

수도권 미세먼지 환경 개선을 위한 미국의 대기환경정책 사례 조사 연구

Review of PM-related Air Quality Improvement Policies of United States for PM-related Air Quality Improvement of Metropolitan Region in Korea

우 정 현*

진국대학교 신기술융합학과

(2009년 7월 13일 접수, 2009년 9월 23일 수정, 2009년 10월 9일 채택)

Jung-Hun Woo*

Department of Advanced Technology Fusion, Konkuk University

(Received 13 July 2009, revised 23 September 2009, accepted 9 October 2009)

Abstract

Several fine particle-related policies in Northeast United States were investigated in support of the execution of special measures to improve air quality of Seoul Metropolitan Area (SMA). The definition of particulate matter (PM) in the Clean Air Act (CAA), components and procedures of Regional Haze Rule (RHR), and Air Quality Management (AQM) were reviewed. Several State Implementation Plans (SIPs) were also reviewed as the way to attain required air quality under the Clean Air Act. PM_{2.5} attainment SIP of Maryland, 8-hr Ozone attainment SIP of New Jersey, and Regional Haze Rule attainment SIP of MANE-VU were analyzed in detail as case studies. We realized that "Special Measures for Air Quality Improvement in the Seoul Metropolitan Area" has many similarities with its US counterparts in terms of purpose, components, procedures, and implementation methods. US policies, however, have more advanced features, such as standardized procedures and methods, transparent guidelines, and stable relationship among federal/state/local governments and stakeholders, which would be helpful to improve air quality in SMA.

Key words : Particulate matter, State implementation plan, Clean air act, Regional haze rule

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1960년대부터 시작된 산업화와 경제 성장으로 인

하여 우리나라의 에너지 사용량이 증대되고 있으며 특히, 대도시에서는 대기오염물질 배출 증가와 생활 수준 향상에 따른 대기환경 기대 수준의 향상으로 체감 오염이 악화되고 있다. 그 가운데에서도 수도권은 전국 면적의 12%에 불과하지만, 총 인구의 48%가 살고 있고 자동차, 빌딩, 사업장 등 오염원이 집중되어 있어 대기오염도가 매우 심각한 수준이다. 실제로

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)2-2049-6022, E-mail : jwoo@konkuk.ac.kr

시민이 서울의 환경수준을 체감하고 평가하는 기본적인 척도는 미세먼지(PM₁₀) 오염이라고 볼 수 있다. 서울의 미세먼지 오염농도는 2002년 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2003년 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2004년 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로, 2005년 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최근에 개선되고 있으나, 여전히 선진 외국도시에 비해서는 높은 수치이다. 이를 예증하듯, 서울의 미세먼지(PM₁₀) 오염도가 경제협력개발기구(OECD) 30개 회원국의 수도 중에서 가장 열악한 수준인 것으로 조사된 바 있다(NIER, 2007).

미세먼지에 의한 시정장에는 지속적으로 심화되어 최근 수도권지역 평균 가시거리는 약 10km 정도에 불과하다. 또한 수도권지역 NO₂, 미세먼지 환경기준 초과 측정소의 비율도 전국과 비교하여 평균 2.2배에서 1.7배가량 높은 수준이다. 이에 정부는 수도권의 대기오염을 획기적으로 개선하여 지역 주민의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 조성하고자 2003년 12월 『수도권 대기환경 개선에 관한 특별법』을 제정하여 수도권의 지방자치단체와 함께 대기환경 개선을 위해 노력하고 있다(Beak and Koo, 2008; NIER, 2008; Hong *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2006). 이러한 노력들에도 불구하고 각종 수도권대기질 개선대책들이 과연 어느 정도의 대기질 개선으로 이어졌는지에 대해서는 아직도 추가적인 연구들이 필요하다. 이에 본 연구에서는, 현재 우리나라 수도권의 대기오염과 유사한 문제를 먼저 체험한 미국의 선진 정책 사례들을 조사함으로써, 수도권 미세먼지 대기질의 개선정책 수행과 그 평가에 도움이 되고자 한다.

1.2 연구 대상지역 및 방법 설정

본 연구의 대상지역으로는 미국 동북부 지역을 선정하였는데, 그 이유는 이 지역이 전통적으로 내부 오염물질 발생원뿐만 아니라 중서부 공업지대 및 캐나다로부터의 오염물질 장거리 이동으로 인한 피해를 겪어온 지역으로 다른 지역에 비하여 우리나라의 수도권과 가장 유사한 환경을 가진 것으로 판단되었기 때문이다. 그 첫 번째 유사점은 인구로서, 미국에서 인구밀도가 가장 높은 상위 10개 중에 동북부 지역 주 8개가 포함되어 있다. 특히 뉴저지주, 로드 아일랜드주, 매사추세츠주 등은 가장 높은 인구밀도를 보이고 있어, 인구가 밀집한 우리나라, 특히 수도권과 유사함을 알 수 있다(US Census, 2000). 두 번째로는, 동북부 지역이 뚜렷한 사계절을 지니고 있으며, 우리나라와 비슷한 위도대에 위치해 있기 때문에 편서풍의

영향을 받는다는 점이다. 이는 서쪽에 위치한 미국 중화학 공업의 중심을 이루는 오대호 공업단지, 특히 오키오강 공업지역(Ohio River Valley), 디트로이트, 피츠버그, 시카고 등에서 발생하는 오염물질의 영향이 동북부 지역의 대기질에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다. 이는 풍상방향에 뚜렷한 오염원이 존재하지 않는 캘리포니아 연안지역과는 다른 특성이며, 중국에서의 황사 및 인위적 오염원의 영향 때문에 국내 대기 오염 제어만으로는 대기질 개선에 한계가 있는 우리나라 수도권 지역과 유사한 조건으로 볼 수 있다. 대상물 질로는 미세먼지를 주로 하지만, 월경성 이동이라는 특징을 고려하여 전구물질(SO₂, NO_x, NH₃, VOCs)에 대한 정책도 배제하지 않고 조사하였다.

따라서 본 연구에서는 미국의 청정대기법상 미세먼지 관련 내용 및 환경기준, 정책 등에 대해 조사하고, 이러한 정책들의 성과목표들을 달성하기 위해 사용되는 각종 대책들과 성과평가 방법들에 대해 주정부 시행계획(State Implementation Plan: SIP)과정을 조사하여 우리나라에서 최근 시행되고 있는 관련정책에 참고자료를 제공하고자 하였다. 주요 조사내용은 미세먼지법(PM rule), 8시간 오존법(8-hr ozone rule), 지역연무개선법(Regional Haze Rule: RHR) 등의 주정부 시행계획의 제정 절차와 적용현황 등이며, 조사방법은 문헌조사와 인터넷조사, 그리고 직접조사를 수행하였다. 직접방문 또는 전화 인터뷰를 수행한 기관은 뉴욕주 환경보호국(New York State Department of Environmental Conservation: NYS DEC), 뉴저지주 환경보호국(New Jersey Department of Environmental Protection: NJ DEP), 매사추세츠주 환경보호국(Massachusetts Department of Environmental Protection: MADEP), 그리고 동일 대기권역 내의 주정부들이 공동 출연한 지역 대기환경 연구기관인 Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM) 등이다.

2. 대기 중 미세먼지 개선을 위한 법적 장치 및 기준

2.1 청정대기법(Clean Air Act: CAA)상의 미세먼지 관리 개요

1970년 제정된 청정대기법은 공중 보건과 복지 향상을 위하여 국가 내의 대기질을 보존하고 강화하는

것을 목표로 한다. 세부적인 목표로는 1) 대기오염의 제어 및 방지를 위한 국가적 연구개발을 위한 프로그램 도입, 2) 주 정부와 지방환경청의 대기오염 방지 및 제어 프로그램의 개발과 실행에 대한 기술적, 재정적인 지원, 3) 광역적인 대기오염을 방지하기 위한 지원 등이 있다(USEPA, 2004).

광역 대기오염을 저감하기 위한 해당 대기오염물질의 제어는 발생원이 존재하는 주(State) 정부와 지역(Local) 정부에 우선적인 책임이 있으며, 연방 정부는 국가의 전체적인 대기 오염 제어와 방지를 위하여 연방 정부와 주 정부, 지역 사무소 등이 협력할 수 있는 프로그램을 개발해야 한다. 각 주는 대기질 개선 관련 법령에 따라 자기 주의 대기질을 개선하기 위한 주정부 시행계획을 작성하여 미국 환경청(United States Environmental Protection Agency: EPA)에 제출하여야 한다. 주정부 시행계획에는 대기질 제어 지역 내에서 1, 2차 국가 대기환경기준을 성취하고 지속시키기 위한 방법이 명시된다. 대기질 제어 지역은 미달성(nonattainment), 달성(attainment), 미분류(unclassifiable)의 세 그룹으로 분류된다. 주 정부는 주내의 작은 지역이라도 국가 대기환경기준을 만족하지 못하는 미달성 지역으로 예측될 경우 이를 개선하기 위한 대책을 마련하고 그러한 대책들의 시행을 통하여 미달성 지역이 달성지역이 될 수 있다는 것을 증명하고 이를 주정부 시행계획에 포함시켜야 한다.

