

야간 위성영상과 기본공간정보를 활용한 북한의 도시활력도 분석

- 통일·평화기반구축사업 -

(사업결과 보고서)

2025. 02. 17.

서울대학교

목차

I. 연구 개요	1
1. 추진배경 및 필요성	1
2. 연구 목표	3
II. 연구 내용	5
1. 남북한 위성영상 및 사회경제 데이터셋 구축	6
가. 남한 사회경제데이터 취득	6
나. 남북한 기본공간정보 취득	7
다. 남북한 야간위성영상 취득	7
2. 야간위성영상을 활용한 북한 도시활력도 추정	11
가. 남한 사회경제데이터 기반 도시활력도 정의	11
나. 도시활력도 추정모델 생성	13
다. 북한 도시활력도 추정모델 적용	17
3. 도시활력도 기반 북한 도시특성 분석	19
가. 도시특성 분석 대상지 선정	19
나. 도시활력도 상위지역	20
다. 도시활력도 하위지역	29
라. 정성분석 결과	34
4. 연구결론	37
III. 사업 성과 및 예산	39
1. 사업 성과	39
2. 예산집행	41
참고문헌	42

표 차례

표 1. 세부 목표에 따른 연구내용	3
표 2. 연구 추진 일정	4
표 3. 취득된 사회경제데이터	6
표 4. 취득된 기본공간정보	7
표 5. 구축된 데이터셋	10
표 6. 학습 데이터셋에 대한 회귀분석 결과	16
표 7. 도시활력도 상위 20개 지역	18
표 8. 도시활력도 하위 20개 지역	18
표 9. 본 연구의 성과물 요약	40
표 10. 본 연구의 예상 예산 집행 내용	41
표 11. 본 연구의 실제 예산 집행	41
표 12. 본 연구의 실제 예산 집행 내용	41

그림 차례

그림 1. 연구 목표	3
그림 2. 연구 흐름도	6
그림 3. 취득된 3장의 야간위성영상	8
그림 4. 전처리 과정	10
그림 5. 산출된 남한 도시활력도	12
그림 6. 도시활력도 추정 모델 학습 프레임워크 (1)	13
그림 7. 랜덤포레스트를 활용한 북한 도시활력도 추정	14
그림 8. 도시활력도 추정 모델 학습 프레임워크 (2)	15
그림 9. 산출된 북한 도시활력도	17
그림 10. 평양의 도시경관	20
그림 11. 평양의 주요 광원 (1)	21
그림 12. 평양의 주요 광원 (2)	21

그림 13. 남포시 대안구역의 도시경관	22
그림 14. 남포시 대안구역의 주요 광원	23
그림 15. 남포시 천리마구역의 주요 광원	24
그림 16. 남포시 천리마구역의 타일공장 및 제강 연합기업소	24
그림 17. 평안북도 신의주의 도시경관	25
그림 18. 중국 단둥 및 평안북도 신의주의 야간위성영상 밝기값 비교	26
그림 19. 평안북도 신의주역전 및 신의주 세관	26
그림 20. 강원도 고성군의 도시경관	27
그림 21. 남북한 강원도 고성군의 야간위성영상 밝기값 비교	28
그림 22. 강원도 고성군의 주요 광원	28
그림 23. 평안북도 신도군의 도시경관 및 주요 광원	29
그림 24. 평안북도 천마군의 도시경관 및 야간위성영상	30
그림 25. 자강도 위원군의 도시경관	31
그림 26. 황해남도 안악군의 도시경관	32
그림 27. 자강도 초산군의 도시경관	33
그림 28. 자강도 전천군의 군수공장	35
그림 29. 도식화된 모델 1 & 모델 2 도시활력도 차이 및 남북한 야간위성영상 밝기값 비교	36
그림 30. 세부 연구내용 및 최종 연구성과 요약	37

I. 연구 개요

1. 추진배경 및 필요성

가. 연구배경

○ 북한 도시 연구의 필요성

- 남한과 북한은 분단 이후 서로 다른 정치체제와 사고방식을 정립하여왔다. 이는 남북한 국민들의 삶의 차이를 만들었으며, 현대 시민들의 주된 삶의 공간인 도시에도 그 생활양식이 그대로 녹아들었다. 도시는 사회변동의 공간적 온상으로(전상인, 2016), 국가적 체제와 사회문화 및 시민들의 삶이 복합적으로 녹아있는 삶의 공간이라고 할 수 있다.
- 이에 따라 우리에게 익숙한 “도시”라는 개념으로 익숙하지 않은 북한 경제와 시민들의 삶을 이해하려는 연구들이 지속적으로 진행되어왔다(박성열 외, 2021).

○ 북한 도시의 특징

- 특히, 북한 도시는 일반적인 자본주의 체제하의 현대도시와는 다른 독특한 양식을 지니고 있다. 현대도시는 국가 경제의 중심이자 지역성장과 경제확산의 중요한 성장거점의 역할을 한다(김준현, 2015).
- 남한의 경우에도 전체 인구의 90%가 도시에 거주하고 있으며, 수도권 및 지역 경제가 도시를 중심으로 활성화된다. 그러나 북한의 경우 대부분의 사회주의 국가들의 공통된 특징처럼 극소수의 대도시와 다수의 중소도시로 구성되었으며, 전체 인구의 16% 가량만이 대도시에 거주하는 등 남한을 비롯한 자본주의 현대 대도시와는 다른 양상을 보이고 있다(국토연구원, 2018).

나. 공간정보를 활용한 도시활력 추정

○ 도시활력이란?

- 북한 시민들의 사회·경제적 활동의 변화는 도시의 외형적·내형적 형태의 변화로 확산되며 이는 도시활력이라는 종합적인 지표로 투영될 수 있다. 도시활력에 대한 연구는 인간의 시공간적 활동을 토대로 도시의 역동성을 분석하려는 시도 중의 하나이다(정시운 외, 2020).
- 다양한 선행연구들에서는 도시활력이라는 개념을 측정하기 위한 지표들을 제시하여왔으며, 연구목적과 대상지역에 따라 다양하게 개발되어

사용되고 있다. 최근에는 다양한 공간 빅데이터가 활용 가능해짐에 따라 건물, 도로, 토지, 인간활동 등과 같은 도시의 표면적·물리적 활력을 데이터로부터 추정하여 도시를 분석하는 연구들이 수행된 바 있다 (김영룡, 2020; 정시윤 외 2020).

○ 북한 도시활력 연구의 필요성 및 한계점

- 이와 같은 공간 빅데이터 기반의 도시활력 분석의 경우, 미시적 관점에서 도시를 보다 객관적으로 이해할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 북한의 경우 폐쇄적인 특성으로 인해 국가의 현황파악을 위한 기초데이터가 부재하고, 도시활력 측정에 주로 사용되는 모바일 및 교통량 데이터가 취득 불가하다는 한계점이 존재한다.
- 이러한 직접적인 접근이 불가하고, 관련 데이터가 부족한 상황을 해소하기 위하여, 몇몇 선행연구들에서는 위성영상을 통해 간접적으로 도시의 다양한 지표를 측정하고 도시 유형을 이해하려는 연구들이 수행되어왔다. 특히, 최근 몇몇 연구 및 보도에는 야간에 촬영된 위성영상을 활용하여 북한 도시의 비정상적인 야간 활동을 보고한 바 있다.

다. 공간정보를 활용한 도시활력 추정

○ 야간 위성영상 및 NTL의 개념

- 야간 위성영상은 야간에 위성·항공기 등에서 관찰되는 조명과 광원인 “Night Time Light (NTL)”을 촬영한 영상으로 인공 조명과 도시화된 지역의 조명 패턴을 시각적으로 표현하여 인구 분포, 도시화 정도, 경제 활동 등과 관련된 정보를 얻음으로써, 인간 활동을 포착하고 분석하는 데 사용된다(이슬기 외 2021).
- 특히, 야간 조명의 수와 도시경제지표 간에 긴밀한 상관관계를 보인다는 선행연구를 바탕으로 야간 위성영상은 도시 및 국가별 경제 발전 수준을 비교하는 데 주로 활용된 바 있으며, 북한의 경제통계 데이터가 부족한 가운데 북한 경제에 대한 보다 실증적인 연구를 수행하기 위한 수단으로 야간 위성영상을 활용한 다양한 연구가 진행되고 있다.
- 따라서 물리적으로 접근이 불가능하며 정보 취득이 어려운 북한 도시 지역에 대해 야간위성영상을 활용함으로써 효과적으로 대상지의 도시경제 지표를 취득할 수 있으며, 또한 이러한 야간위성영상을 활용한 도시분석 방법론을 도시활력도의 개념으로 확장함으로써 북한 도시지역에 대해 역동성을 반영한 다면적 도시분석을 가능케 할 수 있다.

2. 연구 목표

본 연구는 야간위성영상과 기본공간정보를 활용하여 정보취득 및 접근이 불가능한 북한지역에 대해서 도시활력도를 추정한 후, 이를 기반으로 북한 도시지역에 대한 분석을 수행하는 것이 목적이며, 이를 위해서 먼저 데이터셋을 구축하고 기계학습 기반 도시활력도 추정 모델을 학습시키는 것을 목표로 하며, 이를 북한 대상지역에 적용하여 최종적으로 도시활력도 추정 및 도시특성 분석을 구현하는 것을 목표로 한다(그림 1).

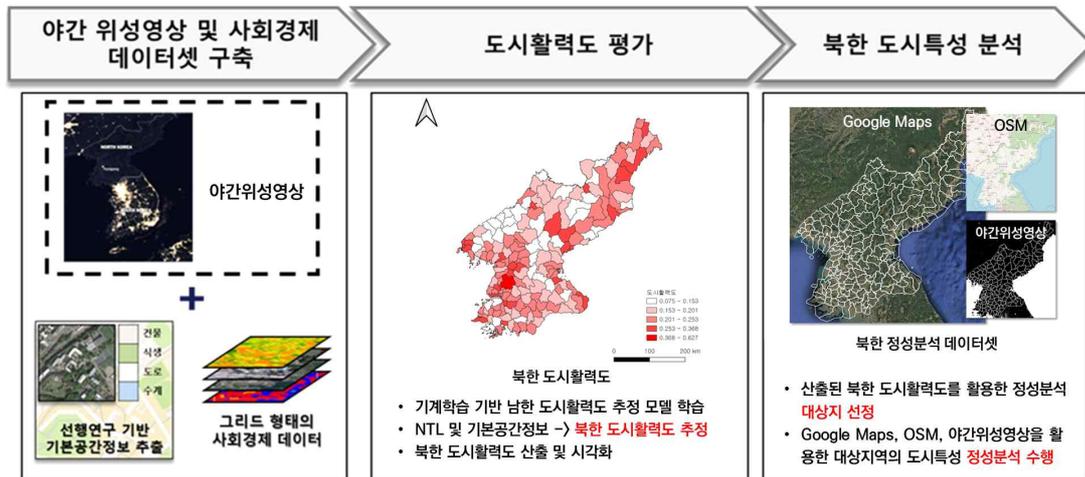


그림 1. 연구 목표

○ 세부 목표

본 연구는 세 가지의 세부 목표를 가지며, 각 세부 목표의 구체적인 내용은 표 1과 같다.

