서울 도심 이산화탄소 모니터링을 통한 겨울철 대기질 진단

심소정(서울대학교 환경대학원)

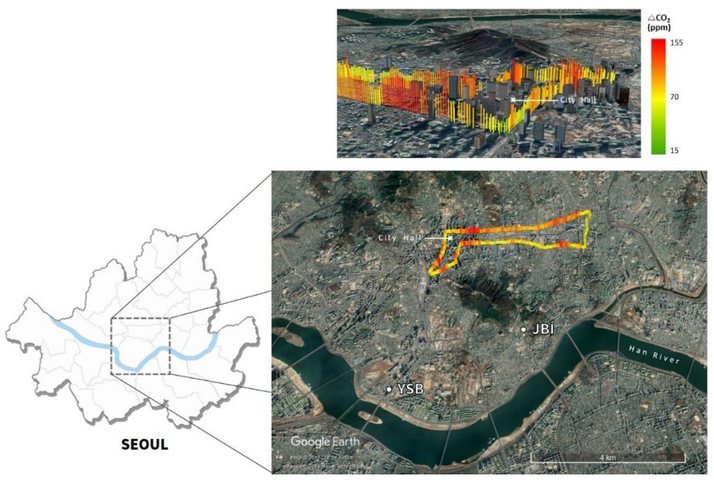
서론

- 매년 약 700만 명이 대기오염 관련 원인으로 사망하며, 도시 거주민의 80% 이상이 WHO 기준을 초과하는 대기질 환경에 노출되어 있음
- 도시에서 효과적인 대기질 관리 정책을 시행하기 위해서는 **오염물질 배출원을 파악**하는 것이 중요함
- 이산화탄소는 주로 기후변화를 일으키는 온실가스로 여겨져 왔지만, **도시에서 이산화탄소와 대기오염물질은 교통 및 난방을 포함하는 화석연료 연소에 의해 함께 발생하기 때문에 이산화탄소 관측은 도심의 대기질 평가에 활용될 수 있음**
- 대기오염물질/이산화탄소 비율은 천연가스, 가솔린, 석탄, 디젤 연소 등의 배출원을 구분하는데 이용됨
- 본 연구에서는 **겨울철 서울 도심에서 서울 최초로 이동 및 고정관측으로 측정된 이산화탄소(CO_2)와 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx/NO_2)을 포함하는 대기오염물질을 통해 서울 대기질에 가장 영향을 미치는 배출원을 파악**하고자 하였음



