

Sentinel-2를 활용한 하천의 식생 및 토양 영향 분석을 통한 통수능 검정

방영준¹ · 최병준² · 이승오^{3*}

¹홍익대학교 건설환경공학과 석사과정, ²홍익대학교 건설환경공학과 학사과정, ³홍익대학교 건설환경공학과 교수

Conveyance Verification through Analysis of River Vegetation and Soil Impact using Sentinel-2

Young Jun Bang¹, Byeong Jun Choi², and Seung Oh Lee^{3*}

¹Master Course Student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Hongik Univ.

²Bachelor Course Student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Hongik Univ.

³Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Hongik Univ.

요약

여름철 예상치 못한 급격한 강우량의 증가로 침수 피해가 발생할 수 있으며 이 때, 하천 내 식생에 의해 통수능이 감소할 경우 제방 월류와 같은 침수의 위험성이 증가하게 된다. 기존에는 현장실측을 통해 통수능의 주요인자인 조도계수를 산정하고 있지만, 현장 실측의 경우 식생의 변화를 정확하게 파악하는데 많은 한계가 존재한다. 본 연구는 Sentinel-2 광학 이미지를 활용하여 식생지수(NDVI)를 산정하고 식생의 밀도와 분포면적을 통해 세분화된 조도계수를 산출하였다. 산출한 조도계수를 HEC-RAS 1D모의에 적용하여 소양강 댐 직하류를 대상으로 수위 관측소 수위와 결과를 비교하여 타당성을 검증하였다. 분석 결과 기존 조도계수 적용 결과보다 위성영상을 통해 산정한 세분화된 조도계수 적용 수위가 오차율이 약 14% 감소하였다. 이를 통해 계절에 따른 홍수량 특성을 고려한 하천의 홍수위의 정교화와 특정 구간에 효율적인 하천 정비가 가능할 것으로 기대한다.

핵심용어: Manning 조도계수, HEC-RAS 1D, NDVI, SENTINEL-2

ABSTRACT

Flooding damage may occur due to an unexpected increase in rainfall in summer. Previously, the roughness coefficient, which is a major factor of conveyance, was calculated through on-site measurement, but in case of on-site measurement, there are many limits in accurately grasping changes in vegetation. In this study, the vegetation index (NDVI) was calculated using the Sentinel-2 optical images, and the modified roughness coefficient was calculated through the density and distribution area of the vegetation. Then the calculated roughness coefficient was applied to HEC-RAS 1D model and verified by comparing the results with the water level at the water level station directly downstream of the Soyang River dam. As a result, the error rate of the water level decreased about 14% compared to applying the previous roughness coefficient. Through this, it is expected that it will be possible to refine the flood level of rivers in consideration of seasonal flood characteristics and to efficiently maintain rivers in specific sections.

Keywords: Manning roughness, HEC-RAS 1D, NDVI, SENTINEL-2

*Corresponding author: Seung Oh Lee, seungoh.lee@hongik.ac.kr

Received: 6 December 2021, Revised: 10 December 2021, Accepted: 20 December 2021



1. 서론

우리나라의 기후적 특성상 연중 강우는 대부분 여름철에 집중되어 나타나며 집중 홍수로 인한 피해는 그 피해의 규모가 인간이 겪는 자연재해 중 가장 큰 규모에 속한다. 2020년 6월 말부터 8월 초순까지 기록적인 폭우가 발생하여 영산강과 섬진강 일대에 큰 침수피해가 발생하였다. 특히, 8월 7일 과 8월 8일 이들 동안 남부 지방에 내린 집중호우로 섬진강댐 하류인 남원시 금지면의 제방이 붕괴되어 주택 447세대와 1,100 ha가 물에 잠기는 피해가 발생하였다(Lee et al., 2020). 제방 붕괴 원인은 지형학적 요인과 금곡교의 준치로 인한 통수능 저하가 가장 큰 원인으로 밝혀졌으며 홍수기의 하천 관리에 중요성을 다시 한 번 일깨워주었다. Fig. 1은 홍수기의 하천 정비가 미흡한 왕숙천과 망월천의 모습을 보여준다.

