

원격탐사를 이용한 하천 제방 변위량 측정과 취약지점 선별

방영준¹ · 정효준² · 이승오^{3*}

¹홍익대학교 토목공학과 석사과정, ²홍익대학교 토목공학과 석사과정, ³홍익대학교 토목공학과 교수

Detection of Levee Displacement and Estimation of Vulnerability of Levee Using Remote Sensing

Young Jun Bang¹, Hyo Jun Jung², and Seung Oh Lee^{3*}

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

²Master Course Student, Dept. of Civil Engineering, Hongik Univ.

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

요약

하천 제방 변위를 사전에 예측하는 방안으로 본 연구에서는 InSAR 기법 중 Differential Interferometry(D-InSAR) 기법을 이용하여 2020년 여름 발생한 남원시 금곡교(섬진강) 인근의 제방 붕괴 지역에서 취약지점을 확인하였다. 2020년 봄과 여름 각각 5장의 sentinel-1 영상과 위성 영상 전처리 도구인 SNAP을 사용하여 2020년 8월 8일 제방 붕괴 전까지의 발생한 변위를 분석한 결과, 붕괴 발생 지역의 변위 변동성지수(Variation Index), V 가 상대적으로 크게 발생하였으며 이를 통해 붕괴 전조증상을 확인할 수 있었다. 향후에 산출한 변위를 분석한 결과와 유역의 지하수위, 기온, 수위, 토양도 및 토양 수분도와 같은 수문기상학적 요인과 상관관계를 분석하여 하천 제방의 모니터링 시스템을 구축할 수 있다면 기존의 하천 제방 유지·보수 점검 시스템의 많은 한계점을 극복하고 초정밀, 자동화된 하천 제방 유지관리 기술 고도화와 국가 재난관리의 향상이 가능할 것으로 기대한다.

핵심용어: 기후변화, 제방 변위, In-SAR, Sentinel-1, SNAP

ABSTRACT

As a method of predicting the displacement of river levee in advance, Differential Interferometry (D-InSAR) kind of InSAR techniques was used to identify weak points in the area of the levee collapses near Gungok Bridge (Somjin River) in Namwon City, which occurred in the summer of 2020. As a result of analyzing the displacement using five images each in the spring and summer of 2020, the Variation Index (V) of area where the collapse occurred was larger than that of the other areas, so the prognostic symptoms was detected. If the levee monitoring system is realized by analyzing the correlations with displacement results and hydrometeorological factors, it will overcome the existing limitations of system and advance ultra-precise, automated river levee maintenance technology and improve national disaster management.

Keywords: Climate change, levee displacement, In-SAR, Sentinel-1, SNAP

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

Received: 1 February 2021, Revised: 4 March 2021, Accepted: 21 March 2021



1. 서론

제방은 제내지와 제외지를 구분하고 치수(治水)의 관점에서 제내지로의 하천 범람을 방어해주는 국가적 구조물이다. 이 상기후 등으로 예기치 못한 홍수로 인하여 제방이 붕괴되면 하천수가 제내지로 침수하여 수 백억원의 경제적 피해와 인명 피해를 유발한다. 이러한 피해를 막기 위해 국가 및 지자체에서는 하천의 등급을 구분하여 관리하고 지속적으로 하천 제방의 유지·보수 점검을 진행하고 있다. 하지만 기후변화로 인해 우리나라 수문 및 기상현상이 변화하였고 노후화된 제방의 안정성 저하 및 붕괴 등 침수 범람으로 인한 수재해 위험이 지속적으로 증가하고 있다.

기존의 제방 점검은 하천 제방의 전반적인 외형 점검과 다양한 양상의 변형을 파악하는데 한계가 존재하고 하천 조사관에 의해 지반 내의 변화를 측정하는 것은 객관성의 한계가 분명히 존재한다. 게다가 기존의 제방 점검 방식은 많은 예산과 인력이 소모되어 비효율적으로 관리가 진행되고 있다. 따라서 기존의 재래적인 점검의 많은 한계를 극복하고 미래의 수재해 대응이 가능한 정밀한 모니터링과 예/경보 시스템 구축이 반드시 필요하다.

인공위성 중 영상 레이더(Imaging Radar)인 Synthetic Aperture Radar(SAR) 영상을 활용한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 특히 두 장 이상의 SAR영상을 간섭(interferometry)시켜 광범위한 지역의 지표 변위를 관측하는 연구로 Massonet et al.(1993)의 지진으로 인한 지표 변위 연구, Raymond(1997)의 광산지역 지표 변위 연구, Kwok and Fahnestock(1996)의 빙하 관측 연구, Liu et al.(2012)의 산사태 지역의 지표 변위 연구 등이 있으며 IE Özer et al.(2019)는 SAR영상을 이용하여 하천 제방의 변위를 측정하여 제방 변위에 따른 위험도를 제시하였다. 국내에서도 Jung et al.(2008)의 산사태 탐측, Yun et al.(2014)의 토지피복분류, Kim et al.(2017)의 고속철도 구간 침하 분석 등 최근까지도 InSAR 기법을 활용한 연구가 다방면으로 진행되고 있다.