표 1. 세부 목표에 따른 연구내용

세부 목표	연구내용
1. 남북한 도시활력도 데이터셋 구축	1. 남한 사회경제 데이터셋 구축 2. 남북한 기본공간정보 데이터 구축 3. 남북한 야간위성영상 데이터 취득
2. 야간위성영상 기반 북한 도시활력도 추정	1. 남한 사회경제데이터 기반 도시활력도 정의 2. 남한 도시활력도 추정 모델 학습 및 검증
3. 도시활력도 기반 북한 도시특성 분석	1. 추정된 도시활력도 기반 북한 도시특성 분석 2. 야간위성영상을 활용한 북한 도시특성 분석

○ 연구의 범위

- **데이터** : 본 연구에서는 북한지역의 도시특성정보를 다각도로 분석하기 위해서 고해상도 위성영상(국토위성 1호) 및 야간위성영상(NASA Suomi-NPP)을 비롯한 RS 기반의 데이터와 Open Street Map (OSM), 수치지형도, 수치표고모델 등의 GIS 기반의 데이터를 복합적으로 활용한다.
- **대상 지역** : 기구축된 데이터와의 연계 및 스마트시티 기술 적용 시나리오를 고려하여 평양지역을 대상지역으로 선정하고 스마트시티 도입 방안을 분석한다.

○ 연구 추진 일정

본 연구의 구체적인 추진 일정은 표 2와 같다.

표 2. 연구 추진 일정

연구내용	연구 추진 기간 (11개월)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. 남북한 위성영상 및 사회경제 데이터셋 구축											
1.1. 남한 사회경제 데이터셋 구축											
1.2. 남북한 기본공간정보 데이터 구축											
1.3. 남북한 야간위성영상 데이터 구축											
2. 야간 위성영상을 활용한 북한 도시활력도 추정											
2.1. 남한 사회경제데이터 기반 도시활력도 정의											
2.2. 남한 도시활력도 추정 모델 학습 및 검증											
2.3. 북한 도시활력도 추정 모델 적용											
3. 도시활력도 기반 북한 도시특성 분석											
3.1. 추정된 도시활력도 기반 북한 도시특성 분석											
3.2. 야간위성영상을 활용한 북한 도시특성 분석											

II. 연구 내용

본 연구의 전체 흐름도는 그림 2와 같다. 먼저 첫 번째로 남북한 위성영상 및 사회경제 데이터셋을 구축한다. 이를 위해서 먼저 남북한 전 지역에 대해 야간위성영상과 기본공간정보를 취득한 후, 전처리 과정을 통해서 도시활력도 추정 데이터셋을 구축한다.

두 번째로, 야간위성영상과 기본공간정보를 활용하여 북한 도시활력도를 추정한다. 이 때 북한지역에 대한 정보 및 물리적 접근성의 한계로 인하여 남한지역에 대해서 도시활력도 추정 모델을 생성한 후, 북한지역에 적용하여 북한지역 도시활력도를 추정한다. 이를 위해서 먼저 선행연구를 기반으로 남한지역의 도시활력도를 정의하였으며, 야간위성영상과 기본공간정보를 투입값으로, 정의된 도시활력도를 산출값으로 활용하여 기계학습 기반 도시활력도 추정 모델을 학습시켰다. 이렇게 학습된 도시활력도 추정 모델을 북한지역에 대해서 적용하여 최종적으로 북한지역에 대한 도시활력도를 추정하였다.

마지막으로, 이렇게 추정된 북한지역 도시활력도를 기반으로 북한 도시지역에 대한 정성분석을 수행하였다. 정성분석 수행을 통하여 추정된 도시활력도가 대상지역에 대해서 알려진 사회적 통념과 일치함을 확인하여 도시활력도 추정 모델에 정당성을 부여하였으며, 또한 추정된 도시활력도를 활용하여 북한지역에 대한 일관된 결론을 산출하였다. 이를 통해서 최종적으로 북한 도시지역의 공간적 형태와 도시활력도의 관계성을 분석해내었으며, 야간위성영상과 기계학습을 활용한 북한지역 도시활력도 추정 방법론을 제시하였다.

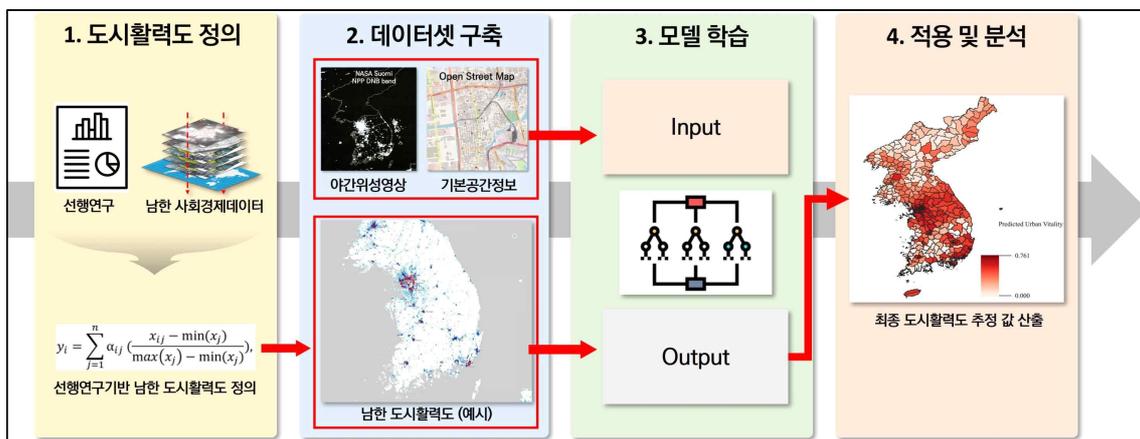


그림 2. 연구 흐름도

1. 남북한 위성영상 및 사회경제 데이터셋 구축

본 연구에서는 남한지역에 대해서 도시활력도를 산출하기 위하여 남한 사회경제 데이터셋을 먼저 구축하였으며, 이후 도시활력도를 추정하기 위한 기반 자료를 구축하기 위하여 남북한 기본공간정보 및 남북한 야간위성영상을 취득하였다. 또한 이렇게 취득된 데이터들의 자료형을 통일하고 전처리 과정을 거쳐 최종적으로 도시활력도 추정을 위한 데이터셋을 구축하였다.

가. 남한 사회경제데이터 취득

○ 사회경제 데이터 취득

- 본 연구에서 취득된 사회경제데이터는 남한지역의 도시활력도를 정의하기 위한 기반자료로 활용되었는데, 이는 북한지역에 대해서 실질적으로 취득 가능한 사회경제데이터의 수가 매우 적으며, 물리적 접근 또한 불가능하므로, 북한지역에 대해서 취득 가능한 사회경제 데이터는 신뢰성에 대한 추가 검증이 요구된다.
- 따라서 본 연구에서는 이러한 북한지역의 접근성에 한계에 근거하여 우선 남한지역을 대상으로 먼저 사회경제 데이터셋을 구축하였으며, 이렇게 구축된 사회경제 데이터는 표 3과 같다.

표 3. 취득된 사회경제데이터

데이터 종류	자료명	자료출처	취득시기
사회경제데이터	유동인구	SK텔레콤, 통계청	2019-2022
	지역내 총생산	국가통계포털	2021
	생산가능 인구비율	행정안전부	2021
	차량등록대수	국가교통 통계누리	2023

나. 남북한 기본공간정보 취득

○ Open Street Map

- 본 연구에서는 도시활력도를 공간적 차원에서 추정하기 위해서 Open Street Map (OSM)을 통해서 산출한 기본공간정보를 활용하였다.
- Open Street Map은 누구나 참여할 수 있는 오픈소스 방식의 무료 지도 서비스로, 일반적인 지도에서 볼 수 있는 도로, 건물 식당뿐만 아니라 건물의 층 수, 면적, 식생 등의 다양한 속성정보를 포함하고 있다.
- 특히 북한지역의 경우 타 지역에 비해서 OSM이 비교적 상세하게 구축되어 있으며, 실제로 다양한 연구에 기반자료로 폭넓게 활용되고 있다 (표 4).

표 4. 취득된 기본공간정보

데이터 종류	자료명	자료출처	취득시기	취득여부	
				남한	북한
기본공간정보	건물 객체수, 면적	Open Street Map (OSM)	2024	○	○
	토지피복도		2024	○	○
	도로면적		2024	○	○
	철도면적		2024	○	○

다. 남북한 야간위성영상 취득

○ NASA Suomi-NPP

- NASA Suomi-NPP는 2011년 10월에 발사된 대표적인 지구관측위성으로, 824km 고도에서 3,040km 관측 폭을 가진 태양 동 주기 궤도 위성으로 해당 위성의 센서는 0.4~12 μ m의 파장범위에서 총 22개의 채널을 보유하며, 채널에 따라서 375~750m급의 공간해상도를 가진다.
- 특히 이 중 DNB 밴드는 0.7 μ m의 파장대역에서 750m급의 공간해상도로 대상지역의 야간영상을 촬영하며, 본 연구에서는 OSM을 활용한 기본공간정보 취득에 더불어 NASA Suomi-NPP의 VIIRS DNB 파장대역의 야간위성영상을 활용하였다.
- 일반적으로 DNB 파장대역의 raw 영상은 노이즈로 인하여 대상물의 식별이 매우 어려우며, 따라서 일, 주, 월 주기로 취득 후 보정하여 산출한 결과물을 주로 활용한다(그림 3). 이 중 본 연구에서는 월 주기로

취득 후 보정을 수행한 VNP46A3 VIIRS/NPP Lunar BRDF 프로젝트를 활용하였다.

- 또한 남북한 전 지역에 대해서 야간위성영상 데이터를 구축하기 위하여 본 연구에서는 총 3장의 영상을 취득하였으며, 해당 영상들의 좌표계를 통일하여 최종적으로 남북한 전역에 대한 야간위성영상 데이터셋을 구축하였다.