우리나라 정부 및 지자체에서는 홍수 피해를 예방하고 경감하기 위해 유지보수와 관리에 관심이 증가하고 있으며 지속적으로 하천정비사업을 추진해오고 있다. 이미 90년대 후반부터 치수기능에 환경기능을 접목하여 자연친화적으로 하천정비 사업을 시행하고 있으며, 특히 우리나라 하천 유지관리 정책은 4대강 사업이 종료되는 시점에 본격적으로 착수되기 시작했다(Lee, 2021). 국토교통부는 하천의 효율적인 관리를 위하여 2012년부터 ‘하천 유지보수 매뉴얼’을 마련하여 실무에 적용하고 있다. 하천 유지관리의 중요성이 커지고 있는 상황에서 하천정비사업의 식생 조사는 빼놓을 수 없는 주요 사업이다. 식생은 생물 서식처를 조성하며 하천의 환경성과 심미성을 크게 증진시킨다는 장점도 있지만, 식생이 무성해질수록 하천의 통수능을 급격히 감소시키며, 수위의 상승에 따라 결과적으로 홍수의 위험성을 증가시키게 된다(Noh et al., 2010). 식생 정비 사업을 원활히 추진하기 위해서는 식생과 통수능이 관계를 잘 나타내는 주요 인자 중 하나인 조도계수를 측정하는 것이 중요하다.



Fig. 1. Rivers with poor maintenance during flood season (Left: Wangsuk river, Right: Mangwal River)

식생의 현황을 파악하기 위한 수단으로 현장 조사는 여러 제약조건을 내포하고 있으며 이를 대체하기 위한 수단으로 위성 영상을 이용한 정밀한 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 산출하는 많은 연구가 진행되어 왔다. 정규 식생지수(NDVI)는 원격 탐사에서 원하는 지역의 식생 존재여부를 판단하고 식생 상태를 빠르게 확인하기 위해 사용되는 지수 중 하나이다. Hossain et al.(2009)는 미국 중부 미시시피강 유역의 NDVI와 조도계수의 관계를 수위 비교를 통해 분석하였고, Nakagawa et al.(2007)은 NDVI 값과 조도계수와의 관계식을 산정하고 기존 조도계수와 비교하는 연구를 수행하였다. Akbar et al.(2019)는 NDVI를 통하여 Land Use and Land Cover(LULC)의 변화를 분석하여 세계의 성장하는 도시의 토지변화를 분석하였다.

본 연구는 Sentinel-2를 이용하여 소양강 댐 하류부의 식생지수를 산출하였고, 식생 면적과 분포를 통해 세분화된 조도계수를 산정하였다. 이후 산정한 조도계수를 HEC-RAS 1D 수치모의에 적용하여 최하류 수위를 경계조건으로 하는 흐름에 정상 모의를 진행하여 상류와 사이에 중간에 위치한 수위관측소 수위와 수치모의 결과를 비교하였고, 이를 기존 조도계수를 적용한 수치모의 결과와 비교하여 오차를 낮춘 수위 결과를 도출하였다.

2. 식생지수와 조도계수

2.1 통수능과 조도계수

조도계수는 흐름에 대한 하도의 저항정도를 표시하는 값으로 하상재료의 모든 형태적 특성을 나타내는 유일한 변수로서 기능하기 때문에 수리계산에서 기본적으로 가장 중요한 자료 중 하나이다(MOLIT, 2016). 조도계수를 측정하는 방법으로는 원칙적으로 현장조사 결과를 활용하여 결정하고 있으나, 이는 현실적으로 한계가 많은 작업이다. 하천의 조도계수는 하천에서 발생하는 모든 흐름 저항을 반영한 연속적인 관측결과로부터 산정하고 결정되는 복합적 인자이다. 그러나 연속적인 유량 및 수위 실측이 현실적으로 어려울 뿐만 아니라 다수의 값을 하나의 지표로 산정하는 작업이기에 많은 불확실성 요소를 내포하고 있으며, 이 불확실도는 곧 수위나 유량 등의 계산 결과에도 영향을 미친다(Kim et al., 2007). 조도계수 결정방법에는 하도 상황에 따라 기존에 제안된 값을 쓰는 방법과, 수리학적 모형을 사용하는 방법이 있다. 기존에 하천기본계획상에 명시된 값을 쓰는 방법이 더 간단하지만, 객관적이고 정확한 값을 원한다면 복잡하더라도 수리학적 모형에 대한 방법을 쓰는 것이 효과적이다.

