

일본의 미세먼지 대책과 미세먼지 저감을 위한 한중일 협력[†]

이수철*

요약 : 미세먼지는 발생원이 매우 다양하며 발생 메커니즘이 복잡하여 아직 일본에서도 자동차 등 이동배출원을 제외하고는 미세먼지 발생량에대한 정확한 인벤토리의 정비가 이루어지지 못하고 있어서 효과적인 대책이 매우 어려운 상황이다. 따라서 정부기관과 연구자들이 국민건강 관리를 위한 매뉴얼 작성과 함께 국가적인 인벤토리 정비를 위한 노력을 기울이고 있다. 미세먼지 대책을 보다 어렵게하는 것은 중국 등 국외로부터 날아오는 미세먼지 문제이다. 일본은 과거 고도성장기에 격심 했던 대기오염문제를 지방자치단체들이 지역특성에 맞는 고유의 정책 설계 등으로 효과적으로 대응했던 경험이 있어서 이러한 경험을 중국의 자치 단체에 전수해 주는 중일 도시간 미세먼지 방지에관한 협력사업을 전개하고 있다. 기업들은 이와 관련한 설비 기자재와 기술을 중국에 판매하는 등 비즈니스 기회를 얻고 있다. 한중일을 중심으로 한 동아시아 지역은 환경 및 에너지 측면에서 공동체적인 운명 하에 있다. 한중일 3국이 대기환경 및 기후변화문제 해결을 위한 법적효력이 있는 기구를 창설하여 정부간 정책협력과 도시간 및 기업간 교류가 크게 진전될 경우 미세먼지 문제 해결뿐만 아니라 향후 이 지역의 평화와 지역통합에도 기여할 것으로 본다.

주제어 : 미세먼지, 일본의 대기환경 정책, 장거리 월경오염, 한중일 환경협력

JEL 분류 : Q4

접수일(2017년 2월 3일), 수정일(2017년 3월 14일), 게재확정일(2017년 3월 20일)

[†] 저자는 익명의 두 심사자에게 깊은 감사의 말씀을 드린다. 두 분의 정확한 심사평은 논문의 질적 향상에 많은 도움이 되었다.

* 일본 메이조대학교 경제학부, 교수(e-mail: slee@meijo-u.ac.jp)

Japanese Measurement on Fine Particles(PM2.5) Emission Pollution and Cooperation of Korea -China-Japan to Reduce Fine Particles Pollution-

Soocheol Lee*

ABSTRACT : The Japanese government's attempts to reduce fine particles (PM2.5) emission pollution in Japan have been largely ineffective. This is because PM2.5 in Japan originated from various sources including around half from overseas countries such as China. This prompts the Japanese government to start a new initiative to reduce PM2.5 at its origin by transferring local knowledge on air pollution reduction measures and technologies to China and working closely with the Chinese government. To promote further reduction in PM2.5, bilateral cooperation between Japan and China should be extended to include Korea. It is recommended that an international convention should be in place to deal with transboundary air pollutants in East Asia. A successful East Asia cooperation to reduce PM2.5 will not only contribute to clean air but also to future sustainable low carbon society in this region.

Keywords : Fine particles(PM2.5), Japanese air pollution policy, Long-range transboundary Air pollutants, Environmental airpollution policy cooperation of East Asia

Received: February 3, 2017. Revised: March 14, 2017. Accepted: March 20, 2017.

* Professor, Faculty of Economics, Meijo University(e-mail: slee@meijo-u.ac.jp)

I. 서론

미세먼지로 인한 건강피해는 우리나라 뿐만 아니라 일본에서도 중요한 사회적 문제로 대두되고 있다. 미세먼지 중에서 입자크기가 $2.5\mu\text{m}$ 이하인 초미세먼지는 납, 비소, 수은 등 인체에 유해한 중금속의 농도가 높을 뿐만 아니라, 이를 흡입할 경우 호흡기질환, 폐암, 순환기계통의 질환 등이 발생할 가능성이 높다. 그런데 미세먼지는 발생원과 발생경로가 다양하고 발생 메커니즘의 과학적인 규명이 아직 제대로 이루어지지 못하고 있어서 효과적인 대책 마련에 어려움이 많은 상황이다.

미세먼지는 대기중에 입자상태로 존재하는데 직경 $2.5\mu\text{m}$ (PM_{2.5})¹⁾이하인 초미세먼지와 $10\mu\text{m}$ (PM₁₀)이하인 일반미세먼지로 구분된다.²⁾ 직경이 작은 미세먼지일수록 중금속 등의 원소입자 농도가 높아지며 폐포까지 침투하고 기관지에서 다른 기관으로의 이동이 용이한 등 인체에 대한 악영향도 커지게 되기 때문에 최근에는 특히 초미세먼지에 대한 관심과 그 대책에 대한 필요성이 높아지고 있다(若松 (2010), 공성용 등(2012, 2013)).

중국의 精華大学과 미국의 Health Effects Institute에서 2013년에 발표한 자료에 의하면 매년 세계에서 320만 명이 미세먼지의 영향으로 조기 사망하고 7,600만명이 건강 피해를 보는 것으로 나타났다. 특히, 중국의 사망인구 중 약 14.9%에 해당하는 123만 4000명이 미세먼지가 원인이라고 하였다.

일본의 경우 2013년부터 미세먼지에 대한 국내 및 국외대책을 포함한 포괄적인 종합 대책을 마련하는 등 미세먼지를 줄이기 위한 노력을 기울이고 있다. 그런데 미세먼지는 일본 국내대책 만으로는 한계가 있다는 지적이 제기되어 왔다. 즉 미세먼지는 지역에 따라 차이가 있으나 큐슈지역의 경우에는 미세먼지 발생원의 60% 이상이 중국으로부터 발생한 것으로 알려지고 있는 등 일본의 노력만으로는 효과적인 대응이 어려운 것으로 나타나고 있다.

본 논문에서는 일본의 기존 문헌리뷰를 중심으로 미세먼지의 발생원과 발생경로를

1) $1\mu\text{m}$ 는 1000분의 1밀리미터(mm)이다.

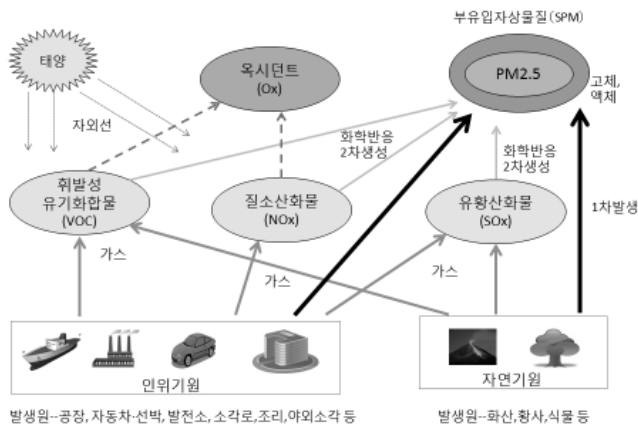
2) 이하 본고에서는 직경 $2.5\mu\text{m}$ 이하의 초미세먼지는 「미세먼지」로, 직경 $2.5\mu\text{m}$ 이상의 미세 먼지는 「일반미세먼지」로 용어를 구분하여 사용한다.

살펴보고 일본의 미세먼지대책을 검토하는 한편 한중일의 연계협력을 통한 미세먼지의 해결을 위한 방안을 제시하고자 한다. 본 논문은 대부분이 일본에서 발간된 논문을 기본 자료로 활용하여 작성하였기 때문에 미세먼지 대책을 추구하는 시각이 다소 편향될 가능성이 있음을 미리 밝혀 두고자 한다.

II. 미세먼지의 발생원과 발생메카니즘

미세먼지의 발생원은 공장, 발전소, 쓰레기 소각장, 광물의 퇴적장 등 고정발생원을 비롯하여 자동차, 선박, 항공기 등 이동발생원, 타이어의 마모와 농업의 비료사용 및 가축배설물 그리고 산불, 화산, 식물 등 자연발생원에 이르기까지 광범위하고 다양하다 (<그림 1> 참조). 미세먼지는 황산염, 초산염, 탄소성분, 금속성분, 토양성분 등으로 구성되어 있는 혼합물이며, 발생형태는 물질의 연소나 연마 등에 의해 입자의 형태로 대기에 배출되는 1차 생성입자와 물질연소와 도장, 농업경영 등으로 인해 가스형태로 배출되는 전구물질 즉 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 휘발성유기화합물(VOC), 염산(HCl), 암모니아(NH3) 등이 대기 중에서 광화학 반응이나 중화반응 등에 의해 증기압이 낮은 물질로 변화되어 입자화한 2차 생성 입자가 있다.

<그림 1> 미세먼지의 발생경로



출처: 金谷有剛(2013)

茶谷聡 등(2011)에 따르면 암모니아(NH₃)는 미세먼지의 형성에 중요한 역할을 하는데, 산업 생산과정과 동식물 등 발생원이 광범위하여 배출량의 산정이 상당히 불확실한 점에 유의할 필요가 있다고 하였다. 그리고 휘발성유기화합물(VOC)도 2차 생성입자의 원인 물질이며 미세먼지 입자 형성에의 기여를 무시할 수 없음을 지적하고 있다. 또한 음식의 조리과정에서 발생하는 연기도 미세먼지 발생요인의 하나로 지적하고 있다.

