

## 21세기 수도권 대기환경 개선과 녹색성장을 위한 제안 Proposal for Air Quality Improvement and Green Growth in the Seoul Metropolitan Area of the 21st Century

김 영 성\*

한국외국어대학교 환경학과

(2011년 12월 1일 접수, 2012년 2월 13일 수정, 2012년 2월 28일 채택)

Young Sung Ghim\*

*Department of Environmental Science, Hankuk University of Foreign Studies*

(Received 1 December 2011, revised 13 February 2012, accepted 28 February 2012)

### Abstract

Ahead of the second basic plan which starts in 2015, tasks needed to improve air quality and encourage green growth in the Seoul Metropolitan Area have been investigated. To date, many research findings indicate that climate change is ongoing and continues to accelerate in the Northeast Asia due to several factors, including unparalleled anthropogenic air emissions from China. An intensive field study is proposed that would target the Seoul Metropolitan Area and would be conducted in collaboration with the international scientific community. While focused on environmental issues in Korea, this study would also benefit the international community by providing insights that can be applied to address similar problems around the world. In addition to the basic plan's emphasis on improving air quality, there is a need to promote green growth through environment-friendly development. It is proposed that green growth be interpreted as a comprehensive concept, targeting all environmental pollution, rather than being limited to low-carbon goals. It is further proposed that the success of environment-friendly development be measured in terms of risk reduction, energy and resources conservation, economic benefits, and employment expansion.

**Key words** : Chinese emissions, Climate change, International intensive field study, Environment-friendly development

### 1. 서 론

2001년 8월 IUAPPA (International Union of Air Pollution Prevention and Environmental Protection

Associations) 세계대기보전대회가 “새천년을 푸르게 (Greening the new Millenium)”를 주제로 개최되었을 때 “새천년”과 “푸르게”는 향후 펼쳐질 새천년을 향한 선언적 의미가 컸다(<http://www.iuappa.org/confproc.html>). 1990년대 말 21세기를 앞두고 “환경의 세기”를 이야기할 때에도 “환경”은 환경론자 사이에서 중요할 뿐이었다(폰 바이츠제커, 1999). 그러나

\*Corresponding author.

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

10년이 지난 지금 환경의 의미는 훨씬 실제적이다. 폭설과 폭우로 도심의 교통이 마비되고 산사태가 발생하여 인명피해가 속출하는 근래의 기상 변화는 환경과 구분하여 생각하기 어렵다. 자동차 회사가 친환경 경자동차 개발에 사운을 걸고 대기업들이 전기차 배터리와 태양전지를 미래사업 혹은 신수종 사업으로 추진할 때 환경은 선택이 아니라 필수이다.

대기환경 분야로 국한하여도 지난 10년의 변화는 괄목할 만하다. 1990년대 말 에어로졸의 화학조성은 논문에서만 볼 수 있는 연구 주제였고(Kang *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 1999), CAPSS (Clean Air Policy Support System, 대기정책지원시스템) 배출량 구축이 막 시작되었으며(환경부, 2004), 몇 년 전 크게 이슈가 되었던 비산먼지의 경우도 일부 연구팀이 배출량 산정을 시험하는 수준이었다(동종인 등, 1996; 장영기 등, 1995). 10년이 지난 지금, 토양물질, 원소/유기탄소, 2차 이온을 구분하여 배출저감 효과를 점검하고(한국대기환경학회, 2009), 배출자료 중 가장 불확실성이 큰 자료의 하나인 비산먼지 배출량도 인하대학교(2007) 등의 연구가 뒷받침되면서 획기적으로 개선되었다. 정책의 효과를 살피기 위하여 3차원 수치모델이 필요하고, 배출자료를 평가하기 위하여 수용모델 이용체계를 수립하여야 한다는 논의들이 정부 기관이 중심이 되어 진행되는 것도 10년 전에는 예상하기 어려웠다(국립환경과학원, 2011; 아주대학교와 국립환경과학원, 2010).

2005년 교토의정서의 발효에도 불구하고 바뀌지 않았던 우리나라의 입장이 온실가스 적극 감축으로 선회한 것은 현 정부가 들어선 2008년 이후이다. 2009년 1월 정부는 온실가스 감축을 산업화하여 녹색성장을 견인할 수 있도록 “녹색기술 연구개발 종합대책”을 발표하였고, 11월에는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)가 개발도상국에 권고한 BAU (business as usual) 대비 15~30% 중 최고 수준인 30% 감축을 확정하였다(최홍진, 2009). 기후변화협약이 사회와 경제에 미치는 영향이 크기 때문에 지금 당장의 녹색성장은 “저탄소”에 초점이 맞추어져 있다. 그러나 1990년대 OECD 국가들이 전통적 의미의 환경기술인 사후처리기술(end-of-pipe technology)을 넘어, 광범위하고 장기적인 오염예방 혹은 청정기술을 통한 경제 성장과 고용 확대를 모색할 때 녹색성장은 에너지, 자원의 낭비에 의한 잉여 오염

전체를 대상으로 한 포괄적 개념이었다(US Executive Office of the President and National Science and Technology Council, 1995; OECD, 1992).

수도권 대기환경을 획기적으로 개선하기 위한 “수도권 대기환경개선에 관한 특별법”(특별법)이 2005년부터 시행되고 있다. 특별법의 규정에 따라 2005년 11월 1차 기본계획이 수립되었고 목표연도인 2014년이 다가옴에 따라 2차 기본계획이 논의되고 있다. 계획대로 진행된다면 2차 기본계획은 2015년부터 2024년을 대상으로 한다. 우리나라 통일과 G2(중국과 미국) 중심의 세계질서 변화와 같은 외적 요인을 제외하더라도 향후 10~15년은 지금까지와 또 다른 양상으로 전개될 것이 분명하다. 미래에 큰 변화가 예상될수록 현실에 대한 정확한 인식과 방향 설정이 중요하다. 이번 논문에서는 이를 위하여 필요한 사항들을 살펴보았다.

