



총 설

중국과 우리나라 미세먼지 대응 비교

Comparison of Responses to PM_{2.5} in China and Korea

김영성*

한국외국어대학교 환경학과

Young Sung Ghim*

Department of Environmental Science, Hankuk University of Foreign Studies,
Yongin, Republic of Korea

접수일 2021년 1월 22일
수정일 2021년 2월 22일
채택일 2021년 2월 24일

Received 22 January 2021
Revised 22 February 2021
Accepted 24 February 2021

*Corresponding author
Tel : +82-(0)31-330-4993
E-mail : ysghim@hufs.ac.kr

Abstract We compared the responses to fine particles in China and Korea. We compared major policies, examined the results, and checked whether any parts of responses in Korea fell short. Since 2013, the two countries have been implementing relevant measures around the same time, but little interest was shown for Korea from the international community or academia. The publication of the results of major measures in peer-reviewed journals is of greater importance in that the justification of our measures is acknowledged by experts in the field. Although the analysis of the response results is being attempted mainly from a modeling point of view in Korea, both the influence of China, which is one of the most important factors, and ammonia emissions have not been sufficiently considered. It is also unfortunate that analyses using monitoring data or modeling analysis along with monitoring data are rare.

Key words: Major policies for fine particles, Assessment of results from implementation, Modeling approach, Usage of monitoring data

1. 서 론

우리나라는 미세먼지와 관련하여 2019년 종합관리 계획, 2019년 12월 고농도 시기(2019. 12.~2020. 3.) 대응 특별대책, 2019년 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 제정, 2019년 11월 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법에 따라 2020~2024 5년간의 정책 방향과 추진계획을 제시한 종합계획을 발표하였다. 중국은 2013년 대기오염방지 행동계획(대기 10조), 2018년 람천보위전(濫天保衛戰) 3년 행동계획, 2017년 징진지 및 주변 지역 2017년 대기오염 관리 업무 방안(징진지 대기오염 수송 통로도시(2+26 도시)) 대기오염 관리 업무 방안, 2+26 도시행동 계획에 이어 2017년 1도시 1정책 대기오염 관리 종합대책을 내놓았다.

Choi *et al.* (2019)은 연도별 우리나라와 중국 주요 대책을 비교하며, 총량 규제는 1995년 중국이 먼저 도입하였으나 광역 차원의 대기오염대책은 수도권 특별법의 일환으로 2003년 우리나라가 먼저 시행하였고, 배출량 목표 할당은 12차 5개년 계획을 통해 2011년 중국이 먼저 시행하였고 우리나라는 관련 연구를 진행 중이라고 지적하였다. 2013년 이후는 비슷한 시기에 관련 대책을 추진 중인데 중국은 대기오염방지 행동계획(2013), 우리나라는 미세먼지 종합대책(2013), 2차 수도권 대기환경관리 기본계획, 미세먼지 관리 특별대책, 미세먼지 관리 종합대책 등이다. 중국의 대책이 우리나라에도 중요한 만큼 Moon *et al.* (2018)은 PM_{2.5}와 정책 동향을, Kim *et al.* (2015)은 PM_{2.5} 연구 동향을 조사하고, Chang *et al.* (2009)은 황사의 자각

증상을 조사하였다. Kim (2018)은 춘절 기간 중국 불꽃 놀이의 영향을, Choi *et al.* (2018)은 대기질 예보 시스템의 입력 배출목록에 따른 PM_{2.5} 모의 성능을 평가하였고, Kim *et al.* (2018b)은 당시 사회적으로 이슈가 되던 중국 산둥반도 배출량 변화와 한국 대기질의 연관성을 검토하였다.

이번 연구는 Shim *et al.* (2019)과 Choi *et al.* (2019)을 바탕으로 하였다. 중요한 대책과 동향을 언급할 수 있으나 우리나라와 중국 대응의 구체적 내용은 각각 Shim *et al.* (2019)과 Choi *et al.* (2019)을 참조할 수 있고, 학회지에서는 Moon *et al.* (2018), Kim *et al.* (2015)을 참조할 수 있다. 구체적 사항보다 중국과 우리나라 대응을 비교하는 과정에서 우리나라에서 미흡한 부분을 살핀다.

2. 우리나라의 미세먼지 대응

중국은 2016년 1월 연평균 15, 24시간 평균 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 환경기준을 설정하였다(Moon *et al.*, 2018). 우리나라는 2011년 연평균 25, 24시간 평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 설정한 후 2015년부터 적용하였고, 2018년 3월 27일 연평균과 24시간 평균을 각각 15와 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화하였다(ME, 2019). 국민들의 요구를 반영하여 2018년 환경기준을 강화하였으나 air Korea의 PM_{2.5}/PM₁₀ 비가

대략 0.5인 상황에서(Ghim *et al.*, 2017) PM_{2.5} 기준만을 강화함에 따라 PM₁₀은 보통 혹은 좋음이나 PM_{2.5}는 나쁨인 사례가 많아 일반 국민에게 제공하는 정보가 왜곡되어 있다.

