

고정오염원의 응축성 먼지 배출량을 고려한 서울과 인천의 먼지 관리방안

PM Management Methods Considering Condensable PM Emissions from Stationary Sources in Seoul and Incheon

이임학 · 최두성¹⁾ · 고명진²⁾ · 박영권*

서울시립대학교 환경공학부, ¹⁾청운대학교 건축설비소방학과

²⁾순천제일대학교 소방방재과

(2017년 7월 6일 접수, 2017년 8월 7일 수정, 2017년 8월 9일 채택)

Im Hack Lee, Doo Sung Choi¹⁾, Myeong Jin Ko²⁾ and Young-Kwon Park*

School of Environmental Engineering, University of Seoul

¹⁾*Department of Building Services Engineering & Fire Protection System,
University of Chungwoon*

²⁾*Department of Fire Disaster Prevention, Suncheon Jeil College*

(Received 6 July 2017, revised 7 August 2017, accepted 9 August 2017)

Abstract

In this study, the new particulate matter emissions considering condensable PM (CPM) of stationary pollutant sources were calculated to modify the CAPSS emissions based on only filterable PMs in Seoul and Incheon. When the new calculated emissions were compared to the existing filterable PM based emissions of local governments, different contribution patterns of emission sources were found. For example, the proportion of mobile sources was high when the filterable PM was considered; however, the contribution of non-industrial sources was dominant in Seoul when the emissions of CPM were considered. Also, the proportion of energy industrial combustion and manufacturing combustion sources was significant in Incheon when CPM emissions considered. Therefore, it seems to be much desirable to consider CPM emissions for determining adequate locations of collective energy facilities and manufacturing combustion facilities in the future. In addition, CPM should be considered to solve the dust problem nationwide. The emission analysis, diagnosis, prediction and countermeasures using CPM emissions should be appropriately performed.

Key words : Emission factor, Condensable particulate matters

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)2-6490-2870, E-mail : catalica@uos.ac.kr

1. 서 론

배출목록은 배출원을 규명하고 배출원별 배출량을 산정하여 총 배출량을 목록화한 것으로 대기 중 먼지 저감 정책 수립 시 가장 기초적이고 핵심적인 자료이다. 우리나라 국립환경과학원은 대기오염물질 배출원별 기여도를 파악하고 대기정책에 따른 대기질 개선 효과를 파악하기 위하여 CAPSS를 개발하고 구축하였으며, 1999년부터 TSP(PM₁₀ 포함) 배출량을 매년 산정해 오고 있다(Jin *et al.*, 2012). CAPSS는 국내 산업분류체계와 유럽의 CORINAIR 분류체계를 혼용한 배출원 분류체계를 구축하고 있다(NIER, 2010a).

입자상물질 농도는 인체의 호흡기 및 심혈관계에 악영향을 미치며, 이러한 악영향은 호흡기 및 심장혈관계 질환에 의한 일별 및 연 사망률 증가 등의 결과를 초래한다. 또한 입경이 작은 미세입자 일수록 입자상물질 농도에 의한 초과사망자수는 더 통계적으로 유의하게 큰 증가율을 나타낸다(Klemm *et al.*, 2000; Lighty *et al.*, 2000; Schwartz *et al.*, 1996; Dockery and Pope 1994).

대기 중 PM_{2.5} 농도는 TSP나 PM₁₀보다 더 인체의 호흡기 및 심혈관계 질환 및 사망률과 깊은 관련성이 있으며, 환경적인 측면에서도 산성비, 시정장애에 영향을 미치는 대표적인 오염물질이다. 이와 관련해서 선진국을 중심으로 1990년대 중반부터 정부의 대폭적인 지원 하에 광범위한 연구를 수행하고 있는 반면, 국내에서는 이와 관련된 연구 및 지원은 아직 미미한 실정이다(Kang *et al.*, 2006).

미세먼지는 1차와 2차로 구분할 수 있으며 1차는 대기 중으로 직접 배출되는 물질, 2차는 대기 중에서 물리화학적 반응으로 생성되는 물질로 구분할 수 있다(NIER, 2014).