## 2. 대기환경 현황

그림 1은 PM<sub>10</sub> 환경기준이 설정된 1995년 이후 서울의 주요 오염물질과 시정의 연평균 변화이다. PM<sub>10</sub>은 황사가 심하였던 2001, 2002년에 상승하는 등 변화가 있음에도 감소추세이다. 그러나 시정이 악화되었을 뿐 아니라 오존과 NO<sub>2</sub>도 상승하였다. PM<sub>10</sub>과의 상관관계수(r)는 오존과 시정이 각각 -0.84와 0.69로 상관성이 크다. NO<sub>2</sub>는 PM<sub>10</sub>과 상관성이 작는데 연도별로 오존과 역의 상관성을 보이며 증가하였기 때문이다. 평균적으로 PM<sub>10</sub>은 경기, NO<sub>2</sub>는 서울, 오존과 시정은 인천이 높으나 수도권 내 연도별 변화 추이는 유사하다. 시정이 1 μm 미만 미세입자에 의하여 결정됨을 감안하면 그림 1에서 시정의 악화는 1 μm 미만 미세입자가 증가함으로써 나타난 결과일 수 있다. 단기 변화가 심한 오존에서 연평균은 지역 규모(regional scale) 광화학 반응의 잠재성을 대변한다(Ghim, 2000). 이와 같이 본다면 시정을 악화시킨 1 μm 미만 미세입자는 주로 광화학 반응에 의하여 생성된 2차 입자일 수 있다.

그림 2는 2002년부터 2008년까지 지속적으로 연평균이 유효한 서울지역 14개 측정소의 입자상과 기체상 오염물질의 연평균 변화이다. 앞에서의 예상과 달리 PM<sub>2.5</sub>가 감소하였고 조대입자는 변화가 크지

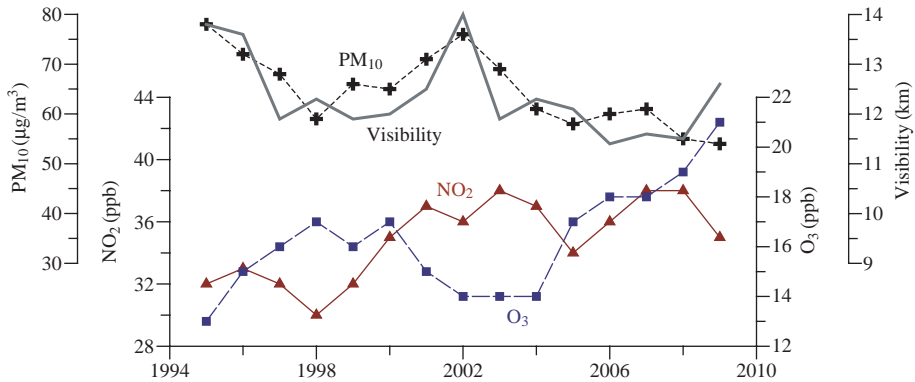


Fig. 1. Variations in annual averages of selected pollutants (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub>) and visibility in Seoul. Source: Annual Report of Air Quality in Korea 2009.

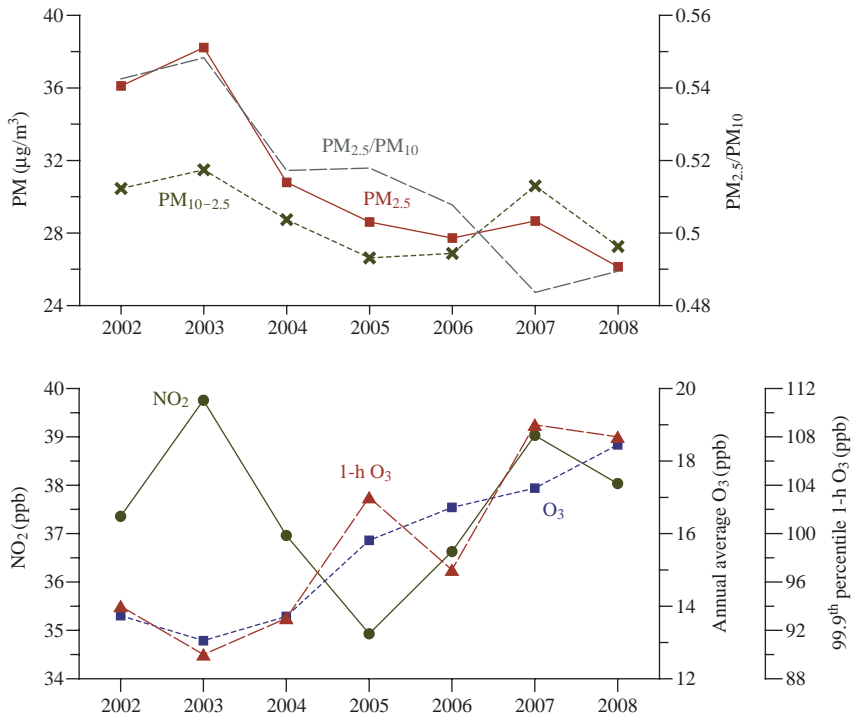


Fig. 2. Variations in annual averages of fine and coarse particles excluding Asian dust days (top) along with annual averages of selected gaseous pollutants (NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>) and the 99.9<sup>th</sup> percentile of 1-hour average ozone in Seoul (bottom). The data were taken from 14 monitoring stations measuring both PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> during the study period. Source: Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment.