2. 2 미세먼지 대기환경기준 (National Ambient Air Quality Standard: NAAQS)

청정대기법(CAA)에 따라 미국 환경청은 6가지의 기준물질(criteria air pollutants, CAP-CO, Pb, NO₂, O₃, PM, SO₂)을 대상으로 대기환경기준을 제정하였다. 각 기준물질에 대한 1차 기준은 일반 시민뿐만 아니라 천식환자나 아이들, 노인들과 같이 건강에 민감한 사람들을 포함한 인체 건강에 미치는 영향이 고려된 공중 보건을 위한 제한치이며, 2차 기준은 가시도를 악화시키거나, 동물과 농작물, 건물 등에 피해를 유발시킬 수 있는 오염농도로 이미 피해정도가 알려져 있거나 예상되는 유해한 영향을 방지하기 위하여 설정된 제한치이다(USEPA NAAQS (2009) <http://www.epa.gov/air/criteria.html>).

대기환경기준에서 규정되는 먼지란, 굴뚝을 통하여 대기 중으로 직접 배출되는 1차 먼지와 대기 중에서

화학 반응을 통하여 생성되는 2차 먼지의 합으로 정의한다. 1차 먼지는 다시 여과성 먼지(PM filterable)와 응축성 먼지(PM condensable)로 나눌 수 있다. 여과성 먼지는 굴뚝에서 고체나 액체 형태의 입자로 배출되는 먼지를 의미하며, PM_{2.5}와 PM₁₀의 입경 범위 내에 모두 존재하고, 입자상 물질 여과설비를 통해 제어할 수 있다. 응축성 먼지는 굴뚝에서 기체상으로 배출되나, 배출 후에는 즉시 고체나 액체성 입자로 변환되는 것을 말하며 보통은 PM_{2.5} 또는 그보다 작은 입자 형태로 배출된다. 연소시설의 경우에는 여과성 먼지와 응축성 먼지 모두를 배출하며, 비산 먼지는 여과성 먼지로만 배출된다. 2차 먼지는 먼지 이외의 VOCs, NO_x, SO₂와 같은 전구물질의 형태로 굴뚝에서 배출되어 대기중에서 화학 반응을 통하여 형성되는 먼지를 의미한다. 대기중에서 생성되어 공기와 함께 움직이기 때문에, 주로 배출원의 풍하측 지역에 영향을 미친다.

청정대기법에 따르면 환경청은 매 5년마다 최근 과학정보를 바탕으로 대기환경기준을 검토해야 하며, 새로운 기준이 도입되기 전에 필수적으로 전문가 집단의 검토를 거쳐야 한다. 현재의 먼지 규제 기준의 지표가 되는 동역학적 직경이 10 μ m 이하의 먼지입자(PM₁₀)는 1987년 대기환경기준 개정 시에 처음 적용되었고, 현재까지 지속되고 있다. 10년 후인 1997년 EPA는 심장과 폐질환을 유발시켜 조기사망을 야기하는 등 인체 건강에 치명적인 피해를 입할 수 있는 미세한 입자에 대한 대기환경기준을 제정하였다. 여기서 미세입자는 “동역학적 직경 2.5 μ m 이하의 입자(PM_{2.5})”를 뜻하며 직경 2.5~10 μ m 사이의 입자는 “흡입 가능한 거대입자(inhalable coarse PM)”로 규정하였다.

EPA는 2006년에 다시 한 번 미세먼지에 대한 대기질 기준을 개정했다. 2006년 기준에서는 24시간 PM_{2.5}의 기준이 기존의 65 μ g/m³에서 35 μ g/m³으로 강화되었고, 연평균 기준은 기존의 15 μ g/m³으로 유지되었다. 또한 24시간 PM₁₀ 기준은 기존의 150 μ g/m³을 유지하였으나, 연평균 PM₁₀ 기준은 거대입자의 장기적 노출과 인체의 건강 피해 사이의 뚜렷한 인과 관계가 미약하다고 판단되어 제외되었다. 또한 PM₁₀ 기준이 PM_{2.5}를 중복 고려하고 있다는 미국법원 결정에 따라 EPA에 새로운 PM_{10-2.5} 기준(흡입가능한 거대입자)을 24시간 기준 70 μ g/m³으로 제정하는 것이 제안되었다. PM_{10-2.5}는 교통이 밀집한 포장 도로, 산업 시설, 또는

건설 현장에서 재비산되는 먼지 등에 대해서만 규제가 이루어지고, 비포장도로 또는 시골 노천지에서 발생하는 비산먼지의 경우나 농경지, 광산에서 발생하는 먼지는 규제대상에 포함되지 않는다(Edelman, 2006; Page, 2006;).

흡입가능한 거대입자로 정의되는 $PM_{10-2.5}$ 기준은 아직 최종적으로 승인되지 않았으며, 대기환경기준으로 규제되기 위해서는 3년간의 연속적인 농도 자료의 보유가 요구되었다. 그러므로 미국 환경청은 2009년부터 2012년까지 수집되는 자료를 토대로 대기환경기준을 건의하고 이에 따라 기준 달성/미달성 지역을 지정할 것을 건의할 것이다. 1년 후인 2013년에는 기준 달성/미달성 지역에 따른 최종 지정이 이루어지고, 미달성 지역이 지정된 주정부는 3년 후인 2016년 7월까지 기준 달성을 위한 주정부 시행계획을 작성해야 한다. 작성된 저감 계획을 토대로 2018년 7월까지 기준을 달성해야 하며, 일부 지역의 경우에는 기준 달성 시한을 최대 2023년 7월까지 연장신청 할 수 있다(US

EPA Proposal to Revise the NAAQS for PM (2005) <http://www.epa.gov/particles/fs20051220pm.html>).

2.3 지역연무개선법 (Regional Haze Rule: RHR)

청정대기법상의 8시간 오존법이나 미세먼지법 등이 주로 1차 대기환경기준을 지키기 위한 것으로 건강 위해도에 초점을 맞추고 있다면, 지역연무개선법은 인위적인 대기오염의 결과로 악화된 Class I 지역에서 시정(visibility)의 악화를 개선하고 미래의 추가적인 시정악화를 예방하도록 규정하고 있어 유일하게 2차적인 대기환경에 초점을 맞춘 미래지향적인 법규이다. Class I 지역이란 미국 전역에 존재하는 156개의 Grand Canyon, Great Smokies, Shenandoah, Yellowstone, Yosemite, the Everglades, Boundary Waters 등과 같은 유명 국립공원과 자연보호구역에 포함하는 지역(그림 1)이다. 지역연무개선법의 목표는 Class I 지역의 시정을 2064년까지 자연상태로 회복하는 것이다.

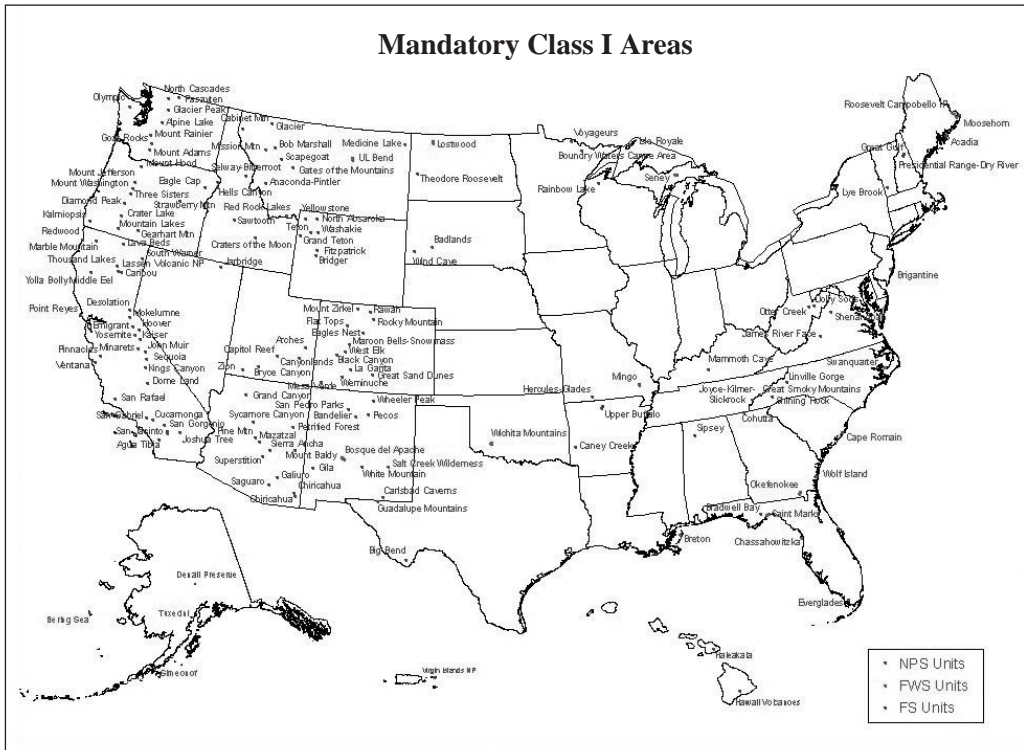


Fig. 1. Class I Areas (US EPA, 1999).

