

초소형 SAR 위성을 활용한 수체면적 추출: 대청댐 유역 대상*

박종수¹ · 강기묵² · 황의호^{3*}

Extraction of Water Body Area using Micro Satellite SAR: A Case Study of the Daecheng Dam of South Korea*

Jongsoo PARK¹ · Ki-Mook KANG² · Eui-Ho HWANG^{3*}

요 약

수자원 관리와 수재해 피해 분석 및 예측 등을 위해 원격탐사를 활용한 수체면적을 추정하는 것은 매우 필수적이다. 위성을 활용한 수체탐지는 주로 광학 및 영상레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR) 센서를 탑재한 대형(무게 1,000kg 이상) 위성을 중심으로 수행되어왔다. 그러나 긴 재방문주기(repeat cycle)로 인해 재난/재해 시 적시 활용이 불가능한 한계가 존재한다. 최근 초소형위성(무게 100kg 미만) 개발이 활발히 이루어짐에 따라 기존 대형위성 중심의 시간해상도 한계를 극복할 수 있는 계기가 되었다. 현재 활발히 운용중인 초소형 SAR 위성은 핀란드의 ICEYE와 미국의 Capella 위성으로, 지구관측을 목적으로 군집(constellation) 형태로 운용되고 있다. 군집화 운용으로 인해 짧은 재방문주기(현재 0.8회/1일) 및 고해상도(Spot(0.5m))를 가지며, SAR 센서 탑재로 기상 및 주야 무관하게 관측이 가능한 장점이 있다. 본 연구에서는 초소형위성의 운영 현황 및 특징에 대해서 기술하였으며, 초소형 SAR 위성 영상에 최적화된 수체면적 추정기술을 한반도 대청댐 유역에 적용해 보았다. 또한 광학 위성인 Sentinel-2 위성으로부터 생성된 수체를 참조값(reference)으로 하여 초소형위성 2기와 대형위성인 Sentinel-1위성과의 면적, 상관성 분석을 수행하였다. Capella 위성의 경우 가장 적은 면적의 차를 보였으며, 세 영상 모두 높은 상관관계를 나타냄을 확인하였다. 본 연구의 결과를 통해 초소형 SAR 위성의 낮은 NESZ(Noise Equivalent Sigma Zero)에도 불구하고 수체면적 추정이 가능함을 확인하였으며, 기존 대형 SAR 위성을 활용한 수자원/수재해 감시 활용의 한계를 극복할 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 초소형위성, 영상레이더, 수체면적, 군집화, 수재해

2021년 10월 29일 접수 Received on October 29, 2021 / 2021년 11월 22일 수정 Revised on November 22, 2021 / 2021년 11월 23일 심사완료 Accepted on November 23, 2021

* 본 연구는 환경부의 한국환경산업기술원의 수요대응형 물공급서비스 연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(2019002650004)

1 K-water연구원 수자원위성연구센터 연구원 Researcher, K-water Institute Water Resources Satellite Research Center

2 K-water연구원 수자원위성연구센터 선임연구원 Senior Researcher, K-water Institute Water Resources Satellite Research Center

3 K-water연구원 수자원위성연구센터 수석연구원 Head Researcher, K-water Institute Water Resources Satellite Research Center

* Corresponding Author E-mail: ehhwang@kwater.or.kr

ABSTRACT

It is very essential to estimate the water body area using remote exploration for water resource management, analysis and prediction of water disaster damage. Hydrophysical detection using satellites has been mainly performed on large satellites equipped with optical and SAR sensors. However, due to the long repeat cycle, there is a limitation that timely utilization is impossible in the event of a disaster/disaster. With the recent active development of Micro satellites, it has served as an opportunity to overcome the limitations of time resolution centered on existing large satellites. The Micro satellites currently in active operation are ICEYE in Finland and Capella satellites in the United States, and are operated in the form of clusters for earth observation purposes. Due to clustering operation, it has a short revisit cycle and high resolution and has the advantage of being able to observe regardless of weather or day and night with the SAR sensor mounted. In this study, the operation status and characteristics of micro satellites were described, and the water area estimation technology optimized for micro SAR satellite images was applied to the Daecheong Dam basin on the Korean Peninsula. In addition, accuracy verification was performed based on the reference value of the water generated from the optical satellite Sentinel-2 satellite as a reference. In the case of the Capella satellite, the smallest difference in area was shown, and it was confirmed that all three images showed high correlation. Through the results of this study, it was confirmed that despite the low NESZ of Micro satellites, it is possible to estimate the water area, and it is believed that the limitations of water resource/water disaster monitoring using existing large SAR satellites can be overcome.

KEYWORDS : *Micro Satellite, SAR, Water Body area, Constellation, Water-related disaster*

서론

최근 이상기후로 인해 홍수, 가뭄과 같은 수재해가 빈번히 발생하고 있으며, 인명 및 재산의 피해 규모가 심각하다. 또한 이상기후로 인해 예측가능성이 크게 저하되어 재난관리의 어려움이 커지고 있다(Kim *et al.*, 2016; Cho *et al.*, 2016; Gang *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2021). 2020년 6월부터 한반도 전역에서 발생한 대규모 폭우로 인해 침수·급류·산사태 등의 피해로 이어졌으며, 이와 같은 피해로 약 8,000명의 이재민과 도로, 주택, 공공시설물 등 약 1조 2천억 원의 재산 피해가 발생하였다(MOIS, 2020; Mun *et al.*, 2020). 이처럼 수재해로 인한 수많은 인명과 재산 피해를 줄이기

위해서는 준실시간 모니터링을 통한 관리와 예측이 중요하다. 수자원·수재해 분야에서 수체(water body)를 탐지하는 것은 홍수, 가뭄 등 수재해의 예측 및 피해분석 뿐만 아니라, 수자원 변동성을 파악할 수 있는 관리 측면에서 매우 필수적이다.

이러한 수자원관리와 수재해 예측을 위한 안정적인 모니터링 및 신속한 대응을 위해 주야 및 날씨에 무관하게 자료를 획득할 수 있는 합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR) 위성 원격탐사를 이용한 수체탐지 연구가 활발히 진행되고 있다(Kim, 2016; Rahman *et al.*, 2018; Jeong, 2021). 이처럼 지구관측용 SAR 위성영상을 이용한 원격탐사(Remote Sensing, RS)기술은 급변하는 지표의 변화를 지속적이고 주기적으로 관측할 수 있도록 하는 가장 효과적인 수단으로서 활발하게 이용되고 있다(Park,

2016).