않다. 그림 2의 변화 모습은 1996년부터 2004년까지 일본 도쿄와 유사하다(Minoura *et al.*, 2006). 8년간 조대입자는 12~13 µg/m<sup>3</sup>로 거의 일정하였으나 미세

입자는 대략 35 µg/m<sup>3</sup>에서 20 µg/m<sup>3</sup>으로 15 µg/m<sup>3</sup> 감소하였다. 차량 배출저감 정책으로 OC (organic carbon), EC (elemental carbon)가 약 10 µg/m<sup>3</sup> 줄었고

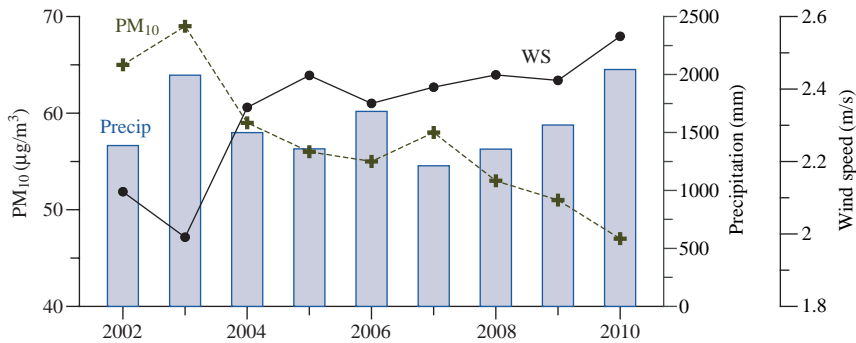


Fig. 3. Variations in annual-average wind speed (WS) and annual amount of precipitation in Seoul. Annual average of PM<sub>10</sub> concentration excluding Asian dust days is also shown. Sources: Press release from Air Pollution Control Division of Korea Ministry of Environment (2011. 8. 12) and the homepage of Korea Meteorological Administration ([http://www.kma.go.kr/weather/observation/past\\_table.jsp](http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_table.jsp)).

Cl<sup>-</sup>이 줄었는데, Cl<sup>-</sup>은 소각로 배출물질이 감소한 것으로 추정하였다. 그림 2에서는 6년간 PM<sub>2.5</sub>가 37 µg/m<sup>3</sup> 수준에서 16 µg/m<sup>3</sup>로 11 µg/m<sup>3</sup> 감소하였다. 우리나라도 특별법이 시행되기 전부터 CNG (compressed natural gas) 버스를 보급하는 등 차량 배출저감을 위하여 노력하였으므로 PM<sub>2.5</sub> 감소는 상당 부분 탄소물질 때문일 가능성이 크다.

한국대기환경학회 (2006a)와 서울시정개발연구원 (2010)에 나타난 서울의 OC, EC 분율은 각각 23%, 28%, 평균 약 25%로서 San Joaquin Valley의 24%나 북동부의 28%와 유사하다 (NARSTO, 2004). 이를 적용하면 그림 2의 2002~2003년 PM<sub>2.5</sub> 중 탄소물질의 농도는 9~10 µg/m<sup>3</sup>이다. 이보다 높거나 낮을 수 있겠지만 탄소물질이 0일 수 없으므로 2008년까지 11 µg/m<sup>3</sup>이 감소하기 위해서는 탄소물질뿐 아니라 다른 물질이 감소하여야 한다. 뿐만 아니라 그림 2를 보면 2000년대 이후 오존은 연평균뿐 아니라 99.9백분율의 피크 오존도 상승하였다. 그림 1에서는 지역규모 광화학 반응에 의한 2차 입자 증가를 이야기하였으나 그림 2를 보면 국지적으로도 2차 입자가 증가하였을 수 있다. 시정이 입자의 크기와 화학조성의 복잡한 함수이기 때문에 화학조성 변화에 따른 시정 예측은 쉽지 않으나 (Pitchford *et al.*, 2007) 어떠한 경우이든 PM<sub>2.5</sub>가 감소하였음에도 시정이 악화된 현상은 설명하기 어려운 과제이다.

정부 공식 통계에 의하면 황사의 영향을 제외하였을 때 서울의 PM<sub>10</sub> 연평균은 2003년부터 2008년까지

69 µg/m<sup>3</sup>에서 53 µg/m<sup>3</sup>로 16 µg/m<sup>3</sup>이 감소하였다 (그림 3). 그림 2는 14개 측정소만을 대상으로 하였음에도 불구하고 두 값은 거의 동일하다. 2차 입자가 증가하였다면 얼마나 증가하였고 탄소물질이 얼마나 감소하였는지, 그밖에 어떠한 변화로 인하여 시정이 악화된 것으로 나타났는지 등을 조사하여야 하나 자료가 충분하지 않다. 과거의 변화를 분석하는 것은 정책의 효과를 점검하여 더욱 효과적으로 목표를 달성할 수 있도록 정책을 보완하거나 수정하기 위한 것이다. 배출원을 목표로 하였던 지금까지의 정책에서 벗어나 대기질 농도를 목표로 다양한 배출원을 관리하고자 하였던 최초의 시도였기에 이번의 경험이 더욱 중요하나 준비가 여기까지는 미치지 못하였다.

### 3. 변화의 불연속성

그러나 새로운 정책의 시행이 쉽지 않은 상황에서 다음의 정책까지를 생각하여 정책의 효과를 점검할 수 있도록 체제를 갖추어 정책을 집행하기를 기대하기는 어렵다. 이렇게 본다면 지금의 부족한 현실은 정책이 발전하는 과정에서 지날 수밖에 없는 절차일 수 있다. 우리의 실질적 어려움은, 과거의 경험을 충분히 활용할 수 없기 때문이 아니라, 충분히 활용하더라도 이로부터 얻을 수 있는 도움이 제한적일 수 있다는 점이다. 서론에서 언급한 변화의 불연속성 때

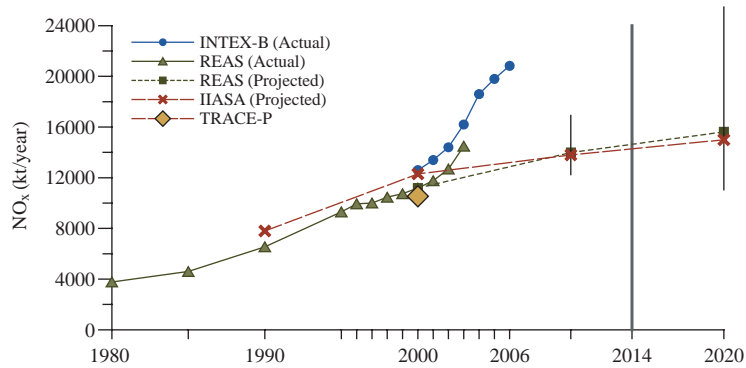


Fig. 4. Actual and projected emissions of NO<sub>x</sub> in China. The year 2014, indicated by a vertical line, is the final year of the first phase of the basic metropolitan atmospheric environment management plan. Upper and lower limits of the projected emissions of REAS are from policy failure and success cases, respectively. Sources: INTEX-B (Intercontinental Chemical Transport Experiment-Phase B; Zhang *et al.*, 2009), REAS (Regional Emission Inventory in Asia; Ohara *et al.*, 2007), IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis; Cofala *et al.*, 2006), TRACE-P (Transport and Chemical Evolution over the Pacific; Streets *et al.*, 2003).