RHR의 등장배경을 살펴보면, EPA는 1980년에 소규모 배출원들에 기인한 시정 악화에 초점을 맞춘 법률을 공포하였다. 하지만 Class I 지역의 시정 악화를 유발하는 지역 연무(Regional Haze)는 광역적인 배출원으로부터의 누적된 대기오염의 영향이므로, EPA는 지역 연무에 대한 오염물질과 개선된 시정의 영향 관계에 대하여 좀 더 과학적으로 규명할 수 있을 때까지 법령의 시행을 연기하였다. 1993년에 미국과학원(National Academy of Science: NAS)은 “현재의 과학적인 지식과 제어 기술은 시정을 개선시키는 법률 시행에 조력하기에 적합하다.”는 결론을 내렸고, 이에 따라 1997년 7월 31일에 환경청은 지역 연무로 인한 가시도 악화를 개선할 수 있는 프로그램의 시행이 설정된 1980년 법률의 개정판을 공포했다. 1999년 7월의 제정된 최종 법령은 주 정부가 위임받은 156개의 Class I 지역에서 시정을 개선시킬 수 있는 목표와 배출 저감 전략을 설정하는 것을 요구하였다(US EPA, 1999). 지역연무 주정부 시행계획의 주요 요구사항에는 아래와 같은 내용들이 포함되어 있다(US Government, 1997).

2.3.1 기준상태 및 자연상태 시정 (Baseline and natural visibility conditions)

2064년까지 Class I 지역에서 자연 상태의 시정 조건을 회복하는지 판단하기 위해서는 RHR의 시행을 위한 기준상태와 자연상태, 그리고 현재상태의 시정수준을 정의해야 한다. “기준상태”란 2000년에서 2004년까지의 이용 가능한 측정 데이터를 이용하여 시정이 가장 악화된 날들(worst day) 상위 20%와 가장 좋은 시정을 보이는 날(best day) 상위 20%의 데이터를 이용하여 연평균 데이터(dv/yr)를 산출하여 사용한다. 여기서 가시도 지수(visibility index)의 척도인 dv(deciview)란, 전체 가시거리에 대한 가시거리 변화를 선형적으로 나타낸 것으로, 소리에서의 데시벨(decibel, dB) 척도와 유사하다. “자연상태”의 시정 조건은 인위적인 오염원이 없다고 가정할 경우의 시정상태로서, 20% 최악시정일과 20% 최고시정일들에 대해 모두 산정해야 한다. 그러나 자연상태의 데이터란 실제로 존재하지 않으므로 미국 환경청의 가이드라인에 따라 각각의 Class I 지역에 대해 산정해야 하며 이는 지역 연무 개선 프로그램의 궁극적인 목표가 된다(US EPA, 2003). 기준연도와 미래 목표연도(2064년) 사이

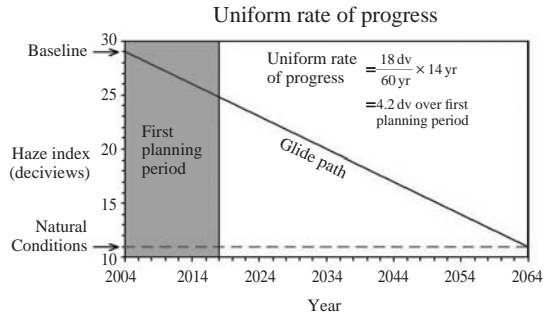


Fig. 2. Method to set the Glidepath (US EPA, 2007).

의 어느 시점에서의 시정상태를 나타내는 “현재상태”의 시정 조건은 보고자 하는 시점에서부터 최근 5년간의 가장 악화된 20% 날의 데이터와 가장 덜 악화된 날의 20%의 데이터를 이용하여 구해야 한다(US EPA, 1999).

2.3.2 2018년에 대한 합리적 목표 진도

지역연무 주정부 시행계획(regional haze SIP)을 효과적으로 이행시키기 위해서는 합리적 목표 진(reasonable progress goals: RPG)을 수립하여야 하며, 이는 주정부 시행계획에서 설정한 대기기준 목표를 맞추기 위하여 목표 진행률(uniform rate of progress)을 설정하는 것이다. 이를 통하여 전체 측정일 중 20% 최악 시정일과 20% 최고시정일들에 대해 더욱 악화되지 않도록 관리한다.

RPG는 자연 상태의 가시도 개선을 위한 임시적인 목표이며, 2064년까지 자연 상태의 가시도를 만들기 위하여 “Glidepath”를 작성한다. “Glidepath”를 작성하는 방법은 그림 2와 같다. 먼저 baseline 조건과 자연상태의 조건을 비교하여 시정의 차이를 구하고(예: 18 dv), 두 번째로 2064년까지 연평균 시정의 개선을 계산한 후(예: 18 dv/60 yr=0.3 dv/yr), 마지막으로 연평균 시정의 개선과 계획 기간을 곱하여 초기 계획 기간까지의 개선될 시정을 구한다(예: 0.3 dv/yr x 14 yr =4.2 dv).

2.3.3 Best Available Retrofit Technology (BART)

1999년에 EPA의 “Regional Haze Rule” [64 Fed. Reg. 35714 (July 1, 1999)]은 Class I 지역의 가시도 악화에 기여하거나 원인이 있다고 예상되는 특정 배출원에 Best Available Retrofit Technology (BART)를 설

정할 것을 규정하고 있다. 이러한 요구사항은 청정대기법의 다른 제어 요구 사항에서 면제된 대형 배출원에서의 배출량을 저감하기 위한 의도를 담고 있다(NESCAUM, 2007). BART의 조건이 될 수 있는 1962년부터 1977년까지 매년 250톤 이상의 시정 악화 물질을 배출하는 26개 그룹의 주요 배출원 그룹에는 200만 BTU 이상의 화력발전소, 석탄세정시설, 시멘트 공장 등이 포함된다(US EPA, 1999).

2.3.4 장기적 전략

각 주는 지역 내의 Class I 지역과 자기 주 영역 내에서의 배출원에 영향을 받는 Class I 지역에 대하여 지역연무에 의한 장기적 시정악화를 방지할 수 있는 전략을 제출해야만 한다. 장기적 전략에는 시행할 수 있는 배출원 규제와 시행 계획, RPG를 달성하기 위한 주정부 차원의 저감대책 등이 포함되어야 한다.

주정부는 자기 주 내에 이웃 주의 Class I 지역의 시정 악화에 영향을 미치는 배출원이 있다고 판단될 때, 통합된 배출원 관리 대책을 수립하기 위하여 해당 주정부와 협의해야 한다. 다른 주가 자기 주의 Class I 지역의 시정 악화의 원인이 되거나 기여한다면, 주정부는 RPG를 달성하기 위해 필요한 제어방법에 다른 주의 저감대책도 모두 포함되어 있다는 것을 증명해야 한다. 만약 영향을 미치는 배출원을 가지고 있는 주정부가 regional planning process에 참여한다면, 해당 주정부는 이 과정을 통하여 동意的한 배출원 저감 의무의 할당 부분을 달성하기 위해 필요한 제어 방법이 포함되어 있다는 것을 보증해야 한다.

주정부들은 모델링과 측정, 배출원 정보 등이 포함된 기술적인 기초사항을 문서화해야 하며 각 주는 전략의 기본이 되는 기준배출목록(baseline emission inventory)을 작성해야 한다. 기준배출목록은 통합된 자료를 이용하여 작성 가능한 배출 목록 중 가장 최근 년도로 가정하며 각 주정부는 시정 악화에 영향을 줄 수 있는 모든 인위적인 배출원을 포괄해야 한다(US EPA, 1999).

