

코로나19 사회적 거리두기로 인한 인간활동의 변화가 서울시 CO_2와 대기질에 미치는 영향

박하영(서울대학교 환경대학원)

연구 목적

- 코로나19의 전 세계적 확산으로 인해 많은 국가가 바이러스 확산 예방을 위해 사회적 거리두기 또는 도시 봉쇄와 같은 강도 높은 제재들을 시행하였음.
- 이러한 조치는 인간활동의 감소와 온실가스 및 대기오염물질 배출의 감소로 이어졌으며 전, 세계의 대기에 중대한 변화를 일으켰음 (Le Quéré et al., 2020; Shi & Brasseur, 2020).
- 도시는 온실가스와 대기오염물질의 배출의 70% 이상의 원천으로서 인간활동과 도시 대기의 상호작용을 가장 잘 볼 수 있는 곳임 (Duren and Miller, 2012).
- 900만 명 이상이 거주하고 있는 대도시인 서울은 세계에서 이산화탄소와 대기 오염물질을 배출하는 가장 큰 도시 중 하나로 여겨짐 (Moran et al. 2018).
- **본 연구는 2020년 2월과 3월 중 사회적 거리두기로 인한 인간활동의 다양한 측면의 변화를 2019년 2월, 3월과 대비해 살펴보고 이러한 변화가 서울의 도시 대기에 어떠한 영향이 있었는지를 분석한다.**

연구방법 및 사용 데이터

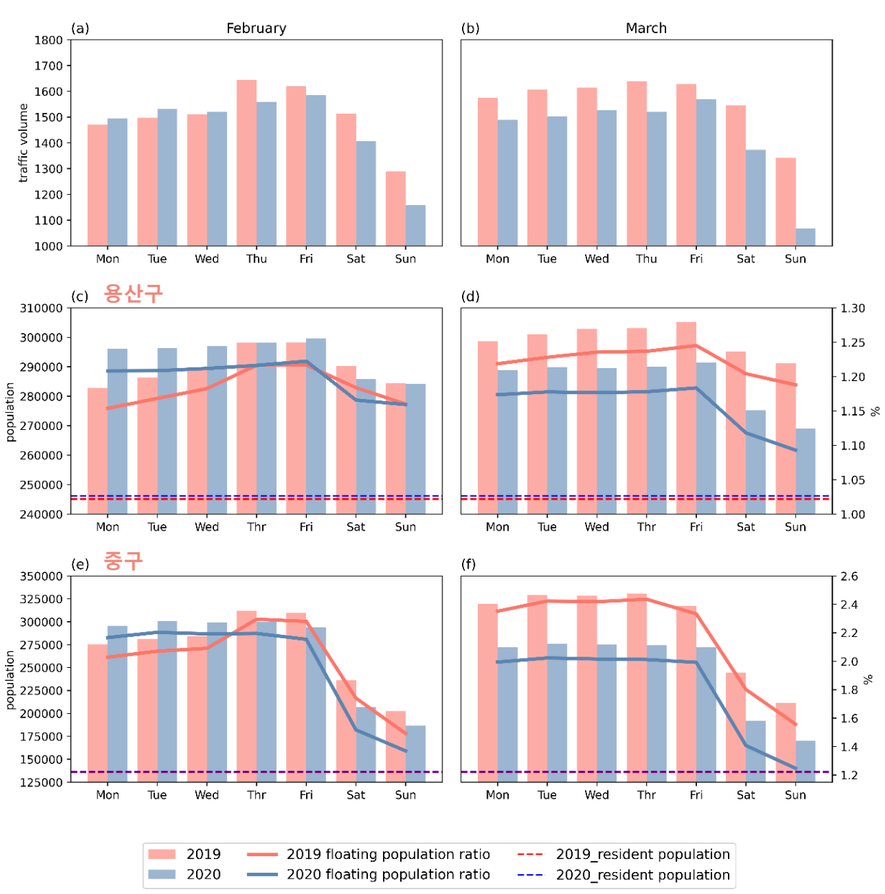
	사용 데이터		
사화경제적 데이터	**교통량** TOPIS에서 제공하는 지점별일자별 교통량 자료 (2019.01~03/ 2020.01~03), 서울시 내 135개 지점에서 측정한 교통량의 합	**유동인구** 서울 열린데이터 광장에서 제공되는 용산구 및 중구 유동인구수	**에너지사용량** 한국전력공사 전력데이터 개방 포털 시스템에서 제공되는 산업분류별 월별 전력사용량
지상 및 위성 관측 데이터	**지상 관측 CO_2, CO, NO_2** 서울시 용산구에 위치한 CO2 지상관측망 (SNUCO_2M) CO_2 데이터, 환경부에서 운영하는 AirKorea CO, NO_2 데이터	**위성 관측 CO, NO_2** Sentinel-5 Precursor TROPOMI CO (5.5 km x 7 km), NO_2 (5.5km x 3.5 km) 데이터	**기상 데이터** 기상청에서 운영하는 기상관측시스템 (AWS) 풍향 및 풍속 데이터