문이다.

그림 3은 2002년부터 2010년까지 연평균 풍속과 강수량이다. 황사의 영향을 제외한 연평균 PM<sub>10</sub>을 함께 표시하였다. 육안으로도 평균 풍속과 PM<sub>10</sub>의 역상관 관계를 볼 수 있다( $r = -0.94$ ). 강수량은 2006년까지 변화가 일정하지 않았으나 2007년 이후 지속적으로 증가하였고 같은 기간 PM<sub>10</sub>도 감소 추세가 뚜렷하다. 2007년 이후 풍속과 강수량 증가가 어떠한 형태로든 PM<sub>10</sub> 감소에 기여하였음은 분명하다(김동술, 2011). 특히 강수는 그 자체로서 대기오염에 미치는 영향이 절대적일 뿐 아니라(Ghim *et al.*, 2001) 2000년대 후반 강수량 변화가 PM<sub>10</sub> 변화와 정확하게 일치한다는 점에서 더욱 주목할 만하다. Wang *et al.* (2006)에 의하면 지난 200여년 중 1950년 이전에는 여름철 강수량 변화가 명확하지 않으나 1950년 이후 증가추세가 뚜렷하며, 동아시아 몬순 변화의 일부로서 중국 남부부터 일본 북부로 이어지는 홍수 지대에 한반도 남쪽이 위치한 때문이다.

2011년 8월말 현재 누적 강수량이 1,900mm를 넘어 2010년 강수량 2,044mm에 근접하였다. 하지만 PM<sub>10</sub> 농도를 결정하는 요인이 많고 대기오염에서는 강수량보다 강수 자체가 중요한 데 비하여, 기후변화에 의한 강수변화는 절대량보다 강도(intensity)와 밀접하기 때문에(IPCC, 2007; Wang *et al.*, 2006) 2007년 이후 강수량과 PM<sub>10</sub> 변화가 앞으로도 계속되기를

기대하기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 그림 3과 같은 기상 변화가, 지역 규모 몬순 변화의 일환으로 지난 반세기 동안 강수량이 지속적으로 증가하는 가운데 나타났다는 점에서 향후 대기환경관리에서도 적극적으로 고려하여야 할 중요한 독립변수임을 보여주는 데 부족하지 않다.

또 하나의 인자는 중국의 배출 변화이다. Zhang *et al.* (2009)에 의하면 2001년 대비 2006년 중국의 배출 총량은 SO<sub>2</sub> 36%, NO<sub>x</sub> 55%, CO 18%, VOC 29%, PM<sub>10</sub> 13%, PM<sub>2.5</sub> 14% 증가하였다. 배출저감을 위한 투자의 결과로 화력발전소와 휘발유차 등의 배출계수가 크게 감소하였음에도 같은 기간 GDP(gross domestic product)가 92%, 총에너지 소비가 72% 증가하였고, 화력발전 용량과 차량 대수도 각각 2배 이상 많아졌기 때문이다. 그림 4는 1980년 이후 중국의 NO<sub>x</sub> 배출량 변화와 전망이다. 2000년 초반을 기점으로 변화 추이가 바뀌었으나 2차 기본계획에서 필요한 2010~2020년의 배출량은 2000년 이전의 배출량을 토대로 전망하였다. 배출 변화가 너무 급격하여 논란이 되기도 하였으나 Richter *et al.* (2005)과 Zhang *et al.* (2007)은 위성자료를 이용하여 변화 추이를 확인하였고, Zhao *et al.* (2011)은 기존의 배출량이 대부분 자신들이 산출한 배출량의 불확도 범위(NO<sub>x</sub>의 경우 2005년 기준 -13%, 37%)에 있음을 보여주었다.

2차 기본계획을 염두에 두고 있는 우리 입장에서는 지난 10년 못지않게 2014년 이후 변화가 중요하다. 2014년 이후의 중국의 배출 변화는 지난 20여년간 우리의 변화를 돌아봄으로써 추정할 수 있다. 우리나라가 일본의 변화를 압축하여 받아들였다면 중국은 우리의 변화를 압축하여 진행하고 있는 양상이기 때문이다. 생산 측면은 다를 수 있으나 소비 측면에서 본다면, 2008년 베이징 올림픽은 1988년 서울 올림픽에 비할 수 있다. 중국의 1인당 GDP 4천불 수준은 우리나라의 1990년 전후에 해당하며 중국의 인구 천명당 승용차 보유대수도 유사하다(조용준, 2011; 박영삼, 1993). 중국은 2001년부터 2006년까지 총에너지소비가 72%, 차량보유대수가 2배 증가하였으나 우리나라는 1990년부터 2000년까지 총에너지소비가 2배, 자동차등록대수가 2.6배 증가하였다(국가에너지통계정보시스템, <http://www.ksesis.net/flexapp/KesisFlexApp.jsp>; 환경통계연감). 중국의 향후 배출 증가가 2000년 초반의 모습에서 크게 달라지기를 기대하기는 쉽지 않다.

#### 4. 우리의 대응

2005년 특별법과 1차 기본계획은 2000년대 초부터 수많은 정책 당국과 연구자들이 준비한 결과이다. 한국환경정책·평가연구원(2004)은 특별법과 기본계획의 핵심인 배출총량관리제 추진방안을 수립하였고 한국대기환경학회(2006a, b)는 정책에 필요한 연구 자료를 공급하기 위하여 각각 4년과 5년씩 미세먼지와 오존의 생성과정과 저감대책을 연구하였다. 그럼에도 불구하고 경유차 배출저감 위주의 정책 추진, 비산먼지 대책의 미흡, 장거리 이동에 대한 불충분한 고려 등 연구영역에서 뒷받침되어야 할 사항들이 문제되었다. 경유차 배출저감과 같이(위해성 저감이라는) 실질적 목표를 추구하기 위하여 문제를 무릅쓴 경우도 있지만 비산먼지와 장거리 이동은 문제가 불거지면서 당초 예상보다 심각함이 밝혀진 것들이다(한국대기환경학회, 2009).