본 연구는 Sentinel-1 SAR 영상과 유럽 우주국(European Space Agency)의 위성 영상 전처리 도구인 SNAP을 이용하여 2020년 여름 붕괴된 남원시의 금곡교 제방의 봄(4~5월), 여름(7~8월)의 변위를 산출하였고, 변위 분석 결과를 통해 붕괴 지점의 취약지점 상태를 확인하였다. 향후 보안된 기술 및 기법 실현을 통해 우리나라 전체 제방의 모니터링 시스템 관리 일원화와 자동화로 효율적이고 경제적인 점검 시스템을 만들고 정밀한 변형 감지를 통해 선제 대응이 가능할 것으로 기대한다.

2. 연구 방법론

2.1 연구 대상지

섬진강 유역(Fig. 1)은 한반도의 남부에 위치하며 남쪽 방향으로 흐르는 강으로 주로 전라남도를 중심으로 전라북도와 경

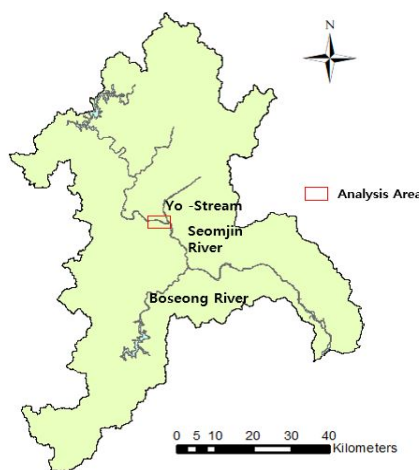


Fig. 1. Seomjin river watershed

상남도에 걸쳐있고 섬진강으로 합류하는 국가하천으로는 요천과 보성강이 있다. 섬진강 유역의 3개의 강우량 측정소의 24 시간 임의지속시간 강우량이 500년 빈도 이상이며 500년 빈도 이상의 큰 강우량이 전북 남원, 순창 등 근접한 지역에 집중되었다. 남원시 요천 합류점 부근에 경우 평탄지가 비교적 적게 분포하여 내수에 의한 침수피해는 크게 우려되지 않으나 저지대가 남원시 시가지를 포함한 중하류부에 위치하고 그 범위가 넓게 형성되어 이상홍수 또는 제방의 붕괴 시 외수에 의한 대규모 피해가 우려되는 것으로 조사되었다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Republic of Korea, 2009).

본 연구의 연구 대상지는 섬진강댐 하류인 남원시 금지면의 금곡교 인근의 제방이며 2020년 8월 8일 12시 50분에 붕괴된 금곡교 섬진제 제방을 중심으로 분석하였다. 금곡교 제방의 붕괴지점은 Fig. 2와 같이 금곡교 측면 제방과 금곡교 상류 좌안 제방 약 100 m이다. Fig. 3은 금지면 마을의 침수현장 사진으로 제방 붕괴로 인해 남원시 일대에 주택 447세대와 농경지, 비닐하우스 등 1,100 ha가 물에 잠기고 710명의 이재민이 대피하는 피해가 발생하였다. Fig. 4는 6월 10일부터 8월 15일까지의 금곡교의 하천 수위와 남원시의 강수량 그래프이며 8월 7일 극한 강우의 발생은 금곡교 제방 붕괴에 결정적인 영향을 미쳤다. 붕괴 당시 홍수위가 제방고를 넘지 않았지만 제방고보다 낮은 (구)금곡교로 월류가 발생하여 제내지가 침수되었고 제체 액상화 발생이 직접적인 붕괴 원인으로 판단된다(Korea Water Resources Association, 2020).



Fig. 2. Spot of levee collapse on Gumgok bridge (Google earth) Fig. 3. Site of levee collapse on Gumgok bridge (2020.08.08.)

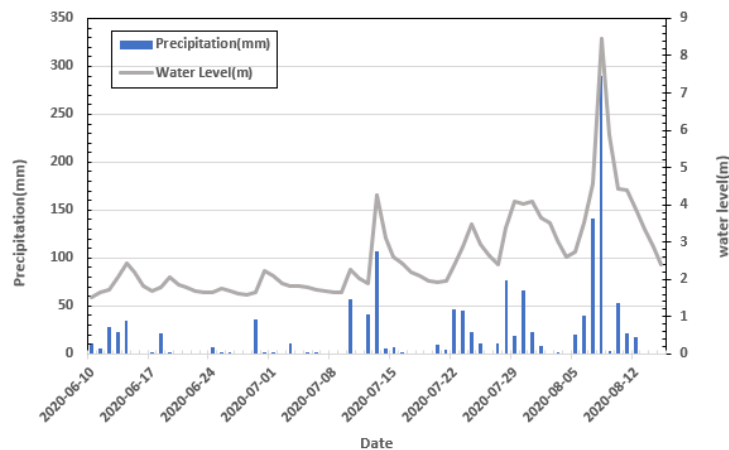


Fig. 4. Precipitation and Water Level (Gumgok-bridge)