따라서 미세먼지의 발생량을 측정하기 위해서는 1차 생성입자인 PM_{2.5}와 2차 생성 입자화하는 전구물질의 파악이 필요하다. 전구물질 중에서 중요한 것은 원소탄소(EC), 유기탄소(OC), 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOC), 암모니아(NH₃) 등으로 알려지고 있다(<표 1>).

<표 1> 주요 미세먼지 생성원인 물질과 생성과정

생성원인물질	생성과정
원소탄소(EC)	불완전 연소, 자동차 배기가스
유기탄소(OC)	자동차 배기가스, 산불, 화전
질소산화물(NO _x)	연소과정
황산화물(SO _x)	화석연료의 연소
휘발성 화합물(VOC)	도장공정, 공업프로세스, 식물
암모니아(NH ₃)	농업 축산, 생활관련

출처: 若松伸司(2010)

일본의 경우 미세먼지의 1차 생성입자와 전구물질의 배출량에 대한 인벤토리는 충분하게 구축되어 있지는 못하지만, 자동차 배기가스분야에 대해서는 일정부분 자료의 정비가 이루어지고 있다.³⁾ 2013년 일본 환경성에서는 배출량과 관련한 국가 및 산업계 등에서 발표하고 있는 통계를 근거로하여 「PM_{2.5} 배출 인벤토리 및 발생원 프로파일 책정 검토위원회」을 설치하여 배출량 인벤토리 작성을 추진하고 있다. 그림 2는 일본 환경성의 미세먼지 대책검토 위원회가 정리한 미세먼지의 발생원별 인벤토리의 정비대상 배출물질을 정리한 것이다. 여기에는 도시 대기에 대한 영향이 큰 것으로 추정되는 발생원

3) 배출량 인벤토리란 각 발생원으로부터 배출되는 물질의 배출량을 산업별, 연료별, 각 발생원의 종류별로 정리한 명세표를 말한다.

을 중심으로 기재되었으며 발생원의 종류 및 분류는 지속적으로 검토할 예정이다. 그리고 표시는 지금까지 배출억제 대책이 실시되고 있는 발생원을 나타내고 있다.

〈그림 2〉 미세먼지 발생원 종류별 분류와 대책 상황

발생원 종류		PM	VOC	SOx	Nox	NH3	
인위 · 고정	연료 연소	전기, 지역 열공급, 도시가스 제조	○	○	○	○	○
		농·임·수산업, 광업, 건설업	○	○	○	○	○
		제조업	○	○	○	○	○
	폐기물 · 소각	민생 가정, 사무실 등	○	○	○	○	○
		일반폐기물 처리 시설, 산업폐기물 처리 시설	○	○	○	○	○
		소형 소각로	○	○	○	○	○
		야외 소각	○	○	○	○	○
	농업	축산				○	○
		비료 시비				○	○
		사원의 발한, 호흡, 정화조, 애완건				○	○
생활	출연	○	○	○			
	조리	○		○			
	연료 중량, 화학품 제조, 용제 사용 등		○				
그외	비료 제조					○	
인위 · 이동	항공	○	○	○	○		
	자동차	주행시	○	○	○	○	○
		주차·정지시		○	○	○	○
	작업용 기계 · 선박	건설기계, 산업기계, 농기계	○	○	○	○	○
선박		○	○	○	○	○	
자연	식물		○				
	토양	○				○	
	화산	○		○			
	해일	○					

출처: 環境省PM2.5対策検討委員会(2014)

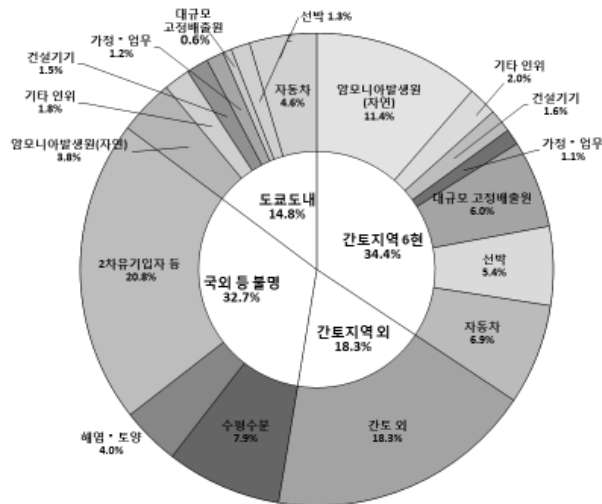
한편 도쿄도(東京都) 미세먼지검토회의가 발표한 시뮬레이션 워킹보고서(2008)⁴⁾에 의하면 도쿄도의 미세먼지에 대한 발생기여도는 도쿄도 자체 발생이 14.8%를 점하고 있고, 도쿄도를 제외한 주변 간토(關東) 지역 6개현으로 부터의 발생은 34.4%, 간토이외의 다른 지역이 18.3%, 그리고 국외 등 규명되지 않은 요인이 32.7%인 것으로 나타났다. 동 보고서는 도쿄도내 17개 지점에서 미세먼지를 측정하고 성분분석을 통해 발생원인 및 기여도를 추정하였다(〈그림 3〉). 도쿄도내에서 발생하는 미세먼지 중 1차 생성입자의 비중은 약 25%, 2차 생성입자의 비중은 약 67%, 기타 약 8%로, 2차 생성입자의 비중이 매우 높은 것으로 나타났다.

또한 山神 등(2011)이 나고야 시내 2지점에서 미세먼지의 성분분석과 리셉터(receptor) 모델에 의해 발생원인 기여율을 추정한 결과에 따르면, 2차 생성입자의 기여율이 일반

4) 동 보고서는 최초로 일본의 미세먼지 인벤토리를 파악하여 과학적인 방법으로 지역별, 발생원별 배출량을 조사한 연구로서 평가받고 있다.

측정소(도로에서 떨어진 주택 및 상업 등의 지역에 있는 측정소)에서 56%, 자배소(도로에서 가까운 자동차 배기가스 측정소)에서 47%로 되고 있다. 이러한 결과들은 미세먼지 대책은 해당 지역내 뿐만아니라 타지역으로부터의 유입에 대한 대책이 필요하며, 각 발생원으로부터의 1차 생성 입자뿐만 아니라 2차 생성입자로 변화하는 전구물질에 대한 배출량의 파악과 대책 마련이 매우 중요함을 시사하고 있다.

〈그림 3〉 도쿄도 내 미세먼지 발생원 기여 측정치(2008년)



출처: 東京都微小粒子状物質検討会シミュレーションワーキング報告書(2008)

III. 일본의 미세먼지 발생 현황과 이동경로

일본에서는 대기오염방지법(1968년 제정), 자동차대기오염규제법(1992년 자동차NOx 법 제정, 그리고 2001년에 자동차NOx·PM법으로 개정)으로 이산화황과 이산화질소 등의 대기오염은 크게 개선되었으나, 원인물질이 다양한 미세먼지에 대해서는 발생원이나 생성과정에 대한 규명이 어려워 관련 대책 마련이 늦어지고 있다. 예를 들어 이산화유황의 환경기준이 1969년에 설정된데 비해 미세먼지는 2009년에야 설정되었다. 표 2에서 보는 바와 같이 미세먼지의 환경기준은 일본의 경우 1일평균은 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 년

평균은 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 설정 되었다.⁵⁾ 이에 비해 우리나라는 2011년에서야 미세먼지에 대한 환경기준이 각각 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 설정되었다. 하지만 한국과 일본의 환경기준은 모두 WHO의 기준에는 미달하고 있다.

〈표 2〉 주요국의 미세먼지 환경기준

	연평균치	일평균치	비고
중국	$35\mu\text{g}/\text{m}^3$	$75\mu\text{g}/\text{m}^3$	2016년부터 적용
일본	$15\mu\text{g}/\text{m}^3$	$35\mu\text{g}/\text{m}^3$	
한국	$25\mu\text{g}/\text{m}^3$	$50\mu\text{g}/\text{m}^3$	2015년부터 적용
미국	$12\mu\text{g}/\text{m}^3$	$35\mu\text{g}/\text{m}^3$	
EU	$25\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	
WHO	$10\mu\text{g}/\text{m}^3$	$25\mu\text{g}/\text{m}^3$	가이드라인

주 1) 2012년 2월 개정 환경기준이 공포되어, PM2.5의 환경기준을 새로 설정. 새 기준은 베이징, 톈진, 허베이, 장강 삼각주, 주강 삼각주 등의 중점 지역, 직할시의 총 74개 도시에서 2012년 말부터 조기 실시, 2016년 1월부터 전국 시행.

