



2021. 2. 8.(월)

문의 : 연구책임자 정수종 교수 (02-880-5664) / 교신저자

“탄소중립을 통한 온실가스 저감은 대기오염 개선효과를 수반할 것임”

환경대학원 정수종 교수 연구팀, 위성 분석을 통해 전 세계 81개 대도시 온실가스와 대기 오염도 관련성 처음으로 밝혀

○ 서울대학교 환경대학원 정수종 교수와 박하영 연구원 그리고 미국 NASA 제트추진연구소, 네덜란드 KNMI로 구성된 한국-미국-유럽 공동 연구팀은 온실가스 관측 인공위성을 사용하여 북반구 도시의 온실가스 배출 패턴 및 배출 특성 평가의 표준화기법을 개발하였다. 도시에서는 온실가스 배출량 증가에 따라 대기질도 함께 악화되는 것을 보였으며, 특히 도시의 개발 수준에 따라 대기질 악화 정도가 차이가 나는 것을 밝혔다. 이와 같은 결과는 전 세계 81개 대도시의 온실가스와 대기질을 균일한 방법으로 비교분석한 첫 사례이며, 탄소중립을 위한 온실가스 저감은 궁극적으로 대기오염 문제 해결에도 도움을 줄 수 있다는 증거를 제시한 것으로, 국제 학술지 Remote Sensing of Environment에 2020년 12월 온라인으로 발표되었다.

○ 도시에서는 기후변화와 온난화를 유발하는 전 지구의 70% 이상의 이산화탄소(CO₂)가 배출되고 있으며, 대기오염의 전구물질인 CO와 NO₂ 또한 도시에서 많이 배출되고 있다. 전 세계 인구의 절반 이상은 도시에 거주하고 있으며, 도시에서는 난방과 에너지 및 자동차 사용과 같은 인간 활동으로 인한 인위적 CO₂ 및 대기오염물질이 많이 발생하고 있다. 이로 인해 도시에서는 이산화탄소와 대기오염물질을 저감하는 것이 가장 큰 숙제 중 하나가 되었다. 따라서 도시는 기후변화 완화와 이산화탄소 감축 및 대기질 개선에 있어 아주 중요한 역할을 할 수 있다.

- o 도시 내에 있는 인위적인 배출원에서는 대부분 CO₂와 함께 대기오염의 전구물질인 CO와 NO₂가 동시에 배출이 되고, 이 물질들의 관계와 비율을 통해 해당 도시의 배출특징을 파악할 수 있다. 정수종 교수 연구팀은 인공위성을 이용해 전 세계 북반구 81개 대도시의 이산화탄소와 대기오염물질의 상관성 및 비율을 분석하여 도시들의 배출 특성을 평가하였다. 이는 인공위성을 이용해 전 세계 대도시 온실가스와 대기오염을 동시에 분석한 첫 사례이다.

- o 연구결과에 따르면 CO₂와 대기오염물질인 CO와 NO₂가 양의 상관성을 가진 것으로 나타났다. 이는 에너지사용량과 인간활동이 증가할수록 대기질에 영향을 미치는 대기오염물질도 함께 증가한다는 것을 의미한다. 더 나아가 도시 에너지사용량을 반영하는 CO₂를 사용해 대기오염물질의 비율을 비교했을 때, 각 도시의 배출 특성과 사회경제적 특징이 잘 반영되는 것으로 나타났다. 도시들을 북미, 유럽, 아시아 지역으로 분류했을 때, 아시아 지역의 도시들과 유럽의 상업 도시들이 CO₂ 배출 대비 대기오염물질 CO와 NO₂ 비율이 특히 높은 것으로 나타났다. 또한, 도시의 CO/CO₂, NO₂/CO₂ 비율은 도시의 인구수와 GDP와도 상관성이 있다는 것으로 나타났다. 도시 규모나 경제발전이 커질수록 대기질이 악화되는 것을 볼 수 있다.

