

## 영국 대기환경관리의 최근 동향

### Recent Trends of Air Quality Management in the United Kingdom

백성옥·김기현<sup>1)</sup>

영남대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>상지대학교 환경과학연구소

(1998년 3월 6일 접수, 1998년 4월 7일 채택)

Sung-Ok Baek, Ki-Hyun Kim<sup>1)</sup>

Dept. of Environmental Engineering, Yeungnam University

<sup>1)</sup>Institute of Environmental Science, Sang Ji University

(Received 6 March 1998; accepted 7 April 1998)

#### 1. 서 론

대기오염물질의 농도측정과 대기질관리 분야에 있어, 미국은 미주지역의 선도적인 역할을 수행하고 있다. 이에 반해, 유럽지역에서는 영국, 독일, 프랑스, 스웨덴 등과 같이 다수 국가들에 의해 주도되고 있다. 특히 대기질관리 분야의 경우 미주지역에서 생산되는 정보는 거의 무제한적으로 국내에 소개되는 경향이 있으나, 유럽지역의 정보는 상대적으로 접하기 어려운 실정이다. 본문에서는 최근 선진외국에서 이루어지고 있는 대기질관리의 주요기법과 현황 등을 소개하고자, 상대적으로 정보의 접속이 어려운 유럽지역의 여러 국가들 중 나름대로 독자적이면서도 체계적인 대기질관리 운용시스템을 개발 중인 영국의 사례를 최신자료의 활용을 통해 분석하였다.

영국은 1952년 1차 런던스모그사건 이후 1956년에 2차 스모그 사건까지 겪으면서 역사적으로 대기오염으로 인한 피해를 가장 심하게 받은 나라 중의 하나이다. 결국 불가피한 자연조건의 불리함을 극복하고 대기오염문제를 원천적으로 해결하기 위해 1956년에 세계최초로 Clean Air Act를 채택하고 이후 50년대 후반에서 60년대 초반에 걸쳐 꾸준히 국

가적인 연료전환 정책을 추구한 바 있다. 그 결과 70년대에는 SO<sub>2</sub>와 분진 오염도가 급격히 개선되면서 많은 도시지역에서 청정한 대기환경을 되찾을 수 있게 되었다. 그러나 이와 같은 상태가 80년대 후반까지 지속되자 대기오염으로 인한 피해의 심각성과 대기환경관리의 중요성에 대한 인식은 다른 환경분야에 비해 오히려 상대적으로 뒤떨어지는 결과를 초래하게 되었다(Baek, 1988). 그러던 중 1991년 겨울철에 런던에서 소위 제 3차 런던스모그사건이라고 부르는 고질적인 대기오염 사건이 다시 발생하게 되는데 이번에는 종래의 경우와 달리 그 원인이 자동차에서 배출된 질소산화물인 것으로 나타났다. 이 사건을 계기로 영국내에서는 대기오염 문제에 대한 새로운 각도의 접근이 필요하다는 인식이 전반적으로 대두되었다. 그 결과로 최근 4~5년간의 영국의 대기환경관리 정책은 독특한 특징과 함께 과거와는 달리 매우 빠른 속도로 발전하고 있으며, 다시 이 분야에서 선구적인 위치로 되돌아가고 있는 것으로 보인다(Fisk, 1995).

따라서 본 글에서는 영국의 대기오염 측정과 자료관리 실태 및 대기환경관리 전반에 걸친 최근 동향을 파악하여 국내의 대기환경관리에 유용한 정보를 제공하고자 하며, 이러한 의도가 대기분야에 관

련된 독자들에게 조그만 도움이 될 수 있기를 기대한다.

## 2. 영국의 대기환경기준

영국에서는 현재 총 8가지 항목에 대한 대기질 기준(혹은 권고치)을 마련하여 전국적인 측정망을 통해 중점적으로 관리하고 있다. 이들 기준항목은 대표적인 기준성 오염물질인 이산화황(SO<sub>2</sub>), 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 오존(O<sub>3</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO) 등 5가지 물질을 비롯하여 두 종류의 휘발성 유기화합물(benzene과 1,3-butadiene)과 납(Pb)으로 구성되어 있다. 이외에도 benzo(a) pyrene을 포함하는 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, 이하 PAHs)에 대한 기준설정이 현재 검토 중에 있다.

### 2.1 영국 대기환경기준의 종류

미국이나 일본, 혹은 국내 경우와는 달리 대부분의 유럽국가들이 그러하듯이 영국에서 적용되고 있는 대기환경기준(혹은 권고치)의 종류는 자국에 한해 적용되는 기준, 유럽국가연합에 공통적으로 적용되는 기준, 세계보건기구의 권고치 등 그 종류가 매우 다양하다. 따라서 임의적으로 어떤 특정 수치에 기준하여 인용하고자 할 때는 세심한 주의가 요망된다. 현재 영국에서 적용되고 있는 각종 대기질 기준을 요약하면 아래와 같은 다섯가지 종류로 구분된다. 한편, 이들 현행 기준을 감안하여 1997년 발간된 영국 국가 대기질 관리전략(National Air Quality Strategy, 이하 NAQS)에서는 각 오염물질별로 2005년 까지 달성하고자 하는 목표치를 설정한 바 있다.