2) 미국: 2013년3월에 PM2.5의 연평균치 $15\mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow 12\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화

출처 : 環境省 大氣環境課(2014)

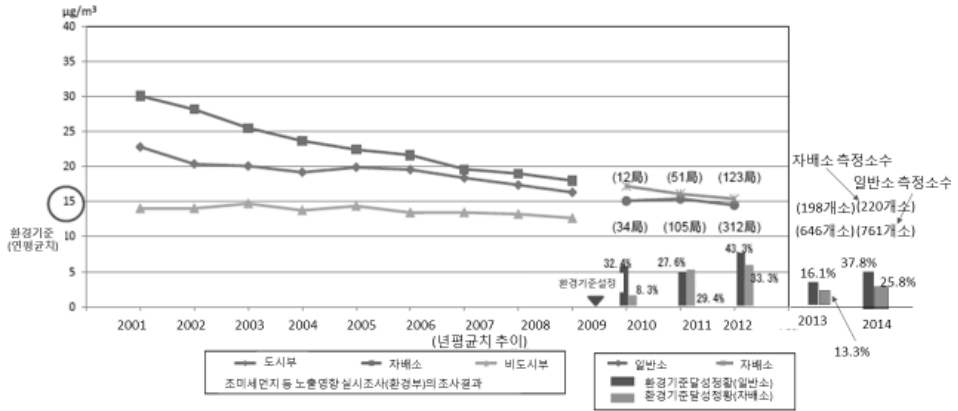
현재 일본의 미세먼지 연평균 농도는 2010년 $17.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2014년 $15.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 환경기준치($15.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 근접하고 있다. 이 결과는 상기 대기오염방지법(주로 고정오염원 대상)과, 자동차NOx·PM 법(주로 이동오염원 대상)에 의거한 공장의 대기오염물질 배출 규제, 폐기물 소각로에 대한 매연분진이나 다이옥신류의 배출 규제, 디젤차의 배기가스에 대한 규제 강화 등에 따른 것으로 평가되고 있다.

그러나 1일 평균치로 볼때 환경기준 달성율은 중국의 영향과 계절 및 기상조건 등에 따라 연도별로 차이가 발생하고 있다. 일반측정소 기준치로 볼때 환경기준치 달성율(총 측정소 중 환경기준치 미달성 측정소 수의 비율)이 2010년에는 32.4%, 2013년에는 16.1%, 그리고 2014년에는 37.8% 수준에 그치고 있다. 그리고 자동차배기가스 측정소 기준으로는 2013년에 13.3%로 매우 낮았으며 2014년에도 25.8%에 머물고 있는 실정

5) 미세먼지의 환경기준에 대해서는 질병학의 지식 등을 기초로 종합적으로 판단해서 장기 기준(즉 연평균치 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 정하는 동시에, 그것만으로는 충분한 저감이 곤란한 단기적인 고 농도에 따르는 건강 영향을 방지하는 관점에서 통계학적인 안정성을 고려한 단기 기준(즉 1일 평균치 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 설정하고 있다.

이다(<그림 4>). 이는 질소산화물 등 다른 대기오염물질의 환경기준 달성률이 거의 100%인데 비해 매우 낮은 수준이다.

<그림 4> 일본의 미세먼지 농도 및 환경기준 달성 추이

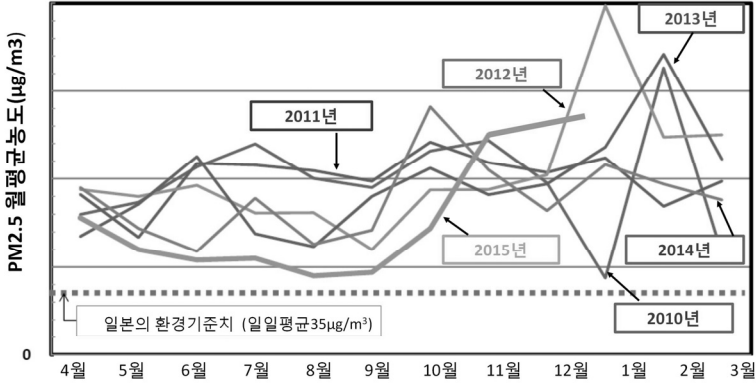


주1 [일반소] 주택지에서 일반 환경 대기오염 상황을 관측하는 측정소
 주2 [자매소] 도로 연도에서 자동차 배기가스의 오염 상황을 관측하는 측정소
 주3 2001~2009년도까지는 환경부의 시행적인 측정결과, 2010년 이후 표준적인 측정법에 의해 도도부현 등에 의한 전국적인 측정이 시작되었다.

출처: 環境省 大氣環境課(2014)

그런데 앞서 지적하였듯이 일본의 미세먼지의 발생 지역원별 상황을 보면 지역에 따라 차이가 있으나 중국의 미세먼지 발생에 상당부분 영향을 받고 있다. 그 정도는 지역별로 다양하지만 큐슈지역의 경우 60% 정도가 중국으로부터 유입되는 것으로 추정되고 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 일반적으로 중국에서는 본격적인 동절기가 들어가는 11월말 시점에서 난방용 석탄수요가 늘어남에 따라 다음해 3월까지 미세먼지의 농도가 높아지는 경향이 있다. 일본 환경성의 대기정책과가 2015년 11월 12일~12월 13일 기간 동안 일본 전국 각지의 미세먼지 농도와 중국 베이징시의 미세먼지 농도 자료를 비교 분석한 결과에 따르면 중국의 미세먼지 농도와 일본의 미세먼지 농도 간에는 밀접한 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

〈그림 5〉 베이징시의 월평균 미세먼지 농도 추이



주: 주 중 미국 대사관의 관측점의 데이터를 토대로 작성

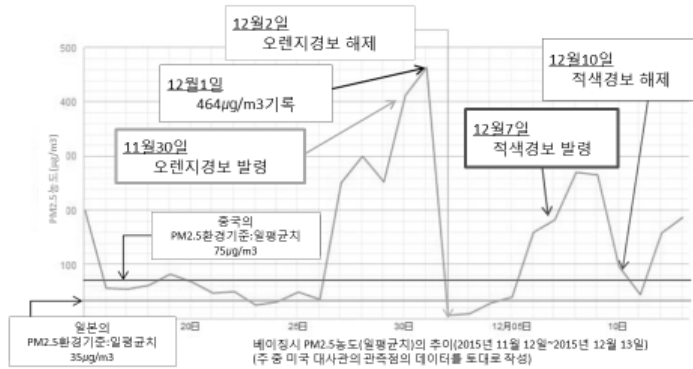
출처: 環境省 大氣環境課(2015a)

그림 6에 나타나 있듯이 2015년 11월말 과 12월초에 베이징시의 미세먼지 농도가 크게 상승하여 미세먼지 경보를가 발령된 것으로 나타나고 있는데⁶⁾ 당시 미세먼지 농도는 $464 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 중국의 일일 평균 환경기준치($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 무려 6배 수준이다. 이러한 중국의 미세먼지 문제는 일본에도 직간접적인 영향을 미친 것으로 추정되는데, 일본에서는 전국적으로 동년 12월 초와 중순 경에 미세먼지의 농도가 급격히 상승하는 추세를 보였다(<그림 7>).

환경성 대기정책과(2015a)는 이 시기에 발생원 지역(중국)과 발생원으로부터의 이동에 의한 수용지역(일본)에 대한 시물레이션 분석을 한 결과, 일본지역에 착지한 미세먼지의 발생원별 기여도는 중국으로부터 유입된 비중은 40~60% 수준, 한반도로부터 유입된 비중은 0~10%, 그리고 일본 국내로부터 발생한 미세먼지 비중은 20~50% 수준으로 나타났다(<그림 8>).

6) 베이징시는 대기오염 정도에 따라 다음 4단계의 경보를 설정하고 있다. (1) 4급 경보(청색):경보이후 1일간 중도(重度) 오염($150\text{-}250 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 예측. (2) 3급 경보(황색):경보이후 1일간 엄중오염($250\text{-}500 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 또는 중도(重度)오염이 3일간 계속할 것이 예측. (3) 2급경보(오렌지 색):경보이후 3일간 중도오염 또는 엄중오염이 교대로 계속해서 출현할 것이 예측. (4) 1급 경보(적색):경보이후 3일간 엄중오염이 계속될 것이 예측.

〈그림 6〉 베이징시의 미세먼지 농도와 미세먼지 주의경보 발령 상황
(2015년 11월 12일~12월 13일)



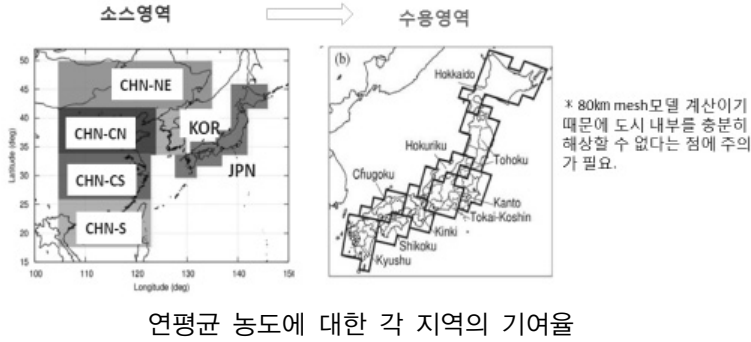
- 주 1) 베이징시에서는 12월 1일 PM2.5의 일평균 농도가 $464\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기록
- 2) 베이징시에서 11월 30일 오렌지 경보를, 12월 7일에는 첫 적색경보를 발령
- 3) 적색경보 발령으로 베이징시 환경보호국은 초 중등학교 및 유치원 휴교를 실시함과 동시에 강제조치로 전 시내에서 자동차(번호판 끝자리) 짝수 홀수 주행규제, 일부 공장의 조업정지 등을 실시