2차 기본계획을 철저히 준비하여도 10~15년이 지나는 사이 경중의 차이는 있겠지만 다양한 문제들이 불거질 것은 당연하다. 그러나 준비가 광범위하고 철저할수록 문제가 발생하더라도 준비한 내용을 확장

하여 대응하거나 당초의 방식에 준하여 미흡한 부분을 새롭게 준비함으로써 보완할 수 있다. 3절에서는 기상 요소와 중국의 배출변화가 지금까지와 다르며 이와 같은 변화가 어떠한 형태로든 앞으로도 계속될 것임을 이야기하였다. 또한 많은 연구들이 기상 요소의 변화가 기후변화의 일부이고 배출변화와 연관되어 있음을 밝히고 있다(IPCC, 2007; Menon *et al.*, 2002; Ramanathan *et al.*, 2001). 2000년대 들어 동북아시아를 대상으로 ACE-Asia(Asian Pacific Regional Aerosol Characterization Experiment; Huebert *et al.*, 2003), ABC(Atmospheric Brown Clouds; Cyranoski and Fuyuno, 2005) 등 국제공동 집중측정 연구가 계속되는 것은 중국의 성장에 따라 오염물질 배출의 절대량이 증가하며 지구환경에 미치는 영향이 커지고 있기 때문이다.

중국의 영향이 지배적인 동북아시아는 다른 지역에 비하여 석탄사용과 바이오매스 연소에 의한 탄소물질 배출이 많고 사막과 건조지역으로부터 광물먼지 발생이 많으며 NO<sub>x</sub> 배출이 증가하고 있다. 세계에서 광물먼지 발생이 가장 많은 지역은 사하라 사막이 위치한 북아프리카이나 이 지역의 먼지는 주로 무역풍을 따라 대서양을 향한다. 반면 동아시아에서 발생한 먼지는 편서풍의 영향으로 중국 동부와 우리나라 등 인구밀집 지역을 향한다. 황사이다. 황사와 비산먼지는 발생 위치만 다를 뿐 모두 광물먼지이다. 많은 선진국의 주요 도시가 위해성 저감을 위하여 차량 배출을 줄이고자 노력하고 있음에도 1차 기본계획에서 경유차 배출 저감이 논란이 된 것도 다른 지역과 달리 수도권에서 비산먼지의 영향이 크기 때문이다(한국대기환경학회, 2009). 앞에서 비산먼지의 배출량에 불확실성이 많다고 하였으나 비산먼지를 포함한 광물먼지는 배출량뿐 아니라 물리, 화학을 포함한 많은 과정들에 대하여 지식이 부족하다(Ghim, 2011). ACE-Asia가 동북아시아를 대상으로 하며 국제학계가 광물먼지를 주목하였으나 관심이 지속되지 않았다.

지금 논문에서는 도시문제를 해결하기 위하여 지역규모 배출과 기후변화 관점에서 접근이 필요함을 이야기하였으나 지구환경 관점에서도 도시의 영향은 중요하다. 인구 천만이 넘어 환경영향이 막대한 거대도시(megacity)가 1975년 4개에서 2000년에는 20개로 늘어나는 등 지구환경에서 도시오염이 차지하는

비중이 빠르게 증대되고 있기 때문이다(Molina and Molina, 2004). 일면 도시환경 개선을 위하여 다른 일면으로는 지구환경에 미치는 영향을 점검하기 위하여 대도시를 대상으로 한 국제학계의 움직임이 활발하다(<http://igac.jisao.washington.edu/currproj.php>). 그중에서도 멕시코시티의 경우는 특히 주목할 만한데, 북미 대도시 중 상대적으로 기반이 취약함에도(NARSTO, 2004), 국지오염부터 지구환경까지(local to global)를 대상으로, MCMA (Mexico City Metropolitan Area)-2003 (Molina *et al.*, 2007), MILAGRO (Megacity Initiative: Local And Global Research Observations) 2006 (Molina *et al.*, 2010), Cal-Mex (California-Mexico) 2010 ([http://mce2.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=52&Itemid=91&lang=en](http://mce2.org/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=91&lang=en)) 등 국제공동 집중측정 연구가 계속되고 있기 때문이다.

국제공동 집중측정 연구가 학계에 미치는 영향은 방대하다. Solomon (1995)은 대기 과정에 대한 우리의 이해가 “비약적으로 변화(quantum change)”될 수 있음을 지적하였다. 2001년 8월 “새천년을 푸르게(Greening the new Millenium)”를 주제로 IUAPPA 세계대기보전대회를 개최하였던 것과 같이 수도권을 대상으로 국제공동 집중측정 연구를 진행할 필요가 있다. 우리나라뿐 아니라 전세계 전문가들의 연구역량을 결집시킬 수 있기 때문이다. 우리는 답이 필요하지만 그들은 문제를 얻을 수 있어 윈윈(win-win)이다. 멕시코시티 측정에는 북미의 연구팀들이 주로 참여하는 데 비하여 ACE-Asia 측정 때는 다양한 대륙으로부터 10여개국의 연구팀이 참여하였다. ACE-Asia에서도 동아시아의 배출이 중요하였지만 지난 10년 사이 중국의 배출이 크게 증가하였음에도 아직 영향평가가 본격화되지 않았다. 지역을 막론하고 세계 각지에서 도시화가 빠르게 진행되고 있으며 동북아시아에서는 경제성장과 함께 도시환경 개선과 지속가능 발전에 대한 압박도 거세다(Xiao *et al.*, 2010). 수도권 집중측정 연구는 우리에게 긴요한 만큼 국제적으로도 주목받을 요인이 많다.