그러나 기존의 위성을 이용한 수체탐지 연구는 대다수 500kg 이상의 중대형위성(Sentinel 1A/B, TerraSAR-X, RADARSAT, Cosmo-kymed 등) 중심으로 수행되었으나, 시간(temporal) 및 공간(spatial) 해상도의 한계점이 존재한다. 대형 SAR 위성은 날씨와 태양고도에 상관없이 주야 전천후 관측 가능하지만, 최대 공간해상도 1m 수준으로, 수체의 세밀한 경계를 추출하는 데는 공간해상도의 한계가 있을 것으로 사료된다. 이는 대규모 지역에는 적합하나 중소규모 지역의 수체를 탐지하기에는 한계가 존재한다(Baek, 2019). 또한 SAR 센서를 탑재한 대형 위성은 한반도 재방문주기(repeat cycle)가 최소 3일에서 최대 28일 간격으로, 재해 상황 시 피해규모 파악 등 준실시간 대응이 어려운 시간 해상도의 한계가 있다.

반면 초소형 SAR 위성은 기존 대형위성에 비해 높은 시간·공간 해상도를 가진다. 초소형 SAR 위성은 Spotlight 모드로 영상을 획득할 경우 0.5m 수준의 공간해상도를 가지며, 30기 이상의 군집(constellation)으로 운영 할 경우 평균 1시간 미만의 높은 재방문주기를 가지는 장점이 있다. 이처럼 높은 시간 및 공간 해상도를 가진 초소형 SAR 위성으로 수자원 관리 및 수재해 상황 시 적시 대응을 위한 모니터링 분야에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

최근 몇 년간 위성분야에 필수적인 다양한 기술의 발전과 기존 정부 중심으로 수행된 위성 개발 사업이 민간 산업체를 중심으로 발전함에 따라 국내외에서 초소형 SAR 위성들의 개발이 활발해 졌으며, 초소형 SAR 위성의 성능 및 활용 방안 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Lee, *et al.*, 2019; Park, *et al.*, 2019; Tahk, *et al.*, 2020; Kim, *et al.*, 2020; Zhang, *et al.*, 2021; Kitajima, *et al.*, 2021).

그러나 아직까지 국내외에서 초소형 SAR 위성영상을 활용한 수체탐지에 관한 연구는 활발하게 진행되지 못하고 있으며, 전처리 및 초소형 SAR 위성 영상의 한계점에 대한 연구는 미미하다. 따라서 본 연구에서는 최근 활발히 운

용중인 초소형 SAR 위성의 특징을 기술하고, 대표적 초소형 SAR 위성인 ICEYE와 Capella 두 기의 위성영상 전처리 및 수체탐지를 통한 면적을 추출해 보았다. 전처리 결과 및 탐지된 수체의 면적 등을 통해 초소형 SAR 위성의 활용 가능성 및 한계점을 도출해보고자 한다.

초소형 SAR 위성 운용 현황 및 특징

인공위성은 발사 무게에 따라 1,000kg 이상을 대형위성, 500~1,000kg을 중형위성, 500kg 이하를 소형위성으로 분류한다(Yoon, *et al.*, 2016); Tahk *et al.*, 2020; Choe *et al.*, 2020). 이러한 소형위성은 다시 무게에 따라 소형위성(100~180kg), 초소형위성(10~100kg), 나노위성(1~10kg), 피코위성(0.01~1kg), 펨토위성(0.001~0.01kg) 등으로 구분하고 있다(Peak *et al.*, 2020). 소형위성을 분류하는 다양한 기준이 존재하지만, 현재 국내에서는 100kg 이하 급의 소형위성을 초소형위성이라고 지칭하고 있다(KISTEP, 2020).

이처럼 최근 IT(Information Technology)기술의 발전으로 인공위성을 이루는 모듈 등 부품의 고집적화와 소형화가 이루어짐에 따라 초소형위성 시장이 빠르게 확대되는 중이다. 또한 이와 같이 소형위성들은 개발기간이 짧고 비용도 저렴하여, 군사·지구관측·통신 등 다양한 분야에서 연구의 목적으로 활용되고 있다. 초소형 SAR 센서는 기존 광학센서 위성 및 대형위성의 한계점을 극복할 수 있는 24시간 전천후 지구 관측이 가능하며, 고해상도 이미지를 획득할 수 있는 장점이 있다. 짧은 재방문 주기로 재난·재해 시 적시 대응이 가능하기 때문에 활용성이 높다고 사료된다. 또한 다수의 동일 임무 위성체를 운용하는 군집운용으로 재방문 횟수가 짧아 특정 지역의 준 실시간 관측과 전 지구 커버리지가 가능한 서비스를 제공할 수 있는 장점이 있다.

기존 대형위성에 주로 탑재되는 합성개구레이더가 소형화 가능한 기술력 확보로 인해 초소형 위성 시장에서 SAR 센서가 탑재된 위성 개발이

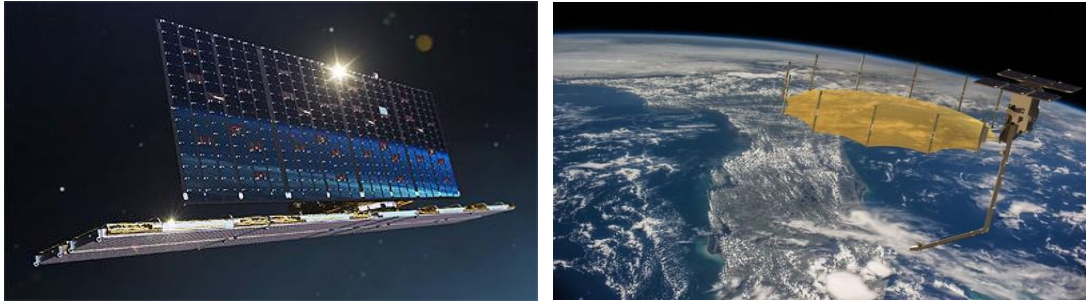


FIGURE 1. ICEYE(left) and Capella(right) satellite (Source: ICEYE, Capella space)

활발히 수행되고 있다. 현재 가장 활발히 운용되고 있는 SAR 센서 탑재 초소형위성으로는 핀란드의 ICEYE와 미국의 Capella가 대표적이다 (그림 1). 주 운용되고 있는 위성 형상을 그림 1에 제시하였으며, ICEYE 위성은 본 형상으로 개발 및 운용되고 있으며, Capella 위성의 경우 그물망(mesh) 기반 반사판(reflector) 안테나의 형상으로 운용되고 있다.