Yeo *et al.* (2019), Park *et al.* (2020), Kim *et al.* (2016b, 2015a, b)의 현상학적, 사회과학적 연구에도 불구하고 우리나라에서 일반 국민이 미세먼지 문제에 특별히 민감한 이유는 명확하지 않다. 2019년 종합계획은, 2016년 3월 범부처 종합대책에도 불구하고 PM₁₀과 PM_{2.5} 고농도가 계속되자(그림 1) 2019년 11월의 고농도 시기(2019. 12.~2020. 3.) 대응 특별대책에 이어 2020년부터 2024년까지 5년간의 미세먼지 정책 방향과 추진계획을 제시한 것이다.

2019년 11월 종합계획이 포괄적이거나 특별하지는 않다. 가깝게는 2017년 5월 제2차 수도권 대기환경관리 기본계획(2005~2014)을 변경하였고, 2006년에 이어 2015년부터는 대기환경개선 10개년 종합계획(2016~2027)을 추진 중이었다. 아울러 2016년부터는 제2차 국가 기후변화 적응대책(2016~2020)을 수립 중이었다(ME, 2015). 또한 2020년부터는 수도권을 대상으로 한 특별법을 확대한 권역별 대기환경관리 기본계획(2020~2024)을 준비 중이었다. 그러나 상위법인 종합계획이 확정됨에 따라 권역별 대기환경관리 기본계획과 수도권 기본계획을 변경하였고, 2020년

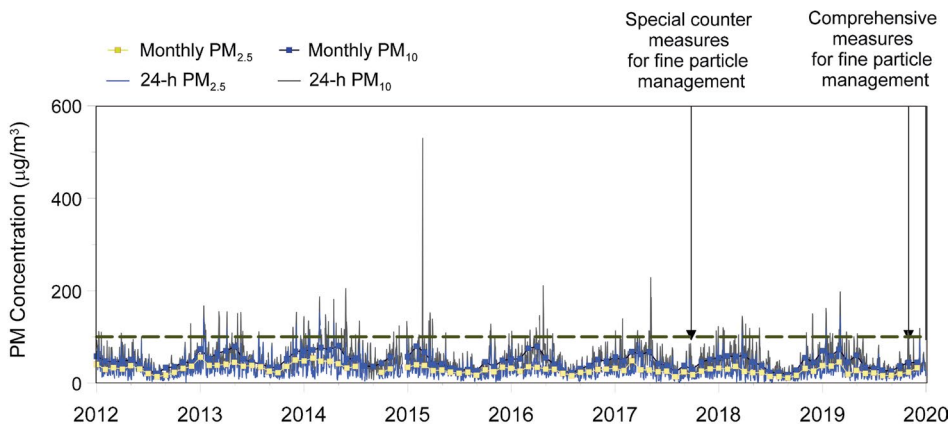
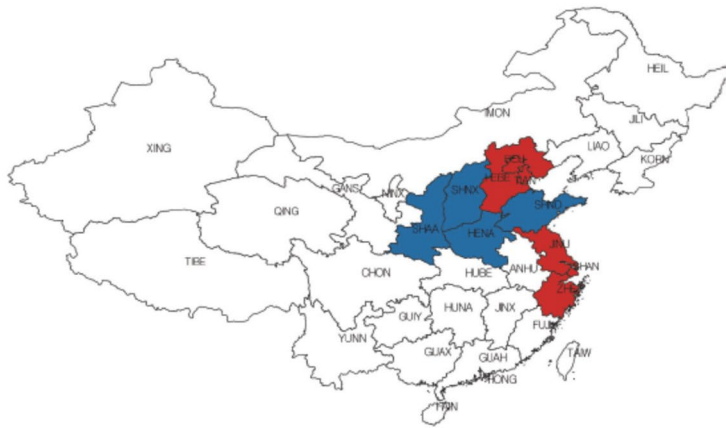


Fig. 1. Variations in monthly and 24-h PM concentrations in Seoul (Bulgwang). Horizontal dashed and solid lines denote 24-h standards for PM₁₀ (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) and PM_{2.5} (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), respectively.



(a) Priority management area for air pollution prevention and control action plan



(b) Priority management area for three-year-blue-sky action plan

Fig. 2. Comparison of priority management areas for air pollution prevention and control action plan and three-year-blue-sky action plan (Choi *et al.*, 2019).

