

## 위성영상을 활용한 북한 황강댐 수위 추정 Estimation of water level over Hwanggang Dam using satellite image

최성화\*, 이재희\*\*  
Sunghwa Choi, Jaehee Lee

### 요 지

군남댐의 운영은 북한지역에 위치한 저수지와 하천 상황, 특히 황강댐 방류에 절대적으로 의존하는 특성이 있음에도 불구하고, 수위 상황 등 자료수집의 한계로 군남댐 운영에 어려움이 많다. 이러한 상황에서 위성원격탐사 영상자료는 미계측 북한 접경지역의 수문상황을 판단하는 데 유용한 자료가 될 수 있다. 위성을 통한 수위 추정 방법은 위성영상에서 탐지된 수표면을 DEM과 중첩하여 판독하는 방법인 imaging 기법과 레이더고도계로 불리는 altimeter로 위성에서 수표면까지의 거리를 직접 측정하여 산출하는 profiling 기법 등 크게 두 가지 방법이 있다. 본 연구에서는 위성영상으로 산출된 DEM과 ESA의 Sentinel-1 C-밴드 SAR 영상을 중첩하여 황강댐 수위를 추정해보았다. 정확도 문제가 있겠지만, 황강댐 수위 변화의 경향성은 확인할 수 있었으므로, 향후 개선을 통해 황강댐 수위변동 추세 분석과 상황별 적절한 사전 대응에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 황강댐, Sentinel위성, DEM, 수위추정

### 1. 서론

2009년 9월에 발생한 임진강 야영객 사고는 북한의 기습적인 무단방류로 인해 발생한 것으로, 이는 접경지역 북한댐 수위 정보 부재로 인한 사전대응 부족이 한 원인으로 제기되었다. 임진강 유역은 지형특성상 전 유역의 63%가 북한지역에 분포되어 있고, 특히 K-water에서 운영중인 임진강 수계 남한 최북단에 위치한 군남댐은 전체유역 97.4%가 북한지역에 위치하고 있다. 또한 남한 최북단 하천 수위 관측소에서 수위상승을 인지 후, 최단 35분 이내에 군남댐에 영향을 주기 때문에 대처시간이 매우 부족한 현실이다. 이와 같이, 홍수조절을 주목적으로 하는 군남댐의 운영은 북한지역에 위치한 저수지와 하천 상황에 절대적으로 의존하는 특성이 있음에도 불구하고, 현재는 외부 기관으로부터 간헐적으로 관련 상황을 통보받고 있어, 정기적인 자료수집이 되지 않아 군남댐의 안정적인 운영에 어려움이 많다. 이러한 상황에서 미계측 북한 접경지역의 수문상황을 판단하는 데에는 위성원격탐사 자료가 유용하게 사용될 수 있다. 위성영상은 광역적인 공간정보를 비교적 정기적으로 확보할 수 있으므로, 외부 기관의 정보와 통합적으로 활용한다면 북한댐의 무단 방류나 긴급한 하천상황을 사전에 정성적으로 예상할 수 있어 기존보다 선제적이고 효과적인 대처가 가능할 것이다. 따라서 본 연구에서는 갑작스런 무단방류에 적절히 대응하고, 안정적인 군남댐 운영을 위하여 위성영상으로 북한 황강댐의 수위변화를 모니터링하고 그 변화 경향을 통해 현업에 활용하는 방안을 시도해보고자 한다.

\* 정회원 · K-water융합연구원 물순환연구소, 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정 · E-mail : [shchoi78@kwater.or.kr](mailto:shchoi78@kwater.or.kr)

\*\* 정회원 · (주)에스이랩 차장 · E-mail : [jhlee@selab.co.kr](mailto:jhlee@selab.co.kr)

## 2. 본론

### 2.1 분석자료

북한 황강댐 지역을 지속적으로 모니터링을 위해서는 무료 위성영상을 활용해야 하는데, 광학영상으로는 ESA(European Space Agency)에서 제공하는 10 m 해상도의 Sentinel-2 영상과 USGS(United States Geological Survey)에서 제공하는 30 m 해상도의 Landsat-8 영상이 있다. 다만, Sentinel-2와 Landsat-8은 광학영상이라는 제한으로 인해 밤에는 촬영이 불가하고, 낮의 경우에도 위성과 지표면 사이에 구름이 존재할 경우 하천과 육지의 경계를 명확히 파악하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 SAR(Synthetic Aperture Radar)위성을 활용하고자 하였으며, 특히 ESA에서 운용하는 Sentinel-1을 활용하였다. 그 이유는 우리나라의 SAR 위성인 Kompsat-5를 포함한 대부분의 위성은 상용위성이라 지속적인 구입이 어렵기 때문이다. ESA의 Sentinel-1만이 현재로서는 무상으로 획득할 수 있는 유일한 SAR 위성 영상이다. SAR는 레이더 신호를 이용한 active remote sensing의 일종으로 밤낮 구분 없이 촬영할 수 있고, 위성과 지표 사이에 구름이 존재할 경우에도 이를 투과할 수 있어 영상 획득률이 높다는 장점을 갖는다. SAR 영상은 amplitude와 phase의 신호가 중첩되어 표현되는데, 레이더 영상은 일반적으로 알고 있는 광학영상과는 영상의 획득과정과 해석 부분에서 차이점이 많아 올바른 사용 및 적용이 쉽지 않다. 그리고 phase 데이터의 분석 목적은 주로 지표의 변위 확인이나 DEM 생성 등이므로 본 과제의 하천과 육지 경계 탐지에 대해서는 부적합하다고 판단하였고, ESA에서 GRD(Ground Range Detected) 형태로 배포하는 amplitude 영상만을 활용하고자 하였다. 북한을 포함한 한반도 지역은 Sentinel-1의 IW(Interferometric Wide swath)모드로 촬영되며, 배포되는 GRD 데이터의 해상도는 약 11 m이다. 사용된 영상은 2016년 7월부터 2017년 8월까지 13개 영상이다.

