

## Sentinel-1 위성영상을 활용한 소규모 저수지 저수량 추정

## Estimation of Small Reservoir Storage Using Sentinel-1 Image

장문엽<sup>1\*</sup> · 송주일<sup>2</sup> · 장초록<sup>3</sup> · 김한태<sup>4</sup>Moon-Yup Jang<sup>1\*</sup>, Ju-Il Song<sup>2</sup>, Cho-Rok Jang<sup>3</sup>, Han-Tae Kim<sup>4</sup><sup>1</sup>Engineer Researcher, Burin Co.,Ltd, Seoul, Republic of Korea<sup>2</sup>Principal Research Engineer, Burin Co.,Ltd, Seoul, Republic of Korea<sup>3</sup>Engineer Researcher, Burin Co.,Ltd, Seoul, Republic of Korea<sup>4</sup>Vice-President, Burin Co.,Ltd, Seoul, Republic of Korea

\*Corresponding author: Moon-Yup Jang, myjang@eburin.com

## ABSTRACT

**Purpose:** In this study, a model was developed to estimate the storage in Cheonan reservoir using images taken by Sentinel-1 satellite. **Method:** A total of three reservoirs were studied. All three reservoirs are small reservoirs whose water level is being measured. The preprocessing of Sentinel-1 images was done using SNAP distributed by the European Space Agency(ESA), and the storage was estimated by classifying water surface by the threshold classification method. The estimated reservoir area was compared with satellite and drones images taken on the same day. The correlation was derived by comparing the estimated reservoir area with the actual measurement. **Results and Conclusions:** The storage values estimated by satellite image analysis showed similar values to the actual measurement data. However, because of the underestimation of the reservoir area due to green algae and Epilithic diatom of summer reservoirs and the low resolution of satellite images, it is difficult to detect reservoir area by satellite images less than 10,000m<sup>2</sup>.

**Keywords:** Sentinel-1, Satellite, Drone Image, Water Surface Area, Reservoir Storage Estimation Model

## 요약

**연구목적:** 본 연구에서는 Sentinel-1 위성이 촬영한 영상을 활용하여 천안지역 저수지의 저수량을 추정하는 모형을 개발하였다. **연구방법:** 총 3개의 저수지를 대상으로 연구를 진행하였으며, 3개 저수지 모두 수위가 계속되고 있는 소규모 저수지이다. Sentinel-1 영상의 전 처리는 유럽항공우주국(ESA, European Space Agency)에서 배포한 SNAP을 활용하였으며, 임계치 분류 방식에 의해 수체를 구분하여 저수면적을 추정하였다. 추정된 저수면적에 대해서는 인공위성이 촬영한 날짜와 동일한 날짜에 드론으로 촬영하여 저수면적을 비교하였다. 저수지 저수면적을 추정된 것과 관측유량 자료와의 관계식을 도출하여 저수량 추정모형을 구축하였다. **연구 결과 및 결론:** 위성영상분석을 통해 추정된 저수량 값은 실제 계측자료와 유사한 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 여름철 저수지의 녹조, 부착물발류 등으로 인해 저수면적의 과소 추정과 위성영상 해상도로 인한 저수면적이 10,000m<sup>2</sup> 이하인 저수지는 위성영상으로는 탐지가 어려운 문제점이 존재하는 것을 확인하였다.

**핵심용어:** Sentinel-1, 위성영상, 드론영상, 저수면적, 저수량 추정 모형

Received | 23 October, 2019

Revised | 4 November, 2019

Accepted | 10 March, 2020



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

## 서론

가뭄은 최근 지구온난화로 인한 기후변화의 문제로 인해 빈번하게 발생하고 있으며, 기타 다른 재해에 비해 장기간에 걸쳐 피해를 주고 있어 그 피해가 심각하게 나타나고 있다. 이에 국내외에서는 가뭄관련 많은 연구가 진행되고 있으며 여러 가지 분석 방법론이 제시되어 사용하고 있다. 일반적으로 가뭄은 광범위한 지역에서 식물과 동물 그리고 인간에게 치명적일 수 있는 물부족 상태가 지속하는 경우로 정의하고 있다(Warwick, 1975).

이처럼 물 부족 문제는 현재 전 세계적으로 겪고 있을 정도로 심각하며 여러 분야에 걸쳐 피해를 주고 있다. 이를 위해 효율적인 물관리 방안의 필요성이 대두되고 있으며, 저수지 저수량을 파악하는 것은 중요한 점이라 할 수 있다.