본론

1) 데이터 및 연구방법



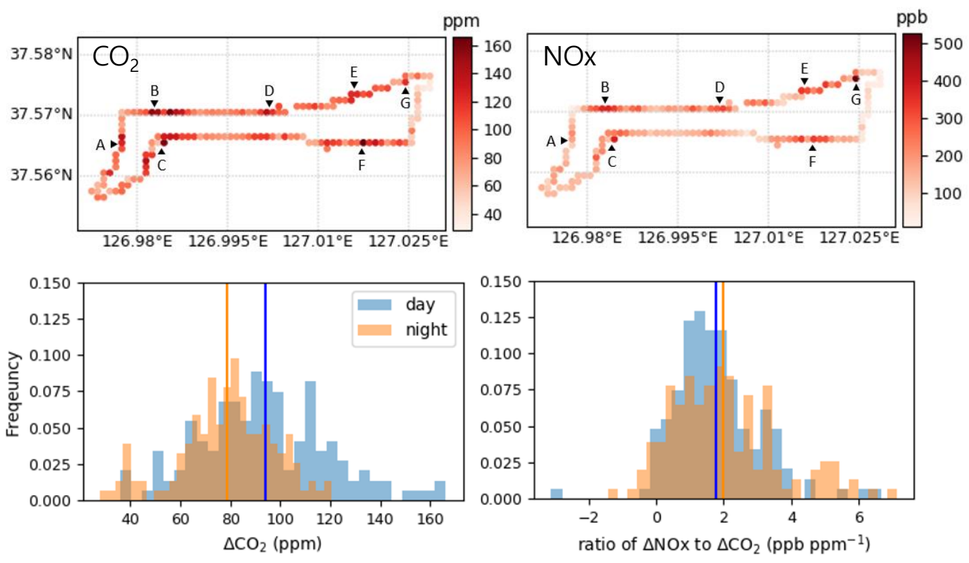
◀ 서울 지도 및 관측 지점 위치

선: 이동 관측의 주행 경로 / 점: 고정 관측 지점

YSB: 이산화탄소 관측 용산 건물, JBI: 에어코리아 도시 대기질 측정소 중부 기술 교육원

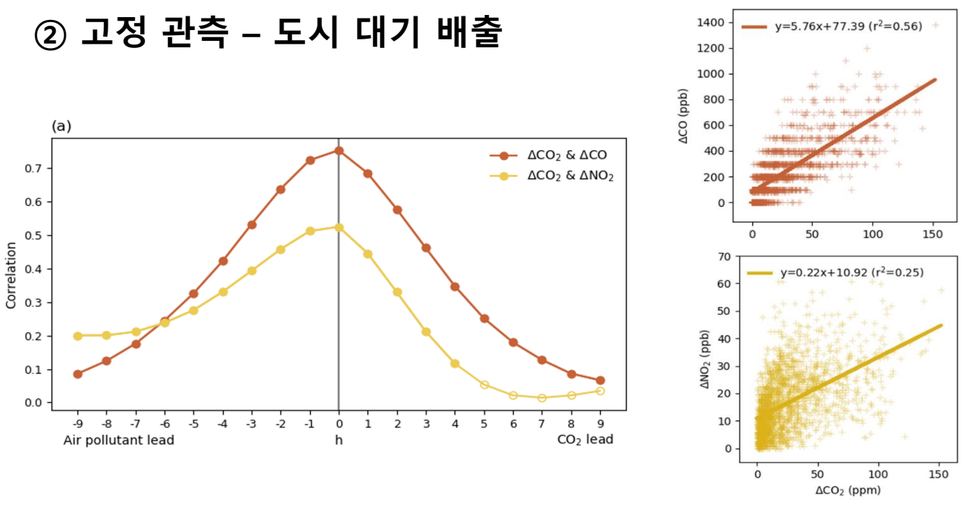
- 서울 도심을 대상으로 차량에 의한 **도로상 배출에 초점을 맞춘 이동 관측**과 **도시 대기 배출에 초점을 맞춘 고정 관측**으로 진행되었음
- 이동 관측 경로는 종로구와 용산구를 포함하는 상업 활동이 밀집한 중앙 상업지구이며, 2019년 1월 25일~30일까지 6일 동안 진행됨
- 고정 관측의 경우, YSB의 고층건물에서 측정한 이산화탄소 농도를 대기오염물질 농도와 비교하기 위해 가장 가까운 대기질 측정소인 JBI로 선정함

2) 분석 결과 및 토의 ① 이동 관측 – 차량에 의한 도로상 배출



- CO_2와 NOx 농도 값이 급격히 상승한 구간이 동일했으며, 시청, 종각, 을지로, 종로5가, 동묘, 신당, 신설동역이었음
- 이 구간은 차량이 집중되는 교차로였으며, 가속 또는 감속 상태의 차량에 의해 오염물질의 농도가 높아짐
- 차량 수가 크게 차이가 난 주간의 농도 값은 야간에 비해 약 1.3배 높았음
- $\triangle NOx/\triangle CO_2$ 비율(1.89 ppb/ppm)은 동일했으며, 이 비율은 **서울 도심 지역 오염원의 일반적인 특성을 반영**하고 있음.

② 고정 관측 – 도시 대기 배출



- 농도의 변동성에 따른 선행-지연 상관관계를 분석을 통해 서울 도심 대기오염물질과 CO_2가 같은 배출원으로 영향을 받았는지 파악
- CO (r = 0.75)와 NO_2 (r = 0.52) 모두 동시 상관성을 가졌으며, 이는 **서울 도심의 대기질을 판단할 수 있는 지표로 CO_2가 활용될 수 있음**을 의미함
- $\triangle CO/\triangle CO_2$와 $\triangle NO_2/\triangle CO_2$ 비율은 5.76, 0.22 ppb/ppm

③ 선행 연구와 비교

Relationship	Author	Ratio	Location	Period
$\triangle NO_x:\triangle CO_2$ (ppb ppm^{-1})	This study	1.89	Seoul (Mobile)	2019.01.25-2019.01.30
	Lopez et al. (2013)	1.1-4.3	Paris	2010.01-2010.02
	Bares et al. (2018)	0.91	Utah	2015.12-2016.02
$\triangle NO_2:\triangle CO_2$ (ppb ppm^{-1})	This study	0.21	Seoul (Building)	2019.01.25-2019.01.30
$\triangle CO:\triangle CO_2$ (ppb ppm^{-1})	This study	5.76	Seoul (Building)	2018.12-2019.02
	Djuricin et al. (2010)	6.5-10	LA	2007.10-2008.02
	Lopez et al. (2013)	7.9-14.5	Paris	2010.01-2010.02
	Bares et al. (2018)	7.38	Utah	2015.12-2016.02

$\triangle CO/\triangle CO_2$ 서울(5.76 ppb/ppm) < 로스앤젤레스, 파리, 유타

- 서울이 낮은 것은 촉매변환장치와 같은 **자동차의 기술적 진보**, 자동차 연소 효율 증가와 함께 엄격한 **대기질 규제**의 지속적인 이행에 따른 결과로 평가됨

$\triangle NO_2/\triangle NOx$

- 일반적으로 가솔린 차량에서 배출되는 NOx의 95%가 NO이고 나머지 5%는 NO_2이지만, 디젤 차량은 NO_2/NOx 비율이 좀 더 높은 것으로 알려져 있음
- $\triangle NO_2/\triangle NOx$ 비율(11%)은 **경유차가 서울의 대기질에 영향**을 미치는 것으로 나타남

