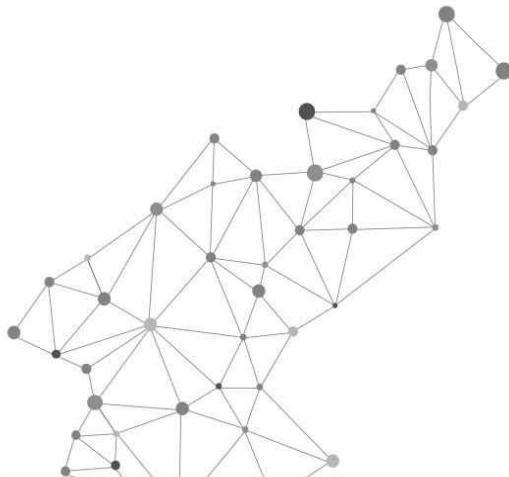


동향과 분석

이산화질소(NO_2) 농도 수치를 통해 바라본 북한경제:
환경위성 데이터의 가능성과 한계 | 남진욱



이산화질소(NO₂) 농도 수치를 통해 바라본 북한경제: 환경위성 데이터의 가능성과 한계

남진욱 | 한국개발연구원 부연구위원 | jnam@kdi.re.kr

I. 서론

북한경제를 연구하는 데 있어 신뢰할 수 있을 만한 통계 데이터가 부족하다는 것은 연구자 모두가 공감하는 사실이다. 코로나19 방역을 위해 북한 당국이 국경봉쇄를 택한 후에는 그렇지 않아도 입수가 어려웠던 자료를 더더욱 구하기 어려워졌다. 남북 간 특수관계나 한반도 지정학적 국제관계 등을 고려하면 북한의 경제 동향 및 추세 분석은 매우 중요함에도 불구하고 신속한 분석을 위한 동향자료가 항상 부족한 현실인 것이다. 이러한 상황에서 최근 북한경제를 평가하고 추세를 파악하기 위한 목적으로 인공위성 자료를 활용하는 연구가 점차 각광받고 있다. 인공위성 자료는 발표 빈도가 매우 드문 일반적인 북한 관련 자료와 달리, 고빈도 데이터(high frequency data)로 동향을 파악하는 데 큰 도움이 될 수 있으며, 북한 지역 곳곳을 살펴볼 수 있어 지역연구 가능성을 열어줄 수 있는 장점이 있다. 본고는 인공위성 자료 중 환경위성을 활용한 이산화질소 농도 데이터를 북한의 지역별로 소개하고, 이 데이터가 나타내는 북한의 이산화질소 배출량 추세를 통해 경제 현황을 파악할 수 있을지 그 가능성과 한계에 대해 분석한다.

환경위성 데이터를 활용해 북한을 분석한 연구는 먼저 서울대학교 통일평화연구원(2020)이 있다. 이 연구는 한국과 북한의 이산화탄소(CO₂)와 이산화질소(NO₂), 이산화황(SO₂) 등 대기오염물질 농도 분포 양상을 살펴봄으로써 북한의 대기오염 현황 파악용 기초자료를 구축했다. Chong *et al.*(2023) 또한 북한 대기질을 분석했는데, 이 논문에서는 환경위성을 활용한 자료 중 상대적으로 장기(2005~18년) 시계열 자료를 구축한 기여가 있다. 이렇듯

환경위성 데이터는 주로 북한의 환경 관련 연구를 목적으로 이루어졌다. 하지만 최근 같은 자료를 활용하여 북한경제를 연구하려는 시도도 나오고 있다. 국립환경과학원(2023)은 정지 궤도 환경위성으로 관측한 이산화질소 농도 영상 자료를 통해 서울이 평양보다 이산화질소 농도가 약 3배 높으며, 평양은 서울에 비해 자동차 통행량이나 산업활동이 많지 않아 평일과 휴일의 농도 차이가 크지 않은 것을 자료 활용 예시로 소개했다. 이원진(2023)은 Chong *et al.*(2023)의 자료를 활용하여 2005~18년 북한의 연평균 이산화질소 농도와 국민총소득(GNI)의 상관관계가 0.53 정도임을 계산하여 북한의 이산화질소 농도와 경제의 전반적인 추세가 비슷함을 보여줬다. 이석(2024) 또한 이산화질소 농도를 통해 북한경제를 파악하고자 시도했으며, 2018~23년 북한의 주요 산업 지역과 시설에서 배출되는 이산화질소가 하락하는 추세를 보여줬다.

본 연구에서는 이산화질소 농도를 활용해 북한 전체나 주요 도시 주변만을 분석한 기존 연구와는 달리 북한의 행정구역별 및 주요 거점의 농도 자료를 구축하여 그동안 분석하기 어려웠던 북한의 지역별 연구의 가능성을 열었다는 차이점이 있다. 또한 연도별뿐만 아니라 월별 및 분기별 데이터를 구축하여 인공위성 자료의 장점 중 하나인 속보성을 활용할 수 있도록 하였다. 구축한 자료에 따르면 북한 내 이산화질소 농도는 2019~21년 사이 비슷한 수치를 나타냈으나, 2022년 들어 크게 하락한 후 감소 추세가 2024년 2월까지 이어지는 것으로 나타났다. 북한의 서부 지역 일산화탄소 농도가 동부 지역에 비해 높게 나왔으며, 특히 수도인 평양 주변, 평안남도 북창군 주변 그리고 평안북도 신의주 주변의 수치가 높았다. 또한 최근 전반적으로 하락세인 북한 전체 이산화질소 농도와 달리 주요 화력발전소 주변 농도는 상대적으로 하락세가 더디거나 오히려 더 상승하는 모습을 관찰할 수 있었으며, 야간 조도 데이터를 통해 최근 생산된 전력이 평양지역으로 집중되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 실제로 이산화질소 농도의 변화가 북한의 경제활동을 어느 정도 대변하는지는 분석이 더 필요하겠으나 신속하게 정보를 얻을 수 있는 만큼 북한경제 현황 파악에 새로운 가능성을 제시한다.

다만, 이산화질소 농도 데이터를 활용하는 데 몇 가지 유의해야 할 점이 있다. 먼저 이산화질소는 시기에 따라 관측치 차이가 크게 나는 계절성이 매우 짙게 나타나는 문제가 있다. 계절성 조정을 하더라도 구축한 데이터의 시계열이 2018년 5월~2024년 2월, 70개월 정도로 아직 매우 짧아서 추후 자료가 계속 더해지면서 계절 조정된 수치가 크게 변할 가능성이 존재한다. 그리고 이산화질소 물질 특성상 주변 환경의 영향을 받는 것으로 보인다. 먼저 바람의 영향으로 이산화질소 발생원으로 의심되는 곳 주변 지역 농도도 같이 높아진다. 물론 이산화질소

본고는 이산화질소 농도 데이터를 개괄적으로 설명하고, 북한 지역별 이산화질소 농도 추세를 살펴본다. 또한 북한경제를 연구하는 데 이산화질소 농도 자료를 어떻게 활용할 수 있을지 그 가능성과 한계를 제시한다.

5

측면에서는 환경위성의 산출물이 야간 조도에 비해 강점을 가지고 있다고 볼 수 있다. Sentinel-5P 위성의 자료는 NASA의 데이터 사이트(<https://disc.gsfc.nasa.gov/>)에서 일반에 공개 및 제공하고 있으며, 본고는 그중 TROPOMI 센서로 관측한 이산화질소 산출물 자료(TROPOMI NO₂ Level2 자료에서 대류권 이산화질소 칼럼농도)를 사용했다.²⁾ 데이터의 공간해상도는 3.5km×5.5km이다. 본고는 2018년 5월 1일부터 2024년 2월 29일까지의 자료를 활용했다. 이 데이터는 북한의 행정구역 정보와 지리정보시스템(Geographic Information System: GIS)을 이용하여, 북한 전역뿐만 아니라 도별 및 행정구역과 발전소, 항구 등 주요 거점 지역 주변의 이산화질소 농도 수치를 추출하여 구축했다.

〈표 1〉은 북한을 포함해 아시아 지역을 관측하는 환경위성을 정리하여 보여준다. 참고로 NASA는 Sentinel-5P 위성의 자료뿐만 아니라 Aura 위성의 OMI 센서를 이용한 대기오염 물질 농도 자료를 Global Nitrogen Dioxide Monitoring Home Page를 통해 공개하고 있으며, 우리나라 환경부 또한 2020년 한반도 지역을 관측하는 GK-2B 환경위성을 발사하여 관련 자료를 환경위성센터 누리집을 통해 대중에 공개하고 있다. 이 두 위성 자료에 대한 설명은 이원진(2023)에 자세히 나와 있으며, 전정길(2024)은 이들 자료를 활용할 수 있는 플랫폼을 설명한다.

[그림 1]은 이 TROPOMI 센서를 통해 얻은 자료로 ESA에서 시각화한 것을 캡처한 그림이다. 예를 들기 위해 북한, 한국과 중국 일부의 2023년 12월부터 2024년 2월까지의 평균 이산화질소 농도 자료를 선택했다. [그림 1]에 따르면 동 기간 중 북한지역 농도가 짙게 나타나는 지역은 평양직할시 주변 지역, 평안남도 북창군 주변 지역 그리고 평안북도 신의주시 주변 지역이다. 북창 주변에는 북한 최대 화력발전소인 북창화력발전연합기업소와 여러 탄광이 있으며, 북한의 수도인 평양에는 북한에서 가장 많은 인구가 살고 화력발전소를 포함한 주요 산업시설이 자리 잡고 있다. 북·중 접경지대인 평안북도 신의주는 중국의 이산화질소 농도 영향이 미치는 것을 엿볼 수 있다. 하지만 함경도나 강원도와 같은 동해안 지역과 북쪽에 위치한 자강도 및 양강도에서는 이산화질소 농도가 상대적으로 굉장히 낮은 것을 볼 수 있다.

2) TROPOMI NO₂ Level2 산출물에서 제공하는 자료의 주요 품질 플래그(flag) qa_value가 0.75보다 높을 경우에만 사용했다. 0.75 수치는 TROPOMI 알고리즘 문서에서 권장하는 조건이며, 구름, 눈/얼음, 산출 오류 등의 이유로 수치 품질이 낮을 수 있다. 이에 따라 수치 품질이 낮은 일부 일 자료는 기록되지 않았다.

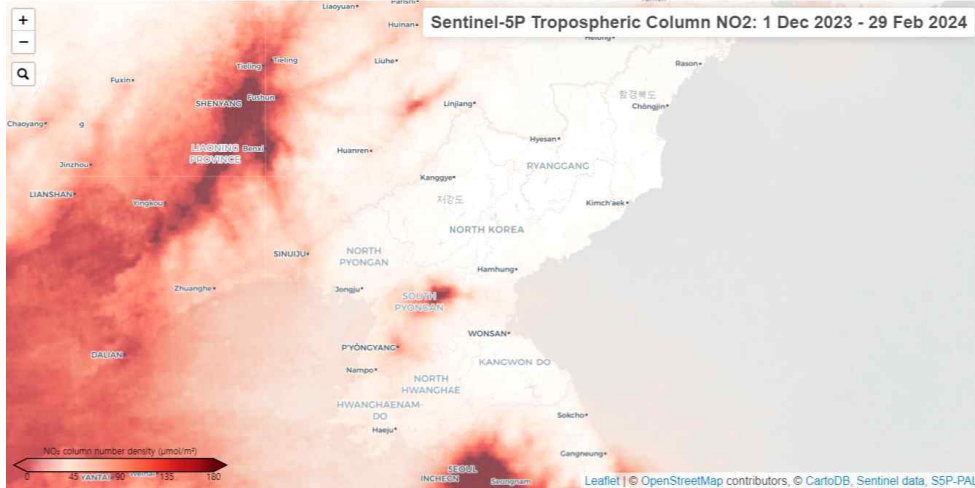
〈표 1〉 북한 포함 아시아 지역을 관측하는 환경위성 종류

	GEMS	OMI	GOME-2	TROPOMI
국가 (기관)	대한민국 (환경부)	미국 (NASA)	유럽 (ESA)	유럽 (ESA)
발사일	2020. 2. 19.	2004. 7. 15.	2006. 10. 19. (MetOp-A) 2012. 9. 17. (MetOp-B) 2018. 11. 7. (MetOp-C)	2017. 10. 13.
위성	GK-2B	Aura	MetOp	Sentinel-5P
궤도	GEO	LEO	LEO	LEO
공간해상도	3.5×8km ²	13×24km ²	40×80km ²	3.5×5.5km ²
시간해상도	8 times per day	1 day	29 days	1 day
관측 범위	동아시아	전 지구	전 지구	전 지구
관측 시간 (대한민국 통과 시간대)		13:45	8:00~11:30	13:30
주요 산출물	O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , HCHO, Aerosol, Cloud	O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , HCHO, CHOCHO, Aerosol	O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , H ₂ O, HCHO, CHOCHO, Aerosol, Cloud	O ₃ , CO, SO ₂ , NO ₂ , CH ₄ , HCHO, Aerosol
데이터 가용 기간	2020. 8. 1~현재	2004. 10. 1~현재	2006. 11. 1~현재	2018. 4. 30~현재

	SCIAMACHY	MODIS	OCO-2	OCO-3
국가 (기관)	유럽 (ESA)	미국 (NASA)	미국 (NASA)	미국 (NASA)
발사일	2002. 3. 1	1999. 12. 18(Terra) 2002. 5. 4(Aqua)	2014. 7. 2.	2019. 5. 4
위성	ENVISAT	Terra Aqua	OCO-2	OCO-3
궤도	LEO	LEO	LEO	LEO
공간해상도	30×600km ²	10×10km ² (AOD)	2.25×1.29km ²	2.25×1.29km ²
시간해상도	6day	1~2day	16days	16day
관측 범위	전 지구	전 지구	전 지구	전 지구
관측 시간 (대한민국 통과 시간대)	11:00	10:30(Terra) 13:30(Aqua)	13:30 (13:00~14:00)	
주요 산출물	O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , HCHO, CHOCHO, Aerosol	Aerosol, Cloud, Water Vapor, Land Cover	CO ₂	CO ₂
데이터 가용 기간	2002. 3. 1~ 2012. 4. 8	2004. 10. 1~현재	2014. 9. 6~현재	2019. 9. 6~현재

자료: 이한림(2023).