2.4 대기환경기준을 만족하기 위한 대기질 관리 과정

대기질 관리(air quality management, AQM)과정이란 측정된 대기질을 대기환경기준과 같은 규제기준을 만족하도록 관리하기 위해 배출저감, 발생원 관리

등 오염물질의 저감 및 제어 방안을 수립하는 일련의 과정을 말한다. 대기질 관리계획을 돕기 위한 도구로는 대기오염물질 배출목록, 대기질 측정, 대기질 모델링 등이 있으며 이러한 도구들을 이용하여 1) 대기환경기준 미달성의 이유, 2) 대기오염물질 저감 전략 수립, 3) 수립된 전략 시나리오들을 통해 기준을 달성하는지의 여부 증명, 4) 계획수행 과정 중의 개선여부 판단 등을 할 수 있다(US EPA SIP Process Manual (1999). <http://icode.pes.com/sipman/mExpOut.cfm?RequestTimeout=500>).

청정대기법(CAA)에 따라 EPA는 오염물질을 부과하는 각 기관에 법적 강제력을 행사할 수 있다. 법에 대한 위반 사항이 있을 경우, 행정부 또는 사법부는 사업의 규모, 사업에 미치는 경제적 영향, 전과 경력과 개선노력, 위반 기간, 동일한 위반에 대한 벌금 납부 여부, 경제적 불이익, 위반의 심각성 등을 고려한다(US EPA, 2004).

주정부 시행계획은 각 주가 청정대기법의 Section 109와 연방 법규 40 Code의 50.4~0.12에 따라서 1차 및 2차 국가 대기질 기준을 달성하거나 유지하기 위하여 실시하는 계획이며 대기질 관리과정의 가장 핵심적인 부분이라고 할 수 있다. 주정부 시행계획은 청정대기법의 Section 110에 의거하여 각 주에 요구되고, 그에 따라 각 주정부는 대기환경기준을 만족하거나 유지하기 위하여 1) 오염배출저감방법과 전략, 2) 측정망 운영, 3) 대기질 분석, 4) 대기질 모델링, 5) 기준달성에 대한 증명(attainment demonstration), 6) 삭감 집행 방법(enforcement mechanisms), 7) 규제방법 등 주요사항이 포함된 주정부 시행계획을 작성하게 된다.

주정부시행계획은 “살아있는(living)” 문서로서 각 주 특성에 맞는 대기오염문제에 초점을 맞추어 개정될 수 있다. 그러므로 환경청은 신규 및 개정 법령을 반영할 수 있도록 주정부 시행계획 과정에 대한 개정을 해야 한다. 주정부 시행계획이 법적 강제성을 가지게 하기 위해서 각 주정부는 자기 주의 주정부 시행계획에 대한 개정안을 EPA에 제출하고, EPA는 이것을 연방에서 시행할 수 있는 규제로 만들기 위해서 연방 정책과 법규와의 일치 여부를 검토한다. 법제화의 첫 단계는 EPA가 연방 등록부(federal register)상의 법률제정 예고(notice of proposed rulemaking: NPR)를 고시함으로써 이루어지며, 공공의사수집(public comment) 기간을 거쳐 최종법령제정(final rulemak-

ing: FRN)을 함으로써 최종적으로 법제화 된다. 또한 삭감정책이 EPA에 의하여 승인받은 이후에 주정부 시행계획에 포함되게 되고, 이는 연방 법률 코드의 Title 40의 Part 52 (시행 계획의 승인과 공표)에서 확인할 수 있다(40 CFR Part 50).

주정부 시행계획 개정안은 법적으로 지정된 유효기일에 맞추어 제출해야 한다. 주에서 제출한 주정부시행계획에 심각한 오류가 있다고 판단되면 환경청은 이를 개선할 18개월의 유예기간을 주며, 이를 흔히 "sanctions clock"이라 부른다. 만일 해당 지역에서 18개월의 sanctions clock 내에 문제를 해결하지 못하면 환경청은 제재 (sanction)를 시행하게 되는데 제재 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 2:1 배출상쇄 (emission offset)이고 또 다른 하나는 연방정부의 고속도로기금을 보류 (withholding of federal highway funds)하는 방법이다. 2:1 배출상쇄 벌칙은 신규 또는 증설 예정인 대형 고정오염원이 이 지역에 건설되기 위해서는 기존 배출원에서의 배출량을 신규 배출원의 예상 배출량보다 2배 줄여야 한다는 것인데, 심각한 오존 미달성 지역에서의 상쇄율이 1.5:1인 것을 보면 매우 엄한 벌칙인 것을 알 수 있다. 만일 고속도로기금에 관한 벌칙에 해당되면 미달성지역 내의 안전, 환승기금을 제외한 교통관련 프로젝트 기금이 보류되고 대기환경기금 역시 유예된다. 하지만 고속도로기금에 대한 지불유예와 같은 강한 제재를 받는 것은 극히 이례적인 것으로 판단되고, 대개는 그 전에 주에서 자발적으로 문제를 해결한다고 한다(NIER, 2006; US EPA SIP Process Manual (1999). <http://icode.pes.com/sipman/mExpOut.cfm?RequestTimeout=500>).

3. 미세먼지 관련 대기질 관리 정책 사례

3.1 메릴랜드주 미세입자 주정부 시행계획 (PM_{2.5} SIP)

1997년에 환경청은 당시 미세먼지 대기질 기준을 검토하여, 두 개의 새로운 PM_{2.5}기준을 설정하였고 1차 기준과 동일하게 2차 기준을 개정하였다. 이를 토대로 2005년 1월에 웨스트버지니아주의 마틴스버그 일부와 메릴랜드 도심지역의 헤이거스 타운을 연간 PM_{2.5} 기준의 미달성지역으로 지정하였다. 미달성지역이 있는 주정부는 환경청의 미달성지역 공표 후 3년

이내에 PM_{2.5}와 그 전구물질의 배출량을 저감시키고 대기환경기준을 달성할 것이라는 것을 증명하기 위한 대기질 모델링과 측정을 포함하는 주정부 시행계획을 제출해야 한다. EPA는 2007~2009년까지의 대기질 데이터에 기초해서 해당 지역의 달성여부를 결정하게 된다(MDE, 2008a).

3.1.1 미세먼지 배출목록 및 저감대책

주정부 달성계획의 시발점은 배출량의 파악과 저감 대책의 수립에 있다. 미국의 가장 주요한 대기 오염물질 배출 목록은 EPA 주관하에 개발되는 국가배출목록 (national emission inventory, NEI)이다. NEI는 1985년의 국가산성침적평가프로그램 (NAPAP: national acidic precipitation assessment program)에서 작성된 배출목록에 기원을 두고 있으며 1993년에 NPI (national particulate inventory)를 1996년에 NET (national emission trends inventory)를 통합하면서 1999년부터는 NEI라는 이름으로만 통합된 배출목록을 제공하게 되었고 2002년 NEI부터는 CAPs (criteria air pollutants)과 HAPs (hazardous air pollutants) 배출목록이 별도로 존재하지 않고 통합하여 생성/관리하고 있다. NEI의 CAPs에는 PM_{2.5}와 PM₁₀, SO₂, NO_x, NH₃, VOCs의 배출량이 제시되고 있고 HAPs (hazardous air pollutants)에는 188종의 유해대기오염물질이 산정되고 있다. 배출원의 종류로는 다양한 배출 포인트 (예: 굴뚝)를 가지고 있는 52,000개의 점오염원과, 400개의 카테고리를 가지는 도로 및 비도로 이동오염원 및 300개 이상의 카테고리에 대한 면오염원에서 배출되는 대기오염물질 배출량에 대한 정보를 담고 있다. 이렇게 미국 내 존재하는 모든 배출원에 대한 대기오염물질 배출량 정보가 담긴 NEI는 기준성 대기오염물질 및 유해대기오염물질에 대한 연방 배출량 기준의 만족여부를 판단하는 데 사용이 되고 있으며, 각종 대기질 개선을 위한 제어 방안을 마련하는 데 기초자료로 사용이 되고 있다.

Washington 카운티 도심 지역을 위한 배출량 저감 계획은 2009년까지 PM_{2.5}를 599톤/년, NO_x를 77,330톤/년, SO₂를 23,615톤/년 감소하겠다는 내용이며, 메릴랜드 주에서 적용한 대기오염물질 제어방안은 표 1과 같다(MDE, 2008a). 표 1에 나타난 바와 같이 주정부 시행계획 배출량 저감계획의 많은 부분은 다른 법령에 대한 주정부 시행계획이나 환경개선 프로그램

참여 등에 의해 채워지며 특별히 더 많은 저감이 필요한 부분에 대해서만 개별 대책을 수립하게 된다.