먼저 핀란드의 ICEYE社는 2018년 약 70kg 중량으로 초소형위성 시장에서 최초로 초소형 SAR 위성을 발사했다. 또한 2022년까지 18기를

운영할 예정이다. X-band 과장대역을 사용하며, 2019년 5월 발사된 ICEYE-3(HARBINGER) 위성은 군사목적으로 개발되어 운용중이다. 최근 X-14까지 발사가 완료되었고, 각 위성 별 세부 스펙사항은 표 1에 표현하였다. 센서의 경우 모두 X-band SAR를 탑재하고 있으며, 군사목적으로 사용되는 ICEYE-X3은 추가로 저해상도 광학(optical) 카메라를 탑재하고 있다. 영상 관측 모드는 Spotlight, Stripmap, Scan 모드 세 개로 운용되고 있다.

Capella 위성의 경우 미국 Capella Space社

TABLE 1. System parameters of ICEYE sensors (Source: Gunter' s space page)

	ICEYE-X1	ICEYE-X2,X4,X5 . . .	ICEYE-X3
Launch Date	01 / 12 / 2018	X2: 12 / 03 / 2018 X4,X5: 07 / 05 / 2019 X6, X7: 09 / 28 / 2020 X8, X9: 01 / 24 / 2021 X11, X12, X13, X14: 06 / 30 / 2021	05 / 05 / 2020
Sensor	X-band SAR	X-band SAR	X-band SAR Low-resolution optical camera
Imaging modes		Spotlight, Stripmap, Scan	
Altitude(km)	505	590	509
Inclination(deg)	97.56 - 97.77	97.56 - 97.77	40.0
Resolution(m)	10 x 10	0.5 (Spotlight) 3 (Stripmap) 12 (Scan)	-
Mass(kg)	75	85	150
Swath width(km)	35	5x5 (Spotlight) 30x50 (Stripmap) 100x100 (Scan)	-
Antenna Size(m)	3.25	3.2 x 0.4	-
Polarization		VV	

TABLE 2. System parameters of Capella sensors (Source: Gunter' s space page)

	Capella-1	Capella- 2~6
Launch Date	03 / 12 / 2018	Capella-2 (Capella Sequoia): 08 / 31 / 2020 Capella-3 (Capella Whitney 1): 01 / 24 / 2021 Capella-4 (Capella Whitney 2): 01 / 24 / 2021 Capella-5 (Capella Whitney 3): 06 / 30 / 2021 Capella-6 (Capella Whitney 4): 05 / 15 / 2021
Sensor		X-band SAR
Imaging modes		Spotlight, Sliding Spotlight, Stripmap
Altitude(km)	500	525
Inclination(deg)	97.7	45.1
Resolution(m)	0.5 (Spotlight) 0.8 ~ 1.2 (Sliding Spotlight) 1.1 ~ 1.6 (Stripmap)	up to 0.5 x 0.5
Mass(kg)	< 40	112
Swath width(km)	5 x 5 (Spotlight) 5 x 10 (Sliding Spotlight) 5 x 20 (Stripmap)	-
Antenna Size(m)	8 x 8	use a 3.6m antenna-reflector
Polarization		HH

에서 운용되고 있으며, 2018년 12월 첫 발사를 시작으로 2023년까지 36기의 위성을 운영할 예정이다. 40kg 이하의 무게를 가지며, X-band 파장대역을 사용한다. 표 2는 Capella 위성 시리즈의 상세 스펙을 표현한 것으로, 최초 Capella-1부터 최근 발사된 Capella-5까지 요약하였다. 센서는 모두 X-band SAR를 사용하고 있으며, 영상 관측 모드는 Spotlight, Sliding Spotlight, Stripmap 모드를 제공하고 있다.

현재 활발히 운용 중인 두 기의 초소형위성은 향후 수 십 여기의 군집화로 운영될 예정이며, 이런 군집화 운용은 짧은 관측 주기와 전지구 커버리지, 통신 지연율이 저하되는 효과로 기존 중대형위성이 가진 한계를 극복할 수 있을 것으로 사료된다. 다만, 중대형 위성에 비해 한 번에 관측할 수 있는 영역이 좁은 한계가 존재하지만, 1m 이내의 공간해상도를 가지므로 기존에 비해 고해상도의 영상 획득이 가능하다는 장점이 있다.

국내의 초소형위성 개발 및 활용 동향으로는 2031년까지 100기 이상의 공공분야 초소형위성을 산업체 주도로 개발할 예정이며, 초소형위성 관련하여 다양한 사업을 추진하고 있다. 국

가안보를 위한 초소형 위성 감시체계 구축과 6G 위성통신을 위한 초소형 통신위성 시범망 구축, 우주전파 환경 관측을 위한 초소형위성망 구축, 미래 선도 기술 확보를 위한 초소형 검증 위성 개발 등 추진할 예정이다(Msit, 2021).

연구지역 및 위성자료

우리나라 연강수량 약 70%가 여름철에 집중되기 때문에 홍수와 가뭄 등 반복되는 재해의 경감을 위해 국가 차원에서 다목적댐을 설치하여 관리하고 있다. 본 연구에서는 이러한 수재해/수자원의 관리를 위해 그림 2와 같이 한국수자원공사에서 관리하고 있는 대전광역시 대덕구와 충청북도 청주시 사이에 위치한 다목적댐인 대형댐 지역을 연구 지역으로 선정하였다. 대형 다목적댐의 유역면적은 4,134km²이며, 북위 36° 28' 33", 동경 127° 28' 31"에 위치하고 있다.