2.2 제방 붕괴 매커니즘

일반적인 제방 붕괴 원인은 Table 1과 같이 크게 월류, 세굴, 제체 불안정, 또는 하천 구조물에 의한 파괴 등으로 구분할 수 있다. 제방 붕괴의 매커니즘은 하나의 매커니즘에 의해 발생하지 않고 초기 붕괴(initial failure mechanisms)후에 주요 붕괴

(main failure mechanisms)가 복합적으로 작용하여 발생한다. 예를 들어 범람이 일어난 후 제내지 사면이 불안정한 상태에 물이 침투하고 제방재료의 강도 저하를 가져와 외부침식이 발생하여 붕괴를 일으키게 된다. 2020년 금곡교 제방 붕괴 역시 직접적인 원인은 금곡교를 타고 섬진강 물이 들어가 제방 안 쪽을 허물어 발생한 결과로 밝혀졌지만 InSAR기법을 이용한 제체 불안정도 확인, 시추를 이용한 제체 토양도 측정을 통한 파이핑 위험도 확인, 수위 점검 통한 월류 위험도 등 복합적인 요인을 고려하여 붕괴 원인별 전조증상 또는 사전 감지방법을 적용한다면 더욱 효과적인 사전 점검이 이루어질 것이다.

Table 1. Several Types of levee failure (Yoon, 2003)

Mechanism	Contents
Overflow	<ul style="list-style-type: none"> - Lack of levee height due to flood spills exceeding the planned scale - Underestimation of design flood volume or conveyance due to outflow of soil or driftwood - Overflow due to reduction in section of water flow by bridge decks or abutments and piers
Scour	<ul style="list-style-type: none"> - Excessive flow velocity and turbulence in steep slopes of rivers and sharp bends - Scouring of the lower part of the levee due to narrowing of the lower width section and long-term river bed changes
Body instability	<ul style="list-style-type: none"> - Piping due to defects in levee materials, lack of standard cross-section area of levee and ground leakage - Problems in levee design or construction that cause instability of levee foundation
Destruction by river structure	<ul style="list-style-type: none"> - Collapse of bridges or collapse of contact surfaces of constructed design of dysenteric materials - Collapse at the beam installation point

2.3. 인공위성과 변위 추출

2.3.1 Sentinel-1

Sentinel-1은 유럽우주국(European Space Agency)이 실시하는 Copernicus 프로그램 위성 중 첫 번째 위성이다. Sentinel series는 같은 궤도면을 공유하는 Sentinel-1A와 Sentinel-1B 두 개의 인공위성으로 구성되었으며, 이 위성들은 전천후에도 데이터 수집이 가능한 C-band 레이더 기구를 탑재하였다. C-band는 최대 5 m의 공간 분해능과 최대 400 km의 범위의 데이터를 수집할 수 있다. Sentinel-1A와 Sentinel-1B는 12일을 주기로 비행하며 두 위성이 동일 궤도를 180°의 위상차로 비행하므로 두 위성 모두 활용할 경우 반복주기는 6일이다(Seo, 2019). Sentinel-1을 통해 수집된 데이터는 해상 및 육상 감시, 환경 재해에 따른 긴급 대응, 경제적 분야 등 다방면에 활용된다. Sentinel-1 위성 영상은 Copernicus Open Access Hub¹⁾에서 얻을 수 있으며 사용자가 쉽게 접근 가능하고 무료로 공공·과학·상업에 이용할 수 있어 효율적이며 활용도가 매우

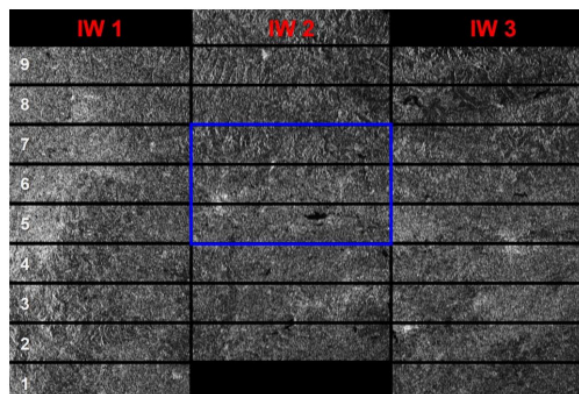


Fig. 5. Example of Sentinel-1 IW-SLC data (TOPS Interferometry Tutorial, ESA)

1) <https://scihub.copernicus.eu/dhus>

높다(Malenovský et al., 2012). Sentinel-1 위성의 영상 획득 모드는 Strip Map(SM), Interferometric Wide Swath(IW), Extra Wide Swath(EW), Wave(WV)가 있으며 본 연구에서 사용한 IW모드는 육지 관측 시 가장 기본적으로 사용되는 모드로 250 km의 넓은 관측폭(swath width)과 5 m × 20 m의 공간 해상도를 갖는다. IW-SLC는 Fig. 5와 같이 세 개의 sub swath 과 각 swath에 10개의 띠(burst)로 구성되어있다(Kim, 2005).