우리나라는 17,310개소(2015년 기준)의 저수지가 존재하고, 지자체가 13,916개소, 한국농어촌공사가 3,394개소를 관리하고 있다. Fig. 1(a)는 우리나라 전국저수지 분포 (b)는 농어촌공사에서 관리하고 있는 저수지 분포를 나타내고 있다.

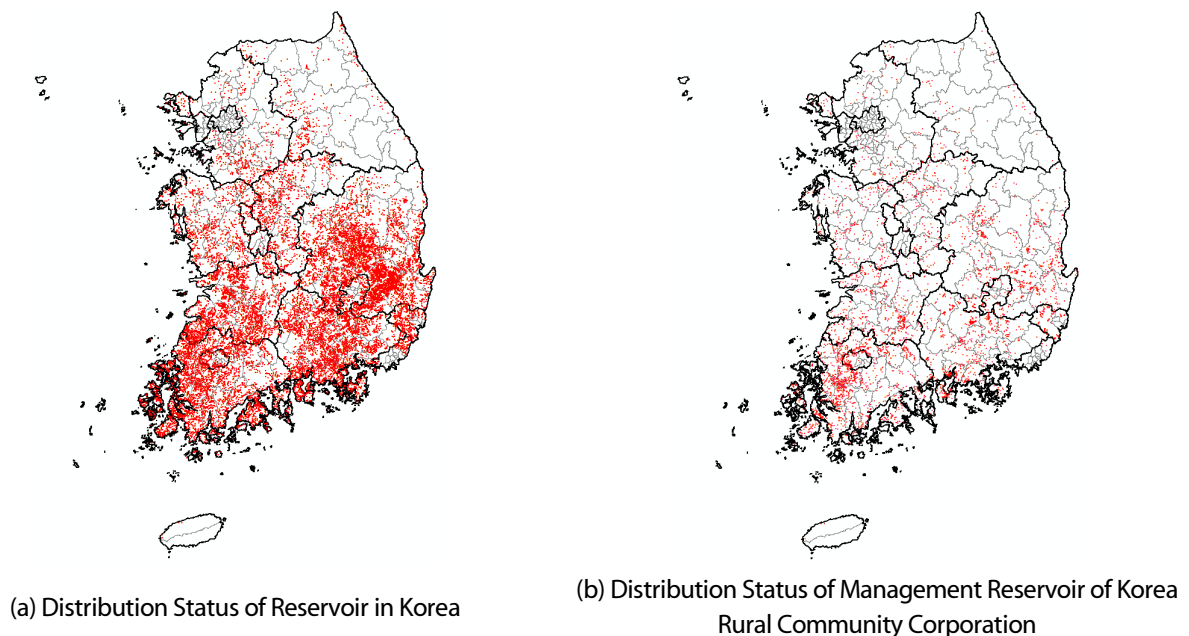


Fig. 1. Distribution Status of Reservoir

이중 30만  $m^3$  이상인 저수지가 전체 총저수량의 대부분을 차지하기 때문에 1,500개소에 대해 저수위 등이 계측되고 있고, 그 외에 소규모 수리시설물의 경우 유역면적, 만수면적, 총저수량, 유효저수량 등 기본 제원만 관리되고 있다.

현재 가뭄관련해서는 많은 연구가 이루어지고 있으며 대표적으로 가뭄의 판단을 위해 가뭄지수를 이용하는 방법이 널리 사용되고 있고, 관련 연구가 이루어지고 있다. 가뭄지수와 관련해서는 크게 기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 농업적 가뭄으로 구분할 수 있으며 기상학적 가뭄은 기상청에서 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI), 정상강수백분율(Percent of Normal Precipitation, PN), 파머가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI) 등의 가뭄 지표를 제공하고 있다. 농업적 가뭄의 경우 토양수분지수(Soil Moisture Index, SMI)가 널리 활용되고 있으며 수문학적 가뭄은 지표수공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI), 용수공급 가뭄지수(Water supply Drought Index, WADI), 국내에서 개발한 보정

지표수공급지수(Modified Surface Water Supply Index, MSWSI) 등이 이용되고 있다.