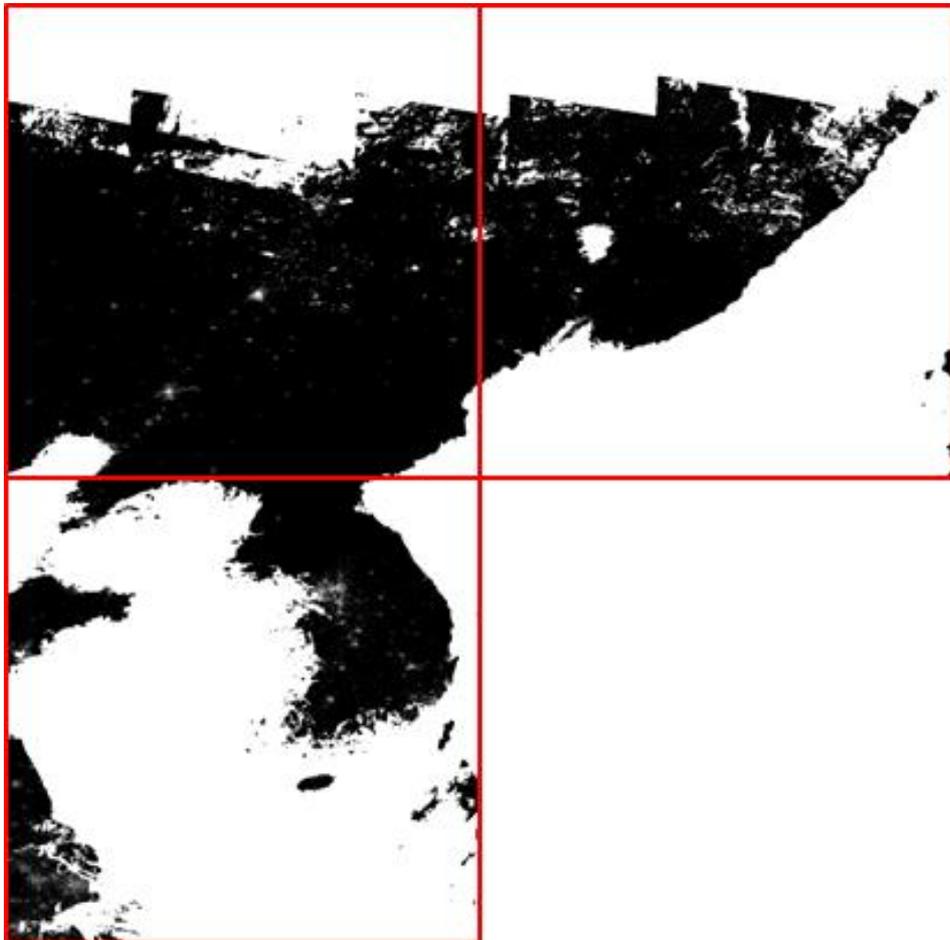


그림 3. 취득된 3장의 야간위성영상

○ 데이터 전처리 및 데이터셋 구축

- 본 연구에서는 사회경제데이터, 기본공간정보, 야간위성영상을 비롯하여 최종적으로 총 179개의 북한 시/군과 225개의 남한 시/군/구에 대한 벡터 및 래스터 데이터를 취득하였다.
- 각 데이터들은 자료형, 좌표계 등의 측면에 대해서 서로 다른 특성을 가지므로, 이러한 특성들을 통일하고 모델에 투입 가능한 형태로 변환하는 전처리 과정이 요구된다(그림 4). 특히 OSM 등의 기본공간정보는 벡터 형태로 저장되나, 야간위성영상은 래스터 형태로 저장되며, 이 외에도 래스터 형태의 영상은 벡터 영상과는 상이한 분광값 저장 자료형을 가진다.
- 최종적으로 본 연구에서 데이터셋의 생성을 위해 수행된 전처리 과정은 다음과 같다.
 1. 아웃라이어 제거: 야간위성영상에는 튀는 밝기값 픽셀들이 일부 존재하며, 따라서 상위 0.02%의 밝기값에 임계값을 설정하여 이렇게 튀는 밝기값들을 제거하였다.
 2. 벡터화 수행: 야간위성영상(래스터)과 기본공간정보(벡터)의 데이터 단위를 통일하기 위하여 본 연구에서는 야간위성영상의 픽셀 단위(750m)를 기준으로 벡터화를 수행하여 두 자료의 데이터 단위 통일하였다.
 3. 자료형 통일: 기본공간정보에 포함된 건물, 토지피복, 도로, 철도 등 데이터들의 면적을 도시 전체 면적으로 나누어 밀도값으로 환산하였으며, 이를 정형데이터로 변환하였다.

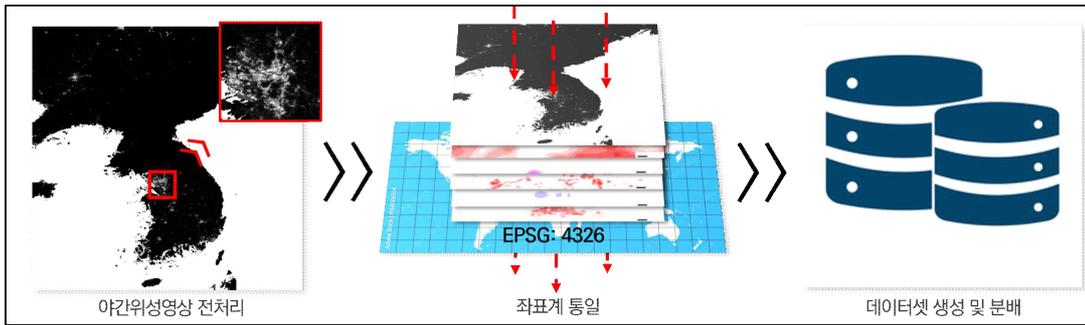


그림 4. 전처리 과정

- 또한 전처리된 자료들의 좌표계를 통일한 후, 남한의 도시 총 225곳을 7:3 비율로 나누어, 158개의 도시는 학습용, 67개 도시는 모델 검증용으로 분배하였으며, 최종적으로 구축된 데이터셋은 표 5와 같다.

표 5. 구축된 데이터셋

데이터 종류	자료명	자료출처	취득시기	취득여부	
				남한	북한
사회경제데이터	유동인구	Sk 텔레콤, 통계청	2019-2022	O	X
	지역내 총생산	국가통계포털	2021		
	생산가능 인구비율	행정안전부	2021		
	차량등록대수	국가교통 통계누리	2023		
기본공간정보	건물 객체수, 면적	Open Street Map (OSM)	2024	O	O
	토지피복도		2024		
	도로면적		2024		
	철도면적		2024		
야간위성영상	VNP46A3: VIIRS/NPP Lunar BRDF-Adjustmed Nighttime Monthly L3	Suomi-NPP	2024	O	O

2. 야간위성영상을 활용한 북한 도시활력도 추정

본 연구에서는 데이터셋 구축 이후 구축된 데이터셋을 활용하여 북한 도시활력도를 추정하였다. 그러나 도시활력도를 추정하기 위한 사회경제지표가 북한 지역에 대해서는 존재하지 않거나 접근이 불가능한 관계로, 본 연구에서는 남한 사회경제지표를 활용하여 남한의 도시활력도를 먼저 정의한 후, 남한지역의 도시활력도를 추정하는 모델을 먼저 학습시켰다. 이후 학습된 모델을 북한지역에 적용하여 북한 기본공간정보와 야간위성영상을 투입자료로 북한지역의 도시활력도를 산출하였다.

가. 남한 사회경제데이터 기반 도시활력도 정의

○ 선행연구 기반 도시활력도 정의

- 김영룡(2020)은 도시활력을 사회적, 경제적 차원으로 구분하여 개념화하였으며, 본 연구에서는 이를 참고하여 각각의 도시활력도를 다음과 같이 사회적 활력과 경제적 활력으로 정의하였다.

1. 사회적 활력: 유동인구는 도시공간에서 개인의 활동에 의해 시시각각 변화하는 특성을 가지며, 사회적 차원의 도시활력을 반영하는 핵심요소로 널리 활용된다(Mass, 1984; 김영룡, 2018).

2. 경제적 활력: 생산 측면의 도시활력을 추정하기 위해 일반적으로 지역내 총생산 및 생산가능 인구비율이 널리 활용된다(Jacobs, 1964; 김다울, 2022). 이 중 자동차는 경기 침체에 민감하게 반응하는 대표적인 내구재로, 자동차 등록대수는 경제 활성화에 밀접한 연관이 있다(최유진, 2011).

- 따라서 본 연구에서는 사회적 활력과 경제적 활력을 도시활력의 주요 두가지 요소로 정의하고, 각각의 활력에 해당하는 사회경제지표를 취득하여 남한지역에 대한 도시활력도를 정의하였다.

○ 사회경제지표를 활용한 남한지역 도시활력도 정의

- 본 연구에서는 선행연구에 기반하여 남한지역의 사회적, 경제적 활력을 반영하는 도시활력도를 정의하고자 하였으며, 이를 위해서 사회경제지표인 유동인구, 지역내 총생산, 생산가능 인구비율, 자동차 등록대수를 활용하였다.

- 최종적으로 본 연구에서 정의한 도시활력도는 식 1과 같다.

$$y_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \left(\frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \right), \quad (1)$$

- 이 때 y_i 는 i 번째 도시의 도시활력 지표이며, x_{ij} 는 도시활력도를 산출하기 위하여 계산에 활용되는 사회경제지표 값들을 의미한다. 각각의 정규화된 요소 값들은 가중치 α_{ij} 를 곱하여 선형합을 통하여 계산하였다. (이 때 본 연구에서는 가중치를 모두 0.25로 통일하였다.)

- 산출된 남한 도시활력도 지도는 그림 5와 같다.

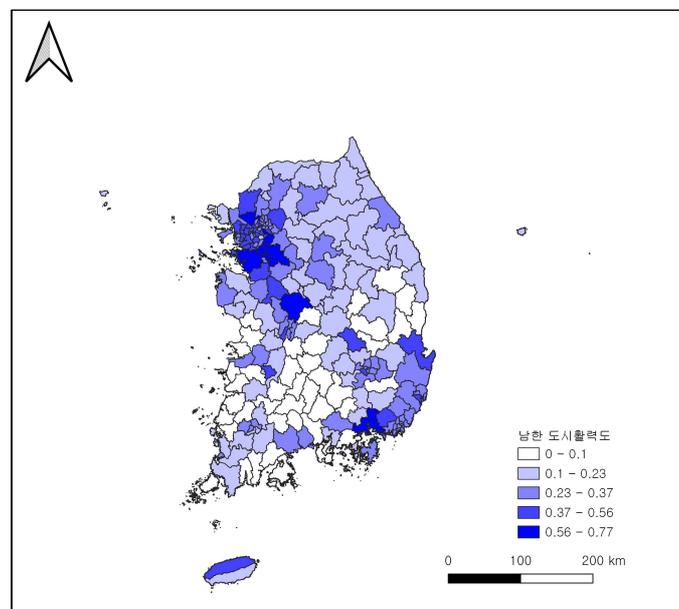


그림 5. 산출된 남한 도시활력도

나. 도시활력도 추정모델 생성

○ 학습 설계

- 본 연구에서 활용된 도시활력도 추정 모델 학습 프레임워크는 그림 6과 같다.
- 본 연구에서는 구축된 남북한 도시활력도 추정 데이터셋과 남한지역에 대해서 정의된 도시활력도를 활용하여 머신러닝 기반 남한지역의 도시활력도 추정 모델을 학습한다. 학습 시 투입자료로는 데이터셋에 포함된 야간위성영상과 기본공간정보를 활용하였으며, 학습자료는 정의된 남한 도시활력도를 활용하였다.
- 최종적으로 학습된 모델은 남한지역에 대해서 투입된 야간위성영상과 기본공간정보를 활용하여 대상지역의 도시활력도를 추정하는 역할을 수행하며, 이를 북한지역에 적용하여 최종적으로 북한지역의 도시활력도를 추정한다.