[그림 1] 북한 주변 이산화질소 농도 시각화 자료(2023년 12월~2024년 2월 평균)



자료: Copernicus Sentinel-5P Mapping Portal(<https://maps.s5p-pal.com/no2-tropospheric/season/>, 접속일: 2024. 3. 29).

2. 분석에 있어 이산화질소 물질의 장점

환경위성 데이터 구축 시 다른 대기오염 물질이 아닌 이산화질소를 우선하여 활용한 데에는 이유가 있다. 먼저 이산화질소의 발생원은 크게 자연적 발생원과 인위적 발생원이 있는데, 자연적 발생원으로 토양 세균의 유기물 분해와 산불 연소가 있다. 인위적 발생원으로는 발전소 화석연료 연소, 자동차 배기가스, 화학물질 제조가 있는데, 현대 사회에서의 산업 및 경제 활동이 이산화질소의 인위적 발생원과 양(+)의 관계가 있다는 것을 쉽게 유추할 수 있기 때문에 간접적으로 산업 및 경제 활동을 추정할 수 있다는 장점이 있다.³⁾

이에 최근 경제 관련 논문에서도 경제활동 정도를 분석하는 데 이산화질소 농도를 점차 더 활용하고 있다. 예를 들어, Keola and Hayakawa(2021)은 전 세계 173개국의 이산화질소 농도와 국내총생산(GDP) 데이터를 통해 코로나19로 인한 락다운(lockdown) 정책(재택근무 활성화)이 저소득 국가에서는 봉쇄 기간과 개방 후 농도가 모두 크게 준 반면, 고소득 국가에서는 봉쇄 기간과 개방 후 농도가 오히려 증가했음을 보여줬다. Luo *et al.*(2014)는 중국 성별 데이터를 통해 지역별 대기 오염물질 농도와 지역총생산(GRDP)이 양(+)의 상관관계를 가지고 있다는 것을 실험했다. De Ruyter De Wildt *et al.*(2012)는 이산화질소 수치와 수에즈

3) 최근 기술의 발전과 환경규제로 인해 선진국에서는 이산화질소 배출량이 줄어드는 추세이기 때문에 배출량과 경제활동이 항상 선형적으로 정(+)의 관계가 나타나지는 않는다. 예를 들어, 환경부 소속 수도권대기환경청(2022)에 따르면 우리나라의 이산화질소 농도는 최근 20년간 감소 추세를 보인다.

운하 등 주 무역 국제항로 운송량과의 상관관계가 매우 높은 것을 확인하는 등 이산화질소 증감과 경제 성장 및 침체 기간이 일치함을 보여줬다. 이 연구들은 북한경제를 파악하는데 이산화질소 농도 자료가 도움을 줄 가능성을 보여준다고 할 수 있다.

이산화질소 농도를 활용해서 경제활동을 추정하는 또 다른 이유로는 이산화질소의 대기 중 체류 시간이 짧다는 데 있다(Goldberg *et al.*, 2024). 이산화질소는 일반적으로 여름에 2~6시간, 겨울에 12~24시간 정도 대기 중에 체류하는데, 체류 시간이 짧으면 북한보다 훨씬 더 산업화된 한국 수도권 지역이나 중국의 동북 지역에서 발생하는 이산화질소가 바람의 영향을 받아 북한에 유입되는 양이 상대적으로 낮을 것이라 유추할 수 있다.⁴⁾ [그림 1]에서 나타나듯 한국 수도권 지역과 중국 랴오닝성 선양 지역의 높은 이산화질소 농도에 비해 북한 국경지대의 이산화질소 농도는 옅은 색을 띠며, 내륙지방으로 이동하면 매우 옅어진다. 실제로 본 고에서 활용한 데이터 분석 결과, 중국 동북 3성 중 상대적으로 경제활동이 활발한 랴오닝성 단둥시와 근접한 평안북도 신도군, 통천군 및 의주군의 북한 내 이산화질소 배출량 순위가 이들 행정구역의 인구 규모에 비해 높은 것으로 나와 중국의 영향이 엿보인다.⁵⁾ 다만, 이들 행정구역에서 더 내륙으로 이동하면 중국발 이산화질소 유입 영향력이 크다고 보기 어려운 것으로 나타난다. 매우 높은 이산화질소 농도 수치를 보이는 한국 수도권 지역과 근접한 황해북도 개풍군이나 개성시 및 장풍군의 이산화질소 농도 수치 또한 상대적으로 낮는데, 이는 한반도 주변에서 부는 바람이 주로 북서풍이기 때문에 수도권 지역에서 발생한 이산화질소가 바람을 타고 북한 쪽으로 많이 넘어가지 않는 것으로 판단된다. 다만, 북한의 전체적인 이산화질소 농도 수치가 타국의 영향을 많이 받지 않는다는 장점과 별개로 북한 내 지역들의 농도 수치가 북한 타 지역의 영향을 받는다는 단점이 있어, 북한 내 지역별 연구에 활용 시 유의해야 한다.

마지막으로 야간 조도와 같은 다른 인공위성 자료와 마찬가지로 이산화질소 농도 자료는 속보성과 지역성이라는 장점을 가지고 있다. 특히 북한 연구에 있어 가용 가능한 자료의 부족함은 모두가 알고 있는 현실이며, 존재하는 자료마저 신뢰성 측면에서 취약하다. 예를 들어 북한 당국이 발표하는 공식자료는 그 수치를 곧이곧대로 믿을 수 있는 경우가 드물며, 발표하는 수치마저 일반적으로 전년도대비 상승률이나 지수(Index) 형식으로 표기하여 구체적

4) 정지궤도 환경위성 자료를 보여주는 환경위성센터 누리집을 통해 한반도 주변 이산화질소 농도를 시간대별로 확인할 수 있는데, 대기 중 이산화질소가 바람의 영향을 받으며 조금씩 이동하는 것을 알 수 있다. 따라서 체류 시간이 짧은 이산화질소 농도를 측정하는 것이 체류 시간이 긴 타 대기오염 물질보다 발생원을 유추하는 데 있어 장점이 있다고 할 수 있다. 다만, 주변 지역에 얼마나 영향을 주고받았는지 정확한 수치를 알 수 없어 발생원을 완벽하게 파악하기는 어렵다. 오존, 메테인, 이산화탄소, 염화 플루오린화 탄소 등이 대기 중 체류 시간이 긴 편이며, 포름알데히드, 이산화황이 이산화질소와 함께 체류 시간이 짧은 편이다.

5) 2005~18년 북한지역 월별 평균 풍향 및 풍속을 계산한 Chong *et al.*(2023)에 따르면 월별 차이는 있으나 북한지역 주변에서는 주로 북서풍이 불어오는 것으로 나타난다. 따라서 중국 랴오닝성의 북·중 접경지대에서 발생한 이산화질소가 접경지대의 동남쪽에 위치한 평안북도 지역 이산화질소 농도에 미치는 영향이 한국 수도권의 이산화질소 배출량이 북서쪽에 위치한 황해북도나 황해남도에 미치는 영향보다 클 가능성이 높다.

인 수치를 파악하기 어려운 상황이다. 한국은행에서 추정하고 있는 북한 국민총소득(명목 GNI) 자료의 경우에도 일반적으로 다음 해 중순쯤에 발표되기 때문에 반년 정도의 시차가 있다. 그에 반해 인공위성 자료는 수치가 자주 업데이트되며, 위성에 따라 시간대별로 나오는 자료도 있을 정도다. 또한 조작 가능성이 존재하지 않는 객관적인 자료라는 큰 장점이 있다. 이에 자료가 매우 드물어 분석하는 데 어려움이 있는 북한의 지역 연구에도 활용될 가능성이 있다.

3. 이산화질소 농도 수치 활용시 주의점과 계절성 조정

이산화질소 농도가 기존 논문이 제시하는 것처럼 경제활동 정도를 추측하는 데 활용될 가능성은 있지만, 인공위성 자료의 장점 중 하나인 속보성을 살리는 데 한 가지 큰 걸림돌이 있는데, 위에서 설명한 계절성 문제다. [그림 2]는 북한 전역 2018년 5월 1일부터 2024년 2월 29일까지의 일별 이산화질소 농도 자료를 월별로 취합하여 평균치를 구한 자료다. 월별 수치를 표기한 [그림 2]의 아래 자료가 나타내듯 여름에 수치가 낮고 겨울에 농도가 높게 나오기 때문에, 1월부터 12월까지의 평균 농도 수치가 U자형을 그리는 것을 알 수 있다.⁶⁾ 또한 겨울 수치가 여름 수치에 비해 훨씬 변동성이 큰 것을 알 수 있다. 이러한 특징 때문에 각기 다른 계절의 농도 수치를 단순히 서로 비교하는 것은 바람직하지 않다. Hayakawa and Keola(2021)나 Keola and Hayakawa(2021)와 같은 기존 연구 또한 전년 동기 수치를 비교하는 방법으로 이러한 계절성 문제를 우회했다.

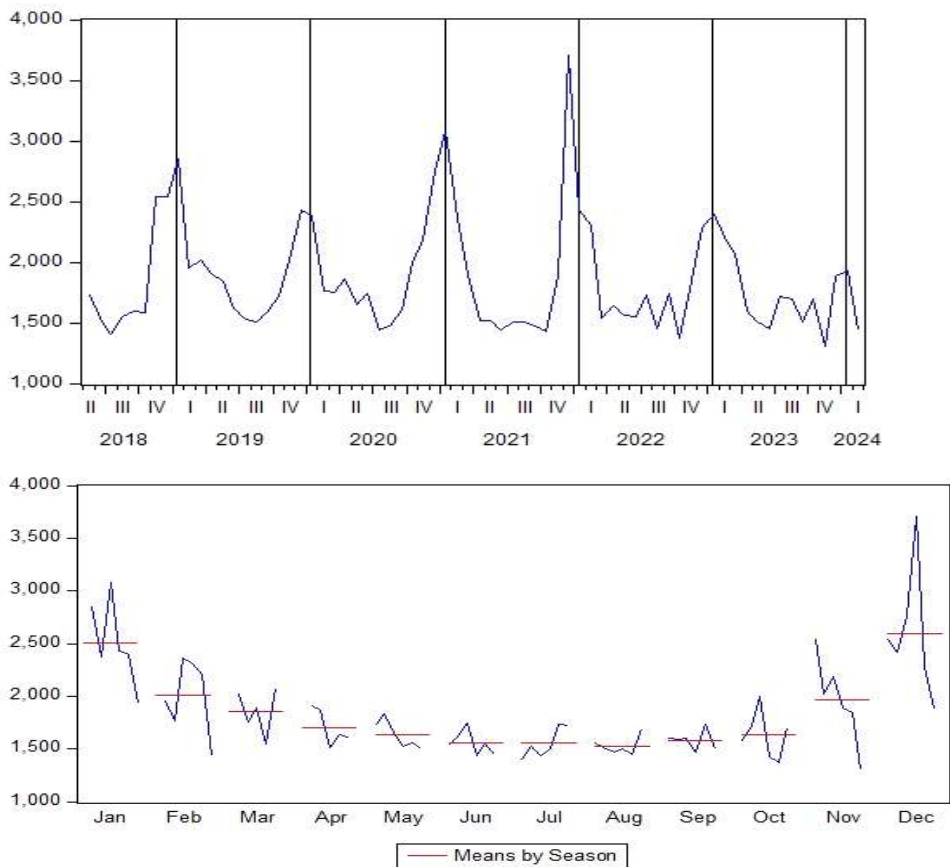
북한 수치를 예로 들자면, 전 세계적인 코로나19 발발로 인해 북한은 2020년 1월에 국경을 봉쇄했고 2월에는 국가비상방역체계를 선포하는 등 매우 폐쇄적인 방역 방법을 선택했기 때문에 북한 내 경제활동이 크게 줄었을 가능성이 높다. 그런데 [그림 2]를 살펴보면 2020년 1~2월 이산화질소 농도 수치가 2019년 8월 농도 수치보다 높은 것을 알 수 있다. 따라서 월별 이산화질소 수치를 계절 조정하지 않고 비교한다면, 2020년 1~2월 경제활동이 2019년 8월 경제활동보다 더 활발했을 가능성이 크다는 결론을 낼 수 있다는 것이다. 자료를 연도별로 묶어 살펴본다면 모든 계절을 포함하기 때문에 계절성 문제를 상대적으로 고려할 필요가 적겠으나, 이러한 경우 한 해가 다 지나가야 직전 해 수치를 계산할 수 있다. 즉, 자료가 매일 나오는데도 불구하고 자료 취합 문제로 인해 시차가 크게 생기는 것이다. 혹은 기존

6) 농도 수치가 여름에 낮고 겨울에 높은 것은 주로 일조량의 차이로부터 기인한 것이다. 햇빛은 이산화질소를 분해하는데, 해가 상대적으로 짧은 겨울에 분해반응이 덜 발생하기 때문에 이산화질소가 겨울에 더 오래 대기 중에 체류하여 일반적으로 여름에 비해 농도가 높게 나타난다. 또한 추운 겨울에 난방을 더 많이 가동하기 때문에 석탄 연소 증가로 인해 이산화질소 배출량이 늘어날 수 있다.

