

KEI/1997
기본과제 연구보고서

대기환경기준의 설정체계 및 환경기준 개정에 따른 경제성 분석에 관한 연구

1997. 12

임종수



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

서 언

그 동안 경제발전을 통한 생활 수준의 향상이라는 대전제 아래 환경은 상대적으로 소외된 분야일 수밖에 없었으며, 이는 곧 환경파괴를 심화시킨 요인이 되어 왔습니다. 반면 우리의 빠른 경제성장의 덕으로 이제 우리는 삶의 질을 되돌아 볼 수 있는 여유를 가지게 되었고, 그 결과 환경에 대한 관심과 생활환경을 개선하고자 하는 국민적 공감대가 형성되고 있습니다. 이와 같은 국민적 욕구를 반영하여 정부는 환경부문의 비중을 빠른 속도로 높여가고 있습니다.

그러나 이와 같은 외형의 성장에 비해서 환경 정책 및 행정의 내실을 기하지 못했던 면이 있습니다. 아직도 효율적으로 환경을 관리할 수 있는 환경행정체계가 정립되어 있지 못하고 있으며, 또한 제도가 수시로 바뀌는 관계로 관련 산업이나 국민은 물론 정책 담당 부서 자체 내에서도 상당한 혼선을 빚고 있는 것도 사실입니다.

우리나라의 대기정책은 다른 환경분야에 비해서는 비교적 관리체계가 앞서있는 분야이기는 하나 대기환경기준의 설정, 배출허용기준의 설정과 적용 등 많은 부문에서 개선의 여지를 남기고 있습니다. 이 연구는 합리적인 대기환경기준 설정 방안과 대기환경 관리체계의 구축방안을 제시함으로써 이와 같은 문제의 해결에 기여함을 목적으로 하였습니다.

이 연구가 관련 학자들의 연구와 향후 대기정책방향 설정에 중요한 참고자료로서 널리 이용되어지길 바라면서, 본 연구를 위해 애써주신 임종수박사의 노고를 치하합니다. 끝으로 이 연구의 내용은 연구자 개인의 의견이며, 우리 연구원의 공식적인 입장이 아님을 밝혀둡니다.

1997년 12월

韓國環境政策·評價研究院

院長 金 鍾 基

목 차

서언

I. 대기오염의 현황과 문제점

1. 서론
2. 대기오염 개론
 - 2.1. 대기오염물질의 정의 및 형성기제
 - 2.2. 대기오염물질의 영향
 - 2.3. 대기오염의 영향에 관한 기존 연구
3. 우리나라의 대기오염 현황
 - 3.1 대기오염의 발생 추이
 - 3.2 대기질 현황

II. 우리나라의 환경기준 설정체계 및 문제점

1. 우리나라의 대기관리제도 현황
 - 1.1. 대기환경기준
 - 1.2. 배출원 규제
 - 1.2.1. 배출허용기준
 - 1.2.2. 배출부과금 제도
 - 1.2.3. 배출오염원 관리 및 대책
 - 1.3. 기타 관리 대책
 - 1.3.1. 비규제 오염물질의 관리
 - 1.3.2. 오염경보제
 - 1.3.3. 기타
2. 현행 제도의 문제점

Ⅲ. 외국의 대기질 관리 현황

1. 미국의 관리 현황
 - 1.1. 대기환경기준
 - 1.2. 대기오염물질의 분류 및 관리
 - 1.3. 배출 규제
 - 1.3.1. 배출규제기준
 - 1.3.2. 신규·기존 오염원에 대한 기술 규제
 - 1.4. 기타 주요 규제 현황
 - 1.5. 대기정책의 사후관리 및 검토
2. 일본의 관리 현황
 - 2.1 환경기준
 - 2.2 대기오염물질 및 관리 현황
 - 2.3. 배출 규제
 - 2.4 일본의 대기관리 효과
3. 기타 국가의 관리 현황

Ⅳ. 합리적인 대기관리 체계와 개선 방향

1. 최적대기환경기준의 설정 방법
 - 1.1. 최적대기환경기준 설정의 이론적 기반
 - 1.2. 최적대기환경기준의 설정 방법
2. 주요 연구 결과
 - 2.1. 비용-편익 분석
 - 2.2. 일반균형모형 분석
 - 2.2.1. 모형의 이해
 - 2.2.2. 일반균형
 - 2.2.3. 모형의 추정 결과
 - 2.2.4. 최적대기환경기준의 결정 방법

참고문헌 부록

1. 배출부과금 산정기준 및 방법
2. 부록표

표 목 차

- 〈표 I -1〉 대기오염물질이 인체에 미치는 영향
- 〈표 I -2〉 연도별 대기오염물질 배출량
- 〈표 I -3〉 발생원별 대기오염물질 배출량 추이
- 〈표 I -4〉 전국 주요 도시의 연도별 아황산가스 오염도
- 〈표 I -5〉 전국 주요 도시의 연도별 이산화질소 오염도
- 〈표 I -6〉 전국 주요 도시의 연도별 오존 오염도
- 〈표 I -7〉 전국 주요 도시의 연도별 먼지 오염도
- 〈표 I -8〉 전국 주요 도시의 연도별 일산화탄소 오염도
- 〈표 I -9〉 전국 주요 도시의 연도별 강우중 산도
- 〈표 I -10〉 전국 주요 도시의 중금속 오염도
- 〈표 II-1〉 대기오염물질
- 〈표 II-2〉 특정 대기오염물질
- 〈표 II-3〉 대기환경기준
- 〈표 II-4〉 각국의 대기환경기준
- 〈표 II-5〉 배출부과금 부과대상 오염물질
- 〈표 II-6〉 사업장의 규모별 구분
- 〈표 II-7〉 연도별 LNG 사용 현황
- 〈표 III-1〉 미국의 연방 대기환경기준
- 〈표 III-2〉 일본의 대기오염물질 환경기준
- 〈표 III-3〉 일본의 특정 유해물질
- 〈표 III-4〉 일본의 일반유해물질 배출기준 및 발생시설
- 〈표 IV-1〉 대기오염도와 에너지 소비량과의 관계
- 〈표 IV-2〉 역내총생산(GRP)의 결정모형
- 〈표 IV-3〉 Euler's Equation의 회귀분석 결과
- 〈표 A-1〉 기본부과금 산정기준
- 〈표 A-2a〉 처리부과금 산정방법(부적정신고의 경우)
- 〈표 A-2b〉 처리부과금 산정방법(부적정신고 외의 경우)
- 〈표 A-3〉 배출허용기준초과 일일오염물질배출량의 산정방법

- 〈표A-4〉 처리부과금 산정기준
- 〈표A-5〉 우리나라의 운행차 배출허용기준
- 〈표A-6〉 미국의 유해대기오염물질
- 〈표A-7〉 미국의 황산화물 배출허용기준(CFR '89 자료기준)
- 〈표A-8〉 미국의 질소산화물 배출허용기준(CFR '89 자료기준)
- 〈표A-9〉 미국의 먼지 배출허용기준(CFR '89 자료기준)
- 〈표A-10〉 미국의 유해대기오염물질 연방배출기준
- 〈표A-11〉 대기오염도와 경제활동과의 상관관계
- 〈표A-12〉 대기오염도와 에너지소비 및 경제활동과의 상관관계
- 〈표A-13〉 Euler's Equation의 회귀분석 결과 (filter:월별 Dummy)
- 〈표A-14〉 Euler's Equation의 회귀분석 결과 (Filter:월별 Dummy 및 3차 Time Trend)

그 립 목 차

- 〈그림 VI-1〉 합리적 대기관리 체계도
- 〈그림 VI-2〉 최적대기환경기준 설정 체계도
- 〈그림 IV-3〉 에너지소비량과 역내총생산과의 상관관계
- 〈그림 IV-4〉 에너지소비량과 최종소비와의 상관관계

I. 대기 오염의 현황과 문제점

1. 서론

현대 산업 사회는 개발, 생산 및 소비 등의 경제 행위로 끊임없이 환경파괴를 유발하고 있다. 그 동안의 경제 발전을 통한 생활 수준의 향상이라는 대전제 아래 환경은 상대적으로 소외된 분야일 수밖에 없었으며, 자연의 자정 능력에 대한 과신은 무절제한 공해 배출 행위를 조장하여 환경 파괴를 심화하는 요인이 되어 왔다.