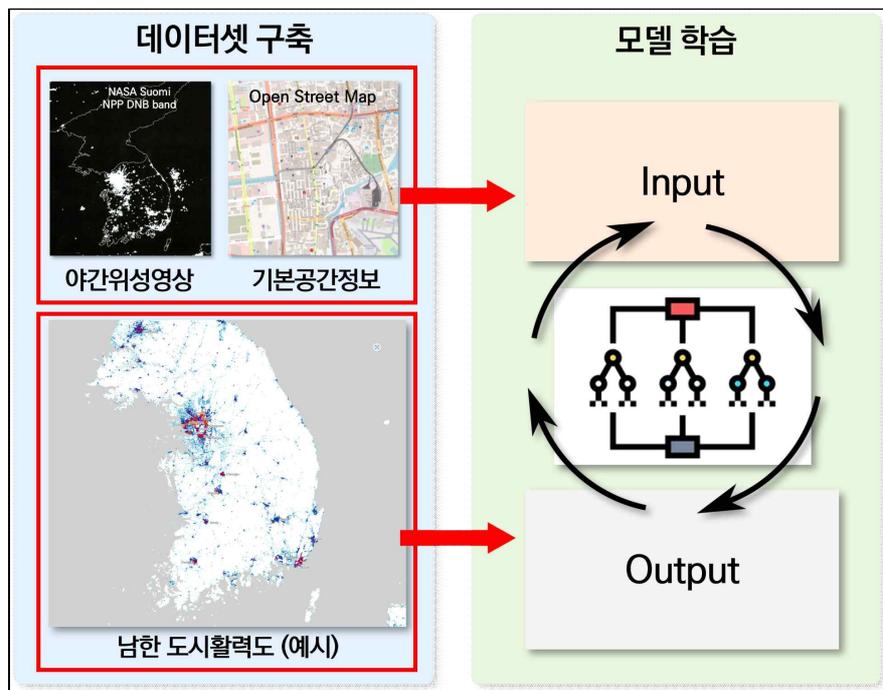


그림 6. 도시활력도 추정 모델 학습 프레임워크 (1)

○ 랜덤 포레스트 알고리즘

- 본 연구에서는 기계학습과 RS/GIS 기술을 기반으로 도시활력도를 추정하기 위하여 랜덤 포레스트(random forest; RF) 알고리즘을 활용하였다(그림 7).
- RF는 기계학습 알고리즘 중 하나로, 여러 개의 의사 결정나무(decision tree)를 만들고, 이들의 결과물을 조합하여 최종적으로 한 가지의 결과물에 도달하도록 학습시키는 방식을 의미한다.
- 기존의 의사 결정나무 알고리즘은 과적합의 위험성이 높다는 한계점이 있는데, RF는 여러 개의 의사 결정나무를 조합하여 투표하는 방식으로 과적합을 방지한다.
- 북한은 중앙집권적 정부의 주도를 통해서 도시개발이 이루어지고 있으므로, 각 지역별로 용도에 따라서 매우 상이한 특성을 가진다. 따라서 이러한 상이한 특성들에 대해서 과적합을 방지하고 북한 전역에 대해서 강건성 있는 알고리즘을 개발하기 위해서 본 연구에서는 RF 알고리즘을 활용하였다.

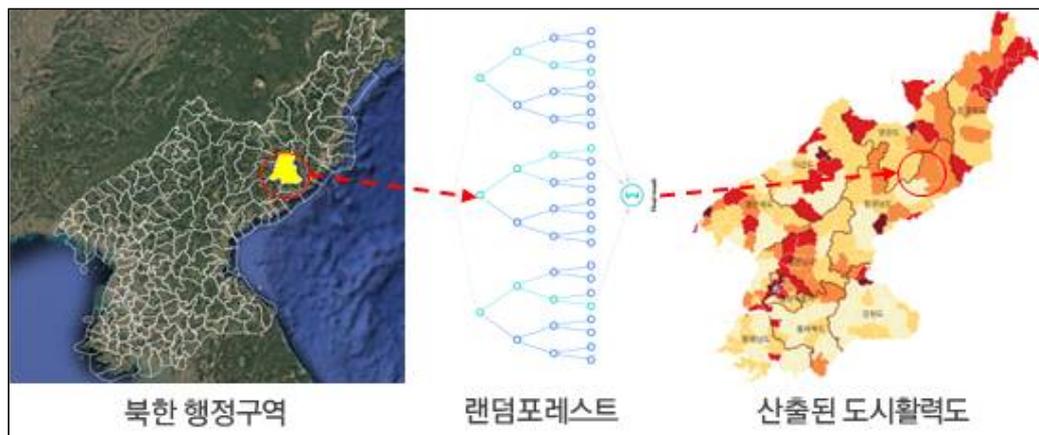


그림 7. 랜덤포레스트를 활용한 북한 도시활력도 추정

○ 학습 구현

- 본 연구에서는 야간위성영상의 활용성 및 야간위성영상의 활용 여부에 따른 북한 도시특성의 분석 결과물을 확인하기 위하여 총 두 가지의 RF 모델을 활용하였으며, 각 모델에 투입되는 인풋 데이터는 다음과 같다.

1. 모델 1: 공간정보 데이터
2. 모델 2: 공간정보 데이터 + 야간위성영상

- 각각의 모델은 남한 데이터에서 추정된 도시활력도를 정답 데이터로 하였으며, 최종적으로 학습된 모델을 북한에 적용하여 북한 지역의 도시활력도를 추정하였다(그림 8).

- 랜덤포레스트 모델의 학습을 위하여 남한의 도시 총 225곳을 7:3 비율로 나누어, 158개의 도시는 학습용, 67개 도시는 모델 검증용으로 활용하였다.

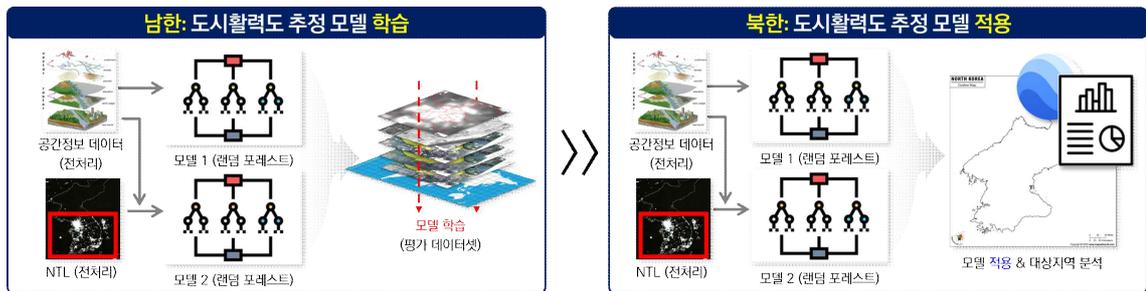
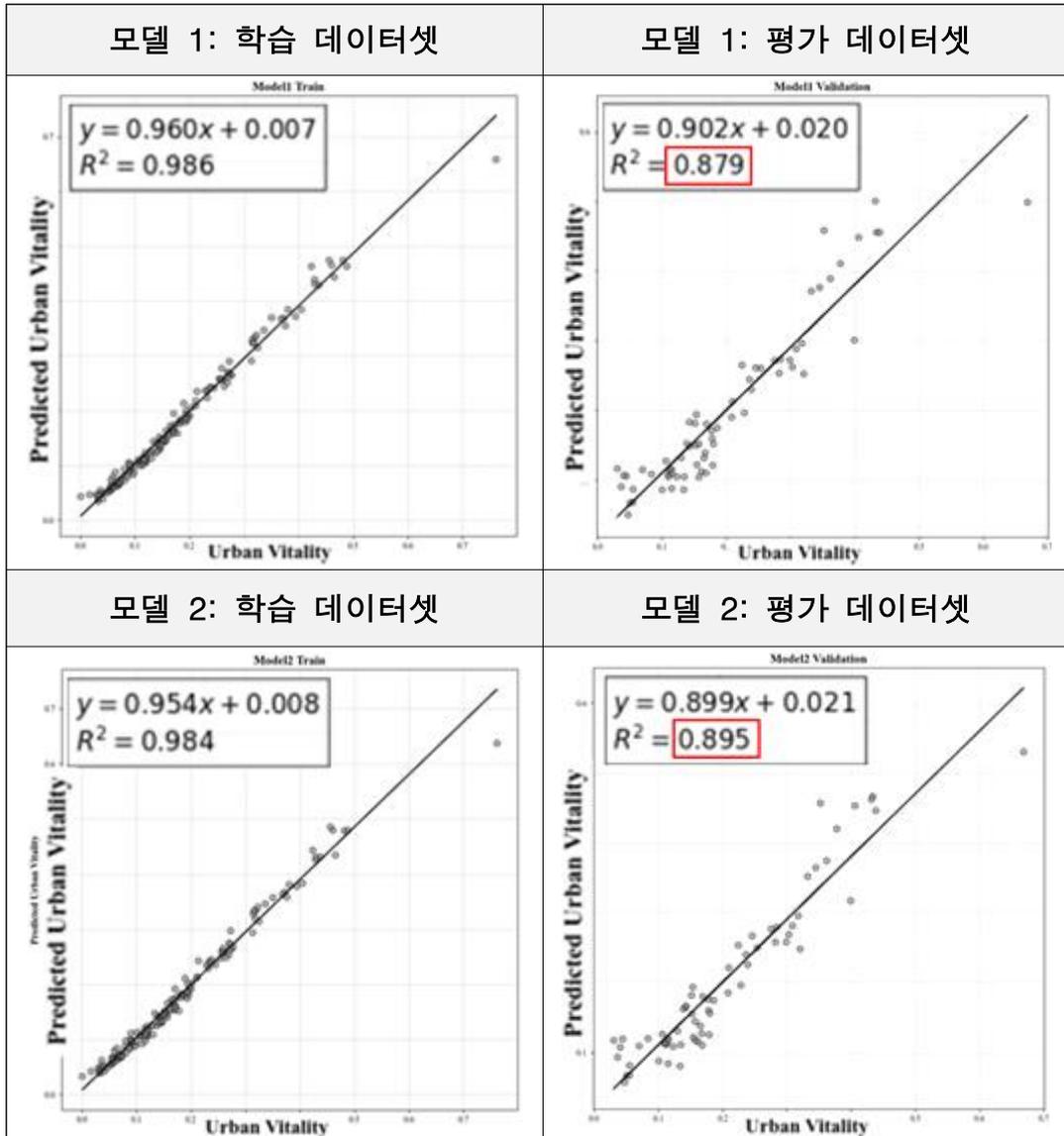


그림 8. 도시활력도 추정 모델 학습 프레임워크 (2)

○ 모델 신뢰도 평가

- 본 연구에서는 남한지역에 대해서 학습된 도시활력도 추정모델의 신뢰도를 평가하기 위해서 남한지역에서의 학습 데이터와 평가 데이터에 대한 회귀분석을 활용하였다.