연구처럼 전년 동기 수치와 비교하는 방법도 있겠으나, 이 경우 시계열 첫째 자료를 쓰지 못하는 단점이 있다. 인공위성 자료의 장점 중 하나가 최근 자료를 신속하게 받을 수 있는 속보성인 만큼 본 고에서는 계절성을 제거하여 각기 다른 계절의 자료를 비교할 수 있도록 시도해 보고자 한다.

[그림 2] 북한 전체 월별 평균 이산화질소 농도 추이(2018년 5월~2024년 2월)

(단위: 1조 molecules/cm²)



주: 위 그림의 가로축 로마 숫자는 각 분기를 가리키며, 검은 세로선은 각 연도의 1월을 의미. 아래 그림의 빨간 가로선은 월별 평균 이산화질소 농도 수치를 뜻함.

상기 작업을 위해 전 세계적으로 통계작성기관에서 계절 조정을 위해 많이 활용하는 미국 상무부 소속 센서스국이 개발한 X-13-ARIMA-SEATS를 통해 이산화질소 농도의 계절성을 조정했다.⁷⁾ [그림 3]은 계절 조정한 북한 전체 월별평균 이산화질소 농도를 시각화한 것이며,

〈표 2〉는 북한 전체 이산화질소 농도 수치 계절 조정 전후 통계를 보여준다. [그림 3]의 상단 그림에서 계절 조정한 농도 수치는 조정이 되지 않은 수치와 비교해 상대적으로 변동성도 적고, 계절 조정하지 않았을 때 여름에 낮고 겨울에 높은 특징이 완화된 것을 알 수 있다. 마찬가지로 [그림 3]의 하단 그림에서는 [그림 2]의 하단 그림과 달리 계절 조정 후 수치가 U자형을 그리는 것이 아닌 월별로 비슷함을 보여준다. 또한 앞서 언급한 코로나19 발발로 인한 국경봉쇄 시기인 2020년 1~2월과 2019년 8월 비교의 경우 계절 조정 후 2019년 8월의 농도 수치가 2020년 1~2월 수치보다 더 높아진 것을 알 수 있다.

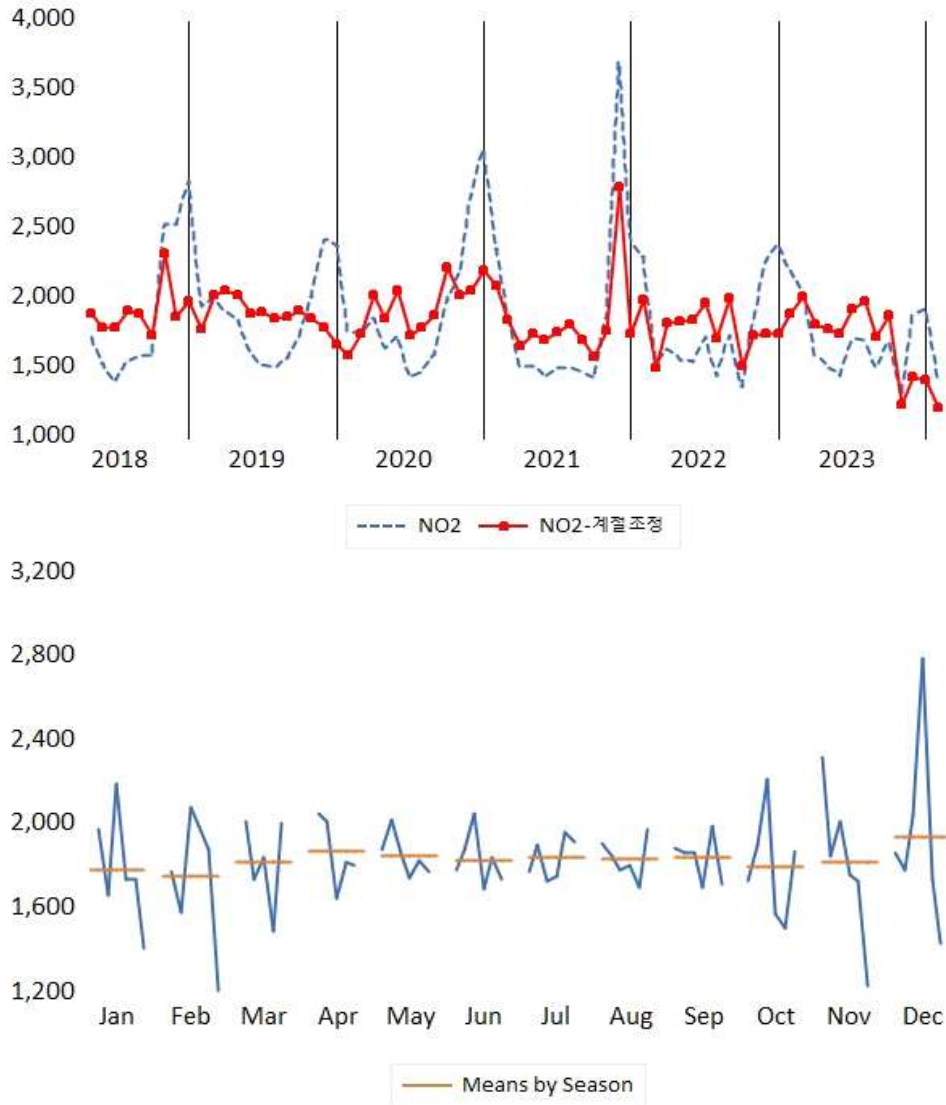
다만, 계절 조정된 수치가 북한의 경제 활성화 정도를 나타낸다고 볼 수 있을지에 대한 해석은 매우 주의를 요구하는 바이다. 한 예로 계절 조정 후 가장 최근인 2024년 2월 수치가 2018년 5월 이래 가장 낮은 것을 [그림 3]을 통해 알 수 있다. 이는 코로나19의 영향을 크게 받은 2020~22년 사이 어느 때보다도 낮은 수치인데, 실제로 최근 북한의 산업활동이 팬데믹 시기보다 감소한 것인지 정확히 판단하기에는 자료의 시계열이 짧고 교차검증 가능한 정보가 부족하다.

먼저 본 고에서 활용한 자료는 2018년 5월부터의 자료로 2024년 2월까지 불과 70개월 정도의 수치만 있어 장기 추세를 제대로 파악하기에는 아직 시계열이 아주 짧은 편이다. 따라서 추후 자료가 계속 업데이트됨에 따라 계절 조정 수치가 크게 변동될 가능성이 있다. 예를 들어, 〈표 2〉의 계절 조정 전후 최솟값과 최댓값을 기록한 연도를 비교해 보면 대부분 월에서 동일한 시기를 나타내고 있지만, 5월과 7월의 최솟값과 3월의 최댓값 연도가 계절 조정 후 변경될 것을 알 수 있다. 계절 조정에 따라 상대적인 우위가 달라질 수도 있다는 것이다. 물론 2023년 말부터 이산화질소 농도 원데이터 수치가 절대적으로도 상당히 낮은 추세에 속하기에 추후 시계열이 더해지더라도 계절 조정 후 여전히 낮게 나올 것으로 예상되지만, 현재같이 최하 수준이 아닐 수도 있다는 것이다. X-13-ARIMA-SEATS가 비록 최신 기법이고 많은 통계기관에서 활용하고 있으나 기본적으로 이동평균법과 회귀분석법을 정교화한 계절 조정방법이기 때문에 장기 시계열 데이터가 구축되어야 더 안정적인 결과를 나타낼 것이다.

7) X-13-ARIMA-SEATS에 대한 설명은 이금희·이혜영(2013) 참고하기 바란다. X-13-ARIMA-SEATS는 본래 경제통계의 계절 조정 방법으로 활용되고 있는 만큼 본 고의 작업은 이산화질소 농도가 국민소득, 국제수지 등 경제통계와 같이 추세변동, 순환변동, 계절 변동과 불규칙변동으로 구성된다고 가정한 것이다. 이에 이산화질소 농도 수치를 계절 조정하는 데 있어 이러한 가정을 하는 것이 적절치 않을 수도 있다. 다만, 본 고가 계절성 조정을 위해 북한의 평균기온, 강수량 등 기상청에서 제공하는 북한 27개 지역의 날씨 자료를 활용해 이산화질소 농도 수치를 조정해 본 결과, X-13-ARIMA-SEATS를 활용하여 계절 조정한 수치와 전반적으로 흡사한 결과가 나왔다.

[그림 3] 계절 조정한 북한 전체 월별 평균 이산화질소 농도(2018년 5월~2024년 2월)

(단위: 1조 molecules/cm²)



주: 위 그림의 검은 세로선은 각 연도의 1월을 의미함. 아래 그림의 빨간 가로선은 각 월의 평균 이산화질소 농도 수치를 뜻함.

〈표 2〉 북한 전체 월별 이산화질소 농도 수치 비교: 원데이터 vs. 계절 조정 후 수치

(단위: 1조 molecules/cm²)

월	원데이터				계절조정 후 수치			
	평균 농도	농도 표준 편차	최솟값	최댓값	평균 농도	농도 표준 편차	최솟값	최댓값
1월	2,509	405	1,930 (2024년)	3,082 (2021년)	1,795	271	1,417 (2024년)	2,202 (2021년)
2월	2,004	357	1,439 (2024년)	2,363 (2021년)	1,763	319	1,219 (2024년)	2,095 (2021년)
3월	1,856	214	1,542 (2022년)	2,073 (2023년)	1,829	215	1,506 (2022년)	2,025 (2019년)
4월	1,703	173	1,511 (2021년)	1,908 (2019년)	1,879	165	1,662 (2021년)	2,060 (2019년)
5월	1,633	132	1,501 (2023년)	1,837 (2019년)	1,860	98	1,755 (2021년)	2,031 (2019년)
6월	1,555	114	1,433 (2021년)	1,742 (2020년)	1,841	127	1,702 (2021년)	2,058 (2020년)
7월	1,553	142	1,401 (2018년)	1,732 (2022년)	1,851	97	1,744 (2020년)	1,972 (2022년)
8월	1,529	89	1,445 (2022년)	1,695 (2023년)	1,849	97	1,712 (2022년)	1,985 (2023년)
9월	1,582	93	1,467 (2021년)	1,734 (2022년)	1,850	112	1,709 (2021년)	2,006 (2022년)
10월	1,633	226	1,375 (2022년)	1,997 (2020년)	1,809	257	1,515 (2022년)	2,223 (2020년)
11월	1,964	409	1,307 (2023년)	2,541 (2018년)	1,827	359	1,240 (2023년)	2,328 (2018년)
12월	2,599	617	1,881 (2023년)	3,710 (2021년)	1,953	461	1,442 (2023년)	2,801 (2021년)
전체	1,843	248			1,842	215		

주: 2018년 5월부터 2024년 2월까지의 자료를 활용했기 때문에, 1~2월(2019~24년) 및 5~12월(2018~23년)의 경우 6년간의 수치가 계산된 것이고 3~4월(2019~23년)의 경우 5년간의 수치가 계산된 것임.

계절 조정된 수치를 북한경제 평가에 활용하는 데 주의해야 할 또 다른 이유로 현재 북한경제에는 GDP, GDP 성장률과 같이 통상적으로 국가의 경제 발전 정도나 발전 속도를 파악할 수 있는 신뢰성 있는 지수가 고빈도로 나오지 않아 교차검증이 어렵기 때문이다. 한국은행에서 매년 북한의 국민총소득(명목 GNI) 통계를 발표하고 있으나 다른 선진국들처럼 분기별로 발표되지 않고, 발표 시기도 매년 중순쯤이라 시차가 발생하여 신속히 분석하는 데 어려움이 있다. 또한 자료의 한계로 인해 도출 시 북한이 아닌 한국의 가격과 부가가치율을 이용하고, 최근 상당히 커진 것으로 판단되는 북한의 비공식 경제를 거의 반영하지 못하는 문제가 있어 도출된 수치에 대한 신뢰성 문제도 있다. 이와 같은 문제로 인해 북한의 이산화질소 배출량 변화 추세가 실제로 북한 경제 활성화 정도를 어느 정도 대변하고 있는지 교차검증이 가능한 지수가 부족하다. 특히 이산화질소 농도와 같이 주기가 짧게 업데이트되는 자료의 경우 현재 야간 조도, 열섬 강도와 같은 인공위성 자료만 있는데, 이들 자료 역시 현재로서는

북한 경제 또는 산업 활성화 정도를 파악하는 데 있어 어느 정도 신뢰성을 갖는지 의구심이 많은 실정이다. 더 긴 시계열의 자료가 확보되고 다른 위성 자료가 나타내는 수치의 추세가 비슷하게 나타나면 앞으로 신뢰성이 쌓이고, 이들 자료를 활용하여 북한경제를 분석하는 작업이 더 활발하게 이루어질 것으로 기대된다.

III. 북한의 이산화질소 농도 추세

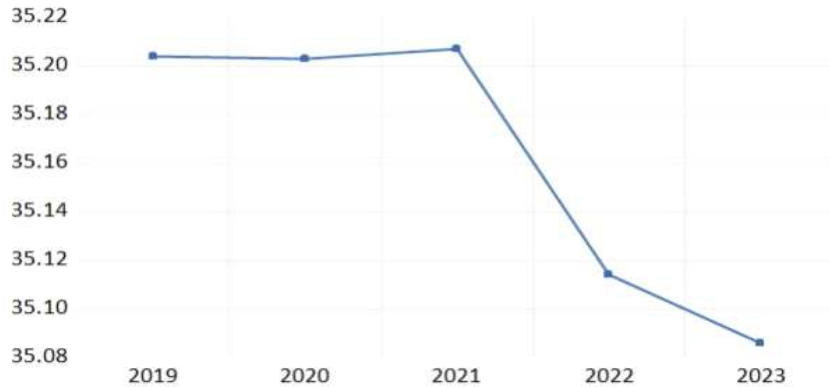
이 장에서는 위에서 설명한 이산화질소 농도를 북한 전체, 도 및 시군구별로 어떠한 추세를 보이고 있는지 소개한다.