본 연구에 활용된 위성영상 자료는 초소형위성 2기의 영상과, 대형위성 Sentinel-1이다. 세 영상 모두 동일시기에 관측된 영상 획득이 어렵기 때문에 비교적 수체의 변화가 없는 비슷한

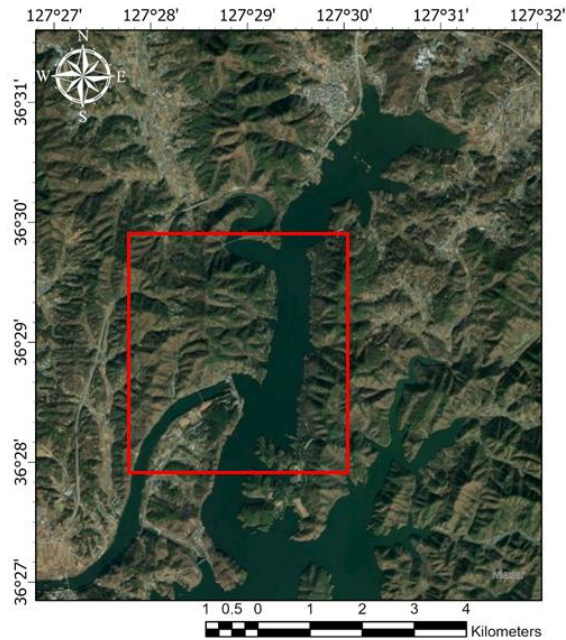


FIGURE 2. Location of Daecheong Dam

시기에 획득된 영상을 사용하였다. 초소형위성 영상자료는 각각 ICEYE-X4(X-band) 위성과 Capella 2(X-band) 위성으로, 두 영상의 관측은 모두 Spotlight 모드로 획득하였다. 각각 $21.8\sim 22.3^\circ$, 41.7° 의 incidence angle 범위를 가지는 고해상도 영상이며, 2021년 1월 21일과 2021년 1월 29일에 관측된 영상을 이용하였다. Sentinel-1A(C-band) 위성자료는 2021년 1월 22일 관측된 영상을 이용하였으며, 유럽우주국(European Space Agency, ESA)의 Copernicus Data Hub를 통해서 다운로드 하였다. 편파는 VV(ICEYE-X4), HH(Capella 2), VV(Sentinel-1A) 영상을 사용하였다(표 3).

또한 각 영상에서 탐지된 수체의 위치와 면적이 다리기 때문에 정확한 비교분석을 위해 세 위성영상을 동일 지역으로 관심영역(Region of Interesting, RoI)을 설정하여 잘라주었다. 설정된 RoI의 경위도 좌표는 North latitude bound 36.495° , West longitude bound 127.461° , South latitude bound 36.460° , East longitude bound 127.500° 이다.

연구방법 및 결과

1. 전처리(Preprocessing)

본 연구에서는 초소형 SAR 위성 영상 기반

TABLE 3. Characteristics of each satellite images in this study

	ICEYE-X4	Capella 2	Sentinel-1A
Date	01 / 21 / 2021	01 / 29 / 2021	01 / 02 / 2021
Pass Direction	Ascending	Descending	Ascending
Polarization	VV	HH	VV
Incidence Angle (deg)	$21.780 \sim 22.327$	41.730	-
NESZ (dB)	-17	-17 ~ -19	-22

의 수체를 탐지하기 위해 유럽우주국에서 무상 운영 중인 SNAP(SeNtinel's Application Platform) 8.0 버전의 소프트웨어를 활용하여 영상의 전처리 및 수체탐지를 수행하였다. 초소형 SAR 위성 2기(ICEYE-X4, Capella 2)와 Sentinel-1A 위성영상의 전처리 과정은 그림 3과 같이 수행하였다. Capella 2 위성의 경우 현재 SNAP 소프트웨어에서 처리 가능한 툴(tool)이 제공되지 않기 때문에 스펙클(speckle) 잡음(noise) 제거만 수행하였다.

SAR 영상은 speckle noise로 인해 영상 해석에 많은 제약을 받고 있다. 본 연구에서는 이러한 영상해석의 장애요소인 speckle noise를 제거하기 위해 Lee(1983)의 sigma filter를 사용하였다. sigma filter는 각각의 window 내에 위치한 픽셀(pixel)들이 가운데 위치한 화소와 동일한 집단, 즉 같은 값(value) 인지를 판단하고, 동일한 집단으로 판정된 화소 값들만의 산술평균으로 중심화소를 대체해 나간다. 주변에 위치한 화소들이 중심에 있는 화소와 동일한 집단인가를 판단하는 기준은 정규분포에 있어서 평균을 중심으로 $\pm 2\sigma$ 범위를 만족할 확률은 95.5%이므로 각 window의 가운데 위치한 화

소 값을 중심으로 $\pm 2\sigma$ 범위를 만족하면 동일한 집단에 속한 화소로 간주하는 것이다. 본 연구에서는 초소형위성 영상의 speckle noise를 줄이기 위해 11×11 의 윈도우 사이즈를 사용하였다.

SAR 영상은 마이크로파(microwave) 신호를 이용하며, 위성에서 송신된 신호가 지표면에 부딪혀 산란되어 수신된 신호로 구성된다. 지표면 산란 시 가까운 곳은 단위면적당 세기의 크기가 크며, 멀수록 대기 및 지표의 영향에 따라 수신된 신호의 세기가 작다(Jang, 2018; Kim *et al.*, 2019). 이러한 세기의 크기를 후방산란계수(backscattering coefficient)라 하며, 위성마다 이러한 후방산란계수 값을 구하는 수식이 각각 다르다. 먼저 본 연구에서 활용한 초소형 SAR 위성인 ICEYE-X4 영상은 아래 식 1과 같이 표현할 수 있다. CF는 calibration factor를 나타내며, DN은 digital number 값이다. 데시벨(dB) 값으로 변환하기 위해 각 식의 우변에 log 값을 취해 산출하였다.