일반적으로 식생의 성장에 의해 하천의 생태적 측면은 많이 개선되었지만, 치수적인 측면에서는 하도 통수능 감소, 하천 조도 증가 등과 같은 바람직하지 않은 효과가 발생한다. 개수로 수리학에서 식생은 흐름 저항을 증가하기 때문에 식생이 자라지 않은 하천에 비해 일반적으로 수위가 증가하게 된다. 식생 하도나 홍수터에서 흐름 저항은 수심과 유속 외에 대체로 식생의 물리적 특성과 종류, 밀도에 의하여 결정된다. 식생수로에서 조도요소는 개념적으로 흙 입자조도(soil grain roughness), 형상조도(form roughness), 식생조도(vegetative roughness)의 세 가지로 구분할 수 있는데 대부분 식생수로에서는 식생조도가 지배적이며, 식생조도는 식생의 밀도 및 식생의 높이와 종류에 의해 특성 지어진다(Rhee et al., 2012). Manning 조도계수는 수로의 흐름저항을 표현하기 위하여 주로 사용되며 Manning 계수를 이용하여 다음과 같이 개수로에서의 정상 등류 흐름에 대해 식 (1)과 같이 유량을 산출할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times S_f^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$Q = K \times S^{\frac{1}{2}}, K = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} = \frac{1}{n} \times \left(\frac{A^5}{P^2}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

식 (1)은 Manning 공식을 나타내며 n 은 조도계수, Q 는 유량, A 는 수로의 단면적을 나타낸다. 식 (2)는 Manning 공식의 다른 표현으로 K 는 통상 단면의 형상과 조도계수만 관계되는 식으로 수로의 통수능(Conveyance)이고 R 는 동수반경, n 은 조도계수이다.

2.2 식생지수(NDVI)

식물의 잎은 태양으로부터 직접 전달되거나 또는 하늘의 산란광으로부터 간접적으로 입사되는 복사에너지에 차단·흡수하는데 입사된 전자기에너지는 잎속의 색소, 수분, 그리고 분자간의 공극과 상호반응을 하게 된다. 1960년대 이래 원격탐사 자료로부터 식물의 생물리학적 특성을 나타내는 인자들을 밝혀내고자 많은 연구가 이루어졌고 이들 중 육지 표면의 대부분을 차지하는 식생에 대한 정보를 제공하기 위한 다양한 종류의 식생지수들이 개발되어 왔다. 이들 지수 대부분은 식생의 활동성을 뚜렷하게 나타내는 채널과 그렇지 못한 파장대에서 관측된 신호의 차이를 이용하여, 식생에 의한 신호를 강조한다.

주로 활용되는 자료는 근적외(near-infrared)나 녹색 파장대와 적색(red) 파장대의 반사도 차이를 이용한다. 따라서 식생이 강하게 반응하는 파장대와 그렇지 않은 파장대를 조합함으로써 식생에 의한 신호를 강조할 수 있으며, 이를 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)라 한다. NDVI는 식생상황을 위성자료로부터 파악하기 위한 지표로 가장 널리 사용되고 있다. NDVI는 단위가 없는 복사값으로 녹색 식물의 상대적 분포량과 활동성, 엽면적 지수, 엽록소 함량, 엽량 및 광합성 흡수복사량 등과 관련된 정규화 식생지수이며, NDVI는 위성자료의 적색광과 근적외선 영역의 산술연산에 의해 식(3)으로 계산되어진다.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3)$$

일반적인 NDVI값은 -1에서 1까지 범위를 가진다. 식생지수는 Table 1과 같은 일반적으로 분류된 값을 나타내지만 사용되는 위성에 따라 발생하는 오차, 구름 등 날씨, 대기 보정, 대상지, 구름이나 경사면에서의 지형적 오차 등 다양한 원인에 의해 오차가 발생하여 분류 임계치를 절대적인 수치로는 볼 수 없어, 각 연구에 맞는 보정과 검정이 반드시 필요하다.