12월부터 2021년 3월까지의 2019년 12월에 이어, 제2차 미세먼지 계절관리제가 시행 중이다.

3. 중국의 미세먼지 대응

중국은 2013년 9월부터 2017년까지 대기오염방지 행동계획(대기 10조)을 시행하였다(Moon *et al.*, 2018). 이의 연장 선상에서 2018년 7월, 2020년까지 추진할 람천보위전(濼天保衛戰, 푸른 하늘 승리를 위한) 3년 행동계획(11조)을 발표하였다(Kang and Cho, 2018).

2018년 11월에는 생태환경부와 농업농촌부가 공동으로 농업농촌오염관리 행동계획을 발표하였는데 토양오염방지법(土壤污染防治法, 토양오염방지 행동계획, 土十條, 12조) 등이 포함되었다(Kang and Cho, 2018). 대기오염이 토양오염으로 바뀌었는데, 대상이 바뀌었다기보다 환경보호의 틀을 갖추는 과정으로 보는 것이 합당하며, 2018년 토양오염방지 행동계획은, 2013년 대기오염방지 행동계획, 2015년 물오염방지 행동계획과 함께, 환경보호의 3대 행동계획으로 불린다(Kang and Cho, 2018).

2018년부터 2020년까지는 람천보위전(濼天保衛

戰, 푸른 하늘 승리를 위한) 3년 행동계획(11조)이 시행되었다. 대기오염방지 행동계획이 징진지(Beijing-Tianjin-Hebei, BTH), 장강삼각주(Yangtz River Delta, YRD), 주강삼각주(Pearl River Delta, PRD) 등 오염우심(重汚染) 지역의 $PM_{2.5}$ 를 대상으로 하였는데 비하여 람천보위전 3년 행동계획은 징진지 지역 외부에 위치한 산둥성, 허난성과 산시성, 산시성 등 편위가 평원지역을 추가하여 전국(2급 행정구역 단위) 지급 이상 도시의 대기질 좋음 일수를 2015년에 비해 80%까지 올리고, 나쁨 일수를 25% 이상 줄일 것을 목표로 하였다(그림 2). 반면, 주강삼각주 지역은 대기질 개선이 성과를 보임에 따라 람천보위전 3년 행동계획에서는 제외되었다. 또한, 연평균 농도 외 가을과 겨울철을 관리기간으로 설정하여 농도 목표를 조정하고, $PM_{2.5}$ 외 오존이 지속적으로 증가함에 따라 NO_x 와 VOC에 대한 배출 통제를 실시하였고, 2019년에는 중점업종 VOC 관리 방안을 공표하였다.

2017년 3월 양회폐막식 기자회견에서 리커창 총리는 중국 북방의 미세먼지 해결을 위한 현안으로 발생원인 규명을 위하여, 28개 징진지 대기오염 수송 통로 도시를 대상으로 징진지 및 주변지역 2017년 대기오염 관리 업무방안인 2+26 도시행동계획을 발표하였다(그림 3). 기상 조건과 대기오염 상황에 대한 연구결과를 토대로 수송 통로 도시를 선정하였는데, 대부분의 수송 통로 도시는 철도망에 따라 선형 분포되어 있으며 경제 규모가 크고 인구 밀도가 높으며 중공업이 집중하였다. 대기오염 수송 통로 도시는 (1) 동일한 공기흐름인지, (2) 대기질이 나쁠 때마다 오염수준이 비슷했는지, (3) 동급의 3차산업 구조가 형성되어 있는지 여부 등을 고려하였다. 2017년 12월 한·중 장관이 서명함으로써 설립된 한중 협력센터와 청천(晴天) 프로젝트도 2+26 도시 대기행정계획의 일환인데(Moon *et al.*, 2018), 2020년까지로 구분된 1단계에서는 중국 4개 도시(베이징, 바오딩, 다렌, 창다오)를 대상으로 지상·항공관측 중심으로 대기오염물질의 거동 특성을 파악하고 오염원인을 규명하고 대기질 모델을 개선하는 것을 목표로 하기 때문이다.

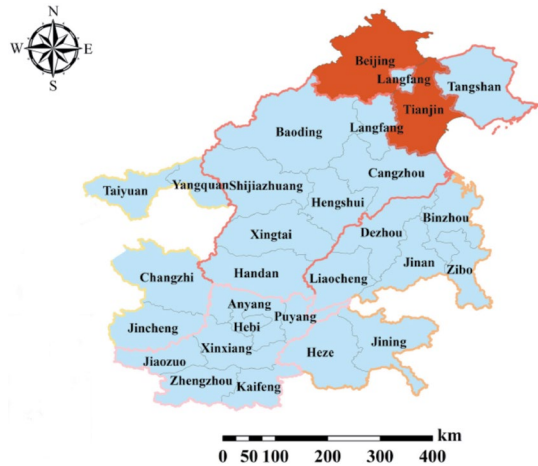


Fig. 3. 2 Geographical locations of the 28 cities within the 2+26 regional integration framework (Chen *et al.*, 2019).