2.3.2 InSAR 기법

레이더 간섭기법(Interferometric synthetic aperture radar: InSAR)은 서로 다른 시기의 동일한 지역을 촬영한 두 개의 SAR 영상으로부터 작성된 간섭도에 포함되어 있는 위상 정보를 이용하여 LOS(Line of Sight) 방향의 지표변위를 관측하는 기술이다. Fig. 6는 간섭의 원리를 나타내며 LOS 방향은 위성 레이더와 관측 지표점 사이의 방향을 말한다(Rosen et al., 2000). 이 때, 상호정합의 기준이 되는 영상은 주영상(master image)이며, 주영상과 비교에 사용되는 영상을 부영상(slave image)이라고 한다. 주영상과 부영상의 상호정합과 긴밀도를 구하기 위해, 우선적으로 반사강도를 나타내는 반사영상(Reflectivity map)을 추출하게 된다. 반사영상의 각 픽셀별로 주영상과 부영상의 긴밀도를 구하게 되며, 긴밀도가 높을수록 간섭 시 발생하는 노이즈가 적어진다. 또한 두 장 이상의 SAR 영상을 정합할 때 전파의 파장 간섭에 의해 발생하는 전파의 간섭무늬(Fringe)가 발생하게 되는데, 이를 해석한 영상을 위상간섭영상(Phase Interferogram)이라고 한다. Eq. (1)은 위상간섭을 나타내는 식으로 ϕ 는 위상의 구성을 나타내고 있으며 ϕ_{dem} 은 지형고도, ϕ_{flat} 은 지구 곡률을 포함하며 ϕ_{disp} 는 지표 변위, ϕ_{atm} 은 대기압, ϕ_{noise} 은 잡음을 포함하고 있는 위상정보이다. 간섭을 통해 노이즈와 대기압, 지구곡률 등의 오차 요인을 제거하여 변위 위상만을 추출하게 된다.

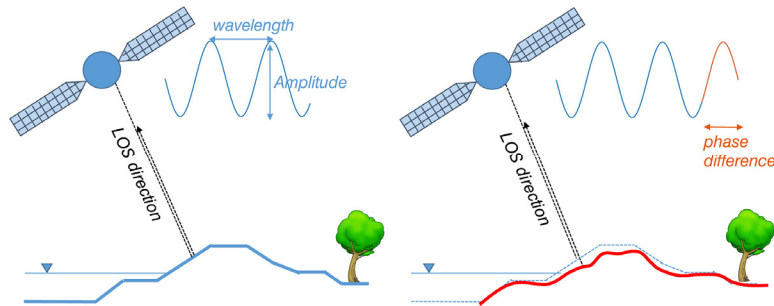


Fig. 6. Principle of Interferogram (IE Özer, 2019)

$$\phi = \phi_{dem} + \phi_{flat} + \phi_{disp} + \phi_{atm} + \phi_{noise} \quad (1)$$

↓ Interometry

$$\phi_{disp} = \phi - \phi_{dem} - \phi_{flat}$$

2.3.3 데이터 처리 기법(Data Processing Workflow)

본 연구에서는 지표 변위를 추출하기 위하여 Sentinel 영상 처리 툴인 Sentinel Application Platform(SNAP)을 사용하였다. SNAP은 위성 영상으로 다양한 데이터의 활용, 보기 및 처리 기능을 지원하는 API이다. SNAP에는 위성 종류에 따라 여러 Toolbox가 있으며, SAR는 S1TBX(Sentinel-1 Toolbox)라 불리는 프로그램을 사용한다. S1TBX는 뛰어난 범용성과 확장성 및 UI(user interface)를 갖추어 사용이 편리하며 이미지의 편집, 임계치 계산, 통계 분석, 지표 변위 추출 등 다양한 처리 기능을 포함하고 있다(Lee, 2017).