1. 북한 전체의 이산화질소 농도 추세

전반적인 추세를 살펴보기 위해 북한의 이산화질소 농도 자료를 연도별로 취합한 결과는 [그림 4]와 같다.⁸⁾ 이 결과에 따르면 북한은 2019~21년 사이 비슷한 수준의 이산화질소를 배출했다. 그런데 2022년 들어 배출량이 대폭 감소한 것으로 나타나며, 2023년에도 배출량 하락 추세가 이어진다. 2022년에 북한이 ‘공식적으로’ 코로나19 확진자 발생을 인정한 것이 5월이고 이에 따라 북한 전 지역 봉쇄조치가 이루어졌기 때문에 2022년 산업활동이 크게 줄었을 개연성이 있다. 하지만 2020년에도 1월부터 국경봉쇄를 시작했으며, 2021년까지 외부와의 교류가 거의 발생하지 않았다. 그럼에도 불구하고 2022년의 이산화질소 농도 수치는 2021년에 비해 약 8.9% 하락한 것이다. 2023년에는 2020~21년 사이 거의 이루어지지 않았던 북·중 무역이 코로나19 이전 수준으로 크게 늘었지만, 오히려 이산화질소 농도 수치가 2022년에 비해 약 2.8% 감소했다. 이 결과는 앞서 언급한 Keola and Hayakawa(2021)가 도출한 저소득 국가에서의 이산화질소 배출량이 봉쇄정책 기간과 봉쇄정책 후 모두 줄었다는 연구 결과와 부합한다.⁹⁾

⁸⁾ 앞서 보여준 결과와 같이 기본적으로 단위가 대단히 크기 때문에 여기부터 보여주는 자료는 모두 자연로그를 취한 결과를 나타낸다.
⁹⁾ Keola and Hayakawa(2021)가 활용한 173개국의 데이터에서 북한은 포함되어 있지 않다.

[그림 4] 북한의 연도별 평균 이산화질소 농도(2019~23)

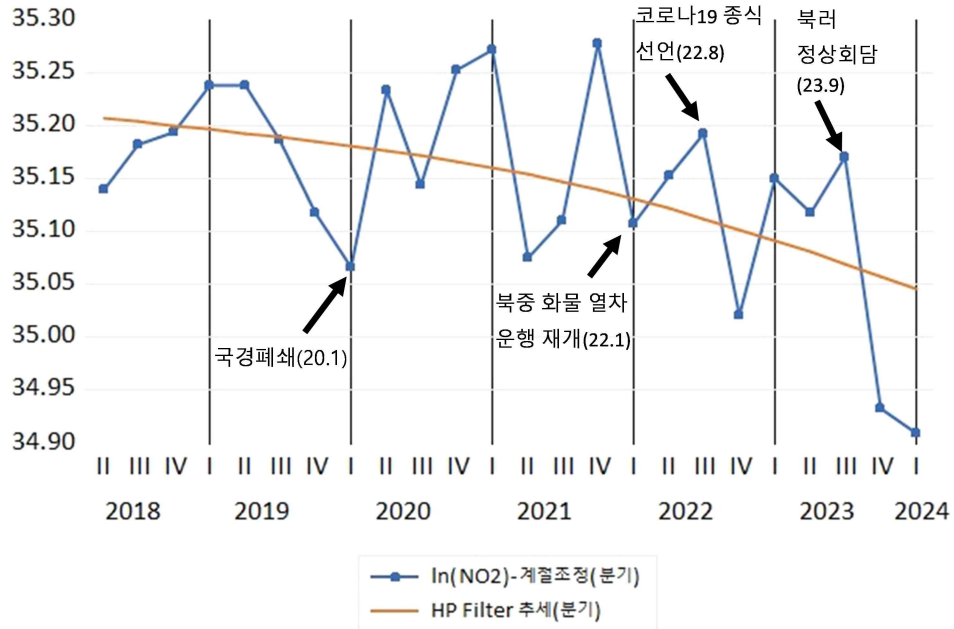


주: 자연로그를 취한 이산화질소 농도 수치이며, 2018년(5~12월)과 2024년(1~2월) 자료는 연 전체가 완성되어 있지 않기 때문에 계산에서 제외함.

그렇다면 정확히 어떠한 시점에서 배출량이 적어지는지 더 자세히 살펴보기 위해 분석 시기 간격을 더 좁혀 보았다. 분기별로 취합하여 계산한 결과는 [그림 5]와 같다. 앞서 설명했듯이 이산화질소 농도는 계절성이 짙은 자료이기 때문에 계절 조정을 하였고, 이 수치에서 순환변동을 제거하기 위해 Hodrick-Prescott(HP) 필터를 적용했으며, 순환변동이 제거된 추세는 [그림 5]의 빨간 선이 나타난다. 도출된 추세 결과에 따르면 북한의 전체 이산화질소 농도 수치는 2018년 2분기 이후 전반적으로 하락하고 있다. 2020년 1분기 코로나19로 인해 북한은 국경을 봉쇄하고 국가비상방역체계에 돌입한 바 있는데, 이때 북한의 이산화질소 배출량도 많이 감소한 것으로 나타난다. 하지만 이후 배출량은 다시 상승하여 2020~21년 두 해를 비교하면 평균적으로 비슷한 농도 수치를 기록했다.

북·중 화물 열차 운행이 재개된 2022년 1분기부터 2022년에는 3분기까지 이산화질소 농도 수치는 2022년 5월에 북한당국이 코로나19 감염자를 처음 ‘공식적으로’ 확인하여 다시 봉쇄조치를 취했음에도 불구하고 상승세를 보였다. 하지만 농도 수치는 2022년 4분기 들어 대폭 감소했다. 2023년에도 2022년 추세와 비슷한 모습을 보였는데, 1~3분기 증가 후 4분기 들어 계절 조정 농도 수치가 크게 줄었다. 즉, 2022년과 2023년 모두 4분기 배출량이 예년 4분기보다 크게 낮았던 것이 배출량 하락세를 견인한 것이다. 이미 앞서 언급했듯 계절 조정된 2022년과 2023년 4분기 수치가 코로나19 발발로 인한 국경봉쇄 초창기 시기인 2020년 1분기 수치보다도 낮은 것을 눈여겨 볼 수 있다. 구체적으로 계절 조정된 이산화질소 농도 월별 수치를 보여주는 [그림 3]에서 2023년 11월부터 2024년 2월까지의 농도가 유독

[그림 5] 계절 조정한 북한 전체 분기별 평균 이산화질소 농도(2018년 2분기~2024년 1분기)



주: 자연로그를 취한 이산화질소 농도 수치를 계절 조정함. 가로축의 로마 숫자는 각 분기를 의미함.
HP Filter 적용 시 민감도 승수(λ)는 분기별 자료에 주로 쓰이는 1,600을 사용함.

낮은 것을 확인할 수 있다. 계절 조정을 하지 않은 원자료를 살펴보다라도 이 기간의 수치는 예년 동월 대비 굉장히 낮은 것을 알 수 있는데, 추후 데이터가 계속 업데이트되면서 이러한 낮은 수치가 새로운 추세를 반영하는 것인지, 혹은 실제로 산업활동이 크게 줄어 발생한 것인지 어느 정도 유추 가능해 질 것으로 보인다. 즉, 이례적으로 평년에 비해 낮게 관측된 2023년 말~2024년 초의 농도 수치가 다음 겨울에도 낮게 관측될지 그리고 일조량 증가 영향으로 일반적으로 낮게 나오는 여름 수치가 예년에 비해 어떻게 관측될지 눈여겨봐야 할 필요가 있다.

2. 북한 지역별 이산화질소 농도 추세

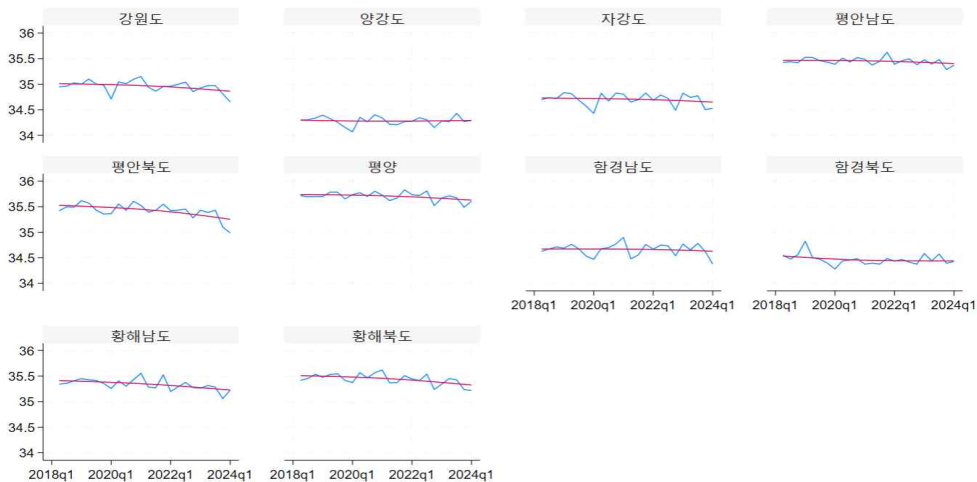
2.1 도별 이산화질소 농도

인공위성은 현재 우리가 파악하기 어렵고 자료가 거의 없는 북한의 지역별 상황 모니터링을 가능케 한다. 이에 북한의 지역별 이산화질소 농도 추세를 살펴보고 지역별 특징이 보이는지

알아본다. [그림 6]은 북한의 이산화질소 농도 추세를 도별로 보여준다. 평양직할시의 농도 수준이 가장 높게 나오며, 양강도의 농도가 가장 낮은 것을 알 수 있다. 전반적으로 평양 외에도 평안도, 황해도 등 북한 서쪽에 있는 지역들의 이산화질소 농도가 높고, 함경도, 강원도, 양강도 등 동쪽에 있는 지역들의 농도가 낮게 나왔다. 그리고 HP 필터를 적용하여 추세를 구한 결과, 양강도를 제외한 모든 지역에서 최근 농도 수치가 감소세를 보이는 것을 알 수 있었다. 양강도나 함경도와 같이 북한 내에서 이산화질소 농도가 낮게 나오는 곳을 제외하면 북한 전체 이산화질소 농도 추세와 비슷하다. 즉, 특정 지역의 농도 수치가 [그림 5]가 나타낸 북한의 전반적인 이산화질소 농도 추세와 특별하게 다르지 않다는 것을 [그림 6]이 보여준다.

전반적인 추세가 아닌 특정 시기를 살펴볼 때 흥미로운 점은 코로나19 발발 시기인 2020년 1분기 때의 이산화질소 농도 변화다. 강원도, 양강도, 자강도, 함경남/북도 등 동부 5개 도에서는 2020년 1분기 계절 조정된 이산화질소 농도 수치가 크게 하락한 것을 알 수 있다. 특히 자강도, 양강도, 함경북도의 경우 2020년 1분기 수치가 분석 기간인 2018년 2분기~2024년 1분기 중에는 가장 낮은 것으로 나타난다. 반면, 산업시설이 상대적으로 더 많은 것으로 알려진 평양, 평안도, 황해도는 2020년 1분기에 농도 수치가 하락하기는 하나 그 감소폭이 동부 5개 도에 비해서는 작다. 평양의 경우에는 도리어 2020년 1분기 수치가 전 분기에 비해 상승하는 것으로 나타나기까지 한다. Lee(2018)는 야간 조도 자료를 활용한 분석에서

[그림 6] 북한 각 도 분기별 이산화질소 농도(2018년 2분기~2024년 1분기)



주: 파란선은 자연로그를 취한 이산화질소 농도 수치를 계절 조정한 것을 의미하며, 빨간선은 HP 필터를 적용한 추세를 나타냄. HP 필터 적용 시 민감도 승수(λ)는 분기별 자료에 주로 쓰이는 1,600을 사용함. 남포특별시는 평안남도, 개성특별시는 황해북도, 나선특별시는 함경북도에 포함하여 계산함.

가장 최근 배출량 추세 또한 눈여겨볼 만하다. [그림 3]과 [그림 5]가 나타내듯이 2023년 4분기(구체적으로 11월)부터 이산화질소 농도 수치가 크게 떨어졌는데, 도별로 살펴보면 강원도, 평안북도 그리고 함경남도에서는 2024년 1분기까지 가파른 하락세가 이어졌다. 반면 평양, 황해남도, 평안남도의 경우 2024년 들어 이산화질소 농도 수치가 반등했다. 다만, 앞서 언급했듯이 북한 내 산업활동이 크게 줄어들어 전반적으로 수치가 하락하고 있는 것인지를 자연적 발생원이 크게 줄어든 사유인지는 더 자세한 분석이 필요하며 향후 데이터 또한 지켜봐야 한다.

2019년부터 2023년까지의 북한 184개 시군구 단위 연평균 이산화질소 농도 상위 10곳을 나타낸 <표 3>를 살펴보면 북한에서 이산화질소 농도 수치가 높게 나오는 지역은 크게 세 곳으로 나눌 수 있다.

