

# 인공위성영상과 지형자료를 동시에 활용한 침수지역 판별

## Estimation of Flooded Area Using Satellite Imagery and DSM Terrain Data

김수현\* · 이상구\*\* · 김태웅\*\*\* · 김동균\*\*\*\*

Kim, Soohyun\*, Lee, Sangku\*\*, Kim, Tae-Woong\*\*\*, and Kim, Dongkyun\*\*\*\*

### Abstract

This study used satellite image and topographical data simultaneously to identify and verify the areas flooded in Yeongdeok-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea, as a result of Typhoon Kong-Rey. The satellite image data were obtained from ESA Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery and PlanetLab's PlanetScope optical imagery. The topographical data used to identify the depth and extent of the flooding was Digital Surface Model (DSM) data obtained through drone surveying, with resolutions of 0.02 m, 0.1 m, 0.5 m, 1 m, 3 m, 5 m, and 10 m. The area with a large color difference before and after the flooding was designated the primary flooded area. The area that was identified as lower than the primary flooded area, according to the topography data, was determined as the final flooded area. The accuracy was calculated by the intersection versus union method. It increased as the resolution of the topographical data increased and ranged between 62 and 97 percent, depending on the analysis area. In the case of flat areas of land, SAR images showed high accuracy and in the case of areas with densely-placed buildings, optical satellite images showed high accuracy.

**Key words** : Satellite, Inundation Trace Map, Sentinel-1, PlanetScope, DSM

### 요 지

본 연구는 위성영상자료와 지형자료를 동시에 활용하여 2018년 10월초 발생한 태풍 콩레이에 의한 경북 영덕군의 침수피해지역을 판별 및 검증하였다. 위성영상자료는 ESA의 Sentinel-1 합성개구레이더(SAR)영상과 PlanetLab의 PlanetScope 광학영상을 활용하였고, 검증용 위한 지상관측자료는 CCTV 자료를 활용하였다. 침수심과 침수규모를 확인하기 위해 사용한 지형자료는 드론 촬영을 통해 얻은 0.02 m, 0.1 m, 0.5 m, 1 m, 3 m, 5 m, 10 m의 DSM 자료이다. 인공위성영상에서 침수전후의 색상차가 큰 지역을 우선적 침수지역으로 정한후, DSM 자료와 비교하여 이보다 낮은 지역을 최종 침수지역으로 판별하였다. 교집합 대 합집합 방법으로 산출한 정확도는 지형자료의 해상도의 증가에 따라 함께 증가하였으며 분석 지역에 따라 62 퍼센트에서 97 퍼센트 사이의 값을 보였다. 평지의 경우 SAR 영상을 활용시 정확도가 높았으며, 건물이 밀집되어있는 경우 광학위성영상을 활용시 정확도가 높았다.

**핵심용어** : 인공위성, 침수흔적도, Sentinel-1, PlanetScope, DSM

## 1. 서 론

우리나라는 기후변화의 영향으로 장마기간이 짧아지고

이례적인 강수가 발생하며, 국지적 강수피해가 증가하고 있다(KMA, 2019). 최근 10년간 호우와 태풍으로 연평균 3천억 원이 넘는 피해를 입었고, 이는 전체 자연재해 피해액

\*정회원, 홍익대학교 토목공학과 박사과정(E-mail: soohyun1106@mail.hongik.ac.kr)  
Member, Doctor's Course, Department of Civil Engineering, Hongik University

\*\*홍익대학교 토목공학과 석사과정  
Master's Course, Department of Civil Engineering, Hongik University

\*\*\*정회원, 한양대학교 건설환경공학과 교수  
Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

\*\*\*\*교신저자, 정회원, 홍익대학교 토목공학과 부교수(Tel: +82-70-8221-0058, Fax: +82-2-322-1244, E-mail: kim.dongkyun@hongik.ac.kr)  
Corresponding Author, Member, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Hongik University

의 약 90%를 차지하는 금액이다(MOIS, 2019). IPCC 5차 보고서에 따르면, 동아시아지역 대부분 시나리오가 강수량 및 극한 강수현상의 발생빈도 증가를 예측한다(IPCC, 2014). 이러한 기후변화에 따른 피해는 도시지역에서 더욱 증가할 것으로 전망되는데, 이는 불투수도가 높아 동일 강수량 대비 더 큰 침수지역이 발생하고, 인구 및 건축물의 밀집도가 높기 때문이다(Jah et al., 2012; Ha and Jung, 2017; Mahmoud and Gan, 2018; Zhou et al., 2019).

도시홍수의 예방대책수립 및 피해복구를 위해서는 신속한 침수지역 조사가 중요하다. 자연재해대책법은 이와 관련하여 침수흔적도를 작성하도록 규정하고 있으나 침수지역이 광범위하고 침수 후 배수가 빠르게 진행되므로 침수지역을 완벽하게 조사하기에는 예산 및 인력부족 등으로 인한 한계가 있다. 또한, 침수흔적도는 재해발생의 다음해에 공식 발간되므로 재해에 따른 신속한 대응 및 관리가 어렵다(Goo et al., 2011; Lim et al., 2016).

침수지역을 조사하기 위한 대안으로 최근 인공위성 이미지를 활용한 침수지역산정방법이 관심을 받고 있다. 위성영상은 수백 킬로미터에 걸친 광범위한 영역을 일시에 촬영할 수 있다는 점이 특징이다. 위성영상을 활용한 침수지역의 판별방법은 크게 다음의 세 가지로 나눌 수 있다(Brivio et al., 2002).

- (1) 침수 후 위성영상을 분석하여 수계를 추출하여 침수지역을 추정하는 방법(Di Baldassarre et al., 2009; Notti et al., 2018; Schumann et al., 2014).
- (2) 두 개 이상의 위성영상 이미지를 비교하여 침수지역을 산정하는 방법(Lee et al., 2004; Kim et al., 2007; Shin et al., 2012; Hwang et al., 2016; Perrou et al., 2018).
- (3) Interferometry Synthetic aperture radar (InSAR)의 간섭도(coherence)를 활용한 침수지역 추정방법(Geudtner et al., 1996; Refice et al., 2014).

한편 위성영상자료는 긴 촬영주기로 인하여 정확한 침수 규모의 산정에 어려움이 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 침수발생 수 시간 후 촬영된 위성영상과 지형자료를 동시에 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Brivio et al. (2002)는 1994년 11월 이탈리아 Piemonte 지역에서 발생한 홍수피해를 ERS-1 위성영상과 지형자료를 활용하여 홍수규모를 추정하였다. 여기서 위성영상자료는 20% 정도의 침수흔적만 남은 상태이지만 cost-distance 방법을 활용하여 매우 높은 정확도로 실제 침수지역을 추정하였다. Chae (2005)는 2000년 메콩강 유역의 Tonle Sap호에서 발생한 홍수피해를 Landsat ETM+와 RADARSAT 위성영상으로 cost-distance기법을 이용하여 홍수범람 면적을 분석하였고, 이를 DEM과 중첩을 통해 홍수량을 계산 후, 수리모형 MIKE의 결과와 비교함으로써 유사성을 확인하였다. Frey et al. (2012) 또한 cost-distance 방법으로 2009년 Namibia

Chobe강의 범람을 RapidEye 위성영상과 분석함으로 정확성을 향상시켰다. Liu et al. (2018)은 Landsat-8, SPOT-5 위성영상과 DEM자료를 활용하여 중국 Sanjiang Plain의 Honghe National Natural Reserve (HNNR) 습지지역 범람을 분석하였다. Wang (2004)과 Wang et al. (2002)은 Landsat 7 TM을 DEM과 활용하여 North Carolina 지역의 1999년 홍수피해를 분석하였으며, 저지대 숲의 홍수를 식별하는데 도움이 되는 것을 확인하였다.