인공위성을 통해 DEM을 생성하기 위해서는 최소 2장의 영상이 필요하다. 이를 위해 시간적 혹은 공간적 차이를 가지는 영상을 보유하게 되는데 시간적 차이를 가질 경우 두 영상 획득 간 지표의 변위가 발생할 수 있어 보통의 경우 공간적 차이를 가지는 영상을 이용한다. 전 지구를 대상으로 무상 배포하는 DEM 데이터의 최고 해상도는 현재까지는 약 30 m로 정밀한 수위 확인에는 부적합하다. 이에 국토지리정보원에서 제공하는 10 m 해상도의 DEM을 이용했습니다. 그림 1은 북한 전역에 대한 10 m 해상도의 DEM 영상을, 그림 2는 전체 영상 중 황강댐 구역만을 subset한 결과 DEM 영상이다.

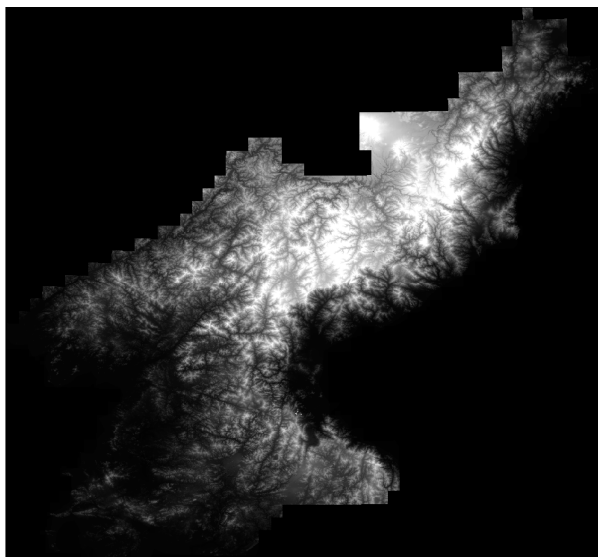


그림 1. 북한 지역에 대한 10 m 해상도의 DEM

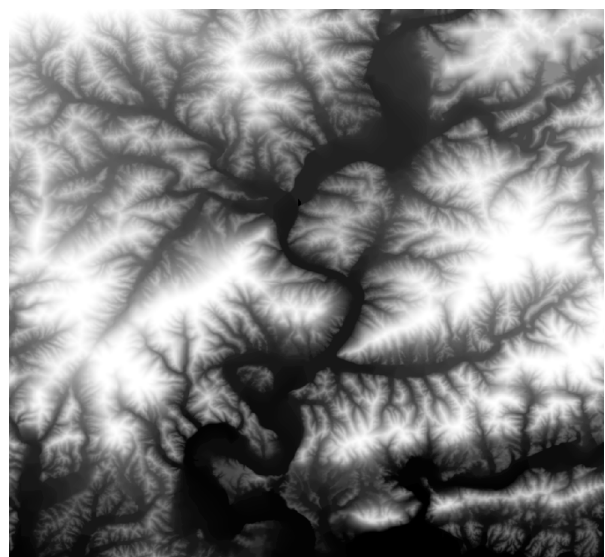


그림 2. 황강댐 구역에 대한 확대 DEM

## 2.2 분석방법

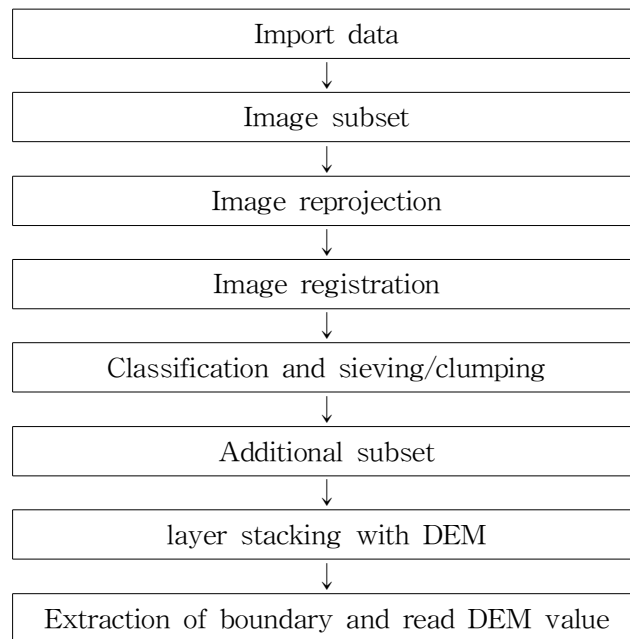


그림 3. 수위추정 과정

영상의 분석과 수위추정 과정은 그림 3과 같다. 확보된 위성영상을 위경도 좌표를 기준으로 황강댐 주변의 관심영역을 산출하고, 기하보정의 reference로 사용하기 위한 sentinel-2 영상과 DEM이 설정된 UTM zone 52N으로 변환하는 과정을 거친다. 다음은 기하보정의 첫 단계로 ENVI의 mutual information을 통해 이중센서(광학과 SAR)간 image to image registration을 위한 tie-point 검색 기능을 활용하고 분석자가 추가 tie-point를 설정하여, 최종적으로 두 영상간 RMSE가 1.0 이하를 만족하는 tie-point를 생성하여 Sentinel-1 영상의 보정을 완료하였다. 육지와 수계 구분을 위하여 DN값이 100보다 크면 육지지역, 작으면 수계지역으로 판독하였다. 또한 수면 경계 구분의 품질 개선을 위해서 filtering 과정을 추가하였는데, sieving 과정을 통해 주변 픽셀과 비교하여 고립된 픽셀을 제거하고 clumping을 통해 인접한 유사 픽셀과 동일시하는 군집화 과정을 추가하였다. 그리고 황강댐 상시만수위와 댐 정고를 고려하여 수위 판단에 중요한 EL. 95~110 m 구간에 가장 민감한 지역을 추가로 추출하였고, 이렇게 분석된 위성영상을 DEM과 중첩하여 중첩된 모든 DEM 값을 산출하였다. 그 값들을 정규분포로 가정하여 outlier( $\pm 1\sigma$ )를 제외한 값들을 평균하여 최종 수위 추정값으로 산출하였다.