#### 2.1.1 영국 국가 대기질 권고치(UK National Air Quality Guidelines)

영국 국가 대기질 권고치는 대기질 기준에 대한 전문가그룹(UK Expert Panel on Air Quality Standards, 이하 EPAQS)에 의해 설정된다. EPAQS는 1990년 9월에 출간한 환경백서 'This Common Inheritance'에 뒤이어 국가 대기질 기준을 검토하고 개선하기 위한 각종 대기질 정책 자문을 목적으로 다음해인 1991년에 환경장관의 요청에 의해 설

립되었다. 당 위원회는(대기오염이 인체 및 생태계에 미치는 영향에 대한 과학적 증거 및 대기질 측정망의 개발정도 등을 고려하여) 대기오염관련 정책 개발과 대기질에 대한 대중의 이해·인식을 증진시키기 위해 자국 대기질 기준의 설정 및 적용에 대한 자문을 주목적으로 설립되었다. EPAQS는 의학, 환경, 기상, 보건, 화학 등 각분야의 전문가 12인 및 관련 정부부처에서 파견된 5인의 총무진으로 구성되는데, 참고로 현재 University of Aberdeen 의과대학의 Professor Seaton이 위원장직을 맡고 있다.

EPAQS가 기준을 권고할 때는 그 오염물질이 인체에 미치는 영향 등 많은 사항들을 고려하므로, 일단 특정 오염물질에 대해 제안된 기준치 수준 이하인 거의 국민보건에 위해하지 않은 것으로 간주할 수 있다. 현재까지 EPAQS에 의해 권고치가 제안된 오염물질은 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, 벤젠과 1,3-butadiene 등 총 6가지 항목에 이르고 있다.

#### 2.1.2 영국 대기질 등급(UK Air Quality Bands)

이 기준은 영국 환경부(U.K. Dept of Environment)에서 설정한 것으로서 비전문가인 일반대중을 위한 일종의 대기질 상대지수로 볼 수 있다. 즉, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 및 O<sub>3</sub>에 대해서는 측정된 농도에 따라 대기질이 '매우 좋음', ' 좋음', '나쁨' 및 '매우 나쁨'의 4등급으로 매겨지고, 2종의 탄화수소 즉, 벤젠과 1,3-butadiene에 대해서는 '낮음', '보통', '높음' 및 '매우 높음'으로 각각 분류한다. 이와 같은 등급의 재분류작업이 현재 진행되고 있으나 아직까지 확실한 결론이 알려진 바는 없다.

#### 2.1.3 유럽공동체 제한치와 권고치 지침(European Community Directives Limit and Guide Values)

유럽공동체(EC)의 소속국가들은 자국의 기준이 외에도, 각 분야에서 유럽공동체의 지침을 따라야 한다. 대기질 규제와 관련한 지침기준치는 현재까지 SO<sub>2</sub>(1980년), Pb(1982년), 질소산화물(1985년) 및 O<sub>3</sub>(1992년)의 4가지 항목에 대하여 설정되어 있고, CO와 벤젠에 대한 기준치는 마련 중인 상태에 있다. 또한 대기질 규제와 관련하여 기존의 EC 훈령은 머지 않아 환경 대기질 평가와 관리에 관한 새로운 유럽 연합의 framework 지침으로 대체될 전망이다.

2. 1. 4 세계보건기구 권고치 (World Health Organization Guidelines)

일반적으로 세계보건기구(WHO) 권고치는 유럽 공동체 지침에 의한 제한치와 권고치에 비해 보다 엄격한 수준으로 설정되어 있다. 더욱이 WHO의 일부 권고치는 현재의 기준보다 더욱 강화될 전망이다. 예를 들면, NO<sub>2</sub>의 권고치는 현재수준의 절반 정도로 강화될 것으로 보인다.

2. 1. 5 유럽국가연합 경제위원회 위험수준치 (UN Economic Commission for Europe Critical Levels)

유럽국가연합 경제위원회(UNECE)는 별도로 NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 및 O<sub>3</sub>의 3가지 항목에 대하여 위험수준치를 설정해 두고 있는데 이 기준치들이 의미하는 바는 인체에의 영향보다는 단지 식물의 생장에 영향을 주지 않을 정도의 수준을 고려하고 있다.

2. 2 오염물질별 대기환경기준

2. 2. 1 이산화황 (SO<sub>2</sub>)

영국에서 측정된 SO<sub>2</sub>의 농도는 때로는 사람에게 자극을 주고 반사적인 기침을 동반하거나, 흉부압박감 또는 기도협소감을 유발할 수 있을 정도의 위험한 수준으로 나타난 적도 있다. 이러한 영향은 천식과 만성 폐질환으로 호소하는 사람에게 더 쉽게 느껴질 수 있다. 그러나 실제적으로 SO<sub>2</sub>에 노출시 폐질환을 초래할 가능성 등과 같은 장기적인 영향에 대한 결정적인 증거는 아직 나타나지 않고 있다. EPAQS는 1995년에 SO<sub>2</sub>에 대해서 15분 평균치로서 100 ppb의 환경대기질 기준을 설정한 바 있으며(UK DOE, 1995a), 기타 SO<sub>2</sub> 관련 대기질기준은 표 1에 나타내었다.