4. 중국의 미세먼지 대응 성과

2+26 도시행정계획의 2018~2019 목표는 전문가들의 거듭된 논쟁을 거쳐 현재 중국 산업 및 에너지구조, 대기질 개선 상황을 감안해 설정되었으며 목표 달성 부담이 크고 해결해야 할 난제도 많다. 최근 들어 지속적인 대기오염 관리를 통해 큰 효과가 있었기 때문에 $PM_{2.5}$ 등 오염물질 농도 저감폭이 이전만 못한 것도 부담이다. 2017~2018년 가을·겨울철 $PM_{2.5}$ 저감율 25%에서 기상 기여가 1/3(약 8.5%)을 차지한 것으로 나타나고 있는데, 2018~2019년 정상기상 조건 하에서 대기질을 동기 대비 악화시키지 않으려면 우선 작년 8.5%에 달하는 기상기여(天帮忙, 하늘이 도운 상황)를 사람의 기여(人努力)로 상쇄해야 하고, 여기에 올해 가을·겨울철 대기질 개선 목표인 3%를 더하면 실질적인 올해 대기질 개선 목표는 11% 이상이어야 한다.

그림 4(a)~(c)는 최근 7, 8년 중국 BTH 지역과 북경의 주요 오염물질 혹은 $PM_{2.5}$ 조성 변화이다. 북경은 물론 주변 도시의 연평균 농도 감소가 뚜렷하며(그림 4(a)), $PM_{2.5}$ 주요 성분도 감소하였는데, SNA(sulfate, nitrate, ammonia) 비율이 증가하였다(그림 4(b)). 주

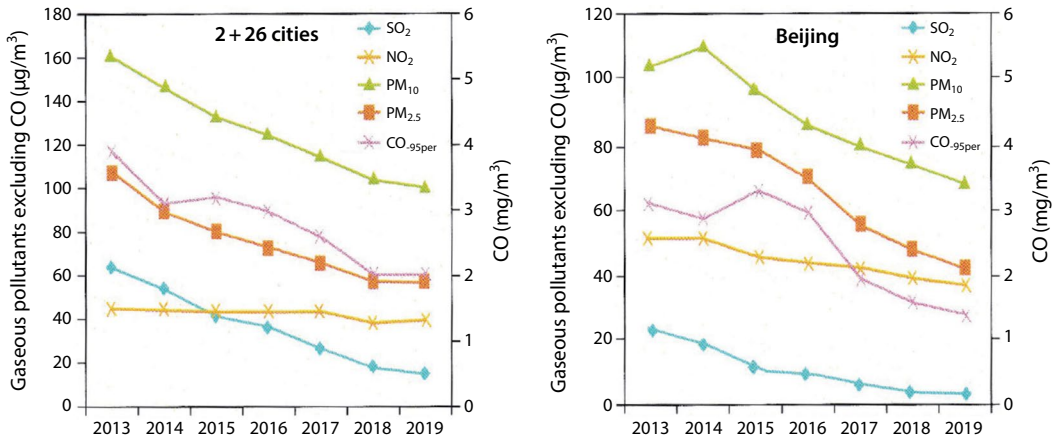


Fig. 4(a). Variations in annual averages of major pollutants in 2 + 26 cities and Beijing during the period 2013~2019.