## 2.3 분석결과 및 고찰

그림 3의 과정을 통해 추정된 북한 황강댐의 수위를 표 1에 제시하였다. 장마가 시작전인 7월 초 중순의 추정수위와 장마가 시작되는 7월 말 이후의 추정수위가 시기에 따라 변동하는 것을 확인할 수가 있으며, 특히 작년 2017년 7월 6~12일의 수위 변화를 WMO에서 수집하는 GTS 강수량 정보를 통해 비교해보면, 황강댐에 가깝게 위치하는 신계, 평강지역의 강수량이 각각 481 mm, 387 mm를 기록하여 수위가 90 m에서 상시만수위에 육박하는 108 m까지 상승한 것을 위성영상으로 확인할 수가 있었다.

표 1. 황강댐 추정 수위

날짜	2016년					2017년						
	7.4	7.11	8.4	9.4	9.21	7.6	7.12	7.18	7.24	7.30	8.5	8.11
추정 수위 (ELm)	105	107	108	106	105	90	108	108	109	108	108	108

### 3. 결론

본 연구에서는 Sentinel-1 SAR 영상의 반사도 자료와 DEM 정보의 중첩을 통해 수면경계 추출 방법으로 북한 황강댐의 수위를 추정해보았다. 오차는 있겠지만 북한 황강댐 수위 추정을 통해 강수량 변화에 따른 수위 변화 경향을 확인해 볼 수 있었다. 비록 정확한 수위 추정은 아니겠지만, 황강댐의 수위변화 경향이나 추세를 주기적으로 확인함으로써, 군남댐 운영 업무에 선제적으로 대응하는데에는 도움이 될 것으로 생각된다. 향후, 황강댐에 대한 객관적인 수위 정보를 장기간에 걸쳐 확보할 수 있다면, 보다 정확한 수위 추정이 가능할 것이고, 추가적으로 수위추정 회귀모형을 산출하거나 수위-저수용량 곡선의 추정해 볼 수도 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 미래창조과학부, NASA의 GRACE, Envisat Altimeter, SAR 자료를 이용한 비접근 지역의 수위 측정 기술 개발(2015)
2. 홍승환 등, SAR 영상과 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 관심 수계지역 추출 방안 연구, 대한토목학회 학술대회, 2013
3. Nguyen Ba Duy, Automatic detection of surface water bodies from Sentinel-1 SAR images using Valley-Emphasis method, Vietnam Journal of Earth Sciences 37, 2015, 328-343
4. Performance analysis of supervised image classification techniques for the classification of multispectral satellite imagery, 2015
5. Chang Liu, Analysis of Sentinel-1 SAR data for mapping standing water in the Twente region, 2016