- 우선 2019~23년 연평균 이산화질소 농도가 가장 높은 지역은 황해북도 중화군이다. 황해북도 중화군은 본래 평양직할시에 속한 지역이었으나 2010년 분리되어 황해북도로 편입된 것으로 알려졌다. 산업연구원 북한 산업·기업 DB에 따르면 중화군 소재 기업체는 많지 않다. 그럼에도 불구하고 북한에서 가장 높은 이산화질소 농도를 기록한 것은 지리적으로 북으로 평양, 서로는 송림시 그리고 동으로 상원군이 자리 잡고 있기 때문으로 유추된다. 평양은 북한의 수도이자 많은 인구와 지역 내 대규모 기업체들과 화력발전소가 있으며, 송림시는 황해제철연합기업소라는 북한에서 김책제철연합기업소와 함께 최대 규모의 제철소의 소재지이며, 상원군에도 북한 최대 규모인 상원세멘트연합기업소가 운영되고 있다. <표 3>의 황해북도 중화군, 상원군 및 황주군, 그리고 평양직할시가 모두 비슷한 위치에 있어 이들 지역을 평양직할시 주변으로 묶을 수 있다. [그림 7]은 이들 지역의 이산화질소 농도 추세를 보여주는데, 전반적으로 모두 비슷한 변화가 보이며 하락 추세임을 알 수 있다.

〈표 3〉 북한의 시군구별 연평균 이산화질소 농도 상위 10곳

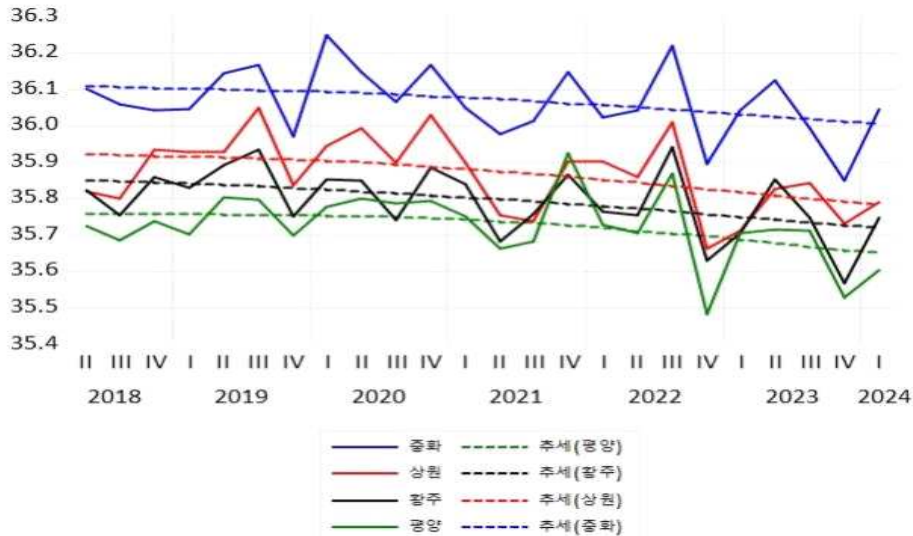
(단위: %)

순위	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2019~23년 평균
1	황해북도 중화군	황해북도 중화군	황해북도 중화군	황해북도 중화군	황해북도 중화군	황해북도 중화군
	239	272	235	246	250	248
2	평안남도 성천군	평안남도 성천군	평안남도 성천군	평안남도 성천군	평안남도 은산군	평안남도 성천군
	228	245	206	234	244	230
3	평안북도 룡천군	평안북도 신도군	평안남도 은산군	평안남도 은산군	평안남도 성천군	평안남도 은산군
	219	233	205	231	236	224
4	평안남도 은산군	평안북도 룡천군	평안북도 신도군	황해북도 상원군	황해북도 상원군	평안북도 룡천군
	217	231	200	207	198	208
5	평안북도 신도군	평안남도 은산군	평안북도 룡천군	평안북도 룡천군	평안북도 룡천군	평안북도 신도군
	216	227	198	197	193	207
6	황해북도 상원군	황해북도 상원군	황해북도 상원군	평안북도 신도군	평안북도 신도군	황해북도 상원군
	206	223	189	197	188	205
7	평안북도 신의주시	평안북도 신의주시	평안북도 신의주시	평안북도 신의주시	황해북도 황주군	평안북도 신의주시
	201	211	188	192	187	194
8	평안남도 신양군	평안북도 염주군	황해북도 황주군	황해북도 황주군	평안남도 북창군	황해북도 황주군
	192	203	180	188	184	188
9	황해북도 황주군	평안남도 신양군	평양직할시	평안남도 신양군	평양직할시	평안북도 염주군
	190	196	180	180	177	182
10	평안북도 염주군	황해북도 황주군	평안남도 순천시	평안남도 순천시	평안남도 순천시	평양직할시
	187	195	177	177	176	177

주: 계절 조정하지 않은 원자료를 활용했으며, 이에 일부 달의 자료가 없는 2018년과 2024년은 비교하지 않았음. 숫자는 북한 전체 평균 대비 이산화질소 농도 비율을 의미함.

다음은 평안남도 북창군 주변이다. 평안남도 북창군은 이산화질소 농도 수치 기준으로 정작 2023년에만 북한에서 상위 10곳 안에 들지만, 북창군 인근에 있는 평안남도 성천군과 은산군이 농도 수치 최상위권에 있다. 성천군과 은산군은 북한 전체 평균 이산화질소 농도의 2배 이상을 기록하고 있을 정도다. 북창군에는 북한 최대 화력발전소인 북창화력발전연합기업소뿐만 아니라 북창지구탄광연합기업소, 인포탄광, 남양탄광, 송남청년탄광 등 많은 탄광이 있으며, 성천군과 은산군 또한 탄광 소재지다.

[그림 7] 평양직할시 주변 이산화질소 농도(2018년 2분기~2024년 1분기)

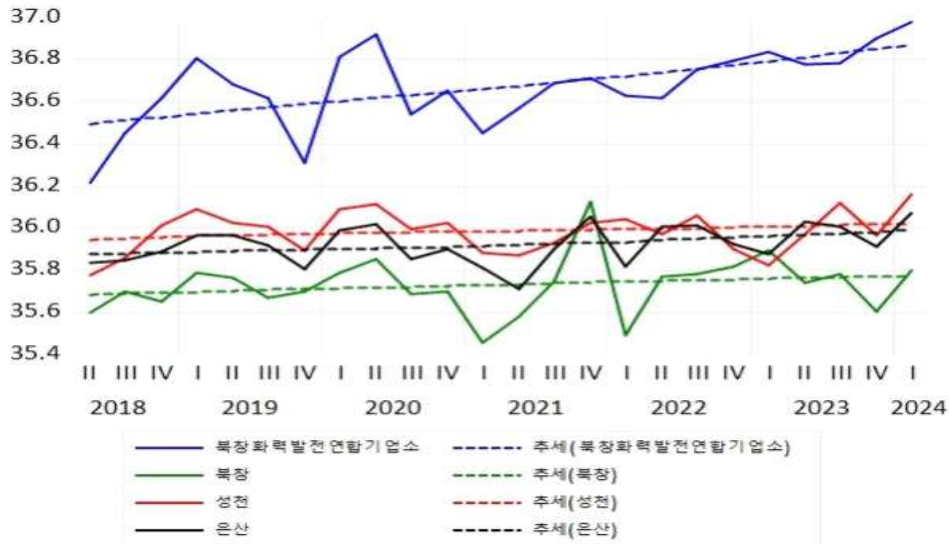


주: 자연로그를 취한 이산화질소 농도 수치를 계절 조정함. 가로축의 로마 숫자는 각 분기를 의미함.
HP Filter 적용 시 민감도 승수(λ)는 분기별 자료에 주로 쓰이는 1,600을 사용함.

[그림 8]은 북창화력발전연합기업소의 분기별 이산화질소 농도와 화력발전소의 영향을 크게 받았을 것으로 추정되는 북창군, 성천군 및 은산군의 농도와 추세를 보여준다. 여기서 북창화력발전연합기업소 주변¹⁰⁾ 및 북창군, 성천군 그리고 은산군의 이산화질소 농도 수치가 최근 하락하고 있는 북한의 전반적인 이산화질소 농도 추세와 반대로 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 특히 김경술(2020)에 따르면 북창화력발전소는 2015년 중반부터 증설공사가 시작되어 2018년 12월에 공식 준공했는데, 공식 준공 전 시험운전 기간에도 가동되어 발전량이 늘었을 것으로 예상된다. 본 고에서 활용한 자료가 2018년 5월부터의 데이터로 구축된 만큼 증설공사로 인한 증가량이 이산화질소 농도에 반영되었을 것으로 보인다. 또한 북한당국은 『노동신문』을 통해 북창화력발전소의 전력 생산이 2024년 1분기 많이 증가했다고 보도한 바 있는데,¹¹⁾ 이 자료가 보도 내용을 수치상으로 뒷받침해 주는 것으로 보인다.

10) 활용한 환경위성의 공간해상도가 3.5km×5.5km인 만큼 정확하게 거점 지역 위에서만 관측되는 농도 수치는 아니다. 자료 구축 시 이 거점의 위·경도 좌표와 가장 가까운 픽셀에 해당하는 농도를 이용하기 때문에, 정확히는 “거점 지역 주변” 이산화질소 농도 수치가 옳은 표현이다.
11) 『SPN서울평양뉴스』, 「북, 북창화력발전소, 1.4분기 수십년래 최고 전력 생산」, 2024. 4. 11.

[그림 8] 북창화력발전연합기업소 주변 이산화질소 농도(2018년 2분기~2024년 1분기)



주: 자연로그를 위한 이산화질소 농도 수치를 계절 조정함. 가로축의 로마 숫자는 각 분기를 의미함.

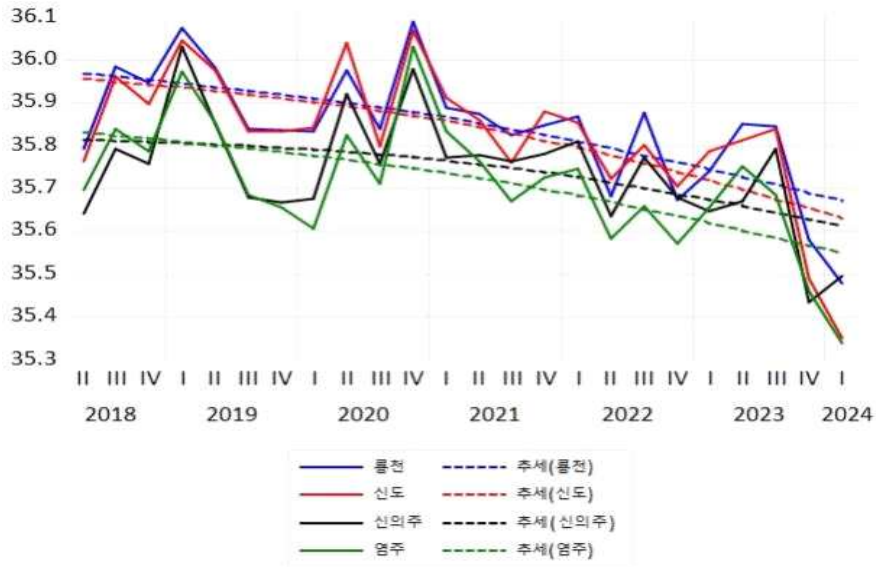
HP Filter 적용 시 민감도 승수(λ)는 분기별 자료에 주로 쓰이는 1,600을 사용함.

다만 <표 3>과 [그림 8]은 북창화력발전연합기업소 소재지인 북창군이 아닌 인근 행정구역의 평균 이산화질소 농도 수치가 더 높게 나옴을 보여준다. 이는 위에서 언급한 풍향의 영향과 화력발전소 주변을 제외한 북창군 내 다른 지역의 농도 수치가 높지 않아 그럴 것으로 판단되며, 평양이 아닌 평양 남쪽과 남동쪽에 위치한 지역의 농도 수치가 더 높게 나타나는 현상과 궤를 같이한다. 북창군과 평양직할시 북서쪽에 위치한 지역으로부터 넘어오는 이산화질소가 상대적으로 적기 때문으로 보이며, 이와 같은 한계는 다음 장에 더 구체적으로 서술한다.

바람의 영향은 평안북도 신의주시 주변 이산화질소 농도 순위로도 알 수 있다. 신의주시는 북·중무역의 최전선으로 많은 물자 이동이 이루어지는 교통의 요충지이자 신의주방직공장, 락원기계종합기업소, 신의주화장품공장과 같은 주요 기업체의 소재지이기 때문에 이산화질소를 많이 배출할 가능성이 높다. 하지만 평안북도 룡천군, 신도군 및 염주군은 신의주시와 중국 랴오닝성과 매우 근접하게 위치해 있다는 점을 제외하면 이산화질소 농도 수치가 높을 이유가 적는데, 이곳들에 신의주에 평양이나 북창 수준의 영향력을 미칠 정도의 대형 화력발전소와 같은 고(高) 이산화질소 배출 산업이 형성되어 있거나 많은 양의 교통량이 있지는 않은 것으로 판단되어 중국의 영향이 매우 큰 것으로 보인다. [그림 9]는 이들 지역의 이산화질소

농도 추세가 비슷함을 보여주며, 신의주를 제외한 나머지 세 지역의 변동 추세가 특히나 매우 흡사함을 알 수 있다. 신의주와 같이 독자적으로 유의미한 양의 이산화질소를 배출할 만한 산업이 없어서 주변 지역의 영향을 크게 받아서일 가능성이 높다. 또한 염주군의 수치가 상대적으로 낮은 것은 위치가 중국과 맞닿아 있는 신도군이나 의주군과 달리 국경에서 조금 더 멀리 떨어져 있기 때문임을 유추할 수 있다. <표 3>에는 들지 못했으나 마찬가지로 중국 국경과 상당히 가까운 평안북도 피현군(2019~23년 평균 13위), 의주군(평균 16위) 또한 행정구역 규모나 산업에 비해 농도 수치가 높은 것으로 나온다. 다만, 이들 지역 외에 자강도, 양강도, 함경북도 내 중국과 국경을 맞댄 시군들의 이산화질소 농도는 높지 않다. 중국 지린성의 이산화질소 배출량이 전반적으로 높지 않은 이유로 보이며, 그나마 지린성 통화시 지역 이산화질소 농도가 높는데 랴오닝성 단둥시와 달리 북한과의 거리가 매우 가까운 것이 아니기 때문에 이 지역에서 발생한 이산화질소의 영향이 크지 않은 것으로 보인다.