3.1.2 달성증명 (Attainment demonstration)

미세입자(PM_{2.5})에 대한 메릴랜드 주의 주정부 시행계획에는 2009년에 메릴랜드주의 헤이거스 타운, 웨스트버지니아주의 마틴스버그 지역이 연간 PM_{2.5}에 대한 장/단기 기준을 유지할 수 있을 것이라는 모델링 증명이 포함되었다. 이를 위해 EPA의 Models-3/com-

munity multi-scale air quality (CMAQ) 모델링 시스템을 이용하였는데, CMAQ 모델은 시공간적 규모 범위에서 다양한 오염물질들을 모델링할 수 있는 3차원 광화학적 격자 모델이다. CMAQ 모델은 전세계적으로 과학 및 정책 지원 분야에 쓰이는 모형으로 그 유용성과 신뢰성이 검증되어 있기는 하지만, 주정부 시행계획에 따른 달성도를 증명하기 위해서는 표준화된 모형 이용법이 요구된다. 이를 위해 미국 EPA에서는 주정부 시행계획의 달성도 증명 기법에 대한 안내서(state implementation plan attainment demonstration guidance)를 개발하여 제공하고 있다(US EPA SIP Guidance (2009). http://www.epa.gov/scram001/guidance_sip.htm).

메릴랜드 주의 모델링 결과에 따르면 PM_{2.5}의 기준 미달성 원인으로서는 황의 배출에 가장 많이 기인하고, 이는 CMAQ에서 가장 잘 모사되는 반응 중 하나이다. 대부분의 다른 오염물질들은 미세먼지의 개선에 상대적으로 적은 기여를 하는 것으로 나타났다. CMAQ은 토양/지각물질과 유기물질의 모사부분이 가장 취약하지만 이 부분의 모델링은 중부 대서양 연안지역의 PM_{2.5} 농도의 3~6%를 구성하기 때문에 상대적으로 중요도가 낮다고 평가되었다.

PM_{2.5} 농도는 모든 메릴랜드 주 측정소들의 위치에서 산정되었으며, 이러한 계산을 바탕으로 살펴본 결과 메릴랜드 주는 2009년까지 NAAQS의 PM_{2.5} 기준을 만족할 것으로 예상되었다. 이때 농도값은 설계값 (design value)이라는 용어로 쓰이는데, 설계값이란

Table 1. Control measures in the State of Maryland SIP (MDE, 2008a).

NO _x	<ul style="list-style-type: none"> • NO_x SIP call, Clean Air Interstate Rules • Healthy Air Act • Reasonably Available Control Technologies (RACT)
	<ul style="list-style-type: none"> • EPA Nonroad Gasoline and Diesel Engines Rules • High-Tech Vehicle Inspection and Maintenance programs • National Low Emission Vehicle Program • Tier 2 Motor Vehicle Emissions Standards
	<ul style="list-style-type: none"> • Clean Air Interstate Rules • Healthy Air Act • EPA Nonroad Gasoline and Diesel Engines Rules • High-Tech Vehicle Inspection and Maintenance programs • National Low Emission Vehicle Program • Tier 2 Motor Vehicle Emissions Standards
SO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Nonroad Gasoline and Diesel Engines Rules • Emissions Standards for Spark Ignition Marine Engines
	<ul style="list-style-type: none"> • Emission Standards for Large Spark Ignition Engines and Standards for Locomotives • Heavy-Duty Diesel Rules for On-Road Measures

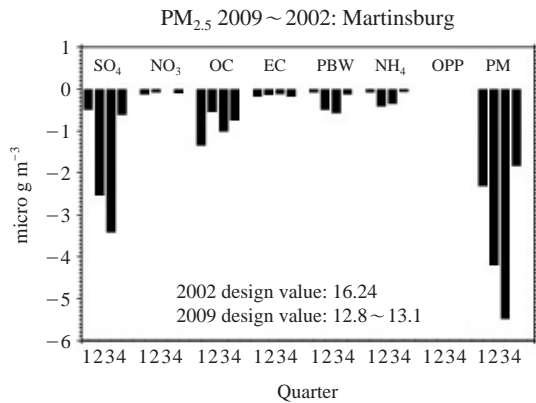
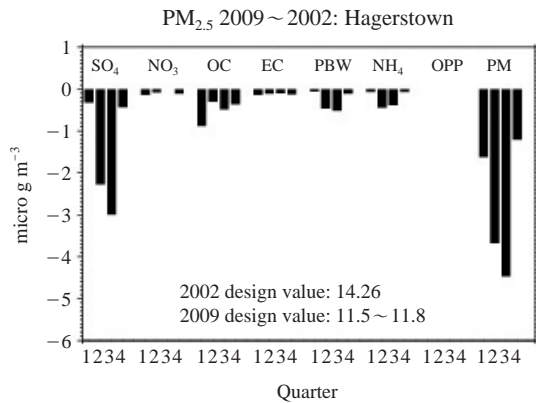


Fig. 3. PM_{2.5} design value change between 2002~2009 (a) Hagerstown, Maryland, (b) Martinsburg, West Virginia (MDE, 2008b).

특정지역에서 측정된 대기오염도를 환경기준과 상대적인 비교가 가능하도록 통계처리(예: 3년간 연평균 농도)한 값을 의미한다. 그림 3은 메릴랜드 주의 헤이거스 타운, 웨스트버지니아 주의 마틴스버그 지역의 2002~2009년의 농도 차이를 보여주었다. 2009년 농도와 2002년 농도의 차이를 나타내었기 때문에, 농도 값은 음수 값으로 표현되며, 다른 물질에 비하여 미세먼지의 농도 저감이 가장 크다는 것을 알 수 있었다. 메릴랜드 주에서 농도가 가장 높은 측정소는 볼티모어의 도심지에 Old Town 측정소인데, 이 측정소는 2009년에 14.0~14.4 μg/m³의 범위를 나타낼 것으로 예상되었다. 이를 통하여 미래에 메릴랜드주가 2009년 달성 이후에도 안정적인 PM_{2.5} 농도 저감을 달성할 수 있을 것으로 예상할 수 있었다. 미래에 연간 PM_{2.5} 기준 농도가 더 강화되겠지만 메릴랜드 주는 PM_{2.5} NAAQS 기준보다 낮은 농도를 지속적으로 유지할 것으로 평가되었다(MDE, 2008a).

3.2 뉴저지 주 8-시간 오존 SIP

미국 EPA는 장시간 동안 낮은 오존 농도에서도 사람의 건강에 해를 끼칠 수 있다는 가능성 때문에 1997년 오존에 대한 NAAQS 기준을 8시간 0.08 ppm으로 제정하였다. 이는 오존의 노출에 대하여 어린 아이들과 외부 활동이 많은 사람들, 천식과 같은 호흡기 질환을 앓고 있는 사람들의 건강을 보호하기 위하여 설정한 것이다. 또한 오존과 그 전구물질들은 2차 먼지의 생성에도 기여하기 때문에 오존의 저감 노력은 미세먼지의 저감과 연계되어 있다.

2004년 6월 15일 미국 EPA에서는 8시간 오존 대기환경기준에 대한 달성/미달성 지역을 지정하였고, 뉴저지 주의 일부(코네티컷주 일부와 뉴욕과 결합된 북부지역/메릴랜드 주 일부와 델라웨어 주 전부, 필라델피아 도심지와 결합된 남부 지역)가 미달성지역으로 지정되었다. 이에 따라 뉴저지 주는 환경청의 미달성지역 공표 후 3년 이내, 즉 2007년 6월 15일까지 자기 주의 미달성지역에 대한 달성증명(attainment demonstration)을 제출하여야 하며, 주정부 시행계획에서 밝힌 저감방안을 토대로 2010년 6월 15일까지 8시간 오존 NAAQS를 만족시켜야 했다.

뉴저지 주 시행계획의 작성 및 달성증명은 광화학 대기질 모델링에 기반하였으며, 이는 2009년 여름까지의 다량의 추가적인 대기오염 배출저감 계획을 포

함하고 있다. 뉴저지주에서도 메릴랜드 주의 예와 같이 EPA의 CMAQ 모델링 시스템을 사용하였고, 광화학 대기질의 모델링 및 분석에는 메릴랜드 대학교(University of Maryland, UMD)가 참여하였다. 2009년의 광화학 모델링의 설계값(design value)은 배출량의 저감과 관련된 오존의 변화와 주변으로 부터의 장거리 이동을 예측하여 산정되었다.