결국 자연의 자정능력을 넘어서는 공해의 배출은 환경질의 심각한 악화를 초래하였고, 그로 인한 피해가 발생함으로써 환경 보호에 대한 관심이 고조되기 시작하였다. 또한 환경 과학의 발달로 환경 파괴의 장기적·잠재적 심각성이 밝혀짐에 따라 안정된 환경 관리의 필요성이 인식되고 있다.

이와 같은 국민적 욕구를 반영하여 정부는 근자에 들어 환경 부문에 많은 노력을 기울이고 있다. 1980년에 보사부 외청으로서의 환경청 발족을 시작으로 꾸준히 환경 개선을 위해 노력하여 왔고, 환경 문제의 중요성이 더 커짐에 따라 1990년에 환경처로 승격되면서 본격적인 종합 환경 관리 능력을 갖추게 되었으며, 1994년 12월에 다시 환경부로 승격하여 국정 수행에 있어서의 그 비중이 빠른 속도로 커지고 있다.

그러나 이와 같은 외형의 성장에 비해서 환경 정책 및 행정의 내실은 사실상 제대로 갖추어지지 못하고 있다. 아직 환경 관리 체계가 제대로 정립되어 있지 않고 후진성을 벗어나지 못하고 있어서 체계적이고 안전한 환경관리가 이루어지지 않고 있으며, 제도가 수시로 바뀌는 관계로 관련 산업이나 국민은 물론 정책 담당 부서 자체 내에서도 상당한 혼선을 빚고 있다.

우리나라의 대기 오염은 다른 분야에 비해서는 비교적 관리가 잘되고 있지만, 여전히 위와 같은 문제들을 안고 있는 것으로 보인다. 본 연구에서는 우리나라의 대기 환경 기준 설정에 있어서 문제점으로 지적된 사항들을 정리하고, 이와 같은 문제의 극복을 통해 국내 여건상 현실성이 있고 합리적인 대기 환경 기준이 설정을 통한 대기질 관리 방안을 살펴보고자 한다.

2. 대기 오염 개요

2.1 대기 오염 물질의 정의 및 형성 기제

대기 오염은 국가마다 다양하게 정의되고 있으나, 국내에서는 세계보건기구(WHO)가 규정하고 있는 대기오염의 정의를 일반적으로 활용한다. 세계보건기구에서는 대기 오염을 "대기중에 인위적으로 배출된 오염 물질이 한가지 또는 그 이상 존재하여, 오염 물질의 양, 농도 및 지속 시간이 어떤 지역의 불특정 다수인에게 불쾌감을 일으키거나 해당 지역에 공중 보건상 위해를 끼치고, 인간이나 동물, 식물의 활동에 해를 주어 생활과 재산을 향유할 정당한 권리를 방해받는 상태"라고 정의하고 있다. 대기 오염 물질은 이와 같은 대기 오염을 유발하는 물질로서, 그 물리적 성질에 따라 가스상 물질과 입자상 물질로 대별할 수 있으며, 주요 관리 대상 대기 오염 물질로는 아황산가스, 이산화질소, 일산화탄소, 오존, 분진, 탄화수소, 납, 카드뮴, 니켈 등을 들 수 있다.

대기 오염 물질은 그 발생원에 따라 자연 오염 물질과 인위적인 공해로 분류되는데, 자연 오염 물질은 화산 활동, 산불, 생물의 생화학 작용 등 말 그대로 자연적인 현상에 의해 발생하는 것으로, 그 발생량은 많으나 극히 일부의 경우를 제외하고는 인간에게 미치는 피해가 미미하다.

또한, 이들 자연적인 오염은 현재 인류가 가진 과학 기술로는 관리가 거의 불가능하기 때문에 일반적으로 대기 오염문제는 주로 인위적인 공해만을 다룬다. 인위적 오염 물질은 발생원으로부터 직접 배출된 1차 오염물질과 1차 오염물질이 대기 중에서 태양 광선 등에 의하여 반응을 일으켜 생성된 2차 오염 물질로 나눈다.¹⁾ 대기 오염 물질은 주로 다음과 같은 경로를 통해 형성된다.

(1) 일산화탄소

일산화탄소는 무색, 무취, 무미한 가스로서 주로 연료의 불완전 연소과정에서 생기는 오염물질이다. 또한 제철 산업에서는 일산화탄소를 생성시키고 이를 다시 이산화탄소로 바꾸는 과정을 반복하여 철의 산화를 막는 공정을 거치는데, 이 과정에서 일산화탄소가 많이 배출되고 있다.²⁾ 따라서 제철 산업이 발달한 도시는 일산화탄소의 중요한 배출원이 되고 있다. 일산화탄소는 화산활동이나 생화학적 활동에 의해서도 발생되지만, 연료의 연소 과정이나 탄화수소에 의한 인위적 발생량이 북반구 전체 일산화탄소 발생량의 약 30%를 차지할 만큼 그 비중이 크다.

일산화탄소는 자연 현상에 의해 제거되기도 하는데, 주로 토양 미생물에 의해 이산

화탄소로 합성되는 과정을 거친다. 통상적으로 토양의 일산화탄소 흡수능력은 인위적인 일산화탄소 배출량을 능가하나 대도시에서는 일산화탄소의 배출량이 많을 뿐만 아니라 이를 흡수할 수 있는 토양의 면적이 적기 때문에 그 오염도가 높게 나타난다. 대기중의 일산화탄소 흡수 기제로는 히드록시라디칼(OH)의 작용이 대표적이라고 할 수 있다.

자연 상태에서의 일산화탄소 농도는 평균 약 0.19 ppm 정도이며 그 변화 추이는 계절에 따라 다르게 나타난다.

(2) 황산화물

황산화물은 가장 중요한 대기 오염 물질의 하나로, 주로 석탄이나 석유계 연료의 연소 과정에서 발생한다. 대기 오염 물질로서의 황산화물은 아황산가스, 삼산화황 등이 있으며, 특히 발전소의 연소 과정에서 발생하는 황산화물의 97~99%가 아황산가스(SO₂)이고 나머지는 삼산화황(SO₃)이어서 이들 황산화물은 특히 중요성을 지닌다.

아황산가스는 무색이나, 특이한 냄새와 맛을 지녀 약 0.38~1.15ppm사이에서 맛과 냄새로 아황산가스를 식별할 수 있으며, 3ppm이 넘을 경우에 악취가 난다. 대기중의 아황산가스는 약 30%가 황산염 에어로졸 형태로 분리되어 건·습식 침적을 통해 지층으로 흡수된다. 분리된 황산염 에어로졸은 지표면으로 강하하여 주로 식물의 분해 작용에 의해 분해되거나(건식 침적) 대기중의 물분자와 결합하여 강우와 함께 지표로 흡수되는데(습식 침적) 이 비는 황산을 포함하는 산성비로서 육상 식물의 생태계에 커다란 영향을 미치고 있다.

우리나라에서는 연료 대체 및 연료의 황함유량의 규제 정책 등을 통해 황산화물에 대한 깊은 관심을 가지고 관리해 온 결과 대기 중 오염도가 많이 줄어들고 있다. 대기중의 아황산가스 자연 농도는 약 0.001ppb 정도이다.

(3) 질소산화물

질소와 연관된 주요 대기 오염 물질로는 일산화질소와 이산화질소를 들 수 있다. 일산화질소는 무색, 무미, 무취하고 비교적 독성이 적다. 주로 화석 연료의 연소를 통해 발생하는데,³⁾ 특히 자동차의 엔진이나 화력발전소 등 고온 연소 과정에서 주로 발생한다. 이산화질소는 농도에 따라 주황색에서 갈색을 띠고 악취를 지니며 비교적 독성이 강한 물질이다. 이산화질소는 직접적인 산화 과정($2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$)을 통하여 형성되기도 하나, 이보다는 주로 일산화질소와 오존의 광화학반응($NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$)에 의해 형성된다.

이들의 발생 형태는 자동차의 운행과 관계가 깊어, 일산화질소는 출퇴근 시간에 그 농도가 증가하는 경향이 있으며, 계절적으로는 연료 소비량이 많은 겨울에 그 농도가 높아진다. 이산화질소는 일산화질소의 2차 오염 물질이므로 일산화질소의 계절적 경향

과 비슷한 모습을 보이지만 일산화탄소의 오존의 광화학 반응에 의해 주로 생성되므로 일조량이 많은 여름철에 그 농도가 높아지는 경향이 있다.