표 6. 학습 데이터셋에 대한 회귀분석 결과



- 또한 평가 데이터셋의 결정계수 R^2 은 모델 1은 0.879, 모델 2는 0.895로 나타났으며, 따라서 야간위성영상을 활용한 모델 2가 모델 1에 비해서 더 높은 상관관계를 보여줌을 확인할 수 있었다.

다. 북한 도시활력도 추정모델 적용

○ 모델 투입

- 남한지역에 대해서 머신러닝 모델의 학습 및 검증이 완료된 후, 북한 지역의 도시활력도를 추정하기 위하여 본 연구에서는 남북한 도시지역에 대해 구축된 기본공간정보와 야간위성영상을 투입하여 남한의 도시활력도를 추정하였다(그림 9).
- 또한 정성분석 수행 대상지 선정을 위하여 상하위 20개 지역을 산출하였는데, 산출된 지역들의 도시활력도는 표 7 및 표 8과 같다.

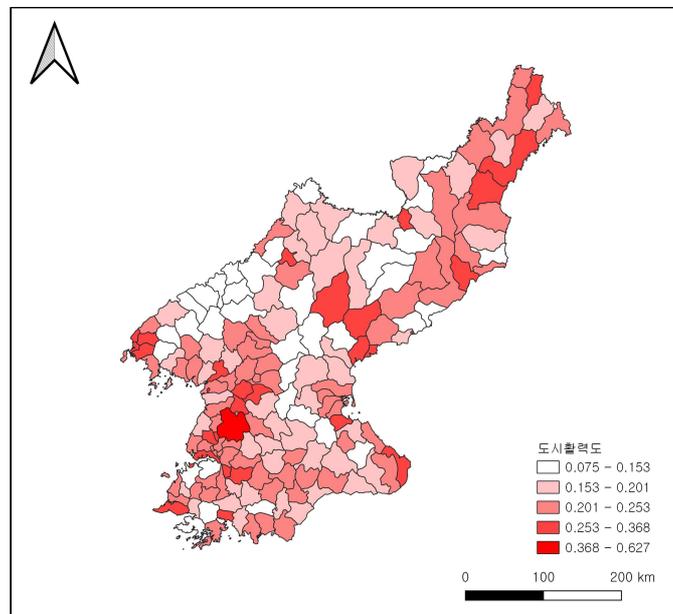


그림 9. 산출된 북한 도시활력도

표 7. 도시활력도 상위 20개 지역

시/군/구	모델 1	모델 2 (기준)	순위
평양 평양	0.1937	0.1700	1
남포 대안	0.1720	0.1597	2
남포 천리마	0.1530	0.1290	3
평안북도 신의주	0.1335	0.1187	4
강원도 고성군	0.1132	0.1156	5
강원도 금강군	0.1124	0.1152	6
함경남도 이원	0.1186	0.1133	7
강원도 강화군	0.1133	0.1125	8
함경남도 함흥시	0.1228	0.1122	9
강원도 원산시	0.1197	0.1108	10
강원도 철원군	0.1079	0.1106	11
황해북도 개성시	0.1160	0.1103	12
남포 강소	0.1257	0.1088	13
평안남도 순천시	0.1213	0.1086	14
황해남도 봉천	0.1044	0.1086	15
함경북도 명간	0.1041	0.1081	16
강원도 창도군	0.1047	0.1080	17
황해북도 봉산	0.1104	0.1077	18
남포 남포특별시	0.1201	0.1074	19
강원도 평강군	0.1053	0.1074	20

표 8. 도시활력도 하위 20개 지역

시/군/구	모델 1	모델 2 (기준)	순위
자강도 용림군	0.0451	0.0525	160
황해북도 신평	0.0458	0.0524	161
자강도 낭림군	0.0472	0.0521	162
양강도 삼수	0.0520	0.0518	163
평안남도 영원	0.0466	0.0518	164
황해남도 은천	0.0489	0.0517	165
평안남도 맹산	0.0475	0.0513	166
함경북도 명천	0.0453	0.0513	167
황해북도 연산	0.0566	0.0511	168
강원도 법동군	0.0451	0.0510	169
자강도 고평군	0.0436	0.0508	170
양강도 대흥단	0.0492	0.0506	171
황해남도 웅진	0.0491	0.0502	172
양강도 풍서	0.0447	0.0498	173
자강도 우시군	0.0469	0.0497	174
자강도 초산군	0.0437	0.0497	175
황해남도 안악	0.0538	0.0492	176
자강도 위원군	0.0447	0.0485	177
평안북도 천마	0.0446	0.0482	178
평안북도 신도	0.0490	0.0456	179

3. 도시활력도 기반 북한 도시특성 분석

본 연구에서는 남한지역을 대상으로 생성된 도시활력도 추정 모델을 활용하여 북한지역에 대해 적용하였으며, 적용을 통해 추정된 북한 도시활력도 결과물을 활용하여 북한 도시지역에 대해서 정성분석을 수행하였다. 분석의 목적은 기존에 북한 도시지역에 대해서 알려진 통념과 도시활력도 추정 결과물이 일치하는지 여부를 확인함에 있으며, 이러한 정성분석을 통해서 머신러닝 기법을 활용한 북한 도시활력도 추정 방법론에 정당성을 부여하고, 북한 도시의 일관된 특성을 도출하는 데에 있다.

가. 도시특성 분석 대상지 선정

○ 북한 도시활력도 상/하위 지역 선정

- 본 연구에서는 총 179개의 산출된 북한 도시활력도에 대해서 상위 5개 및 하위 5개 지역을 우선적으로 검토하여 도시활력도 상위지역과 도시활력도 하위지역의 도시특성들을 확인하였다.
- 먼저 남한지역에 대해서 도시활력도를 산출 후, 북한지역에 적용하는 방식으로 이루어졌으며, 모델 1은 기본공간정보만으로 산출된 도시활력도, 모델 2는 기본공간정보와 야간위성영상 모두를 활용하여 산출된 도시활력도였다.
- 선행연구에서 모델 2의 신뢰도가 더 높게 나타난 점에 기반하여 본 연구에서는 모델 2를 기준으로 도시특성의 순위를 책정하였다.
- 최종적으로 선정된 정성분석 지역은 다음과 같다.
 1. 도시활력도 상위지역: 평양시, 남포 대안, 남포 천리마, 평안북도 신의주, 강원도 고성
 2. 도시활력도 하위지역: 평안북도 신도, 평안북도 천마, 자강도 위원군, 황해남도 안악, 자강도 초산군

나. 도시활력도 상위지역

○ 평양시

- 평양은 북한의 수도이자 인구 약 300만 명의 북한 최대 도시이다. 또, 주요 정치기관이 집중되어 있는 지역으로, 국가 주도의 핵심 사업들이 진행되는 지역이다.
- 평양의 도시활력도에 기여한 확인된 주요 지역 특성은 다음과 같다.
 1. 평양 내에서도 가장 높은 야간위성영상 밝기값을 나타내는 지역은 열병식 등의 주요 정치행사가 진행되는 만수대의사당과 김일성광장이었다.
 2. 평양시 사동구역에 위치한 미림동 일대 역시 높은 밝기값을 보인 지역으로, 열병식 훈련장이 있음을 확인하였다.
 3. 북한의 국가계획위원회와 개선문이 위치한 모란봉거리 역시 높은 밝기값을 보였다.
- 반면, 주요 주거밀집지역에서는 남한의 주거밀집지역과 비교하여 현저히 낮은 밝기값을 보였다(그림 10).

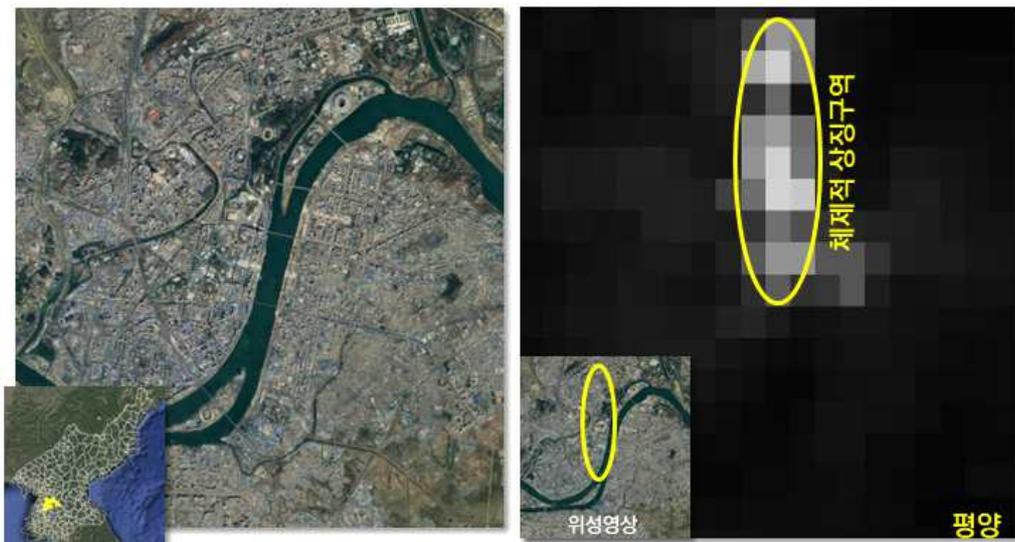


그림 10. 평양의 도시경관

- 야간위성영상으로 관측시 나타난 평양의 주요 광원들은 그림 11 및 그림 12와 같다.