$$\sigma_0 = CF \times |DN_{GRD}|^2 \tag{1}$$

$$\sigma_0 = CF \times DN_{\geq 0} \tag{2}$$

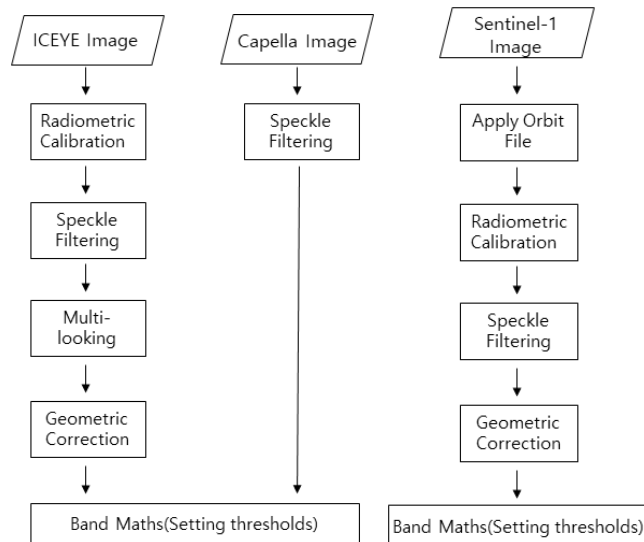


FIGURE 3. Flow chart of data processing

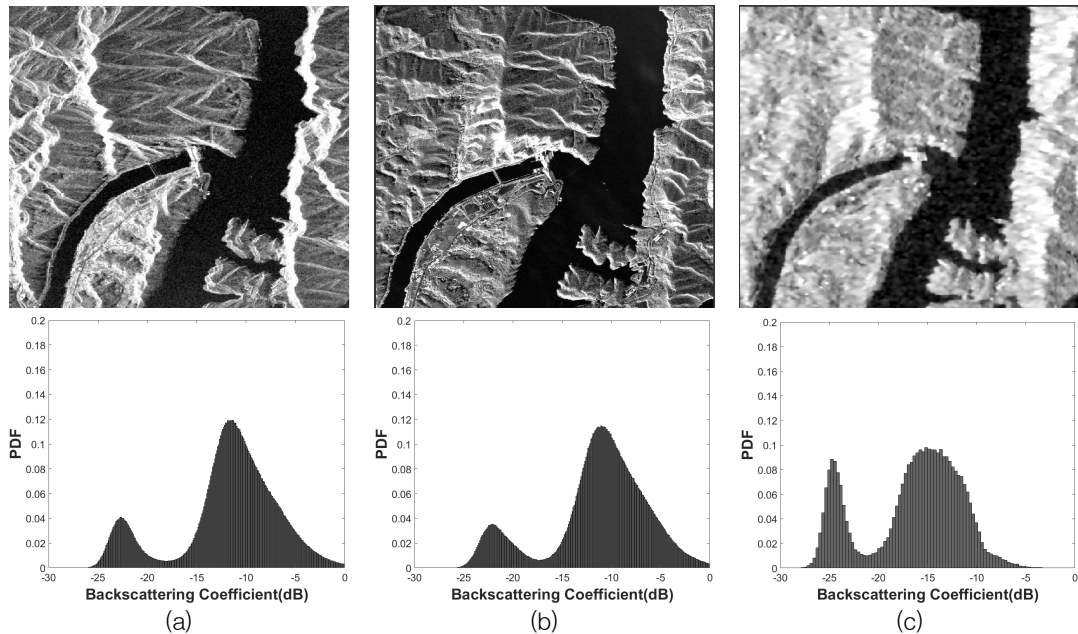


FIGURE 4. Results of preprocessing in each satellite images(ICEYE-X4/Capella 2/Sentinel-1A)

$$\sigma_0 = CF \times DN_{\geq 0} \quad (3)$$

본 연구에서 수행된 초소형 SAR 위성 영상과 Sentinel-1A 위성 영상의 전처리 결과와 히스토그램은 그림 4와 같다. (a), (b), (c)는 각각 ICEYE-X4, Capella 2, Sentinel-1A 순서로 나열하였다. 전처리 결과 Sentinel-1A 위성영상의 픽셀이 깔끔하지 못한 것을 가지적으로 확인할 수 있다. 이것은 공간해상도의 차이로 초소형 SAR 위성영상은 0.5m 수준, Sentinel-1A는 10m의 공간해상도를 가지기 때문에 나타난 현상으로 사료된다. 반면, 초소형 SAR 위성 영상 전처리 결과에서 ICEYE-X4의 경우 산악지역의 지형학적 왜곡(layover, shadow 등)으로 인해 하얗게 왜곡된 부분을 다수 확인할 수 있다. 이는 지형보정(terrain correction) 과정에서 발생한 것으로, 수치표고모델(digital elevation model, DEM) 보정의 영향으로 사료된다. 또한, 영상 하단부분에 원거리에서 수신된 신호가 약해 영상품질이 저하된 것을 확인할 수 있다. 이

는 중대형급 위성에 비해 적은 무게에 따른 기술의 한계로 보여진다. 반면 Capella 2 위성 영상의 경우 ICEYE-X4 위성 영상에 비해 왜곡이 적고, 수체와 비수체 지역의 구분이 명확한 것을 확인할 수 있다.

2. 수체탐지(Waterbody detection)

일반적으로 물이 있는 곳은 마이크로파 신호가 표면에서 정반사(specular reflection)를 일으켜 지면보다 낮은 후방산란계수 값을 가진다(Park, 2016). 따라서 수체탐지를 위해 영상에서 낮은 후방산란계수 값을 가지는 영역을 구분하는 것이 필수적이다. 수체와 비수체 지역의 영역구분을 위해 본 연구에서는 Magen(2011)이 제시한 gamma distribution fitting(이하 "GF") 기법을 이용하여 임계값(threshold)을 설정하였다. GF 기법은 SAR 영상에 대하여 수체에서의 산란현상에 대한 확률분포를 감마분포로 가정하고, 영상의 히스토그램 중 수체에 해당하는 부분에 적합한 감마분포를 찾아낸 후 이를 바탕으로 임계값을 설정한다(Park, 2016).

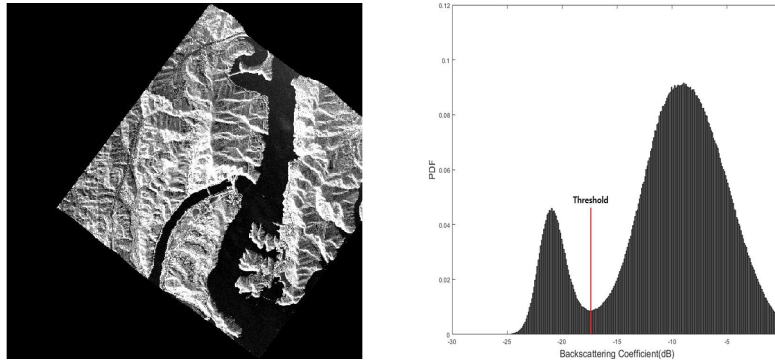


FIGURE 5. Example of the fitted gamma distribution to a backscatter histogram having bimodal distribution

그림 5는 초소형 SAR 위성인 Capella 위성의 영상을 이용하여 임계값 설정을 위한 GF 기법 적용하는 방법을 표현한 예시이다.

그림 6을 통해 임계값 기준으로 탐지된 수체들의 이진화한 결과를 확인할 수 있다. (a), (b), (c)는 각각 ICEYE-X4, Capella 2, Sentinel-1A 위성영상을 통해 탐지된 수체의 결과이다. 초소형 SAR 위성영상에서는 Sentinel 위성에 비해 수체로 오탐지된 부분이 많은 것을 확인할 수 있다. 이는 speckle noise의 영향으로 보이며, 평활화(smoothing) 필터를 추가적으로 수행해야 할 것으로 사료된다.

