국토연구원에서 수행한 주요 연구과제의 핵심 내용과 정책제안 등을 압축해 국민께 알려드리고자 하는 발간물입니다.

국토정책 Brief

KRIHS POLICY BRIEF

2022
1. 17

KRIHS POLICY BRIEF
No. 850

발행처 국토연구원
발행인 강현수
www.krihs.re.kr

SAR 영상을 활용한 철도 인프라의 효율적 관리방향

주요내용

❶ SAR(Synthetic Aperture Radar, 영상레이더) 데이터는 시계열 영상자료 분석 방법(DInSAR, PSInSAR 등)을 통해 철도교량·지반·사면 등의 변이를 밀리미터(㎜)단위로 관측 가능하다고 알려져 있으며, 국가가 관리하는 인프라(SOC)의 안전점검 및 유지관리에 유용함

❷ 철도 인프라는 안전점검을 위해 관련 기술자가 현장을 직접 방문 조사하는 방식을 따르고 있어 비용(약 740만 원/1㎞)이 많이 소요되며, 큰 비용 소요에도 불구하고 수천㎞에 달하는 철도 전 구간의 상시 안전진단은 사실상 불가능한 실정임

❸ SAR을 활용하면 선형 인프라의 유지관리와 정기점검을 위한 기존 방식을 일부 대체하거나 보완해 비용 절감(경부·호남 고속철 구간 모니터링에 약 3~4천만 원 소요)과 작업자의 안전성 향상을 기대할 수 있음

❹ 원격탐사 데이터(SAR/광학 위성영상 등), IoT(사물인터넷) 센서 데이터 등을 활용한 안전점검 방식의 변화를 위해서 신기술 도입을 위한 관련 연구와 이를 지원할 관련 법률, 하위 규정 및 지침 등의 개선이 요구됨

정책제언

❶ **(SAR 도입 검토)** 철도 인프라의 안전하고 효율적인 운영·관리와 SOC 디지털화 추진 기반 마련을 위해 SAR 영상을 활용한 철도 인프라 변이 모니터링체계 도입방안 검토

❷ **(자동화 기술개발)** 중장기적으로 SAR 영상데이터와 인공지능 방법론을 접목, 지반 침하 및 변위 발생 자동 탐지기술과 같은 인프라 관리의 자동화 기술에 대한 연구개발과 투자

❸ **(제도개선 필요)** 시설물의 점검 및 관리에 원격으로 취득한 데이터(IoT 센서, SAR/광학 위성영상 등)를 활용할 수 있도록 철도 인프라 관리와 안전에 관한 주요 제도 중 관련성 높은 법령과 하위 규정, 지침 등의 개선

서기환 연구위원
임륭혁 연구원

KRIHS 국토연구원

1 철도 인프라 관리 현황과 문제점

철도 인프라 관리 및 안전에 관한 제도

우리나라는 철도 인프라의 관리를 위해 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 사항을 법률」로 규정하고 있으며, 철도 안전 확보 및 안전관리체계 확립을 목적으로 하는 「철도안전법」을 마련하고 있음

- 「철도안전법」의 주요 내용으로 법 제5조(철도안전 종합계획)에 따라 국토교통부 장관은 5년마다 철도 안전에 관한 종합계획을 수립해야 하며, 철도 안전 종합계획에는 철도 안전 및 시설 점검, 철도 안전에 관한 연구 및 기술개발에 관한 사항을 포함하고 있음
- 철도시설의 정기점검은 관계 법령인 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」과 관련 고시 '철도시설의 정기점검 및 성능평가에 관한 지침'에 따라 "경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구 등을 사용하여 철도시설의 안전성과 성능을 조사"하도록 명시

철도 부속시설인 철도교량과 터널 등에 대해서도 안전 및 유지관리를 위해 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」과 '시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침'을 마련하고 있으며, 정기점검 및 성능평가에 관한 방식을 아래 <표 2>와 같이 규정하고 있음

- 안전점검은 관련 경험 및 기술을 가진 인원이 수행하도록 규정하고 있으며, 점검을 통해 안전등급을 지정하고, 등급에 따라 성능평가의 시기를 결정하는 등 정기점검과 성능평가 방식을 현장 조사로만 국한하고 있음
- 즉, 정기점검과 성능평가 방식이 육안 및 계측장비에 의한 현장 조사방식으로 지침에 명시되어 있기 때문에 계산된 방법과 기술이 개발되어도 제도적 제약으로 인해 도입 자체가 법·규정을 위반하게 되는 문제 발생