- o 나아가 북반구 도시들을 ‘선진국’ 과 ‘개발 도상국’ 지역으로 분류해 GDP와 비교했을 때 새로운 패턴을 보였다. 대부분의 선진국 도시들은 GDP의 증가에 따라 CO/CO₂와 NO₂/CO₂ 비율의 작은 증가세를 보이는 반면, 개도국 도시들은 GDP 증가당 비율의 더 큰 증가세를 보였다. 특히, 뭄바이나 텐진처럼 급속한 경제발전이 직면한 개도국 도시들은 선진국 도시와 거의 비슷한 정도의 배출비율을 보였다. 이는 개도국 도시들의 덜 엄격한 오염 통제 조치와 함께 화석 연료의 낮은 연소효율에 기인할 수 있다. 개도국 도시들의 경제발전이 따른 대기질 저하를 효과적으로 관리하기 위해서는 오염 관리 조치가 매우 중요하다는 것을 암시한다. 또한, 본 연구는 테헤란과 밀라노와 같은 도시에서는 기상 조건과

맞물려 도시에 대기오염을 가둘 수 있는 지리적 특성의 중요성을 강조하였다.

○ 본 연구결과는 위성 관측을 통해 도시의 이산화탄소와 대기오염물질의 동시 배출을 제어하는 요인에 대한 단서를 제공할 수 있음을 입증하였다. 연구 책임자인 정수종 교수는 “국가의 탄소중립 정책에 따라 도시에서는 기후변화와 대기질 개선을 위해 에너지 전환과 탈탄소의 적절한 대응 정책 수립이 고려되어야 한다. 본 연구는 이러한 이산화탄소 감축 및 대기질 완화를 위한 전략에 사용될 수 있는 결과를 제시한다” 고 연구의 중요성을 밝혔다.

○ 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었다 (No. NRF-2019R1A2C3002868).

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명

연구결과

An assessment of emission characteristics of Northern Hemisphere cities using spaceborne observations of CO₂, CO, and NO₂

Hayoung Park¹, Sujong Jeong^{1,2,*}, Hoonyoung Park^{1,2}, Lev D. Labzovskii³, Kevin W. Bowman^{4,5}

¹Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

²Environmental Planning Institute, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

³R&D Satellite and Observations Group, Netherlands Meteorological Institute(KNMI), De Bilt, Netherlands

⁴Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91109, United States

⁵Joint Institute for Regional Earth System Science and Engineering (JIFRESSE), University of California, Los Angeles

(Remote Sensing of Environment)

도시에서는 강화된 인간활동과 높은 수준의 에너지 소비로 인해 대기 에 이산화탄소(CO₂) 및 대기오염물질(CO, NO₂)이 많이 배출한다. 본 연구는 2018년 12월부터 2020년 3월까지의 겨울철에 Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) 와 Sentinel-5 Precursor TROPospheric Monitoring Instrument (S5-P TROPOMI) 인공위성의 CO₂와 CO, NO₂ 관측을 이용해 북반구 도시들의 배출 특성을 평가한다. 본 연구는 각 도시의 CO₂ 및 대기오염물질의 도시증가량(urban enhancement; 도시에서 나오는 순수 인위적 배출농도)을 계산하였다. 또한, CO₂와 대기오염물질의 관계를 나타내는 CO/CO₂와 NO₂/CO₂ 비율을 분석한 결과 도시가 위치한 지역에 따라 뚜렷한 배출 패턴을 보이는 것을 발견하였다. 본 연구에서 도시의 CO/CO₂와 NO₂/CO₂ 비율은 각 도시의 인구수와 GDP(gross domestic product; 국내총생산)과 양의 상관성을 보였다. 또한, 북반구 도시들을 “선진국” 과 “개

발 도상국” 도시들로 나뉘었을 때, 새로운 패턴이 나타났다. 대부분의 선진국 도시들은 GDP의 증가에 따라 CO/CO₂와 NO₂/CO₂ 비율의 작은 증가세를 보이는 반면, 개도국 도시들은 GDP 증가당 비율의 더 큰 증가세를 보였다. 특히, 뭍바이나 텐진처럼 급속한 경제발전에 직면한 개도국 도시들은 선진국 도시와 거의 비슷한 정도의 비율을 보였다. 이는 개도국 도시들의 덜 엄격한 오염 통제 조치와 함께 화석 연료의 낮은 연소효율에 기인할 수 있다. 본 결과는 개도국 도시의 경제발전에 따른 대기질 저하를 효과적으로 관리하기 위해서 오염 관리 조치가 매우 중요하다는 것을 암시한다.

