

1. 서론

도시대기중의 입자상 오염물에 대한 연구추세 및 시민들의 관심은 총부유분진 (TSP: Total Suspended Particles)의 특성 분석 연구에서 출발하여 입자 크기가 $10 \mu\text{m}$ 이하인 PM-10으로 옮겨졌다고 할 수 있다. 이는 대기 중의 총입자의 수보다는 인체에 더욱 악영향을 미치는 입자 특성에의 관심이 고조되기 때문이다. 미국 등을 비롯한 선진국에서의 쾌적한 대기질 관리를 위한 최근의 추세는 입자상 오염물의 규제에 PM-2.5 규제가 새로이 신설되었거나 되고있는 중이다. 이는 우리 인간이 호흡할 때 입자상 오염물의 지름이 $2.5 \mu\text{m}$ 전후에서 폐포 축적물이 가장 크다고 하는 최근의 연구 결과에 바탕을 두고 있다. 그래서 PM-10 중에서도 입자상 오염물의 크기가 $2.5 \mu\text{m}$ 에서 $10 \mu\text{m}$ 사이의 Coarse Particle과 $2.5 \mu\text{m}$ 이하의 Fine Particle로 구분하기도 한다. 그러나 아직 우리 나라에서 아직 PM-2.5에 대한 규제는 신설되지 않았다. 또 PM-10의 주요 성분과 Loading Route 등에 대한 일부 연구가 있지만, 울산이나 여천과 같은 주요 공업도시에서의 PM-10에 대한 기초 연구가 충분히 이루어져 있지 않다. 이러한 관점에서 본 연구는 우선, 대단위 중화학, 기계 및 비철금 공업단지를 가지고 있는 울산시 대기 중의 PM-10의 특성과 그 중에 함유된 중금속 성분 및 PAH 성분 (다른 연구에서 다룸)을 분석 연구하고자 하였다.

2. 실험방법

울산시를 편의상 주거지역, 교통밀집지역, 해안지역, 기계공단지역, 비철금속공단지역으로 구분하고, 각 지점에서 11월 1일부터 12월 31일 까지 두 달간 PM-10 시료를 채취하였다. 맑은 날을 택하여 각 지역을 대표하는 한 지점을 정하고 시료를 채취하였는데, 우천에 의한 오차를 줄이기 위하여 우천 후 이틀이 지난 다음 시료 채취를 시작하였다. 황산 데시케이터에서 12시간 항량한 여지 (Glass Fiber Filter: Whatman QMA, 8" X 10") 와 Hi-Vol Air Sampler (Kimoto Electric Co., Ltd. Model-121)를 이용하여, 각 지점에서의 24시간 전후의 시료 채취를 각각 6회 반복하였다. 채취한 시료는 황산 데시케이터에서 다시 12시간 항량한 후 Electronic Balance (Fisher Scientific A-200DS)를 이용한 Gravimetric 방법으로 PM-10의 농도를 분석하였다. 그런 다음, 여지를 반으로 나누어 하나는 중금속 분석을 위해 사용하였고 다른 하나는 PAHs 분석용으로 사용하였다. 1.03M 질산과 2.23M 염산을 부피비로 1:1로 혼합한 용액에 여지를 넣고 50 ㄼ의 Ultrasonic Extractor (Brasonic Co., Model 1210)를 이용하여 1시간동안 중금속을 추출하였다. 다음으로 용액을 식힌 후 5A 크기의 여지로 여과한 후 Inductively Coupled Plasma (ICP: ARL Co.,

Model 3580-OES)로 중금속 성분을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PM-10 분석

이번 연구기간 동안에 얻어진 울산시 전 지역에 대한 24시간 평균 PM-10 농도 범위는 최소 $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최고 $129 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 아주 다양한 농도 분포를 나타내었다. 각 지역별 6회의 반복 시료채취 및 분석값을 평균한 24시간 PM-10 평균 농도 분석 결과는 다음과 같았다: 주거지역과 해안지역에서 각각 약 $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 상대적으로 가장 낮았고, 그 다음으로는 교통 밀집지역에서는 약 $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 비철금속 공단 지역과 기계공단지역에서 상대적으로 높게 각각 $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 이러한 결과는 우리나라의 24시간 평균치 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 연간 평균치 $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 모두 초과하지는 않는 값이었다. 본 연구가 비록 2달간의 짧은 기간 동안의 평균값이기 때문에 연간 농도 평균값과 비교하는 것은 다소 무리가 있을 수 있다. 그러나 대부분의 선진국에서 PM-10에 대한 연간 환경 기준치를 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 내외로 규정하고 있다는 것을 견주어 볼 때, 이런 정도의 농도가 일년내내 유지된다고 가정한다면, 선진국의 연간 환경 기준치인 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과할 소지가 다분히 있다. 실제로 우리나라의 PM-10에 대한 연간 환경 기준치는 선진국과 비교하여 너무 높게 책정되어 있다고 볼 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 본 연구에서 얻어진 결과를 바탕으로 대단위 공업도시에서의 미세 입자성 오염물에 대한 대기질 (PM-10 평균 농도) 평가시 건강적인 측면에서 다소 왜곡된 결과 (Under Estimate)를 유추할 수 있다. 따라서, 우리의 건강보호를 위한 쾌적한 대기환경 유지를 위해, 우리나라도 연차적으로, 현실적으로, 그리고 기술적으로 가능한 범위내에서 선진국과 유사한 PM-10에 대한 연간 환경 기준치를 다시 설정할 필요가 있다고 본다.