2. 2. 2 미세먼지 (PM<sub>10</sub>)

영국에서 최근 측정되는 먼지농도 수준에서, 아주 건강한 사람에 대한 악영향을 미칠 수 있다는 증거 자료가 제시된 바는 없다. 그러나 어떤 발생원에서 배출된 입경 10µm 이하의 작은 먼지(PM<sub>10</sub>)는 먼지에 민감한 집단에게 심장과 호흡문제를 악화시킬 수 있다. 이런 영향들은 유아들로부터 돌연사망 가

표 1. 이산화황 (SO<sub>2</sub>)에 대한 영국 대기환경기준.

Guideline set by	Description	Value ppb (µg/m <sup>3</sup> )	Criteria based on
UK DOE	Very good	< 60 (160)	peak hourly mean in a 24 hour period
	Good	60 ~ 124 (160 ~ 332)	
	Poor	125 ~ 399 (333 ~ 1063)	
	Very poor	≥ 400 (1064)	
EPAQS	Health guideline	100 (266)	15 min mean
UK NAQS	Objective by 2005	100 (266)	yearly 99.9th percentile
European Council	Limit value	30 (80) if smoke <sup>1)</sup> > 34	yearly median of daily values
		45 (120) if smoke ≤ 34	
	Limit value	49 (130) if smoke > 51	winter (Oct. to Mar.) time median of daily values
		68 (180) if smoke > 34	
	Limit value <sup>2)</sup>	94 (250) if smoke > 128	yearly 98th percentile of daily values
		131 (350) if smoke ≤ 128	
Guide value	15 ~ 23 (40 ~ 60)	yearly mean of daily values	
Guide value	38 ~ 56 (100 ~ 150)	daily mean value	
WHO	Health guideline	175 (500)	10 minute mean
	Health guideline	122 (350)	hourly mean
	Vegetation guideline	38 (100)	daily mean
	Vegetation guideline	10.4 (30)	annual mean
UNECE	Vegetation guideline	26 (70)	daily mean
	Vegetation guideline	7.5 (20)	annual mean

1) Limits for black smoke are given in µg/m<sup>3</sup> for the BSI method as used in the UK, and the limits stated in the EC Directive relate to the OECD method, where OECD=BSI/0.85.

2) Member states of EC must take all appropriate steps to ensure that three consecutive days do not exceed this limit value.

표 2. 호흡가능성 미세먼지 (PM<sub>10</sub>)에 대한 영국 대기환경기준.

Guideline set by	Description	Value (µg/m <sup>3</sup> )	Criteria based on
EPAQS	Health guideline PM <sub>10</sub>	50	running 24 hour mean
UK NAQS	Objective by 2005	50	yearly 99th percentile
WHO	Health guideline	70 if SO <sub>2</sub> ≥ 125 (48 ppb)	24 hour mean

표 3. 이산화질소(NO<sub>2</sub>)에 대한 영국 대기환경기준.

Guideline set by	Description	Value, ppb (µg/m <sup>3</sup> )	Criteria based on
UK DOE	Very good	< 50 (96)	peak hourly mean in a 24 hour period
	Good	50 ~ 99 (96 ~ 190)	
	Poor	100 ~ 299 (191 ~ 572)	
	Very poor	≥ 300 (573)	
EPAQS	Health guideline	150 (280)	hourly mean
		21 (40)	annual mean
UK NAQS	Objective by 2005	150 (280)	hourly mean
		21 (40)	annual mean
European Council	Limit value	105 (200)	yearly 98th percentile
	Guide value	71 (135)	of hourly means
	Guide value	26 (50)	yearly 50th percentile
WHO	Health guideline	210 (400)	hourly mean
	Health guideline (draft)	110 (22)	hourly mean
	Health guideline	80 (150)	daily mean
	Vegetation guideline	50 (95)	running 4-hour mean
	Vegetation guideline	16 (30)	annual mean
UNECE	Health guideline	21 ~ 26 (40 ~ 50)	annual mean
	Vegetation guideline	15 (29)	annual mean

능성이 있는 노년기 성인에 이르기까지 존재한다. EPAQS는 PM<sub>10</sub>에 대한 24시간 평균치로서 50 µg/m<sup>3</sup>의 대기질 권고 기준을 제안한 바 있으며(표 2), 아울러 이러한 호흡가능성 미세먼지의 연평균 기준치에 대한 점차적인 강화를 권고하고 있다(UK DOE, 1995b)

2. 2. 3 이산화질소(NO<sub>2</sub>)

NO<sub>2</sub>에 고농도로 피폭될 경우에는 심폐기능에 손상을 받을 수 있다. 이 오염물질은 선천성 알레르기성 물질에 대한 반응성과 호흡기 장애에 위해도를 증가시킬지도 모른다는 점이 여전히 부각되고 있다. WHO에 의해 권고되었던 NO<sub>2</sub>에 대한 2가지의 대기질기준은 시간별 평균치가 최고 105 ppb를 초과해서는 안되고, 동시에 연평균농도치는 20 ppb를 초과할 수 없도록 설정되어 있다.