한편, 최근 인공위성을 활용한 수자원분야의 연구가 활발히 진행중에 있으며, 이중 인공위성을 활용한 유량 추정방법이 관심을 받고 있다. 인공위성을 활용한 유량 추정방법에는 레이더 고도 측정법, 간접 기법 등이 있으며, 레이더 고도 측정법은 대부분 대규모 하천, 댐 등을 위주로 연구가 진행되어 왔다. 이러한 이유는 위성영상자료의 해상도에 따라 오차에 대해 덜 민감한 대규모 하천 등을 위주로 이루어지며 소규모 저수지에 대한 연구는 드문편이다. 또한 하천을 대상으로 주로 연구가 이루어지고 있으며, 하천의 수위-유량과의 관계를 이용하여 유량을 구하는 경우는 많으나 이 또한 해상도에 영향을 많이 받기 때문에 중소규모 하천, 저수지에 대해서는 적용하기 힘든 경우가 대부분이다.

이에 본 연구에서는 위성영상을 활용하여 소규모 저수지의 저수량을 추정하는 기법을 개발하고자 하였다. 저수량 추정을 위해 소규모 저수지 중 계측되고 있는 저수지를 선택하였으며, 저수면적 추정의 정확성 검증을 위해 실제 위성이 촬영되는 날짜와 동일하게 드론촬영을 실시하여 검증방안을 마련하였다.

## 연구방법

### 연구지역

본 연구의 연구지역은 천안시 일대 저수지를 대상으로 실시하였다. 드론촬영을 통해 저수면적의 검증을 실시하기 위해 소규모 저수지를 선택하였으며, 실제 계측되고 있는 저수지 3개소 선택하였다. Table 1은 3개 저수지의 위치, 만수면적, 총저수량을 정리한 것이다.

**Table 1.** Resources of target reservoir

Station	Full area(m <sup>2</sup> )	Total storage(m <sup>3</sup> )	Instrument
Sinwol	81,700	207,000	O
Dongam	120,000	387,000	O
Wollang	219,000	528,000	O

### Sentinel

Sentinel-1 위성은 유럽항공우주국(ESA, European Space Agency)에서 발사한 다목적 위성으로 동일한 궤도를 비행하는 2014년 발사된 sentinel-1a와 2016년 발사된 sentinel-1b로 구성되어 있다. 두 위성은 180°의 위상차로 비행하여 각 위성의 주기가 12일로 두 위성을 함께 사용하면 주기는 6일이다. Sentinel-1은 기상상황에 관계없이 영상을 획득할 수 있는 C-band SAR(5.405GHz)를 탑재하고 있으며, 무상으로 제공하고 있어 활용도가 매우 높다. Sentinel-1은 자료 획득 모드에 따라 Stripmap(SM), Interferometric Wide swath(IW), Extra-Wide swath(EW), Wave(WV) 총 4가지 모드로 구분되며 본 연구에서는 IW의 Ground Range Detected(GRD) 자료를 사용하였다.

### 기초자료 구축

Sentinel 영상의 처리를 위해 유럽우주국에서 Sentinel 처리를 위해 개발한 Sentinel's Application Platform(SNAP,

<http://step.esa.int/main/download/snap-download/>)을 사용하였다. S1TBX는 Sentinel-1a/b 영상을 처리하기 위한 프로그램으로, 자료처리의 신속성과 정확성을 기하기 위해 Graph Builder를 사용하여 처리하도록 하였다. Fig. 2는 Sentinel-1 영상의 전처리 과정을 보여준다.