본 연구에서 활용한 SNAP 자료처리 과정은 Fig. 7과 같다. 수치 표고 모델 및 지표 변위를 추출하기 위한 일련의 자료 처

리 과정은 두 개의 SAR 영상 간의 정합, 부영상의 재배열, 간섭도 필터링, 위상 불구속화(phase unwrapping), 위상 변위화(phase to displacement)와 같은 단계를 거친다. 우선 유럽우주국(ESA)의 open hub에서 조사 기간의 관측 대상지를 포함한 영상(SLC, IW)을 획득하고 두 영상으로 한 쌍을 만든 후 자료를 해석하였다. 조사 대상지를 포함하는 띠(burst)로 영상을 분리(Split)하고 궤도 정보(Apply orbit file)를 입력한 후 영상 복원 과정과 각 영상의 비행 궤적 차를 고려해 부영상(slave image)을 주영상(master image)에 정합 단계(Back Geocoding)를 거친다. 다음으로 긴밀도(coherence) 계산과 간섭도(Interferogram)를 생성하는 단계를 통해 지구 곡률과 지형적 위상 정보를 상쇄시킨다. Interferogram을 실행하면 영상의 신뢰도에 중요한 긴밀도(Coherence)가 표출되는데, 이 때 긴밀도(Coherence)는 [0,1]사이 값으로 도출된다. 선행 연구에서는 0.35 이상인 비율이 44.9 %인 값을 기준으로 검증된 한계치를 적용하였다(Silvia Liberata, 2019). 위상 불구속화 단계에서는 파장을 변위로 변환하기 위해 $0\sim 2\pi$ 의 주기로 해석되는 파장의 최댓값의 범위를 연장한다. 이후 위상 변위화 단계를 거쳐 위상을 길이의 단위로 변환하여 최종 변위 결과는 m 단위를 가지며 침하는 (-)부호를 상승은 (+)부호를 갖는다. 다음으로 불구속화 데이터를 LOS방향 변위로 변환시켜 지형 보정(Terrain Correction)을 통해 지형 변화와 위성 센서의 기울기에 대한 왜곡을 보정하고 이미지 좌표체계를 WGS84 좌표계로 변환하는 과정을 거쳐 최종 변위결과(Fig. 8)를 얻게 된다. SNAP 처리과정 후에는 최종 처리한 Geotiff 파일을 GIS software(Arc Gis)를 활용해 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 국가 하천 제방선을 따라 $13\text{ m} \times 13\text{ m}$ 크기를 갖는 픽셀로 변위 데이터를 추출하여 분석하였다.

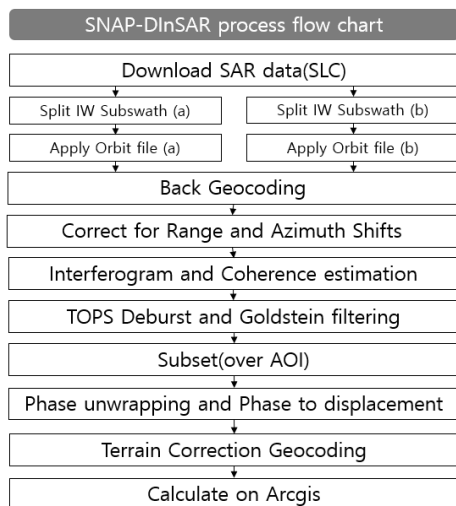


Fig. 7. Work flow implemented in SNAP

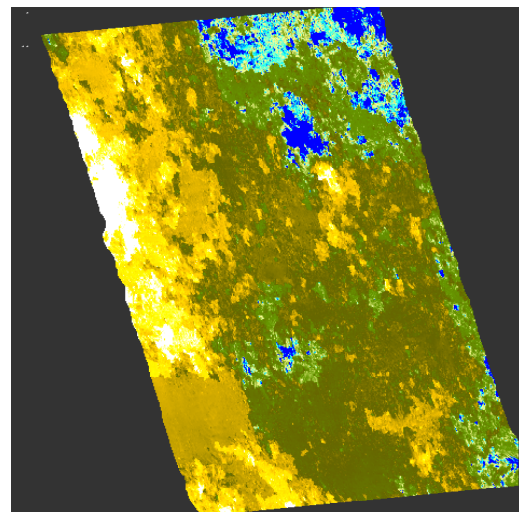


Fig. 8. Result of phase to displacement

SNAP 처리과정을 통해 mm 단위 지표의 변위 산출이 가능하나 SAR 영상은 반사강도가 정확도에 밀접한 관련을 가져 산출한 변위의 정량적 정확도에는 아직까지 한계가 존재한다. 특히 정확도와 밀접한 관련을 갖는 반사강도의 경우 철제 구조물, 건물 등이 많은 도심지역에서는 반사강도가 높아 정확도가 우수하나 산악 및 농경지역은 반사강도가 낮아 상대적으로 정확도가 낮은 편이다(Lee, 2017). 하천 제방 역시 식생 분포의 영향이 크므로 정확도가 낮을 확률이 높아진다. 정확도를 판단할 수 있는 지표로 긴밀도(Coherence)가 사용되며 긴밀도(r)란 주영상과 부영상 간의 변화 정도를 나타낸다.