이러한 선행연구들은 판별된 침수범위를 검증하지 않거나, 검증자료로 모형의 결과를 활용하였다는 점에서 한계점을 가지고 있다. 이들과 비교하여 본 연구는 다음과 같은 점에서 차별성을 가진다.

- (1) 인공위성과 지형자료를 동시에 활용하여 더욱 정확한 침수지역을 판별하고자 하였다.
- (2) CCTV 자료를 분석하여 침수지역의 참값을 얻었으며, 이를 인공위성 기반 침수지역의 검증에 활용하였다.

본 연구는 이러한 방법론을 통해 인공위성기반 침수지역 산정기법의 실무활용성을 정량화할 수 있었다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구대상지

본 연구에서는 2018년 10월 5~6일 태풍 콩레이(KONGREY)의 직접적인 영향으로 약 549억 원의 재산피해가 발생한 경상도 일대지역 중 경상북도 영덕군 지역을 대상지로 선정하였다(Fig. 1).

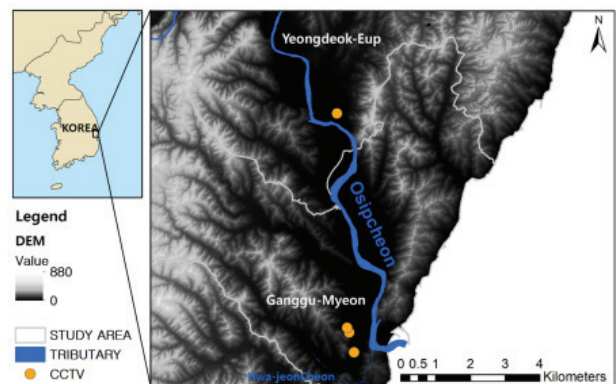


Fig. 1. Location of Study Area

이 기간 동안 10월 영덕군 평년 강수량(53.2 mm, 1981년-2010년)의 약 6배에 해당하는 313.5 mm의 강수가 발생하였다. 또한, 일 최대 242 mm/day, 시간최대 44 mm/hr (AWS 영덕읍 관측소 기준)로 기록적인 강수가 발생함에 따라 주택, 상가 등에 침수피해를 입었다. 특히 영덕읍의 경우 중앙을

가로지르는 지방 2급 하천인 오십천의 범람으로 저지대 지역과 주변 논밭이 침수되었으며, 강구면의 경우 오십천 하류에서 합류되는 소하천인 화전천의 범람에 따라 1 m가 넘는 침수심이 발생하였다.

## 2.2 위성영상 DATA

침수추정을 위하여 유럽 우주국(European Space Agency, ESA)에서 제공하는 레이더위성 Sentinel-1과 미국 Planet Labs Inc.에서 운용 중인 광학위성 PlanetScope를 활용하였다. Sentinel-1은 C-band SAR센서를 탑재하고 있으며, 촬영 지역 및 조건에 따라 10 m 내외의 공간해상도를 가지고 있고, 촬영주기는 6일, 촬영의 범위는 250 km 내외이며 편광촬영이 가능하다. PlanetScope는 R, G, B, NIR (near-infrared) 총 4개의 밴드로 구성되어있으며, 공간해상도는 약 3 m이다. 무게 5 kg 미만의 작은 위성을 약 130여개 발사하여 전 지구를 1~3일의 촬영주기로 관측할 수 있으며, 영상 한 장의 촬영범위는 약 20 km × 12 km이다. Sentinel-1 위성영상은 위성에서 발사된 C-band 전자기파를 능동형 센서로 관측하여 약천후에 상관없이 지상의 상황을 관측할 수 있는 반면 단일밴드로 관측된 흑백영상이며, PlanetScope 영상은 4개의 밴드로 다양한 변수의 측정이 가능하지만 구름과 같이 대기상의 장애물이 있는 지역의 지상측정은 불가능하다는 단점이 있다.

이 두 위성의 침수 전과 후의 영상자료를 Fig. 2와 같이 수집하였으며, 각 위성영상의 정보는 Tables 1, 2와 같다.

**Table 1.** Sentinel-1

Sentinel-1 Characteristics	Before	After
Date (KST)	'18.09.25. 06:23	'18.10.07. 06:23
MISSION	Sentinel-1B (descending)	
Sensor Type	C-band SAR	
Product Type	GRD	
Acquisition Mode	IW	
Resolution	10 m (approximate)	
Polarization Option	Dual (VV+VH)	

**Table 2.** PlanetScope

PlanetScope Characteristics	Before	After
Date (KST)	'18.10.01. 10:38	'18.10.07. 10:36
Sensor Type	4 band (R, G, B, NIR) Optical	
Orbit Direction	Descending	
Resolution	3 m (approximate)	
Cloud percentage	1 %	
Quality category	Standard	
Frame size	20 km x 12 km (approximate)	

## 2.3 침수지역 산정 방법

본 연구의 자료처리과정은 Fig. 3과 같다. 크게 레이더영상과 광학위성영상별 자료처리, 드론을 통한 지형자료처리 그리고 관측 자료에 따른 정확성 검증 과정으로 구성되어 있다.

### 2.3.1 인공위성의 영상처리

Fig. 3(a)는 위성영상별 처리과정을 보여준다. 광학위성인 PlanetScope와 다르게 레이더위성인 Sentinel-1은 후방산란 계수의 값으로 이미지가 구성되어있고 산란에 의한 스펙클 노이즈(Speckle Noise)가 무작위로 발생한다. 또한, 측면으로 촬영이 되기 때문에 이를 보정하는 전처리 과정이 필요하다(Brivio et al., 2002). 이 과정은 ESA에서 개발한 위성영상 분석 프로그램인(Sentinel Application Platform, SNAP)을 활용하여 처리하였다.

수집한 초기 위성영상이미지는 촬영범위가 넓어 세부영역을 지정하여 추출하는 과정을 거쳤다. 정확도 검증을 위하여 수집한 CCTV영상 주변지역 200 m × 200 m로 선정하였다. 그 후, 왜곡된 전자기파를 후방산란 값으로 보정하는 방사보정과정을 진행하고, 노이즈를 부드럽게 바꾸어주는 필터링을 진행하였다. 사용한 필터는 가우시안 분포를 따라 관심영역에 있는 값을 평균값으로 변경해주는 Lee sigma 필터로 SNAP 프로그램의 기본 값인 7 × 7 사이즈를 사용하였다(Lee, 1983; Lee et al., 2009). 여기서 선택한 편광은 침수영역 구분에 탁월한 VH를 사용하였다(Ezzine et al., 2018).

마지막으로 좌표를 WGS84로 변경하고 지형의 기복 및 측면촬영에 따른 왜곡을 보정하는 지형보정을 수행하였다(Zeng et al., 2017).