뉴저지의 대기오염물질 배출 삭감 시나리오와 이에 포함되는 삭감방법들은 표 2와 같다. 뉴저지가 오존 기준을 달성하기 위해서는 2009년까지 현재 계획되어

Table 2. Control measures in the State of New Jersey 8-hr Ozone SIP (NJ DEP, 2007).

Post-2002 OTB/OTW Measures	
New Jersey Measures Done Through a Regional Effort	
<ul style="list-style-type: none"> • Consumer Products 2005 • Architectural Coatings 2005 • Portable Fuel Containers 2005 • Mobile Equipment Repair and Refinishing • Solvent Cleaning • NO_x RACT rule 2006 (includes distributed generation) 	
New Jersey Only Measures	
<ul style="list-style-type: none"> • Stage I and Stage II (Gasoline Transfer Operations) • On-Board Diagnostics (OBD)-(I/M) Program for Gasoline Vehicles • New Jersey Heavy Duty Diesel Rules Including "Not-To-Exceed" (NTE) Requirements 	
Federal	
<ul style="list-style-type: none"> • USEPA MACT Standards including Industrial Boiler /Process Heater MACT Point • CAIR • Refinery Enforcement Initiative Point 	
BOTW Measures	
<ul style="list-style-type: none"> • Consumer Products 2009 Amendments • Portable Fuel Container 2009 Amendments • Adhesives and Sealants • Asphalt Paving • Certain Categories of ICI Boilers 	
Additional measures to reduce the uncertainty of plausible attainment, and/or provide contingency for attainment*	
<ul style="list-style-type: none"> • Refinery Rules • New USEPA Control Technique Guidelines (CTGs) • Case by case VOC and NO_x Emission Limit Determinations • High Electric Demand Day Program • Petroleum Storage Tank Rule • Diesel Idling Rule • Diesel Inspection and Maintenance Program • Municipal Waste Combustors Rule • New Source Review 	

*These measures were not included in the regional modeling for 2009.

있는 배출저감계획 (on the books/on the way: OTB /OTW)보다 더 많은 저감 노력들을 포괄하는 “beyond on the way (BOTW)” 시나리오를 포함해야 한다. 이를 위해 뉴저지 주변만 아니라 나머지 주변에 위치한 ozone transport commission (OTC) 주정부들의 공동 저감노력이 필요하다. 제시된 저감대책들을 포함하여 종합적인 분석을 수행한 최종 결과, 코네티컷 주 일부와 뉴욕과 결합된 뉴저지 주 북부지역과 필라델피아와 뉴저지 주 남부지역의 8시간 오존 기준 미달성지역이 2010년까지 달성 지역으로 바뀔 것으로 예상되었다. 이는 2009년과 2012년에 대한 모델링 결과에 기인한 것으로, 각 미달성 지역의 오존 농도는 NAAQS의 8시간 오존 기준보다 더 낮은 수준으로 감소될 것으로 예측되었다. 뉴저지 주는 지역 광화학 대기질 모델링을 통하여 기준달성을 증명하기 위한 다른 추가적인 저감대책이 필요하지 않다는 사실을 증명하면서 두 지역이 모두 2010년 6월 15일까지는 달성 지역이 될 수 있을 것으로 예측하였다(NJDEP, 2007).

3. 3 미국 동북부지역의 지역연무개선법 주정부 시행계획 (RHR SIP)

3.3.1 동북부지역 지역연무개선법 수행을 위한 구조와 과정
지역연무의 개선은 어느 하나의 주정부 차원의 노

력으로 이루어지지 않고 범지역적인 협조에 의해서만 이루어질 수 있기 때문에 미국 환경청은 미국 전역을 5개의 지역으로 나누어 지역계획기관(regional planing organization: RPO)을 설립하였다. 또한 mid-atlantic/northeast visibility union (MANE-VU)은 중부대서양, 북동부 지역을 담당하는 지역계획기관으로 회원 주 (state), 지방(local), 부족(tribes)들의 연무개선노력을 돕고 지역 EPA와 교류하는 것이 주요 업무이다(그림 4, MANE-VU (2002) <http://www.manevu.org/aboutus.asp>). 하지만 다양한 법령에 의해 발생될 수 있는 전문조직의 비대화를 막기 위해 환경청은 MANE-VU의 독립 조직을 확장하는 대신, 미동북부지역에서 전통적으로 지역의 주정부 대기환경 개선사업을 과학적, 정책적으로 지원해 오던 출연기관들을 활용하고 있다. 동북부지역에서는 NESCAUM (northeast states for coordinated air use management)과 MARAMA (mid-atlantic regional air management association)에 대부분의 연구업무를 위탁하여 기관 간의 상호협력을 통해 주정부들에 정책적/과학적 지원을 하도록 하고 있다.

미동북부 8개주의 출연연구기관인 NESCAUM과 중대서양지역 9개주의 출연 연구기관인 MARAMA는 회원주정부(member states)들과의 기존 업무그룹 (working groups)관계들을 이용하여 내부적으로는 배출원 감독, 대기배출목록의 작성, 대기질 측정저감 시



Fig. 4. Regional planning organizations.

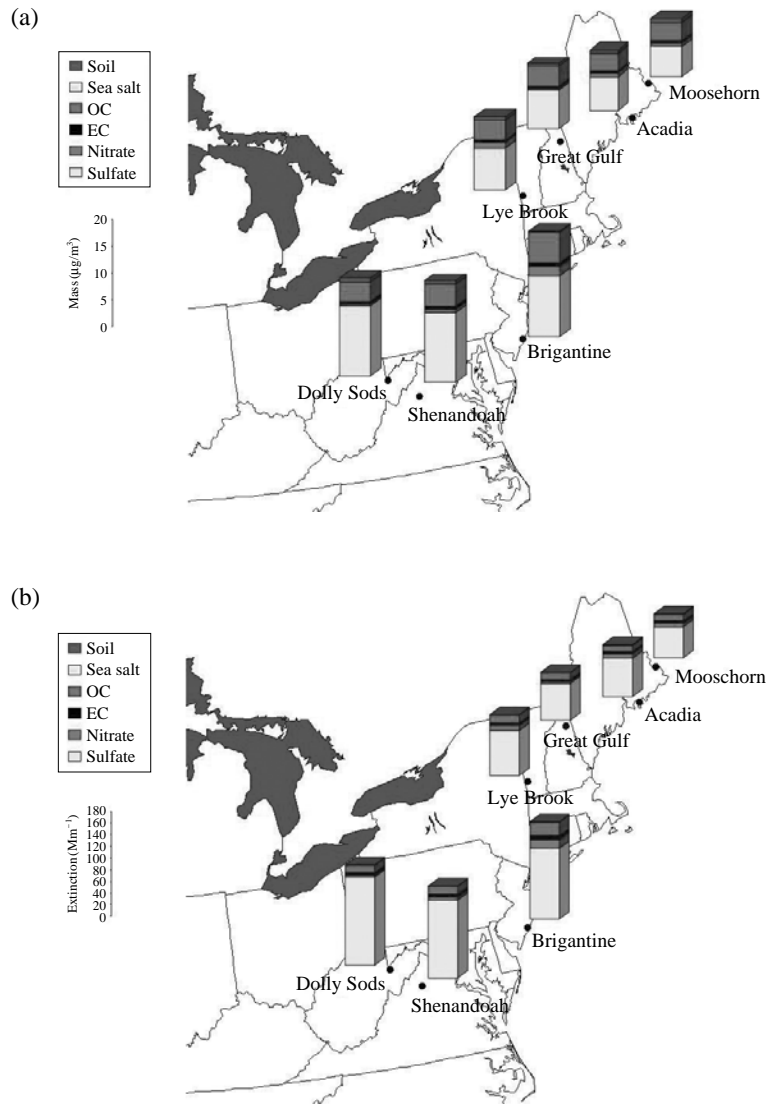


Fig. 5. Contributions to PM_{2.5} (a) mass and (b) extinction at 7 Sites in the Northeast US (Wishinski, 2007).