3. 결과 및 분석

3.1 긴밀도 분석(Coherence Analysis)

긴밀도는 위성 간에 시간적 혹은 공간적인 일정한 관계가 유지되는지를 나타내며 긴밀도 수준으로 Interferogram의 질을

측정할 수 있다. 주영상과 부영상간에 수신된 마이크로파 특성이 유사하다면 높은 긴밀도를 얻게 된다. Eq. (2)는 긴밀도를 계산하는 식이며 y_1, y_2 는 두 complex image이고 E 는 두 영상 이미지의 수학적 기댓값을 의미한다. 긴밀도(r)에 영향을 미치는 인자로는 위성사이 공간기선 거리, 주파수 차이, 산란체 굴절 현상, 열적(thermal) 부정합, 시간차이로 인한 산란 위치 특성과 같은 복합적인 요인이 존재한다.

$$r = \left| \frac{E y_1 y_2}{\sqrt{E y_1^2 E y_2^2}} \right| \quad (0 \leq r \leq 1) \quad (2)$$

본 연구에서는 2020년 봄에 해당하는 4월 9일에서 5월 27일의 영상 5개와 6월 20일에서 8월 7일 사이 영상 5개를 사용하였고, 10개 영상 모두 Fig. 9와 같이 신뢰도의 기준 (coherence 0.35 > 44.9 %)에 근접한 (coherence 0.35 > 40 %)인 데이터임을 확인하였다(Table 2 참조).

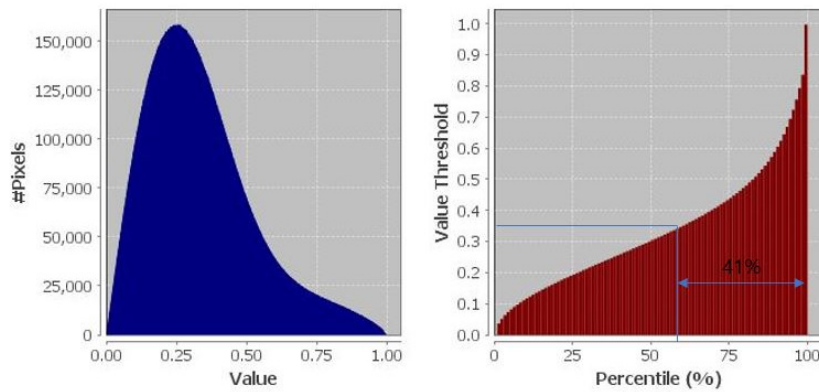


Fig. 9. Coherence statistics (SNAP)

Table 2. Coherence Percentage

Date (spring)	04.09-04.21 (1)	04.21-05.03 (2)	05.03-05.15 (3)	05.15-05.27 (4)
Percentage	50%	49%	53%	61%
Date (summer)	06.20-07.02 (5)	07.02-07.14 (6)	07.14-07.26 (7)	07.26-08.07 (8)
Percentage	44%	41%	48%	40%

3.2 변동성 지수(Variation Index)

3.2.1 변동성 지수 정의

SNAP 처리과정에서 <Goldstein Phase Filtering>을 통해 지형 보정과 노이즈를 제거함으로써 변위 오차를 어느 정도 보정할 수 있지만 오차를 완벽하게 제거할 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 도로의 변위가 발생하지 않는다고 가정하여 금곡교 옆 섬진강로의 변위를 0으로 각 지점의 변위의 오차를 상쇄시켰다. 또한 변위의 정량적인 값을 분석하기에는 신뢰도에 한계가 분명히 존재하여 본 연구에서는 각 지점의 변위를 추출한 변위 구간의 평균 변위로 나누어 무차원 단위를 갖는 변동성 지수(Variation Index), V 를 산정하여 변위의 추세 및 변동성을 분석하였다. 여기서 변동성 지수 (V)는 Eq. (3)과 같이 정의하였으며 각 지점의 변위 $dis_{i(point)}$ 를 전체 변위의 평균 $dis_{i(mean)}$ 으로 나눈 값을 의미한다.

$$V = \frac{dis_{i(point)}}{dis_{i(mean)}} \quad (i = 1, 2, 3 \dots 7, 8) \tag{3}$$

3.2.2 변동성 지수 분석

Fig. 10, Fig. 11은 금곡교 제방 붕괴 지점 인근 제방의 봄과 여름 평균 변동성 지수(V)를 나타내며 점선으로 표시한 구역은 금곡교 상류 200 m 제방 붕괴 구역이다. 연구 대상의 대부분 지점은 변동성 지수(V)가 <0.00~1.83>의 값을 갖는 반면 금곡교 상류 제방 붕괴 구역의 경우 변동성 지수(V)가 <1.83~3.06>로 상대적으로 높은 값을 갖는 것으로 나타났으며 이는 제방체 변위가 상대적으로 크게 발생하고 불안정한 상태임을 나타내는 전조증상을 확인할 수 있었다.