〈그림 7〉 중국의 미세먼지발생이 일본에 미치는 영향추정도
(PM2.5농도 1시간 값의 추이)



출처: 環境省 大氣環境課(2015a)

〈그림 8〉 일본의 연평균 미세먼지농도에 대한 한중일의 상대적 기여율



출처: 環境省 大氣環境課(2015a)

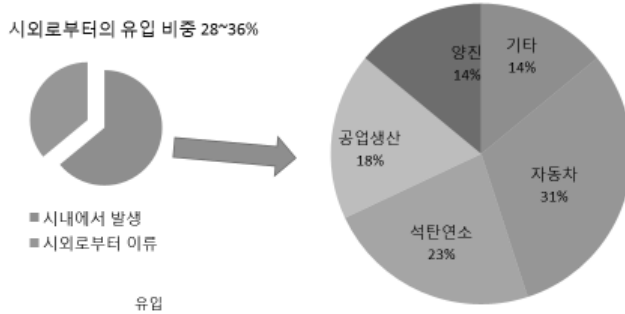
2014년 중국 베이징시의 미세먼지 발생원 분석에 따르면 자동차 배기가스가 31%로 가장 많았고, 이어서 석탄연소 23%, 공업생산 18%, 비산먼지 14% 등의 순으로 나타났다(베이징시의 홈페이지). 물론 계절에 따라 발생원의 기여도는 달라지지만 자동차 배기가스와 석탄 연소 등 화석연료 소비로 인한 발생 기여도가 전체의 약 60%를 차지하고 있다(<그림 9>). 중국은 미세먼지 문제를 해결하기 위해 2013년 9월 「대기오염방지 행동 계획에 관한 통지」를 발표하였고, 2014년 1월 환경보호부에서는 31개 市省区의 지방정부와 「대기오염방지책임서」를 체결하였다. 이에 따라 2017년까지 PM2.5의 농도를 2012년 대비 北京市, 天津市, 河北省에서는 약 25%, 山西省, 山東省 등에서는 약 20%, 广东省, 重慶市 등에서는 약 15% 삭감하도록 하였다. 하지만 중앙정부의 정책과 지방정부의 대책 사이의 괴리 등으로 인해 가시적인 성과는 나타나지 않고 있다.⁷⁾

菊地良栄 등(2010)이 한국의 대구시와 일본의 후쿠이시를 대상으로 미세먼지(PM10)의 장거리 이동경로를 역추적한 결과, 대구시의 경우 60%가 중국의 베이징 등 북부 대륙

7) 예를들어 중앙정부가 정책을 실시하여도 지방정부에서는 제대로 집행하지 않거나 허위보고 등으로 정책의 실효성이 크게 저해되는 경우를 말한다.

으로부터 유입되었고(<그림 10a>의 굵은 실선), 20%가 상하이 방면(<그림 10a>의 점선)으로부터 유입된 것으로 나타났다. 특히 중국 대륙으로부터의 미세먼지의 경우 다른 경로로부터의 미세먼지보다 중금속 농도가 높은 것으로 분석되었다. 이에 비해 후쿠이시는 20%가 중국의 북부대륙, 40%이상이 태평양 쪽에서 유입된 것으로 분석되었다.

<그림 9> 베이징시의 미세먼지 발생원별 기여율

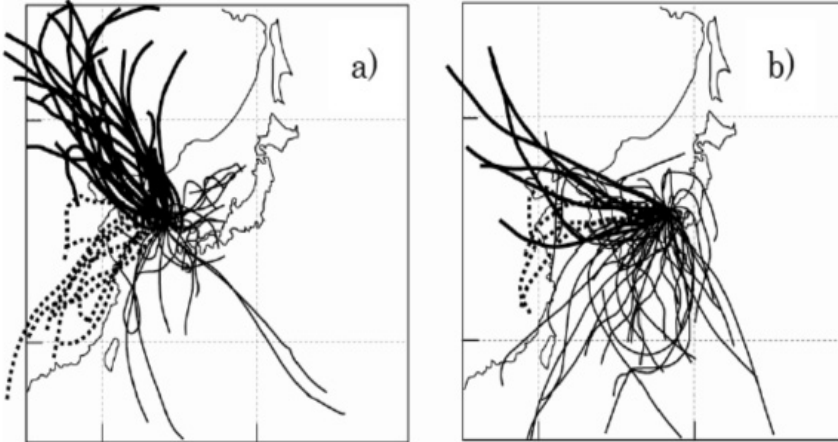


주: 기타에는 레스토랑, 자동차 수리, 축산 양식, 건설 도장 등이 포함.

출처: 環境省 大氣環境課(2015a)

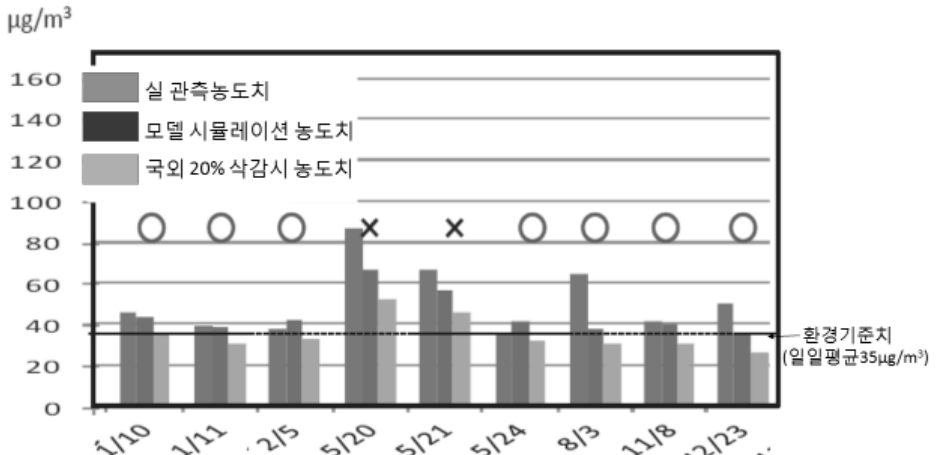
한편 金谷有剛(2013)에 의하면, 2010년 미세먼지의 농도가 환경기준을 초과했던 福江 지역의 9개 날자(1월 10일, 1월 11일, 2월 5일, 5월 20일, 5월 21일, 5월 24일, 8월 3일, 11월 8일, 12월 23일)에 대해 중국과 한국으로부터 유입된 미세먼지가 20% 감소한 것으로 가정하여 시뮬레이션 모델로 추정된 결과 7개 날짜의 환경기준이 달성되는 것으로 나타났다(<그림 11>). 환경기준 달성을 못하는 2개의 날짜의 미세먼지 농도는 20% 이상 저감되는 것으로 나타났다. 이 연구는 일본 자체적으로 발생하는 미세먼지 외에 중국과 한국으로부터의 미세먼지 유입량이 감소하는 것이 일본의 미세먼지 농도를 저감하는데 큰 효과가 있음을 보여주고 있다. 이상을 종합해 볼 때 미세먼지대책은 일본 국내 대책만으로는 한계가 있으며 한중일의 협력이 중요함을 알 수 있다.

〈그림 10〉 대구시(a)와 후쿠이시(b)의 미세먼지의 장거리 이동 경로



출처: 菊地良栄 외(2010)

〈그림 11〉 중국과 한국이 미세먼지 배출량을 20% 삭감할 경우 일본 국내지역(福江) 미세먼지 농도 변화추정



주 1: 2010년 중 실 관측치가 일일평균 환경기준치를 초과한 9개 표본 일을 시뮬레이션 대상으로 하였음
 주 2: 국외 배출량이 20% 삭감되었다고 상정할 경우 환경기준치가 달성되는 날을 ○, 달성치 못하는 날을 ×로 표시

출처: 金谷有剛(2013)

IV. 일본 정부의 미세먼지 대책

1. 국내대책

일본정부는 미세먼지의 인체건강에 미치는 영향의 심각성을 인식하고 환경성에서 대기 중의 미세먼지와 건강영향과의 관련성을 밝히기 위해 1999년부터 「미소입자상 물질의 인체건강영향 조사」를 실시하고 있다. 축적된 미세먼지에 관한 정보를 토대로 2009년 9월에는 미세먼지(PM2.5)에 대한 환경기준이 설정되었다. 그 후 2010년 3월에는 「대기환경 상시 감시 매뉴얼」을 개정하였고, 2011년 7월에는 「성분분석 가이드라인」을 마련하였으며 환경성 내에 미세먼지 전문가회의를 설치하는 등 미세먼지에 대한 상시감시체제를 정비해 왔다(環境省 微小粒子状物質(PM2.5)に関する専門家会合(2013)).