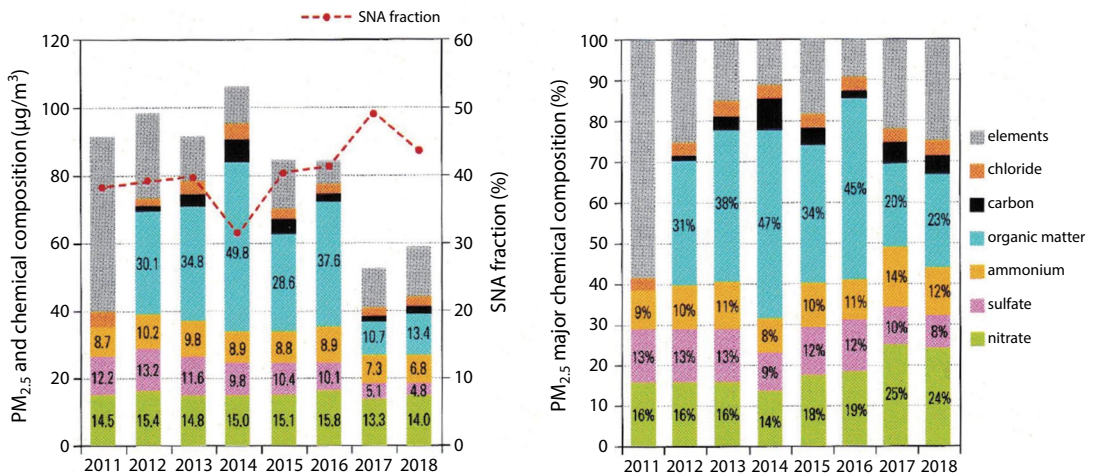


Fig. 4(b). Variations in chemical compositions of PM_{2.5} in Beijing during the period 2011~2018. SNA denotes sulfate-nitrate-ammonium (<https://mp.weixin.qq.com/s/5KoDFQrqtMj4OXiL3LWlUg>).

요 도시의 AQI도 개선되었지만(그림 4(c)) 상대적으로 북경의 농도는 높고, 그림 4(d)에서 다시 한번 확인할 수 있다.

5. 우리나라와 중국의 대응

2+26 도시행정계획은 최근 국제 학계의 주요 이슈 중 하나이다(Chen *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2019, 2017;

Chang *et al.*, 2018; Dong *et al.*, 2018). 두 가지 이유를 생각할 수 있는데, LA, NY, Houston 등 미국 외에도 Tokyo-Yokohama, Osaka-Kobe, Seoul-Incheon, Beijing, Shanghai, Guangzhou, Dehli, Mumbai, Jakarta 등 다양한 지역에서 메가시티(megacity) 혹은 도시 응집(urban agglomeration)가 증가하는 상황에서(Li *et al.*, 2018; Fang and Yu, 2017; Molina and Molina, 2004) 이의 효과를 정면으로 다루고 있기 때문이며, 지상, 항공 관측과 함께 모델링이 병행되는 등 연구에 적합한 조

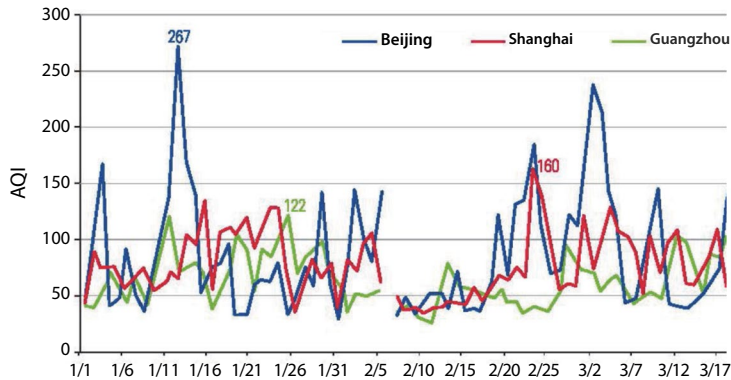


Fig. 4(c). Variations in AQI (air quality index) in major cities in 2018 (<https://datacenter.mee.gov.cn/websjzx/queryIndex.vm>).



Fig. 4(d). Top and bottom 20 cities of air quality among 168 cities as of January and February in 2020 (<https://datacenter.mee.gov.cn/websjzx/queryIndex.vm>).

건을 갖추었기 때문으로 볼 수 있다.

우리나라에서도 2+26 도시행정계획이 관심이 있을 수밖에 없는데, 서울-인천-경기도의 수도권 대기권역이 최근 충남, 북까지 이어지며 더욱 광역화되었고, 중국으로부터 장거리 이동 영향이 증첩되어 있고, 산업단지와 화력 발전소, 농축산 배출 등 배출의 형태와 지형 조건도 복잡하기 때문이다. 배출량 자료와 함께, 백령도, 서울, 대전, 광주, 제주도, 울산에 이어 안산, 서산, 춘천, 익산 등에 대기환경연구소가 설립되어 KORUS-AQ의 기반이 되는 등 기초가 마련되었다. 우리나라에서도 Kim (2017), Seo *et al.* (2018), Lee (2018), Lee (2019), Han *et al.* (2017), Jang and Yeo (2015), Kim *et al.* (2011) 등 정책의 효과를 평가하기 위한 연구가

시도되었으나 대부분 포괄적이지도, 엄밀하지도 않다. 정부 연구소나 기관에서도 유사한 형태의 보고서를 발견하기 쉽지 않은 것으로 보아 정책 당국의 관심도 크지 않은 것으로 보이며, 이에 따라 유사한 형태의 대책이 반복될 뿐 후속 대책과 선행 대책이 구조적으로 연계되지 못하고 평면적이다.