Fig. 10. Average of Variation Index (V) around Gumgok-bridge (Spring)



Fig. 11. Average of Variation Index (V) around Gumgok-bridge (Summer)

Fig. 12는 금곡교 제방 붕괴 지점을 기준으로 1 km 구간의 봄과 여름의 평균 변동성 지수를 나타내는 그래프이다. 점선 구간(지점:27~42)은 제방 붕괴 구역으로 봄과 여름 각각 평균 변동성 지수(V_{avg})는 1.38, 1.96이며 최대 변동성 지수(V_{max})는 2.37, 2.54 그리고 최소 변동성 지수(V_{min}) 0.78, 1.43으로 나타났다. 봄과 여름의 분석 구간의 변동성 지수 추세는 대부분 일치하는 경향을 보였으나 금곡교 붕괴 지역과 금곡교 상류 300 m 지점인 실선 구간(지점:11~19)의 변동성 지수는 차이가 크게 발생한 것을 확인하였다.

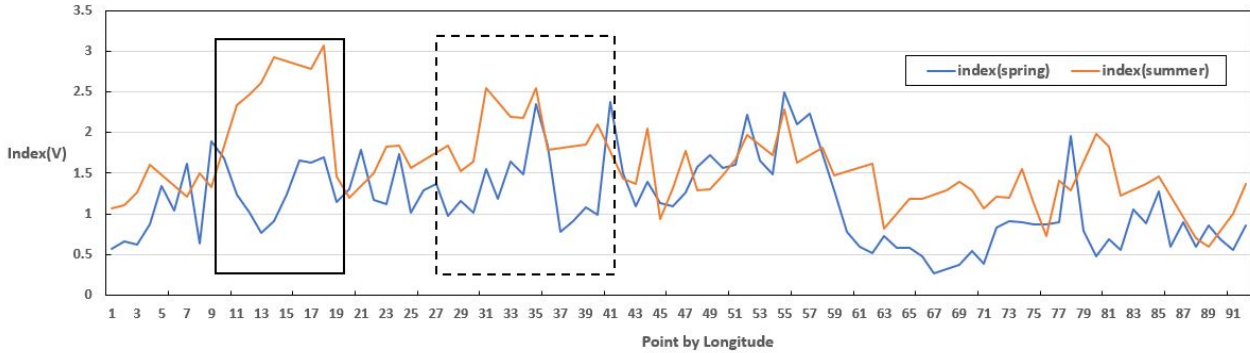


Fig. 12. Average of Variation Index of the levee(1km) around Gungok bridge

4. 결론

최근 기후변화와 하천제방의 노후화로 하천 제방의 붕괴 및 범람 등 수재해 위험성이 증가하는 추세를 나타내고 있다. 그러나 기존의 국가 및 지자체에서 진행되는 제방 유지관리는 시공간적인 제약으로 인하여 객관성의 한계와 많은 예산과 인력의 소모로 비효율적이고 미흡한 측면이 존재하였다. 본 연구는 유럽 우주국(ESA)에서 제공하는 Sentinel-1의 SAR 영상을 통해 하천 제방의 변위를 산출하여 제방 건강상태 모니터링 시스템의 실현 가능성을 확인하였다. 2020년 여름 붕괴가 일어난 섬진강 유역의 금곡교 제방(섬진제)의 봄(4~5월)과 여름(6월~8월) 각각 5장의 영상으로 해당지역에서 4개의 변위를 추출하여 분석하였다. 변위 추출 방법으로는 ESA에서 제공하는 영상 처리 툴인 SNAP을 이용하였고 신뢰도의 기준이 되는 coherence가 0.35이상의 비율이 40%가 넘는 데이터만을 이용하였다.

봄 변위 4개와 여름 변위 4개로 각 계절에 변동성 지수 (V)를 산정하여 분석한 결과 제방 붕괴 지역의 전조 증상을 확인하였다. 붕괴 구간의 변동성 지수 (V)가 다른 지점에 비하여 크게 나타났으며 특히 여름의 제방 붕괴 지역과 금곡교 상류 300 m 지점에 큰 변위 변동성을 확인하였다.

본 연구 결과를 통해 인공위성을 이용하여 하천 제방의 변위를 분석하여 제방 붕괴 전의 제방 붕괴의 전조증상으로 변위의 급변성이 나타남을 확인하였다. 아직까지 기술의 한계로 변위의 정량적인 분석에는 한계가 존재하지만 향후 위성 이미지 처리의 기술 발전으로 제방의 장기간 변위 시계열 분석과 변위와 상관관계가 있는 유역의 기온, 수위, 토양도, 지하수위, 수분함양도 등 수문기상학적 요인과 결합을 통해 제방유지관리를 위한 실시간 모니터링 시스템이 구축된다면 제방 유지관리 기술의 고도화와 국가 재난관리 향상이 가능할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 결과물은 교육부의 재원으로 홍익대학교의 대학혁신지원사업(UROP)의 지원을 받아 연구되었으며, 자문을 주신 산업체 전문가 H2R 소속의 제갈선동 박사님께 감사드립니다.