표 1 안전점검, 정밀안전진단 및 성능평가 시기

안전등급	정기안전점검	정밀안전점검		정밀안전진단	성능평가
		건축물	건축물 외 시설물		
A등급	반기에 1회 이상	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상	5년에 1회 이상
B·C등급		3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상	
D·E 등급	1년에 3회 이상	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	

출처: 서기환 외 2021, 41 (원자료는 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 시행령 [별표 3]).

철도 인프라 계측기술 및 점검 비용

(현장계측 및 진단) 철도시설에 대한 현장계측 기본 장비는 3차원 위치 측량을 위해 토탈스테이션(total station)이 주로 사용되며, 전문인력이 현장에서 수행하므로 정확도는 높으나 비용과 시간이 많이 소요

- 현재 고속철도 호남선 구간 약 188㎞, 경부선 2단계 120㎞ 구간이 현장 측량 기반으로 모니터링을 수행 중이나 철도 운행이 없는 새벽 시간(하루 4~5시간)에만 현장 접근이 가능해 점검 방식에 제약이 있음
- 최근 SOC 디지털화의 일환으로 IoT 센서 기반의 원격 점검기술 도입이 시도되고 있으나, 이 경우에도 전 구간에 대한 모니터링에는 한계가 있고, 고가의 센서 설치와 유지·관리 비용을 고려할 때 더 효율적인 보완대책이 필요함

(안전점검 비용) 국토교통부는 도로·철도·국가하천·댐 등 소관 국가 인프라(SOC)의 안전 및 유지관리를 담당하며, 인프라 구축 및 관리에 매년 수조 원의 예산을 집행하고 있음

- 2019년 '철도통계연보'에 따르면, 한국철도공사에서 집행한 시설 유지보수* 총액은 약 1,030억 원이며, 그중 선로를 포함한 토사면·교량 등의 안전진단에만 약 308억 원이 소요된 것으로 추정(국토교통부 철도산업정보센터, 2021년 8월 2일 검색)

* 유지보수 내역에는 교량보수, 정기진단, 정밀안전진단, 정밀안전점검, 사면보수 및 점검 등이 포함

• 2019년 기준 우리나라 철도 총연장이 4,274.2㎞인 것을 고려할 때 철도안전진단에 소요되는 비용이 1㎞당 약 740만 원으로 추정됨

그림 1 고속철도궤도의 침하측정

출처: 서기환 외 2021, 42-43의 그림 재구성 (원자료는 한국철도시설공단 2012, 69; 201).

철도 인프라 관리 문제

철도 인프라 관리에 관한 현황검토를 통해 제도(안전점검 및 성능평가 방식), 기술(직접측량/IoT 센서활용) 및 소요 비용 등의 측면에서 기존의 철도 인프라 관리방식은 다음과 같은 한계를 드러내고 있음

• ① 기술자가 현장을 방문하여 육안과 점검기구(측량기구) 등을 사용하는 안전점검 방식 자체가 가진 한계와 이를 제도적으로 규정함에 따라 조사방식 변경을 유연적으로 할 수 없다는 문제가 있음

• ② 철도의 총연장은 2030년까지 약 606㎞가 늘어나 5,137.2㎞가 될 전망(한국교통연구원 2021)이며, 이러한 점을 고려할 때 100% 현장 조사에 의존하는 방식은 비효율적일 뿐만 아니라 철도 운행이 멈추는 야간에만 작업해야 하는 시설점검 인력의 안전성 향상도 고려되어야 할 문제임

• ③ 정부가 추진하는 한국판 뉴딜 계획의 'SOC 디지털화를 통한 안전하고 효율적인 SOC 관리'를 실현하기 위해 다양한 디지털화 방식(SAR 영상을 활용한 방법)에 대한 다양하고 새로운 접근방법이 검토될 필요가 있음