우리나라에서는 대부분 모델을 이용하여 도시 혹은 배출원의 기여도를 조사하고 있으며 (Bae *et al.*, 2020; Son *et al.*, 2020a, b; Kim *et al.*, 2019, 2018a; Kim *et al.*, 2017a, b), 일부 측정자료를 이용한 분석도 시도되고 있으나 활발하지 않다 (You *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2019). 작년과 올해 사이 연구재단 원천기술개발사업으로 “미세먼지 발생원인 및 정량적 기여도 규명을 위한 현장연구”와 “동북아-지역 연계 초미세먼지 대응기술 개발사업”이 차례로 시작되었으나 측정과 모델링이 얼마나 효과적으로 연계될 수 있을지는 지켜보아야 한다. 지금까지 조사에서, 농·축산 암모니아의 영향이 충분히 고려되지 못하고, 중국의 영향도 포괄적으로 포함되지 못하고 있는 점들도 아쉽다.

중국은 2+26 도시행정 계획에 이어 2017년 9월 28개 추적조사 연구팀을 구성하여 10월 10일까지 연구소별로 ‘1도시, 1정책(一城, 一策)’ 대기오염관리 종합대책을 제시하였다. 연구팀 주관 아래 도시별로 관리방안을 마련하는데, 궁극적으로는 smart city를 구현함으로써 저탄소 사회와 생태도시를 지향한다(표 1, 그림 5; Wan *et al.*, 2015; Redmon *et al.*, 2014).

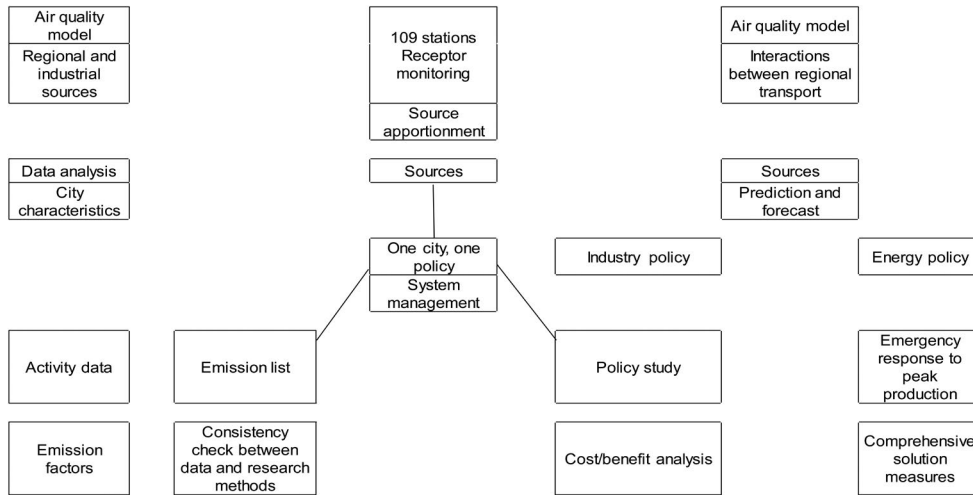


Fig. 5. Scopes of one city, one policy research team (Choi et al., 2019).

Table 1. Linkage of institutes to the 2 + 26 cities (Choi et al., 2019).

Institute	Cities ^a
Chinese Research Academy of Environmental Sciences	Tangshan, Langfang, Baoding, Xingdai, Taijuan, Jincheng, Handan, Puyang, Hebi
Tsinghua University	Beijing, Shijiazhuang, Jinan, Dejuo, Liaocheng, Binzhou, Jining, Xinxiang, Anyang
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences	Hengshui, Jiaojuo
Chinese Academy of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment of China	Langfang, Kaifeng
North China Electric Power University	Yangquan, Changzhi
Nankai University	Tianjin
China Environmental Impact Assessment, Ministry of Ecology and Environment of China	Zhengzhou
Shanghai Institutes for Biological Sciences	Dejuo
Beijing University of Technology	Handan

^aSee Fig. 3 for the locations

감사의 글

이 연구는 2020년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단-동북아-지역 연계 초미세먼지 대응 기술개발 사업(과제번호: 2020M3G1A1114536)과 한국