이산화질소는 빗물에 녹아 질산으로 전환되어 산성비의 원인이 되기도 한다. 일산화질소와 이산화질소의 자연 농도는 각각 0.5ppb와 1ppb이다.⁴⁾

(4) 오존

오존은 주로 이산화질소, 산소, 非메탄 계열의 탄화수소 등의 광화학 작용에 의해 생성되는 2차 오염 물질이다. 통상적인 생성 기제를 보면 이산화질소가 광화학 작용에 의해 일산화질소로 바뀌는 과정에서 떨어져나온 산소 원자가 대기중의 산소 분자와 결합하여 오존을 형성하게 된다.⁵⁾

그러나 대기 중에 방출되는 오존은 광화학 반응만으로는 설명할 수 없을 만큼 적은 양이 생성되기도 하는데, 이는 탄화수소의 산화 작용에서 발생하는 퍼옥시라디칼과 일산화질소가 결합하여 이산화질소를 형성할 때 산소 분자를 필요로 하지 않기 때문이다. 따라서 오존 농도는 대기중의 일산화질소 대 이산화질소의 비율, 태양광의 세기, 그리고 탄화수소나 기타 알데히드, 일산화탄소 등과 같이 광화학 작용에 의해 퍼옥시라디칼을 생성하는 물질들의 농도 등 복잡한 생성 기제에 의해 결정된다. 자연 상태에서의 대기 중 오존의 농도는 약 0.01~0.02ppm정도이다.

(5) 입자상 물질

입자상 물질은 아주 작은 고체 상태나 액체 상태의 물질을 통칭하는데, 그 크기는 0.005~500 μm 사이이다. 이 중 2 μm 이하의 미세 먼지는 주로 내연 기관의 연소 공정과 광화학 반응, 그리고 기계적인 마찰 등에 의해 생성되고, 이보다 큰 입자상 물질은 주로 기계적인 마찰이나 연마 과정 등에서 발생한다.

이들은 대도시에서는 고른 분포를 보이나 자연 상태에서는 통상 미세 먼지의 비율이 더 높게 나타난다. 미세 먼지는 대기중의 부유성이 높아 비산 거리가 발생지로부터 1000km에 달한다.

청정지역에서는 10 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 이하의 농도를 보인다.⁶⁾

(6) 납

납은 납 또는 기타 중금속 관련 제련 과정, 화석 연료 및 유연 휘발유 등의 연소, 그리고 납제품의 제조 공정에서 주로 발생하며, 최근까지는 휘발유에 포함된 납성분이 주된 대기 오염원이었다.

2.2 대기 오염 물질의 영향

높은 농도의 대기 오염 물질은 인체에 직접적이고 즉각적인 영향을 미치며, 경우에 따라 큰 재앙을 불러일으킬 수 있다. 우리는 이미 벨기에의 Meuse valley(1930년 60명 사망), 미국 Donora(1940년 20명 사망), 영국 런던(1952년 4,000명 사망) 사건 등의 예를 통해 이를 잘 알고 있다. 그러나 대기 오염 물질의 영향을 인지하고 이를 줄이기 위한 정책이 존재하는 현대 사회에서는 이러한 급작스런 재앙이 발생할 확률은 그리 크지 않다. 그러나 이들 오염 물질에 계속 노출될 경우 1) 만성 호흡기 및 순환계 질환을 유발하고, 2) 호흡기 작용에 영향을 미치며, 3) 작업 및 운동 능력의 악화, 4) 눈, 코, 목 등의 장애, 그리고 5) 천식 환자 등과 같이 기존의 병을 갖고 있는 사람의 병을 악화시키는 효과가 있다는 것은 널리 알려진 사실이다. 특히 폐 질환, 심장 질환, 순환계 질환을 가지고 있는 사람과, 호흡기와 순환기 계통의 작용이 활발하지 못한 노약자들은 대기 오염에 의한 피해를 쉽게 받는다. 이들 대기오염물질이 인체에 미치는 영향을 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

아황산가스(SO₂)가 인체에 미치는 피해는 농도와 노출 시간에 크게 영향을 받으며, 주로 호흡기 계통의 질환이나 비강 및 인후의 점막에 염증을 일으킨다는 사실은 이미 널리 알려져 있다.⁷⁾ 질소산화물(NO_x) 역시 주로 호흡기의 조직 세포의 파괴와 이로 인한 호흡기 질환에 대한 면역성 감소를 초래함으로써 아황산가스와 비슷한 영향을 미친다.⁸⁾ 특히, 이산화질소로 인한 급성 폐해는 그 자체가 직접적으로 눈에 자극이 없다는 것을 제외하고는 호흡기 질환인 기관지염, 폐기종 및 폐렴 등 아황산가스로 인한 피해와 거의 일치한다. 그러나 아황산가스로 인한 호흡기질환은 천식까지 진전되는 반면, 이산화질소는 점막염 폐색 기관지염 및 폐암을 일으킨다는 점이 그 차이라고 할 수 있다. 특히 아황산가스나 이산화질소 등은 공기중의 습기와 반응하여 산성비를 형성하고 이것이 결국 식물의 생육에 영향을 미쳐 막대한 손실을 초래하는 것으로 추정된다.⁹⁾

헤모글로빈(Hb)과 일산화탄소(CO)의 결합력은 산소(O₂)에 비하여 250~300배 강하여 Hb와 O₂의 결합을 방해하고 O₂-Hb의 해리를 촉진한다. 따라서 일산화탄소에 중독되면 호흡기에 자극 증상은 없으나 인체 조직세포에 산소 부족을 초래하여 급성 조직저산소증(Cellular hypoxia)을 일으킨다. 또한, 저농도일지라도 장기간 일산화탄소에 노출되면 두통, 현기증, 작업 능률 저하는 물론, 협심증 등 각종 관상 동맥 질환 등 만성중독 증상을 유발한다. 중독 후에 나타나는 후유증으로는 시각 및 청각 장애, 운동 장애, 언어 장애, 지각력 장애, 경련, 발작, 무감통, 시맹증, 공간 인지력 장애, 실어증 등이 있다. CO의 중독은 비교적 장시간인 경우에는 0.02~0.03%가 한도이고, 단시간의 경우에는 0.1%를 한도로 하고 있다. 실내 공기의 CO의 위생학적 허용 한계는 0.01%이다.

주로 자동차의 배기 가스 중의 질소산화물, 탄화수소 등의 1차 오염물질이 햇빛과 반응하여 2차적으로 생성되는 우리 생활 주변의 오존은 호흡기를 직접 자극하여 염증 반응을 일으킬 뿐 아니라 호흡기의 방어 장벽들을 파괴하여 2차적으로 세균 감염을 용이하게 만들기도 한다.¹⁰⁾ 또한 상기도에 손상을 주어 폐렴을 유발할 수 있으며 고농도에서는 폐출혈이나 폐부종을 일으킬 수 있다. 오존은 낮은 농도에서도 눈, 코의 자극 증상이 강하며 천식 등의 호흡 기능 장애를 유발하고 0.08ppm에서 자극 증상이 있으며, 0.16ppm 이상에서 호흡기의 기능을 저하시킨다. 또한 아황산가스와 오존 등은 식물의 잎 아래면에 있는 기공을 통해 침투하여 잎을 마르게 하는 역할을 하기 때문에 식물의 생산성을 떨어뜨리고, 심한 경우 식물을 고사시킬 수도 있다.

부유분진은 대기 중에서 부유하기 때문에 태양 광선을 산란시켜 시정을 방해할 뿐만 아니라, 폐에서의 체류 시간이 길고 침착되기 쉬워서 그 화학적 성상에 따라 중독증을 일으키거나 진폐증을 일으킨다. 분진은 그로 인한 영향과 증상에 따라 알레르기성, 중독성, 그리고 자극성 등으로 분류한다. 알레르기성 먼지는 알레르기성 천식이나 피부병을 유발하고 중독성 먼지는 중추 신경 계통, 콩팥이나 조혈장기 등에 작용하여 급·만성 장애를 일으키며 자극성 먼지는 호흡기 소화기 등의 점막과 피부 등을 자극하고 염증 또는 궤양을 형성한다.

납은 피해자의 노출 정도와 기간에 따라 급·만성 납중독 현상을 일으킨다. 주로 혈액 순환계, 뇌, 신경계, 콩팥 등의 장애 및 손상을 일으키며, 심한 경우는 사망을 초래한다. 만성 중독의 경우는 뇌, 콩팥, 조혈기능의 장애 등을 초래하고, 불임이나 유산 등 출산 장애를 일으키기도 한다.