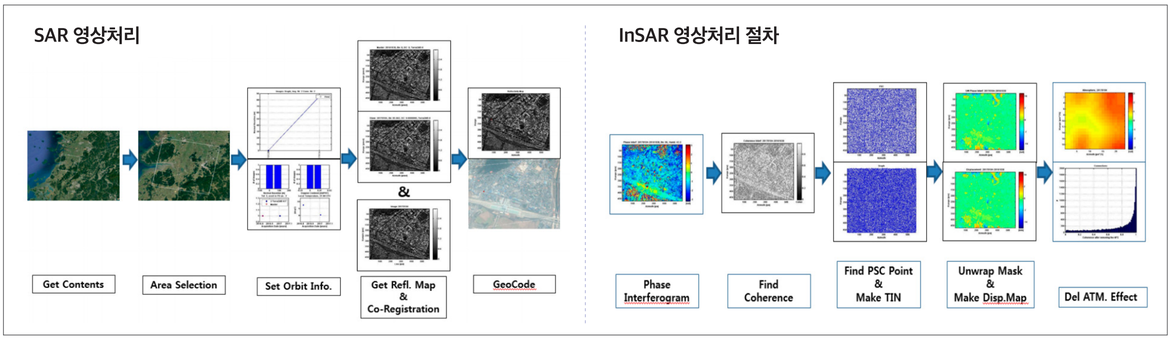
2 SAR 영상의 특성, 활용사례와 시사점

(개념 및 특성) SAR(Synthetic Aperture Radar)란 전자파를 사용해 물체로부터 반사된 신호(signal)를 포착하여 2차원적인 영상을 얻는 능동형 원격탐사 센서의 한 종류로 도플러효과(doppler effect)를 이용해 더 선명한 반사파를 수신할 수 있으며, 넓은 범위의 지상 관심 지역(Area of Interest: AOI)에 대한 고해상도 영상 획득에 활용됨

• 원격탐사 기술은 지구관측(earth observation)을 통해 지표의 변화(자연 및 인문환경)와 특성을 관측하기 위한 용도로 활용되고 있으며, 영상 레이더는 전자파를 이용하기 때문에 기상 조건이나 주야간 상관없이 영상을 획득할 수 있는 장점이 있음

(SAR 영상 분석기법) SAR 영상을 활용하여 정보를 추출하는 기법에는 InSAR(Interferometric SAR, SAR 간섭기법), DInSAR(Differential SAR Interferometry, SAR 차분간섭기법), SBAS(Small BAseline Subset, 다영상 단기선 간섭기법), PSInSAR(Persistent Scatterer SAR Interferometry, 고정산란체 간섭기법) 등 다양한 방법이 있으며, 동일지역에 대한 스테레오 SAR 영상(서로 다른 시기에 촬영)을 활용하여 지표정보와 위상차를 추출하고 입체적인 영상정보를 얻을 수 있음

그림 2 SAR 영상처리와 InSAR 영상처리 절차



출처: 서기환 외 2021, 29 (원자료는 Minkyo Yeom et al. 2017, 3)

SAR 영상 활용 사례

김한별 등(2017)은 세종~광주 사이의 호남선 철도 구간을 6개월간 촬영한 TerraSAR-X 영상을 이용, 철로와 철로 주변의 평균 지반 침하량을 추정하는 연구를 수행

- 6개월간 최대 약 7㎜의 지반 침하가 있는 것으로 분석됐으며, 철로가 지나가는 지역의 6개월 누적 침하량은 평균 약 4.6㎜로 나타나 SAR 영상을 이용한 철도 인프라의 침하량 모니터링 가능성을 확인한 바 있음

Pietro Milillo 등(2020)은 이탈리아 모란디교(Morandi Bridge) 붕괴 사고의 전조증상 파악을 위해 SAR 영상의 진폭정보를 활용하여 교량에 발생한 밀리미터(㎜) 단위의 균열을 탐지하는 방법을 제시

