한계와 문제점에도 불구하고 드론을 활용한 모니터링은 재난현장의 상황관리 및 복구 계획 수립에 선제적 대응이 가능하다고 판단되며, 활용성 증대로 수재해 대응 및 안전 강화에 기여할 수 있다.

주제어 : 수재해, 드론, 피해액 산정, 홍수 모니터링

**Profiles** **Mi Kyoung Choi** : She received her Ph.D. from Kyoto University, and the focus of her research was ecological riverbed evaluation. After finishing her doctoral degree, she worked at Kyoto University's DPRI as Post Doctoral Researcher. Since then, she is currently working at International Water Resources Research Institute in Chungnam National University as Senior Researcher(choi.mk1981@gmail.com).

**Micah Lourdes Felix** : She received her M.S. degree at Kongju National University and has worked as an Assistant Researcher at Korea Institute of Construction Technology, K-water Research Institute. She is currently pursuing her Ph.D. majoring on Water Resources at Chungnam National University, and is now a Ph.D. Candidate to date(mafelix.cnu@gmail.com).

**Ji Hye Shin** : She completed her M.S. at Korea University of Transportation majoring in Water Resources. After receiving her M.S. Degree, she worked as an Assistant Researcher at International Water Resources Research Institute in Chungnam National University, and is now pursuing her Ph.D. at the same university to date(shinjihye95@naver.com).

**Geun Sang Lee** : He received his M.S. degree at Jeonbuk University majoring in Civil Engineering, professor Lee is now a professor at Vision College of Jeonju in the Department of Cadastre and Civil Engineering(gslee@jvision.ac.kr).

**Kwan Sue Jung** : He received his Ph.D. on Water Resources at Arizona State University and is now the Director of the International Water Resources Research Institute in Chungnam National University, where he is also a professor in the same University(ksjung@cnu.ac.kr).