Table 1. Description and NDVI class interval for vegetation cover (Nascimento Aquino, 2018)

Class	Classification criterion
Bare soil and/or water	-1 < NDVI ≤ 0
Very Low (Wasteland)	0 < NDVI ≤ 0.2
Low (Crop, Grass)	0.2 < NDVI ≤ 0.4
Moderately Low (Shrub, Agroforestry)	0.4 < NDVI ≤ 0.6
Moderately High (Forest, Plantation)	0.6 < NDVI ≤ 0.8
High (Tropical Rain Forest)	0.8 < NDVI ≤ 1.0

3. 연구 방법론

3.1 연구 대상지

본 연구에서 연구대상지를 선정한 기준은 하천의 식생분포가 계절별로 뚜렷하며, 해당 하천의 식생에 관한 선행연구와 자료가 풍부한 지역과 해당 하천에 수위유량 관측소가 있어 실측 관측 자료가 존재하는 지점을 확인하였다. 또한, 하폭이 최소 100 m 이상이며, 인공위성 영상의 해상도가 육안으로 보기에 충분한 대상지 그리고 위성 자료에 나타나는 구름이나 대기과 같은 방해인자를 고려하여 소양강 댐 직하류부터 북한강 합류지점까지로 설정하였다. 소양강 하천기본계획(MOLIT, 2016) 따르면 소양강 댐 하류지역의 하상은 대부분 모래 및 자갈로 이루어져 있으며, 갯벌들 군락과 버드나무류 군락 등이 분포해 있다. 또한 하천 양안의 제방을 포함하여 하천 주변에도 인공적으로 조성된 산책로, 습지, 도로, 교량 등 다양한 인공구조물이 설치되어 있다. Fig. 2는 소양강댐 하류권역 조사 지점도를 나타낸다. 조도계수 결정방법에는 하도 상황에 따라 기존에 제안된 값을 쓰는 방법과 수리학적 모형 사용하는 방법이 있다. 수리학적 모형에 의한 방법은 객관적이고 정확하지만 소양강하천기본계획(MOLIT, 2016)에 따르면 수위-유량관계곡선이 개발되지 않았고, 댐 운영에 의해 인위적으로 수위가 결정되어 신뢰도가 떨어져 수리학적 모형에 의한 추정치는 시행하지 않았다. 따라서 조도계수는 기수립 하천기본계획에 명시된 현장 조사 결과를 토대로 자연하천의 일반적인 조도계수를 고려하여 제시된 0.035로 설정하였다.

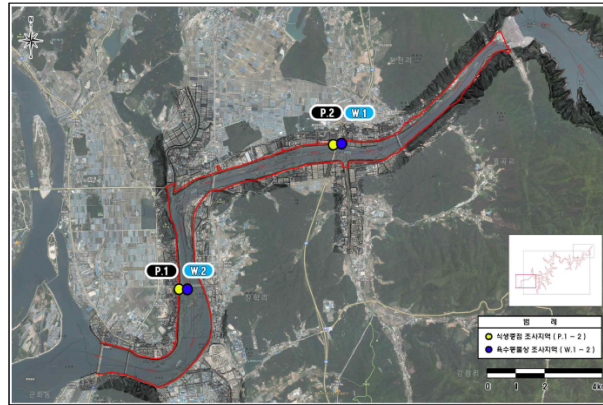


Fig. 2. Soyang river Dam down stream survey map (MOLIT, 2016)

3.2 Sentinel-2

본 논문에서 식생지수를 산출하는데 사용한 인공위성은 ESA(European Space Agency)에서 운영하는 Sentinel-2 광학 위성자료이다. 광학위성이란 다중분광 원격탐사로 여기서 분광이란 빛이 파장의 차이에 따라서 여러 가지 색의 띠로 나누어지는 것을 말한다. Sentinel-2 A/B 한 쌍의 위성이 5일의 재방문 주기를 가지고 동일한 궤도를 움직인다. Sentinel-2 위성은 다분광 촬영장비(Multi Spectral Instrument, MSI)를 탑재하여 13개의 분광대역대 영상을 촬영하며, 가시광선과 근적외선 영상은 10 m, 그 외 영상은 20 m, 60 m의 공간 해상도를 지닌다(Drusch et al., 2012). Sentinel-2 위성 데이터는 무상을 제공받을 수 있으며 최신 자료는 ESA의 Copernicus Open Access Hub, 비교적 과거자료는 미국 지질조사국(United States Geological Survey, USGS)을 통해 제공받을 수 있다. 본 연구에서는 2020년과 2021년의 계절별로 총 12개의 영상의 Sentinel-2 레벨 1C(L1C) 영상을 사용하였다. 영상 선정 시 구름에 가려진 비율인 구름 차폐 비율(Cloud cover)이 1%를 넘지 않는 자료를 선정하였고 그 중 식생지수(NDVI)를 산출하기 위해 쓰이는 Band 4(Red), Band 8(NIR) 밴드 영역을 활용하였다. Table 2는 해당 밴드의 대역 및 공간해상도를 나타내며 Fig. 3는 광학 위성의 RGB 이미지를 나타낸다.