$\triangle NO_x/\triangle CO_2$ 유타(0.91 ppb/ppm) < 서울(1.89 ppb/ppm) < 파리(2.8 ppb/ppm)

- 가솔린 차량: CO 다량 배출 / 디젤 차량: NOx는 다량 배출되지만 CO_2 배출량은 적음
- **경유차 비중**: 미국(3%) < 한국(43.4%) < 프랑스(75%) → $\triangle NOx/\triangle CO_2$ 순서와 일치

- 2009년 도입된 클린디젤 정책은 CO_2 배출량이 적은 경유차 사용을 장려함 → 경유차 등록대수가 37% 증가했음 (2012~2017년)
- 본 연구에서 얻은 이 비율은 **클린 디젤 정책이 서울 도심 대기질에 상당한 영향을 미쳤을 수 있음을 객관적으로 시사함**
- 서울의 대기질 개선을 위해 오염물질 배출량을 대폭 줄이는 효과를 거두기 위해서는 **엄격한 경유 차량 제어 정책**이 시행되어야 함

결론

- 대기 중에 오래 머무르고 안정한 **이산화탄소를 이용**하여 복잡하고 급변하는 **서울 도심 대기질을 이해**할 수 있는 것으로 나타났음
- IPCC 보고서는 정책 입안자들이 기후변화와 대기오염 저감 정책의 공동이익(co-benefit)을 추정하는 것이 중요하다고 밝혔음
- 기후변화 문제와 대기질 개선을 동시에 해결할 수 있는 엄격한 통합 정책의 필요성을 강조하며, 기후 변화 완화를 목표로 하는 도시 정책의 개발을 촉진하는 데 있어 대기 오염 물질 저감의 **공동 이익(co-benefit)**에 대한 통찰력을 제공함

참고 문헌

"WHO Air pollution", https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (2020년 10월 1일)
Kim et al., "On-road measurements of ultrafine particles and associated air pollutants in a densely populated area of Seoul, Korea", *Aerosol Air Qual. Res.* 15, 2015, 142-153
Tong et al., "On-road motor vehicle emissions and fuel consumption in urban driving conditions", *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 50, 2000, 543-554
Shon et al., "Long-term trend in NO2 and NOx levels and their emission ratio in relation to road traffic activities in East Asia", *Atmos. Environ..*, 45, 2011, 3120-3131
Wild et al., "On-road measurements of vehicle NO2/NOx emission ratios in Denver, Colorado, USA", *Atmos. Environ..*, 148, 2017, 182-189
WHO, "WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide", *World Heal. Organ.* 2005, 5-18
Alvarez et al., "Evidence of increased mass fraction of NO2 within real-world NOx emissions of modern light vehicles - derived from a reliable online measuring method", *Atmos. Environ..*, 42, 2008, 4699-4707
Soltic and Weilenmann, "NO2/NO emissions of gasoline passenger cars and light-duty trucks with Euro-2 emission standard", *Atmos. Environ..*, 37, 2003, 5207-5216
국립환경과학원, "2016 National Air Pollutants Emissions", 2019
Ammoura et al., "Atmospheric measurements of ratios between CO2 and co-emitted species from traffic: a tunnel study in the Paris megacity", *Atmos. Environ..*, 14, 2014, 12871-12882
Bares et al., "The wintertime covariation of CO2 and criteria pollutants in an urban valley of the Western United States", *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 123, 2018, 2684-2703
OECD/IEA, "International Comparison of Light-Duty Vehicle Fuel Economy 2005-2015 Ten Years of Fuel Economy Benchmarking", *Int. Energe Agency*, 2017
Nemet et al., "Implications of incorporating air-quality co-benefits into climate change policymaking", *Environ. Res. Lett.*, 5, 2010
Jack and Kinney, "Health co-benefits of climate mitigation in urban areas", *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 2, 2010, 172-177
Barker et al., "Mitigation from a Cross-Sectoral Perspective Mitigation from a Cross-Sectoral Perspective Chapter 11", *Catrinus J, Jepma*, 2007
Hawkes, "Long-run marginal CO2emissions factors in national electricity systems", *Appl. Energy*, 125, 2014, 197-205
Henrikesen et al., "Exploiting soil-management strategies for climate mitigation in the European Union: maximizing "win-win" solutions across policy regimes", *Ecol. Soc.*, 16, 2011
IPCC, "Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change", 2014
한국자동차산업협회, "An Analysis of the New Registration Status of Automobile in 2018", 2019
"Ministry of land, infrastructure and transport statistics system", http://stat.molit.go.kr/ (2020년 10월 1일)
Shindell et al., "Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security: supporting online material for", *Science*, 183, 2012, 183-190
Lin et al., "CO2 and carbon emissions from cities: linkages to air quality, socioeconomic activity, and stakeholders in the Salt Lake city urban area", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 99, 2018, 2325-2339

출판된 논문 Sim et al., 2020, "Co-benefit potential of urban CO2 and air quality monitoring: A study on the first mobile campaign and building monitoring experiments in Seoul during the winter", Atmospheric Pollution Research, 11(11), 1963-1970, https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.08.009