지금까지 우리나라 CAPSS에서 산정된 고정배출원에서의 입자상 물질(TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) 배출량은 여과

성 먼지(filterable PM, FPM)만을 산정하였을 뿐, 응축성 먼지(condensable PM, CPM)를 고려하지 않았다. 일반대기 중에서 산정하는 먼지는 여과성 먼지와 응축성 먼지를 구별하고 있지 않으나, 배출원에서의 먼지는 여과성 먼지와 응축성 먼지를 구별하여 측정할 수 있으며, 또한 측정하여야 한다. 배출원에서 배출되는 총먼지(total PM, TPM)는 그림 1과 같이 여과성 먼지와 응축성 먼지로 구성되기 때문이다.

일반적 먼지 포집 방법은 여지부분이 100~190°C의 범위에서 동작하고 있기 때문에 크기가 매우 작은 응축성 미세먼지는 여지에 잡히지 않고 통과하게 된다(Tsukada *et al.*, 2008).

응축성 먼지는 굴뚝 내부의 고온조건에서는 기체상이지만, 굴뚝에서 배출 즉시 주위 공기의 냉각작용으로 응축하여 고체 또는 액체를 형성한다. 현재 대부분의 국가들은 필요성을 느끼지 않았기 때문에 응축성 미세먼지를 통상적으로 측정하지 않았다. 응축성 미세먼지는 PM_{2.5}의 중요한 부분을 차지하기 때문에 응축성 미세먼지가 PM_{2.5}에 포함되어 있지 않은 경우 배출원에서의 먼지배출량은 실제보다 과소평가 될 것이다(Yang *et al.*, 2014).

이에 우리나라 국립환경과학원에서는 2014년과 2015년에 고정오염원 중 일부 시설에 대하여 먼지배출량 측정방법 중 응축성 미세먼지 측정법을 추가하는 작업을 수행했으며, 연료별 배출계수도 공개하였다(NIER, 2015, 2014).

따라서, 본 연구에서는 우리나라 현재 여과성먼지 위주의 CAPSS 배출량에 고정오염원의 CPM 배출량을 추가로 고려한 먼지 배출량을 산정하여 지자체별로 기존 여과성먼지만을 고려한 배출량과 응축성 먼지를 고려한 배출량을 비교한 후, 차이가 난다면 현 먼지관리 정책을 어떻게 보완해야 할지를 생각해 보는 것을 연구의 목적으로 하였다.



Fig. 1. Relations among total PM, filterable PM and condensable PM.

2. 연구 방법

본 연구에서 사용한 CAPSS 데이터는 국립환경과학원 홈페이지로부터 역셀형식으로 다운받은 2013년 TSP 데이터를 가공하여 사용하였다.

옵션 사항으로, 기준년도는 2013년을 선택하였으며, 오염물질은 TSP와 PM_{2.5}를 선정하였다. 연료구분은 대분류 및 소분류까지 구분하였고, 배출원은 대분류, 중분류, 소분류까지 구분하였으며, 행정구역은 시도 및 시군구까지 구분하여 산정하였다. 데이터 선택 옵션화면을 그림 2에 나타내었다.

다음은 CPM 배출계수에 대한 산정방식의 설명이다. 국립환경과학원(NIER, 2015)에서 발표한 우리나라와 미국의 고정오염원 CPM 배출계수는 표 1과 같다.

위로부터이며, LNG, 경유, 벙커 C유는 방지시설이 없는 상태의 보일러에서 측정한 값이고, 유연탄 배출계수는 발전소 방지시설 후단에서 측정한 값이었다.

미국 EPA의 배출계수는 모두 방지시설 후단에서 측정, 분석한 값을 사용하였는데, FPM의 경우 증유를 제외하면 우리나라보다 미국의 계수가 크게 나타났고, 경유와 유연탄의 CPM은 미국의 배출계수 값이 높게 나타났으며, LNG와 증유는 우리나라의 값이 높게 나

타났다.

배출계수의 산출근거는 우리나라와 미국의 배출계수 모두 EPA 201A/202 측정방법을 사용하여 보고한 자료에 근거하였다(NIER, 2015). 미국의 CPM 배출계수는 AP-42에 보고하고 있었다(US EPA, 2017).