Table 2. Spectral bands and spatial resolutions of the Sentinel-2 imagery

Sentinel-2 Band	Wavelength	Spatial Resolution
Band 4 (Red)	641~689 nm	10 m
Band 8 (NIR)	784~900 nm	10 m



Fig. 3. Sentinel-2 optical image (Soyanggang River)

3.3 NDVI 산출

ESA에서 제공하는 영상 편집 프로그램인 SNAP을 활용하여 NDVI를 산출하였다. SNAP은 위성영상으로 다양한 데이터의 활용 보기 및 처리기능을 지원하는 API로 이미지의 편집, 임계치 계산, 통계 분석, 여러 지수 추출 등 다양한 처리기능을 지원한다. Fig. 4는 NDVI 추출 과정을 요약한 흐름도이다. Copernicus Open Access Hub에서는 대기보정이 이루어진 최신 자료를 받으며, USGS에서는 대기보정이 안된 과거자료를 제공한다. 대기 보정을 거쳐 NDVI를 산출한 후 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 하천 제방선을 따라 경계구역을 설정하였다.

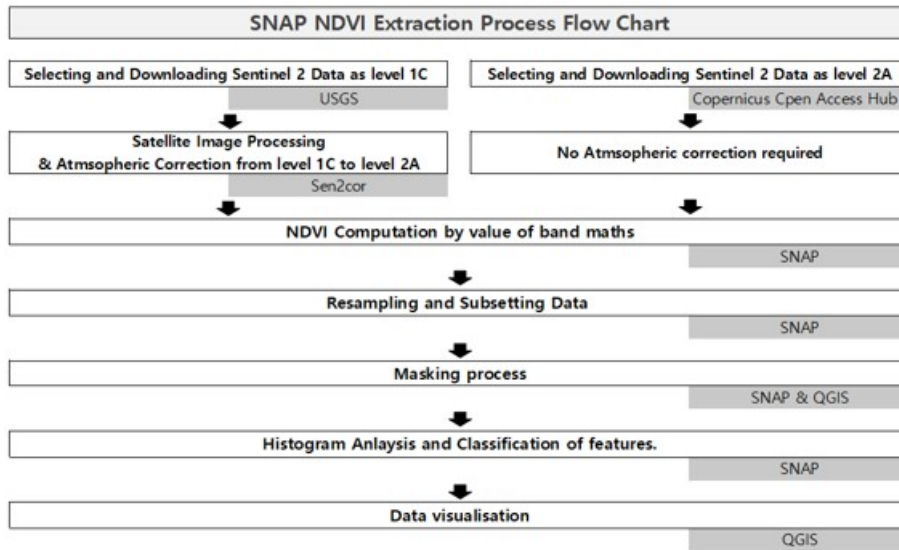


Fig. 4. Work flow implemented to extract NDVI by SNAP

식생지수를 구분 할 수 있는 임계값은 계절, 영상, 지형 등 다양한 요인에 영향을 받기 때문에 SNAP의 히스토그램 분포와 일반적인 식생지수 분류값을 토대로 산정하였으며 최종적으로 광학 이미지의 RGB 이미지와 비교하여 수체, 식생, 토양의 분류를 확인하였다. Fig. 5는 대상지의 NDVI를 수치로 나타낸 이미지와 각 픽셀의 수치 히스토그램을 나타내는 그림으로 하천, 토양, 식생, 관목으로 구분하여 가시화 하였다.