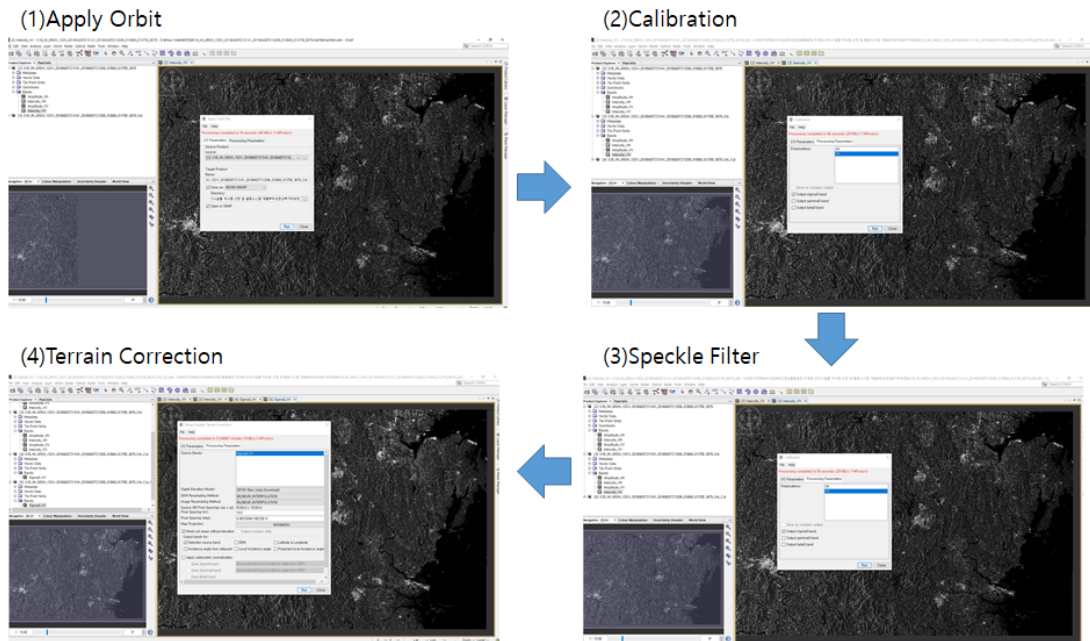


Fig. 2. Pre-processing of Sentinel-1 image

위성영상의 전처리는 SNAP을 사용하여 수행하였으며, 궤도 보정, 방사보정, 노이즈제거, 기하보정의 순서로 수행되었다. 일반적으로 위성영상의 초기 영상의 경우 궤도 정보가 정확하지 않아 궤도보정을 통해 위성의 위치 및 속도 정보를 정확하게 보정할 수 있다. Calibration은 초기 이미지의 경우 방사보정이 되어 있지 않아 이미지의 화소(pixel)값이 실제로 레이더 후방 산란값을 나타낼 수 있도록 방사과정을 거치도록 한다. 그다음으로 speckle filtering을 수행하게 된다. 노이즈 처리에는 Mean, Lee, Lee sigma 등 다양한 필터를 SNAP에서 제공하고 있으며, 본 연구에서는 Lee sigma 필터를 사용하여 수행하였다. 마지막으로 기하보정을 수행하는데, 이는 초기 이미지의 경우 위성 센서의 기울기에 의한 왜곡이 있어 실제와 다른 형태를 띄게 된다. 따라서 이미지의 좌표체계를 WGS84 좌표계로 변환시키고 보정하였다(Cazals, 2016).

### 수체구분 및 저수량 추정

위성영상에서 수체를 구분하는 방법은 여러 연구를 통해 다양한 방법이 제시되고 있다. 본 연구에서는 수체 구분을 위해 임계치에 의한 분류방식을 사용하였다. 임계치 분류는 수체와 비수체의 구분을 위해 특정 임계값(threshold)을 대입하여 수체를 추출하는 방법으로 위성영상을 활용한 수체파악을 위한 연구에서 주로 사용하는 방식이다(Otsu, 1979).

위성영상을 통해 추정된 저수면적은 드론촬영을 통해 검증방안을 마련하였다. 실제 위성영상이 촬영하는 날짜에 드론촬영을 실시하여 드론 영상의 면적값과 위성영상을 분석하여 추정된 면적을 비교하여 절차를 수행하였다. 드론영상의 저수면

적은 위성영상의 해상도와 동일하게 만들어 주고 10m 화소형태로 저수지 수체를 구분하여 화소수를 카운트 하는 방법으로 저수면적을 추정하였다.

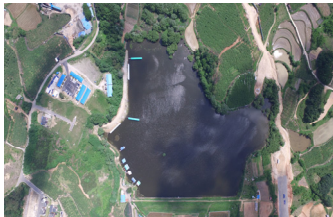
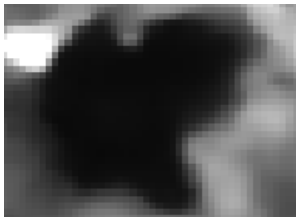
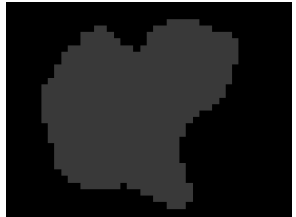




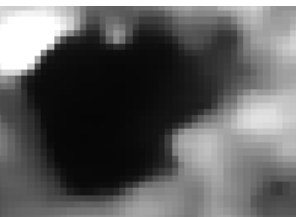
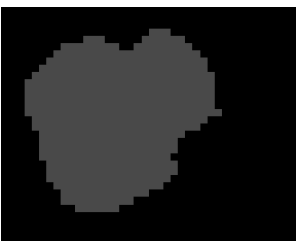
저수량 추정은 실제 계측되고 있는 저수지의 수위-저수량 관계를 저수면적-저수량 관계식으로 변환하고 이를 바탕으로 저수량을 구하는 방법을 사용하였다. 또한 미계측 저수지의 경우 비슷한 크기를 가지는 저수지를 대상으로 선형보간 방법으로 관계식을 도출하고 이를 저수지에 대입하여 저수량을 추정하였다.