한편, 2013년 1월 중국 베이징의 미세먼지 일일 평균농도가 $993\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO 기준: $25\mu\text{g}/\text{m}^3$)까지 올라가면서 일본에도 큰 영향을 미치게 되자 미세먼지에 대한 일본 사회 내 큰 우려가 제기되었고, 이에 따라 일본 환경성은 같은 해 일일 평균치가 $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과할 경우 국민들이 주의해야 할 행동지침을 마련하였다. 또한 2013년 12월에는 정부차원의 첫 미세먼지대책이 발표되었다(<그림 12>). 이 대책은 첫째, 국민에게 적절한 주의 환기를 통한 안전 및 안심 확보, 둘째, 미세먼지의 현상규명과 감축대책을 통한 환경기준 달성, 마지막으로 한중일간 정책협력 및 대화를 통한 아시아지역의 깨끗한 대기의 공유를 목표로 하고 있다. 그리고 이를 위한 대책으로 발생원에 대한 정보 정비, 미세먼지의 발생량 예측 및 이동 정보에 대한 과학적인 시뮬레이션 모델 구축, 대기환경 모니터링의 충실 등을 기하도록 하고 있다. 관련하여 환경성내에 「미세먼지 인벤토리 및 발생원 프로필 책정 검토회」를 설치하여 미세먼지의 고정오염원 및 이동오염원 그리고 중소기업 발생원의 배출실태에 대한 정확한 파악을 통해 시뮬레이션 모델의 데이터베이스로 활용할 계획이다.⁸⁾

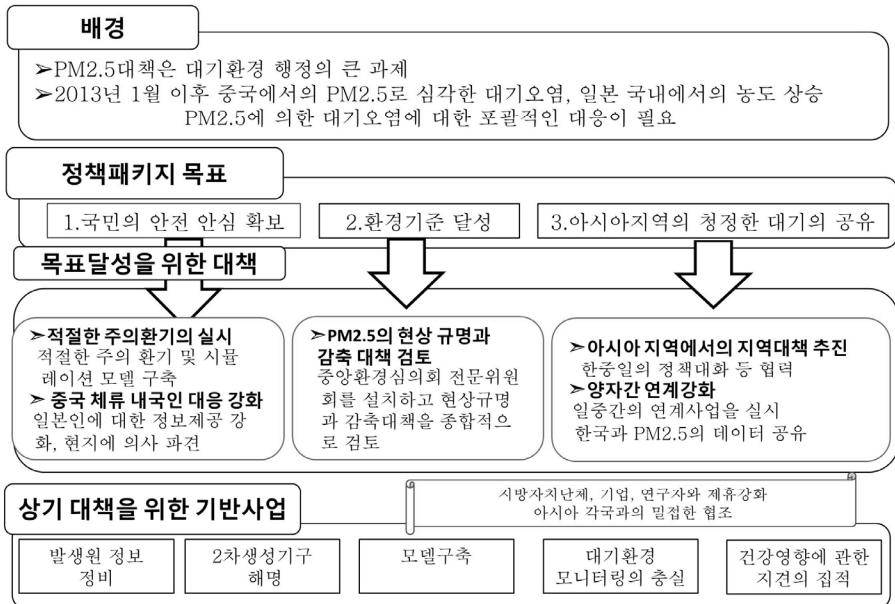
8) 여기와 관련한 연구로서 환경성 공모연구과제로 추진중 혹은 추진하였던 연구로서는 다음을 들 수가 있다. 茶谷聰, 「大氣中の二次汚染物質に對する發生源寄与推計と對策立案に資する規範的モデルの確立(대기 중의 2차오염 물질에 대한 발생원인기여 추계와 대책입안에 이바지하는 규범적 모델의 확립)」(2016~2018년), 高見昭憲, 「PM2.5予測精度向上のためのモデル・發生源データの改良とエアロゾル揮發特性の評価」(PM2.5예측도 향상을 위한 모델, 발생원데이터의 개량과 에어로졸 휘발특성의 평가)(2014~2016년). 연구개요는 참고문헌의 PDF파일을 참조바람.

국민의 안전 및 안심 확보를 위한 대책으로 2013년 2월에 “주의환기를 위한 잠정적인 방침”을 책정하여 일평균치가 $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과가 예상될 경우와 오전 5시부터 7시 사이의 1시간 수치의 평균치가 $85\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘을 경우에 국민들에게 주의보를 발령하기로 하였다. 2013년 11월에는 주의보 발령의 판단방법을 개선하여 추가적으로 오전 5시부터 12시 사이의 1시간 수치의 평균치가 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘을 경우 주의보 발령 방침을 설정하여 그동안 파악하지 못한 하루 일과 중의 미세먼지 농도 상승에 대한 대응을 강화하였다(<그림 13>).

그리고 주의보 발령 정보를 환경성 홈페이지에 게재하는 한편 광역자치단체에 의한 주의보 발령 정보도 홈페이지에 일괄적으로 게재함으로써, 어느 자치단체에서 주의보가 발령 되었는지 확인 가능토록 하였다. 아울러 자치단체에 의한 주의보 발령 상황을 지속적으로 파악하면서 특히 미세먼지의 농도가 높아지는 겨울부터 봄까지 미세먼지 발생 동향을 예의 주시하고 “PM2.5에 관한 전문가회의”를 통하여 추가적인 잠정치침 수치 개정의 필요성 여부에 대해서도 검토 하도록 하였다.

<그림 12> 미세먼지에 관한 종합적인 대책(종합 패키지)개요

(2013년12월 환경성 공표)



출처: 環境省大氣環境課(2014)

한편 중국 체류 중인 일본인을 위한 미세먼지 정보관련 홈페이지를 설치하여 중국 각지의 미세먼지 데이터, 오염 발생시의 대응 매뉴얼, 중국의 대기오염에 관한 알기 쉬운 정보를 제공하고 있다. 그리고 중국 진출 기업에 대해서 중국 대기오염과 그 대응에 관해 일본 국내에서 설명·상담회를 개최하는 등 향후 중국 체류 예정인 일본인에 대해서도 대책을 마련하고 있다.

일본정부는 미세먼지 환경기준 달성을 위한 국내 대책으로 단기적 과제와 장기적 과제로 구분하여 대책을 실시하고 있다(<그림 14>).⁹⁾ 먼저 단기적 과제로는 미세먼지의 1차 생성 미세먼지(매연, 디젤 미립자 등)와 2차 생성 미세먼지의 원인이 되는 전구물질(NOx, VOC 등)의 배출규제 상황 점검, 배출실태 파악과 배출억제 기술현황을 조사하여 대책의 조기실시 가능성을 모색하고 있다. 또한, 대기오염방지법 규제대상 제외 물질인 암모니아(NH₃)와 산불 및 들불 등 각종 연소가스의 배출 상황에 대한 대책도 검토하고 있다.

<그림 13> 미세먼지에 대한 주의보 발령 지침현황

> 2013년 2월 "주의보 발령 위한 잠정적인 방침"(잠정 지침)을 책정.

일평균치가 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘는다고 예상될 경우에 주의환기를 하고, 오전 중의 빠른 시간대의 판단에 이용하기 위한 수치로서, 5시부터 7시의 1시간 수치의 평균치가 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘을 경우

> 2013년 11월 잠정 방침의 판단방법을 개선.

오전 중의 빠른 시간대 판단 방법은 변경하지 않고 오후 활동에 대비한 판단에 이용하기 위한 수치로서 새로 5시부터 12시의 1시간 수치의 평균치가 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘을 경우를 설정. 그동안 파악하지 못한 일종의 농도 상승에도 일정 정도 대응이 가능.

> 주의보 발령의 정보를 환경부 HP에 게재.

광역자치단체에 의한 주의환기의 실시 정보를 환경부 HP에 일원적으로 게재하고 어느 자치단체에서 주의환기가 실시되었는지 확인

> 향후 운용 개선 대책.

이러 자치단체에 의한 주의환기의 실시상황을 지속적으로 파악하면서 겨울부터 봄까지 데이터에 대해서 해석하고"PM2.5에 관한 전문가회의"를 개최하고 새로운 운용 개선에 관한 검토를 실시. 그리고 향후 잠정지침 수치의 개정 필요 여부에 대해서도 아울러 검토.

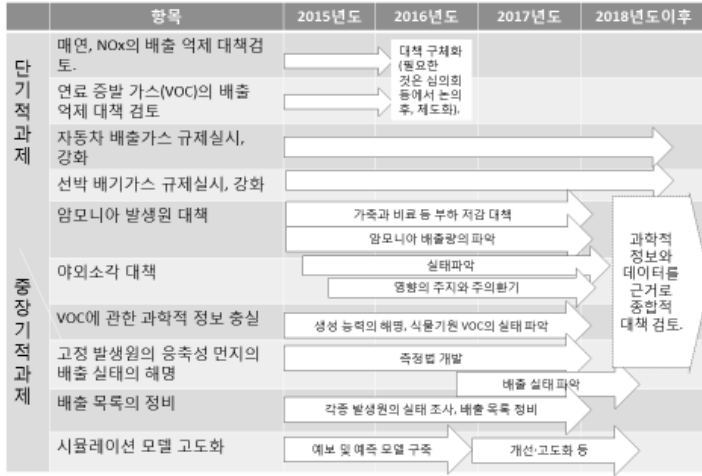
주의보 발령을 위한 잠정적인 지침				
레벨	잠정 지침치	행동 기준	주의보 발령 판단 수치*3	
			오전중 빠른 시간대의 판단	오후 활동에 대비한 판단
II	70초과	필요불급한 외출이나 야외에서 장시간의 격렬한 운동을 가급적 줄임. (고감수성자*2는 컨디션에 따라서 신중하게 행동하는 것이 바람직하다.)	5시~7시	5시~12시
			1시간 수치($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1시간 수치($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
I	70이하	특히 행동을 제약할 필요는 없지만 고감수성자는 컨디션의 변화에 주의	85초과	80초과
			85이하	80이하
환경 기준	35이하+1			

*1환경기준은 환경기준법 제16조 제1항에 근거한 사람의 건강을 보호하고 유지하는 것이 바람직한 기준
PM2.5에 관련된 환경기준이 단기기준은 일평균치 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 일평균치의 연간 98퍼센타일치로 평가
*2고감수성자는 호흡기계나 순환기계 질환자, 소아, 고령자 등
*3잠정 지침치는 일평균치 초과 여부를 판단하기 위한 값

출처: 環境省大氣環境課(2014)

9) 각 발생원별 구체적인 장단기 대책에 대해서는 環境省PM2.5専門委員會(2015)를 참조바람.