시간별 기준은 급성영향이 나타날 수 있는 가장 낮은 농도수준에 근거하여 설정되었으며, 여기에는

반복적으로 고농도 피폭에 따른 영향 및 심한 천식 환자들의 영향에 관한 불확실성에 대한 안전치를 마련해 두고 있다. 즉, NO<sub>2</sub>에 노출을 연장시키면 만성적인 영향이 초래할 수 있듯이, WHO에 의해 권고된 연평균 기준은 예방적인 차원에서 마련된 것이다(WHO, 1987). EPAQS는 1996년에 NO<sub>2</sub>에 대한 기준으로 시간평균 150 ppb를 제안하였다(UK DOE, 1996a). 영국에서 적용되고 있는 NO<sub>2</sub>에 대한 기준치 및 권고치는 표 3에 나타내었다.

2. 2. 4 오존(O<sub>3</sub>)

아직까지 영국에서는 O<sub>3</sub>으로 인해 심각한 건강상의 피해를 입었다는 증거를 찾아보기 어렵지만, 사람들에게 자극성을 유발할 수 있을 정도의 고농도가 관측된 사례는 드물게 발견된다. O<sub>3</sub>은 기도를 자극하고 눈과 인후부에 통증을 유발하며, 꽃가루와 같은 알레르기성 물질에 대한 민감성을 증가시킨다. 그러나 아직까지 보통 사람들보다 천식에 시달

표 4. 오존 (O<sub>3</sub>)에 대한 영국 대기환경기준.

Guideline set by	Description	Value ppb (µg/m <sup>3</sup> )	Criteria based on
UK DOE	Very good	< 50 (100)	peak hourly mean in a 24 hour period
	Good	50 ~ 89 (100 ~ 179)	
	Poor	80 ~ 179 (180 ~ 359)	
	Very poor	≥ 180 (360)	
EPAQS	Health guideline	50 (100)	running 8 hour mean
UK NAQS	Objective by 2005	50 (100)	yearly 97th percentile of 8 hour means
European Council	Population information threshold	90 (180)	hourly mean
	Population warning value	180 (360)	hourly mean
	Health protection threshold	55 (110)	fixed 8 hour means for 1-8, 9-16, 17-0, 12-20 hours
	Vegetation protection threshold	100 (200)	hourly mean
	Vegetation protection threshold	32 (65)	daily mean
WHO	Health guideline	76 ~ 100 (150 ~ 200)	hourly mean
	Health guideline	50 ~ 60 (100 ~ 120)	running 8 hour mean
	Vegetation guideline	100 (200)	hourly mean
	Vegetation guideline	33 (65)	daily mean
	Vegetation guideline	30 (60)	growing season <sup>1)</sup> mean
UNECE	Vegetation guideline	25 (50)	growing season mean
	Vegetation guideline	75 (150)	hourly mean
	Vegetation guideline	30 (60)	running 8 hour mean

1) Growing season is defined as April to September for WHO guidelines, but is Daytime (0900-1500) April to September for UNECE guidelines.

리는 사람들이 O<sub>3</sub>에 대해 더 민감하지는 않은 것으로 나타나고 있다. EPAQS는 환경대기질 기준으로 8시간평균 50 ppb를 권고하고 있다 (UK DOE, 1994a). 이 기준치는 건강한 개인이 경험적으로 감지되었던 영향과 가장 위험한 상태에서 개인에 대한 안전치들을 고려하였으며, 또한 WHO가 권고한 수치인 60 ppb에 비해 더 엄격한 기준이다. 영국에서 적용되고 있는 O<sub>3</sub>의 대기질 기준 및 권고치들은 표 4에 나타내었다.

2. 2. 5 일산화탄소 (CO)

현재 전형적인 대기환경 중의 농도수준에서는 CO의 영향이 다소 낮게 평가된다. 그러나, 이 오염물질은 인간의 사고활동에 영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라 심장이나 뇌로의 산소전달을 악화시킬 수 있는 문제점을 내포하고 있다. EPAQS는 CO에 대한 환경대기질 기준을 8시간 평균치인 10 ppm으로

권장하고 있다 (UK DOE, 1996b). 이 기준은 악영향이 나타날 수 있는 농도수준보다 낮으며, WHO가 권장한 지침서의 가장 엄격한 수준에 상응하는 수치이다. CO의 영국내 대기질 기준은 표 5에 나타내었다.

2. 2. 6 벤젠 (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

일반적으로 영국의 환경대기 중에서 관측되는 농도보다 훨씬 더 고농도수준에서는 암의 일종인 백혈병을 유발할 수 있는 것으로 관련연구에서는 거론하고 있다. 이런 위험성은 인간생활에서 평생동안의 노출과 직결된다. 그러나 보통의 환경대기 농도수준에서 단기적 또는 급성적인 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다. EPAQS는 연평균 5 ppb의 대기질 기준을 권장하고 있는데 (UK DOE, 1994), 이러한 기준치는 인체건강에 미치는 위험이 극히 미미한 것으로 간주되고 있다. 그럼에도 불구하고 벤젠

표 5. 일산화탄소 (CO)에 대한 영국 대기환경기준.