지난 수년간 국가기관에서 구축한 연구기반도 ACE-Asia 측정 때와 비교할 수 없다. 2007년 백령도를 비롯하여 수도권, 호남권 집중측정소가 운영 중이고, 계획이 확정된 중부권, 제주권을 포함하여 5개 집중측정소가 추가로 설치될 예정이다. 측정소별로 차

이가 있으나 aerosol mass spectrometer, proton transfer reaction mass spectrometer 등 평균적 국제수준 이상의 장비가 갖추어져 있고(국립환경과학원 대기환경연구과, 2010) 서울시보건환경연구원도 입자의 화학성분을 연속 측정할 수 있는 자동측정 장비를 다수 보유하여 고품질의 자료를 제공할 수 있다(서울시정개발연구원, 2010). ACE-Asia 측정 때와 달리 과학적 의제(agenda)를 우리가 정할 수 있다는 것도 좋은 기회이다. 광물먼지에 대한 국제학계의 관심을 다시 불러일으킬 수 있고, 기본계획의 개선·보완과 변경 작업에서 부각된 생물성 연소 배출의 영향도 전체적으로 점검할 수 있다(한국대기환경학회, 2010, 2009). ACE-Asia가 에어로졸의 기후변화에 대한 직, 간접 효과 규명을 목표로 하였던 데 비하여 이번에는 구름 형성뿐 아니라 강수 영향까지 조사할 수 있다. 중국의 NO<sub>x</sub> 배출 증가에 따른 광화학 환경변화도 중요한 의제이다.

## 5. 녹색 성장

경기도는 일산-수서, 송도-청량리, 의정부-금정을 잇는 총 140.7 km 길이의 수도권광역철도(GTX)가 제2차 국가철도망 구축계획(2011~2020)의 전반기 신규사업으로 확정되었음을 발표하였다(조선일보 2011.4.5). GTX는 지하 40~50 m에서 평균 시속 100 km, 최고 시속 200 km로 도심을 통과하여, 건설이 완료되면 경기도 어디에서나 서울 중심부까지 30분내 도달할 수 있을 것으로 전망하였다. 서울시에서는 서울을 가로-세로로 연결하는 대심도(大深度) 도로를 계획하고 있다(매일경제 2009. 4. 26). 잠실에는 123층 높이의 제2롯데월드가 건설 중이고, 지상 100층 규모의 용산 랜드마크타워 건설이 추진되고 있다. 압구정동에는 평균 40층, 최고 50층 높이의 아파트가 들어설 수 있다. 수도권의 교통, 주거환경을 크게 변화시킬 수 있는 사업들이다.

기본계획은 관리권역에 대하여 대기환경개선 목표를 정하고 목표를 달성할 수 있도록 배출저감계획을 수립한다. 그러나 배출원별로 배출량을 조사하여 배출허용총량을 결정하고 계획 대비 추진실적을 점검하기 때문에 배출원이 바뀌는 큰 변화는 기본계획의 범위에서 다루기 어렵다. 이와 같은 이유로 특별법에

서도 제8조와 9조의 기본계획과 시행계획 수립에 이어 제10조에 환경친화적인 개발계획의 수립·시행을 수록하였고 제11조에서는 국무총리를 위원장으로 하는 수도권대기환경관리위원회에서 심의하도록 하였다.

수도권의 대규모 개발사업의 시행 여부는 (1) 위해성 저감, (2) 에너지와 자원의 절약, (3) 경제적 편익, (4) 고용 확대 등을 검토하여 결정할 수 있다. 위해성 저감과 경제적 편익은 각각 지금 세대의 건강과 풍요를 위한 것으로 고전적 의미의 친환경과 개발을 대변한다. 에너지와 자원의 절약은 다음 세대를 위하여 지속가능성을 전반적으로 평가하기 위한 것이나, 대부분 온실가스 배출 저감으로 환산할 수 있으므로 기후변화 대응 측면에서도 유효하다. 고용확대는 환경오염의 가장 큰 적인 빈곤을 예방할 수 있을 뿐 아니라 경제적 불평등을 완화시켜 사회의 지속가능성을 증진시킬 수 있다.

위해성 저감과 경제적 편익은 개발이나 정책의 효과를 판단하기 위하여 보편적으로 활용되는 척도임에도 기초 자료가 충분치 않고 방법이 확립되지 않아 실제 활용 과정에서는 미흡한 부분이 많다. 서둘러 새로운 기법을 도입하기보다 투명한 가운데 일관성을 유지하여야 점진과 개선이 가능하므로 과정에 대한 충실한 기록이 무엇보다 중요하다. (1)~(4)의 항목은 필요에 따라 일부 교환(trade-off)이 가능할 수 있지만 환경오염 전체를 대상으로 포괄적 녹색성장을 지향한다면 희생할 수 있는 항목은 (3)의 경제적 편익 정도이다. 특히 (1), (2)는 지금도 충분히 열악하므로 최소한 음의 효과는 나타나지 말아야 한다. 기본계획의 대책들도 (1)~(4)의 항목에 의하여 효과를 점검할 수 있다. 그러나 기본계획의 대책에서는 목표한 만큼의 배출을 삭감하는 것이 1차적으로 중요하기 때문에 효과를 살피더라도 다음의 일이다.

## 6. 결 론

2014년 1차 기본계획의 종료와 2015년 2차 기본계획의 시작을 앞두고 21세기 수도권의 대기환경개선과 녹색성장에 필요한 과제를 알아보았다. 21세기가 시작된 지 10여년이 지난 지금 새삼스럽게 21기를 강조한 것은, 지난 10여년간 국내외 정치, 경제,

환경의 급격한 변화가 '환경의 세기'라 지칭하였던 21세기의 의미를 되뇌게 하였기 때문이다. 또 다른 격변이 예상되는 10년을 눈앞에 둔 우리의 상황은 매우 어렵다. 첫째는 선진대기환경정책을 의욕적으로 추진하였던 첫 10년으로부터 충분한 교훈을 얻지 못하였다. 반면 기상 요소와 중국의 배출 변화가 두드러졌는데 지금까지 연구에 의하면 기상 요소의 변화는 인위적 오염물질 배출에 따른 기후변화와 연관된다.