LNG, 경유, 벙커 C유, 유연탄의 경우에는 CAPSS 상의 PM_{2.5} 배출량에 표 1의 여과성 먼지배출계수 대비 응축성 먼지의 비율을 곱하여 산정하였다. 즉, LNG의 경우 $202.88/3.79=53.53$ 배, 경유의 경우 $62.40/3.38=18.46$ 배, 벙커 C유의 경우 $227.64/143.83=1.58$ 배, 유연탄의 경우 $65.10/6.55=9.94$ 배의 비율을 CAPSS 상의 PM_{2.5}에 곱하여 CPM의 양을 산정하였다. 벙커 A유와 벙커 B유는 벙커 C유의 배율을 적용하였으며, 무연탄의 경우에는 유연탄의 비율을 적용하여 응축성 먼지를 산정하였다.

3. 연구 결과

지역별로 여과성 먼지와 응축성 먼지를 비산업연소, 생산공정, 에너지산업 연소, 제조업 연소, 폐기물 처리, 농업, 기타면오염원, 도로이동오염원, 비도로이동오염

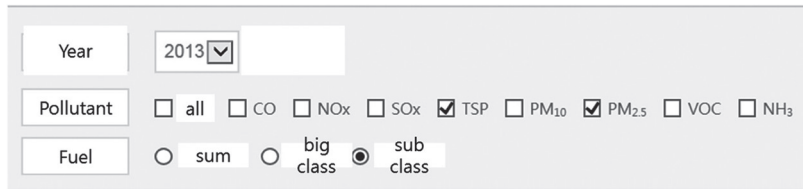


Fig. 2. Handling options for CAPSS data.

Table 1. CPM emission factors in Seoul and Incheon vs US EPA.

| Fuel type | TPM | FPM | CPM | Unit | Note |
|------------------------|--------|--------|--------|-------------------|--------------------|
| LNG boiler | 206.67 | 3.79 | 202.88 | mg/m ³ | Korea uncontrolled |
| | 121.73 | 30.43 | 91.30 | mg/m ³ | US EPA controlled |
| Light oil boiler | 65.78 | 3.38 | 62.40 | mg/L | Korea uncontrolled |
| | 255.23 | 99.46 | 155.77 | mg/L | US EPA controlled |
| B-C oil boiler | 371.47 | 143.83 | 227.64 | mg/L | Korea uncontrolled |
| | 238.45 | 58.71 | 179.74 | mg/L | US EPA controlled |
| Bituminous power plant | 71.65 | 6.55 | 65.10 | g/ton | Korea controlled |
| | 486.25 | 14.51 | 471.74 | g/ton | US EPA controlled |

Table 2. Regional TPM, FPM and CPM by CAPSS categories in Korea.

(unit : ton/yr, %)

| Region | Item | Sum | Non industrial combustion | Producing process | Energy industrial combustion | Manufacture combustion | Waste treatment | Agriculture | Etc. area sources | Road moving sources | Non-road moving sources |
|--|------|----------|---------------------------|-------------------|------------------------------|------------------------|-----------------|-------------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| Seoul (calculated by Korean emission factors) | TPM | 8,430.3 | 6,252.8 | 0.0 | 694.3 | 24.0 | 18.2 | 0.0 | 54.2 | 735.9 | 650.9 |
| | FPM | 1,807.2 | 334.0 | 0.0 | 12.7 | 1.3 | 18.2 | 0.0 | 54.2 | 735.9 | 650.9 |
| | CPM | 6,623.1 | 5,918.8 | 0.0 | 681.6 | 22.7 | N/C | N/C | N/C | N/C | N/C |
| Incheon (calculated by Korean emission factors) | TPM | 23,791.6 | 1,286.8 | 332.5 | 19,106.2 | 2,053.1 | 13.7 | 0.0 | 15.2 | 377.3 | 606.9 |
| | FPM | 2,322.4 | 42.7 | 332.5 | 532.8 | 401.3 | 13.7 | 0.0 | 15.2 | 377.3 | 606.9 |
| | CPM | 21,469.2 | 1,244.1 | 0.0 | 18,573.4 | 1,651.8 | N/C | N/C | N/C | N/C | N/C |

N/C : Not Calculated

원 등으로 구분하여 산정한 결과를 표 2에 나타내었다.