## 분석결과

### 저수면적 및 저수량 추정의 한계점

위성영상을 통해 추정한 저수지의 경우 저수지 수표면의 수풀, 식생 분포 등에 따라 저수면적이 달라질 수 있다. 특히 여름철의 경우 녹조, 부착돌말류 등의 영향으로 위성영상으로는 구분이 어려운 점을 확인하였다. Table 2는 실제 신월저수지의 드론 촬영 영상과 위성영상, 위성영상을 분석한 사진을 나타낸다. 사진에서 볼 수 있듯이 드론촬영 당시 7월의 경우 부착돌말류의 영향으로 저수지 수표면의 상당부분이 덮여있는 것을 확인할 수 있으며 위성영상 5월 6월과 비교해볼 때 면적이 축소된 것을 확인할 수 있다. 따라서 실제 정확한 저수지의 저수면적을 구하기 위해서는 지상관측자료가 필요하다.

**Table 2.** Comparison of drone/Sentinel-1/analysis of Sentinel-1 images(Sinwol)

Month	Drone	Sentinel-1	Analysis of Sentinel-1
5			
6			
7			

또한 저수면적-저수량 곡선도 미계측 되고 있는 저수지의 경우 실제 관측자료가 아닌 비슷한 유형의 저수지 자료를 바탕으로 추정하여야 하므로 오차가 발생할 수 있다.

아울러 Sentinel-1 위성영상의 공간 해상도는 약 20m로 소규모 저수지 특히, 10,000m<sup>2</sup> 이하의 저수면적을 가지는 저수지의 경우 위성영상 분석을 통한 판독이 어려운 것으로 나타났다.

Table 3은 조사대상 저수지의 5월부터 7월까지의 드론과 위성영상을 분석하여 추정한 저수면적을 나타낸 표이다. 3개 저수지 모두 5월, 6월의 경우 약 75% 이상의 정확도를 가짐에 비해 7월의 경우 60%의 정확도를 가지는 것으로 추정되었다. 이는 저수량 면적 산정시 여름철의 경우 녹조, 부착돌말류 등에 의해 탐지되는 저수면적이 감소되어 나타나는 경향으로 감소되는 면적을 고려하여 가중치를 두어 보정하면 정확도를 보완할 수 있을것으로 판단된다.

**Table 3.** Comparison of drone, Sentinel-1 of water surface area

Station	Month	Water surface area(m <sup>2</sup> )		Sentinel-1/drone(%)
		Area of drone	Area of sentinel-1	
Sinwol	5월	68,400	56,430	82.5
	6월	71,300	60,034	84.2
	7월	66,300	37,714	56.8
Dongam	5월	77,691	58,424	75.2
	6월	58,438	45,816	78.4
	7월	55,289	40,251	72.8
Wollang	5월	119,794	95,518	78.9
	6월	85,297	72,588	85.1
	7월	74,248	43,584	58.7

### 저수량 추정 결과

대상 저수지의 저수량 추정을 위해 2018년 5월부터 7월까지 위성영상이 관측되는 당일 드론촬영을 실시하여 저수면적을 추정하고, 관측 저수지의 경우 수위-유량 자료를 활용 저수면적-저수량의 관계를 파악하였다. 이를 바탕으로 저수면적과 저수량을 추정하였으며, 실측자료가 있는 저수지의 경우 실측 자료와 비교하였다. 또한 미계측 저수지의 경우 만수면적, 총저수용량과 추정값을 비교하였다.

Fig. 3은 저수면적과 저수량에 관한 결과를 보여주는 그래프로 x축은 저수면적, y축은 저수량을 나타낸다. Fig. 3은 신월 저수지, 동암저수지, 월랑저수지 각각에 대한 그래프로 본 연구를 통해 추정한 저수량은 빨간색으로, 실제 데이터는 파란색으로 표시되었으며 빨간 점이 원형에 가까울수록 정확도가 높으며 실제 데이터와의 유사한 값을 나타내는 것을 확인하였다.