PlanetScope의 경우, Sentinel-1과 마찬가지로 관심영역에 대하여 추출하였고, 지역에 대해 자연색 합성(R, G, B = Band 3, 2, 1)으로 밴드를 조합하였다.

두 위성의 전처리 과정이 끝나면, 각 재해 전과 후의 차이를 산정하여 변화지역을 표출할 수 있다.

### 2.3.2 지형자료 처리

본 연구에서는 지형자료로 DSM자료를 활용하였다. DSM의 경우 드론으로 직접 촬영하여 자료를 생성하여 추가보정이 필요하다(Fig. 3(b)).

촬영에 활용한 드론은 중국 DJI의 Phantom 4 Pro V2.0이며, 미국 Bentley의 Context Capture(CC) 프로그램에 탑재된 Photogrammetry 기능으로 3차원 지형자료를 생성하였다.

Phantom 4는 픽셀당 2 cm 정도 해상도를 가지며, 배터리 하나당 최대 30분 정도 비행을 할 수 있다.

기상상태에 맞추어 촬영의 중첩도는 70~80%, 촬영 높이는 60~70 m로 설정하여 CCTV자료기준으로 영덕읍과 강구면을 촬영하여 총 9,974장의 자료를 수집하였다. 위성 포지셔닝 시스템인 Global Positioning System (GPS), GLObal

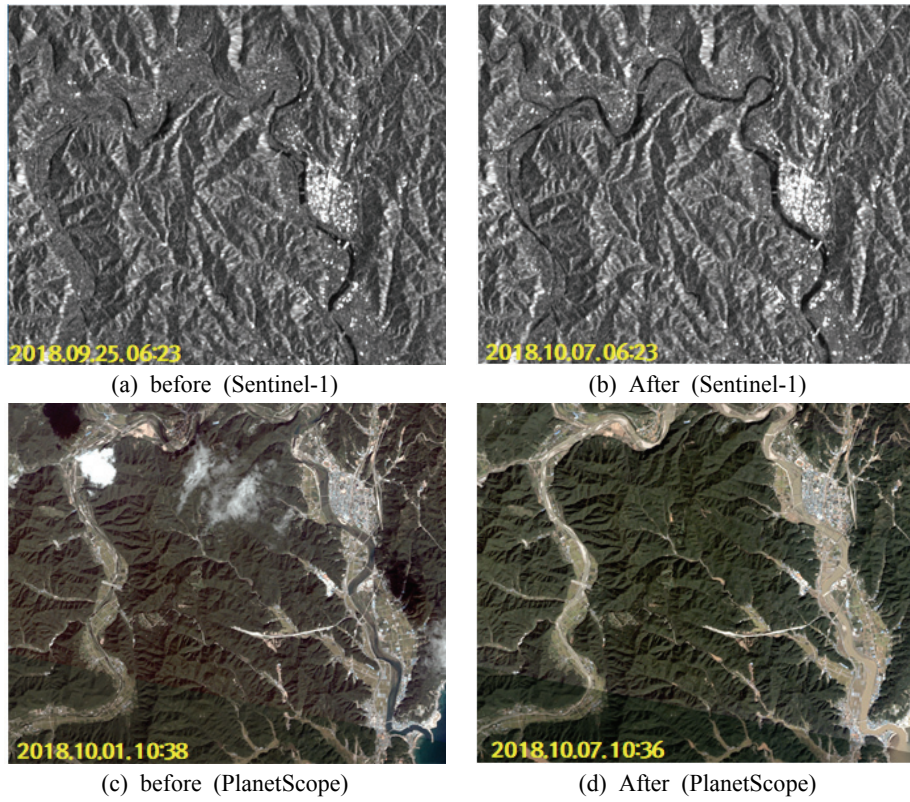


Fig. 2. Satellite Images

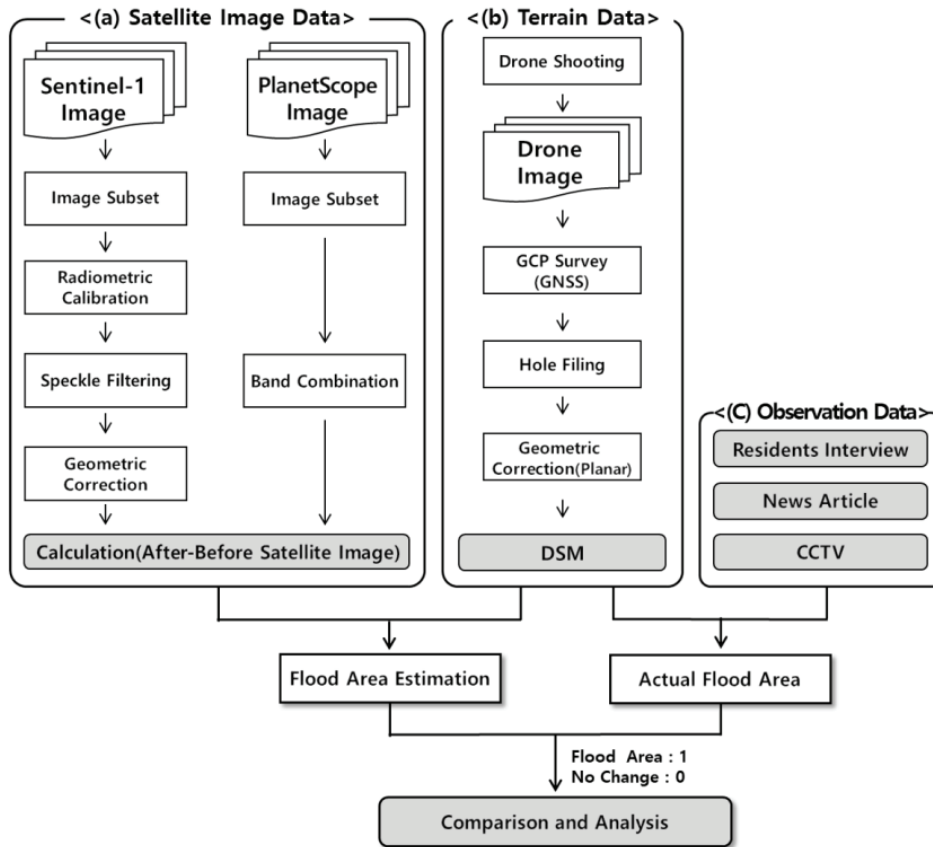


Fig. 3. Flow Chart of Data Processing

NAVigation Satellite System (GLONASS)가 드론에 내장되어 있지만, 영상의 왜곡에 따른 위치 보정을 위해 Ground Control Point (GCP)를 Global Navigation Satellite System (GNSS)로 측량하여야 한다. 또한, 수준점 1개, 삼각점 1개 (Fig. 4(a)), 통합점 2개(Fig. 4(b)), 총 4개의 국가기준점을 활용하여 GCP 보정을 하였다. GCP 지정은 주차선 등과 같이 위치정보를 뚜렷하게 확인이 가능한 모서리 부분으로 총 17개를 지정하여 측량하였다(Fig. 4(c)).

CC 프로그램을 통해 드론으로 촬영한 이미지를 불러들여 GCP 좌표를 지정하고, 표면 구멍을 메우는 보정과 지형보정을 거치면, 3D모델링, Ortho (Fig. 5(a)), 해상도별 Digital Surface Models (DSM; Figs. 5(b)~5(h))자료의 추출을 할 수 있다.