Guideline set by	Description	Value ppm (µg/m <sup>3</sup> )	Criteria based on
EPAQS	Health guideline	10 (11.6)	running 8 hour mean
UK NAQS	Objective by 2005	10 (11.6)	running 8 hour mean
WHO	Health guideline	87 (100)	15 minute mean
	Health guideline	50 (60)	30 minute mean
	Health guideline	25 (30)	1 hour mean
	Health guideline	10 (10)	8 hour mean

표 6. 벤젠 (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)에 대한 영국 대기환경기준

Guideline set by	Description	Value, ppb	Criteria based on
UK DOE	Low	< 4.5	running 24 hour mean
	Medium	4.5 ~ 9.99	
	High	10 ~ 29.99	
	Very high	≥ 30	
EPAQS	Health guideline	5	running annual mean
	Target value	1	running annual mean
UK NAQS	Objective by 2005	5	running annual mean

표 7. 1, 3-butadiene (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>)에 대한 영국 대기환경기준.

Guideline set by	Description	Value, ppb	Criteria based on
UK DOE	Low	< 4.5	running 24 hour mean
	Medium	4.5 ~ 9.99	
	High	10 ~ 29.99	
	Very high	≥ 30	
EPAQS	Health guideline	1	running annual mean
UK NAQS	Objective by 2005	1	running annual mean

은 잠재적 위해성이 매우 큰 물질인 관계로, 향후 5년 이내에 이 기준을 1 ppb 수준으로 강화할 것을 권장하고 있다(표 6).

2. 2. 7 1, 3-Butadiene (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>)

1, 3-Butadiene이 암의 일종인 백혈병과 림프병을 유발할 수 있다는 증거는 이미 존재한다(UK DOE, 1994c). EPAQS는 표 7에 나타난 것과 같이 연평균 1 ppb의 환경대기질 기준을 설정해 놓았다. 벤젠과 같이, 이러한 수치는 인체 건강에 미치는 위험이 극히 작다고 판단되는 수준이다. 영국 이외의 어느 나라도 아직 1, 3-butadiene에 대한 대기환경 기준을 설정한 나라는 없다.

2. 2. 8 납 (Pb)

혈중에서 발견되는 Pb는 대기, 물 그리고 음식의

섭취로부터 기인된다. Pb는 인체의 조혈, 신경계통, 사고기능을 포함하는 수많은 다른 부분에 그 영향을 미칠 수 있다. 특히, Pb의 피해는 어린이들에게 심각하게 나타날 수 있다. EPAQS는 아직까지 Pb 배출에 대한 지침선을 설정해 놓지 않고 있다. 한편, 영국정부(DOE)는 현재는 유럽공동체의 훈령기준치(표 8)를 준용하고 있으나 향후 Pb에 대해서 연평균 0.5 µg/m<sup>3</sup>로 설정된 WHO의 권고치를 그대로 채택할 것을 제안하고 있다.

2. 3 영국 대기질 기준의 특징

영국에서는 대기질관리를 위해 일반적인 단위 시간당 평균농도를 기준으로 한 규제를 실시함과 동시에 시간적 농도변화의 가변성이 강한 일부 오염 물질들에 대해서는 추가적으로 percentile(분위수)

표 8. 납 (Pb)에 대한 영국 대기환경기준.

Guideline set by	Description	Value, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Criteria based on
UK DoE	Health guideline	0.5	annual mean
UK NAQS	Objective by 2005	0.5	annual mean
European Council	Limit value	2	annual mean
WHO	Health guideline	0.5~1	annual mean

개념을 도입하여 보다 엄격한 규제를 시행하고 있다. 즉, 만약 어떤 오염물질에 대한 목표치가 99.9 percentile로 설정되어 있는 경우에는 특정된 기간 (보통 1년) 중 관측된 농도자료의 99.9%가 그 목표치 이하로 나타나야 기준을 만족한 것이 된다. 이러한 개념의 활용을 통해, 고농도가 일정 기간 이상으로 지속되어도 전체적으로 낮은 농도치의 고빈도 (high frequency)에 의해 오염물질의 평균농도를 왜곡하는 것 또는 간혹 발생하는 극단적인 이상치 (extreme outlier)에 의한 평균농도의 왜곡현상을 방지할 수 있다. 이러한 개념의 실 적용 예는 다음과 같이 SO<sub>2</sub>의 경우를 통해 쉽게 이해할 수 있다. SO<sub>2</sub>의 경우 매 15분간의 평균치는 연간  $365 \times 24 \times 4 = 35040$ 개 생산되게 되고 그 중의 99.9%가 목표치를 초과하지 않아야 하므로 상위 35번째의 관측치 ( $35040 \times 0.001$ )가 100 ppb 이하이면 기준을 만족한 것이 된다.

기질자료의 측정 및 관리업무가 수행되고 있다. 이들 측정망의 선정은 어떤 오염물이 측정되는가와 어떤 측정방식이 활용될 수 있는가 등의 상호적인 관계를 고려하여 이루어진다. 영국 대기오염 측정망은 다음 표 9에 제시된 바와 같이 크게 두 가지의 운용기준에 따라 자동측정망과 수동측정망으로 분류될 수 있다. 전자의 경우, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>과 같은 대표적인 항목외에도 벤젠, 1, 3-butadiene 등을 포함한 25종의 휘발성 유기화합물질 (VOCs)에 대한 측정이 일상적으로 이루어진다. 그리고 후자의 경우, 단시간 내에 측정이 어려운 항목들을 위주로 비교적 중장기적인 스케일로 측정이 이루어진다. 이외에도 NO<sub>2</sub>와 같이 관측기술이 시간적인 인자에 별달리 제한 받지 않더라도, 농도분포의 특성에 대한 세밀한 조사가 필요한 경우 간이측정법을 이용한 수동측정망을 통해 대규모의 관측이 시행되기도 한다 (Harrison, 1993).