[그림 9] 신의주 주변 이산화질소 농도(2018년 2분기~2024년 1분기)



주: 자연로그를 취한 이산화질소 농도 수치를 계절 조정함. 가로축의 로마 숫자는 각 분기를 의미함.
HP Filter 적용 시 민감도 승수(λ)는 분기별 자료에 주로 쓰이는 1,600을 사용함.

반대로 북한에서 가장 이산화질소 농도가 낮은 지역은 주로 양강도와 함경북도에 자리 잡고 있는 것을 <표 4>을 통해 알 수 있다. 백두대간 중심에 있는 백암군, 삼지연군과 허천군의 경우에는 산업체가 들어서기 어려운 환경일 것으로 보이며, 어랑군과 김책시의 경우 동해안에

있어 동쪽으로부터의 인위적인 이산화질소 발생원이 사실상 없는 데다가 주변 또한 산악 지역인 것이 농도 수치 하위권을 기록한 사유인 것으로 판단된다.

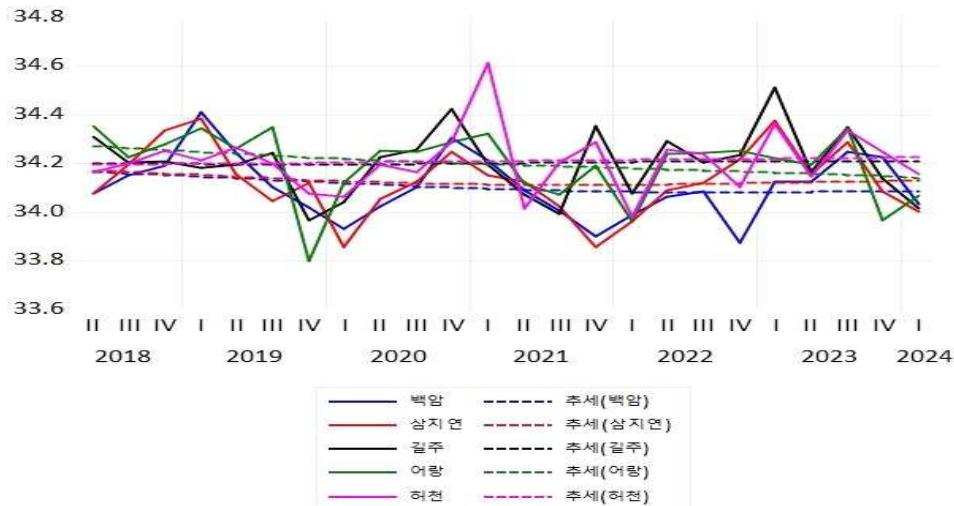
〈표 4〉 북한의 시군구별 연평균 이산화질소 농도 하위 5곳

(단위: %)

순위	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2019~23년 평균
184	함경북도 길주군	양강도 백암군	양강도 백암군	양강도 백암군	함경북도 여랑군	양강도 백암군
	34	32	31	33	40	34
183	함경남도 장진군	양강도 삼지연시	양강도 삼지연시	함경북도 경성군	양강도 백암군	양강도 삼지연시
	35	32	31	37	41	35
182	양강도 김형권군	함경북도 연사군	함경북도 길주군	양강도 삼지연시	함경북도 경성군	함경북도 길주군
	35	34	33	37	41	37
181	양강도 삼지연시	함경북도 허천군	함경북도 여랑군	함경북도 허천군	양강도 삼지연시	함경북도 여랑군
	35	35	35	39	42	37
180	양강도 운흥군	양강도 운흥군	함경북도 김책시	함경북도 여랑군	함경북도 연사군	함경남도 허천군
	35	35	35	39	42	38

주: 계절 조정하지 않은 원자료를 활용했으며, 이에 일부 달의 자료가 없는 2018년과 2024년은 비교하지 않음. 숫자는 북한 전체 평균 대비 이산화질소 농도 비율을 의미함.

[그림 10] 북한 이산화질소 농도 하위 5곳(2018년 2분기~2024년 1분기)



주: 자연로그를 취한 이산화질소 농도 수치를 계절 조정함. 가로축의 로마 숫자는 각 분기를 의미함.
HP Filter 적용 시 민감도 승수(λ)는 분기별 자료에 주로 쓰이는 1,600을 사용함.

마지막으로 북한 도청 소재지 이산화질소 농도 평균 순위를 보여주는 <표 5>에서 확인할 수 있듯이 북한에서 대도시라 칭할 수 있는 함경북도 청진시, 함경남도 함흥시, 강원도 원산시의 농도 순위는 모두 놀랍게도 100위권 밖이다.¹²⁾ 이들의 공통점은 동해를 접하고 있고 주변에 위치한 행정구역에 별다른 대규모 산업이 없다는 점인데, 이산화질소 농도 수준으로 판단하여 이들 행정구역의 경제활동 수준이 북한 내 중위에도 들지 못한다고 보기에는 도시 규모로 보아 무리가 있다. 따라서 절대적인 이산화질소 농도 수치만으로 행정구역 간 경제 활성화 정도를 비교하는 것은 지양해야 한다.

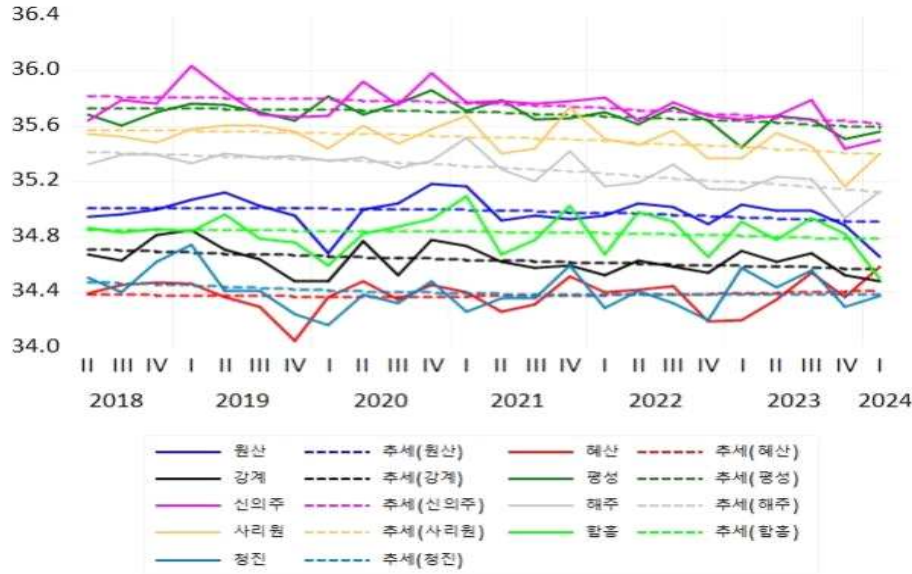
(단위: %)

도	도청 소재지	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2019~23년 평균 순위
강원도	원산시	108위	105위	103위	104위	100위	104위
		86	82	84	87	90	86
양강도	해산시	163위	157위	158위	156위	162위	159위
		41	45	44	48	50	45
자강도	강계시	141위	140위	141위	142위	142위	142위
		59	58	56	58	63	59
평안남도	평성시	16위	12위	15위	13위	16위	14위
		168	186	163	173	158	170
평안북도	신의주시	7위	7위	7위	7위	11위	7위
		201	211	188	192	173	194
황해남도	해주시	73위	69위	72위	84위	89위	79위
		120	119	120	109	104	115
황해북도	사리원시	20위	28위	24위	30위	37위	27위
		147	141	148	142	134	143
함경남도	함흥시	131위	128위	117위	125위	119위	124위
		70	67	75	73	79	73
함경북도	청진시	155위	160위	156위	168위	158위	160위
		47	42	44	44	53	46

숫자는 북한 전체 평균 대비 이산화질소 농도 비율을 의미함.

12) 2008년 인구일제조사 기준으로 함흥시 약 77만명, 청주시 약 67만명, 원산시 약 36만명으로 북한에서 각각 3~5번째로 인구가 많은 도시다.

[그림 11] 북한 도청소재지 이산화질소 농도(2018년 2분기~2024년 1분기)



주: 자연로그를 취한 이산화질소 농도 수치를 계절 조정함. 가로축의 로마 숫자는 각 분기를 의미함.
HP Filter 적용 시 민감도 승수(λ)는 분기별 자료에 주로 쓰이는 1,600을 사용함.

IV. 북한 경제지표로서 이산화질소의 가능성과 한계

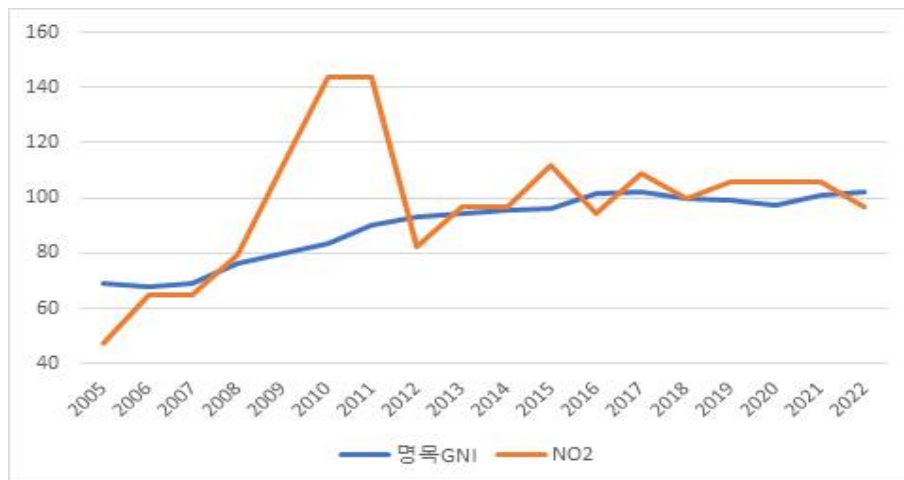
앞서 북한 전체, 각 도 및 시군구별 이산화질소 농도 자료와 추세를 소개했다. 자료를 통해 2018년 이후 전반적으로 하락하고 있는 추세이나, 북창화력발전소 주변 등 일부 지역에서는 오히려 증가하고 있다는 것을 알 수 있었다. 그렇다면 이산화질소 농도가 나타내는 수치가 경제활동과 얼마나 관계가 있는 것일까? 이산화질소 감소 추세는 전반적인 북한 산업활동의 침체나 교통량 감소를 의미하는 것일까? 북창화력발전소 주변 이산화질소 농도 상승은 북한 전력 생산량이 증가했다는 의미일까? 이산화질소는 분명 인위적인 발생원이 큰 비중을 차지하여 경제활동과 연관성이 높지만, 계절성과 바람 등 자연환경 변수가 크게 작용하는데 이를 다 분해하여 경제활동만 떼어내는 작업은 쉽지 않을 것이다. 북한이 분석 대상인 경우에는 활용할 수 있는 자료가 부족하여 위 질문들에 대한 답을 하기 어렵다. 이 장에서는 북한경제를 분석하는 데 경제지표로서의 이산화질소 농도의 활용 가능성과 한계를 간략하게 정리해 본다.

1. 전반적인 경제활동 추세 파악 가능성과 한계

경제규모를 측정하는 가장 대표적인 지표는 국내총생산(GDP)이다. 현재 한국은행에서 매년 GDP와 비슷한 개념인 북한의 국내총소득명목(GNI) 수치를 발표하고 있는데, 본 고의 자료 시계열이 짧아(2018~24년) Chong *et al.*(2023)이 구축한 2005~18년 데이터를 활용하여 2005~22년 사이의 연평균명목 GNI와 이산화질소 농도 추세를 [그림 12]를 통해 나타냈다. 두 지표의 2005~22년 상관관계 계수는 0.52¹³⁾로 비교적 높은 수치를 보이기 때문에, 북한의 이산화질소 농도와 명목 GNI가 전반적으로 비슷하게 움직이는 것으로 나타났다.

다만, 단기 경기변동을 얼마나 잘 대변할지는 미지수다. 북한경제는 2016~17년 대대적인 UN안보리 대북제재 이후 침체기에 빠져 있다는 것이 전반적인 북한 연구자들의 중론이다. 실제로 북한의 명목 GNI는 2017년 이후 사실상 제자리걸음을 하고 있으며, 이산화질소 농도 수치는 오히려 2017년에 비해 최근 수치가 더 감소한 것으로 나타나고 있다. 게다가 2022년 이후 이산화질소 농도 수치는 계속 아래로 향하고 있다. 이산화질소 수치로 판단하면 최근 북한경제 역시 회의적인 시각으로 바라보게 될 것이다. 하지만 국경봉쇄로 인해 급

[그림 12] 북한 이산화질소 농도와 명목 GNI 추이(2005~22년)



주: 이원진(2023)이 활용한 자료는 Chong *et al.*(2023)의 자료로 Aura와 Sentinel-5P 위성에서 추출한 2005~18년 수치며, 본 고의 자료는 Sentinel-5P 위성에서 추출한 2018~22년 수치임. 위성이 다른 관계로 수치 차이가 다소 있는데, 두 위성자료의 시기가 겹치는 2018년의 수치가 동일하다고 가정하고 시계열을 이었음. 명목 GNI 데이터는 한국은행의 발표 자료를 활용함. 이산화질소 농도와 명목 GNI는 2018년을 기준(=100)으로 작성됨.