〈그림 14〉 일본의 미세먼지 대책의 장단기 과제별 스케줄



출처: 環境省 大気環境課(2014)

장기적 과제로서는 고정발생원으로부터의 1차 생성 미세먼지에 대한 적절한 측정방법의 개발을 비롯하여 발생원 정보 및 데이터의 분석방법을 정교화함으로써 보다 효과적인 대책 마련을 위한 기반을 정비 하고 있다. 특히 2차 생성 미세먼지에 대한 과학적 메카니즘을 규명 하고 미세먼지의 전구 물질인 휘발성유기화합물질(VOC) 등의 배출억제 가능성에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 이처럼 일본에서의 미세먼지대책은 별도의 규제정책을 강도 높게 실시하기보다는 기존의 대기오염방지법과 자동차배기가스 규제 관련법의 실시 상황을 점검하고 미세먼지의 발생원 및 발생경로 관련 정보와 자료정비에 힘을 쏟고 있다. 아울러 미세먼지에 대한 보다 정확한 발생원 및 발생량에 대한 정보를 신속히 국민에게 전달하기 위하여 중앙정부 및 지방자치단체와 연계 강화, 정보공유를 도모하면서 모니터링 체제를 정비하도록 하였다. 현재 미세먼지를 비롯한 대기오염물질의 상시감시는 대기오염방지법에 근거하여 지방자치단체가 실시하고 있다.

일본의 미세먼지 측정소 수는 2011년 3월 말 기준으로 148개소에서 2015년 3월 말 870개소로 늘어났으며 2016년 말에는 1,000개소 이상으로 늘어난 것으로 파악되고 있다. 측정된 데이터는 환경성이 운용하는 환경성 대기오염물질 광역감시시스템의 홈페이지

이지에서 상시 공개되고 있다.¹⁰⁾ 아울러 미세먼지의 예측, 예보력의 정밀도 향상을 위한 시뮬레이션 모델의 구축 노력도 기울이고 있다.

2. 한중일 국제협력대책

일본정부는 중국과 한국 특히, 중국으로부터의 미세먼지 발생원에 대한 억제노력 없이는 근본적인 해결이 어렵다는 것을 인식하고 동아시아의 대기오염방지관련 국제협력 프로그램을 통한 해결 방안을 모색하고 있다. 이와 관련한 국제협력 프로그램으로서는 EANET (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia), LTP (Long-Range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia), NEASPEC (North East Asian ubregional Programme of Environmental Cooperation), TEMM(Tripartiate Environment Minister Meeting) 등이 대표적이다.¹¹⁾

일본은 최근 들어 특히 한중일 3개국 환경장관회의(TEMM)를 통한 대책 모색에 힘을 기울이고 있다. 2014년 3월 중국에서 개최된 TEMM16에서는 대기오염에 관한 3개국 첫 회담이 열렸으며, 2015년 4월 한국에서 개최되었던 TEMM17에서는 각국이 직면하는 대기오염의 구체적인 과제(휘발성 유기화합물이나 Off-road 자동차의 배기가스 대책 등)에 대해서 정보와 경험을 공유하기로 하였다. TEMM 17에서는 향후 5년간의 공동 행동계획을 채택하여 대기환경 개선을 위한 한중일 협력을 강화하기로 합의하였다. 구체적으로 대기오염 분야에서는 첫째, 3개국 정책 대화를 통한 협력 강화, 둘째, 3국간 정책대화에 2개의 워킹그룹(① 대책에 관한 과학적 연구, ② 대기오염에 대한 모니터링 기술 및 예측기법) 설치, 셋째, 대기환경 개선을 위한 우수 대책의 공유를 합의하였다(<그림 15>).

2016년 4월 개최된 TEMM18에서는 미세먼지대책이 최우선 과제인 것을 확인하였고, 중국이 필요로 하는 기술과 일본이 보유하고 있는 기술의 매칭(matching)을 촉진시키기 위해 신설되는 「환경오염방지·억제기술을 위한 3개국 협력 네트워크」를 활용하여 미세먼지의 성분분석에 관한 정보교환이나 미세먼지 대책에 이바지하는 기술에 관한 정보 교환을 강화하기로 합의하였다.

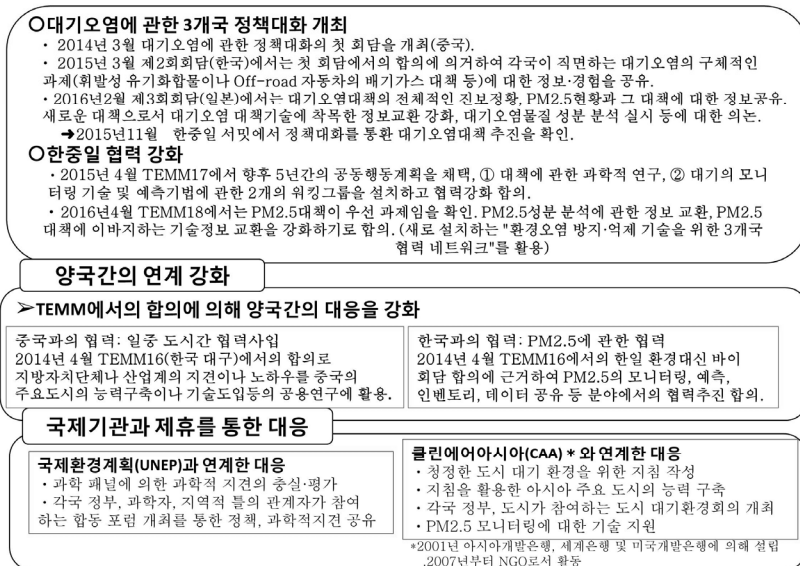
10) 환경성 대기 오염 물질 광역 감시시스템은 소라마메군이라는 명칭으로 다음 웹사이트에서 공개되고 있다. <http://soramame.taiki.go.jp/>

11) 이들 프로그램의 역할과 과제에 대해 자세한 사항은 심창섭 등(2015)을 참조 바람.

특히 일본은 중국과의 다양한 연계협력대책을 추진하였는데 예를 들어 풍부한 대기 오염 관련 대책 경험과 환경기술을 가진 일본의 자치단체 등의 지식이나 노하우를 중국의 주요 도시의 인재 육성 등에 활용하고, “중국 대기환경 개선을 위한 도시간 연계에 관한 회합”을 도쿄에서 개최함으로써 산학관이 팀을 구성하여 국내 네트워크를 강화하고 있다(<그림 16>). 그리고 일본측이 제공할 수 있는 부분(협조 seeds)와 중국측이 원하는 수요(협조 needs)를 파악하여 도시간 연계를 통한 구체적인 협력을 촉진하고 있으며, 연구기관이나 전문기관이 이를 지원하고 있다.

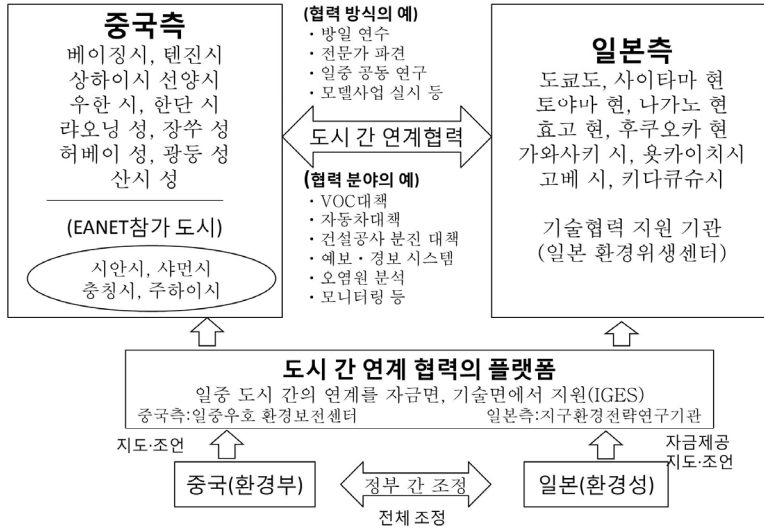
우수 사례에 대해서는 도시간 연계 플랫폼을 통하여 공유함으로써 협력관계 증진을 도모하고 있다. 이러한 사업은 오염이 심각한 베이징시, 톈진시 등 중국측에서도 많은 관심을 보이고 있다. 한편, 한국과는 정부 관계자 및 전문가 회의를 개최하여 미세먼지의 측정, 평가, 데이터 공유 등에 관한 협력, 대기오염물질 발생이나 이동 등에 대한 정보 교환과 공동연구, 환경기준 달성을 위한 정보교환을 촉진하고 대책 강화에 활용하는 등 다양한 협력을 추진하고 있다.