References

ESA (2015). TOPS Interferometry Tutorial. pp.2-8.
 Jung, J. H., Sohn, H. G., Kim J. H., and Kim, S. M. (2008). Monitoring of Landslide using InSAR Coherence Image. Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science. 6: 301-305.
 Kim, C. O. and Kim, J. W. (2005). Generation and Assessment of DEM from InSAR and Differential InSAR. Journal of

- the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography. 23(2): 147-156.
- Kim, H. B., Yoon, H. S., Youm, M. K., and Lee, W. E. (2017). Land Subsidence Analysis for the High-speed Railway Line of Honam using D-InSAR Technique. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*. 25(3): 35-41.
- Korea Water Resources Association (2020). 2020 August Flood Symposium Report.
- Lee, H. Y. (2017). Application of KOMPSAT-5 SAR Interferometry by using SNAP Software. *Korean Journal of Remote Sensing*. 33(6-3): 1215-1221.
- Lee, W. E., Yoon, H. S., Youm, M. K., and Kim, H. B. (2017). A Study on Enhanced D-InSAR Technique Considering Spatial and Temporal Coherence. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*. 25(2): 67-74.
- Malenovsky, Z., Rott, H., Cihlar, J., and Schaepman, M. E. (2012). Sentinels for Science: Potential of Sentinel-1,-2 and-3 Missions for Scientific Observations of Ocean, Cryosphere, and Land. *Remote Sensing Of Environment*. 120: 91-101.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Republic of Korea (2016). River Maintenance Manual.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Republic of Korea (2009). Seomjingang River Master Plan Report. Iksan Regional Construction Management Office.
- Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I. R., Li, F. K., Madsen, S. N., Rodriguez, E., and Goldstein, R. M. (2000). Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Proceedings of the IEEE*. 88(3): 333-382.
- Seo, M. J., Kim, D. K., Ahmad, W., and Cha, J. H. (2019). Estimation of Stream Flow Discharge using the Satellite Synthetic Aperture Radar Images at the Mid to Small Size Streams. *Journal of Korea Water Resources Association*. KWRA. 51(12): 1181-1194.
- Ullo, S. L. (2019). Application of DInSAR Technique to High Coherence Sentinel-1 Images for Dam Monitoring and Result Validation through in Situ Measurements. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 12(3): 10-11.
- Yoon, K. S. (2003). Stability Evaluation according to the Cause of River Levee Collapse. *Journal of Korea Water Resources Association : Water for Future*. 36(5): 25-31.
- Yun, H. W., Choi, Y. S., Yoon, H. S., Ko, J. S., and Cho, S. K. (2014). The Application of InSAR Signature Time Series for Landcover Classification. *Journal of Korea Spatial Information Society*. 22(1): 27-33.

Korean References Translated from the English

- 국토교통부 (2016). 하천 유지보수매뉴얼.
- 국토해양부 (2009). 섬진강 하천 기본계획 보고서. 익산 지방 국토관리청.
- 김창오, 김정우 (2005). 영상 레이다 간섭기법 및 차분간섭기법을 이용한 수치고도모델 생성과 정확도 평가. *한국측량학회지*. 23(2): 147-156.
- 김한별, 윤희식, 염민교, 이원웅 (2017). D-InSAR 기법을 이용한 호남선 고속철도 구간 지반 침하 분석. *대한공간정보학회지*. 25(3): 35-41.
- 서민지, 김동균, Ahmand Waqas, 차준호 (2018). 합성개구레이더 인공위성 영상을 활용한 중소규모 하천에서의 유량 추정. *한국수자원학회논문집*. 51(12): 1181-1194.
- 윤광석 (2003). 하천제방 붕괴원인에 따른 안정성 평가. *Water for Future(물과 미래)*. 36(5): 25-31.
- 윤희원, 최윤수, 윤하수, 고정식, 조성길 (2014). InSAR Signature 시계열 분석을 통한 토지피복분류. *한국공간정보학회*. 22(1): 27-33.
- 이원웅, 윤희식, 염민교, 김한별 (2017). 공간적 시간적 긴밀도를 고려한 개선된 D-InSAR 기법에 관한 연구. *한국지형공간정보학회*. 25(2): 67-74.
- 이훈열 (2017). SNAP 소프트웨어를 이용한 KOMPSAT-5 SAR 간섭기법 구현. *대한원격탐사학회지*. 33(6-3): 1215-1221.
- 정재훈, 손홍규, 김정환, 김상민 (2008). InSAR Coherence 영상을 이용한 산사태 탐측. *한국GIS학회 공동춘계학술대회*. 2008: 301-305.
- 한국수자원학회 (2020). 2020년 8월 홍수 심포지엄 보고서.