2.3. 대기 오염의 영향에 관한 기존 연구

대기 오염 물질에 의한 인체의 피해에 대한 연구는 그 역사가 깊다. 정규철(1969)은 1968년 1월부터 1969년 2월까지 성모병원 내과 방문 환자를 대상으로 한 연구에서, 대기 오염과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고된 호흡기 증상에 대한 조사결과 호흡기 증상으로 인한 일별 내원율은 대기 중 아황산가스 및 일산화탄소 농도와 밀접한 관계가 있음을 밝혔다. 이 논문에서는 대기 오염이 극심한 도심 지역 거주자에게서 호흡기 증상의 출현 빈도가 높게 나타나는 것으로 또 여자보다 남자에게서, 연령이 증가할수록 출현 빈도가 증가하는 것으로 보고되었다.

윤명조(1971)는 1967년 8월부터 1968년 1월에 부산 성지공업고등학교 학생과 경남고등학교 학생을 대상으로 한 연구에서 오염도가 심한 지역의 학생들에게서 자각 증상으로 기침, 유루증, 호흡 곤란 등이 많이 발견되었으며 이와 같은 증상이 오염도가 낮은

지역보다 3배 이상 높게 나타남을 보고하였다. 또한 전 자각 증상에 대한 호소율은 오염도가 심한 지역이 오염도가 낮은 지역보다 2배 높게 나타났다. 폐기능 검사 결과에서도 오염도가 높은 지역에서 폐기능이 낮은 것으로 나타났다.

신영수 외(1972)는 1971년 2월부터 동년 3월까지 15세 이상 서울, 수원 중류 계층을 대상으로 한 설문조사에서, 증상의 호소율이 서울시의 고개 지역, 도심 지역, 공장 지역 등의 대기 오염 우심 지역에서 수원 지역에 비해 각각 1.9배, 1.5배를 나타내고 있음을 보고하고 있다. 육체적 질병 항목과 정신적 질병 항목에서도 수원 지역에 비해 서울 지역이 각각 1.9~1.4배, 1.9배~1.3배 높은 평균 호소율을 나타내었다.

Lutx(1983)은 주별 평균 대기 오염 정도와 호흡기 또는 심장 질환으로 진단된 비율 간에 매우 강한 상관성이 있음을 지적하고 일차 진료상 진단 가능한 질환으로서 대기 오염과 관련된 질환들을 기관지 천식, 기침, 호흡곤란, 급성 기관지염, 폐렴, 폐기종이나 만성 폐질환, 급성 상기도 감염, 후두염, 급성 부비동염, 결막염, 허혈성 심장 질환 등으로 분류하였다.

Sobral(1989)은 일반적으로 대기 오염이 심한 지역에서 호흡기 질환의 유병률이 높다고 보고하고 있으며, 특히 감기에 걸리지 않은 상태로 계속되는 기침이나, 기관지 천식, 만성 기관지염으로 진단 받은 상태에서의 가래 등 비교적 좋지 못한 건강 상태를 반영하는 증상들이 있는 경우에 높다고 지적하였다. 그밖에도 대기 오염이 심한 지역이 비오염 지역에 비하여 치료를 요하는 기관지 천식, 심장 질환, 알레르기, 소아과 질환, 귀 및 목의 감염 등이 비율이 높다고 하였다.

차철환 외(1991)는 1980년 3월과 8월에 서울, 울산, 청주 지역의 SO₂ 농도와 의료 보험 진단 건수를 분석한 결과 호흡기 질환에 의한 외진 방문의 빈도가 대기 오염 정도가 높은 서울, 울산 지역이 상대적으로 높은 수치를 보이고 있는 것을 밝혀냈다.

〈표 I-1〉 대기오염물질이 인체에 미치는 영향

오염 물질	인체에 미치는 영향
SO ₂	폐기종, 기관지염, 폐렴, 천식 등을 일으킴.
분진	진폐증, 규폐증, 알레르기성 천식이나 피부병, 중추 신경 계통·종팔이나 조혈장기 등에 작용하여 급만성 장애, 눈·호흡기·소화기 등의 점막과 피부 등을 자극하여 염증·괴양 형성
O ₃	눈·코를 자극, 천식 등의 호흡기 장애, 폐렴, 폐출혈, 폐기종
NO ₂	호흡기 질환에 대한 면역성 감소, 산소 전달 방해, 기관지염, 폐기종, 폐렴, 폐암, 만성 폐섬유화, 폐부종 등을 유발
CO	가려움증, 심계항진, 두통, 현기증, 협심증, 맥박 상승, 심전도 이상 등의 순환기 장애, 호흡기 장애, 탄력도, 신경계의 이상, 시각 및 청각 장애, 운동 장애, 언어 장애, 지각력 장애, 경련, 발작, 무감동, 시맹증, 공간 인지력 장애, 실어증
Pb	만성 중독: 빈혈, 복부통, 관절통,手指의 신경 마비 이외에 중추 신경 장애로서 두통, 현기증, 불면, 불안, 망상, 신경 위축, 사지 경련, 뇌성 마비 등 급성 중독: 흥분, 광조, 창란 등의 현상, 체온과 혈압이 강하하여 허탈 상태에 빠짐, 실명, 사지의 경련이나 뇌성 마비 임신부의 경우 조산이나 유산의 원인, 불임증 초래

또한 최근의 연구에서 조수현 외(1996)는 오존 및 분진이 천식 유병률의 증가를 가져온다는 증거를 제시하고 분진 1 μ g/cc의 증가가 약 0.5~1%의 천식 유병률 증가를 가져온다고 밝혔다. 또한 오존과 분진의 복합 효과도 지속적으로 나타남을 아울러 밝혔다.¹¹⁾ 위에서 언급한 대기 오염 물질이 인체에 미치는 영향을 요약하면 〈표 I-1〉 과 같다.

건강에 미치는 영향 이외에도 대기 오염이 심화되면서 나타나는 산성비 등으로 인해 농작물과 삼림이 파괴되고 내륙 양식업이 타격을 받는 등 그 경제적 타격은 실로 방대하다고 볼 수 있다. 그러나 대기오염이 가져오는 사회의 경제적 손실 추정에 관한 연구는 비교적 미미하여 최적 대기 환경 기준의 설정에 많은 어려움이 따른다.

주석 1) 2차 오염 물질 중 대표적인 것은 광화학 반응에 의한 광화학 스모그와 오존을 들 수 있다.

주석 2) 이 공정은 다음의 화학식과 같이 묘사될 수 있다. $(2C + O_2 \rightarrow 2CO) \Rightarrow (2CO+O_2 \rightarrow 2CO_2) \Rightarrow (CO_2 + C \rightarrow 2CO)$

주석 3) $(N_2 + O_2 \rightarrow 2NO)$ 의 과정을 거친다.

주석 4) 이산화질소의 산업 안전 허용 기준은 10ppm이고 단시간 동안 견딜 수 있는

한계 농도는 50~100ppm이다.

주석 5) 이 과정은 ($\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3$)의 화학식으로 묘사될 수 있다.

주석 6) 단위는 다음의 환산식에 의해 환산된다 : $\mu\text{m}/\text{m}^3 = \text{ppm} \times (\text{molecular weight}) \times 40.90$

주석 7) 폐기종, 기관지염, 그리고 폐렴 등이 이에 해당한다.

주석 8) 질소산화물은 또한 혈중 헤모글로빈과 결합하여 메트헤모글로빈을 형성함으로써 혈액의 산소 전달을 방해하기도 한다.

주석 9) 산성비가 토마토, 피망, 딸기 등의 작물은 증가시키고, 브로콜리, 겨자, 홍당무, 무 등의 작황은 감소시키는 등의 엇갈린 모의 실험 결과가 나온 바 있으나, 산성비가 삼림에 부정적인 영향을 미친다는 것은 이미 널리 알려진 사실이다.

주석 10) 일상 생활 주변의 오존과는 달리, 우리가 흔히 오존층이라고 부르는 성층권(해발 12km-50km)의 오존은 피부암을 유발시키는 자외선을 차단하여 주는 유익한 역할을 하므로 일반인이 오존의 효과에 대해 혼돈하는 경우가 많다.

주석 11) 조수현 외, "대기오염에 의한 건강영향평가 연구", 한국환경기술개발원, 1996년 11월. 참고

3. 우리나라의 대기 오염 현황

3.1. 대기 오염의 발생 추이

주요 대기 오염 물질은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데 그 첫째가 황산화물과 부유 먼지 등으로 주로 개발도상국에서 발생하는 대기 오염이며, 그 다음이 질소산화물, 일산화탄소, 오존 등 자동차 배출 가스와 그로 인한 광화학 스모그 현상에 기인한 대기 오염으로서 선진국에서 주로 발생하는 문제이다.