국내 배출계수를 적용한 서울특별시의 경우 연간 응축성 먼지는 6,623.1톤으로서, 비산업연소 5,918.8톤, 생산공정 0.0톤, 에너지산업 연소 681.6톤, 제조업 연소 22.7톤으로 산정되었다. 연간 여과성 먼지는 1,807.2톤으로서 비산업연소 334.0톤, 생산공정 0.0톤, 에너지산업 연소 12.7톤, 제조업 연소 1.3톤, 폐기물 처리 18.2톤, 농업 0.0톤, 기타면오염원 54.2톤, 도로이동오염원 735.9톤, 비도로이동오염원 650.9톤으로 산정되었다. 응축성 먼지와 여과성먼지를 합한 연간 총 먼지는 8,430.3톤으로서 비산업연소 6,252.8톤, 생산공정 0.0톤, 에너지산업 연소 694.3톤, 제조업 연소 24.0톤, 폐기물 처리 이하는 여과성 먼지량과 같았다.

국내 배출계수를 적용한 인천광역시의 경우 연간 응축성 먼지는 21,469.2톤으로서, 비산업연소 1,244.1톤, 생산공정 0.0톤, 에너지산업 연소 18,573.4톤, 제조업 연소 1,651.8톤으로 산정되었다. 연간 여과성 먼지는 2,322.4톤으로서 비산업연소 42.7톤, 생산공정 332.5톤, 에너지산업 연소 532.8톤, 제조업 연소 401.3톤, 폐기물 처리 13.7톤, 농업 0.0톤, 기타면오염원 15.2톤, 도로이동오염원 377.3톤, 비도로이동오염원 606.9톤으로 산정되었다. 응축성 먼지와 여과성먼지를 합한 연간 총 먼지는 23,791.6톤으로서 비산업연소 1,286.8톤, 생산공정 332.5톤, 에너지산업 연소 19,106.2톤, 제조업 연소 2,053.1톤, 폐기물 처리 이하는 여과성 먼지와 같았다.

4. 고 찰

그림 3의 기여도 퍼센트를 보면, 그림 3(a)의 여과성 먼지에서 도로 이동오염원의 비중은 40.7%, 비도로 이동오염원의 비중은 36.0%를 차지하였다. 반면 그림 3(b)의 총먼지의 경우에는 도로 이동오염원의 기여도는 8.7%, 비도로이동오염원의 기여도는 7.7%로 줄어든 반면 비산업연소의 기여도는 여과성 먼지만을 고려했을 경우의 18.5%로부터 응축성 먼지를 고려한 총먼지 기준으로는 74.2%로서 총 먼지의 절반에 육박하는 기여도를 보였다. 그런데, 서울시의 경우 2016년 7월 ‘서울시 대기질 개선 특별대책’을 발표했다. 세부내용은 ① 주요 발생원(자동차 비산먼지)+교통수요 관리, ② 2.5톤 이상 노후 경유차, 관광용 등 전세버스, 서울 진입 경유버스 등 집중 관리, ③ 한양도성 내부 1호 ‘녹색교통진흥지역’, 대중교통 중심으로 ④ (초)미세먼지 경보제 세분화 등 정보공개 촘촘히, 대기질 연구 모니터링도 병행 ⑤ '18년까지 3년간 집중 시행으로 서울 연평균 미세먼지 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 달성 목표 등이었다(Seoul, 2016).

기존 CAPSS에 의한 배출원 분석 방법에 의하여 서울시는 응축성 먼지를 고려하지 않고 여과성 먼지만을 고려하게 되면, 도로 및 비도로 이동오염원의 배출량이 그림 3(a)처럼 대부분(76.7%)을 차지하였기 때문에, 먼지저감 정책도 이동오염원에서의 배출량 저감에 무게중심을 둘 수밖에 없었을 것이다. 그런데, 응축성 먼지를 고려하게 되면 제일 많은 기여도를 보이는 배출원이 그림 3(b)처럼 비산업연소가 되기 때문에 향후