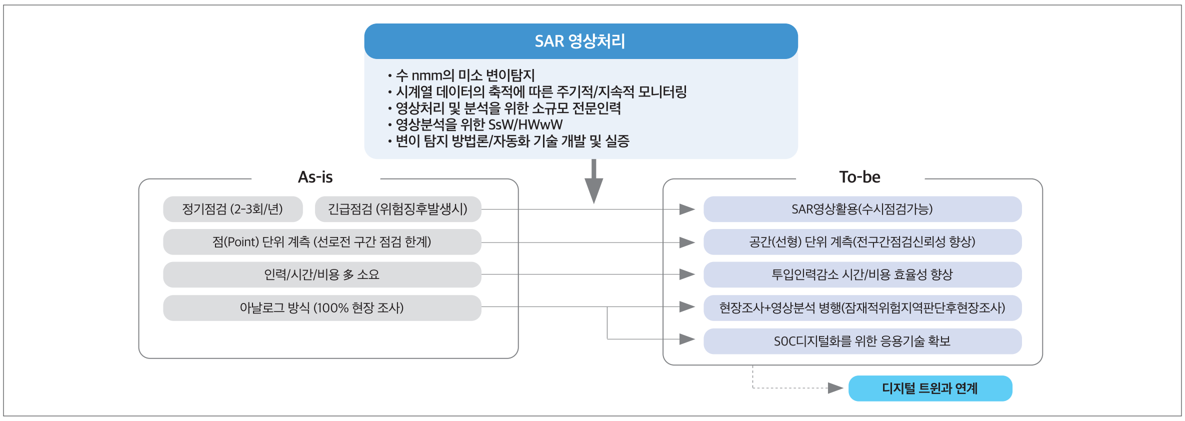
- 모란디교 붕괴 직전까지 촬영된 SAR 영상을 분석해 교량의 진동에너지 변화를 조사했으며, 교량의 붕괴 시기에 가까워지면서 나타나는 전조 현상을 밝혀냄으로써 향후 발생할 수 있는 교량 붕괴를 사전에 탐지할 수 있는 기초를 마련
- 호남선 철도와 모란디교 관련 연구는 철도나 교량과 같은 선형 인프라의 모니터링에 시계열 SAR 영상과 영상분석기법이 붕괴나 지반 침하로 인한 위험 감지에 활용될 수 있다는 가능성을 보여주는 사례임

SAR 영상 활용과 철도 인프라 관리의 시사점

철도 인프라의 안전관리 현황검토를 통해 도출된 기존 철도 인프라의 안전관리 방식의 문제점은 SAR 영상 활용에 따른 장점으로 문제를 보완 또는 개선 가능성을 확인

- SAR 영상 활용의 장점은 ① 특정 지점만을 선별적으로 점검하는 현장점검 방식에 비해 상대적으로 저비용(경부·호남선 전 구간 약 3~4천만 원)으로 전 구간 탐지가 가능하며, 수㎜ 수준의 미소 변이 탐지가 가능
- ② 현장점검 방식은 철도 운행이 멈춘 새벽 시간(1일 4~5시간)에만 점검 가능해 시간적 제약과 많은 인력 및 비용이 소요되는 데 반해 SAR 영상은 주·야간, 기후조건에 영향을 받지 않고 데이터 취득과 분석을 통해 변이 분석이 가능
- ③ 정부가 추진 중인 SOC 디지털화를 이행하는 과정에 전 구간 실시간 모니터링을 위해 IoT 기반 센서(진동가속도계)뿐만 아니라 SAR와 같은 영상센서를 이용한 SOC 디지털화 지원방안도 함께 고려할 필요가 있음

그림 3 SAR 영상 활용에 따른 철도 인프라 관리 As-is(현재의 업무 프로세스 분석) To-be(미래에 개선될 업무 프로세스)



출처: 서기환 외 2021, 54.

3 철도 인프라 관리 효율화를 위한 과제

(SAR 영상 특성 활용) 미소 변이 탐지가 가능한 SAR 영상의 특장점을 활용하여 기존 아날로그 방식으로 수행되던 정기·긴급 점검 등을 SAR 영상으로 우선 모니터링하고, 변이 관측 지점을 중심으로 현장점검을 수행

- 다만, 변이 탐지 방법론과 모니터링의 자동화에 관한 연구와 기술개발이 전제돼야 하며, 이러한 조건이 만족한다면 기존 방식 대비 현장 조사에 따른 소요 시간, 인력 및 비용 측면에서 상당 부분 절감이 가능할 것으로 기대됨