표1-2를 통해 나타난 우리나라 대기 오염 물질의 총배출량을 보면 우리나라 대기의 질이 80년대 이후 다소 개선되었음을 짐작할 수 있다.¹⁾ 연도별 대기 오염 물질 배출량을 보면 매년 유류 등 총연료 사용량의 증가에도 불구하고 CO는 청정 연료의 공급 등으로 인해 1990년 최고치를 기록한 후 계속 감소하는 추세이며, NOx와 먼지는 그 배출량이 증가하고 있는 것이 눈에 띈다.

〈표 1-2〉 연도별 대기 오염 물질 배출량(단위: 톤/년)

구분	계	아황산가스 (SO ₂)	일산화탄소 (CO)	탄화수소 (HC)	질소산화물 (NO _x)	먼지 (TSP)
1989	4,673,796	1,445,810	1,529,634	191,190	1,121,550	385,612
1990	5,169,119	1,610,960	1,991,065	220,711	926,065	420,318
1991	4,866,959	1,597,780	1,759,505	199,910	878,389	431,375
1992	4,869,637	1,613,349	1,630,378	164,466	1,067,001	392,243
1993	4,583,839	1,571,700	1,290,527	145,165	1,186,697	389,750
1994	4,526,250	1,602,764	1,156,464	146,091	1,191,533	429,398

자료: 환경연감, 1990., 환경백서, 1996.

대기 오염물질 배출량을 발생원별로 구분한 〈표 I-3〉를 보면 아황산가스와 먼지는 산업 및 발전 부문에서, 일산화탄소는 수송 및 난방 부문에서, 질소산화물과 탄화수소는 수송 부문에서 주로 많이 배출됨을 알 수 있다. 특히 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소는 수송 부문인 자동차에 의한 발생량이 가장 많으며 우리나라의 자동차 보유량이 급속히 증가함에 따라 해마다 증가하고 있는 경향을 볼 수 있다. 최근의 자동차 수의 증가는 심각한 교통 정체와 주차난을 야기시킬 뿐 아니라 다량의 오염물질을 배출하기 때문에 도시 대기 오염의 가장 중요한 원인으로 평가되고 있다.

자동차에서 배출되는 오염 물질은 연료 성상에 따라 약간씩 다르나, 휘발유나 가스 연료를 사용할 경우에는 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물 및 미량의 황산화물의 등이 주로 배출되고, 경유를 사용하는 경우에는 이외에도 매연이 더 배출된다. 우리나라의 자동차에 의한 대기 오염의 특징으로는 경유를 사용하는 디젤 지동차가 어느 나라보다 많다는 것과 이들 차량의 과적에 따른 무리한 운행, 지형상 오르막길이 많은 점, 운행자동차의 배기 가스 부분에서의 정비 불량 등을 꼽을 수 있다.

〈표 1-3〉 발생원별 대기 오염 물질 배출량 추이 (단위:톤/년)

구분	연도	난방	산업	수송			발전	계
				자동차	기타	소계		
SO ₂	1991	314,742	787,216	-	-	200,452	295,370	1,597,780
	1992	272,739	802,438	-	-	233,200	305,172	1,613,549
	1993	200,215	798,006	-	-	234,318	339,161	1,571,700
	1994	164,001	833,428	*34,000	*241,390	275,390	329,945	1,602,764
TSP	1991	83,945	162,065	71,288	7,975	79,263	106,102	431,375
	1992	16,480	167,714	87,070	13,615	100,685	107,364	392,243
	1993	14,926	147,942	77,423	16,518	93,941	132,941	389,750
	1994	12,558	151,383	80,449	19,757	100,206	165,251	429,398
CO	1991	681,594	20,997	1,046,925	962	1,047,887	9,027	1,759,505
	1992	597,714	22,444	1,060,497	27,098	1,087,595	12,625	1,630,378
	1993	260,339	16,060	950,455	49,985	1,000,440	13,688	1,290,527
	1994	161,141	16,737	961,016	909,924	51,093	17,569	1,156,464
NO _x	1991	58,547	221,582	434,629	11,492	446,121	152,139	878,389
	1992	64,993	234,083	466,877	99,324	566,201	201,724	1,067,001
	1993	62,194	288,715	471,708	173,105	644,813	190,975	1,186,697
	1994	58,996	329,733	494,375	179,343	673,718	129,086	1,191,533
HC	1991	63,340	1,964	133,349	181	133,530	1,076	199,910
	1992	15,989	15,989	137,062	7,706	144,768	1,556	164,466
	1993	2,152	2,152	126,264	14,141	140,405	1,139	145,165
	1994	1,570	1,816	127,065	14,288	141,353	1,352	146,091

자료: 환경통계연감, 1994, 1995.

3.2 대기질 현황

우리나라에서는 대기질을 측정하기 위하여 대기 오염 농도 측정망(Air Pollution Monitoring Network)을 구성하여 서울 등 각 지방의 주요 도시에서 상시 운영하고 있다. 이 측정망을 통해 아황산가스, 부유분진, 이산화질소, 오존, 일산화탄소 등의 오염 농도와 풍향, 풍속, 온도, 습도, 일사량 등의 기상요소를 매 시간별로 측정하고 있는데, 이렇게 축적된 대기질 측정 자료는 과거에서 최근까지의 농도 변화 경향을 파악하고 대기질 관리 대책의 효과 분석 및 장래의 대기질 관리 대책을 수립하는 데에 있어 필수불가결한 요소이다.

(1) 아황산가스

1980년 이후 우리나라 주요 도시의 연도별 아황산가스 오염도를 살펴보면 저황 연료유를 확대 공급한 서울, 부산, 대구 및 울산 등 대도시에서 아황산가스 배출량이 감소되고 있으며, 특히 서울 지역의 경우 저황연료유를 공급하기 시작한 1980년도에 비해 1994년도에는 아황산가스 오염도가 급격하게 감소하였다. 근래의 아황산가스 농도는 거의 일정한 수준을 유지하고 있으며, 1988년에 약간 증가했다가 다시 감소하는 추세로 1995년 현재 환경 기준치인 연평균 농도 0.03ppm을 만족하고 있다.

〈표 1-4〉 전국 주요 도시의 연도별 아황산 가스 오염도 (단위:ppm)

구분	서울	부산	대구	광주	울산
1984	0.066	0.050	0.040	0.026	0.024
1985	0.056	0.047	0.039	0.020	0.030
1986	0.054	0.042	0.043	0.020	0.032
1987	0.056	0.039	0.055	0.014	0.027
1988	0.062	0.044	0.052	0.019	0.028
1989	0.056	0.047	0.048	0.021	0.029
1990	0.051	0.039	0.041	0.017	0.031
1991	0.043	0.038	0.041	0.017	0.038
1992	0.035	0.033	0.040	0.017	0.031
1993	0.023	0.028	0.035	0.014	0.032
1994	0.019	0.023	0.038	0.013	0.030
1995	0.017	0.023	0.031	0.010	0.028

자료: 환경연감, 1985-1995.

주: 도시별 연평균치는 각 측정 지점의 월별 평균치를 산술 평균하여 산출함.

아황산가스의 발생량은 산업용이나 난방용 연료의 사용량과 관계가 깊어 대체로 난방용 연료 사용량이 많은 겨울철에 높은 농도를 보이고 있다. 그러나 공업 도시인 울산의 경우는 산업 활동이 활발한 관계로 다른 지역에 비해 비교적 높은 농도를 나타내고 있으며, 난방용 유류 소비의 비중이 적어 일반 지역과 같은 계절적 경향을 보이지 않는다는 특징이 있다.

(2) 이산화질소

이산화질소의 경우는 전국적으로 1987년까지 높은 수준을 유지하다가 1988년부터 1990년 사이에 오염도의 급격한 감소를 보인 후 다시 오염도가 증가하였다. 90년도 이후에는 급속한 차량의 증가로 인해 이러한 현상이 초래되었을 것으로 추측할 수 있으나, '80년대 말의 오염도 감소 현상은 그 원인을 찾기 힘들다. 전체적으로는 전 지역에서 환경 기준치인 0.05ppm을 여유 있게 만족하고 있으나 차량이 계속 증가하는 추세가

어서 앞으로의 추이를 계속 주시하여야 할 것이다.