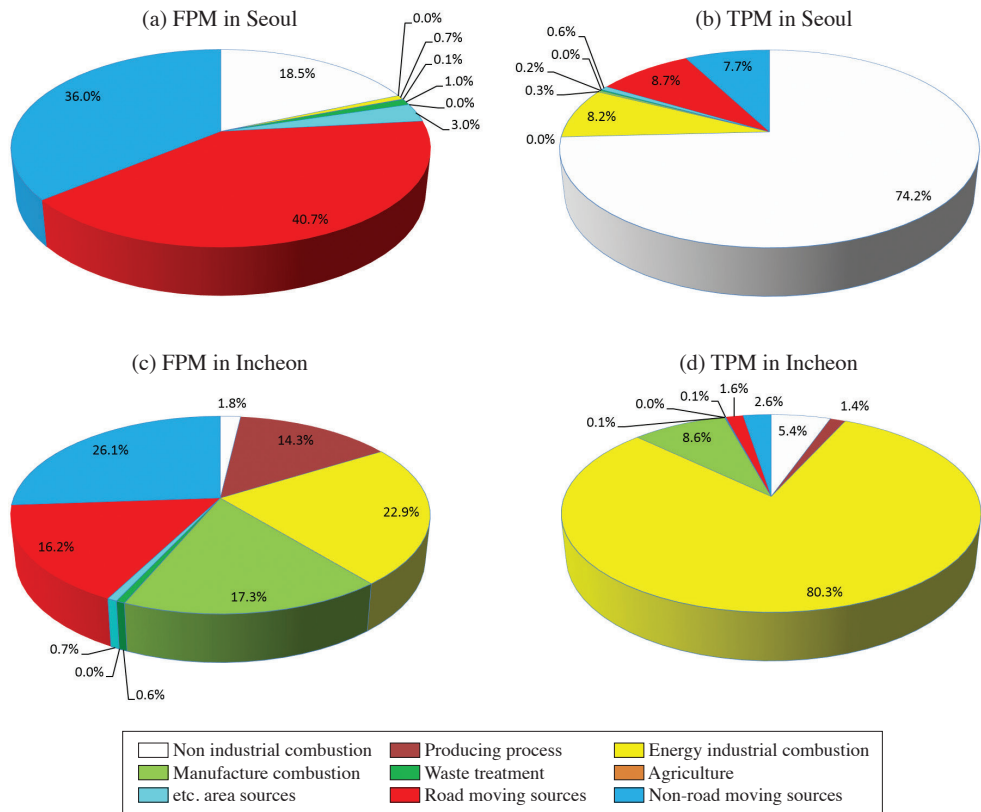


Fig. 3. Comparisons of category contributions between FPM and TPM in Seoul and Incheon (calculated by Korea emission factors).

서울시 먼지저감 정책은 고정오염원 중 비산업 연소부분에 대한 저감정책을 추가로 수립하는 보완작업이 필요할 것으로 판단되었다.

물론 기존 환경부의 배출원 배출량 산정방법에서는 먼지에 있어서만큼은 청정연료라고 공인하였던 기체상 연료(LNG, LPG 등)에 의한 먼지 관리방안이 활성화되어 있지 않기 때문에 서울시가 기체상 연료에 의한 배출량 산정과 저감정책을 수립하기 위해서는 중앙정부와의 협력업무 수행도 필요하게 될 것이다.

인천의 경우 여과성 먼지에 응축성 먼지를 고려하면 에너지산업 연소와 제조업 연소에서 증가분이 총먼지에서의 증가분 중 대부분으로 분석되었다. 그림 3에 나타난 바와 같이 카테고리별 기여율을 분석하면, 그림 3(c)의 여과성 먼지 기준에서는 비도로 이동오염원, 에너지산업연소, 제조업연소, 도로이동오염원이 큰 차

이 없는 기여도를 보여주고 있었으나, 응축성 먼지를 고려한 그림 3(d)의 총먼지 기준은 에너지산업연소가 80.3%, 제조업연소가 8.6%를 차지하는 것으로 분석되었다.

인천시는 2016년 6월 ‘2020 미세먼지 종합대책’을 발표하였다(Incheon, 2016). PM_{2.5} 배출원 기여도 분석에서 발전소 35%, 건설기계 24%, 사업장 15%, 도로이동차량 12% 등으로 발표했는데, 대부분이 2차 생성 먼지로 발표하였고 응축성 미세먼지에 대한 기여도 분석 자료는 찾아보기 어려웠다.

2015년에 국립환경과학원에서 우리나라 발전소 및 보일러의 응축성 미세먼지 배출계수를 보고하였으므로, 인천시에서는 PM_{2.5}의 대부분이 2차 생성에 의한 배출이라고 보고(Incheon, 2016)한 점을 향후에는 수정보완 연구가 수행될 필요성이 있다고 판단되었다.