그림 6을 통해 초소형 SAR 위성 영상의 후방산란계수 값만을 이용하기에는 한계가 있다고 판단되어 초소형 SAR 위성 영상 2기의 영상에

만 필터링을 추가적으로 수행하였다. 스무딩 필터는 블러링(blurring)과 노이즈 제거를 위해 사용되는 방법으로, 본 연구에서는 SNAP에서 제공되는 Arithmetic Mean(window size: 3x3) 옵션을 활용하여 노이즈를 제거하였다. Arithmetic Mean 필터는 일반적으로 널리 사용되고 있으며, 연산이 단순한 대표적인 노이즈 제거 필터이다. 필터링 결과는 그림 7과 같으며 두 영상 모두 산지부분에서 발생한 음영(shadow)지역이 블러링 되어 왜곡에 의한 잡음이 다소 감소한 것을 확인할 수 있다.

초소형 SAR 위성 영상의 후방산란계수 값을 이용하여 수체를 탐지한 결과, 산지의 왜곡 현상 및 영상자체의 noise로 인해 오탐지되는 부분이 많은 것을 확인하였다. 이러한 왜곡을 최

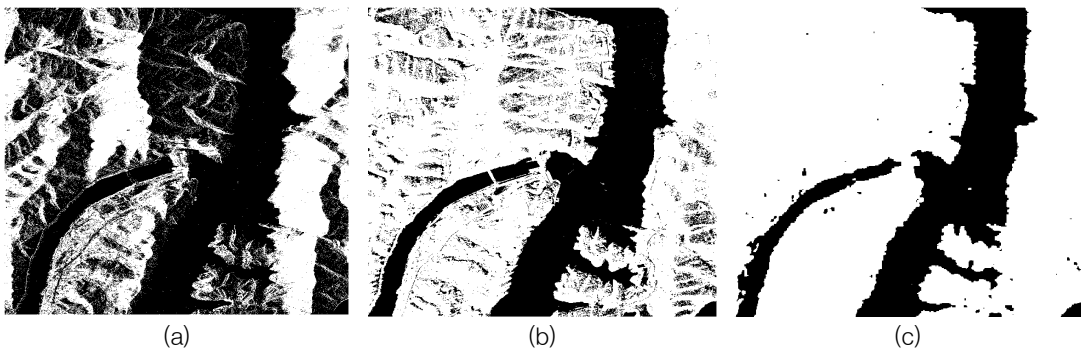


FIGURE 6. Results of waterbody extraction: (a) ICEYE-X4, (b) capella 2, (c) Sentinel-1A



FIGURE 7. Results of filtering: (a) ICEYE-X4, (b) Capella 2

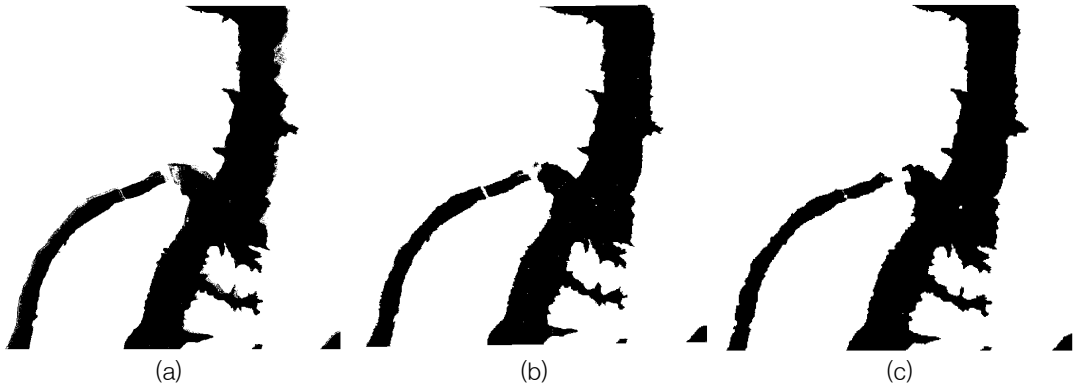


FIGURE 8. Results of demasking: (a) ICEYE-X4, (b) Capella 2, (c) Sentinel-1A

소화하기 위해 추가적으로 필터링을 적용하였으며, 상당부분 개선된 것을 확인하였다. 그러나 기존 대형위성인 Sentinel-1A 위성 영상의 결과에 비해 양호한 결과를 획득하기엔 한계가 있음을 확인하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 국토지리정보원에서 제공받은 고해상도 DEM을 활용하여 제거되지 않은 산지부분을 마스킹하였다. 적용결과는 그림 8과 같으며, 개선된 것을 확인할 수 있다.

3. 수체면적 추출(Extraction of waterbody area)

초소형 SAR 위성과 대형위성인 Sentinel-1 위성 영상을 이용해 탐지된 수체들을 이용하여 수체

면적을 추출하였다. 정확도 검증 및 비교를 위해 비슷한 시기인 2021년 2월 21일 획득한 Sentinel-2 광학영상을 이용해 디지털화(digitizing) 작업으로 수체를 추출하였으며, 추출된 수체는 그림 9에 제시하였다. 본 연구에서는 수치적 비교를 위해 광학영상 기반의 수체를 참조값으로 가정하였으며, 연구 지역의 수체 픽셀 면적을 초소형 SAR 위성 2기와 Sentinel 1A 위성 영상 픽셀 면적과 비교하였다(표 4).

표 4의 결과를 통해 Capella 위성이 참조값과의 픽셀 면적의 차이가 가장 적은 것을 확인할 수 있다. 반면 Sentinel-1 위성은 가장 큰 차이를 보이는 결과를 나타냈는데, 이는 10m 수준의 해상도로 인해 정밀한 경계선 추출이 어려워 Capella와 ICEYE 위성영상의 결과보다



FIGURE 9. Sentinel-2 based waterbody

TABLE 4. Results of area comparison

Satellite	Area	Difference	Correlation Coefficient
Reference	15593884	-	-
ICEYE	14833387	760497	0.8868
Capella	15666395	72511	0.9681
Sentinel-1	16665792	1071908	0.9612

unit: number of pixel

오차가 많이 발생한 것으로 판단된다. ICEYE 위성영상 결과의 경우 부분적으로 경계선 추출이 되지 않은 것을 확인할 수 있다. 이는 Capella 위성보다 수신된 신호의 품질이 낮기 때문에 발생한 영향으로 사료된다. 또한 본 연구는 동절기 기간에 획득된 영상을 활용하였으며, 댐 수위가 낮고 얼어있는 곳이 존재해 수체의 경계에서 얼음에 반사된 신호의 영향도 있을 것으로 사료된다. 반면 상관성 분석 결과에서는 ICEYE 위성영상의 결과가 가장 약한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 상관계수란 두 변수의 상대적 관계강도를 계산하는 통계적 척도로서 일반적으로 0.8 이상이 되어야 유의미한 양의 상관관계를 가진다. 따라서 세 영상의 결과를 통해 모두 유의미한 상관관계가 있다는 결과를 도출하였으며, Capella와 Sentinel-1 위성영상의 결과는 매우 강한 양의 상관관계를 가지는 것을 확인할 수 있다.