도시증가량 (배경농도가 제거된 농도값) 계산

CO_2는 대기 중에 오랜시간동안 머무는 특징이 있어, Bares et al. 2018 방법론을 이용하여 배경농도 영향을 제거하고 도시 내에서 발생하는 농도를 분리해서 정량화 함. 배경농도를 24시간동안 측정된 최하위 1분위수의 평균으로 정하고 같은 날의 모든 농도값에서 제거하였고, 동일한 방법으로 대기오염물질에도 적용함.

연구 결과

1. 인간활동의 변화



① 서울시 교통량

- 2020년 2월과 3월의 교통량은 전년 대비 각각 –3.6%, –8.9% 감소함.
- 주중과 주말 평균 교통량을 나눴을 때도 교통량은 전년 대비 2020년 2월에 감소하였고, 3월에는 더 많이 감소한 것으로 나타남.

② 용산구 및 중구 유동인구

- CO_2 지상관측망이 위치한 용산구와 서울시 내에 유동인구가 가장 많은 중구의 유동인구 데이터를 분석하였음.
- 용산구에서는 2020년 2월에는 2019년보다 주말 유동인구가 전년 대비 –0.8% 감소하였고, 주중에는 오히려 2.2% 증가하였음.
- 주중의 증가는 2019년 설날연휴기간과 겹쳤기 때문임.
- 반면, 2020년 3월에 코로나 확산이 증가하고 강도 높은 사회적 거리두기가 실시되었을 때 유동인구가 전년 대비 주중에는 –4.1%, 주말에는 –7.2% 감소함.
- 중구 또한 비슷한 양상을 보이며 2020년 2월보다 3월에는 전년대비 주중에는 –15.7%, 주말에는 –20.6%로 더 많이 감소함.

Industrial Classification	Electricity Consumption (kWh)				Amount of change	
	February 2019	March 2019	February 2020	March 2020	February	March
Construction	52,146,587	47,494,631	51,627,623	48,960,630	-518,964	1,465,999
Public administration	60,697,058	51,108,081	58,962,338	51,489,371	-1,734,720	381,290
Mining	373,681	295,765	379,777	342,347	6,096	46,582
Educational service	174,132,523	148,087,253	164,973,011	130,047,322	-9,159,512	-18,039,931
International and foreign institutions	7,336,813	6,057,210	5,537,697	4,656,632	-1,799,116	-1,400,578
Financial and Insurance	36,008,866	33,962,056	35,746,840	34,223,872	-262,026	261,816
Agriculture, Forestry, and Fisheries	1,631,929	1,337,215	1,527,845	1,310,412	-104,084	-26,803
Wholesale and Retail trade	344,249,211	294,171,911	321,787,161	286,261,614	-22,462,050	-7,910,297
Health and Social welfare services	101,999,608	92,830,140	103,966,272	99,481,205	1,966,664	6,651,065
Real estate and Buy-to-let	1,024,379,018	870,776,420	1,008,481,453	891,702,001	-15,897,565	20,925,581
Business facility management	30,258,791	25,668,611	28,393,962	25,089,937	-1,864,829	-578,674
Accommodation and Restaurant	207,188,286	174,563,059	192,617,573	162,854,572	-14,570,713	-11,708,487
Etc.	16,201	13,770	11,199	7,636	-5,002	-6,134
Arts, Sports, and Leisure-related service	54,385,073	44,621,534	49,677,591	38,850,459	-4,707,482	-5,771,075
Transportation	193,534,634	164,515,037	188,315,612	170,751,747	-5,219,022	6,236,710
Electricity, gas, steam and waterworks	92,878,142	85,508,432	85,855,141	77,584,253	-7,023,001	-7,924,179
Scientific and technical services	36,884,024	33,622,250	36,944,098	35,068,886	60,074	1,446,636
Manufacturing	148,488,168	131,884,466	137,328,052	129,378,363	-11,160,116	-2,506,103
Broadcasting and Publishing	135,939,439	138,196,172	147,679,671	148,351,239	11,740,232	10,155,067
Sewage treatment	43,537,803	46,184,974	47,899,600	48,965,313	4,361,797	2,780,339
Association, Organization, and Personal service business	91,565,429	74,601,809	84,935,828	68,040,051	-6,629,601	-6,561,758
Total	2,837,631,284	2,465,500,796	2,752,648,344	2,453,417,862	-5.002	-6,134