중국의 오염물질 배출은 앞으로 더욱 증가하고 기후변화의 영향도 커질 가능성이 높다. 우리에게 주어진 문제는 매우 어렵고 복잡하지만 한편으로는 국지 배출부터 지역규모 변화와 지구환경 변화가 밀접하게 연결된 좋은 사례이다. 따라서 이번 논문에서는 2001년 ACE-Asia와 같은 국제공동 집중측정 연구를 수도권에서 실시할 것을 제안하였다. 우리는 답을 원하지만 외국의 전문가들은 좋은 문제를 접할 수 있다. 뿐만 아니라 지난 수년간 수도권을 비롯하여 전국에 구축된 연구기반 시설도 국제공동 집중측정 연구를 훌륭하게 지원할 수 있다. 최근 수도권에 추진 중인 대규모 건설 사업의 시행 여부는, 위해성 저감, 에너지와 자원의 절약, 경제적 편익, 고용 확대 등의 항목으로 검토할 것을 제안하였다. 녹색성장을 저탄소에 국한하기보다 환경오염 전체를 대상으로 한 포괄적 개념으로 해석한 결과이다. 기본계획에서는 삭감목표 달성이 1차적으로 중요하므로 달성이 가능할 때 유사한 방식으로 대책의 효과를 점검할 수 있다.

본문에서도 잠시 언급하였지만 이번 논문에서 대기환경 개선은 기본계획, 녹색성장은 친환경 개발을 통하여 추진하는 것으로 구분하였다. 이에 따라 녹색성장에 대한 기본계획의 기여도는 지금까지와 같이 대책의 효과로써 점검하게 되었다. 2차 기본계획 수립이 촉박한 가운데 국제공동 집중측정 연구를 수행할 수 있느냐도 문제이다. 그러나 1차 기본계획의 시행 과정에서 보았던 것과 같이 당장의 필요만을 추구한다면 훌륭한 취지에도 불구하고 특별법은 존립자체가 위협할 수 있다. 국제공동 집중측정 연구 수행을 결정하고 일을 진행한다면 이로부터 얻은 연구결과를 반영한 기본계획까지 6~10년 정도의 시간이 필요할 것으로 예상된다. 내년부터 일을 시작하고 평균 8년을 예상한다면 기본계획은 2019년에 가능하다. 2차 기본계획의 전반까지 지금 체제로 진행하고 후



반에 전면적으로 개편하는 방안을 생각할 수 있다. 국제공동 집중측정과 함께 수도권을 녹색성장의 모범도시로 개발하기 위한 연구를 별도로 진행한다던, 대기환경관리 기본계획에 상응하는 친환경개발 기본계획도 기대할 만하다.

## 감사의 글

이 연구는 한국외국어대학교 교내학술연구의 일환으로 진행되었습니다.

## 참고 문헌

- 국립환경과학원 (2011) 대기환경정책을 위한 수용모델 활용 방안 전문가 워크숍, 7월 19일, 서울팔래스 호텔.
- 국립환경과학원 대기환경연구과 (2010) 2010년도 2차 대기오염집중측정소 워크숍 자료집, 7월 21일, 김포공항 SC컨벤션센터.
- 김동술 (2011) 분진오염의 원인 및 오염원 대책, 대기환경관리 선진화 포럼 4차 회의, 7월 28일, KTX 용산역.
- 동종인, 윤명조, 최재성, 이증범, 조석연 (1996) 2000년대 서울시의 대기오염물질 배출량 예측 및 관리방안 연구, 서울특별시.
- 박영삼 (1993) 앞으로 10년간 자동차 보유대수 전망, 나라경제, 제27호.
- 서울시정개발연구원 (2010) 서울시 대기 중 미세먼지의 상세 모니터링을 통한 미세먼지 특성조사 연구, 서울특별시.
- 아주대학교, 국립환경과학원 (2010) 대기질 모델링 가이드라인 관련 전문가 토론회, 11월 9일, 서울팔래스 호텔.
- 인하대학교 (2007) 비산먼지 산정방법 개선 및 도로제비산먼지 실시간 측정방법 개발, 국립환경과학원.
- 장영기, 김동영, 조규탁 (1995) 먼 및 이동오염원 조사방법 개발 및 지침서 작성에 관한 연구, 환경부.
- 조용준 (2011) 중국은 거대한 '소비 블랙홀', 이코노미스트, 3월 21일, 1079호, 44-45.
- 최홍진 (2009) Post-2012 협상동향과 온실가스 감축추진 방향, 한국외국어대학교 환경과학연구소 정기심포지움, 11월 27일, 용인.
- 폰 바이츠체커, E.U. (1999) 환경의 세기, 권정임, 박진희 옮김, 생각의 나무, 서울.
- 한국대기환경학회 (2006a) 대도시 대기질 관리방안 조사 연구(IV) - 미세먼지 생성과정 규명과 저감대책 수립, 국립환경과학원.
- 한국대기환경학회 (2006b) 대도시 대기질 관리방안 조사 연구(V) - 광화학 대기오염 생성과정 규명과 저감대책 수립, 국립환경과학원.
- 한국대기환경학회 (2009) 수도권 대기환경관리 기본계획 개선·보완 대책 마련을 위한 연구, 환경부.
- 한국대기환경학회 (2010) 수도권 대기환경관리 기본계획 변경(안) 마련을 위한 연구, 수도권대기환경청.
- 한국환경정책·평가연구원 (2004) 수도권 지역 배출총량관리제 추진방안, 환경부.
- 환경부 (2004) 환경백서.
- Cofala, J., M. Amann, and R. Mechler (2006) Scenarios of world anthropogenic emissions of air pollutants and methane up to 2030, Interim Report IR-06-023, [http://www.iiasa.ac.at/rains/global\\_emiss/Global%20emissions%20of%20air%20pollutants%20.pdf](http://www.iiasa.ac.at/rains/global_emiss/Global%20emissions%20of%20air%20pollutants%20.pdf) (accessed February 2010).
- Cyranoski, D. and I. Fuyuno (2005) Climatologists seek clear view of Asia's smog, Nature, 434, 128.
- Ghim, Y.S. (2000) Trends and factors of ozone concentration variations in Korea, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 16, 607-623. (in Korean with English Abstract)
- Ghim, Y.S. (2011) Impacts of Asian dust on atmospheric environment, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 27, 255-271. (in Korean with English Abstract)
- Ghim, Y.S., H.S. Oh, and Y.-S. Chang (2001) Meteorological effects on the evolution of high ozone episodes in the greater Seoul area, J. Air Waste Manage. Assoc., 51, 185-202.
- Huebert, B.J., T. Bates, P.B. Russell, G. Shi, Y.J. Kim, K. Kawamura, G. Carmichael, and T. Nakajima (2003) An overview of ACE-Asia: Strategies for quantifying the relationships between Asian aerosols and their climatic impacts, J. Geophys. Res., 108(D23), 8633, doi:10.1029/2003JD003550.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY.
- Kang, C.M., S.I. Lee, K.C. Cho, J.Y. An, M.K. Choi, and H.K. Kim (1999) Characteristics of acidic air pollutants and PM<sub>2.5</sub> species in Seoul-metropolitan areas using an ADS, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 15, 305-315. (in Korean with English Abstract)