결론

본 연구에서는 초소형 SAR 위성의 특징을 기술하고, 획득된 위성 영상으로부터 수체탐지 및 수체면적을 추출하였다. 현재 활발히 운용 중인 ICEYE(X-band)와 Capella(X-band)를 대상으로 하였다. 초소형 SAR 위성 영상의 전처리 방법과 결과, 수체탐지 방법과 결과를 기술하였으며, 탐지된 수체면적 추출 결과를 광학 위성 기반으로 생성된 면적과 비교하였다. 본 연구를 통해 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 초소형 SAR 위성의 전처리 결과, 제한된 무게로 인해 고사양의 장비를 탑재하여 활용 중인 대형위성에 비해 산악지역의 지형학적 왜곡(layover, shadow 등)이 많은 것을 확인할 수 있었다. 특히 ICEYE-X4 위성 영상 획득 시 원거리에서 수신된 신호가 약해 영상 생성 시 하단부분이 제대로 관측되지 않은 것처럼 보이는 현상이 나타났다. Capella 위성 영상의 경우도 일부 미탐지(miss)된 지역이 보이거나, ICEYE

-X4에 비해 수체와 비수체 구분이 확실하며 수신된 신호가 양호한 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 수체탐지를 위해 GF기법을 통한 후방산란계수 값의 임계값 설정으로 탐지된 수체의 결과, 초소형위성의 경우 Sentinel-1위성에 비해 영상 내 잡음, 산지왜곡 등으로 인해 오탐지(false)되는 부분이 많은 것을 확인할 수 있었다. 이는 NESZ 등 영상품질의 영향으로 후방산란계수 값만을 이용해 수체를 탐지하는데 한계가 있음을 확인하였다. 이 같은 문제를 개선하기 위해 추가적으로 전처리된 영상에 스무딩 필터링을 수행하였고, 산지부분 왜곡 요인을 제거하기 위해 DEM 마스크를 통해 세 위성영상에서 최종 수체를 탐지할 수 있었다.

셋째, 탐지된 수체들의 비교를 위해 픽셀면적을 계산한 결과, Capella 위성 영상을 이용한 경우 참조값으로 선정한 광학영상 기반의 수체와 비슷한 수치를 가지며 가장 양호한 결과를 도출할 수 있었다. ICEYE 위성의 경우 수신된 신호가 약해 미탐지(miss) 되는 부분이 상당수 확인된 결과로 참조 값과의 차이가 많이 나는 것으로 사료된다. 또한 상관계수를 통해 상관분석을 수행한 결과, Capella 위성의 결과가 가장 높은 상관성을 가지는 것을 확인하였다. 반면, ICEYE 영상의 경우 가장 상관성이 적은 결과를 나타내었지만, 세 영상 모두 0.8 이상의 유의미한 상관계수의 값을 가지는 것을 확인하였다.

상기 결과를 통해 초소형 SAR 위성을 이용한 수체탐지는 가능하지만, 기존 대형위성을 이용하는 방법에 비해 전처리 외에도 많은 처리과정이 필요하다는 한계를 확인하였다. 또한 제한된 무게로 인해 고성능 장비를 활용할 수 없어 수신된 신호가 약하고, 영상의 품질이 낮은 한계를 도출할 수 있었다. 이는 해당지역에 국한된 결과로 보이며, 향후 추가지역에 대한 실험이 필요할 것으로 사료된다. 그러나 cm 수준의 고해상도 영상을 제공하고, 군집 운영으로 인한 짧은 재방문주기로 준실시간 위성영상의 확보가 가능하다는 장점이 있다. Capella와 ICEYE는 수년 내 30기 이상의 위성을 군집으로 운영하여 재방문주기를 1일 1회 이상을 목표로 하고

있다. 짧은 주기의 고해상도 위성영상을 활용한 다면 재난·재해 시 적시 대응이 중요한 만큼 초소형 SAR 위성을 활용한 수자원 관리 및 수재해 모니터링에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Cho, W.H., Park, J.S., Kim, J.R., Shin, C.K., and Lee, Y.S. 2015. Korea Water Resources Association. pp.114-114 (조완희, 박정수, 김종래, 신철균, 이용신. 2015. 지자체 맞춤형 홍수재해관리. 한국수자원학회. pp.114-114).
- Capella. 2020. Capella space SAR imagery products guide. Capella Space. San Francisco. CA. USA. pp. 1-19.
- Gang, S.M., Ryu, D.H., Choi, Y.C., and Ghoung, Y.J. 2017. Unity3D-based flood simulation visualization web system for efficient disaster management. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 20(1):98-112 (강수명, 류동하, 최영철, 정운재. 2017. 효과적인 재난관리를 위한 Unity3D 기반 홍수 시뮬레이션 가시화 웹시스템. 한국지리정보학회 20(1): 98-112).
- Jeong, J.H., Oh, S.C., Lee, S.C., Kim, J.Y., and Choi, M.H. 2021. Sentinel-1 SAR image-based waterbody detection technique for estimating the water storage in agricultural reservoirs. Journal of Korea Water Resources Association 54(7):535-544 (정재환, 오승철, 이슬찬, 김진영, 최민하. 2021. 농업저수지의 저수량 추정을 위한 Sentinel-1 SAR 영상 기반 수체탐지 기법. 한국수자원학회 54(7):535-544).
- Kim, D., Jung, H.S., and Baek, W. 2016. Comparative analysis among radar image