나리오 작성 등과 배출 모델링, 대기질 모델링 등을 수행하고 외부적으로는 이웃지역을 담당하는 RPO들과 서로 장거리 이동 문제 등을 협의하고 있다. 지역 연무개선법의 수행을 위해서 MARAMA는 주로 배출 목록의 작성, 대기질 모니터링을 담당하고, NESCAUM은 배출 모델링, 대기질 모델링, 주 공무원들의 기술 교육을 담당해 왔으며 외부와의 협의는 공동으로 대처하고 있다. 뉴욕 주와 같은 특별한 경우를 제외하고

는 주정부의 대기환경관련 업무는 대부분 신규배출업소의 인허가나 현행시설의 관리감독이기 때문에 과학적/기술적 전문성이 많이 필요한 대기화학 모델링이나 배출 모델링, 대기질-기상 연계 분석 등은 NESCAUM/MARAMA와 같은 전문기관에 의존하고 있다.

3.3.2 달성증명 (Attainment demonstration)
 동북부 Class I 지역에 대한 오염 기여도를 알아보

기 위하여 메인 주의 아카데미 국립공원과 뉴저지 주의 브리간틴 국립공원의 미세입자 성분분석 자료를 분석해 본 결과, 오염의 질량적인 측면과 시정 악화 측면 모두 황산화물의 기여도가 가장 높게 나타나고 있는데, 특히 시정거리 감소가 심한 경우에 황산화물의 기여가 높게 나타났다. 황산화물의 배출은 가시도를 악화시킬 뿐만 아니라 PM_{2.5}의 농도에도 영향을 미친다. 그림 5에서 알 수 있듯이 MANE-VU 지역의 7개 국립공원에서 측정된 PM_{2.5}를 분석해 본 결과 가시도와 유사하게 황산화물에 의한 배출 기여도가 높게 나타났기 때문에 해당 지역의 미세입자를 감소시키고, 가시도를 개선시키기 위하여 황산화물의 저감이

시급하다고 판단되었다(Wishinski, 2007).

MANE-VU의 경우 자기 지역 내에서 화력발전소는 주(州)간 청정대기법(clean air interstate rule: CAIR)을 통해, 기타 오염원들에 대해서는 BART를 통해 해당 오염원을 저감시킬 계획이다. 또한 주변지역에는 BART와 CAIR 프로그램에 동참을 장려함과 동시에 화력발전소 이외의 점오염원에 대한 28% 황산화물 배출저감을 요구할 계획이다. MANE-VU의 기존 배출저감 대책 이외에 추가되는 삭감대책들은 저항유 대책, 공업/상업/공공시설의 보일러(industrial, commercial, and institutional (ICI) boilers) 배출저감, 나무 조각과 시멘트 킬른 등에 대한 저감대책을 포함한다(Wishinski, 2007).

기존 OTB/OTW 외에 추가되는 삭감대책을 통하여 MANE-VU가 얼마나 더 많은 시정개선을 할 수 있는가를 알아보기 위하여 CMAQ 모형을 이용한 기준달

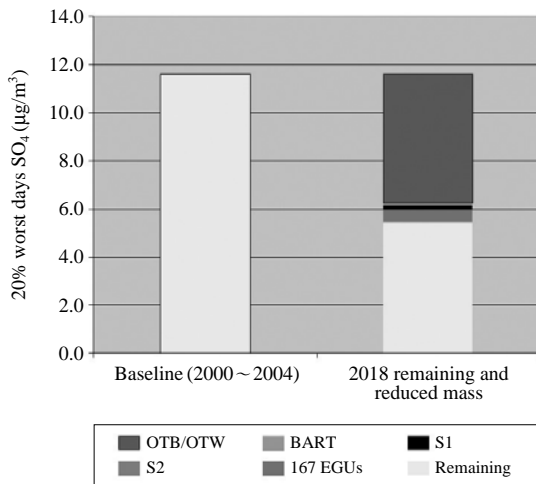


Fig. 6. Brigantine worst day sulfate mass reductions by strategy (Wishinski, 2007).

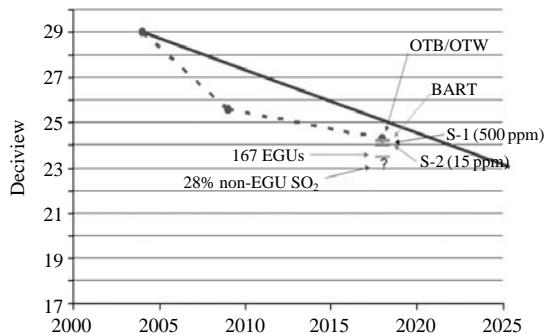


Fig. 7. Degree of visibility improvement by reduction strategy for Brigantine, NJ (Wishinski, 2007).

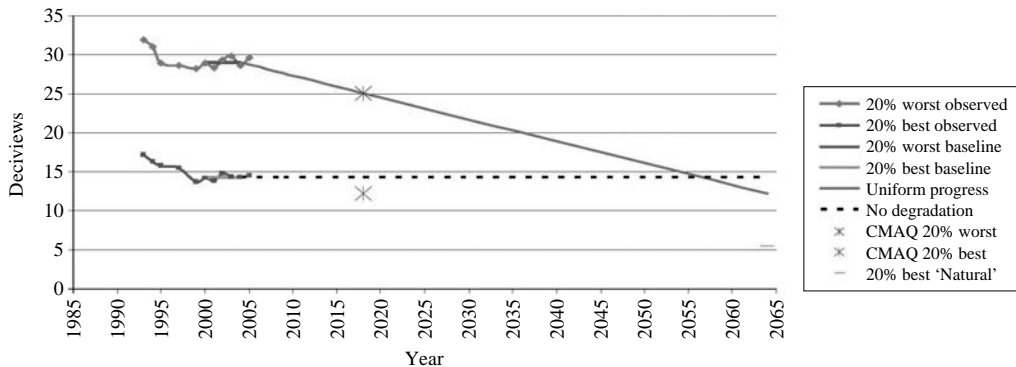


Fig. 8. Degree of visibility improvement until year 2065 at Brigantine, NJ (NESCAUM, 2008).

성도를 산정한 결과는 그림 6과 같다. 그림 6은 뉴저지 주의 브리간틴 자연보호지역에서 최악시정 일 때, 추가적인 제어대책을 통한 황의 저감량을 보여주고 있는데, 여기서는 OTB/OTW 방법을 통한 저감량이 가장 뚜렷하게 나타나고 있으며, 그 외 다른 대책을 통하여 추가적으로 배출량을 저감시킬 수 있음을 알 수 있다. 그림 7은 제어대책별 시정 개선 효과에 대해서 보여준 것이다. 실선으로 표현된 RPG와 비교하여 각각의 저감대책에 따른 가시도의 개선 정도를 알 수 있는데, 여기서도 역시 OTB/OTW 방법이 가장 큰 개선 효과를 나타내고 다른 저감 대책에 의해 추가적인 개선이 이루어질 수 있다는 것을 보여주었다.

2018년의 시정은 최악시정일과 최고시정일에 측정된 기준 평균 농도에 물질별로 부합되는 상대저감인자(relative reduction factors, RRF)를 곱해서 결정된다. 그 후 예상되는 농도는 매일의 시정농도(deciviews)를 추론하고 미래의 최고시정일 및 최악시정일의 시정 정도를 산정하기 위하여 사용된다. 그 결과를 그림 8에 나타내었는데, 여기에는 연간 관측된 20%의 최고시정과 20%의 최악시정 및 현재 20%의 최고시정 기준에서 더 이상의 악화가 없는 상태 등이 제시되었다(NESCAUM, 2008).

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 미국의 청정대기법상의 미세먼지 관련 조항에 따라 미국 동부지역에서 시행되고 있는 미세먼지 관련 정책들을 조사하였는데 여기에는 8시간 오존 기준 달성을 위한 주시행계획(8-hr Ozone attainment SIP), 미세먼지 기준 달성을 위한 주시행계획(PM attainment SIP), 지역연무개선법(Regional Haze Rule, RHR) 등이다. 앞에서 예시한 바와 같이 모든 정책의 시행에는 달성을 위한 배출저감 계획이 수립되어야 하며 그 결정과정에는 해당 법령에 관련된 규제 뿐만 아니라 연방법에 따른 저감대책들도 포함된다. 배출량 저감의 대상이 되는 배출원, 오염물질, 저감량, 근거법령, 시행시기 등이 파악되고 결정되면 그에 따라 몇 개의 저감 시나리오를 형성하여 그 시행효과를 분석하게 된다.