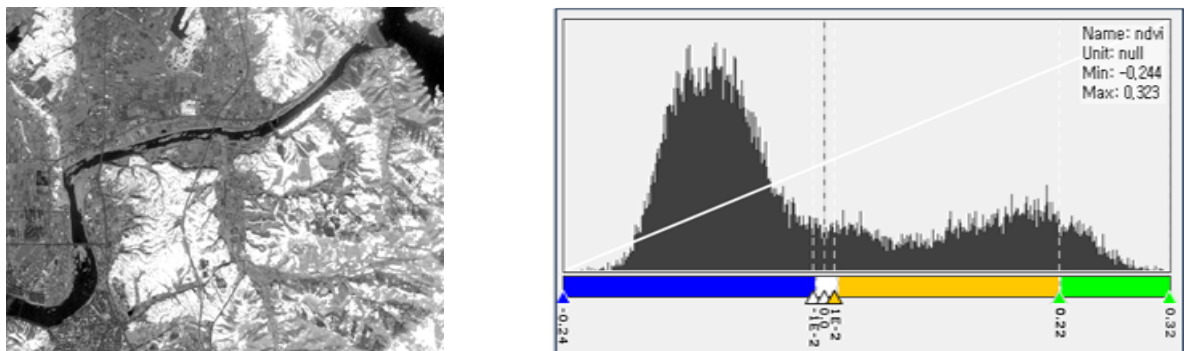


Fig. 5. NDVI image (2020.09.19.) and histogram on SNAP

3.4 HEC-RAS 모형

HEC-RAS는 미국 공병단(USACE)의 Hydrologic Engineering Center에서 개발한 프로그램으로 1차원 정상 흐름, 1차원

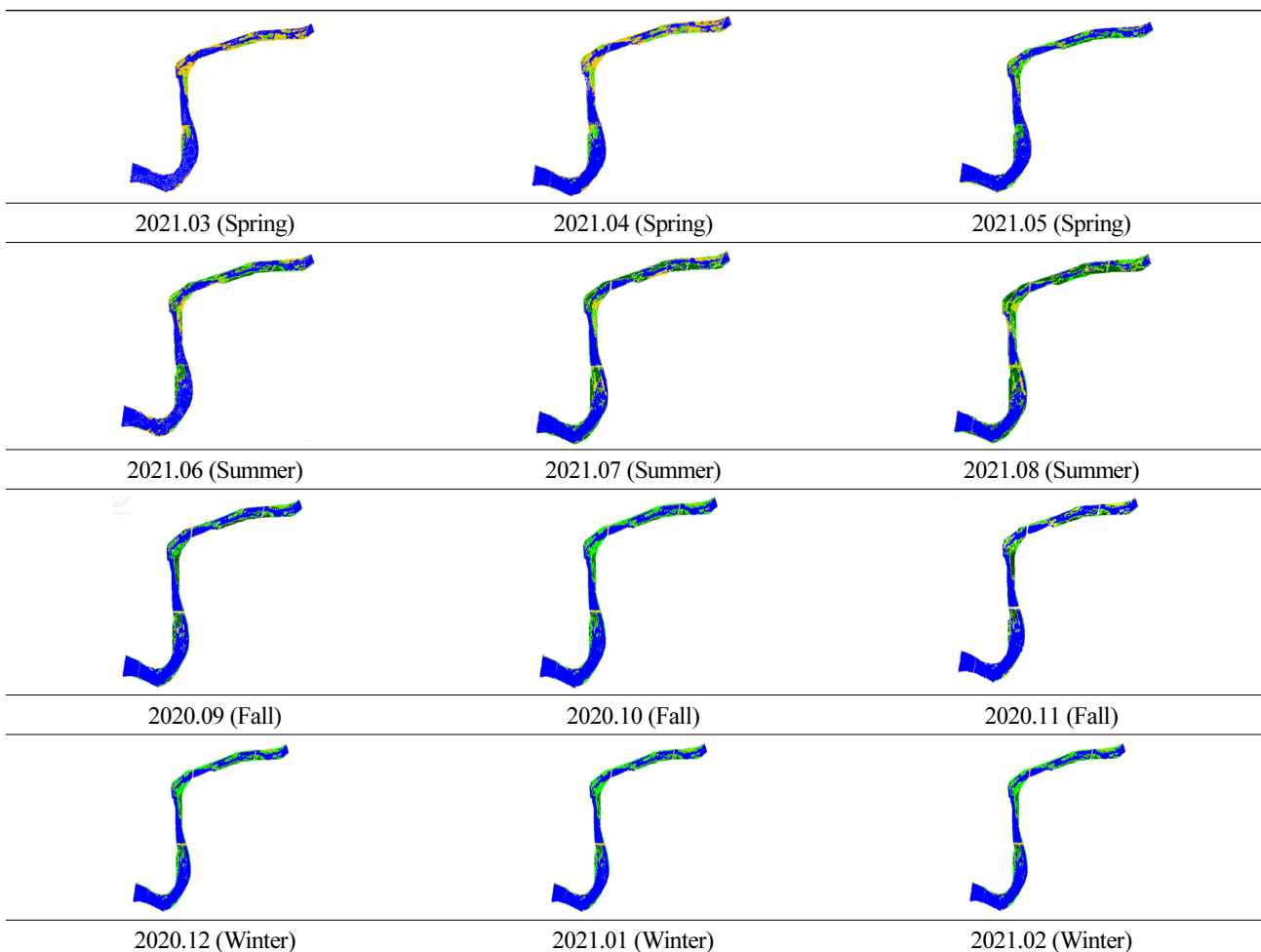
및 2차원 비정상 흐름 계산, 침전물 수송/이동 및 수온/수질 모델링을 수행한다. HEC-RAS자료 입력 시 하천 단면자료와 조도계수 수축계수 등의 흐름자료를 기입하고 흐름의 경계조건을 설정하는데, 본 연구에서는 소양강 댐 방류량을 유량으로 최하류(NO.00, 소양2교) 수위를 경계조건으로 하는 1차원 정상모의를 수행하고 상류와 하류 중간의 수위관측소(NO.42, 춘천시 천전리)의 실제 수위값과 모의결과를 비교분석하였다. 세분화 조도계수는 소양강 기본계획(MOLIT, 2016)에 명시된 0.035~0.055의 값을 기준으로 하여 Table 3과 같이 토양이 기준 면적(15000 m²) 이상인 지점(b=0.04), 식생이 기준 면적 이상인 지점(c=0.045), 식생과 토양이 기준 면적 이상인 지점(d=0.05), 관목이 기준 면적 이상인 지점(e=0.055)로 세분화하여 조도계수를 입력하였다. 또한, 원주지방 국토관리청(MOLIT, 2016)에 따르면 북한강 합류점에서 소양강 댐 까지 방류된 물이 최하류까지 도달하는 도달시간이 약 1.88시간으로 위성 영상이 촬영된 시간 전 두 시간 동안 방류량의 차이가 없는 자료를 선정하여 2020.09.19.와 2020.10.29.를 대상으로 모의를 수행하였다.