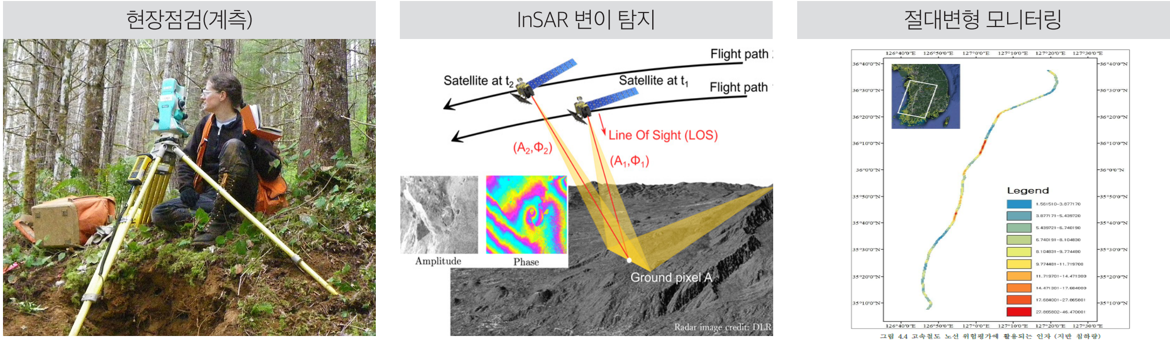
(SOC 디지털화 및 디지털 트윈과 연계) 원격탐사 기반 안전점검은 그 자체가 SOC 디지털화의 한 부분이면서 IoT 기반 SOC 디지털화와 연계·활용으로 시너지를 기대할 수 있음

- IoT 센서 기반 SOC 디지털화의 상시모니터링 성과와 SAR 영상 기반의 주기적 모니터링 방식이 디지털 트윈 기반 플랫폼에서 연계되면 더 효율적이고, 안전하며, 신뢰성 높은 철도 인프라 관리체계가 마련될 것임

(SAR 영상을 활용한 변이 관측 적용성 실증) 철도 인프라의 안전하고, 효율적인 운영·관리와 SOC 디지털화의 기반으로 SAR 영상을 활용한 철도 인프라 변이 모니터링체계를 구축하고, 철도 재난과 재해에 즉시 대응

- 기존 현장점검과 InSAR 또는 DInSAR 등의 기법을 연계하여 경제성과 효율성이 향상된 최적 관리기법을 선택하기 위한 실증연구 수행
- 경부 및 호남 고속철도 약 600㎞의 선로시설에 대한 영상 촬영과 분석에 20장(scenes) 내외의 영상이 소요될 것으로 추정되며, 상업용 SAR 영상을 구입할 경우 약 3~4천만 원의 재원이 소요될 것으로 추정

그림 4 현장점검과 InSAR 기반 변이 모니터링 개념도



출처:서기환 외 2021, 56 (원자료는 이일화 외 2020).

(철도 인프라 관리의 자동화 기술개발) SAR 영상기반 변이 상시모니터링시스템을 개발을 위해 SAR 영상 처리자동화, 변이 분석 및 탐지 자동화 관련 기술개발과 투자

- 실험실 연구 수준을 넘어 상업 및 실제 활용 가능한 수㎜ 단위 변이의 측정 정확도 실증과 인공지능(Deep Learning, Machine Learning)을 활용한 변이 탐지 자동화 기술개발 등 궁극적으로 실시간 관측 자동화를 추구

표 2 철도 분야 위성영상 활용 수준 및 기술개발 방향

현재 국내 기술 수준	기술개발 방향
• 학술연구를 통해 SAR 위성정보 활용한 지표변형 탐지 가능성 연구수행 • 철도와 같은 선형 구조물에 적용하기 위한 위성정보 활용 및 방법론 연구 미흡	• 실험실 연구 수준을 넘어 상업 및 실제 활용 가능한 수㎜ 단위 변이의 측정 정확도 실증 • 인공지능(Deep Learning, Machine Learning)을 활용한 변이 탐지 자동화

출처: 서기환 외 2021, 59.