### 3. 영국의 대기오염 측정망 운용현황

#### 3.1 전국적인 대기오염 측정망의 유지 관리

영국에서는 대기오염과 관련한 측정시스템의 운용이 독특한 방식으로 이루어지고 있다. 이러한 업무에 정부기관들이 직접 나서는 방식을 택하기 보다는, 이해 당사자인 관련기관들이 (예를 들어, 환경부, 교통부, 지방부 등의 3개 정부관청) 공동으로 AEA Technology사와 같은 민영기관에 계약을 통하여 위임하는 방식으로 영국 전역의 1500개 지점에서 대

#### 3.2 수동측정망의 측정항목

수동측정망에서 측정이 이루어지는 항목들은 대략 다음과 같이 요약할 수 있다. (i) Pb와 주요 원소, (ii) NO<sub>2</sub>, (iii) 이산화황과 Black Smoke자료, (iv) 유독성 유기화합물, (v) 산성침적물. 이들 항목에 대한 특성은 대략 다음과 같이 요약할 수 있다.

##### 3.2.1 납과 주요 원소

Pb, Cd, Cu, Hg 등과 같이 대기오염의 민감한 요소로 간주되는 극미량 원소나 Ca, K, Mg과 같은 주요 원소들의 자료가 1967년 이래 축적되고 있다. 이

표 9. 영국 대기오염 측정망의 분류.

구 분	자동측정망	수동측정망
측정간격	1시간 간격 (단기측정을 원칙)	하루, 1주, 1개월 (중장기측정 원칙)
측정방식	· 자동시스템을 이용한 포집 및 측정 · 자료관리: 측정자료는 모델으로 수집하여 중앙집중적 관리	· 수동포집: 필터, denuder, 디퓨전 튜브 · 분석: 포집시료는 개별 분석기구로 화학적 분석

들 항목의 측정에는 보통 필터를 사용하여 1주간격으로 포집한 시료를 spectrophotometric법으로 분석한다.

3.2.2 확산관(diffusion tube)를 이용한 NO<sub>2</sub>의 측정  
NO<sub>2</sub>의 경우, 이미 약 300여 개소의 기존 자동측정망에서 일상적으로 측정이 이루어지고 있는 항목에 속한다. 그러나 이와는 별도로 본 가스가 자동차 관련 배출물질이라는 점과 O<sub>3</sub> 등의 광화학 오염물질의 생성에 주요한 역할을 한다는 점을 감안하여, 1100개의 도심지점에서 확산관을 이용하여 도심지점에서의 세밀한 농도분포가 측정되고 있다. 이미 3년여 기간동안 이들의 월별단위 평균값에 대한 자료축적이 이루어지고 있다. 참고로 이와 같은 부가적인 NO<sub>2</sub>자료의 측정을 위해 다음과 같은 포집점 선정원칙이 지켜지고 있다.

- 1개의 도로인근지점: 주도로에서 1~5m 지점
- 1개의 중간지점: 주도로에서 20~30m 지점
- 2개의 도심배경 지점: 주거지역위주로 주도로에서 50m 이상 떨어진 지점

3.2.3 이산화황과 Smoke 자료

이미 30년의 측정역사를 갖고 있고, 현재 220개의 지점에서 측정 중이다. SO<sub>2</sub>는 산적정법(acid titration)을 이용해서 측정하고 있다. 그리고 이와 관련하여 특이한 사실은 필터로부터 특정 파장에서 빛의 반사도(reflectance)를 이용하여, Black Smoke의 농도측정도 실시하고 있다. 영국에서는 중량법에 의한 먼지측정이 이미 표준법으로 되어 있음에도 불구하고 광학적 방법인 black smoke를 정기적으로 그리고 전국적으로 측정하고 있는 가장 큰 이유는 이미 1960년대 이전의 수십년간 누적된 방대한 량의 smoke 측정자료 및 이와 연계된 각종 호흡기 질병관련 역학자료(epidemiological data)의 활용을 고려한 것이다(Back, 1988).

3.2.4 유독성 유기화합물

영국의 경우 비록 소수의 측정지점에서 제한적으로 시도되기는 하나, 대기오염 또는 환경오염의 민감한 문제로 대두되는 유독성 유기화합물에 대한 측정도 규칙적으로 이루어지고 있다. 이들 항목에 대한 측정은 4개의 측정 지점에서 2주 간격으로 이루어지고 있다. 이들 시료측정은 검출한계 등을 감

안하여, 다음과 같이 수개월 단위로 포집된 시료를 합하여 분석하고 있다. 예를 들어, PAHs는 3개월 단위로, dioxin류(17개의 유해성 2, 3, 7, 8계열 다염소다이옥신과 퓨란)는 6개월 단위로 측정이 이루어진다(Fisk, 1995).

3.2.5 산성침적물 측정망

32개 측정망으로부터 일주 간격으로 포집된 강수 시료의 이온성분을 분석함으로써 습윤침적과 관련된 자료가 체계적으로 축적되고 있다. 그리고 야외 및 교외지역에 위치한 38개 측정망으로부터 주요 오염물질의 시간별 측정 자료를 취합하여 건조침적에 대한 자료를 추가적으로 측정한다. 이들 건조침적자료에 간단한 통계처리를 실시한 후, ITE와 같은 model에 적용하여, 건조침적율과 건조침적부하 등의 계산이 실시되고 있다.