Table 3. FPM and CPM by CAPSS non-industrial combustion categories in Seoul. (unit : ton/yr, %)

| Item | Seoul | | | |
|--------------------------------|-------|-------|---------|-------|
| | FPM | % | CPM | % |
| Residential_anthracite | 174.1 | 52.1 | 691.1 | 11.7 |
| Residential_kerosene | 1.1 | 0.3 | 17.3 | 0.3 |
| Residential_diesel | 0.1 | 0.0 | 1.2 | 0.0 |
| Residential_LPG | 0.2 | 0.1 | 1.4 | 0.0 |
| Residential_LNG | 82.4 | 24.7 | 4,411.8 | 74.5 |
| Commercial & Public_kerosene | 0.4 | 0.1 | 6.0 | 0.1 |
| Commercial & Public_diesel | 3.5 | 1.0 | 35.6 | 0.6 |
| Commercial & Public_LPG | 1.1 | 0.3 | 63.7 | 1.1 |
| Commercial & Public_LNG | 4.6 | 1.4 | 245.7 | 4.2 |
| Commercial & Public_bunker oil | 17.1 | 5.1 | 13.7 | 0.2 |
| Etc. | 49.3 | 14.8 | 431.3 | 7.3 |
| Sum | 334.0 | 100.0 | 5,918.8 | 100.0 |

생성기작이 달라지면 저감정책 또한 달라져야 할 것이므로 향후 인천시에서는 응축성 먼지를 고려한 저감정책도 연구하여 보완해야 할 필요성 또한 고려해야 한다고 사료되었다.

표 3에 서울 지역 비산업 연소 category에 대한 사용 연료별 여과성 먼지와 응축성 먼지의 배출량을 나타내었다. 여과성 먼지는 주거용 무연탄 부문이 52.1%로 가장 높게 나타났고 주거용 24.7%로 그 뒤를 이었으나, 응축성 먼지는 주거용 LNG 부문이 74.5%로 절대적인 비중을 차지하였고, 그 뒤를 주거용 무연탄이 차지하였다.

표 4에 인천 지역 에너지 산업 연소 category에 대한 사용 연료별 여과성 먼지와 응축성 먼지의 배출량을 나타내었다. 여과성 먼지는 공공발전 LNG 부문이 40.7%로 가장 높게 나타났고 공공발전 무연탄 부문이 39.7%로 그 뒤를 이었다. 응축성 먼지에서도 공공발전 LNG 부문이 62.5%로 절대적인 비중을 차지하였고, 그 뒤를 민간발전 LNG 부문이 27.4%를 차지하였다. 위와 같이 서울과 인천지역의 응축성 미세먼지 배출량은 주로 LNG 연소에 의한 배출량 비중이 높게 나타났다.

우리나라는 아직까지 연소배출원에 대한 먼지 배출량 인벤토리 중 응축성 먼지를 고려하지 않고 있다. 측정 대상의 숫자를 늘려 국립환경과학원에서 보고(NIER, 2015)한 응축성 먼지 배출계수의 대표성을 지금보다 높인다면 향후, 응축성 먼지를 고려한 배출량을 입력하여 도출한 대기질 모델링 결과와 기존의 1차

Table 4. FPM and CPM by CAPSS energy industrial combustion categories in Incheon (unit : ton/yr, %)

| Item | Incheon | | | |
|-------------------------------|---------|-------|----------|-------|
| | FPM | % | CPM | % |
| Public generation_LNG | 217.0 | 40.7 | 11,614.4 | 62.5 |
| Public generation_bituminus | 211.5 | 39.7 | 1,665.6 | 9.0 |
| Private generation_LNG | 95.0 | 17.8 | 5,085.9 | 27.4 |
| Private generation_diesel | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 |
| Petroleum refining_bunker oil | 5.5 | 1.0 | 2.0 | 0.0 |
| Petroleum refining_LNG | 1.0 | 0.2 | 55.2 | 0.3 |
| District heating_LNG | 2.8 | 0.5 | 150.3 | 0.8 |
| Sum | 532.9 | 100.0 | 18,574.1 | 100.0 |

및 2차 먼지만의 기여율로 산정된 대기질 모델링 결과와의 비교 작업이 수행되면 흥미로운 결과가 도출될 것으로 판단되었다.

지금까지 고려되지 않았던 응축성 먼지 배출량이 공식적으로 산정되어 통계 체계로 들어오면 기존에 유지해 오던 지자체별 먼지 총량 할당제, 사업장의 배출부과금, 환경영향평가, 배출원별 특성을 각각 다르게 나타내는 지자체별 대기환경 개선방안 수립 등의 문제는 어떻게 풀어가야 할 것인지에 대한 대책이나 계획도 새로운 관점에서 고민되어야 할 것으로 사료되었다.