13) 이원진(2023)이 도출한 2005~18년 상관관계 계수 0.53에 비하면 다소 감소한 수치다.

격히 줄어들었던 무역이 2022년 중국과의 무역 재개 후 최근 무역액으로는 코로나19 이전 수준까지 돌아왔으며 2023년 9월 북·러 정상회담 이후 경제협력이 의심되는 상황이기 때문에, 북한경제가 최근 회복하고 있다는 의견도 있다. 결론을 내리기에는 자료의 시계열이 짧고 교차검증이 가능한 다른 자료의 부재로 쉽지 않은 상황이다. 현재로서는 북한의 산업발전 수준이 낮기 때문에 이산화질소 배출량이 경제규모와 정비례할 가능성이 높아¹⁴⁾ 장기적인 추세 파악에는 도움이 될 것으로 보인다.

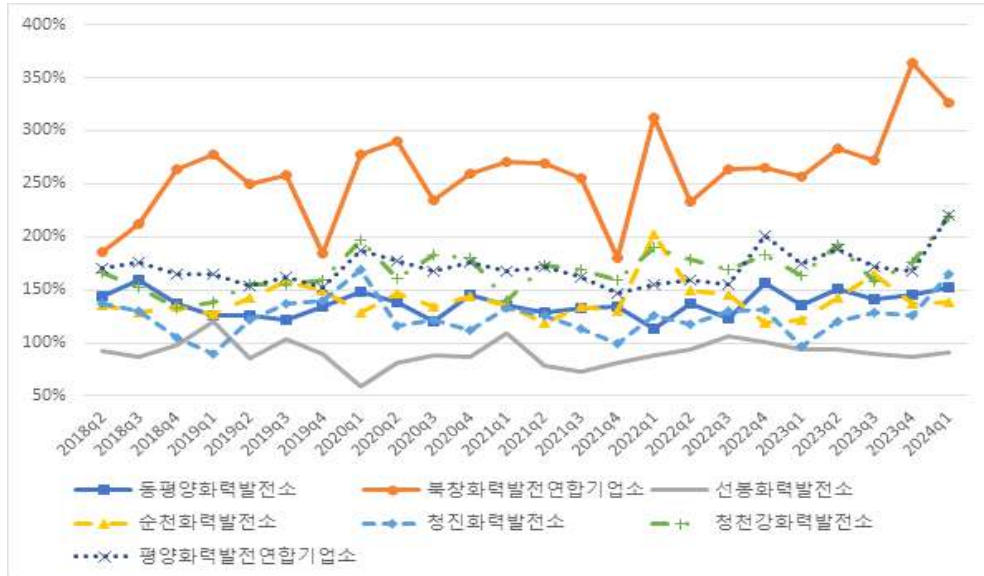
2. 특정 산업과 지역 활성화 추세 분석에 대한 가능성

이산화질소가 화력발전소에서 많이 배출된다는 것은 자명하다. 그리고 화력발전소의 주목적은 전기 생산이다. 그런데 야간 조도는 북한의 지역별 전력 상황을 간접적으로 대변할 수 있다. 이에 두 데이터와 북한의 전력 관련 언론 보도를 통해 이산화질소 농도가 최근 화력발전소 활성화 추세를 반영할 수 있는지 분석해 본다.

먼저 북한의 주요 화력발전소 주변 이산화질소 농도 자료를 구축했다. 다만, 앞서 소개한 이산화질소 농도 자료는 행정구역 평균 수치를 구한 것이기 때문에 같은 행정구역에 속하더라도 인위적 발생원이 상대적으로 적은 지역도 포함한 것이다. 또한 함흥, 청진, 원산과 같은 인구가 많은 주요 도시임에도 불구하고 주변 환경상 이산화질소 농도 수치가 상대적으로 낮게 나오는 경우가 있기 때문에 타지역, 특히 주변 환경 차이가 크게 나는 지역과의 절대적인 수치 비교는 바람직하지 않을 가능성이 크다. 이와 같은 우려를 일부 완화하기 위해 주요 화력발전소로 인해 인위적 이산화질소 발생원이 많을 가능성이 높은 거점의 농도 데이터를 구축하여 소속 행정구역의 이산화질소 농도 대비 비율을 구했다. 이 경우 분석 대상이 비슷한 지역으로 국한되기 때문에 주변 환경 차이라는 변수 영향을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 물론 전술했듯이 환경위성의 3.5km×5.5km라는 넓은 공간해상도로 인하여 발생원으로 추정되는 거점만의 이산화질소를 포함하는 것은 아니라는 단점이 있다.

14) 경제발전 수준이 낮은 사하라 이남 아프리카 국가들의 자료로 환경 쿠즈네츠 곡선을 실증분석한 Abid(2016)는 이산화탄소(CO₂)와 GDP의 관계가 환경 쿠즈네츠 곡선 보다는 단조함수로 더 잘 설명된다고 주장했다. 북한이 대기오염 물질 배출 감소를 위해 기술을 개발하거나 공장을 규제했을 가능성은 작으며, 관련 소식 또한 없기 때문에 최근 이산화질소 농도 감소가 환경 쿠즈네츠 곡선 정점에 다다랐기 때문은 아닐 것으로 판단된다.

[그림 13] 북한 내 주요 화력발전소의 소속 행정구역 대비 이산화질소 농도 비율



주: 계절 조정하지 않은 원자료를 활용했으며, 거점 지역 좌표 해당 픽셀 평균 이산화질소 농도 ÷ 거점지역 소속 행정구역 평균 이산화질소 농도로 계산한 수치임. 따라서 100% 이상인 경우 거점 지역 주변 이산화질소 농도가 소속 행정구역 평균보다 높게 나오는 것을 의미함.

북한 내 주요 화력발전소 주변의 소속 행정구역 대비 이산화질소 농도 비율을 [그림 13]이 나타낸다. 선봉화력발전소를 제외한 모든 화력발전소 주변의 이산화질소 농도가 소속 행정구역 이산화질소 농도보다 높게 나오는 것을 알 수 있다. 특히 위에서 이미 언급된 북창화력발전소 주변 농도의 경우 북창군 평균 이산화질소 농도에 비해 최근 들어 3배 이상 높게 기록되고 있다.

평양화력발전연합기업소와 동평양화력발전소 또한 추세만 보면 전반적으로 하락하고 있는 북한 지역과는 달리 2022년 이후 상승하고 있는데, 이들 발전소는 북창화력발전연합기업소와 함께 주로 평양에 전기를 공급하고 있는 것으로 알려져 있다. 증가 추세를 전력 상황과 연계하여 분석하기 위한 시도로 야간 조도¹⁵⁾,¹⁶⁾ 자료와 언론 보도를 활용한다.

흥미롭게도 분기별 평균 야간 조도를 보여주는 [그림 14]에서 평양 지역의 야간 조도가 전 세계적인 코로나19 영향권이었던 2020~21년 바닥을 찍은 후 2022년 이후 유독 많이 상승했음을 알 수 있다. 평양 외 다른 도의 야간 조도 또한 상승하기는 했으나 평양에 비하면

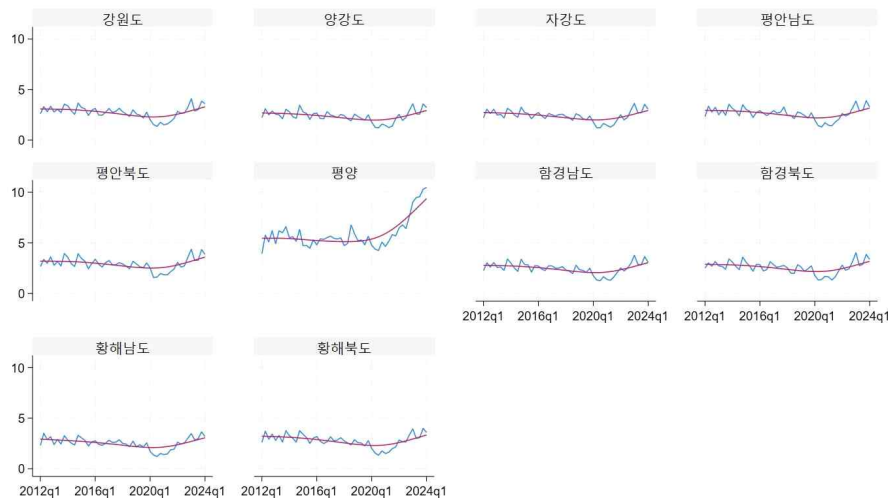
15) KDI 북한경제연구실에서는 2012월 1월부터의 북한지역 야간 조도 데이터도 구축해 오고 있다. Kim(2022)에서 활용한 VIIRS이 관측한 자료와 동일하며, 자세한 설명은 Kim(2022)를 참고하기 바란다.

16) 북한의 야간 조도 자료는 북한의 높은 수력발전소 의존도 영향으로 강수량이 많을 때 증가하는 등 공급 변동이 심하고, 북한 당국이 독점적으로 전력을 배분하는 만큼 경제주체의 선택을 반영한다는 한계가 있다(김다을, 2023).

상승세가 크지는 않다. 2023년 5월 『노동신문』 보도에 따르면 북한 당국은 ‘지난해 같은 시기(2022년 5월)’에 비해 매일 수백만kWh의 전력을 더 생산하고 있다고 주장했는데,¹⁷⁾ 북한의 수력발전소 의존도 60%가 넘는 것으로 알려져 있으므로 화력발전소의 영향이 제한적일 수도 있으나, 상승하고 있는 화력발전소 주변 이산화질소 농도와 야간 조도 추세는 전력 생산이 더 되고 있다는 것을 뒷받침한다. 특히 평양에 대한 전력 공급이 증가한 것은 많은 보도를 통해서도 알 수 있다. 위 기사와 같은 시기인 2023년 5월 『RFA』 또한 생산된 전력이 주로 평양시 5만세대 주택 건설에 집중되고 있다고 보도했고,¹⁸⁾ 2024년 4월에는 김정은 국무위원장이 평양 화성지구 2단계 림흥거리 준공을 축하¹⁹⁾하기까지 할 정도로 건설현장에 많은 전력을 투입하고 있는 것으로 보인다.

다만, 북한의 전력 상황이 좋지 않다는 보도 또한 꾸준히 나오고 있다. 예를 들어, 위와 같은 『RFA』 보도와 같은 해 7월 『통일과미래』 보도에 따르면 평양을 제외한 다른 지역에는 전력 공급이 제대로 되고 있지 않다고 한다.²⁰⁾ 즉, 인공위성이 촬영한 북한의 밤(정확히는

[그림 14] 북한 도별 야간조도 추이(2012년 1분기~2024년 1분기)



주: 파란선은 북한 각 도 분기별 야간 조도 평균수치를 의미하며, 빨간선은 HP 필터를 적용한 추세를 나타냄. HP 필터 적용 시 민감도 상승(λ)은 분기별 자료에 주로 쓰이는 1,600을 사용함. 남포특별시: 평안남도, 개성특별시: 황해북도, 나선특별시: 함경북도에 포함하여 계산함.

17) 『SPN서울평양뉴스』, 「북한 “전력부문, 읍들어 수백만kWh 전력 증산” 주장」, 2023. 5. 8.

18) 『RFA』, 「북, 평양시만 전력 집중공급... “지방은 깜깜”」, 2023. 5. 16.

19) 『KBS』, 「평양 새 아파트 3만 가구 넘어... “가시적 성과” 매달리는 북한」, 2024. 4. 17.

20) 『통일과미래』, 「北 계속해 전기공급 되는 곳 없어, 평양도 하루 6~8시간만 보장 북쪽 국경에선 1년에 하루 설날만 김정은 연설 보라고 전기공급」, 2023. 5. 16.

새벽 1시 반 무렵)은 예전에 비해 분명 밝아지기는 했으나, 전력이 필요한 가정이나 산업시설이 아닌 산업활동과 상관없는 불필요한 곳에 가고 있을 수도 있다는 것이다. 예를 들어, 박은진(2018)에 따르면 북한의 전력 부하 등급 최상위(특급)는 김일성·김정일 동상, 우상화 선전물 및 노동당 청사와 같은 특수기관이며, 2급 부하 공급처가 일반 산업시설 그리고 최하위 공급처가 가정이다. 따라서 동상이나 우상화 선전물 등의 수가 전국적으로 늘어난 것이 평양이 아닌 다른 지역의 밤이 밝아진 이유일 수도 있다.

여기서 객관적으로 파악할 수 있는 것은 주요 화력발전소 주변 이산화질소 농도와 북한 전역의 야간 조도가 높아졌다는 것이다. 화력발전소보다는 수력발전소의 영향이 클 수도 있으나, 전력 생산은 북한의 주장과 같이 최근 증가했을 개연성이 있다고 할 수 있다. 다만, 북한 당국에서 수요가 아닌 경제주체의 선택을 반영해 전력을 공급하는 만큼 증가한 전력이 온전히 산업 일선으로 배전되었는지는 미지수다.

