요 약 문

Ⅰ. 제목

"경기남부지역 미세먼지 배출특성 분석 및 효과적인 관리방안 연구"

Ⅱ. 연구의 목적 및 필요성

우리나라의 경우 1990년대 이후 집중적으로 추진되고 있는 대기오염 규제정책에도 불구하고, 도시의 체감오염도는 개선될 여지를 보이고 있지 않다. 이에 대기환경을 개선하기 위한 사회적 비용은 해마다 증대되고 있다. 최근 경기도 지역을 포함한 수도권 지역의 미세먼지 오염도는 정부의 "수도권 대기환경개선에 관한 특별법" 제정 등에서 보는 것과 같이, OECD 국가 중 가장 높은 오염도를 보이고 있으며, 오염원의 다양성 및 2차 생성물질에 의해 관리에 어려움도 동반되고 있다.

수도권 내 3개 시·도 중 경기도는 면적이 가장 넓은 뿐 아니라, 미세먼지 오염원이 다양하고 특히 도심지가 아닌 외곽지역의 미세먼지가 높아 이에 대한 정확한 원인분석이 필요하다. 미세먼지 오염도의 원인규명을 위해서는 최우선적으로 대기 중 미세먼지의 물리화학적인 분석을 통하여 오염원의 확인 및 각 오염원의 기여도를 평가하여야 한다. 또한 미세먼지 오염도에 대한 주변지역의 영향 및 2차 오염물질의 생성변화 메커니즘을 조사하여야 미세먼지의 효율적인 관리가 가능하다.

본 연구에서는 경기도 미세먼지의 배출특성 및 효과적인 관리방안 마련을 위해 경기도의 남동쪽에 위치하며, 최근 광역적인 도시개발에 따른 미세먼지 오염도가 빠르게 악화되고 있는 수원시와 용인시를 대상으로 미세먼지에 대한 조사연구를 실시하고자 한다. 본 자료를 이용하여 미세먼지가 수원시와 용인시에 미치는 영향을 분석하기 위해 오염원의 확인 및 기여도를 평가한다. 또한 미세먼지 오염도에 대한 주변지역의 영향 및 2차 오염물질 생성변화 메커니즘을 분석을 수행하고자 한다.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

본 연구의 목적은 미세먼지 오염도에 영향을 미치는 PM_{10}의 배출특성을 조사하여 효과적인 관리방안을 마련하는데 있다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 연구를 수행하였다. 첫째, PM_{10}의 현황 및 특성분석을 위하여 장기적인 시료채취를 실시하였으며, 이온, 탄소, 원소성분의 분석 자료로부터 종합적인 해석을 실시하였다. 또한 측정된 PM_{10}의 분석 자료를 이용하여 수용모델 (PMF modeling)을 수행하였으며, 각 오염원에 대한 오염원 기여도를 평가하였다. 최종적으로 분석한 오염원 기여도를 바탕으로 용인시 미세

먼지 저감을 위한 관리방안을 제시하고자 하였다. 둘째 황사기간 중 집중적으로 PM_{10}과 $PM_{2.5}$를 채취하여 미세먼지 오염도에 대한 외부 유입등 주변지역의 영향 및 2차 오염물질 생성변화 메커니즘에 대한 연구를 수행하였다.

1. 미세먼지의 실태 및 특성에 관한 종합 해석

미세먼지의 오염현황분석을 위한 미세먼지 시료채취는 2007년 5월부터 2007년 11월까지 경기도 용인시에 위치한 경희대학교에서 실시하였다. PM_{10}의 특성분석을 위하여 미세먼지 중금속, 이온, 탄소성분을 분석하였다.

2. 수용모델을 이용한 미세먼지의 기여도 분석

연구대상 지역의 PM_{10} 오염도에 영향을 미치는 오염원에 대한 기여도 평가를 위해 수용모델을 적용하였다. 수용모델은 미세먼지 오염농도에 영향을 미치는 오염원에 대한 평가를 수용체를 중심으로 평가하는 모델 (receptor-oriented model)로 본 연구에서는 오염분류표 (source profile)가 부재 시 적용 가능한 수용방법론인 PMF 모델 (Positive Matrix Model)을 적용하였다.

3. 황사 시 이온성분의 분포 조사

한국외대 용인캠퍼스에서 미세입자를 채취하여 분석하였다. 용인캠퍼스는 대형 점오염원은 물론 수도권에서는 드물게 차량 배출의 영향도 직접적이지 않아 지역의 배경 대기 특성을 조사하기에 이상적 장소이다. 황사 유입과 2차 생성에 의한 스모그 발생 등 특징적 현상이 나타날 수 있는 시기를 선택하여 집중 관측하였다.