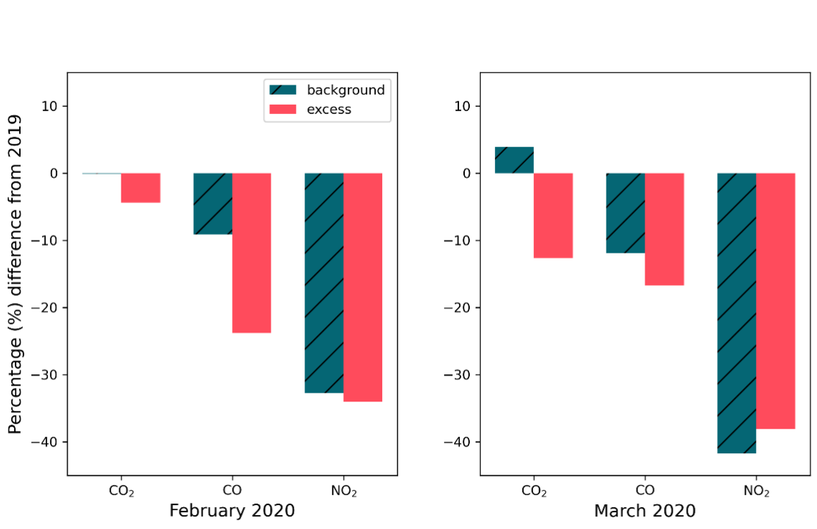
③ 서울시 산업분류별 월별 전력사용량

- 2020년 전력사용량에서 전년대비 가장 큰 감소가 있었던 산업군은 교육서비스업임.
- 숙박 및 음식점업, 예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스사업의 전력소비량도 큰 감소가 있음.
- 반면, 2019년 대비 2020년에는 보건업 및 사회복지 서비스업, 전문, 과학 및 기술 서비스업, 그리고 출판영상, 방송통신정보서비스업 산업군에서 전력소비량이 증가한 것을 확인할 수 있음.
- 2020년도의 전력사용 데이터는 코로나19로 인한 공중보건 시설의 비상과, 뉴스매체에서 바이러스에 대한 여러 방송, 바이러스 검사 키트 및 백신 개발을 위한 과학시설에서의 연구의 급증을 반영함.