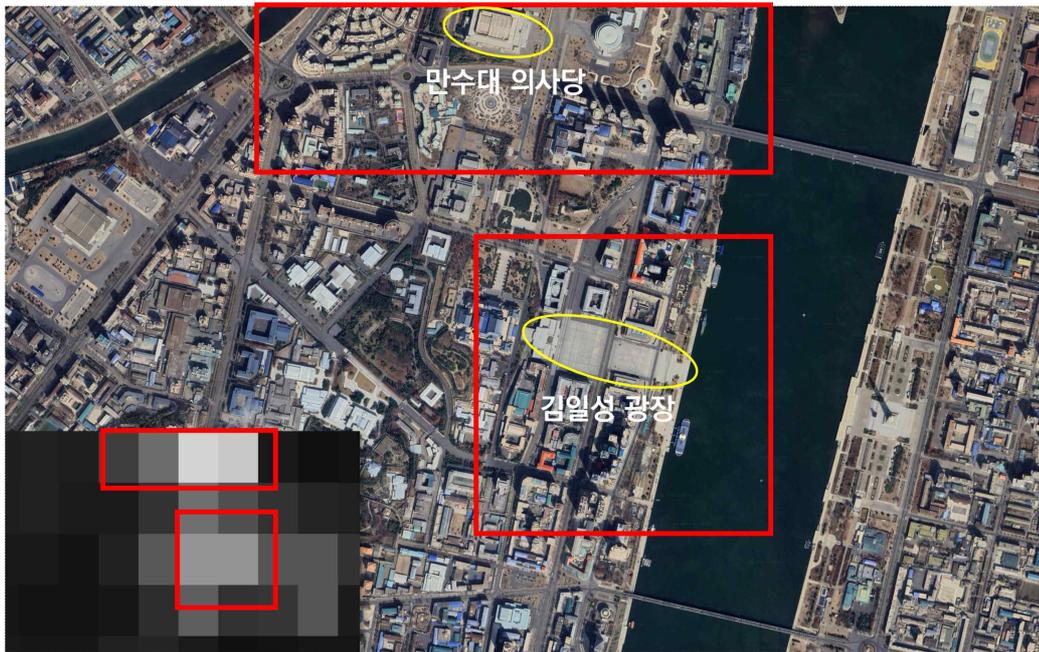


그림 11. 평양의 주요 광원 (1)



그림 12. 평양의 주요 광원 (2)

○ 남포시 대안구역

- 대안구역은 1983년 개칭되었으며 평양시 강남군, 강서구역 및 천리마 구역과 접하고 있다(그림 13).
- 대안구역의 주요 지역특성은 다음과 같다(2020 북한의 산업 1권, KDB 산업은행).
 1. 대안중기계연합기업소가 존재한다. 이는 대안구역에 있는 대표적인 전기기계공장으로 수력 및 화력 발전설비 등을 생산하고 있다.
 2. 대안친선유리공장, 대안전기공장 등도 존재한다.
 3. 또한 대안중기계연합기업소, 대안절연재료연구소 등에서 나노 연구도 진행중이다.
 4. 대동강변에 위치하고 있어 공업용수 공급이 용이하며 철도와 고속도로 등도 인접하여 원자재와 제품의 반출입이 용이하다.
 5. 이처럼 많은 공장이 존재하기 때문에 도시활력도가 높게 나온 것으로 추정되며 높은 도시활력도를 갖지만 한국과 달리 야간위성영상이 매우 어둡게 나타난다.
- 대안구역의 주요 광원은 그림 14와 같다.



그림 13. 남포시 대안구역의 도시경관



그림 14. 남포시 대안구역의 주요 광원

○ 남포 천리마

- 남포시는 각각 군용과 석탄 수출을 위한 두 개의 주요 항구가 있으며, 조선소 역시 함께 위치한 주요 지역이다. 또 북한 내 인구수 2위를 차지하는 대도시로 공업지대가 항구 근처에 대규모로 존재한다 (Makowsky & Liu, 2020).
- 남포 천리마구역의 야간위성영상의 밝기값은 북한 내 지역 중 상위권을 차지하고 있으나, 남한의 항구에 비하여 매우 낮은 수치를 보이며 육안으로는 식별이 불가능한 수준이다.
- 남포 천리마구역의 주요 도시 활력도 특성은 다음과 같다.
 1. 천리마구역에는 남포시의 여러 항구 중 군사적 목적의 항구가 있으며, 해당 항구를 통해 잠수함 발사 탄도 미사일(SLBM) 시험이 이뤄진 주요 군사 시설로 분류된다.
 2. 항구 서쪽으로는 군의 유류 저장시설이 위치해있으며, 최근인 2023년에도 확장이 이뤄졌음으로 알려져 있다(Bermudez & Ahn, 2015).

- 야간위성영상으로 관측시 나타난 천리마 구역의 도시경관과 주요 광원들은 그림 15 및 그림 16과 같다.

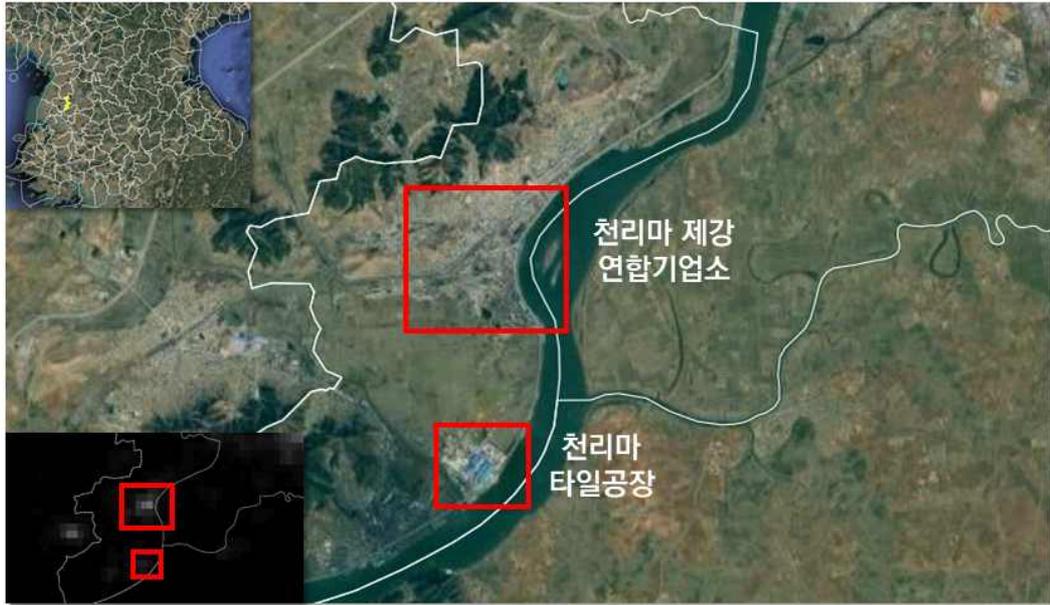


그림 15. 남포시 천리마구역의 주요 광원



그림 16. 남포시 천리마구역의 타일공장 및 제강 연합기업소

○ 평안북도 신의주시

- 신의주시는 2013년 특수경제지대로 지정되었고 2014년에는 국제경제지대로 명칭을 변경하며 안정적인 국제 투자 유치를 꾀하였다.
- 신의주시의 주요 지역특성은 다음과 같다(2020 북한의 산업 1권, KDB 산업은행).
 1. 신의주시에는 역청탄과 갈탄이 많이 매장되어 있어 이러한 자원을 바탕으로 중화학공업과 경공업이 발달하여 많은 공장이 존재한다.
 2. 또한 1960년대부터 철도의 전철화를 추진하여 평의선(평양~신의주) 노선을 완성하였다.
 3. 국제경제지대라는 명칭에 걸맞게 신의주~단동의 국제철도 또한 운영하고 있다.
 4. 이처럼 많은 공장이 존재하고 중국과의 무역이 활발하기 때문에 도시 활력도가 높게 나온걸로 추정되며 높은 도시활력도에 비해 한국과 달리 야간위성영상이 매우 어둡게 나타난다.
- 또한 신의주시는 중국 단둥지역과 경계에 위치하며(그림 17), 중국과의 육상무역의 상당수가 해당 지역을 통해서 이루어지고 있어 도시활력도가 높게 나타났다.



그림 17. 평안북도 신의주시의 도시경관

○ 강원도 고성군

- 강원도 고성군은 남한과 접해있는 지역으로, 남한과 연결된 금강산청년선이 위치해 있었으나, 최근 이를 끊고 비무장지대 내에 대전차 방벽 및 긴 길이의 장벽이 세워진 지역이다.
- 경제적인 측면에서는 금강산을 이용한 문화휴양도시로 운영되고 있으며, 공예품생산이 주를 이루고 있다(Makowsky, Town, & Ragnone, 2023).
- 강원도 고성군의 주요 도시 활력도 특성은 다음과 같다.
 1. 야간위성영상의 밝기값을 반영하지 않은 경우 강원도 고성군의 도시 활력도는 전체 지역의 15위 수준이었으나, 야간 조명도를 고려할 경우에는 상위 5위의 도시 활력도를 보였다.
 2. 비무장지대 및 산지가 많이 포함된 지역으로 북한지역이 전반적으로 낮은 야간위성영상 밝기값을 보이기 때문에, 상대적으로 높은 도시 활력도 값을 보이는 것으로 판단된다.
 3. 또한 인근에 고성역과 장전항이 위치하며, 인근에 금강산이 위치하여 상대적으로 높은 접근성을 가지며, 이에 따라 높은 도시활력도를 가지는 것으로 추정된다.
- 고성군의 도시경관은 그림 20과 같다.



그림 20. 강원도 고성군의 도시경관

- 야간위성영상으로 관측시 나타난 고성군의 주요 광원들은 그림 21 및 그림 22와 같다.
- 고성군은 남한과의 접경지역으로, 북한 지역 내에서 상대적으로 밝음에도 불구하고 남한 접경지역과 비교하여 밝기가 매우 낮게 나타남을 확인할 수 있다.



그림 21. 남북한 강원도 고성군의 야간위성영상 밝기값 비교



그림 22. 강원도 고성군의 주요 광원

다. 도시활력도 하위지역

○ 평안북도 신도

- 신도군은 농업중심도시로, 여러 섬들의 집합체로 이루어져 있으며, 각각의 섬들의 연결성이 낮고 육지와와의 교통수단이 적어 접근성이 떨어지는 지역이다.
- 신도군의 주요 지역특성은 다음과 같다(북한지역정보넷).
 1. 신도군은 비단섬, 황금평, 조룡섬, 서호앞섬, 서호섬 그리고 기타 작은 섬들로 이루어져있다.
 2. 산림은 신도군 전체면적의 2%에 불과하다.
 3. 신도군의 기본 생산물은 갈이다. 생산된 갈은 신의주화학섬유공장의 섬유원료로 이용된다.
 4. 교통은 해상운수와 강하천운수가 기본으로 되어있다. 신도~황금평~신의주 사이에서는 주로 여객수송이, 비단섬과 용암포 사이에서는 화물수송이 진행된다.
 5. 중국 접경지역에 있음에도 대부분이 농지로 이루어져 있어 야간위성영상의 광원이 거의 없으며, 도시활력도가 매우 낮다.
- 신도군의 주요 도시경관 및 광원은 그림 23과 같으며, 인근의 중국 동강 시와 비교했을 때 광원이 전무함을 알 수 있다.



그림 23. 평안북도 신도군의 도시경관 및 주요 광원

○ 평안북도 천마

- 평안북도 천마군은 곡물생산을 위주로 하는 농촌경제로 이루어져 있으며, 군 넓이의 82.2%가 산지, 약 13% 정도가 농경지로 이루어져 있다. 금, 은, 연 등의 지하자원이 금골광산 일대에 매장되어 있어 특수행정지역으로 지정되어 관리되고 있다.
- 평안북도 천마군의 주요 지역특성은 다음과 같다.
 1. 평안북도는 중국과의 접경지역인 신의주시로 통하는 약 88km의 도로가 있음에도, 야간 조명도를 함께 고려하였을 때에는 낮은 도시활력도를 보이는 것으로 나타났다.
 2. 산지를 제외한 지역은 대부분 농지로 활용되고 있으며, 주로 옥수수를 재배하는 것으로 알려져 있다.
 3. 거주지역은 주로 살림집으로 구성되어 있으며, 땅집과 아파트 중 주로 땅집으로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 해당 지역은 최근(2024년 8월 17일)에 새로운 살림집 건설이 완공되었으므로 알려졌다.
- 평안북도 천마군의 주요 도시경관은 그림 24와 같다.