4. 미세먼지 2차 생성메커니즘 조사

미세먼지 성분 중 SO_4^{2-}, NO_3^- 등 2차 오염물질의 시간변화 특성 파악하기 위하여 5, 6월 등 2차 생성이 중요한 시기에는 PILS (Particle-Into- Liquid Sampler)를 이용하여 시간단위 이하 이온성분 변화를 측정함으로써 2차 오염물질의 생성과 변환 메커니즘을 조사하였다.

5. 최적 미세먼지 관리방안 마련

수용모델을 통한 연구대상 지역의 PM_{10} 오염도에 영향을 미치는 각각의 오염원에 대한 기여도 평가 자료를 바탕으로 미세먼지 저감을 위한 방안을 마련하고자 하였다. 오염도 평가에서 기여도가 높은 배출원을 대상으로 자동차 배출가스저감대책 등 기존 정책을 포함한 적용 가능한 다양한 저감 및 관리대책을 제시하였다.

Ⅳ. 연구결과

1. 미세먼지 현황

수용모델링을 적용하기에 앞서 수행된 일반대기 중 PM_{10}의 농도특성 분석을 경희대학교 국제캠퍼스에서 수행하였다. 연구지역의 특성을 파악하기 위하여 2006년 3월부터 2007년 11월까지의 미세먼지 농도경향을 분석한 결과, 2006년에는 평균농도 73.4 ㎍/㎥, 2007년에는 평균농도 64.9 ㎍/㎥로 조사되었다. 이러한 평균농도결과는 2007년 1월부터 적용된 연평균 대기환경기준인 50 ㎍/㎥을 크게 초과하는 것으로 확인되었다. 무기원소의 특성을 파악하기 위하여 Al, Mn, V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Si, Ba으로 총 12개 항목에 대하여 분석하였다. 12개 항목 중에서 Fe, Al, Si, Zn 등은 측정기간 중 비교적 높은 농도 값을 나타내었다. Fe는 평균농도 0.7 ㎍/㎥로 가장 높은 값을 보였고, Cd, V 등과 같은 원소들은 비교적 낮은 농도 값을 보였다. PM_{10} 중 이온성분은 Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} 3개의 음이온과 Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} 5개의 양이온을 분석하였다. 측정기간 동안의 이온성분의 농도는 23.1 ㎍/㎥인 것으로 나타났고, 미세먼지 농도와의 상관계수 R^2는 0.88로 양호한 수준을 나타내었다. PM_{10}의 탄소성분은 OC, EC로 나누어 분석결과 전체평균 농도로 OC의 농도는 7.0 ㎍/m^3, EC의 농도는 3.8 ㎍/m^3로 나타났다.

2. 수용모델에 의한 기여도 분석 결과

PMF 모델에 의한 경기도 남부지역을 대표하는 수원시와 용인시의 접경지역인 경희대 국제캠퍼스에 실시한 미세먼지의 오염원기여도 평가결과 8개의 오염원을 분류·확인하였다. 오염원별 배출기여도는 다음과 같다. 2차 황산염과 질산염관련 오염원을 포함한 2차 분진 입자가 34.5 %로 가장 높은 기여도를 보였으며, 토양관련이 25.4 %의 단일 오염으로 높은 기여도를 보였다. 차량관련 배출원은 디젤자동차 12.1 %와 가솔린 자동차가 4.6 %로 16.7 %의 기여도를 보였다. 연소 및 산업 관련오염원은 13.8 %, 소각관련 오염원이 2.8 %, Na-rich 관련 오염원이 5.6 %의 기여도를 추정되었다.

3. 황사 시 이온성분의 분포 조사

봄철 측정기간 중 발생한 2차례 황사일을 제외하여도 봄철에는 토양의 영향이 큰데 비하여 11월에는 2차 생성이 활발하였다. 이에 따라 봄철에는 PM_{10}이 높으면 $PM_{2.5}$와 조대입자 ($PM_{10-2.5}$)도 함께 높았으나 11월에는 조대입자는 그대로이거나 오히려 약간 감소한 상태에서 $PM_{2.5}$만 증가하였다. 황사일을 포함하여도 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 비는 0.77로 높은 수준이었는데 봄철 등에 토양입자의 영향이 명백함에도 불구하고 일부 황사일을 제

외한 평상시의 $PM_{2.5}$와 PM_{10}의 상관성은 봄철과 11월이 크게 다르지 않았으며, 전반적으로 2차 생성이 활발하였던 것으로 추정되었다.