외국어대학교 교내 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

Bae, M.A., Yoo, C., Kim, S.T. (2020a) Estimating the Shutdown

- Effect of the Old Coal-fired Power Plants on PM_{2.5} and its Composition, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(1), 48-63, (in Korean with English abstract).
- Bae, C., Kim, B.U., Kim, H.C., Yoo, C., Kim, S. (2020b) Long-Range Transport Influence on Key Chemical Components of PM_{2.5} in the Seoul Metropolitan Area, South Korea, during the Years 2012-2016, *Atmosphere*, 11(1), 48.
- Chang, M.H., Ha, E.H., Suh, Y.J., Lee, B.E., Kwon, H.J., Hwang, S.S., Kim, B.M. (2009) The perceived symptom and preventive behavior related to Asian dust event: in South Korean and Chinese, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 25(1), 26-37, (in Korean with English abstract).
- Chang, X., Wang, S., Zhao, B., Cai, S., Hao, J. (2018) Assessment of inter-city transport of particulate matter in the Beijing-Tianjin-Hebei region, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(7), 4843-4858.
- Chen, Z., Chen, D., Wen, W., Zhuang, Y., Kwan, M.P., Chen, B., Zhao, B., Yang, L., Gao, B., Li, R., Xu, B. (2019) Evaluating the "2+26" regional strategy for air quality improvement during two air pollution alerts in Beijing: variations in PM_{2.5} concentrations, source apportionment, and the relative contribution of local emission and regional transport, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(10), 6879-6891.
- Choi, K.-C., Lee, S., Shim, C.-S., Chu, J.M., Lee, H.W., Jung, E. (2019) A Study on the analysis of China's air pollution policy, and strategies for strengthening Korea-China, KEI report 2019-21, Sejong, Korea, (in Korean).
- Choi, K.C., Lim, Y., Lee, J.B., Nam, K., Lee, H., Lee, Y., Choi, K.H. (2018) Evaluation of the Simulated PM_{2.5} concentrations using air quality forecasting system according to emission inventories-focused on China and South Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(2), 306-320, (in Korean with English abstract).
- Dong, Z., Wang, S., Xing, J., Chang, X., Ding, D., Zheng, H. (2020) Regional transport in Beijing-Tianjin-Hebei region and its changes during 2014-2017: The impacts of meteorology and emission reduction, *Science of The Total Environment*, 139792.
- Fang, C., Yu, D. (2017) Urban agglomeration: An evolving concept of an emerging phenomenon, *Landscape and Urban Planning*, 162, 126-136.
- Ghim, Y.S., Choi, Y., Park, J., Kim, P., Han, Y.K. (2017) Comparison of PM_{2.5} concentrations by measurement method, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 33(5), 515-520, (in Korean with English abstract).
- Han, H., Jung, C.H., Kum, H.S., Kim, Y.P. (2017) The revisit on the PM₁₀ reduction policy in Korea: focusing on policy target, tools and effect of 1st Air Quality Management Plan in Seoul Metropolitan Area, *Journal of Environmental Policy and Administration*, 25, 49.
- Jang, K.S., Yeo, J.H. (2015) The Effects of Korean and Chinese Economic Growth on Particulate Matter in Korea: Time Series Cointegration Analysis, *Journal of Environmental Policy and Administration*, 23(1), 97-117, (in Korean with English abstract).
- Jung, J., Ghim, Y.S., Lyu, Y.S., Lim, Y., Park, J., Sung, M. (2019) Quantification of regional contributions to fine particles at downwind areas under Asian continental outflows during winter 2014, *Atmospheric Environment*, 210, 231-240. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.062>
- Kang, T.G., Cho, S.J. (2018) Characteristics and implications of major industries by region in China, Vol. 2 Analysis of environment and working environment, KIET, 2018-900(2), Sejong, Korea, (in Korean).
- Kim, D.Y. (2011) Points for Air Quality Management Plan Revision in Seoul Metropolitan Area, Gyeonggi Research Institute Policy Report 2011-47, Suwon, Korea, (in Korean).
- Kim, E., Bae, C., Yoo, C., Kim, B.U., Kim, H.C., Kim, S. (2018a) Evaluation of the Effectiveness of Emission Control Measures to Improve PM_{2.5} Concentration in South Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(3), 469-485, (in Korean with English abstract).
- Kim, E., Kim, H.C., Kim, B.U., Kim, S. (2019) PM_{2.5} Simulations for the Seoul Metropolitan Area: (VI) Estimating Influence of Sectoral Emissions from Chungcheongnamdo, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 35(2), 226-248, (in Korean with English abstract).
- Kim, H.C., Kwon, S., Kim, B.U., Kim, S. (2018b) Review of Shandong peninsular emissions change and south Korean air quality, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(2), 356-365 (in Korean with English abstract).
- Kim, K. (2018) Air Pollutants on the Korean Peninsula Caused by Fireworks in China during Chinese Lunar New Year, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(6), 841-848, (in Korean with English abstract).
- Kim, S., Bae, C., Yoo, C., Kim, B.U., Kim, H.C., Moon, N. (2017a) PM_{2.5} simulations for the Seoul Metropolitan Area: (II) estimation of self-contributions and emission-to-PM_{2.5} conversion rates for each source category, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 33(4), 377-392, (in Korean with English abstract).