여타 배출오염물질들과 마찬가지로 미세먼지의 배출과 대기 중 생성에 대한 과학적 이해는 아직 완전

하지 못하며, 미동북부의 사례를 보더라도 이를 명확하게 알 수 있었다. 단지 선진 사례에서 참고할 점들은 과학적 불완전성을 극복하고 보완하기 위해서 대처해 나가는 방법론이라고 할 수 있다. 최신의 과학을 동원하여 환경기준을 정하도록 법을 제정하고, 대기환경 개선의 수행 주체인 연방 정부, 주정부, 지방정부 등이 각자의 역할을 담당하는 미국의 정책적, 행정적 시스템은 비교적 최근에 지방자치제를 실시하기 시작하여 중앙정부와 지방정부와의 역할 분장이 상대적으로 미흡한 우리나라에서 참고할 수 있는 좋은 예가 될 것이라고 판단된다. 특히 수도권의 경우 서울, 경기, 인천이라는 서로 다른 특색을 가진 지자체들이, 수도권대기환경개선 특별법에 의해 배출총량을 설정하고 그를 달성하기 위한 기본계획과 지자체시행계획을 수립/시행하는 과정이 미국의 주정부 시행계획 과정과 흡사하다고 사료된다. 그러므로 미국의 주정부 시행계획 과정을 이해하는 것은 우리나라 수도권대기환경을 개선하는데 좋은 참고자료가 되리라고 생각된다.

본 연구에서 예로서 제시한 미국의 여러 법령과 이를 만족시키기 위한 시행계획수립과 증명과정을 통해, 미세먼지 관련 대책들이 건강중심의 기준(1차 대기환경기준)에서 심미중심기준(2차 대기환경기준)으로, 행정적/지리적 경계 내부의 문제에서 지역적/다중 지역적 문제로 확장되어 가고 있다는 것을 알게 되었다. 이는 수도권대기환경특별법의 초기 슬로건이었던 “63빌딩에서 인천앞바다를 바라볼 수 있는 시정”을 연상 시킨다. 하지만 이러한 심미적/장기적 기준의 설정은 환경적으로는 앞선 선택이었지만 이를 시행하는 데 있어서는 많은 어려움을 겪고 있었다. 즉, 선진국인 미국, 그 중에서도 환경에 대한 관심이 높은 미동북부 지역에 있어서도 다른 주정부에 속해있는 국립공원에 대한 심미적/장기적 기준을 만족시키기 위해서 자기 주 통치 내의 산업체를 규제하기는 쉽지 않은 것으로 밝혀졌다. 하지만 많은 대화를 통해서 이러한 어려움을 극복해나가고 있는 미동북부의 환경정책과정은 중국과의 장거리이동문제, 이질적인 지자체 간의 조율문제를 안고 있는 우리나라 수도권에 많은 귀감이 될 것이다.

중앙정부나 지자체 이외에도 지역 기반의 정부출연 연구/컨설팅조직의 역할은 미동북부의 미세먼지 개선에 많은 기여를 해왔다. 오존문제 해결에 많은 역할

을 해왔던 OTC (Ozone Transport Commission)나 캘리포니아 환경문제 해결에 큰 역할을 해온 CARB (California Air Resources Board)는 우리나라에도 잘 알려진 예일 것이다. 미동북부의 경우 EPA가 출연한 5대 RPO 중에 하나인 MANE-VU와 전통적인 주정부출연 지역연구기관인 NESCAUM, MARAMA 등이 자기 지역 내의 지방정부 또는 주정부들의 입장과 업무를 조율하고, 배출목록작성, 배출모델링, 대기질 모델링/모니터링과 주정부들을 과학적/기술적 차원에서 지원하는 역할을 수행하고 있다. 또한 이들 연구조직은 주정부 시행계획 과정에서 EPA의 지역사무소와 소통하고, 다른 지역 RPO 또는 타국가(예: 캐나다)들과는 장거리이동과 관련된 협의를 수행하는 등의 역할도 하고 있다.

지역연무개선법 주정부 시행계획을 작성하는 과정에서 모델링을 담당하였던 NESCAUM에서는 일반적인 CMAQ모델링을 통한 달성증명뿐만 아니라 배출량 표식화 기법(emissions tagging technique)을 이용하여 CMAQ모델링에서 각각의 배출저감 시나리오의 효과를 정량적으로 산정하였다(그림 6, 7). 이는 환경개선 달성 목표에 대한 정책의 효과분석을 위해 상당히 중요하면서도 진일보한 분석 기법이라고 볼 수 있다. 최신이지만 아직 검증되지 않은 과학/기술보다는 안정되고 표준화된 과학적 근거를 요구하는 환경정책분야에서 최신의 과학/기술 정책을 지원할 수 있는 과학/기술로 변환시키는 이들 연구조직의 역할은 우리에게도 많은 시사점을 주고 있다고 사려된다.

이제 우리나라의 환경 인식이나 기술수준 그리고 정책적 수요 등은 미국 등 어느 선진국 못지않다고 판단된다. 하지만 이는 우리나라가 선진사례를 참조할 필요가 적어지는 것이 아니라 오히려 많아질 수 있음을 시사한다고 판단된다. 그 이유는 환경 분야의 문제가 복잡화, 고도화 되고 그 개선수요가 늘어날수록 선진사례 분석을 통한 내실 있는 정책의 수립과 올바른 수행이 중요해지기 때문일 것이다.

참 고 문 헌

- Baek, S.-O. and Y.-S. Koo (2008) Critical evaluation of and suggestions for a comprehensive project based on the special act on Seoul metropolitan air quality improvement, J. KOSAE Vol., 24(1), 108-121. (in Korean with English abstract)
- Edelman, N. (2006) Air quality standards must protect public health, Environ. Manage., June 2006, 24-29.
- Hong, J.-H., D.-I. Jung, J.-S. Kim, D.-K. Kim, J.-Y. Kim, and Y.-M. Lee (2006) Technical preparations for Seoul metropolitan air quality improvement, A.Q. standards in SMA, Proceeding of the 41st Meeting of KOSAE (2006). (in Korean with English abstract)
- Kim, H.-M., Y.-I. Ma, J.-Y. Yoo, S.-H. Kim, J.-S. Nam, J.-S. Kim, J.-H. Hong, Y.-K. Chang, and Y. Sunwoo (2006) The Effect of Asian Dust Storm Events on Meeting A.Q. Standards in SMA, Proceeding of the 41st Meeting of KOSAE (2006). (in Korean with English abstract)
- MANE-VU (2002) <http://www.manevu.org/aboutus.asp>.
- MDE (Maryland Department of the Environment) (2008a) Washington County, MD PM_{2.5} State Implementation Plan and Base Year Inventory.
- MDE (Maryland Department of the Environment) (2008b) Washington County, MD PM_{2.5} State Implementation Plan and Base Year Inventory, Appendix G-11 Weight of Evidence Report.
- NESCAUM (Northeast States for Coordinated Air Use Management) (2008) 2018 Visibility Projection.
- NESCAUM (Northeast States for Coordinated Air Use Management) (2007) Five-Factor Analysis of BART-Eligible Sources, Survey of Options for Conducting BART Determinations.
- NJDEP (The State of New Jersey Department of Environmental Protection) (2007) State Implementation Plan (SIP) Revision for the Attainment and Maintenance of the Ozone National Ambient Air Quality Standard, 8-Hour Ozone Attainment Demonstration Final.
- NIER (2008) Development of Evaluation Guideline for Local Government Implementation Plan in Support of Special Measures for Air Quality Improvement of Seoul Metropolitan Area.
- NIER (2007) Analysis and Forecast of PM₁₀ Air Quality of Seoul Metropolitan Area
- NIER (2006) Impact Analysis and Post-implementation Plan of the Special Measures for Air Quality Improvement of Seoul Metropolitan Area.
- Page, S. (2006) EPA's proposal to revise the PM standards, Environ. Manage., June 2006, 11-14.
- Paul Wishinski, Vermont DEC (2007) Reasonable Progress & Measures for MANE-VU Class I Areas MANE-VU-VISTAS Consultation.
- U.S. Government (1997) 40CFR51, TITLE 40-PROTECTION

- OF ENVIRONMENT.
- US EPA (2007) Guidance For Setting Reasonable Progress Goals Under the Regional Haze Program.
- US EPA (2004) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through P.L. 108.201, February 24, 2004.
- US EPA (2003) Guidance for Estimating Natural Visibility Conditions Under the Regional Haze Program.
- US EPA (1999) 40 CFR Part 51 Regional Haze Regulations; Final Rule.
- US EPA (2009) National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), <http://www.epa.gov/air/criteria.html>.
- US EPA (2005) Proposal to Revise the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, <http://www.epa.gov/particles/fs20051220pm.html>.
- US EPA (2009) State Implementation Plan (SIP) Attainment Demonstration Guidance, http://www.epa.gov/scram001/guidance_sip.htm.
- US EPA (1999) The On-line State Implementation Plan Processing Manual <http://icode.pes.com/sipman/mExp-Out.cfm?RequestTimeout=500>.