나아가 본 연구는 테헤란과 밀라노와 같은 도시에서는 기상 조건과 맞물려 도시에 대기오염을 가둘 수 있는 지리적 특성의 중요성을 강조한다. 짧은 분석 기간에도 불구하고, 본 연구는 CO₂와 대기오염물질의 위성 관측을 통해 도시의 이산화탄소와 대기오염물질의 동시 배출을 제어하는 요인에 대한 단서를 제공할 수 있음을 입증하였고, 향후 더 긴 관측 기간에 본 연구에서 제안된 방법이 적용되었을 때 도시의 대기질 개선과 기후변화 완화 전략을 지지할 수 있을 것으로 기대한다.

용 어 설 명

1. 도시증가효과 (urban enhancement)

- 식생효과 및 외부에서 유입된 배경농도를 제거한 도시에서 순수 배출된 이산화탄소 및 대기오염물질 농도를 의미함. 도시 연구에서는 배경농도를 제거하는 것이 중요하며, 본 연구에서는 도시증가효과만 고려하여 분석을 진행하였음.

2. CO/CO₂, NO₂/CO₂ 배출비율 (CO/CO₂, NO₂/CO₂ emission ratio)

- 가스상 물질을 따로 분석할 때는 여러 요인으로부터 영향을 받을 수 있어 분석에 한계가 있을 수 있음. 예를 들어, 큰 도시에서 자동차나 화력발전소를 많이 사용한다면 당연히 대기질이 안 좋을 수밖에 없음. 따라서 도시 에너지사용량을 반영하는 CO₂ 농도를 사용해 대기오염물질(CO, NO₂)의 농도 비율을 비교하여 도시 규모와 상관없이 에너지사용량 대비 대기오염물질의 배출이 대기질에 어떠한 영향을 나타내는지 비교하고, 도시 내에서는 어떠한 배출 특성이 있는지를 파악할 수 있음.

3. 연소효율 (combustion efficiency)

- 발전소 또는 자동차 엔진 연료가 연소하였을 때의 발열 효율을 의미함. 연료의 발열량에 대해 연소실에서 실제로 연소하여 발생한 열량의 비로서, 연소가 완전히 이루어졌는가 또는 어떤가에 대한 정도를 말함. 본 연구에서는 도시의 CO/CO₂ 비율이 높을수록 불완전 연소가 많이 이루어져 연소효율이 떨어지는 것으로 판단할 수 있음.