Table 3. Modified roughness coefficient

Roughness (n)	Status of NDVI				
	a	b	c	d	e
n	0.035	0.04	0.045	0.05	0.055

4. 식생 지수와 HEC-RAS 모의 결과

Table 4. Visualization NDVI seasonal results



본 연구에서는 계절별 식생 분포를 확인하기 위해 계절별 3개의 위성 이미지의 식생 지수를 산출하였고, 임계치를 분류하여 수체, 토양, 식생, 관목으로 나타내었다(Table 4). 여름의 경우 토양과 수풀의 경계값이 다른 계절보다 높은 0.3~0.4를 가졌으며, 식생의 분포 밀도가 다른 계절보다 훨씬 큰 결과를 나타냈다. 또한 짙은 녹색으로 나타난 관목의 면적이 크게 나타났으며 최대 식생 지수는 약 0.9까지 도달하여 식생의 활동이 활발한 것을 확인하였다.

NDVI로 산정한 세분화된 조도계수와 기존 조도계수를 입력하여 HEC-RAS 모의를 실행한 결과 식 (4)의 오차율(Error rate reduction)이 약 14% 정도 감소하여 Table 5와 같이 실측치 수위에 근접한 개선된 결과를 나타내었다. 모의 조건의 경우 일반적인 유량 조건을 경계조건으로 실행하였지만 홍수기 적용 시에는 식생의 영향력이 더욱 커지며 유량조건을 경계조건으로 입력 시 더욱 개선된 홍수위 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

$$E_{reduction} = 1 - \frac{E_{modified}}{E_{Previous}} \times 100 \quad (4)$$

Table 5. Water level result with HEC-RAS

2020-09	Water level (m)	2020-10	Water level (m)
Water level station (NO.42)	77.91	Water level station (NO.42)	77.76
Previous roughness coefficient	77.34	Previous roughness coefficient	77.29
Modified roughness coefficient	77.42	Modified roughness coefficient	77.36
Error rate reduction	14%	Error rate reduction	15%