- Kim, S., Kim, O., Kim, B.U., Kim, H.C. (2017b) Impact of emissions from major point sources in Chungcheongnam-do on surface fine particulate matter concentration in the surrounding area, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 33(2), 159-173, (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.P. (2017) Research and policy directions against ambient fine particles, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 33(3), 191-204, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2017.33.3.191>
- Kim, Y.W., Lee, H.S., Jang, Y.J., Lee, H.J. (2015) How does media construct particulate matter risks? A news frame and source analysis on particulate matter risks, *Korean Journal of Journalism & Communication Studies*, 59(2), 121-154, (in Korean with English abstract).
- Lee, S.H. (2018) Directions for research and adaptation measures in the health field after the announcement of the comprehensive plan for fine dust management, *Issue and Focus*, Korea Institute for Health and Social Affairs, (in Korean).
- Lee, Y.-G. (2019) A Study on problems of management countermeasures for particulate matter in Korea and their improvements, M.S. Thesis, Department of Chemical Engineering, Sunchon National University.
- Li, C., Gao, X., He, B.J., Wu, J., Wu, K. (2019) Coupling coordination relationships between urban-industrial land use efficiency and accessibility of highway networks: Evidence from Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China, *Sustainability*, 11(5), 1446.
- Li, G., Sun, S., Fang, C. (2018) The varying driving forces of urban expansion in China: Insights from a spatial-temporal analysis, *Landscape and Urban Planning*, 174, 63-77.
- Li, J., Du, H., Wang, Z., Sun, Y., Yang, W., Li, J., Tang, X., Fu, P. (2017) Rapid formation of a severe regional winter haze episode over a mega-city cluster on the North China Plain, *Environmental Pollution*, 223, 605-615.
- Long, C.M., Suh, H.H., Kobzik, L., Catalano, P.J., Ning, Y.Y., Koutarakis, P. (2001) A pilot investigation of the relative toxicity of indoor and outdoor fine particles: in vitro effects of endotoxin and other particulate properties, *Environmental Health Perspectives*, 109(10), 1019-1026, (in Korean).
- Ministry of Environment (ME) (2015) White paper of environment, Sejong, Korea (in Korean).
- Ministry of Environment (ME) (2019) Enforcement decree of the framework act on environmental policy, (in Korean).
- Molina, M.J., Molina, L.T. (2004) Megacities and atmospheric pollution, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54(6), 644-680.
- Moon, K.J., Cheo, H.G., Jeon, K.H., Yang, X., Meng, F., Kim, D.G., Kim, J.S. (2018) Review on the current status and policy on PM_{2.5} in China, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(3), 373-392, (in Korean with English abstract).
- Park, E.H., Heo, J., Kim, H., Yi, S.M. (2020) Long term trends of chemical constituents and source contributions of PM_{2.5} in Seoul, *Chemosphere*, 126371.
- Redmon, P., Koplan, J., Eriksen, M., Li, S., Kean, W. (2014) The role of cities in reducing smoking in China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(10), 10062-10075.
- Shim, C.-S., Gong, S.-Y., Choi, K.-C., Han, J.S., Lee, J.S., Lee, S., Shin, D.W., Jung, E., Han, J.H. (2019) Study on integrated management of particulate matter pollution, KEI report 2020-12, Sejong, Korea, (in Korean).
- Son, K., You, S., Kim, H.C., Kim, B.-U., Kim, S. (2020a) Inter-comparisons of Spatially Interpolated Short-term and Long-term PM_{2.5} Concentrations of Local Authorities in South Korea 2015-2017, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(2), 185-197, (in Korean with English abstract).
- Son, S.-C., Park, S., Bae, M., Kim, S. (2020b) A Study on Characteristics of High PM_{2.5} Pollution Observed around Large-scale Stationary Sources in Chungcheongnam-do Province, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(5), 669-687, (in Korean with English abstract).
- Wan, B., Ma, R., Zhou, W., Zhang, G. (2015) Smart city development in China: One city one policy, *ZTE Communications*, 13(4), 40-44.
- Yeo, M.J., Kim, Y.P. (2019) Trends of the PM₁₀ concentrations and high PM₁₀ concentration cases in Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 35(2), 249-264, (in Korean with English abstract).
- You, S., Bae, S., Kim, H., Yoo, C., Kim, S. (2020) Municipality-Level Source Apportionment of PM_{2.5} Concentrations based on the CAPSS 2016: (I) Gyeonggi Province, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(6), 785-805, (in Korean with English abstract).

Authors Information

김영성 (한국외국어대학교 환경학과 교수)