〈그림 15〉 한중일 환경장관회의에 근거한 한중일 협력의 개요



출처: 環境省 大氣環境課(2015b)

〈그림 16〉 중국 대기 환경개선을 위한 도시간 연계 협력방안의 개요



출처: 環境省 大氣環境課(2015b)

〈표 3〉 중국 대기환경 개선을 위한 자치단체 및 도시간 연계협력사례

일본측	중국측	사업개요
사이타마현	산시성	분석 기술 습득을 목적으로 한 기술직원 연수를 실시 및 분석·기술직원의 교류를 통한 정책적·기술적인 정보의 공유
도쿄도	베이징시	연구자 수용
토야마현	랴오닝시	JICA일반 기술협력의 지원을 받아 VOC실태조사, 연수원 수용과 기술직원 파견, 시민용 계발활동을 실시
나가노현	허베이성	방일 연수 등의 실시
효고현	광둥성	PM2.5공동 조사연구 검토·실시 및 직원 전문가 파견, 방일 연수 기술교류 협력사업(시범 사업)의 제안, 워크숍 개최
후쿠오카현	장쑤성	방일 연수, 발생 요인의 해석 등의 분야에서 공동연구 및 모델 사업의 실시를 위한 기초 조사, 일중 쌍방의 체제 구축
가와사키시	선양시	분석 기술 등에 관한 방일 연수 및 현지 세미나 실시
윗카이치시	텐진시	현지 세미나의 대상지역 확충 및 방일 연수
코베시	텐진시	방일 연수의 수용 및 현지 세미나 등 참가
키타큐슈시	상하이시, 우한시, 한단시, 텐진시	방일 연수, VOC대책 등의 개별 테마에 대해서 현지 세미나 개최, 예보·예측이나 오염원 분석 등의 분야에서 공동 연구 실시

출처: 環境省 大氣環境課(2015b)

일본정부는 중국과의 협력을 구체화하기 위해 현재 중국과 일본의 지방도시간 대기환경 개선을 위한 연계 사업을 적극 추진하고 있다. 예를 들어 표3에 나타나 있듯이 일본 정부는 모델사업 등을 통해 도쿄, 가와사키, 후쿠오카 등 10 여개 도시와 중국의 베이징, 상하이 등 15개 도시 및 기업 간의 연계협력사업에 대해 자금 및 인력, 기술면에서 지원을 하고 있다. 양국 도시의 협력방식의 예로서는 중국 지방정부 및 기업관계자의 방일 연수, 일본 측의 전문가 파견과 공동 연구, 모델사업 실시 등이며 협력분야로는 VOC대책, 자동차대책, 건설 공사 분진 대책, 예보·경보 시스템, 오염원 분석 및 모니터링 등 다양한 분야에 걸쳐있다.

V. 미세먼지 삭감대책과 한중일 협력 과제

효과적인 미세먼지 대책을 마련하기 위해서는 먼저 발생원과 발생원으로부터 배출되는 원인물질의 배출량을 유형별로 파악, 정리한 인벤토리의 정비가 시급하다. 아울러 발생원별 미세먼지 생성 기여도 및 이동에 대한 고도의 시뮬레이션 모델의 개발도 필요하다. 미세먼지의 발생원과 발생메카니즘의 과학적인 규명이 부족하고 발생량에 대한 정확한 인벤토리의 작성이 제대로 되어있지 않은 상황에서는 효과적인 대책이 어렵고 정책시행에 따른 사회적 비용이 크게 늘어날 가능성이 높다. 이는 마치 온실가스 발생원과 발생량에 대한 인벤토리의 정비 없이 배출권거래제도 등 기후변화 대책을 추진하는 것과 마찬가지로 할 수 있다.

미세먼지대책은 이와 병행하여 경제적 유인제도의 보완도 필요하다. 예를들어 미세먼지 방지시설에 대한 장기 저리융자 제공 및 조세우대제도 확대, 전기자동차 등 에코자동차 보조금 제도의 확충 등이다¹²⁾. 이러한 보조제도는 미세먼지대책뿐만 아니라 관련 산업의 발전에도 기여하게 된다. 자동차검사제도 개정을 통한 노후차량의 조기 폐차유도, 급유시에 발생하는 연료증발가스(VOC) 억제를 위한 연료공급 시설에서의 대책과 자동차 구조면에서의 대책도 경제적, 기술적 측면을 고려해가면서 검토할 필요가 있다. 선박 또한 연료유의 품질개선과 휘발성물질의 배출억제에 노력할 필요가 있다.

미세먼지 발생물질에 대한 부과금제도의 정비확충도 고려해 볼 필요가 있다. 동아시아

12) 일본에서는 전기자동차에 대해서는 한 대 당 최고 약 600만원까지 그리고 수소(연료전지)자동차에 대해서는 한대 당 약 2000만 원을 보조해 주고 있다(작년에 본격 출시된 토요타의 수소자동차 미라이가 해당).

아 지역에는 다양한 형태의 환경부과금제도가 시행되어 오고 있다. 부과금제도는 재원 조달 기능이 있어서 제도 시행에 의해 거두어지는 재원을 미세먼지발생 억제를 위한 인센티브로 활용할 수 있다는 장점도 있다(李秀澈, 2010).

그리고 한국의 경우 현재 대기업(온실가스규제 대상)이 중소·중견기업(비규제 대상)에 기술 및 자본 지원을 통하여 온실가스 감축을 실현하였을 경우 상쇄배출권 획득을 인정하는 그린크레딧 제도가 시행되고 있는데, 동 제도의 대상오염물질로 미세먼지를 추가하는 방안을 고려해 볼 필요가 있다.¹³⁾ 화석연료사용으로 인한 미세먼지와 기후변화문제는 밀접한 상관관계가 있다. 화석에너지 사용의 삭감은 이 두가지 문제의 동시적 해결에 크게 기여한다(소위 Co-benefits Approach).

전술한 바와 같이 일본 정부는 중국의 미세먼지 발생원의 억제노력 없이는 근본적인 해결이 어렵다는 것을 인식하고, 현재 모델사업 등을 통해 도쿄, 가와사키, 후쿠오카 등 10여개 도시와 중국의 베이징, 상하이 등 15개 도시, 기업간의 연계협력사업에 대해 자금 및 인력, 기술면에서 지원을 하고 있다. 우리나라도 몇 년 전에 한중 도시간 연계 협력 사업을 전개하겠다는 발표가 있었으나 그 후 이렇다 할만한 진전이 있지 못했다. 미세먼지는 지역특성에 맞게 지역별로 탄력적으로 대응해야 효과적이며 미세먼지의 근본적인 해결을 위해서는 한중일 도시 및 기업간의 연계사업이 매우 중요하다.

우리 정부도 미세먼지 저감은 국가 간 공조가 중요하다는 인식 하에 매년 개최되는 한중일 환경장관회의(TEMM) 등 동아시아 대기오염방지관련 국제프로그램에 참가하고 있으나 이들 회의체는 법적 효력을 가지고 있지 못해 실효성 있는 협력사업이 이루어질지는 불투명하다. 심창섭 등(2015)도 이들 국제협력 프로그램은 재정능력이 취약한데다가 강제력이 없어서 심포지엄 등을 통한 정보공유차원에 머물고 있으며 실제 정책으로 연결되기가 어렵다고 하였다.

미세먼지대책에 관한 상호 구속력 있는 정책실행을 위해서는 유럽, 북미 50여개국이 1979년 체결한 ‘월경(越境)성 장거리이동 오염물질협약’처럼 우리도 조속히 3국간 ‘동아시아(또는 한중일) 대기환경협약’을 체결하고, 사무국을 창설하는 등 한중일 환경장관회의를 법적효력이 있는 상설기구로 격상 시켜야 한다. 아울러 EANET와 LTP 등 기

13) 우리나라의 그린크레딧제도와 유사한 제도로써 일본에는 J-크레딧제도가 있다.

존의 동아시아 대기환경보전 프로그램의 역할과 기능을 통합하고 재정능력 확충을 통한 대기모니터링 기술 확립과 미세먼지의 배출과 이동 그리고 삭감효과를 검증할 수 있도록 고도화된 시뮬레이션모델을 한중일 협력하에 조기 구축하도록 하여야 한다.

또한 대기 환경개선에 관한 경험과 노하우를 공유하기 위해 민간기업을 중심으로 한 한중일 공동사업을 실시하도록 할 필요가 있다. 협정을 통해 미세먼지 삭감프로젝트에 참여한 사업체에 대해 삭감분에 대한 크레딧(경제적 가치)를 제공할 경우, 우수한 에너지대책 기술을 보유하고 있는 한일의 기업이나 관련기관의 참여를 촉진시키게 된다. 현재 일본 정부가 기후변화대책의 일환으로 적극적으로 추진하고 있는 양국간 크레딧(Joint Credit Mechanism) 제도를 미세먼지 가치도 고려하여 동아시아지역에 전개할 경우 동아시아지역의 대기환경 보전 뿐만 아니라 저탄소화에도 기여할 것이다.