4. 대기오염 정보관리 현황

4.1 측정자료의 관리

기본적으로 영국에서 측정·분석되는 대기오염 물질들에 대한 자료의 활용은 대단히 원활하게 이루어지고 있다. 원자료(raw data) 수준의 기초자료와 이들을 다양한 통계처리에 응용하여 구한 이차적인 자료들을 Internet/Web site (예로서 <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/networks/trends.html>) 등을 통해 게시함으로써 자료의 활용을 원하는 세계 도처의 모든 사람들이 쉽게 자료를 검색하고 수집할 수 있게끔 하고 있다. 기초자료로는 위에서 언급한 바와 같이, 자동 및 수동측정망에서 측정되는 대기오염 기초항목들과 산성물질의 건조 및 습윤침적 등에 대한 일상적인 자료가 포함될 수 있다. 이에 반해, 응용자료로는 이들 기초자료에 대한 수리적인 처리 등을 통해 대기질관리 기준과의 부합성에 대한 통계적인 검정(Exceedances of air quality standards), 대기오염분포도(Pollution mapping), 오염도에측(Pollution Forecasting), 배출량조사(Emission Inventory) 등의 세분화된 분야에서 보다 활발하게 자료의 축적이 이루어지고 있다.

4.2 대기오염 분포도 작성과 활용

대기오염분포도의 작성은 실측농도자료를 GIS개



념에 연계하여, 대부분의 주요 오염물질에 대한 영국의 전지역의 배경농도를 파악하고자 하는데 있다. 분포도에서 제시된 화면을 Zoom-in기법으로 3단계까지 확대해서 들어가면, 최소 1×1 km 단위의 격자를 대표하는 농도를 색깔 및 수치단위로 확인할 수 있다. 이렇게 작성된 조감도는 우선적으로 어떤 지역의 오염물질에 대한 배경농도를 예상하는데 활용이 가능하다. 만약 인접지역에 오염발생원이 존재할 경우에는 분포도 상에 제시된 예상배경농도를 모델에 대입하여, 배경농도의 상승치를 예측할 수 있을 것이다.

대기오염물질은 오염물질에 따라 상당한 차이가 있겠지만, 일반적으로 오염물질의 농도가 변하는 공간적인 규모는 대단히 다양하다. 따라서 동일 격자 상에 오염물질의 농도를 표시하는 방법은 오염물질에 따라 오차의 정도가 상당히 가변적이다. 이러한 요인은 분포도작성과 관련한 기본적인 한계라고 볼 수 있다. 이와 같은 한계점을 최대한으로 극복하기 위해, 조감도의 작성은 기본적으로 수학적 의미에서 단순한 단단계 방식의 접근법이 활용된다. 예를 들어, 시골에 인접한 지역들은 오염측정망이 있는 시골지역의 농도를 사용하여 예측할 수 있을 것이다. 만약에 국부적인 규모(< 20 km)로 오염물질의 배출이 일어나는 지점이 있다면, 주변지역의 농도는 해당 오염물질의 배출강도 등을 감안하여 경험적인 상자(box)모델링을 적용하여 대표적인 농도치를 산출할 수 있을 것이다.

#### 4.3 대기오염도 예측과 예보시스템

영국에서는 1990년 이래 O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 등의 주요 오염물질들에 대한 대기질 예측자료의 제공이 이루어지고 있다. 이러한 오염예측도는 각 오염물질의 농도에 대해 약 4단계로 강약을 구분할 수 있게 하고 있다. 오염예측의 결과는 보통 TV, 라디오, 신문 등의 기상예보 및 internet 등을 통해 공개되고 있다(예로서, <http://www-scm.tees.ac.uk/local/airrept.html>). 이들 자료의 예측은 대기질관리의 전문가로 구성된 AET산하 National Environmental Tech. Co.에 의해 이루어진다. 기술적으로, 아래에 열거된 5가지의 항목이 예측의 주요 입력자료로 활용되고 있다. 이 중 3가지는 일반적인 내용이므로 특별한 설명이 필요치 않으나, 특히 궤적도모델과 상자모델에

대해서는 아래에 그 설명을 부연하였다.

- 자동측정망으로부터 측정되는 오염물질들의 온-라인 농도치
- 다음 날의 기상예보자료
- 네덜란드, 덴마크, 아일랜드 공화국 등 인접국가의 오염물질 농도
- 궤적도 O<sub>3</sub> 모델(trajjectory ozone model)로부터 구한 실시간 자료: 영국과 같은 곳에 고농도의 O<sub>3</sub>을 야기하는 가장 중요한 오염원은 광화학적 반응성이 강하면서도 먼거리를 이동해 올 수 있는 물질들이다. 따라서 이들 오염물질을 다루기 위해, 주로 여름철 동안 매일 주기로 모델링이 실시된다. 이를 위해 수치모델을 통해 구한 기상자료를 입력하고, 기준시점으로부터 96시간 이전까지 공기의 움직임을 추적하는 역궤적도를 작성하여 활용한다.
- 오염물질의 상자모델(urban pollutants box model)로부터 구한 결과: 이 모델은 주로 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 등과 같은 주요 오염물질의 대기 중 확산이 쉽게 일어나지 않는 겨울철 도시환경을 대상으로, 오염물질의 농도예측을 실시하는데 주로 활용된다. 이러한 모델의 계산을 위해 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>의 배출량자료와 그 다음날의 기상예보자료 등을 취합하여 활용한다.