2. 도시 CO2 농도 및 대기질의 변화

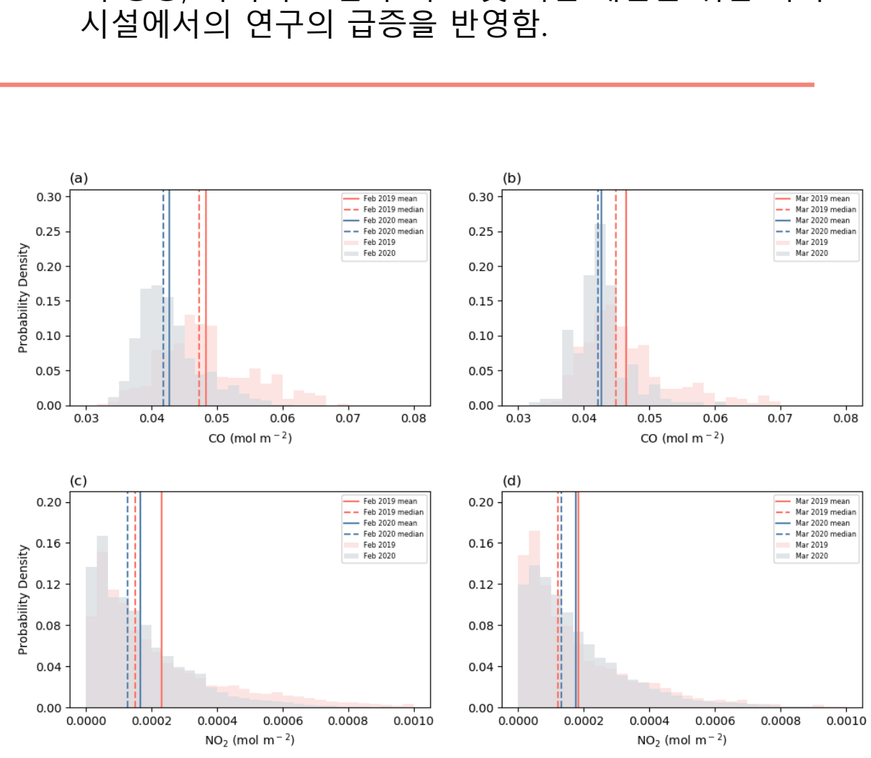
① 지상 관측 CO, NO_2 농도 변화

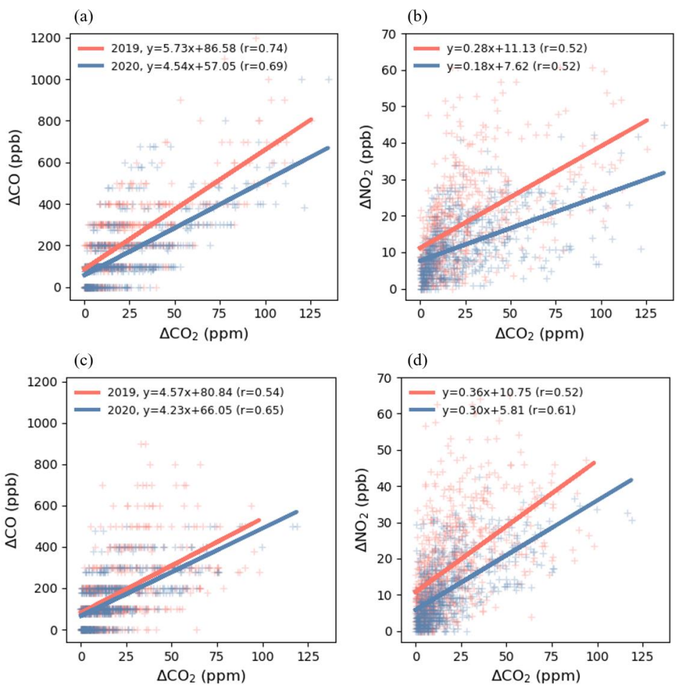
- 지상에서 관측된 CO_2와 대기오염물질의 배경농도 및 도시증가량을 분석하였음.
- CO와 NO_2는 2020년 2월에 전년대비 배경농도와 도시증가량 모두 감소하는 것을 보였고, 3월에는 더 많은 감소가 있었음.
- 반면 CO_2는 배경농도가 2019년 대비 2020년에 농도가 증가하는 패턴을 보임.
- 하지만 CO_2의 도시증가량을 봤을 때는 대기오염물질과 같이 2월, 3월 모두 감소하는 패턴을 보임.



② 위성 관측 CO, NO_2 농도 변화

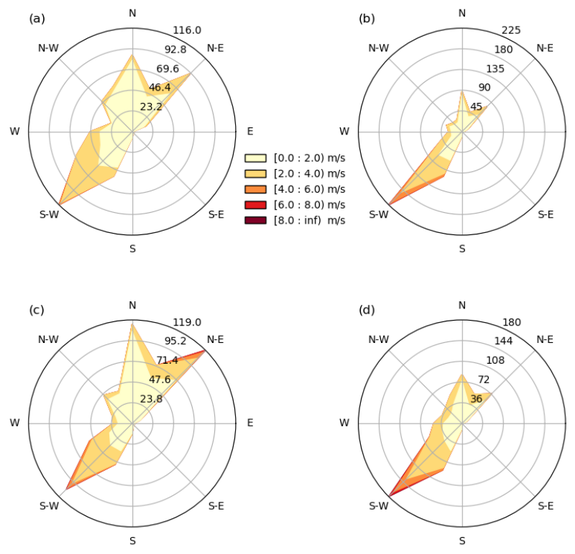
- 서울시와 경기도의 CO와 NO_2 농도를 위성으로 분석하였을 때도 지상에서 관측된 것과 같이 전년대비 2020년 2월, 3월에는 모두 감소하는 것을 볼 수 있음.





③ 대기질 변화

- CO:CO_2, NO_2:CO_2 비율을 계산하였을 때도 2020년에 CO_2 대비 대기오염물질이 모두 감소하였음.
- CO:CO_2, NO_2:CO_2 비율은 CO_2 대비 대기중에 대기오염물질의 양을 나타냄.
- 이는 2019년과 비교했을 때 2020년에 서울시 대기질이 더 향상되었다는 것으로 평가할 수 있음.