〈표 1-5〉 전국 주요 도시의 연도별 이산화질소 오염도(단위:ppm)

구분	서울	부산	대구	광주	울산
1984	0.029	0.030	0.072	-	0.033
1985	0.034	0.024	0.024	0.015	0.027
1986	0.033	0.024	0.024	0.018	0.030
1987	0.033	0.024	0.024	0.017	0.031
1988	0.033	0.019	0.023	0.014	0.026
1989	0.027	0.024	0.017	0.011	0.027
1990	0.029	0.019	0.018	0.014	0.022
1991	0.033	0.023	0.021	0.013	0.024
1992	0.031	0.023	0.030	0.012	0.026
1993	0.032	0.025	0.024	0.017	0.026
1994	0.032	0.024	0.023	0.022	0.026

자료: 환경연감, 1985~1995.

주: 1) "-"는 측정기 정비 또는 강우량이 적어 측정 불가

2) 도시별 연평균치는 각 측정 지점의 월별 평균치를 산술 평균하여 산출함.

계절별 추이 역시 연료 소비가 급증하는 겨울에 높은 수치를 보이고 여름에는 그 수치가 감소하나, 아황산가스의 경우와는 달리 울산의 경우에도 이와 같은 계절적 패턴을 보이는 것이 차이점이다.

(3) 오존

오존은 전국적으로 계속 증가하는 추세이며 이는 자동차의 증가와 무관하지 않는 것으로 보인다. 최근에 시작한 오존 경보제의 결과 서울지역의 여름철의 오존 경보횟수가 계속적으로 증가하는 등 염려스러울 정도로 지속적인 증가세를 보이고 있다.

또한 오존의 생성 기체가 매우 복잡하나, 자동차에서 배출되는 이산화질소의 태양광의 광화학 반응 등으로 인해 생겨나는 것이 특징이므로 일사량이 많은 여름에 높은 수치를 보이다가 겨울에는 줄어드는 경향이 있다.

〈표 1-6〉 전국 주요 도시의 연도별 오존 오염도(단위:ppm)

구분	서울	부산	대구	광주	울산
1984	0.008	0.010	0.010	-	0.039
1985	0.019	0.015	0.018	-	0.031
1986	0.011	0.014	0.017	0.013	0.015
1987	0.010	0.013	0.011	0.013	0.013
1988	0.009	0.014	0.006	0.013	0.019
1989	0.008	0.012	0.009	0.007	0.015
1990	0.009	0.017	0.008	0.010	0.013
1991	0.012	0.014	0.010	0.013	0.015
1992	0.014	0.015	0.013	0.017	0.013
1993	0.013	0.014	0.013	0.015	0.014
1994	0.014	0.014	0.015	0.015	0.014

자료: 환경연감, 1985-1995.

주: 도시별 연평균치는 각 측정 지점의 월별 평균치를 산술 평균하여 산출함.

(4) 먼지

우리나라 주요도시의 먼지 오염도는 전 도시가 매년 감소 추세에 있으며, 1989년 이후 연평균 환경기준치인 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 달성하고 있다. 그러나 먼지에 대한 우리나라의 환경기준이 외국에 비해 많이 낙후되어 있고 먼지에 의한 건강 피해 연구 결과가 국내·외에서 보고되고 있어 이 분야에 대한 보다 철저한 관리가 필요하다.

또한 최근에는 일반적인 분진보다 신체에 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 미세 먼지(PM10, PM2.5) 등의 심각성이 새로이 대두되고 있어 이제야 미세 먼지에 대한 관리를 시작한 우리나라로서는 각별한 관심을 가져야 할 것이다. 주요 도시의 계절별 오염도를 보면 중국에서 발생하는 황사의 영향을 받는 봄철에 가장 높게 나타나고, 그 다음으로 난방 연료를 많이 사용하는 겨울, 가을, 여름 순으로 높은 것으로 나타났다.

〈표 1-7〉 주요 도시의 연도별 먼지 오염도(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
서울	183	175	179	149	150	121	97	88	78	85
부산	194	197	214	178	140	134	113	96	97	93
대구	140	146	155	128	134	109	119	105	93	73
광주	133	105	100	116	109	100	104	75	64	63
대전	-	175	178	119	115	68	52	53	58	69
울산	172	190	238	165	122	104	102	98	99	97

자료: 환경백서, 1996.

(5) 일산화탄소

일산화탄소의 농도는 80년대 이후 꾸준한 감소세를 보여왔으며, 그 추세는 서울과 광주에서 두드러지게 나타나고 있다. 일산화탄소 농도 감소는 무연탄 및 석탄의 사용의 감소에 크게 영향을 받았으며, 환경부의 연료 대체 정책과, 보일러 성능이 개선되는 현상도 이에 공헌하고 있는 것으로 여겨진다. 일산화탄소의 계절별 농도 변화를 보면 역시 연료 연소와 관련이 깊은 관계로 겨울철에 비교적 높게 나타나고 있다.

〈표 I-8〉 전국 주요 도시의 연도별 일산화탄소 오염도(단위:ppm)

구분	서울	부산	대구	광주	울산
1984	3.2	1.9	2.0	-	1.3
1985	2.7	1.6	2.0	2.5	1.8
1986	3.0	1.6	1.8	2.4	1.9
1987	3.2	2.1	2.3	2.1	1.8
1988	2.8	1.9	2.5	2.0	1.5
1989	3.2	1.7	2.1	2.0	1.6
1990	2.6	1.5	1.9	1.5	1.3
1991	2.2	1.5	1.8	1.9	1.3
1992	1.9	1.1	1.6	1.5	1.1
1993	1.5	1.3	1.2	1.3	1.2
1994	1.5	1.6	1.1	1.2	1.1

자료: 환경연감, 1985~1995.

(6) 산성비(Acid Rain)

산성비란 보통 pH 5.6 이하의 산도를 갖는 비를 말하며, 산성도가 강한 비가 장기간에 걸쳐 내릴 경우 건물, 교량 및 구조물 등을 부식시키고 식물의 수분 흡수를 억제하며, 토양의 유기물 분해를 방해하는 등 토양과 수질을 오염시켜 생태계에 손상을 입힌다.

〈표 I-9〉 주요 도시의 연도별 강우중 산도 (단위:ph)

구분	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
서울	5.3	5.1	5.7	5.6	5.0	5.4	5.3	5.4	5.4	5.7
부산	5.2	5.4	5.2	5.2	5.2	5.1	5.2	5.3	5.2	5.2
대구	5.4	5.3	5.6	5.3	5.7	5.9	5.6	5.5	5.6	5.7
광주	6.1	5.8	5.7	5.7	5.5	5.5	5.7	5.8	5.8	6.2
대전	5.4	5.5	5.7	5.8	5.4	5.4	5.7	5.5	5.7	5.9
울산	5.2	4.9	5.1	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.4	5.1

자료: 환경백서, 1996.

산성도는 아황산가스 오염도와 밀접한 관계가 있는데 <표 I-8> 에서 보는 바와 같이 서울, 부산, 울산 등지에서 산성비가 자주 내리는 것을 볼 수 있다. 특히 근래에는 중국의 산업화로 인해 중국에서 배출되는 산성비 원인 물질이 봄철의 황사 현상에 편승하여 우리나라로 이동하고 있어 이에 대한 대책도 시급히 마련되어야 하는 형편이다. 산성 강우는 월별로 뚜렷한 경향은 보이지 않고 있다.

(7) 중금속 및 기타 오염 물질

이 밖에도 우리나라에서는 1991년에는 납(Pb)의 대기 환경 기준을 추가하여 관리하고 있으며, 각종 중금속도 측정망을 설치해 계속적으로 그 농도를 감시하고 있다. 그러나 아직 이들 물질의 관리 역사가 짧아 추세를 논하기는 이른 것으로 보인다.

<표 I-10> 연도별 주요 도시의 중금속 오염도 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분		서울	부산	대구	광주	대전	울산
납	1993	0.2090	0.1759	0.0476	0.0536	0.2573	0.0866
	1994	0.1907	0.1438	0.0439	0.0470	0.2761	0.0826
	1995	0.1844	0.0705	0.0138	0.0487	0.3666	0.0457
카드뮴	1993	0.0035	0.0030	0.0014	0.0010	0.0016	0.0128
	1994	0.0035	0.0029	0.0021	0.0011	0.0021	0.0113
	1995	0.0040	0.0023	0.0005	0.0013	0.0034	0.0073

자료: 환경백서, 1996.