4. 미세먼지 2차 생성메커니즘 조사

필터팩 이온 분석에서도 2차 생성 성분인 황산염, 암모니움염과 질량의 상관성이 두드러졌다. 그러나 3월 PM_{10}에서는 Ca^{2+} 등 토양성분의 영향이 비교적 명확하였으며 이에 따라 PM_{10}과 $PM_{2.5}$ 모두에서 질량과 질산염의 상관성이 11월보다 크게 낮았다. PILS를 이용한 6월의 이온 성분 시간변화에서는, 황산염과 질산염 모두 오전 9-10시 사이에 농도가 가장 높았고 암모니움염은 오전 8시부터 정오 무렵까지 농도가 높았다. 정오부터 밤 10시까지 암모니움염의 농도가 낮았고 질산염의 변화도 유사하여 질산염의 생성이 암모니움의 공급에 의하여 조절되는 모습이었다.

Ⅴ. 결론 및 연구결과의 활용계획

1. 결 론

본 연구에서는 경기도 남부지역의 대기오염도를 집중적으로 조사하였다. 조사결과를 이용하요 미세먼지 오염도의 특성을 파악하였으며, 수용모델을 통한 오염원 기여도를 평가하여 효과적인 대기오염관리 방안을 마련하고자 하였다.

최종적으로, 연구결과를 토대로 경기도 남부지역의 미세분진 오염원을 효율적으로 관리하기 위해서는 다음과 같은 안을 제시할 수 있다. PM_{10}에 영향을 미치는 주요 오염원으로는 2차 오염원이 34.5 %로 높게 조사되었으며, 이는 광화학 반응에 의한 SO_2와 NO_2 등 가스상 오염물질의 영향이 큰 것으로 생각된다. 따라서 PM_{10} 관리를 위해서는 우선적으로 환경 전문 인력을 활용하여 지역산업체에서 방출되는 1차 입자상물질의 직접적으로 규제 관리하여야 하며, 더불어 광화학반응으로 생성되는 2차분진의 추가적인 동향을 감시하고 관리하여야 한다. 이를 위해 2차 분진 형성에 직접적인 영향을 주는 가스상 오염물질의 저감 및 제어관리가 필요하며, 또한 국내외 장단거리 운송을 통해 생성되는 2차 오염물질에 대한 정확한 평가 및 대책도 필요하다고 생각된다. 한편 토양 및 비산먼지 관련 오염원이 25 % 이상 높은 기여율을 보였다. 이러한 토양관련 배출원은 불특정 오염원으로 그 관리가 매우 어려우나, 단일 오염원으로써 먼지에 미치는 기여율을 매우 높다는 점을 고려하여, 도로비산먼지 등의 제어를 위한 기본 방안이 도출되어야 할 것이다. 차량 오염원의 기여율이 PM_{10}의 경우 약 16.7 %의 기여율을 보였으며, 입경이 작을수록 더욱 높은 기여율을 보일 것으로 예상된다. 차량의 발생 입자는 주로 PM2.5임을 감안한다면 PM_{10}에서의 기여율은 낮으나 인체 유해성을 고려한다면 차량의

배출규제 역시 지속적으로 필요할 것으로 판단된다. 이는 차량오염원이 차지하는 기여도가 다른 인위적 오염원보다 상대적으로 높게 조사되었기 때문이다.

2. 연구결과 활용계획

❑ 경기도 남부지역의 미세먼지 오염도에 영향을 미치는 주요 오염원에 대한 정보를 확보할 수 있다.

❑ 용인지역 미세먼지의 물리화학적 특성과 2차 에어로졸 발생의 종합적인 해석을 통해 미세먼지 저감방안의 기초자료로 활용할 수 있다.

❑ 경기도 지역의 미세먼지 특성을 규명하므로 지역 간 환경문제 분쟁발생 시 적극적인 대응자료로 활용할 수 있다.

❑ 향후 미세먼지 대기환경 관리를 위한 환경정책 수립 시 우선순위 결정에 있어서 중요한 자료로 활용될 것으로 사료된다.

❑ 『수도권 대기환경개선에 관한 특별법』에 의한 시행계획 수립 시 대기환경개선에 필요한 종합적이고 합리적인 자료를 제공한다.

SUMMARY

I. Title

"A study on the emission source characteristics and effective management plans for PM_{10} in Gyeonggi province"

II. Objectives and Necessity

Gyeonggi province has a variety of PM_{10} sources and the observed PM_{10} concentration in outskirt area was higher than that in the center area of each city in the metropolitan area. To control PM_{10} in this area, it is required to survey the physicochemical properties of airborne particulate matters and quantitatively to evaluate what extent of specific air pollution sources affects the local air quality. In addition, understanding mechanisms of secondary formed particulate matters will provide important information to manage air quality.