- filters for flood mapping. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 34(1): 43–52 (김대성, 정형섭, 백원경. 2016. 홍수 매핑을 위한 레이더 영상 필터의 비교분석. *한국측량학회* 34(1):43–52).
- Kim, J.H., Lee, K.H., Kim, H.R., Lee, H.J., Ryu, J.G., and Sakong, Y.B. 2020. Analysis of micro-satellite revisit time according to constellation configuration for IoT & M2M communication mission. *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*. pp.109–110 (김진혁, 이광현, 김홍래, 이호진, 유준규, 사공영보. 2020. IoT & M2M 통신 임무 수행을 위한 초소형위성 군집 형상에 따른 재방문주기 분석. *한국항공우주학회*. pp.109–110).
- Kim, S., Lee, T., and Shin, Y. 2019. Estimation of high-resolution soil moisture based on sentinel-1A/B SAR sensors. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(5):89–99 (김상우, 이태화, 신용철. 2019. Sentinel-1A/B SAR와 토양 수분자료동화기법을 이용한 고해상도 토양수분 산정. *한국농공학회* 34(1):43–52).
- Kim, B., Choi, K.H., and Won, J.S.. 1988. Efficient speckle noise filtering of SAR images. *Journal of Astronomy and Space Sciences* 15(1):175–182 (김병수, 최규홍, 원중선. 1988. SAR 영상의 SPECKLE 잡음 제거. *한국우주과학* 15(1):175–182).
- Kim, Y., and Kang, K. 2021. A study on the utilization of SAR microsatellite constellation for ship detection. *Korean Journal of Remote Sensing* 37(3):627–636 (김윤지, 강기묵. 2021. 선박탐지를 위한 초소형 SAR 군집위성 활용방안 연구. *대한원격탐사학회* 37(3):627–636).
- Kitajima, N., Seto, R., Yamazaki, D., Zhou, X., Ma, W., and Kanae, S. 2021. Potential of a SAR small-satellite constellation for rapid monitoring of flood extent. *Remote Sensing* 13(10):1959.
- Kim, S.H., Lee, C.H., Kim, Y.S., and Hwang, S.B. 2016. A study on development of flood damage estimation function of river infra structure with NDMS and WAMIS. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 16(4):81–87 (김상호, 이창희, 김연수, 황신범. 2016. 국가재난 및 수자원관리시스템을 활용한 하천시설물에 대한 홍수피해 함수 개발에 관한 연구. *한국방재학회* 16(4):81–87).
- Lee, D.G., Cheon, E.J., Yun, H., and Lee, M.H. 2019. A study on water surface detection algorithm using sentinel-1 satellite imagery. *Korean Journal of Remote Sensing*. 35(5-2):809–818 (이달근, 친은지, 윤혜원, 이미희. 2019. Sentinel-1 위성영상을 이용한 수표면 면적 추정 알고리즘에 관한 연구. *대한원격탐사학회*. 35(5-2): 809–818).
- Lee, K.S. 1996. Effects of speckle filtering on synthetic aperture radar(SAR) imagery. *Journal of the Korean Society of Remote Sensing* 12(2):155–168 (이규성. 1996. 레이더 영상자료의 Speckle 필터링 효과. *대한원격탐사학회* 12(2):155–168).
- Lee, S.S., Lee, M.H., and Kang, H.S. 2020. *Landsat 8(L8) data users handbook*. Department of the Interior US Geological Survey, v1. <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8-data-users-handbook..> (Accessed October 20, 2021).
- Lee, K.J., Oh, K.Y., and Chae, T.B. 2019. Development and application status of microsatellites. *Current Industrial and*

- Technological Trends in Aerospace 17(2): 113–124 (이광재, 오관영, 채태병. 2019. 초소형위성 개발 및 활용 현황. 항공우주산업 기술동향 17(2):113–124).
- Moon, J.J., Gang, S.U., and Lee, J.J. 2020. National precipitation analysis of 2020 floods. *Water for future* 53(10):135–143 (문중진, 강신욱, 이정준. 2020. 2020년 홍수의 전국 강수 분석. 물과미래 53(10): 135–143).
- MOIS. 2020. Statistical yearbook of natural disaster. https://www.safekorea.go.kr/idsiSFK/neo/sfk/cs/csc/bbs_conf.jsp?bbs_no=26&emgPage=Y&menuSeq=735. (Accessed November 27, 2021).
- Paek, S.W., Balasubramanian, S., Kim, S., and de Weck, O. 2020. Small-satellite synthetic aperture radar for continuous global biospheric monitoring: A review, *Remote Sensing* 12(16):2546.
- Park, S.E. 2016. Detection of water bodies from kompsat-5 SAR data. *Korean Journal of Remote Sensing* 32(5):539–550 (박상은. 2016. Kompsat-5 SAR 자료를 이용한 수체 탐지. 대한원격탐사학회 32(5): 539–550).
- Park, J.M., Kim, D.S., Kim, W.S., and Kim, J.P. 2019. Operation mode design and performance analysis for small satellite SAR payload. *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication* 19(5):169–173 (박종민, 김동식, 김완식, 김종필. 2019. 초소형위성 SAR 탑재체 운용 모드 설계 및 성능분석. 한국인터넷방송통신학회 19(5):169–173).
- Rahman, M.R., and Thakur, P.K. 2018. Detecting mapping and analysing of flood water propagation using synthetic aperture radar (SAR) satellite data and GIS: A case study from the Kendrapara district of Orissa state of india. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 21:37–41.
- Tahk, G.M, Choi, S.H., Lim, S.H., Lee, K.J., and Park, J.S. 2020. Status and development plan of multi-payload adaptor for nano / micro-satellites in korea. *The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*. pp.498–501 (탁경모, 최상현, 임석희, 이기주, 박재성. 2020. 초소형위성 다중탑재시스템 기술 동향 및 국산화 계획. 한국항공우주학회. pp.498–501).
- Yoon, S., Lee, S., Park, K., Jang, S., and Rhee, J. 2018. Development of a storage level and capacity monitoring and forecasting techniques in yongdam dam basin using high resolution satellite image. *Korean Journal of Remote Sensing* 34(6-1):1041–1053 (윤선권, 이성규, 박경원, 장상민, 이진영. 2018. 고해상도 위성 자료를 이용한 용담댐 유역 저수위/저수량 모니터링 및 예측 기술 개발. 대한원격탐사학회 34(1):43–52).
- Yoon, Y.S., and Min, K.J. 2016. Industry trend and development status of nano/micro satellite. *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace* 14(1): 18–25 (윤용식, 민경주. 2016. 나노/초소형 위성 산업 동향과 개발 현황. 항공우주산업기술동향 14(1):18–25).
- Zhang, Y., Chi, Z., Hui, F., Li, T., Liu, X., Zhang, B., Cheng, X., and Chen Z. 2021. Accuracy evaluation on geolocation of the chinese first polar microsatellite(Ice Pathfinder) imagery. *Remote Sensing* 13(21):4278. [KAGIS](https://doi.org/10.3390/rs13214278)