Table 4는 저수면적을 이용한 저수량 추정 함수를 나타낸 것으로 지수함수의 형태로 나타낼 때 정확도가 가장 높게 나타났다. 실제 유량 자료와 비교하여 평균 결정계수를 산정하였으며, 결정계수가 1에 가까울수록 정확도가 높음을 의미한다. 본 연구를 통해 도출한 평균 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.79로 실제 자료와 유사한 것으로 파악되었으며, 보다 정확한 값을 추정하기 위해선 많은 양의 저수지 자료가 확보되어야 할 것으로 판단된다.

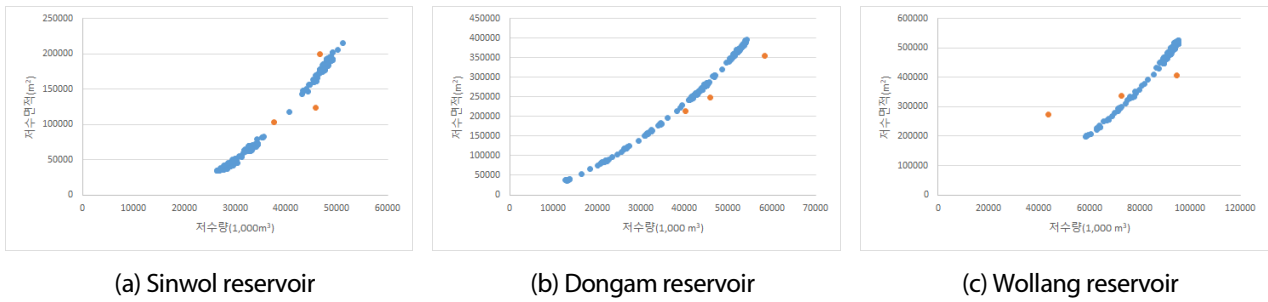


Fig. 3. Relationship between water surface area(x) and storage (y) for 3 resevoirs

Table 4. Equation in water surface area and storage

Station	$F(x)=a \cdot x^b$		$R^2$
	a	b	
Sinwol	2E-8	2.786	0.84
Dongam	5E-3	1.654	0.85
Wollang	4E-5	2.033	0.69

## 결론

본 연구에서는 기존의 가뭄연구와는 다른 위성영상을 활용하여 저수지 저수량을 파악하고자 하였다. 특히, 위성영상을 이용한 유량추정 연구는 지속적으로 진행되어 왔으나, 저수지를 대상으로 한 연구를 진행하였다는 점에서 그 의미가 있다고 판단된다. 본 연구에서는 Sentinel-1 영상을 활용하여 저수면적을 추정하였으며, 이를 바탕으로 3개 저수지에 대한 저수량을 추정하였다. Sentinel 영상의 오류보정을 위해서는 전처리 과정을 거쳤으며, 수체파악을 위해서는 임계값 분류 방식인 threshold 방식으로 저수면적을 산출하였다. 추출한 면적의 검증을 위해서는 실제 위성영상이 관측되는 날 드론촬영을 실시하여 그 정확성을 검증하였으며, 실측저수지의 수위-유량관계식을 사용하여 저수면적에 따른 저수량을 추정하여 실측자료와 비교한 결과 정확도 높은 결과를 얻을 수 있었다.

검증결과 여름철의 경우 녹조, 부착돌말류 등의 영향으로 저수면적 추정시 오차가 발생하였으며, 이러한 경우를 제외한 경우에는 비교적 정확한 저수면적 추정이 가능하며, 여름철의 경우 지속적인 조사를 통해 많은양의 저수지 자료가 구축되어 분석한다면 가중치 기법 등을 통해 정확성을 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 저수지의 크기가 10,000m<sup>2</sup> 이상인 저수지의 경우 위성영상을 통해 저수지 탐지가 가능하므로 저수량 추정이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 바탕으로 계측기가 설치되지 않은 소규모 저수지의 저수량 자료 구축하는데 활용하기를 바란다. 또한 이를 활용하여 가뭄시 참고자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

## Acknowledgement

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다(79617).

## References

- [1] Cazals, C., Rapinel, S., Frison, P., Bonis, A., Mercier, G., Mallet, C., Corgne, S., Rudant, J. "Mapping and Characterization of Hydrological Dynamics in a Coastal Marsh Using High Temporal Resolution Sentinel-1A Images." *Remote Sensing*, Vol. 8, No. 7, p. 570.
- [2] Otsu, N. (1979). "A threshold selection method from gray-level histograms." *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, IEEE, Vol. 9, No.1, pp.62-66.
- [3] Warwick, R.A. (1975). *Drought hazard in the United States: a research assessment*. Nsf/Ra/E-75/004. Boulder, CO: University of Colorado, Institute of Behavioral Science.