3.2 주거지역과 해안지역에서의 PM-10 비교

2달간의 조사기간동안의 PM-10 농도 분석에서 주거지역과 해안지역에서의 6회 평균한 24 시간 PM-10 평균농도는 우연히도 $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 거의 동일하였다. 비록 측정시기의 차이로 인한 기상현상과 주변지역의 Activities가 다소 차이가 있다. 그러나 비슷한 시기에 두 지점에서 시료채취가 이루어졌고, 우기시는 비가 온 뒤 이틀 후이나 시료 채취가 시작되었기 때문에, 상황이 다른 두 지점의 특성을 비교하는 것은 매우 흥미 있는 일이었다. 조사기간 동안의 주거지역에서의 최고 및 최저 PM-10 농도는 $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 해안지역에서의 최고 및 최저 PM-10 농도는 $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 주거지역에서의 PM-10 농도 분포범위 (최고값 - 최저값)가 약 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이나 되었지만, 해안지역에서의 PM-10 농도 분포범위는 약 $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도였다. 즉, 해안지역에서의 PM-10 농도 변화는 다소 적었지만, 주거지역에서의 농도변화는 해안지역의 2배나 될 정도로 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 주거지역 주변의 Activities 변화가 많음을 알 수 있다.

연구 시작 전에는 측정 조사된 주거지역이 울산지역의 우수한 주택지 중에 하나이기 때문에 상당히 양호한 대기질을 가질 것이라고 예측하였다. 그러나 측정된 주거지역의 PM-10 농도는 예상보다 다소 높게 검출되었다. 측정 조사된 지점(주거지역)의 반경 300m 및 600m 지점에서 아파트 건설공사와 토목공사가 한창 진행 중에 있었다. 또한 측정 조사지점 근처 50m 지점에 교통량이 아주 많은 4차선 도로가 있었고, 이 도로에는 특히 대형버스나 인근 공사현장으로 진출입하는 트럭 등의 통행이 아주 많았다. 따라서 건설 및 토목 공사에서 발생된 분진과 각종 차량의 매연 등의 요인이 그 주거지역에서의 PM-10 농도를 높게 만든 것으로 판단된다.

PM-10에 대한 주요한 배출처는 화석연료연소, 산업시설, 도로에서의 차량통행 등으로 알려져 있다. 이러한 관점에서 조사된 해안지역 인근에 화력발전소와 대단위 석유화학 공장이 위치해 있어서, 또 해염입자의 영향으로 인하여, 연구 시작 전에는 이 해안지역의 PM-10 농도가 다소 높은 값이 나올 수도 있다고도 가정하였다. 그러나 이 해안지역에서의 PM-10의 조사결과는 주거지역에서와 유사한 평균 농도를 가지는 것으로 확인되었다. 이는 조사 해안지역 바로 인근에 화력발전소가 있지만, 화력발전소의 굴뚝(Stack)의 높이가 상당히 높아(50m) 측정지역에서의 PM-10 농도에 별로 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 또 측정지역 근처에는 대단위 석유화학 공장이 있기는 하지만, 조사지점 근처에는 정제 시설보다는 주로 저장탱크(Storage Tank) 시설이 대부분을 차지하고 있기 때문에 측정지점에서의 PM-10 농도가 예상보다 다소 낮게 나왔다고 판단된다. 또한, 지역마다 다소 차이가 있겠지만 해염입자의 크기가 대부분이 10 μm 이상이라는 것과, 해안에서의 바람에 의한 Dilution 때문에 PM-10 농도가 상대적으로 낮은 것으로 판단된다.

3.2 중금속 분석

중금속 성분이 PM-10 농도에 기여하는 정도를 각 지역별로 비교해 보면, 해안지역에서의 기여도는 다른 지역의 약 10분 1 정도였다. 이는 PM-10 중의 중금속의 주요 배출원을 차량운행, 조선 및 기계공장, 비철금속 공장, 그 외 여러 중금속 사용 산업이라고 할 때, 측정 조사된 해안지역은 이러한 배출원이 상대적으로 훨씬 적은 편이고 해풍에 의한 Dilution으로 판단된다.

4. 요약

울산시를 주거지역, 교통밀집지역, 해안지역, 기계공단지역, 비철금속공단지역으로 구분하여 각 지역의 PM-10 분포 및 PM-10 중의 중금속함량을 분석하였다. 측정기간인 1998년 11월 및 12월 동안의 해안지역과 주거지역의 평균 농도는 비슷하였고, 상대적으로 낮은 농도를 보였다. 비철금속공단 및 기계공단 지역의 평균 농도는 다른 지역에 비하여 상대적으로 높게 측정되었다. 해안 지역에서의 PM-10 중의 중금속 농도는 다른 측정지역과 비교해 볼 때 특히 낮은 농도로 관측되었는데, 이는 측정지점 주변에 중금속이나 PM-10의 배출원이 훨씬 적었기 때문이었다.