그림 24. 평안북도 천마군의 도시경관 및 야간위성영상

○ 자강도 위원

- 위원군은 주로 옥수수, 벼, 콩, 보리 등을 주로 재배하는 산간지대 농업으로 경제가 이루어져 있으며, 지역의 상당수가 산악지형으로 구성 되어 접근성이 떨어지는 특징이 있다.
- 위원군의 주요 지역특성은 다음과 같다(북한지역정보포털).
 1. 산림이 전체면적의 87%를 차지한다.
 2. 지역 경제는 주로 산간지대농업 경제로 이루어져 있으며, 90년에 완공된 39만kW의 전력을 생산하는 위원발전소 또한 존재한다. 다만, 1996년에 발전기, 변압기 등 시설 노후화로 고장이 잦아 전력 생산, 송전 및 배전도 정상적으로 하지 못하는 어려움을 겪고 있다.
 3. 따라서 전력생산에 차질이 존재하며, 발전소가 존재함에도 불구하고 야간위성영상의 밝기값 및 도시활력도가 매우 낮게 나타남을 확인할 수 있다.
 4. 농업은 산간지대농업으로서 주로 옥수수, 벼, 콩, 보리를 재배하고 있다.
- 자강도 위원군의 주요 도시경관은 그림 25와 같다. 위원발전소가 위치함에도 불구하고 해당 구역의 밝기값이 매우 낮게 나타남을 확인할 수 있다.



그림 25. 자강도 위원군의 도시경관

○ 황해남도 안악

- 황해남도 안악군은 넓은 평야를 바탕으로 농경업과 과수업 등이 이뤄지고 있으며, 면적에 비하여 넓은 도로망이 구축되어 있다.
- 황해남도 안악군의 주요 지역특성은 다음과 같다.
 1. 사회기반 시설에 대비하여 야간위성영상의 밝기값이 매우 낮아 도시활력도의 차이가 크게 발생한 지역으로, 넓은 농경지 면적에 비하여 열악한 전기 사정으로 인한 것으로 추정된다.
 2. 살림집은 대부분 땅집으로 구성되어있으며, 땅집 주변으로 농경지가 넓게 펼쳐져 있음을 확인할 수 있다.
 3. 인근 지역은 대부분 도심지에 일정 수준 이상의 야간위성영상 밝기값을 가지나, 해당 지역에는 야간위성영상 광원이 전무함을 확인할 수 있다.
 4. 대부분 철도역이 존재하는 타 황해남도 지역들과 비교하여 철도역이 없다는 특이성을 가지며, 상대적으로 접근성이 떨어지는 것으로 보인다.
- 황해남도 안악군의 도시활력도 특성은 다음과 같으며(그림 26), 주변 황해남도 지역의 야간위성영상에 비해서 광원이 거의 전무함을 확인할 수 있다.



그림 26. 황해남도 안악군의 도시경관

○ 자강도 초산

- 초산군은 북한 내에서도 대표적인 빈곤 지역으로 알려진 자강도에 위치하며, 위원군의 바로 옆에 있어 유사한 지리적 특성을 공유한다(그림 27).
- 초산군의 주요 지역특성은 다음과 같다(북한지역정보넷).
 1. 산림이 전체면적의 86.2%를 차지한다.
 2. 지역 경제는 지방 공업과 농업 경제로 이루어져 있으며, 지방 공업은 방직 및 피복 공업이 주요 비중을 차지하고 있다.
 3. 농업은 주로 옥수수, 벼, 보리, 수수 등을 재배하며 자연 조건과 기후 후 풍토에 맞게 병발을 조성하여 양잠업 또한 발전시켰다.
 4. 교통은 신의주~강계, 박천~초산 간 도로가 통과하고 있다.



그림 27. 자강도 초산군의 도시경관

라. 정성분석 결과

본 연구는 도시활력도 상위지역과 하위지역에 대해서 구글 지도, OSM, 야간위성영상을 활용하여 정성분석을 수행하였으며, 정성분석을 통해서 북한 도시들에 대해서 일관된 특성을 도출하고자 하였다. 분석 수행 결과 도시활력도 상위지역들은 평양, 대안, 천리마, 신의주, 고성 등의 지역들이 있었으며, 하위지역에는 신도, 천마, 위원, 안악, 초산 등의 지역들이 있어 북한의 도시지역에 대해 알려진 사회적 통념과 도시활력도 추정 결과물이 일치함을 확인할 수 있었다.

또한 도시활력도 상위지역은 주로 특수목적 수행을 위해 정부 주도로 성장이 촉진된 도시지역으로 나타났으며, 도시활력도 하위지역은 주로 섬 또는 산악지형으로 인해 접근성이 제한되거나 농업중심지역으로 광원이 부족한 지역, 또는 보안시설의 존재로 인해 폐쇄적인 특징을 띠는 지역으로 나타났다.

○ 도시활력도 상위지역

- 정성분석이 수행된 도시활력도 상위지역에는 평양, 남포 대안, 남포 천리마, 평안북도 신의주, 강원도 고성 등의 지역들이 있으며, 각각의 지역은 특수한 목적을 수행하기 위하여 정부의 주도로 개발된 도시로 나타났다.
- 대표적으로 평양군은 사회주의 체제의 상징성을 띠는 도시로, 만수대 의사당, 김일성 광장, 평양 개선문 등의 상징적 건축물들의 존재로 인하여 야간위성영상의 밝기값이 높게 나타나는 경향이 있었다.
- 남포시 대안군 및 남포시 천리마군은 주요 공업지역 및 석탄항의 존재로 인하여 야간위성영상 및 도시활력도의 값이 높게 나타났다. 특히 천리마거리에 위치한 천리마제강 연합기업소와 타일공장 등은 북한의 대표적인 공업지역이다.
- 신의주 지역은 북한과 중국 간의 육상교역이 가장 활발하게 이루어지는 대표적인 무역도시이며, 이외에도 고성지역은 금강산 관광 및 남한과의 국경지역이, 원산지역은 원산 휴양지 및 원산 국제공항이 위치한 주요 관광지역임이 높은 도시활력도 값의 원인이었다.

○ 도시활력도 하위지역

- 정성분석이 수행된 도시활력도 하위지역에는 평안북도 신도, 평안북도 천마, 자강도 위원, 황해남도 안악, 자강도 초산 등의 지역이 있으며, 각각의 지역은 농업중심도시이거나, 섬지 간의 교통시설의 부재 등의 이유로 인하여 접근성이 크게 떨어지는 한계가 있는 지역이었다.
- 대표적으로 평안북도 신도, 평안북도 천마, 자강도 위원, 자강도 초산 지역은 농업중심 지역이었으며 해당 지역들은 상당수가 섬 또는 산지로 구성되어 접근성이 크게 떨어지는 지역으로 나타났다.
- 특히 자강도 지역은 전천 군수공장 등의 군수시설들이 상당수 위치한 지역이었으며, 보안시설의 존재로 인하여 폐쇄적인 특성을 띠는 지역이었다(그림 28).



그림 28. 자강도 전천군의 군수공장

- 황해남도 안악 지역은 타 농업중심지역들에 비해서 상대적으로 사회기반시설이 잘 구축되어 있었으나, 철도역이 부재하고, 상당수의 지역이 땅집 또는 농지로 구성되었으며, 야간위성영상의 밝기값이 매우 낮음 등의 이유로 인하여 도시활력도가 낮게 추정되었다.

○ 모델 1 & 모델 2 비교 분석

- 본 연구에서는 기본공간정보만으로 학습된 모델 1과 야간위성영상을 추가로 학습된 모델 2를 차분하여 그림 29와 같이 도식화하였다.

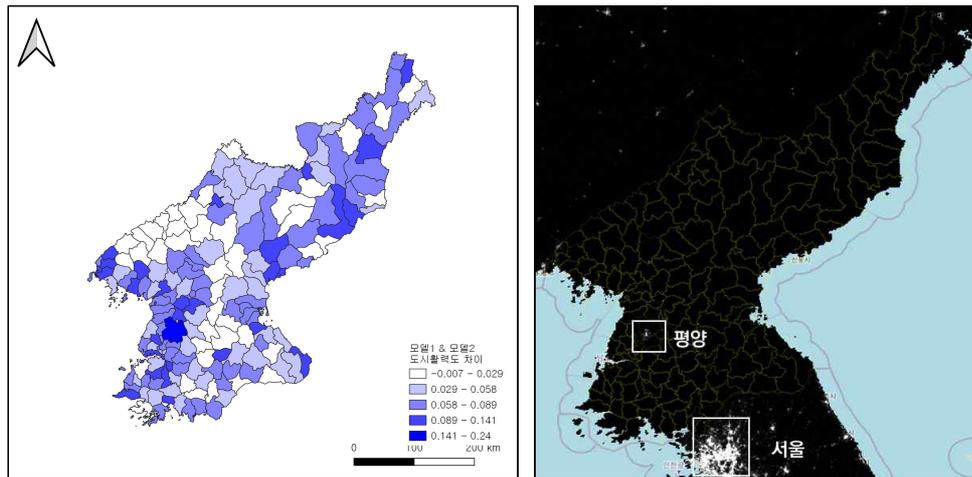


그림 29. 도식화된 모델 1 & 모델 2 도시활력도 차이 및 남북한 야간위성영상 밝기값 비교

- 대부분의 경우 모델 2에서 모델 1을 차분한 도시활력도 값이 양수 값으로 나타났으며, 이는 도시의 공간정보만으로 추정된 도시활력도에 비해서 야간위성영상의 밝기값만을 고려하여 추정된 도시활력도가 더 낮게 추정되었음을 의미한다.
- 또한 이러한 도시활력도 추정값의 차이는 평양, 신의주 등의 도시활력도 값 자체가 높은 지역들에 대해서 주로 크게 나타났다.
- 북한지역은 1인당 전력 공급량이 남한의 약 9% 수준으로(통계청 북한 통계), 만성적인 전력난이 발생함이 보고된 바 있으며, 전력 공급 역시 국가의 주도 하에 이루어져 전력공급이 불균형적임이 알려져 있다.
- 따라서 모델 1 및 모델 2의 비교분석을 통해서 북한 도시는 도시에 구축된 시설 또는 인프라에 비해서 상대적으로 전력 공급이 부족함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구의 세부 연구내용 및 최종 연구 성과 요약은 그림 30과 같다. 본 연구는 총 세 단계로 구성되었다. 먼저 남북한 전역에 대한 위성영상 및 사회경제 데이터셋을 구축하여 북한 도시활력도 추정을 기반을 마련한다. 또한 이렇게 구축된 데이터셋을 활용하여 남한지역에 대해 도시활력도 추정 모델을 학습시키고 북한에 적용하는 방식으로 북한 도시활력도를 추정한다. 마지막으로 추정된 도시활력도와 위성영상, OSM, 그리고 야간위성영상을 활용하여 정성분석을 수행하여 도시활력도 추정 방법론에 대한 정당성을 부여하고 북한 도시지역에 대한 일관된 결론을 도출한다.