(SAR 영상 등 원격탐사 데이터 활용을 위한 제도개선) IoT 센서(예: Tilt meter 등) 및 센서로 수집한 데이터(진동계측자료, SAR/광학 영상 등)의 분석 및 활용을 통한 점검(안전·정기)이 가능하도록 제도개선(안) 제안

- 철도 인프라 관리와 안전에 관한 주요 법령과 지침에서 규정한 정기점검과 안전점검 방식은 "경험과 기술을 갖춘 인원이 육안 또는 점검기구(보통 수준측량 기구 사용) 등을 사용"하도록 규정하고 있음
- 따라서 신기술의 등장, SOC 디지털화와 디지털 트윈 등을 접목하기 위해 관련 법률과 하위 규정·지침 등이 새로운 방식을 도입할 수 있도록 개선돼야 함

표 3 철도 안전관리 관련 제도개선(안)

기존 제도	개선(안)
「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」	
제2조(정의) 생략 9. "정기점검"이란 철도시설의 유지관리를 위하여 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구 등을 사용하여 철도시설의 안전성과 성능을 조사하는 일상적인 활동을 말한다.	**제2조(정의)** 생략 9. "정기점검"이란 철도시설의 유지관리를 위하여 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구, **센서 및 센서로 수집한 데이터** 등을 사용하여 철도시설의 안전성과 성능을 조사하는 일상적인 활동을 말한다.
철도시설의 정기점검 및 성능평가에 관한 지침	
제3조(정기점검 일반) 생략 ① 정기점검의 목적은 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구 등을 사용하여 철도시설의 안전성과 성능을 조사하는데 있다.	**제3조(정기점검 일반)** 생략 ① 정기점검의 목적은 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구, **센서 및 센서로 수집한 데이터** 등을 사용하여 철도시설의 안전성과 성능을 조사하는 데 있다.

출처: 서기환 외 2021, 61 (원자료 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」과 '철도시설의 정기점검 및 성능평가에 관한 지침'을 바탕으로 저자 작성).

참고문헌

국토교통부 철도산업정보센터. 2020. 2019년 철도통계연보. http://www.kric.go.kr/jsp/handbook/sta/statisticsTechList.jsp (2021년 8월 2일 검색)

김한별·윤홍식·염민교·이원응. 2017. D-InSAR 기법을 이용한 호남선 고속철도 구간 지반 침하 분석. 대한공간정보학회지 25권 3호: 35-41.

시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법. 2020. 법률 제17551호(10월 20일 일부개정).

시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 시행규칙. 2020. 국토교통부령 제914호(12월 11일 타법개정).

이일화·김기현·박정준·여인호·유민택·윤희택. 2020. CPM기반 손실정보 구축모델을 활용한 교각붕괴 진단기술 개발. 의왕: 한국철도기술연구원.

철도시설의 정기점검 및 성능평가에 관한 지침. 2019. 국토교통부고시 제2019-127호(3월 14일 제정).

철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률. 2021. 법률 제17458호(6월 9일 일부개정).

한국교통연구원. 2021. 제4차 국가철도망 구축계획 수립연구. 공청회 자료.

한국철도시설공단. 2012. 고속철도 콘크리트궤도 유지보수기준 정립방안 연구. 대전: 한국철도시설공단.

Minkyo Y, Hongsic Yun, Hanbual Kim, Woneung Lee and Kwangbae Kim. 2017. A Study on Optimal D-InSAR Filtering Technique According to Landform Relief. *The 5th International Symposium on Sensor Science Proceedings* 1, no.8: 723.

Pietro Milillo, Giorgia Giardina, Daniele Perissin, Giovanni Milillo, Alessandro Coletta and Carlo Terranova. 2019. Pre-Collapse Space Geodetic Observations of Critical Infrastructure: The Morandi Bridge, Genoa, Italy. Remote Sensing 11, no.12.

※ 이 브리프는 "서기환·임륭혁·이일화. 2021. 국가 인프라의 효율적 관리를 위한 SAR 영상 활용 방향: 철도 인프라를 중심으로. 세종: 국토연구원"의 내용을 요약 정리한 것임.

• **서기환** 국토연구원 공간정보사회연구본부 연구위원 (khseo@krihs.re.kr, 044-960-0650)

• **임륭혁** 국토연구원 공간정보사회연구본부 연구원 (rhim@krihs.re.kr, 044-960-0632)

OPEN 공공누리 출처표시 상업용금지 변경금지 공공저작물 자유이용허락