주석 1) 배출량의 산정에서는 사업장에서 배출되는 오염 물질을 실측하는 방법과 배출 계수를 이용하여 이론적으로 계산하는 방법이 있다. 현재 우리나라의 대기 오염물질 배출량 산정은 아황산가스, 일산화탄소, 이산화질소, 먼지 등의 대기 환경기준 설정 물질을 그 대상으로 하고 있으며, 환경부에서 연간 유류 소비 실적과 석탄 소비 실적을 토대로 미국 환경처(EPA)에서 발표한 배출 계수 및 국내에서 개발한 자동차 배출 계수를 적용하여 추정하고 있으나, 여러 가지 변수가 많고 배출 계수가 부정확해 실제 배출량과는 다소 차이가 있다.

II. 우리나라 환경기준 설정 체계 및 문제점

1. 우리나라의 대기관리제도 현황

세계 각국에서 대기환경기준의 항목으로 다루고 있는 오염물질의 수는 138종, 실제 규제를 목적으로 정하고 있는 국가 배출허용기준의 항목은 49종에 달한다.¹⁾ 우리나라에서도 일정한 기준을 정하여 이들 물질을 관리하고 있다. 구체적으로 우리나라는 대기환경보전법에 <표II-1>와 같이 47종의 대기오염물질을 지정하고 있어 세계적으로 규제되고 있는 거의 대부분의 물질을 대기오염물질로 정하여 관리하고 있는 셈이다.

<표II-1> 대기오염물질(47종)

1. 일차상물질	13. 일산화탄소	25. 인 및 그 화합물	37. 구리 및 그 화합물
2. 브롬 및 그 화합물	14. 암모니아	26. 붕소화합물	38. 염소 및 그 화합물
3. 알루미늄 및 그 화합물	15. 질소산화물	27. 알데히드	39. 불소화물
4. 바나듐 및 그 화합물	16. 황산화물	28. 벤젠	40. 석면
5. 망간화합물	17. 황화수소	29. 스티렌	41. 니켈 및 그 화합물
6. 철 및 그 화합물	18. 황화메틸	30. 아크롤레인	42. 염화비닐
7. 아연 및 그 화합물	19. 이황화메틸	31. 카드뮴 및 그 화합물	43. 다이옥신
8. 셀렌 및 그 화합물	20. 에르캅탄류	32. 시안화물	44. 계분 및 그 화합물
9. 안티몬 및 그 화합물	21. 아민류	33. 납 및 그 화합물	45. 메릴롬 및 그 화합물
10. 주석 및 그 화합물	22. 사염화탄소	34. 크롬 및 그 화합물	46. 휘발성 유기화합물
11. 텔루르 및 그 화합물	23. 이황화탄소	35. 비스 및 그 화합물	47. 폴리크로리네이티드비페닐
12. 바륨 및 그 화합물	24. 탄화수소	36. 수은 및 그 화합물	

주: 위 표의 공은 굵게는 배출부과금 대상 일반오염물질임

이 47종의 대기오염물질 중 독성이 강하여 사람의 건강·재산이나 동·식물의 생육에 직·간접적으로 위해를 줄 우려가 있는 <표II-2>의 16종의 오염물질을 '특정대기유해물질'로 지정하여 특별히 관리하고 있으며,²⁾ 또한 환경기준 설정 항목, 인체에 대한 유해성, 측정의 용이성 등 여러 가지 요인을 고려하여 26개의 오염물질에 대한 배출허용기준을 설정하여 산업체로 하여금 이를 준수토록 하고 있다. 특히 '96년 9월에 개정을 통해 자동차로 인한 대기오염감소를 목표로 사용연료에 따른 측정 대상 오염물질을 구체적으로 정하고 있다.

〈표 II-2〉 특정대기오염물질(16종)

1. 카드뮴 및 그 화합물*	7. 수은 및 그 화합물*	12. 니켈 및 그 화합물*
2. 시안화수소*	8. 구리 및 그 화합물*	13. 염화비닐
3. 납 및 그 화합물*	9. 염소 및 염화수소*	14. 다이옥신
4. 폴리클로리네이티드비페닐	10. 불소화물*	15. 페놀 및 그 화합물*
5. 크롬화합물*	11. 석면	16. 베릴륨 및 그 화합물
6. 비스 및 그 화합물 *		

주: 1) * 배출허용기준이 설정된 특정대기유해물질, 다이옥신은 1997년에 새로이 추가됨
 2) 굵은 글씨는 배출부과금 대상 특정대기유해물질을 나타냄

현재 우리나라의 대기질 기준은 크게 대기환경기준과 배출허용기준으로 나눌 수 있다. 각각의 기준은 정부가 설정한 환경 목표를 달성하기 위한 방법 중의 하나라고 볼 수 있다.

이 중 대기환경기준은 대기오염에 의한 피해로부터 국민을 보호하기 위한 행정목표치의 성격을 띄고 있어 강제성을 가지지 않는다. 반면에 배출허용기준은 환경기준을 달성하기 위한 주요 규제수단으로서 각종 배출원으로부터의 배출량을 규제할 수 있도록 하는 강제적인 성격을 가지는 수단이며, 현재의 오염물질 방지·처리기술과 경제적, 사회적 여건을 고려하여 정한 것이다. 이는 각 오염원으로부터의 오염물질 배출의 최대허용치 혹은 최대허용농도라고 할 수 있으며 대기환경기준에 따라 달라질 수 있다.

1.1. 대기환경기준

우리나라에서는 아황산가스, 이산화질소, 먼지, 오존, 일산화탄소, 납 등 6개의 대기오염물질과 소음에 대한 환경기준을 전국적으로 설정·운영하고 있으며 지방자치단체장이 지역환경의 특수성을 고려하여 지방자치단체별 조례에 의해 별도의 환경기준을 설정할 수 있도록 하고 있으나 실제로 고유의 대기환경기준을 설정하고 있는 자치단체는 없다.

〈표 II-3〉 대기환경기준

항 목	기 준	측 정 방 법	
아황산가스 (SO ₂)	연간평균치 0.03ppm이하 24시간평균치 0.14ppm이하 1시간평균치 0.25ppm이하	자외선형광법 (Pulse U. V. Fluorescence Method)	
일산화탄소 (CO)	1개월평균치 3ppm이하 8시간평균치 20ppm이하 (8시간평균치 9ppm이하) 1시간 평균치 25ppm이하	비분산적외선분석법 (Non-Dispersive Infrared Method)	
이산화질소 (NO ₂)	연간평균치 0.05ppm이하 24시간평균치 0.08ppm이하 1시간평균치 0.15ppm이하	화학발광법 (Chemiluminescent Method)	
먼 지	총먼지 (TSP)	연평균치 150 μ g/m ³ 이하 24시간평균치 300 μ g/m ³ 이하	베타선흡수법 (β -Ray Absorption Method), 고용량공기표집법 (High Volume Air Sampler Method)
	미세먼지 (PM-10)	1년간평균치 80 μ g/m ³ 이하 24시간평균치 150 μ g/m ³ 이하	베타선흡수법 (β -Ray Absorption Method)
오존 (O ₃)	8시간평균치 0.06ppm이하 1시간평균치 0.1ppm이하	자외선광도법 (U. V. Photometric Method)	
납 (Pb)	3개월평균치 1.5 μ g·m ³ 이하	원자흡광광도법 (Atomic Absorption Spectrophotometry)	

주. 1) ()내의 기준은 1995. 1. 1 부터 시행함.
 2) 1시간 및 24시간 평균치는 연간 3회이상 그 기준을 초과하여서는 안됨.
 3) 미세먼지는 입자의 크기가 10 μ m이하인 먼지를 말함.

세계보건기구(WHO, World Health Organization)는 SO₂, TSP, O₃, NO₂, CO, Pb 등 18개 물질에 대하여 인체에 해로운 농도와 노출시간에 대한 권고치를 설정하여 대기환경기준 설정과 관련한 기초 자료로 제공하고 있으며, 세계 각국은 WHO의 권고치(1987)를 참고하여 각국의 실정에 맞는 환경기준을 설정하고 있다.

우리나라의 대기환경기준은 1979년 아황산가스에 최초로 적용된 이후 1983년에는 이산화질소, 일산화탄소, 부유분진, 오존, 탄화수소를, 1991년에는 납을 추가함으로써 그 항목들이 점진적으로 확대되었으며 1993년에 탄화수소를 삭제하고 미세먼지(PM-10)를 추가하여 현재 총 7개 항목에 대한 대기환경기준을 〈표 II-3〉 과 같이 설정·운영하고 있다.