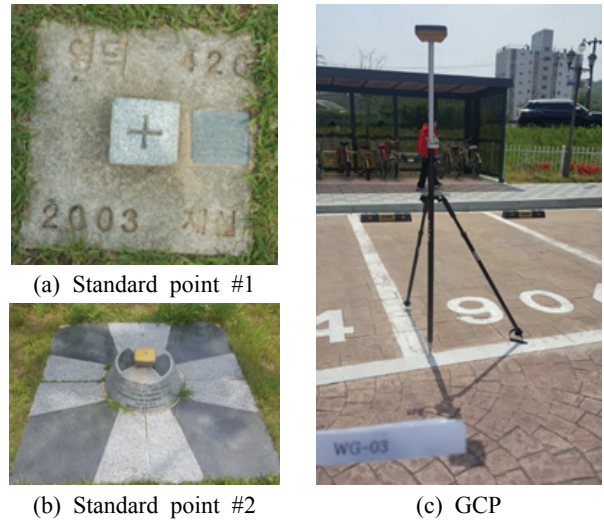


Fig. 4. GNSS Survey

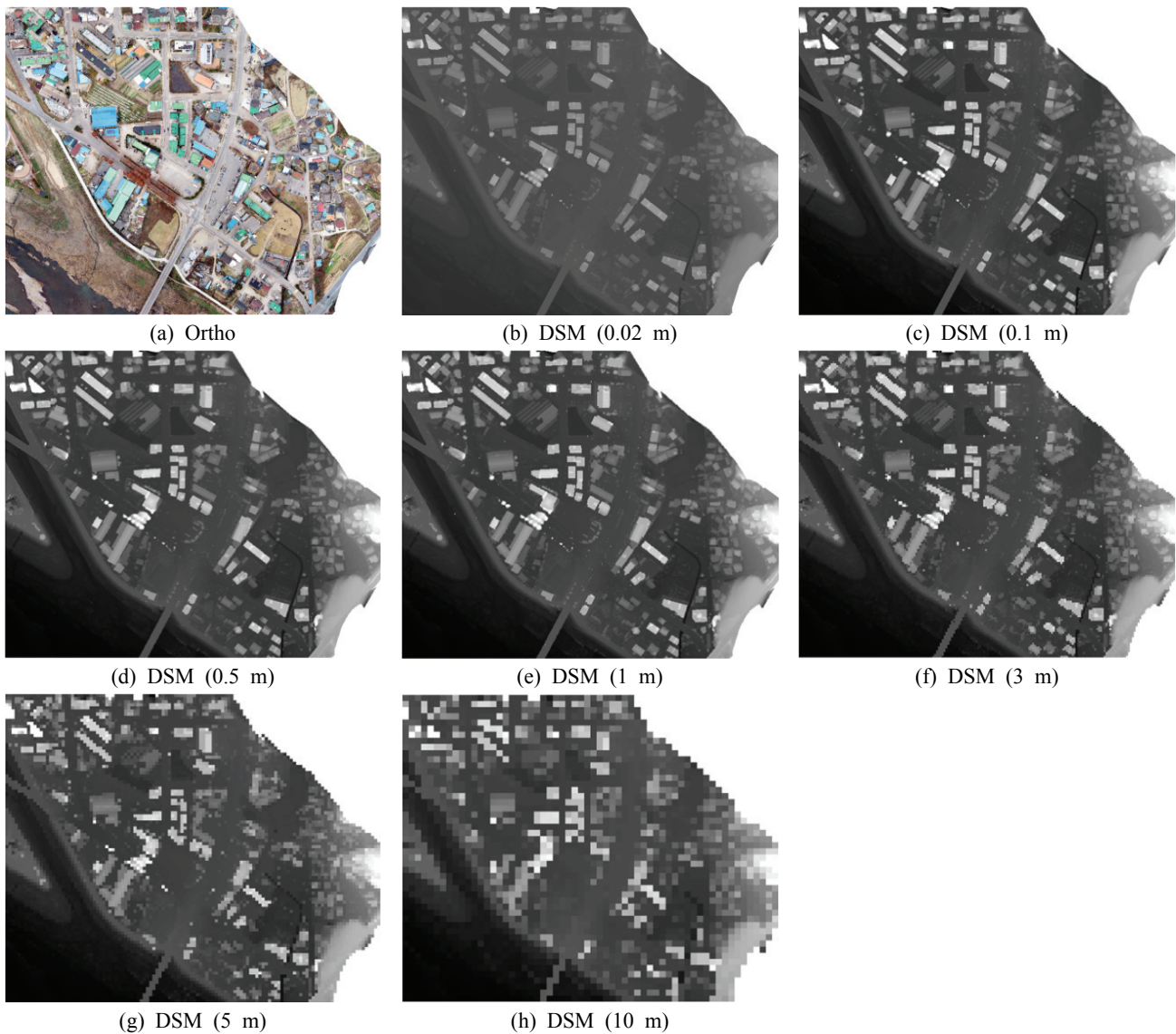


Fig. 5. Terrain Data

### 2.3.3 지상 관측자료 처리

위성영상기반 침수추정규모의 정확성 검증을 위하여 관측자료로 주민들의 인터뷰와 뉴스기사 그리고 CCTV자료를 수집하였다(Fig. 3(c)). CCTV자료는 영덕경찰서에서 제공 받았으며, CCTV의 촬영범위를 벗어나는 지역의 침수여부는 탐문조사와 뉴스기사 수집을 통해 판단하였다.

CCTV자료는 Fig. 6의 좌측과 같이 영덕읍의 우곡사거리 주변(UG), 강구면의 오포리 교회 주변(GG1) 그리고 같은 강구면의 상록수빌라 주변(GG2)으로 3지역으로 나눌 수 있으며, 총 4개의 CCTV영상을 수집하였다.

수집한 CCTV영상자료 주변을 200 m × 200 m 크기로 지정하여 Fig. 6 우측과 같이 시간에 따른 침수규모를 확인하여 침수의 최고규모에 해당하는 끝점을 ArcGIS툴로 수동표

시하였다. CCTV영상을 벗어나는 지역의 경우 0.02 m DSM 지형자료와 합성하여 가장 높은 침수심을 기록한 지점보다 낮은 모든 지역에 침수가 발생하였다고 가정하였다. 이는 탐문조사와 뉴스자료를 통해 타당하다 판단하였으며, 정확한 침수지역의 확인이 불가능하므로 이를 참값으로 가정할 수 있다.

CCTV기반으로 침수흔적을 추정한 영역을 Ortho 이미지에 겹쳐 표현하면, Fig. 7과 같다. 이는 검증과정에서 침수범위의 정확성을 평가하는 자료로 활용하였다.