그림 설명

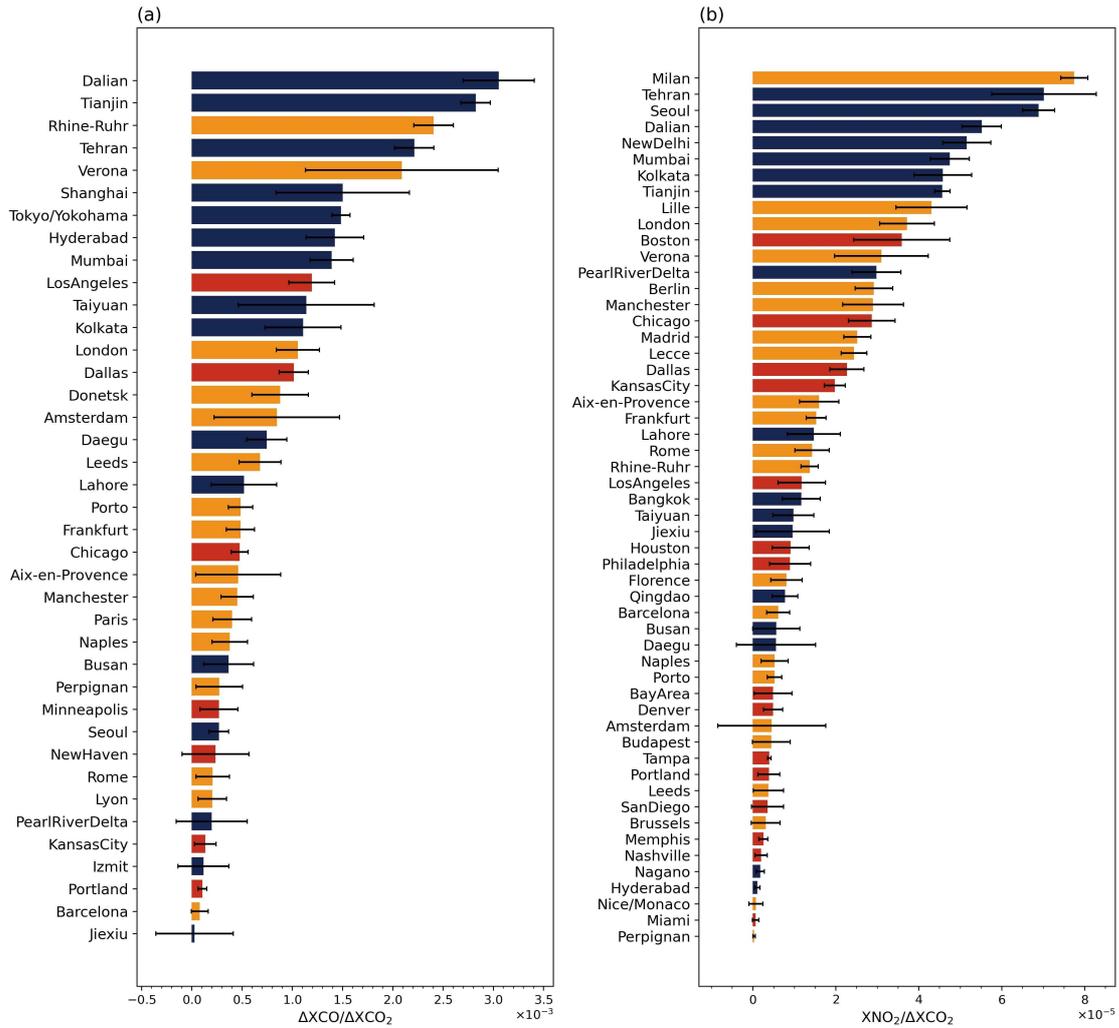


그림 1 북반구 도시의 (a) CO/CO₂와 (b) NO₂/CO₂ 비율 순위를 나타내는 그림. 색깔은 각 지역을 의미함 (빨강:미국, 노랑:유럽, 파랑: 아시아). CO₂ 대비 대기오염 물질이 높을수록 대기질이 악화 되는 것을 의미함.