5. 결론

본 연구에서는 Sentinel-2 광학위성 영상을 활용하여 식생지수를 산출하고 이를 통해 세분화된 조도계수를 산정하였다. 비록 식생, 토양, 수체의 분류를 히스토그램 임계값과 광학 이미지와의 유사성을 통해 구분하였지만 계절별 특성에 따라 식생 분포의 차이를 명확하게 확인할 수 있었다. 또한, 세분화된 조도계수를 적용하여 실측 수위값에 가까운 수치모의 결과를 얻을 수 있었다. 향후에는 인공위성을 통한 식생지수 산출 시 기계학습을 통해 유역의 식생 분류를 명확하게 구분할 수 있는 임계치를 산정할 수 있으며, 항공사진과 비교하여 형상 유사도(Shape similarity)를 통해 정확성을 높인다면 보다 정밀한 홍수위 산정이 가능할 것이다. 또한 원격 탐사를 통해 하천 정비구역의 선정의 자동화 및 정밀화, 정비 우선지역 선정을 통한 효율적인 예산분배 및 경제성 효과를 가져다 줄 수 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgment

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (No.2021R1A2C2013158).

References

- Akbar, T. A., Hassan, Q. K., Ishaq, S., Batool, M., Butt, H. J., and Jabbar, H. (2019). Investigative Spatial Distribution and Modelling of Existing and Future Urban Land Changes and its Impact on Urbanization and Economy. *Remote Sensing*, 11(2): 105.
- Azad Hossain, A. K. M., Jia, Y., and Chao, X. (2009). Estimation of Manning's Roughness Coefficient Distribution for

- Hydrodynamic Model using Remotely Sensed Land Cover Features. IEEE 2009(08) 17TH International Conference.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laverinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., and Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*. 120(15): 25-36.
- Kim, J. S., Lee, C. J., and Kim, W. (2007). Uncertainty Analysis in Estimation of Roughness Coefficient Using the Field Measurement Data. *Journal of Korea Water Resources Association*. 40(10): 801-810.
- Lee, G. H., Ryu, Y. U., and Park, J. S. (2020). Yeongsan River and Seomjin River Basin Flood Damage Investigation and Cause Analysis on Aug. 2020. *Korea Water Resources Association. Water for Future*. 53(11): 21-48.
- Lee, S. E., Lee, S. O., and Park, J. W. (2021). Current States and Resent Transition for National River Maintenance. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 69(3): 37-44.
- MOLIT (2016). Soyang River downstream area River Basic Plan (revised) Report. 2016(217). Wonju Regional Land Management Administration. Sejong: MOLIT.
- Nakagawa, H., Satofuka, Y., Oishi, S., Muto, Y., Sayama, T., Takara, K., and Sharma, R.H. (2007). Rainfall and Sediment Run Off in the Lesti River Basin, Tributary of the Brantas River, Indonesia. *Brantas River Workshop in Malang, Indonesia*. pp. 45-51.
- Nascimento Aquino, D., da Rocha, O. C., Moreira, M. A., dos Santos Teixeira, A., and de Andrade, E. M. (2018). Use of Remote Sensing to Identify Areas at Risk of Degradation in the Semi-arid Region1. *Revista Ciência Agronômica*. 49(3): 420-429.
- Noh, J. W., Shin, H. H., and Kim, H. J. (2010). Conveyance Analysis of Downstream of the Soyang Reservoir Considering the Influence of Vegetation. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers B*. 30(6B): 533-540.
- Rhee, D. S., Lee, D. H., and Kim, M. H. (2012). Roughness Coefficients Evaluation of the Korean Riparian Vegetation. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers B*. 32(6B): 345-354.

Korean References Translated from the English

- 국토교통부 (2016). 소양강 하류권역 하천기본계획(변경) 보고서. 고시 제 2016(217). 원주지방국토관리청. 세종: 국토교통부.
- 김지성, 이찬주, 김원 (2007). 현장실측에 의한 조도계수 산정의 불확실도 평가. *한국수자원학회 논문집*. 40(10): 801-810.
- 노준우, 신현호, 김호준 (2010). 소양강 댐 직하류 하천의 식생 영향에 의한 통수능 분석. *대한토목학회논문집*. 30(6B): 533-540.
- 이경훈, 류용욱, 박종석 (2020). 2020년 8월 영산강-섬진강 유역 홍수 피해조사 및 원인분석. *한국수자원학회 물과 미래*. 53(11): 21-48.
- 이동섭, 이두한, 김명환 (2012). 국내 수변 식생의 조도계수 평가. *대한토목학회논문집B*. 32(6B): 345-354.
- 이상은, 박진원, 이승오 (2021). 국가하천 유지관리 현황과 최근 정책변화. *대한토목학회지*. 69(3): 37-44.