### 2.3.4 지형자료와 위성영상을 통한 침수지역 산정 및 검증

위성영상의 촬영시점이 최대 침수시점과 일치하는 것은 침수지역의 시공간적 변동성과 위성영상의 규칙적인 촬영



Fig. 6. CCTV Data

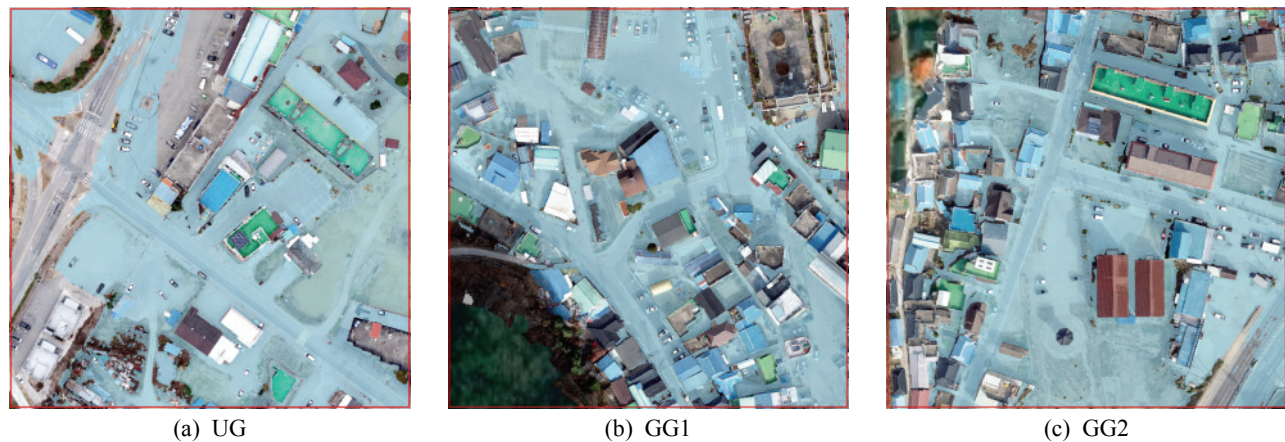


Fig. 7. Flooded Traces Based on CCTV

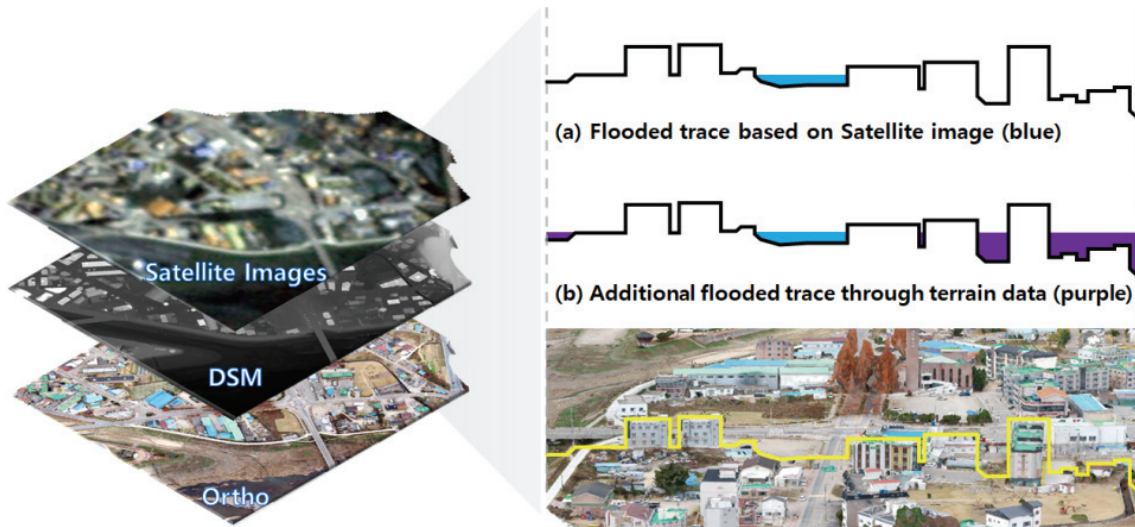


Fig. 8. Concept of Analysis

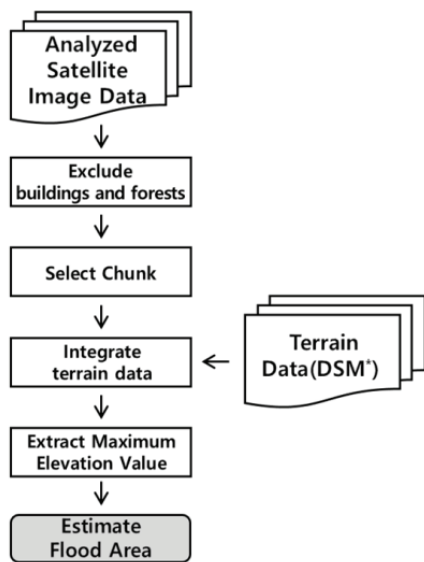
주기로 인하여 불가능하므로 위성영상자료를 분석하여 산출한 침수흔적과 지형자료를 동시에 활용하여 침수지역을 판별하였다.

Fig. 8은 위성영상자료와 지형자료를 통해 침수지역을 추정하는 방법의 개념도이며, Fig. 9는 세부과정의 흐름도이다. 침수 전과 후 위성영상의 차이가 큰 영역을 추출하면, Fig. 8(a)의 파란색 부분과 같이 나타낼 수 있다. 이 영역은 산림과 건물을 제외한 평지로 Ortho 이미지를 참고하여 추출하였고, 도형화하여 큰 덩어리만 선별하였다. 이를 지형자료와 비교하여 최대 침수지역의 고도보다 낮은 지역을 침수지역으로 가정하였다(Fig. 8(b) 보라색 부분). 이 결과를 CCTV기준으로 산정된 침수흔적과 비교하여 정확성 검증을 진행하였다.

검증방법은 공간의 위치정확도를 측정하는 Lee Sallee Shape Index (LSSI)를 활용하였다. CCTV기반으로 산정한 침수범위를 참값으로 정하였으며, 위성영상자료와 지형자료를 기반으로 산정한 침수범위를 추정값으로 지정하였다.

$$LSSI = \frac{A \cap B}{A \cup B} \quad (1)$$

Eq. (1)과 같이 참값인 A와 추정값인 B의 교집합에 따른 합집합 비로 나타낼 수 있다. 여기서 LSSI는 0에서 1사이 값을 가지며, 1에 가까울수록 정확도가 높고 0에 가까울수록 낮다(Lee and Sallee, 1970; Wentz, 1997; Jung et al., 2007; Lee et al., 2019).