#### 4.4 대기오염물질 배출량자료의 관리

대기오염도 예측과 아울러 영국의 배출량자료관리는 AEA의 책임하에 전국적으로 대기오염물질 배출량의 조사가 수행되고 있으며, 1970년 이래 각종 통계치가 매 일년단위로 축적되고 있다. 이들 자료는 지역별 배출상태를 비교할 수 있는 조감도의 작성이나 향후 배출추세를 예측(projection) 하는 것과 같은 목적에 그 활용이 기대된다.

배출량관리의 대상인 오염물질들은 편의상 아래와 같이 지구적 규모의 대기오염현상과 지역적 규모의 오염현상을 구분하여 다음과 같이 분류하고 있다. 이와 같은 분류의 기준은 대기로 배출이 이루어지는 오염물질의 영향력이 공간적 규모에서 어떤 의미를 지니는가와 같은 관점에 준한다.

- 지구적규모의 오염물질: 온실가스류들은 지구적인 규모로 그 의미가 중요하다. 이들 항목에 대한 자료는 기후변화에 관한 협약에 준하여 배출량의

추정치가 산정 되고 있다. 따라서 여타 항목에 사용되는 NAEI 양식 대신에 IPCC 양식이 준용되고 있다는데 주목할 필요가 있다.

- 지역적 규모의 오염물질: 지표면 부근의 O<sub>3</sub>과 같이 광화학적으로 생성되는 오염물질이나 산성비와 같은 부분들은 광역적인 규모보다 지역적인 규모에서 더 중요하므로, 이들에 대한 배출량 추정은 지구적 규모의 오염물질과 분리되어 취급되는 경향이다.

## 6. 결 론

본 조사를 통해, 영국의 경우 1980년대와는 달리 대기오염물질의 측정과 자료관리가 대단히 우수한 단계에 도달 해있다는 사실을 확인할 수 있었다. 대기환경기준의 설정과 적용에 있어서 매우 다양한 경우에 적절히 대응하고자 하는 논리성과 객관성이 인상적이며, 아울러 오염물질의 측정에 대한 객관성을 확보하기 위해, 끊임없이 새로운 노력의 시도가 눈에 띄게 나타난다. 특히, NO<sub>2</sub>와 같은 오염물에 대해서는 자동시스템을 통한 규칙적인 자료확보 외에도, 확산관을 이용한 포집·분석을 실시하여 도심대기중의 분포를 체계적으로 규명하려는 노력을 새로이 추가하였다는 사실은 경이적이다. 측정분석이 용이하지 않은 독성 유기화합물들에 대해서도 비록 4개의 측정망에 제한되기는 하지만, 꾸준히 자료측적을 시행하고 있다는 사실 또한 흥미롭다. 본 비교 연구를 통해, 누구나 손쉽게 자료의 활용을 할 수 있게 만들어 둔 정보관리 및 운용시스템의 탄력성이 재삼 확인되었다. 자료공개체제의 구축은 이러한 연구에 쏟아 부은 오랜 경험과 전통에 기인하는 것으로 보인다. 우리 나라에서도, 보다 조속한 시일 내에 대기오염과 관련한 공공의 자료를 모든 사람들이 손쉽게 활용할 수 있는 체제가 확립되기를 희망

한다.

## 사 사

본 글에 수록된 자료의 internet 검색을 위해 수고해 준 영남대학교 환경문제연구소의 최진수 박사께 감사를 포함합니다.

## 참 고 문 헌

- Baek, S.O. (1988) Significance and Behaviour of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Ambient Air, Ph.D Thesis, Imperial College of Science and Technology, University of London, 293 p.
- Fisk, D.J. (1995) Volatile Organic Compounds - a European Overview. Proc. of 2nd Int'l Conf. on VOCs in the Environment, London, Nov. 7-9, 1995, pp. 3-10.
- Harrison, R.M. (1993) Urban Air Quality Management and Research in relation to VOC in the UK, Proc. of Int'l Conf. on VOCs in the Environment, London, Oct 27-28, 1993, pp. 11-18.
- UK DOE (1994a) Expert Panel on Air Quality Standards on Ozone, HMSO, London.
- UK DOE (1994b) Expert Panel on Air Quality Standards on Benzene, HMSO, London.
- UK DOE (1994c) Expert Panel on Air Quality Standards on 1, 3-butadiene, HMSO, London.
- UK DOE (1995a) Expert Panel on Air Quality Standards on Sulphur Dioxide, HMSO, London.
- UK DOE (1995b) Expert Panel on Air Quality Standards on Particles, HMSO, London.
- UK DOE (1996a) Expert Panel on Air Quality Standards on Nitrogen Dioxide, HMSO, London.
- UK DOE (1996b) Expert Panel on Air Quality Standards on Carbon Monoxide, HMSO, London.
- WHO (1987) Air Quality Guidelines for Europe, WHO Pub. European Ser. No.23.