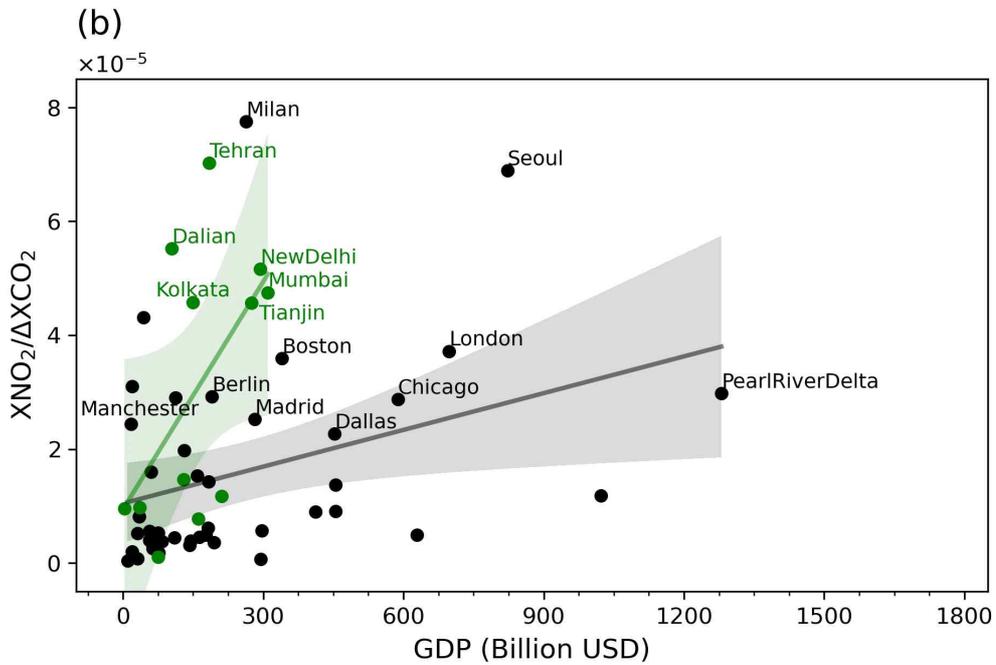
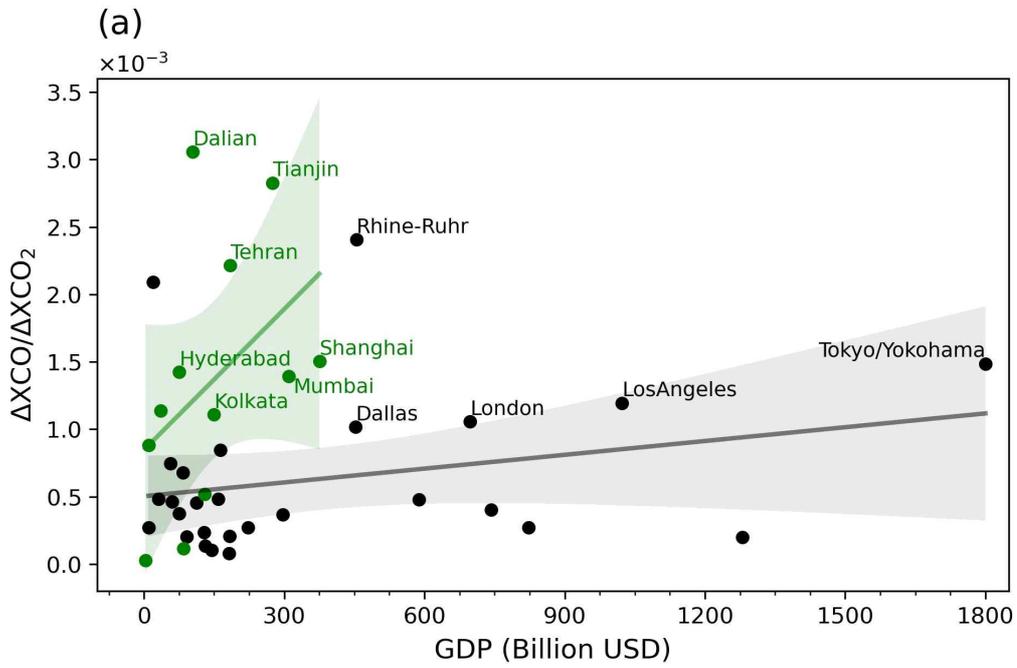


그림 2 북반구 도시의 CO/CO₂와 NO₂/CO₂ 비율을 각 도시의 GDP와 비교한 그림. 초록색은 개도국 도시, 검정색은 선진국 도시를 나타냄. 선진국은 GDP가 증가할수록 증가세가 작지만, 개도국의 경우 GDP가 증가할수록 비율이 급격히 높아지는 것을 볼 수 있음.