\* Resolution: 0.02 m, 0.1 m, 0.5 m, 1 m, 3 m, 5 m, 10 m

Fig. 9. Flowchart of Estimate Flood Area

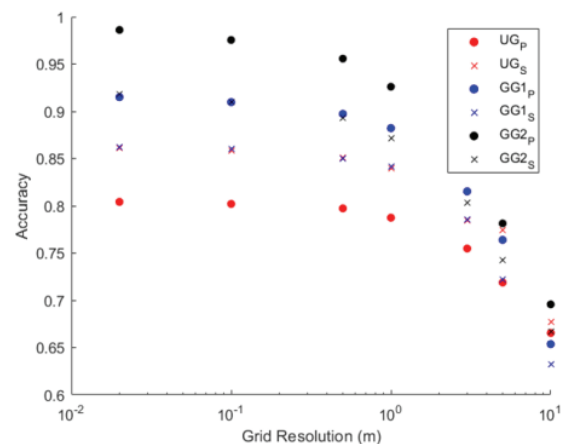


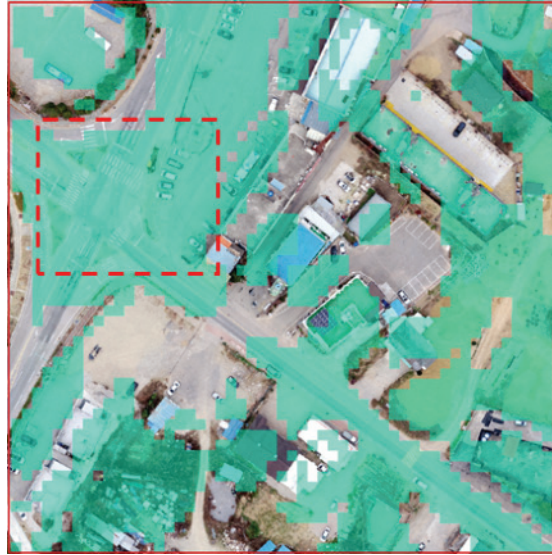
Fig. 10. Result of Accuracy

### 3. 연구 결과

Fig. 10은 영덕읍 우곡사거리 주변, 강구면 오포리 교회주



(a) Sentinel-1



(b) PlanetScope

Fig. 11. Satellite Image Analysis of UG Area

변 그리고 상록수빌라 주변을 Sentinel-1과 PlanetScope로 분석하여 LSSI 방법으로 정확도를 산정한 결과이다. x축은 침수지역판별에 활용한 DSM의 해상도를 나타낸다(Fig. 5 참조).

### 3.1 영덕읍 우곡사거리 주변(UG)

영덕읍 우곡사거리 주변을 위성영상과 해상도별 DSM자료로 합성하여 침수규모를 추정된 결과, Sentinel-1의 경우 CCTV기반의 침수영역과 유사한 양상을 보이고, PlanetScope의 경우 과대산정된 것을 확인할 수 있었다(Appendix Fig. 12). 위성영상이 촬영된 시점은 배수 후 12시간 정도인데, 이 기간 동안 침수로 인해 잠겼던 지역이 다른 지역으로 흘러내리며 흙탕물의 흔적으로 남게 되어 가시광선으로 촬영된 광학위성은 과대산정이 된 것으로 보인다. 하지만 레이더위성의 경우 지면의 레이더 후방산란계수값을 활용하여 표출되므로 가시광선에 상관없이 젖은 지역의 흔적 추출하게 되어 정확성이 높게 측정된 것으로 추정된다(Fig. 11). 지형자료의 경우 해상도가 낮아질수록 건물 등의 인공 구조물과 산림지역의 격자가 커지므로 정확도가 60% 정도로 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2 강구면 오포리 교회 주변(GG1)

강구면 오포리 교회 주변을 위성영상과 해상도별 DSM자료로 합성하여 침수규모를 추정된 결과, 두 위성 모두 0.02 m에서 1 m 지형자료까지 80% 이상의 정확도를 보였으며, 영덕읍 우곡사거리 주변의 결과와 다르게 PlanetScope로 분석한 침수추정 지역이 Sentinel-1보다 정확도가 높은 것으로 확인하였다(Appendix Fig. 13). 평지인 영덕읍 대상지(UG)와 달리 산지가 분포되어 있고 주변지역 전체가 1

m 이상 침수되었기 때문에 촬영시점에 관계없이 높은 정확도를 보이는 것으로 판단한다. 또한, 레이더위성인 Sentinel-1의 경우 나무와 인공구조물의 그림자에 대한 반사값에 영향이 있어 건물이 밀집된 강구면지역이 영덕읍보다 정확도가 낮은 것으로 추정한다(Table 3). DSM의 격자가 커질수록 인공구조물의 영향이 크므로 건물밀집도가 상대적으로 적은 영덕읍의 대상지(UG)보다 정확도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Density of Artificial Structure

Division	UG	GG1	GG2
Density (%)	22.56	43.41	44.84

### 3.3 강구면 상록수빌라 주변(GG2)

강구면 상록수빌라 주변을 위성영상과 해상도별 DSM자료로 합성하여 침수규모를 추정된 결과, 다른 두 대상지에 비해 3 m 지형자료까지 80% 이상의 정확도를 보였으며, 다른 강구면 대상지(GG1)의 결과와 유사하게 PlanetScope으로 분석한 침수추정지역이 Sentinel-1보다 정확도가 높은 것으로 확인하였다(Appendix Fig. 14). 이 지역도 GG1과 같이 주변 전체가 1m 이상 침수가 된 곳이며, 위성영상으로 관찰할 때 가장 효과적으로 분석할 수 있었다. 또한, 건물밀도가 다른 대상지보다 높아(Table 3), Sentinel-1보다 광학위성인 PlanetScope의 정확도가 높은 것으로 보인다. 한편, 다른 지역과 유사하게 격자가 커질수록 정확도가 떨어지는 양상을 보이나 다른 강구면의 대상지(GG1)보다 산지가 적게 분포하여 정확도가 보다 높게 측정된 것을 확인할 수 있다.



## 4. 결론

본 연구에서는 인공위성과 지형정보를 동시에 활용하여 침수범위를 산정하였고, 이를 지상관측자료와 비교분석을 통해 정확성을 검증하여 침수흔적도 작성시 위성영상의 활용 가능성을 확인하였다. 연구대상지로는 2018년 10월초 발생한 태풍 콩레이(KONG-REY)에 의해 피해를 입은 경북 영덕군의 영덕읍과 강구면 지역이며, 위성영상자료는 ESA의 Sentinel-1 합성개구레이더(SAR)자료와 PlanetLab의 PlanetScope 광학영상을 활용하였다. 검증에 활용한 지상관측자료는 관찰 경찰서에서 CCTV를 제공받아 활용하였고, 지형자료는 드론 촬영자료로 구축한 해상도별(0.02 m, 0.1 m, 0.5 m, 1 m, 3 m, 5 m, 10 m) DSM 자료 활용하였다. 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 지형자료의 공간해상도가 높을수록 높은 정확도로 침수지역을 판별할 수 있다.
- (2) 평지의 경우, 레이더위성의 결과가 실제자료와 유사하게 침수규모를 판별할 수 있다.
- (3) 인공구조물이 밀집되어있는 경우, 광학위성으로 촬영된 영상을 활용하는 것이 실제 침수지역과 유사하게 판별할 수 있다.

본 연구는 침수범위의 참값을 얻는데 활용된 CCTV 자료가 제한된 지역에만 설치되어 있어 연구지역 전체에 대한 침수범위를 산정하지는 못하였다. 이로 인한 한계는 대상지역에 대하여 2차원 수리모형을 구축하고 이를 CCTV 자료로 교정하여 침수범위의 참값을 얻는 방법을 통해 극복할 수 있을 것이다. 또한, 본 연구를 통해 첨단영상을 활용한 침수흔적도 작성은 기존보다 신속하고 광범위하게 자료를 수집할 수 있을 것으로 기대해본다.

## 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다(과제번호 127557).

## References

Brivio, P.A., Colombo, R., Maggi, M., and Tomasoni, R. (2002). Integration of remote sensing data and GIS for accurate mapping of flooded areas. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, No. 3, pp. 429-441.

Chae, H. (2005). Assessment of the inundation area and volume of Tonle Sap Lake using remote sensing and

GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 8, No. 3, pp. 96-106.