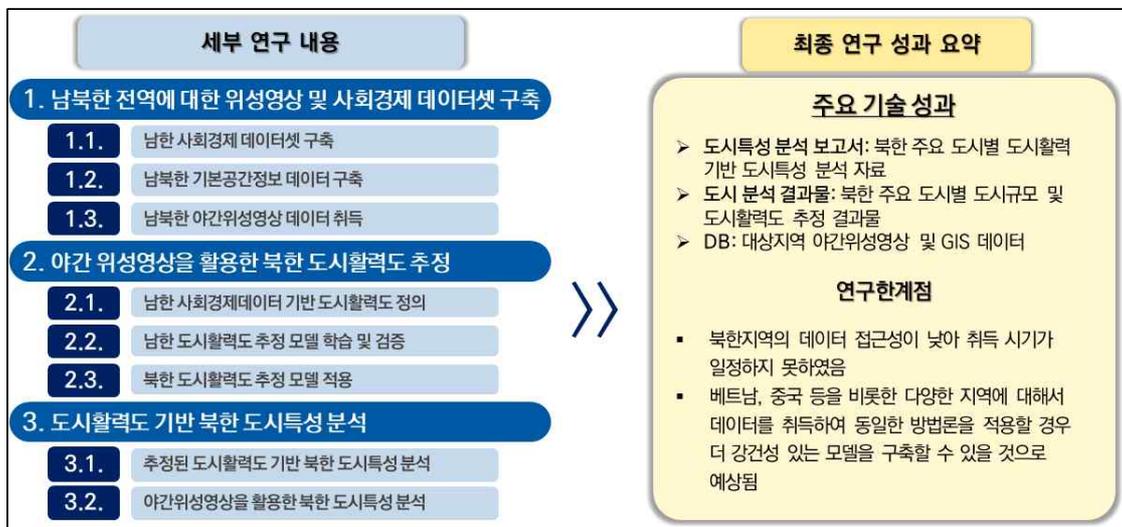


그림 30. 세부 연구내용 및 최종 연구성과 요약

본 연구의 주요 기술 성과로는 기계학습 모델을 통해 추정해낸 북한 주요 도시별 도시활력도 추정 결과물과 추정 결과물을 통해 분석한 북한 도시특성, 그리고 도시활력도 추정에 활용된 대상지역의 야간위성영상 및 GIS 데이터가 있다. 또한 본 연구의 주된 연구한계점으로는, 우선 북한지역의 데이터 취득 난이도로 인하여 구축된 데이터들의 시기가 일정하지 않았던 점이 있으며, 위성영상과 OSM, 야간위성영상의 취득 시기는 대체적으로 일치하나, 사회경제데이터들의 갱신 주기의 문제로 인해 여타 데이터에 비해서 3년 이상의 간극이 존재하였다. 또한 본 연구에서는 추정 및 검증 대상지역을 북한 도시지역으로 한정하였으나, 방법론의 특성상 대상지역에 구애받지 않고 적용이 가능하므로, 북한과 유사한 특성을 띤 베트남 또는 중국 등의 지역에 대해 동일한 방법론으로 도시활력도를 추정하여 더 강건성 있는 모

델을 구축하고 광범위한 분석을 가능케 할 수 있을 것으로 보인다. 마지막으로 본 연구는 단일시기의 야간위성영상을 활용하여 대상지역의 정성분석을 수행하였으나, 야간위성영상은 취득 주기가 짧아 재촬영이 용이하므로, 추후 연구에서는 다시기 영상의 시계열 분석을 통해서 시간에 따른 도시활력도의 변화양상을 파악하고 북한 도시분석에 대한 다차원적인 연구를 수행할 수 있을 것이다.

본 연구는 다음과 같은 점에서 가치를 가진다. 우선 본 연구에서는 사회경제지표를 활용하여 도시활력도를 새로 정의하였으며, 이를 물리적 접근 및 정보 취득이 불가능한 북한 지역에 대해서 적용하여 기본공간정보와 야간위성영상을 기반으로 도시활력도를 추정하는 기계학습 모델을 생성하였다. 또한 북한지역에 대해서 추정된 도시활력도와 야간위성영상을 기반으로 북한 도시의 정성분석을 수행한 결과 선행연구로 알려졌던 북한 도시들의 정보들과 본 연구에서 추정해낸 도시활력도 추정 결과물이 일치하는 양상을 보였으며, 이를 통해서 추정 방법론의 정당성을 제시하였다. 마지막으로 본 연구에서는 수행된 정성분석 결과물을 종합하여 북한의 도시활력도와 각 도시의 특성에 대한 일관된 결론을 도출하였다는 점에서 가치가 있다.

본 연구에서 제안한 도시활력도 추정 방법론 및 결과물과, 정성분석을 통해 취득한 북한 도시들에 대한 정보들은 추후 북한 도시연구를 위한 기반이 될 것으로 보이며, 북한뿐만 아니라 물리적 접근 및 정보의 접근이 불가능한 기타 지역들에 대해서도 해당 방법론의 확장적용이 가능할 것으로 보인다.

III. 연구 성과 및 예산

1. 연구 성과

본 연구의 주요 성과물은 북한의 주요 도시별 도시활력도 추정 결과물과 북한 주요 도시별 도시활력도 기반 도시특성 분석 보고서, 모델학습에 활용된 대상지역의 야간위성영상 및 GIS 데이터셋, 그리고 논문 게재 1건 및 학술발표 1건이 있다.

○ 북한 도시활력도 추정 결과물

- 북한 도시활력도 추정 결과물 1건 (Geotiff, Shapefile, xlsx 형태 각 1건)

○ 북한 도시특성 분석 보고서

- 북한 주요 도시별 도시활력 기반 도시특성 분석 보고서 1건

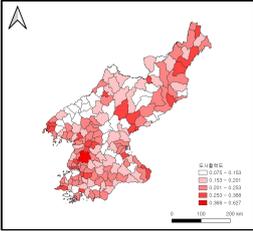
○ 북한 도시활력도 추정 데이터셋

- 북한지역 야간위성영상 3장 (Geotiff)
- 북한지역 기본공간정보 GIS 데이터 묶음 1건 (Shapefile)

○ 학술논문 1건 및 학술발표 1건

- 대한원격탐사학회지(korean journal of remote sensing; KJRS)에 ‘공간 정보데이터 및 야간 위성영상을 활용한 북한의 도시활력 분석’ 논문 게재 (이예석 외, 2024)
- 2024년 10월 16일에서 2024년 10월 18일까지 주최된 대한원격탐사학회(korean society of remote sensing)에 ‘기본 공간 정보 및 야간 위성 영상을 활용한 북한의 도시활력도 분석’ 제목으로 학술발표 진행

표 9. 본 연구의 성과물 요약

구분	항목	계획	산출물
분석 결과물	북한 도시활력도 추정 결과물	주요 도시별 분석자료 (Geotiff 및 CSV 형식)	추정된 북한 도시활력도 데이터 1건 (Geotiff, xlsx, Shapefile 각 1건)
	북한 도시특성 분석 결과물	북한 주요 도시별 도시활력 기반 도시특성 분석 보고서	보고서 1건
정량적 성과	DB	대상지역 위성영상(GeoTiff) 및 GIS 데이터(Shapefile)	야간위성영상 3장 대상지역 GIS 데이터 묶음 1건
	등재지 및 학술발표	1건 이상	학술논문 1건 및 학술발표 1건
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>추정된 도시활력도</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>북한 도시특성 분석 보고서</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>DB</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>학술발표 1건 학술논문 1건</p> </div> </div>			

2. 예산집행

○ 예산 계획

표 10. 본 연구의 예상 예산 집행 내용

항목	세목	신청액	산출근거
직접비	인건비	18,000,000	인건비, 연구수당
	연구활동비	12,000,000	학회참가, 사무용품, 회의비

○ 실제 예산 집행

표 11. 본 연구의 실제 예산 집행

연구예산	최종집행액	최종잔액	사유
30,000,000	30,000,000	0	

표 12. 본 연구의 실제 예산 집행 내용

항목	세목	신청액	산출근거
직접비	인건비	18,000,000	인건비, 연구수당
	연구시설, 장비비	1,800,000	위성영상
	연구활동비	10,200,000	학회참가, 사무용품, 북한 도시활력도 분석 관련 회의비

참고문헌

- 국토연구원. (2018) 국토9월호, 북한의 도시와 국토개발을 위한 제언
- 김영룡. (2020). 빅데이터를 활용한 도시활력 측정과 도시공간 유형 분류. 경기연구원
- 김준현. (2015). Landsat 영상을 활용한 북한 주요도시의 도시화 지수 분석. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 33(4), 277-286.
- 박성열, 이은정, 이정요, 한지만. (2021). 북한도시연구의 성과와 과제: 선행연구 분석 중심으로. Journal of North Korea Studies, 7(1), 129-162.
- 전상인. (2016). 북한, 도시로 읽다. 통일교육원
- 정시윤, 전병운. (2020). 공간 빅데이터와 야간 위성영상을 활용한 도시 활력 평가: 대구시를 사례로. 한국지리정보학회지, 23(4), 217-233.
- 정은이. (2017). Google Earth 위성자료를 통해서 본 신의주시의 공간적 특징: 무역, 산업, 상업지구를 중심으로, KDI북한경제리뷰, 19(3), 25~38
- 이슬기, 한주. (2021). 코로나 19 팬데믹 기간의 서울의 사회적 거리두기 단계 변화와 The Suomi National Polar-Orbiting Partnership (S-NPP) 위성 영상을 이용한 Nighttime Light (NTL) 간의 상관관계. 대한원격탐사학회지, 37(6), 1647-1656.
- 이예석, 이동현, 김지용, 김용일. (2024) 공간정보데이터 및 야간 위성영상을 활용한 북한의 도시활력 분석, 대한원격탐사학회지, 40(6-1), 1209-1217
- Bermudez, J. S., Ahn, S. Y. (2015, July 10). North Korea's Ponghwa Chemical Factory. 38 North. <https://www.38north.org/2015/07/jbermudez071015/>
- Choi, J. Y. (2015). Demographic structural change in North Korea and its implications. The Bank of Korea, 18, 1-30
- Jacobs, J. (1961). The death and life of American cities. Random House.
- KDB산업은행, (2020). 북한의 산업
- Kim, D. (2022). Assessing regional economy in North Korea using nighttime light. Asia and the Global Economy, 2(3), 100046.
- Kim, Y. L. (2018). Seoul's Wi-Fi hotspots: Wi-Fi access points as an indicator of urban vitality. Computers, Environment and Urban Systems, 72, 13-24.
- Maas, P. R. (1984). Towards a theory of urban vitality (Doctoral dissertation, University of British Columbia).
- Makowsky, P., Liu, J. (2020, August 4). Nampo: A tale of two ports. 38 North. <https://www.38north.org/2020/08/nampo080420/>

Makowsky, P., Town, J., & Ragnone, I. (2023, January 26). North Korea's tourism industry: A grand initiative in limbo. 38 North. <https://www.38north.org/2023/01/north-koreas-tourism-industry-a-grand-initiative-in-limbo/>