동아시아지역에 있어서 특히 미세먼지 등 대기환경문제는 환경공동체적 운명하에 있다.¹⁴⁾ 한중일 정부 및 도시, 기업간 연계협력은 중간자적인 입장에 있는 우리나라의 정부가 적극적으로 이니셔티브를 쥐고 추진해 나갈 필요가 있다.

미세먼지의 해결은 인체의 건강문제 뿐만 아니라 화석연료사용을 줄임으로서 기후 변화대책에도 유효하다. 미세먼지 등 대기 중의 미세입자 그 자체도 태양광을 산란, 흡수시켜 지구온난화의 주요 요인이 되고 있다는 연구도 있다. 미세먼지 발생은 많은 부분이 석탄 등 화석에너지 사용에 기인하고 있는 만큼 미세먼지대책을 통해 에너지절약과 저탄소 에너지 기술 등 환경산업의 진흥과 인재육성에도 기여할 수 있다. 결론적으로 미세먼지 문제는 발생원에 대한 모니터링 및 발생량 예측을 위한 기술 향상과 체계적인 관련 데이터의 축적을 바탕으로 장단기 국내대책을 수립하고, 실효성 있는 한중일간 정책협력을 추진해 나가는 한편 국민의 건강을 보호할 수 있는 종합적이고도 과학적인 대책이 필요하다.

VI. 맺음말

본 논문에서는 일본의 미세먼지 발생 현황과 대책에 대하여 기존 문헌을 중심으로 살펴보았다.

14) 이러한 생각에 대해서는 李秀澈(編著)(2014), Soocheol Lee et al. (eds.)(2015)를 참조 바람.

미세먼지는 발생원이 매우 다양하며 발생메카니즘이 복잡하여 아직 일본에서도 자동차 등 이동오염원을 제외하고는 미세먼지에 대한 정확한 인벤토리의 정비가 이루어지지 못하고 있어서 효과적인 대책에 한계가 있는 상황이다. 이에 따라 연구자와 정부기관이 국민건강 관리를 위한 장단기 대책과 매뉴얼 작성을 수립하는 한편 인벤토리 정비를 위한 노력을 기울이고 있다.

미세먼지 대책을 보다 어렵게하는 것은 중국 등 국외로부터 유입되는 미세먼지 문제이다. 이에 따라 일본은 우리나라를 포함한 이웃 국가, 특히 중국과 협력을 통한 미세먼지 줄이기 위한 노력을 해오고 있다. 일본은 과거 고도성장기에 심각했던 대기오염문제를 지방자치 단체들이 지역특성에 맞는 고유의 정책설계 등으로 효과적으로 대응했던 경험이 있어서 이러한 경험을 중국의 지방자치단체에 전수해 주는 중일 도시간 협력사업을 전개하고 있다. 기업들은 이와 관련한 설비 기자재와 기술을 중국에 판매하는 등 비즈니스 기회를 얻고 있다. 이러한 협력사업은 매우 중요하나 단발성 사업에 그치지 않고 앞으로도 추진동력을 유지할 수 있는지는 미지수이다.

향후 이러한 노력을 한중일간으로 확대하고 지속가능한 실효성 있는 대책을 추진하기 위해서는 한중일 대기오염방지에 관한 법적효력이 있는 협약을 체결하고, 3국간 협력하에 적극적으로 미세먼지를 줄이기 위한 대책마련에 나서야할 것이다. 중국의 경우 미세먼지발생의 60% 이상이 화석연료연소에 기인하고 있으므로 한중, 중일 양국간 크레딧(Joint Credit Mechanism) 제도의 도입 및 활용을 적극 검토해 볼 필요가 있다. 이러한 제도는 기후변화문제와 미세먼지의 동시적 해결에 도움이 될 뿐만 아니라 관련 비즈니스와 기술 확산에도 기여하게 된다.

한중일을 중심으로한 동아시아 지역은 환경에너지 측면에서 공동체적인 운명하에 있다. 한중일 3국이 미세먼지 뿐만 아니라 대기환경 및 기후변화문제 해결을 위한 법적효력이 있는 기구를 창설하여 정부간 정책협력과 도시간 및 기업간 교류가 크게 진전될 경우 향후 이 지역의 평화와 지역통합에도 기여할 것으로 예상된다. 유럽의 경우 과거 석탄과 철광의 공동사용을 위한 교섭으로부터 출발하여 경제전반에 걸친 협력이 진행되었으며 오늘의 EU에 이르게 되었음을 감안하면 환경에너지부문의 협력은 동아시아 지역 통합의 출발점이 될 수 있을 것이다.

미세먼지는 발생원이 매우 다양하고 발생 메카니즘도 복잡함을 본문에서 밝혔으나

석탄화력을 중심으로 한 화석에너지의 사용이 가장 큰 요인임에는 틀림이 없다. 보다 근본적으로는 한중일 모두가 에너지시스템의 재편을 통한 화석에너지 사용을 획기적으로 줄이는 것은 미세먼지 뿐만 아니라 지구의 미래를 크게 위협하고 있는 기후변화문제의 대책에도 매우 중요함을 다시한번 인식할 필요가 있다(Soocheol Lee, et. al., eds, 2015).

마지막으로 본고는 서두에서 밝힌 바와 같이 일본의 기존문헌에 대한 고찰을 바탕으로 향후 동아시아 지역의 미세먼지의 건강피해를 줄이기 위한 한중일 환경협력 방향에 대한 아이디어를 제공하였다. 앞으로는 현재 진행되고 있는 일본과 중국의 도시간, 기업간 협력 사례에 대한 현지 방문조사와 치밀한 데이터분석을 바탕으로 한중일의 보다 실효성있는 협력방향에 대한 연구를 추진하는 것이 필요하다.

[References]

- KEI 보고서(공성용, 배현주, 윤대용, 홍석표, 박해용), “미세먼지의 건강영향평가 및 관리 정책연구 I”, 환경정책평가연구원, 2012.
- KEI 보고서(공성용, 배현주, 박해용, 홍석표), “미세먼지의 건강영향평가 및 관리정책연구 II”, 환경정책평가연구원, 2013.
- KEI 보고서(심창섭, 장임석, Naohiro Kitano), “동아시아 대도시 대기질개선을 위한 국제 공동 연구”, 환경정책 평가연구원, 2015.
- 金谷有剛, “日本のPM2.5はどこからくるか－越境汚染の寄与をさぐる”, 越境大気汚染へ挑戦 2013報告集, 2013.
- 菊地良栄, 菊池和也, 世良耕一郎, 小川信明, “韓国と日本の各都市における大気粒子状物質 (PM)中の 重金属元素の起源と輸送経路”, NMCC共同利用研究成果報文集17, 2010, pp. 113~125.
- 高見昭憲, “PM2.5予測精度向上のためのモデル・発生源データの改良とエアロゾル揮発特性の評価”, 環境省環境研究総合推進費プロジェクト2014~2016, 2014.
- https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/new_project/pdf/5-1408.pdf
- https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai_hyouka/h27/pdf/5-1408.pdf
- 東京都微小粒子状物質検討会 シミュレーションワーキング報告書, “シミュレーションモデルによるPM2.5 環境濃度の予測”, 시ミュ레이션手法に関するワーキンググループ”, 2010.

- 山神真紀子, 久恒邦裕, 池盛文数, “微小粒子状物質(PM2.5)の発生源寄与率の推定”, 名古屋市環境科学調査センター年報第1号, 2012.
- 李秀澈(編著), “東アジアの環境賦課金制度－制度進化の条件と課題”, 昭和堂, 2010.
- 李秀澈(編著), “東アジアのエネルギー・環境政策－原子力発電/地球温暖化/大気・水質 環境”, 昭和堂, 2014.
- 茶谷聡, “大気中の二次汚染物質に対する発生源寄与推計と対策立案に資する規範的モデルの確立”, 環境省環境研究総合推進費プロジェクト2016~2018, 2016.
- https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/new_project/h28/pdf/5-1601.pdf
- 茶谷聡, 森川多津子, 中塚誠次, 松永壮, “3次元大気シミュレーションによる2005年度日本三大都市圏PM2.5濃度に対する国内発生源・越境輸送の感度解析”, 大気環境学会誌第46巻第2号, 2011.
- 環境省 大気環境課, “PM2.5問題の現状と対応”, 2014.
- 環境省 大気環境課, “PM2.5問題の現状と対応”, 2015a.
- 環境省 大気環境課, “大気環境に関する国際協力について”, 2015b.
- 環境省PM2.5検討委員会, “日本国内におけるPM2.5発生源情報の整備のための取組－PM2.5排出インベントリ及び発生源プロフィール策定検討会の進捗報告－”, 2014.
- 環境省 PM2.5専門委員会, “微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方について中間取りまとめ(案)”, 2015.
- 環境省微小粒子状物質(PM2.5)に関する専門家会合, “最近の微小粒子状物質(PM2.5)による大気汚染への対応”, 2013.
- 日本大使館, “北京市内の大気汚染について”, 2016.
- http://www.cn.emb-japan.go.jp/index_j.htm
- Lee, S., P. Hector, and S. J. Park, eds, “Low Carbon, Sustainable Future in East Asia-Improving Energy System, Energy Tax and Policy Cooperation,” Routledge, 2015.
- 精華大学・Health Effects Institute 주최 대기오염과 건강영향 학술심포지엄발표 자료, “세계의 질병부담연구(GBD2010)”, March 31, 2013.