- Kim, H.-S., T.-J. Lee, and D.-S. Kim (1999) Chemical compositions and spatial analysis of fall-out particles in Suwon area, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 15, 23-32. (in Korean with English Abstract)
- Menon, S., J. Hansen, L. Nazarenko, and Y. Luo (2002) Climate effects of black carbon aerosols in China and India, *Science*, 297, 2250-2253.
- Minoura, H., K. Takahashi, J.C. Chow, and J.G. Watson (2006) Multi-year trend in fine and coarse particle mass, carbon, and ions in downtown Tokyo, Japan, *Atmospheric Environment*, 40, 2478-2487.
- Molina, L.T., C.E. Kolb, B. de Foy, B.K. Lamb, W.H. Brune, J.L. Jimenez, R. Ramos-Villegas, J. Sarmiento, V.H. Paramo-Figueroa, B. Cardenas, V. Gutierrez-Avedoy, and M.J. Molina (2007) Air quality in North America's most populous city - overview of the MCMA-2003 campaign, *Atmospheric Chem. Phys.*, 7, 2447-2473.
- Molina, L.T., S. Madronich, J.S. Gaffney, E. Apel, B. de Foy, J. Fast, R. Ferrare, S. Herndon, J.L. Jimenez, B. Lamb, A.R. Osornio-Vargas, P. Russell, J.J. Schauer, P.S. Stevens, R. Volkamer, and M. Zavala (2010) An overview of the MILAGRO 2006 Campaign: Mexico City emissions and their transport and transformation, *Atmospheric Chem. Phys.*, 10, 8697-8760.
- Molina, M.J. and L.T. Molina (2004) Megacities and air pollution, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 54, 644-680.
- NARSTO (2004) Particulate Matter Assessment for Policy Makers: A NARSTO Assessment, Edited by P. McMurry, M. Shepherd, and J. Vickery, Cambridge University Press, Cambridge, England, <http://www.narsto.org/section.src?SID=6> (accessed March 2007).
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (1992) Technology and the environment, in *Technology and the Economy - the Key Relationships*, Chap. 9, Paris.
- Ohara, T., H. Akimoto, J. Kurokawa, N. Horii, K. Yamaji, X. Yan, and T. Hayasaka (2007) An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020, *Atmospheric Chem. Phys.*, 7, 4419-4444.
- Pitchford, M., W. Malm, B. Schichtel, N. Kumar, D. Lowenthal, and J. Hand (2007) Revised algorithm for estimating light extinction from IMPROVE particle speciation data, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 57, 1326-1336.
- Ramanathan, V., P.J. Crutzen, J.T. Kiehl, and D. Rosenfeld (2001) Aerosols, climate, and the hydrological cycle, *Science*, 294, 2119-2124.
- Richter, A., P. Burrows, H. Nues, C. Granier, and U. Niemeijer (2005) Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space, *Nature*, 437, 129-130.
- Solomon, P.A. (1995) Regional photochemical measurement and modeling studies: A summary of the Air & Waste Management Association International Specialty Conference, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 45, 253-286.
- Streets, D.G., T.C. Bond, G.R. Carmichael, S.D. Fernandes, Q. Fu, D. He, Z. Klimont, S.M. Nelson, N.Y. Tsai, M.Q. Wang, J.-H. Woo, and K.F. Yarber (2003) An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000, *J. Geophys. Res.*, 108(D21), 8809, doi:10.1029/2002JD003093.
- US (United States) Executive Office of the President and National Science and Technology Council (1995) *Bridge to a Sustainable Future: National Environmental Technology Strategy*, Executive Office of the President, Washington, DC.
- Wang, B., Q. Ding, and J.-G. Jhun (2006) Trends in Seoul (1778-2004) summer precipitation, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L15803, doi:10.1029/2006GL026418.
- Xiao, G., L. Xue, and J. Woetzel (2010) The Urban Sustainability Index: A New Tool for Measuring China's Cities, *The Urban China Initiative - A joint initiative of Columbia University, Tsinghua University, and McKinsey & Company*.
- Zhang, Q., D.G. Streets, G.R. Carmichael, K.B. He, H. Huo, A. Kannari, Z. Klimont, I.S. Park, S. Reddy, J.S. Fu, D. Chen, L. Duan, Y. Lei, L.T. Wang, and Z.L. Yao (2009) Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission, *Atmospheric Chem. Phys.*, 9, 5131-5153.
- Zhang, Q., D.G. Streets, K. He, Y. Wang, A. Richter, J.P. Burrows, I. Uno, C.J. Jang, D. Chen, Z. Yao, and Y. Lei (2007) NO<sub>x</sub> emission trends for China, 1995-2004: The view from the ground and the view from space, *J. Geophys. Res.*, 112, D22306, doi:10.1029/2007JD008684.
- Zhao, Y., C.P. Nielsen, Y. Lei, M.B. McElroy, and J. Hao (2011) Quantifying the uncertainties of a bottom-up emission inventory of anthropogenic atmospheric pollutants in China, *Atmospheric Chem. Phys.*, 11, 2295-2308.