3. 지역별 연구에서 한계: 바람의 영향

앞서 북창화력발전연합기업소의 소재지인 평안남도 북창군이 아닌 주변 지역들이나 황해북도 중화군, 평안북도 신도군이나 룡천군의 이산화질소 농도가 굉장히 높은 이유로 바람을 들었다. 비록 이산화질소가 대기 중에 체류하는 시간이 짧다고는 하나 분명 바람에 의해 주변 지역에 영향을 주며, 이 때문에 소규모 지역별 연구를 하는 데 큰 걸림돌이 된다. 더 자세히 살펴보기 위해 <표 6>에 북창군의 이산화질소 농도와 북창군 주변 지역 이산화질소 농도와의 상관관계를 계산했다.

평안남도 지도를 나타낸 [그림 15]에서 알 수 있듯 은산군부터 순천시까지는 북창군과 경계선을 맞닿아 있는 행정구역이며, 양덕군부터 영원군은 북창군과의 사이에 다른 행정구역을 두고 있다. <표 6>이 나타내는 결과는 굉장히 일관적으로 북서풍의 영향력을 보여준다. 북창군 이산화질소 농도와 상관관계가 0.7이상인 행정구역은 은산군을 제외하고 모두 북창군 기준으로 동남쪽에 위치해 있다. 은산군도 북창군 바로 밑에 위치해 있으며, 북창군 중심부에 있는 북창화력발전연합기업소와의 거리가 굉장히 가깝다. 양덕군과 수동군 같은 경우에는 중간에 신양군이 있음에도 불구하고 북창군과 높은 상관관계를 나타냈다. 산업연구원 북한 산업·기업 DB에 따르면 양덕군과 수동군에는 북한 언론에 자주 보도되는 기업이 없는 것으로 보아 북창화력발전연합기업소의 영향이 압도적일 것으로 판단된다. 두 지역의 이산화질소 농도 상관관계는 무려 0.97로 사실상 동일하게 움직인다. 게다가 이 두 지역의

반대로 북창군과 경계선은 맞닿아 있지만 북이나 서쪽에 있는 영월군, 덕천시, 순천시, 득장지구는 모두 상관관계가 상대적으로 낮게 나타났으며, 북서쪽에 위치한 개천시의 경

〈표 6〉 북창군과 북창군 주변 이산화질소 농도 상관관계(2018년 2분기~2024년 1분기)

	북창	은산	성천	신양	맹산	득장	덕천	개천	순천	양덕	수동	요덕	영원
북창	1												
은산	0.90	1											
성천	0.90	0.96	1										
신양	0.89	0.86	0.95	1									
맹산	0.38	0.25	0.14	0.12	1								
득장	0.25	0.19	0.07	-0.01	0.63	1							
덕천	0.23	0.03	-0.09	-0.08	0.69	0.70	1						
개천	-0.11	-0.22	-0.32	-0.34	0.49	0.66	0.67	1					
순천	0.18	0.08	0.03	-0.11	0.23	0.60	0.56	0.68	1				
양덕	0.79	0.75	0.80	0.86	0.34	0.12	-0.03	-0.05	-0.04	1			
수동	0.79	0.76	0.78	0.81	0.39	0.21	0.00	0.01	-0.05	0.97	1		
요덕	0.56	0.34	0.31	0.40	0.73	0.39	0.38	0.38	0.13	0.72	0.75	1	
영원	0.18	0.02	-0.05	-0.04	0.52	0.51	0.52	0.67	0.36	0.29	0.37	0.68	1

주: 계절 조정하지 않은 분기별 원자료를 활용하여 상관관계를 구함.

[그림 15] 평안남도 행정구역 지도



주: 요덕군과 수동군은 평안남도가 아닌 함경남도에 위치하며, 요덕군은 맹산군과 신안군 동쪽, 수동군은 양덕군 북쪽에 있는 행정구역임.
자료: 산업연구원 북한 산업·기업 DB.

우 음(-)의 상관관계가 나타나기까지 한다. 순천시의 경우 득장지구, 개천시, 덕천시 정도를 제외하면 타지역과의 상관관계가 상당히 낮게 나온다. 이는 순천시에 순천화력발전소를 포함해 대규모산업이 있어 자체적으로 이산화질소를 많이 배출하기 때문일 것으로 보인다.

따라서 이산화질소 농도 자료를 활용하여 북한을 행정구역 단위로 분석할 때 이와 같은 바람의 영향을 유의해야 한다. 다만, 행정구역 자체적으로 이산화질소를 많이 배출할 만한 산업이 없는데, 이산화질소 농도 수치가 높은 지역은 풍향이 항상 북서풍이 아니기 때문에 간접적으로 파악할 방법이 있다. 북한 행정구역의 분기별 이산화질소 농도 순위의 표준편차를 계산해 본 결과, 편차가 심한 지역은 평안남도 맹산군, 평안북도 철산군, 평안남도 득장지구, 평안북도 삭주군, 함경남도 요덕군, 평안북도 의주군 순이었는데, 이들 행정구역은 모두 북창군이나 중국 단둥시에서 가깝다는 공통점이 있다. 즉, 주로 북서풍이 불기 때문에 위치에 따라 평소에는 이산화질소 농도 수치가 높게(낮게) 나타나나, 북서풍이 불지 않으면 이산화질소 농도 수치가 급감(급상승)하는 것이다. 이는 자체적으로 이산화질소를 많이 배출하지 않기 때문에 수치가 바람에 의해 크게 영향을 받는 것이다. 반대로 순위 표준편차가 낮은 지역은 황해북도 중화군, 평안남도 성천군, 평양직할시, 평안남도 은산군, 황해북도 상원군, 양강도 백암군 순이다. 중화군, 성천군, 은산군의 경우 바람과 상관없이 주변이 모두 공업지대인 관계로 이산화질소 농도가 꾸준히 높이 나오는 것으로 보이며, 반대로 백암군의 경우 주변 환경상 이산화질소 농도가 크게 변하지 않기 때문일 것으로 해석된다. 실제로 대부분의 양강도, 함경북도, 자강도, 함경남도 소속 행정구역은 순위변동이 크지 않는 것으로 나타난다.

V. 결론

본고는 KDI 북한경제연구실이 구축한 북한 지역 이산화질소 농도 데이터를 소개하고 북한경제를 분석하는 데 이 데이터의 가능성과 한계에 대해 분석했다. 이산화질소는 자동차 배기가스나 화력발전 연료 연소와 같은 인위적인 발생원이 크게 작용하기 때문에 산업활동을 간접적으로 측정할 수 있어 최근 환경분야뿐만 아니라 경제분야에서도 점차 더 활용하고 있는 추세다. 특히 대기에 체류하는 시간이 다른 오염물질에 비해 상대적으로 짧아 발생원을 더 쉽게 유추할 수 있다. 또한 이산화질소 농도 데이터는 다른 인공위성 자료와 마찬가지로 잦은 빈도로 업데이트되어 신속하게 활용 가능한 속보성이라는 장점과 접근이 불가능한 북한의 지역 곳곳을 살펴볼 수 있다는 지역성이라는 장점이 있다. 이에 북한의 시군구별 이산화질소

농도를 2018년 5월부터 2024년 2월까지 월별, 분기별, 연도별로 나누어 데이터화 하였다.

다만, 이산화질소 농도는 물질 특성상 계절별로 큰 편차를 보여 월별이나 분기별과 같이 시차가 짧은 시기를 비교할 경우 계절성 조정이 필수적이며, 외부환경에 영향을 많이 받는 만큼 자료 해석에 있어 매우 유의해야 한다는 단점도 있다. 또한 아직 긴 시계열의 데이터가 확보되지 않은 점과 교차검증이 가능한 신뢰성 있는 자료의 부재 또한 이산화질소 농도 데이터 활용에 있어 어려움이라 할 수 있다.

하지만 자료 자체가 부족한 북한경제 연구에 있어 이러한 인공위성 자료는 가뭄에 단비와 같다고 할 수 있다. 지역 간 절대적인 농도 수치 비교는 환경 차이로 인해 쉽지 않더라도, 이산화질소 농도 자료로 추세를 살펴보면 지역별 경제 또는 산업 활성화 수준을 분석하는 면이 북한경제를 파악하는 데 더 활용도가 높을 것으로 판단된다. 앞으로 더 긴 시계열의 환경위성 자료가 구축되고, 야간 조도와 고해상도 주간위성 영상 등 다른 인공위성 자료 및 신빙성 있는 북한 관련 자료와 교차검증이 된다면 북한경제 분석에 새로운 길을 열어줄 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

〈국내문헌〉

- 김경술, 「북한 에너지부문의 동향과 전망」, 『KDI 북한경제리뷰』, 2020년 1월, 2020.
- 김다울, 「야간조도를 활용한 북한경제 연구」, 『KDI 북한경제리뷰』, 2023년 6월, 2023.
- 박은진, 「북한 전력산업 정책의 변화 및 전망」, 『KDB북한개발』, 2018년 3월, 2018.
- 서울대학교 통일평화연구원, 『북한의 대기오염 모니터링 시스템 구축』, 2020년도 통일기반구축사업, 2020.
- 이궁희·이혜영, 「X-13ARIMA-SEATS를 이용한 한국 경제통계의 계절조정 방안 연구」, 『BOK 국민계정리뷰』, 2013.
- 이석, 「현 단계 북한경제에 대한 평가와 전망: 서로 다른 시각과 새로운 데이터」, 『KDI 북한경제리뷰』, 2024년 1월, 2024.
- 이원진, 「환경위성 자료를 이용한 북한경제 분석 가능성 연구: 위성 관측 이산화질소 농도와 북한 GDP 간 상관관계 분석」, 『KDI 북한경제리뷰』, 2023년 6월, 2023.
- 이한림, 「환경위성 자료를 활용한 북한 경제 지표 추정 가능성 연구」, KDI 세미나 발표자료, 2023.
- 전정길, 「환경오염물질 관측 인공위성 플랫폼 및 북한 이산화질소(NO₂) 농도 추이 소개」, 『KDI 북한경제리뷰』, 2024년 4월, 2024.

〈보도자료〉

- 국립환경과학원, 「환경위성 관측 이산화질소 평균 농도 공개」, 환경부 보도자료, 2023. 5. 30.
- 수도권대기환경청, 「수도권 대기 중 이산화질소(NO₂) 농도, 20년간 감소추세」, 환경부 보도자료, 2022. 6. 16.
- 『통일과미래』, 「北 계속해 전기공급 되는 곳 없어, 평양도 하루 6~8시간만 보장 북쪽 국경에선 1년에 하루 설날만 김정은 연설 보라고 전기공급」, 2023. 5. 16.
- 『KBS』, 「평양 새 아파트 3만 가구 넘어...‘가시적 성과’ 매달리는 북한」, 2024. 4. 17.
- 『RFA』, 「북, 평양시만 전력 집중공급...“지방은 깜깜”」, 2023. 5. 16.
- 『SPN서울평양뉴스』, 「북한 “전력부문, 올들어 수백만kWh 전력 증산” 주장」, 2023. 5. 8.

『SPN서울평양뉴스』, 「북 “북창화력발전소, 1.4분기 수십년래 최고 전력 생산”」, 2024. 4. 11.

〈해외문헌〉

- Abid, Mehdi, “Impact of Economic, Financial, and Institutional Factors on CO2 Emissions: Evidence from Sub-Saharan Africa Economies,” *Utilities Policy*, Volume 41, 2016.
- Chong, Heesung, Seoyoung Lee, Yeseul Cho, Jhoon Kim, Ja-Ho Koo, Yong Pyo Kim, Younha Kim, Jung-Hun Woo, and Dha Hyun Ahn, “Assessment of Air Quality in North Korea from Satellite Observations,” *Environment International*, Volume 171, 2023, 107708.
- De Ruyter De Wildt, Martijn, Henk Eskes, and K. Folkert Boersma, “The Global Economic Cycle and Satellite-derived NO₂ Trends over Shipping Lanes,” *Geophysical Research Letters*, Volume 39, Issue 1, 2012.
- Goldberg, Daniel L., Madankui Tao, Gaige Hunter Kerr, Siqi Ma, Daniel Q. Tong, Arlene M. Fiore, Angela F. Dickens, Zachariah E. Adelman, and Susan C. Anenberg, “Evaluating the Spatial Patterns of U.S. Urban NO_x Emissions using TROPOMI NO₂,” *Remote Sensing of Environment*, Volume 300, 1 January 2024, 113917.
- Hayakawa, Kazunobu and Souknilanh Keola, “How is the Asian Economy Recovering from COVID-19? Evidence from the Emissions of Air Pollutants,” *Journal of Asian Economics*, 77, 2021.
- Keola, Souknilanh and Kazunobu Hayakawa, “Do Lockdown Policies Reduce Economic and Social Activities? Evidence from NO₂ Emissions,” *Developing Economies*, 59, no.2, 2021.
- Kim, Dawool, “Assessing Regional Economy in North Korea using Nighttime Light,” *Asia and the Global Economy*, 2(3), 2022.
- Lee, Yong Suk, “International Isolation and Regional Inequality: Evidence from Sanctions on North Korea,” *Journal of Urban Economics*, Volume 103, 2018.
- Luo, Yunpeng, Huai Chen, Qiu'an Zhu, Changhui Peng, Gang Yang, Yanzheng Yang, and Yao Zhang, “Relationship between Air Pollutants and Economic Development

of the Provincial Capital Cities in China during the Past Decade,” *PLoS One*, Volume 9, Issue 8, 2014.

〈웹사이트〉

Copernicus Sentinel-5P Mapping Portal(<https://maps.s5p-pal.com/no2-troposphere/season/>, 접속일: 2024. 3. 29).

산업연구원 북한 산업·기업 DB(<http://nkindustry.kiet.re.kr/index.do>, 접속일: 2024. 4. 21).