Di Baldassarre, G., Schumann, G., and Bates, P.D. (2009). A technique for the calibration of hydraulic models using uncertain satellite observations of flood extent. *Journal of Hydrology*, Vol. 367, No. 3-4, pp. 276-282.

Ezzine, A., Darragi, F., Rajhi, H., and Ghatassi, A. (2018). Evaluation of Sentinel-1 data for flood mapping in the upstream of Sidi Salem dam (Northern Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 11, No. 8, 170. doi:10.1007/s12517-018-3505-7

Frey, D., Butenuth, M., and Straub, D. (2012). Probabilistic graphical models for flood state detection of roads combining imagery and DEM. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 9, No. 6, pp. 1051-1055.

Geudtner, D., Winter, R., and Vachon, P.W. (1996). Flood monitoring using ERS-1 SAR interferometry coherence maps. *Proceedings of IGARSS '96. 1996 International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Vol. 2), pp. 966-968.

Goo, S.H., Kim, S.S., Park, Y.J., and Choi, J.W. (2011). Accuracy improvement for building inundation trace map using accurate DEM data and flood damage information. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 19, No. 4, pp. 91-99.

Ha, G., and Jung, J. (2017). The impact of urbanization and precipitation on flood damages. *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 52, No. 4, pp. 237-252.

Hwang, S., Kim, K., Lee, G., and Lee, M. (2016). A Study on the development of automated damage estimation system using high resolution satellite imagery. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 2, pp. 161-172.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate change 2014: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

Jah, A.K., Bloch, R., and Lamond, J. (2012). *Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. Washington, DC, USA: The World Bank.

Jung, G.H., Jun, C.M., Koh, J.H., and Park, Y.R. (2007). A study on the error detection of attached cadastral maps using GIS. *Proceedings of 2007 Spring*

- Conference, Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, pp. 243-248.
- Kim, K.T., Kim, J.H., Park, J.S., and Byun, I.K. (2007). Analysis of flood inundation using WMS and RADARSAT SAR image. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 10, No. 3, pp. 1-12.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2019). *2018 Abnormal climate report*. Seoul.
- Lee, D.R., and Sallee, G.T. (1970). A method of measuring shape. *Geographical Review*, Vol. 60, No. 4, pp. 555-563.
- Lee, J.S. (1983). Digital image smoothing and the sigma filter. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 24, No. 2, pp. 255-269.
- Lee, J.S., Wen, J.H., Ainsworth, T.L., Chen, K.S., and Chen, A.J. (2009). Improved sigma filter for speckle filtering of SAR imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No. 1, pp. 202-213.
- Lee, J.Y., Kim, D., Park, K.W., and Kim, T.W. (2019). Establishment of accuracy criteria of flood inundation map using quantitative evaluation indices. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 39, No. 3, pp. 381-389.
- Lee, M. S., Park, G., and Kim, S. J. (2004). Land cover change detection by Typhoon RUSA. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 24, No. 5D, pp. 823-828.
- Lim, H., Ahn, S., Kim, J., Park, S., and Kim, Y. (2016). A study on the application of unmanned aerial vehicle for improvement method of the making inundation trace map. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 2, pp. 223-231.
- Liu, Z., Zhao, L., Xu, T., Bu, F., Liu, X., and Zhou, D. (2018). Quantification of potential flood inundation areas in the marsh wetland of Honghe National Natural Reserve, Northeast China. *Ecology & Hydrobiology*, Vol. 18, No. 4, pp. 355-364.
- Mahmoud, S.H., and Gan, T.Y. (2018). Urbanization and climate change implications in flood risk management: Developing an efficient decision support system for flood susceptibility mapping. *Science of the Total Environment*, Vol. 636, pp. 152-167.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2019). *Disasters report*.
- Notti, D., Giordan, D., Caló, F., Pepe, A., Zucca, F., and Galve, J. (2018). Potential and limitations of open satellite data for flood mapping. *Remote Sensing*, Vol. 10, No. 11, 1673. doi:10.3390/rs10111673
- Perrou, T., Garioud, A., and Parcharidis, I. (2018). Use of Sentinel-1 imagery for flood management in a reservoir-regulated river basin. *Frontiers of Earth Science*, Vol. 12, No. 3, pp. 506-520.
- Refice, A., Capolongo, D., Pasquariello, G., D'Addabbo, A., Bovenga, F., Nutricato, R., et al. (2014). SAR and InSAR for flood monitoring: Examples with COSMO-SkyMed data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 7, No. 7, pp. 2711-2722.
- Schumann, G.P., Vernieuwe, H., De Baets, B., and Verhoest, N.E.C. (2014). ROC-based calibration of flood inundation models. *Hydrological Processes*, Vol. 28, No. 22, pp. 5495-5502.
- Shin, H.J., Chae, H.S., Hwang, E.H., and Park, J.Y. (2012). A study of informationization technique for detecting flood inundation area using RS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 15, No. 1, pp. 172-183.
- Wang, Y. (2004). Using landsat 7 TM data acquired days after a flood event to delineate the maximum flood extent on a coastal floodplain. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 5, pp. 959-974.
- Wang, Y., Colby, J.D., and Mulcahy, K.A. (2002). An efficient method for mapping flood extent in a coastal floodplain using Landsat TM and DEM data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, No. 18, pp. 3681-3696.
- Wentz, E.A. (1997). Shape analysis in GIS. *Proceedings of Auto-Carto* (Vol. 13), pp. 204-213.
- Zeng, L., Schmitt, M., Li, L., and Zhu, X.X. (2017). Analysing changes of the Poyang Lake water area using Sentinel-1 synthetic aperture radar imagery. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 38, No. 23, pp. 7041-7069.
- Zhou, Q., Leng, G., Su, J., and Ren, Y. (2019). Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. *Science of The Total Environment*, Vol. 658, pp. 24-33.