또한, 본 연구에서 설정한 CAPSS category 중 응축성 먼지를 산정하지 않은 폐기물 처리, 농업, 이동오염원(특히 CNG 버스 포함)에 대해서는 차후의 연구가 수행되어 완성도 높은 국가 응축성 먼지 배출량 인벤토리가 구축되기를 기대한다.

5. 결 론

국립환경과학원에서 보고한 응축성 먼지의 배출계수를 활용하여 CPASS에 적용시킨 결과 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

응축성 먼지의 고려 여부에 따라 서울과 인천 지역에 대하여 각기 다른 패턴의 배출원의 기여도를 보였다. 여과성 먼지만을 고려했을 때에는 주로 이동오염원의 비중이 높았으나, 응축성 먼지를 고려하면 서울은 비산업연소의 기여도가 높아졌으며, 인천 지역은 에너지 산업 연소의 비중이 높아졌는데, 향후 우리나라 지방 도시에 계획 중인 집단에너지시설 및 제조업

연소시설의 경우, 입지 적정성 파악 시 응축성 먼지 배출량을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

따라서, 국가적으로 먼지 문제를 해결하려면 응축성 먼지의 고려가 필요하다고 판단되며, 지역 배출원이 가지는 특성에 따라 배출량 분석과 진단, 예측 및 대책 수립이 적절하게 이루어져야 할 것으로 사료되었다.

연구에 활용된 국립환경과학원의 배출계수가 석탄화력을 제외하면 주로 방지시설이 설치되지 않은 보일러를 대상으로 하고 있다는 점에서 한계를 가지고 있는데, 완성도 있는 고정배출원에서의 CPM 배출량을 구하기 위해서는 controlled 조건하에서의 CPM 배출계수를 지속적으로 산정하는 연구가 향후에 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(17CTAP-C130211-01)에 의해 수행되었습니다.

References

- Dockery, D.W. and C.A. Pope III (1994) Acute respiratory effects of particulate air pollution, *Annual Review of Public Health*, 15, 107-132.
- Incheon (2016) Complex plan of 2020 Fine PM reduction, 6.
- Jin, H.A., J.H. Lee, K.M. Lee, H.K. Lee, B.E. Kim, D.W. Lee, and Y.D. Hong (2012) The Estimation of PM_{2.5} Emissions and Their Contribution Analysis by Source Categories in Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 28(2), 211-221.
- Kang, C.M., S.K. Park, S.W. Young, B.K. Kang, and H.S. Lee (2006) Respiratory Health Effects of Fine Particles (PM_{2.5}) in Seoul, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(5), 554-563.
- Klemm, R.J., R.M. Mason Jr., C.M. Heilig, L.M. Neas, and D.W. Dockery (2000) Is daily mortality associated specifically with fine particles? Data reconstruction and replication of analyses, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50, 1215-1222.
- Lighty, J.S., J.M. Veranth, and A.F. Sarofim (2000) Combustion aerosols: Factors governing their size and composition and implications to human health, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50, 1565-1618.
- NIER (2010a) Clean Air Policy Support System, CAPSS, 4.
- NIER (2010b) Hand book of National Air Pollutants Calculation Methods (II), 2.
- NIER (2014) A Study on the Improvement of Fine Particles Measurement Method in Flue Gas, 22-29.
- NIER (2015) A Study on the Improvement of Fine Particles Measurement Method in Flue Gas (II), 27-34.
- Schwartz, J., D.W. Dockery, and L.M. Neas (1996) Is daily mortality associated specifically with fine particles?, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46, 927-939.
- Seoul (2016) Air quality special plans, 3-8.
- Tsukada, M., N. Nishikawa, A. Horikawa, M. Wada, Y. Liu, and H. Kamiya (2008) Emission potential of condensable suspended particulate matter from flue gas of solid waste combustion, *Powder Technology*, 180(1-2), 140-144.
- US EPA AP 42 (2017. 08), Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emission-factors-5thed>.
- Yang, H.H., K.T. Lee, Y.S. Hsieh, S.W. Luo, and M.S. Li (2014) Filterable and Condensable Fine Particulate Emissions from Stationary Sources, *Aerosol and Air Quality Research*, 14, 2010-2016.