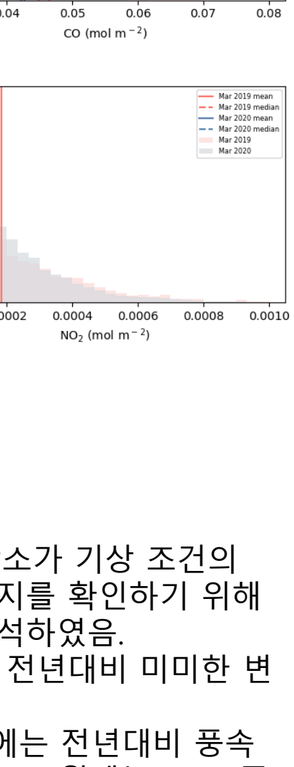


④ 기상 변화

- 2020년에 농도 감소가 기상 조건의 변화로 인한 것인지를 확인하기 위해 풍속과 풍향을 분석하였음.
- 풍향과 풍속 모두 전년대비 미미한 변화가 있었음.
- 특히 2020년 2월에는 전년대비 풍속이 8.3% 증가하였고 3월에는 4.7% 증가하였지만, 이것은 기상에 큰 변화가 있었다고 판단하기 어려움.
- 이는 서울의 대기 변화가 기상보다 인간활동의 영향이 더 컸음을 보여줌.

결론 및 논의

- 본 연구는 2019년 대비 2020년에 서울시 내 인구활동의 변화가 대기 중 CO_2와 대기오염물질 농도에 미친 영향을 다양한 독립적인 사회경제적, 지상 및 위성 관측 데이터를 통해 제시함.
- 짧은 기간과 데이터 부족의 한계에도 불구하고, 사회적 거리두기에 따른 인간활동의 감소가 CO_2와 대기오염물질의 감소로 이어짐을 확인할 수 있었음.
- 이는 도시 내 CO_2 농도 및 대기질과 인간활동의 영향의 연계성을 강화하고, 우리의 일상생활과 화석연료 사용이 얼마나 얽혀 있는지를 입증함.
- 서울의 대기오염물질 농도의 전반적인 감소와 대조적으로, 인간활동이 줄어든 것이 배경 CO_2 농도에 미치는 영향이 아주 작은 것을 볼 때, 한 나라의 온실가스 배출 감축 노력이 전지구 CO_2 농도의 증가 추세에 뚜렷한 차이를 주지 않는다는 것을 의미함.
- 그러나, 본 연구는 배경 CO_2의 증가와 상관없이, 서울의 CO_2 농도의 도시증가량은 대기오염물질의 감소와 같이 현저한 감소가 있었다는 것을 보여줌.
- 이는 도시 대기오염과 온실가스를 효과적으로 줄이기 위해 도시 내에서 적절한 정책의 중요성을 강조하고, 더 나아가 본 연구는 기후변화 완화와 더불어 도시 대기질 향상을 위해 온실가스 및 대기오염물질의 배출량 저감을 가속화하는데 있어 도시의 중요한 역할과 잠재력을 강조함.



※ 본 연구는 국제학술지에 출판된 논문임. **Park H.**, Jeong, S. J.-H. Koo, S. Sim, Y. Bae, Y. Kim, C. Park, J. Bang, 2020, Lessons from COVID-19 and Seoul: Effects of reduced human activity from social distancing on urban CO2 concentration and air quality, *Aerosol and Air Quality Research, 20*, https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.07.0376

참고문헌

Bares, R., Lin, J.C., Hoch, S.W., Baasandorj, M., Mendoza, D.L., Fasoli, B., Mitchell, L., Catharine, D. and Stephens, B.B., "The wintertime covariation of CO_2 and criteria pollutants in an urban valley of the Western United States", *J. Geophys. Res. Atmos. 123, 2020,* 2684-2703.

Duren, R.M. and Miller, C.E., "Measuring the carbon emissions of megacities", *Nature Climate Change 2, 2012,* 560-562.

Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W., Smith, A.J.P., Abernethy, S., Andrew, R.M., De-Gol, A.J., Willis, D.R., Shan, Y., Canadell, J.G., Friedlingstein, P., Creutzig, F. and Peters, G.P., "Temporary reduction in daily global CO_2 emissions during the COVID-19 forced confinement". *Nature Climate Change 10, 2020,* 647-653.

Moran, D., Kanemoto, K., Jiborn, M., Wood, R., Többen, J. and Seto, K.C., "Carbon footprints of 13000 cities". *Environ. Res. Lett. 13, 2018,* 064041.

Shi, X. and Brasseur, G.P., "The response in air quality to the reduction of Chinese economic activities during the COVID19 outbreak" *Geophys. Res. Lett,* in press.