The purpose of this study was to suggest an effective control strategy for particulate matters in the City of Yongin, where is one of the fastest developing regions in Gyeonggi Province. The study initially measured PM_{10} mass concentrations and analyzed inorganic elements, ions, and carbon contents contained in PM_{10}. Based on these data, a receptor model was intensively applied to obtain source characteristics and their contributions.

Since physical and chemical properties of particulate matters in Korea are different by season, 24-h averages of ionic composition of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were measured by the filter packs in order to investigate their variations with particle size. In addition, hourly variations of ionic compositions in $PM_{2.5}$ were measured by a particle-into-liquid sampler (PILS) to study the mechanism of production and transformation of major secondary species in ambient particulate matters.

III. Study Contents and Scopes

The objective of this study was to extensively estimate the air quality trends of the study area by surveying concentration trends in monthly basis and seasonal basis, just

after measuring the mass concentration of PM_{10} samples and analyzing inorganic elements, ions, and total carbon in PM_{10}. Also, the study estimated the contribution of PM10 sources by applying a receptor model because controling air emission sources were most effective way to attain the ambient air quality standard. The PMF model has been intensively applied for this study. In addition to source apportionment study, the study included the characteristics of ionic species distribution between coarse and fine particles during the episode events of Asian dust storm, and included the temporal variations of secondary aerosol species such as SO_4^{2-} and NO_3^-.

IV. Study Results

The PM_{10} particles were collected on quartz fiber filters by a PM_{10} high-vol air sampler. The results showed that average concentrations of PM_{10} were 73.4 μg/㎥ in 2006 and 64.9 μg/㎥ in 2007, respectively. The levels were higher than the annual average standard concentration of 50 μg/㎥, which was enforced in January 2007. The inorganic elements (Al, Mn, V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Si, and Ba) were analyzed by an ICP-AES after proper pre-treatments of each sample. The ino elements (Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, and Mg^{2+}) were analyzed by an IC. The average concentration of cation and anion were 23.1 μg/㎥ and correlation coefficient (R^2) of cation and anion is 0.88. The average concentration levels of each carbon were EC 3.8 $μg/m^3$ and OC 7.0 $μg/m^3$.

Furthermore, ionic compositions of PM_{10} and $PM_{2.5}$ filter-pack samples and $PM_{2.5}$ PILS samples were analyzed by ion chromatography. The ionic composition in the PILS samples were compared with that in the filter-pack samples.

Based on these chemical information, the PMF model was applied to estimate the quantitative contribution of air pollution sources. The optimal parameters for performing modeling were determined by a trial and error process. After performing PMF modeling, a total of 8 sources were identified and their contribution were intensively estimated. Average contributions emitted from each source were as follows: 34.5 % from NH_4NO_3 and ammonium sulfate, 25.4 % from soil source, 16.7 % from auto emission include diesel and gasoline, 13.8 % from oil combustion and industrial related source, 2.8 % from incineration source, and 5.6 % from Na-rich source.

The effects of crustal materials were significant in spring even excluding the samples during the Asian dust period. As a result, $PM_{2.5}$ as well as $PM_{10-2.5}$ were high when PM_{10} was high in spring. On the other hand, only $PM_{2.5}$ increased with PM_{10} in November since the increase of PM_{10} was driven by the secondary formation. Despite significant effects of crustal materials in spring, the correlation between PM_{10} and $PM_{2.5}$ was similar if a few days with Asian dust were excluded. A high value of the mean ration of $PM_{2.5}/PM_{10}$, around 0.80, also indicated an active secondary formation as a whole.

The analysis of ionic components of the filter pack samples also showed high correlation between mass and the secondary components of sulfate, nitrate and ammonium. However, the correlation between mass and nitrate was lowered in spring due to the effects of crustal components such as Ca^{2+}. The diurnal variation of ionic components showed the peak concentration of sulfate and nitrate between 9 and 10 a.m. and that of ammonium between 8 a.m. and the noon. The variations in nitrate and ammonium were quite similar in the afternoon till night; the nitrate formation seemed to be controlled by the availability of ammonium.

As a conclusion, this study provides information on the major sources effecting air quality in the receptor site and thus it will help to maintain and manage the ambient air quality in Suwon area by suggesting reliable control strategies for relating sources.

V. Future plans to use the results

□ Providing basic information when planning a control policy for ambient aerosol by reviewing physicochemical characteristics of particulate matters and comprehensive analyses for secondary aerosol generations

□ Providing fundamental data bases when dealing with environmental disputes among neighboring regions in Gyeonggi province

☐ Utilizing our study results when deciding environmental priority to establish effective management of particulate matters in the future

☐ Providing comprehensive and reasonable data bases to deal with various regulations required by the MOE

CONTENTS

목 차