---

Received	September 27, 2019
Revised	October 1, 2019
Accepted	October 21, 2019

Appendix. Flood Estimation Results

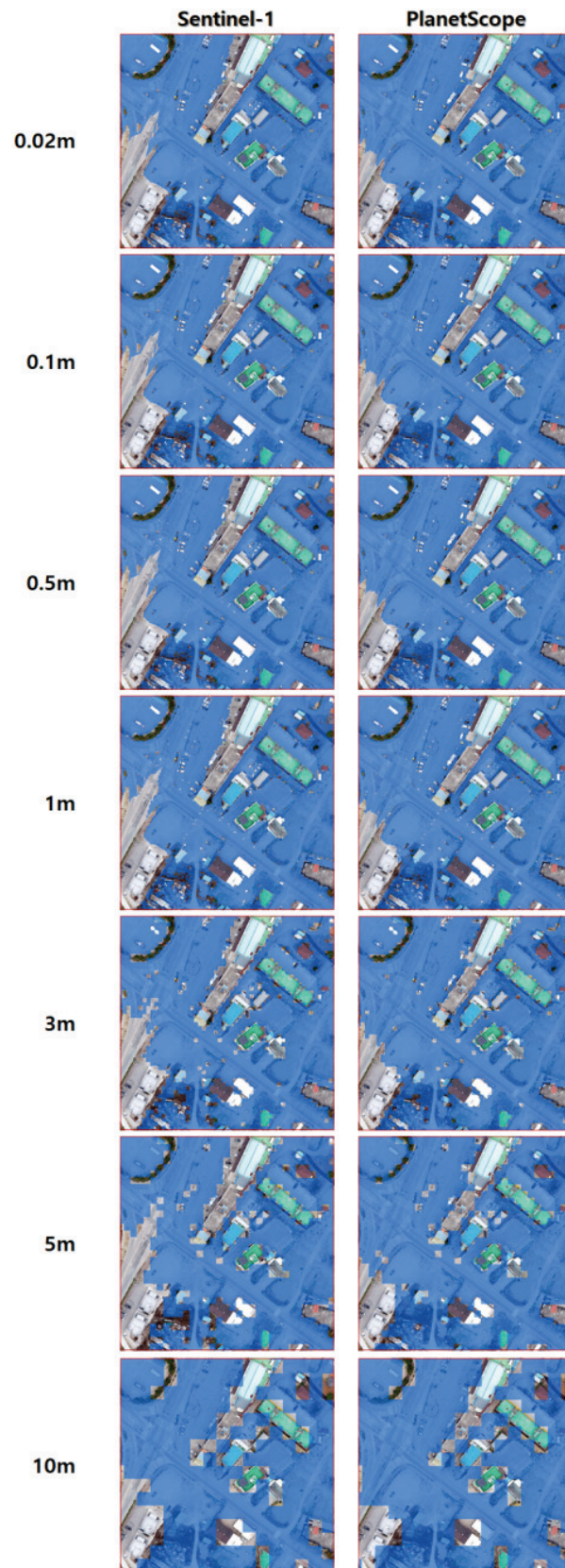


Fig. 12. UG Result

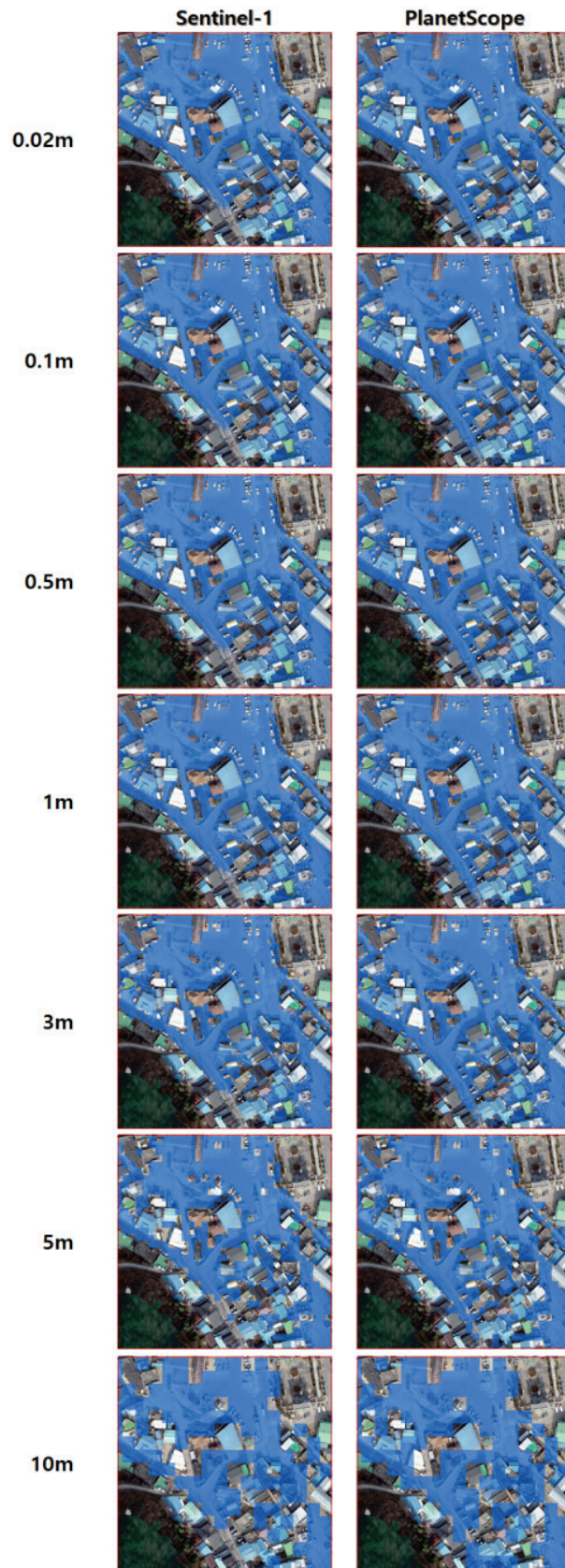


Fig. 13. GG1 Result

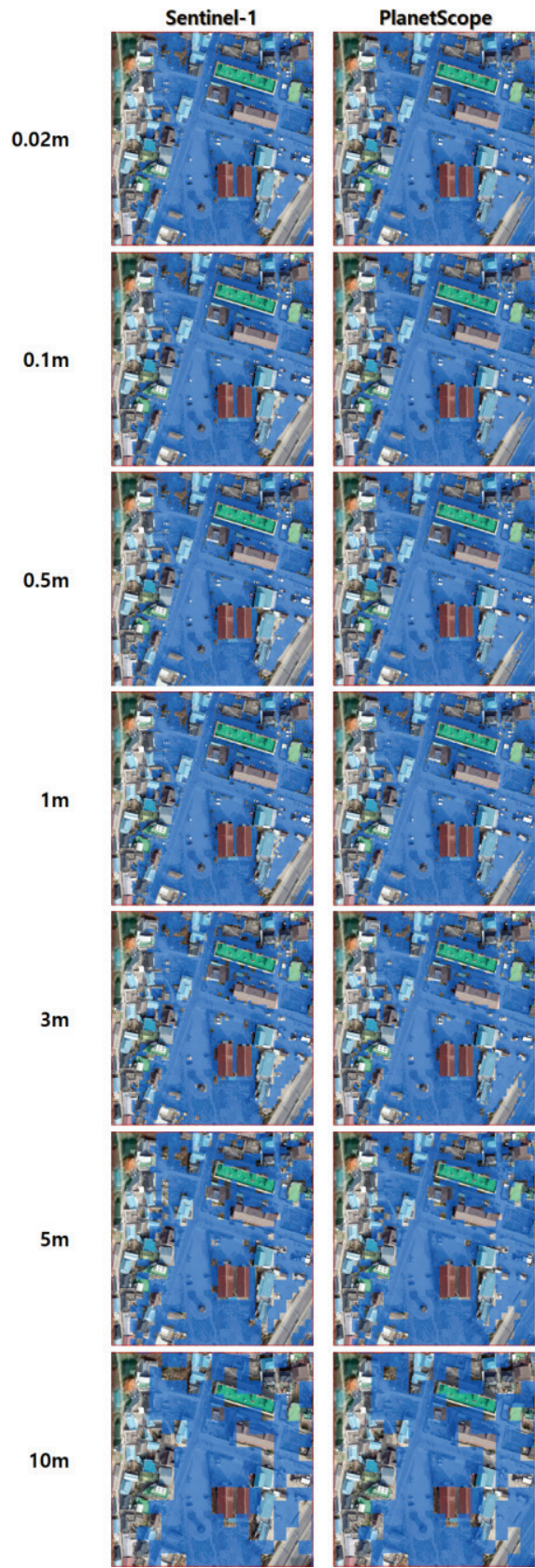


Fig. 14. GG2 Result