〈표 II-4〉 각국의 대기환경기준

구분	한국	미국	캐나다	이태리	스위스	터키	일본	대국	싱가포르	대만	홍콩	WHO 권고기준	EC 권고기준	
SO ₂ (ppm)	년평균	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.06	-	0.04	0.03	0.03	0.015-0.023	0.015-0.023	
	24시간평균	0.14	0.14	0.11	0.10	0.04	0.15	0.04	0.11	0.14	0.10	0.04-0.06	0.04-0.06	
	1시간평균	0.25	-	0.34	-	-	-	0.10	-	-	0.25	0.31	-	
TSP (μg/m ³)	년평균	150, +80	-	+70	150	-	+70	-	100	75, +50	130, +65	80, +55	60-90	-
	24시간평균	300, +150	-	+120	300	-	+100	-	330	260, +150	250, +125	260, +180	150-230	-
	1시간평균	-	-	-	-	-	-	+300	-	-	-	-	-	-
O ₃ (ppm)	년평균	-	-	0.015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	8시간평균	0.05	-	0.025	-	-	-	-	0.03	0.05	-	0.05-0.06	0.06	
	1시간평균	0.10	0.12	0.08	0.10	0.06	0.12	0.06	0.10	0.12	0.12	0.08-0.10	-	
NO ₂ (ppm)	년평균	0.05	0.053	0.05	-	0.02	0.05	-	0.05	0.05	0.04	-	-	
	24시간평균	0.08	-	0.11	-	0.04	-	0.04-0.06	-	-	-	0.08	0.08	
	1시간평균	0.15	-	0.21	0.11	0.05/30분	0.16	-	0.17	0.10-0.17	0.25	0.16	0.21	
CO (ppm)	1개월평균	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	24시간평균	-	-	-	-	7	-	10	-	-	-	-	-	
	8시간평균	9	9	13	9	-	9	20	17	9	9	9	-	
	1시간평균	25	35	31	35	-	25	-	44	25	25	25	-	
HC (ppm)	년평균	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1시간평균	-	-	-	-	-	0.26	-	-	-	-	-	-	
Pb (μg/m ³)	1.5/3개월	1.5/3개월	-	2.0/년	1.0/년	-	-	10/24시간	1.5/3개월	1.0/1개월	1.5/3개월	0.5-1.0/년	-	
비고	<ul style="list-style-type: none"> 직경이 10μm이하인 입자를 대상(다만, 스위스는 풍속속도가 10cm/s이하인 미세부유분진 대상) 숫은 들서는 우리나라보다 엄격한 환경기준을 표시함 프랑스는 EC 기준(CO는 WHO 기준)을 인용 영국은 EC 기준(NO₂, SO₂, Pb)과 WHO 기준(CO, O₃ 및 기타)을 인용 													

이들 7개 항목 중 SO₂ TPS, O₃, NO₂, CO의 5개 물질은 주요대기오염 물질로서 〈표 II-4〉에서 보는 바와 같이 한국, 미국, 캐나다, 스위스, 일본, 대만 등 거의 모든 국가에서 대기환경기준을 설정하고 있다. 그러나 납(Pb)은 미국, 대만 및 한국에서는 대기환경기준 대상 물질인 반면 일본, 캐나다, EC 등 많은 나라에서 기준 대상에서 제외되고 있으며, 탄화수소(HC)는 인체에 직접 해로운 영향을 끼치지 않으므로 터키를 제외한 모든 국가에서 대기환경기준 대상에 포함되지 않고 있다. 단, 탄화수소는 광화학반응에 의해 오존을 생성시키는 원인물질이므로 자동차에서의 배출을 엄격하게 규제하고 있다.

특히 최근의 대기환경보전법 개정의 특징은 오염도 상시측정결과 환경기준의 80%이상인 지역을 환경부장관이 대기환경규제지역으로 지정하여 관할 지자체로 하여금 대기오염을 저감할 수 있는 실천계획을 수립토록 할 수 있게 규정하고 있다.³⁾

1.2 배출원 규제

1.2.1 배출허용기준

환경기준을 달성하기 위한 주요수단인 배출허용기준은 각종 배출원으로부터의 배출

량을 규제할 수 있도록 하는 강제 수단으로서, 현재의 오염물질 방지·처리기술과 경제적, 사회적 여건을 고려하여 정한 것이다. 배출허용기준은 오염원으로부터의 배출농도 최대허용치이며, 환경기준의 변화에 따라 변화하는 것이 보통이다. 우리나라는 현행 대기환경기준을 달성하기 위하여 저황유공급·LNG 사용의무화 등의 대기정책을 추진하고 있을 뿐만 아니라 배출시설에 대한 배출허용기준 및 자동차 배출가스 허용기준도 대기환경기준의 테두리 내에서 설정·운영하고 있다.

보다 구체적으로, 대기환경보전법에서 대기오염 배출시설을 정의하고, 황산화물 등 26개 오염물질에 대하여 배출허용기준을 규정하고 있으며, 시설별로 3단계의 적용기준을 두어 기준을 강화하는 예시제를 시행하고 있다. 기준치의 단위는 ppm, %, mg/m³으로 단위 배출가스당 오염물질의 부피 또는 중량으로 표시하는 농도기준치로서, 앞으로 점차 강화되어 1999년 이후의 배출허용기준은 선진국과 비슷한 수준을 유지하려는 계획을 가지고 있다. 그러나 EU, 미국, 일본 등 선진국에서 실시하고 있는 총량규제 또는 배출권거래제도 등은 배출 농도 이외에 배출총량에 대해서도 규제를 하는 것이므로 아직 우리나라의 배출규제는 선진국의 규제와는 질적인 차이가 있다고 볼 수 있다. 그러나 국내에서도 대기오염 상태가 환경정책기본법에 의한 환경기준을 초과하여 주민의 건강·재산이나 동·식물의 생육에 중대한 위해를 가져올 우려가 있다고 인정하는 구역 또는 특별대책지역 중 사업장이 밀집되어 있는 구역의 경우에는 당해 구역 안의 사업장에 대하여 배출되는 오염물질을 총량으로 규제할 수 있도록 하고 있다.

구체적으로 대기오염원에 대한 규제수단을 살펴보면 국가가 정한 대기오염물질 배출시설로부터 가스상, 입자상 물질 및 악취물질을 규제하는 '배출허용기준'이 있고⁴⁾, 공업단지와 같이 대기오염이 심한 지역은 특별대책지역으로 선정하여 그 지역 내의 배출시설에 적용하는 '엄격한 배출허용기준' 그리고 그 지역 내에 새로이 설치되는 배출시설에 대하여 적용하는 '특별배출허용기준' 등이 있다.

자동차에 관해서는 크게 '제작차 배출허용기준'과 '운행차 배출허용기준'으로 나누는데 제작차 배출허용기준으로 휘발유·알콜 또는 가스를 사용하는 자동차의 경우에 대하여 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 알데히드를, 경유를 사용하는 자동차의 경우에 일산화탄소, 배기관 탄화수소, 질소산화물, 매연, 입자상물질(PM)을 규제하고, 운행차 배출허용기준으로 각 차종에 따라 일산화탄소, 배기관 탄화수소 및 매연을 규제한다.⁵⁾ 최근에 법개정(1996.9.)을 통해 차종별 제작차 배출가스 허용기준의 적용기간이 세분화되었으며, 경유자동차의 매연배출허용기준을 차종별·제작일자별로 차등하여 규정함으로써 자동차 배출가스의 관리를 강화하였다.

1.2.2. 배출부과금제도

현 제도하에서 대기환경보전법 제19조1항에 의해 법으로 정해진 10개의 오염물질에 대해 배출허용기준을 초과하여 오염물질을 배출하는 사업자에게 그 오염물질의 종류·

배출기간·배출량 등을 산정기준으로 하는 배출부과금을 부과하고 있다. 따라서 이 제도는 전체적으로 총량규제나 배출세와 비슷한 형태를 띄고 있으나 배출허용기준 초과행위에 대해서만 부과하고 있어 벌과금적 성격을 띄는 면이 있다.⁶⁾

〈표Ⅱ-5〉 배출부과금 부과 대상 오염물질

1.황산화물	2.암모니아	3.황화수소	4.이황화탄소
5.먼지	6.불소화합물	7.염화수소	8.염소
9.시아나화수소	10.악취		

배출부과금 제도의 원래의 취지는 환경오염으로 발생한 피해비용이나 환경오염이 없었던 상태로 복원시키는데 필요한 복구비용을 부과토록 하자는 것이다. 그러나, 원인자별 기여도에 따라 복구비용을 산정해내기란 결코 쉬운 일이 아니며 인과관계가 극히 단순한 예외적인 경우를 제외하고는 거의 불가능하다.

배출부과금 산정 상의 난점이나 부담자와의 이견을 피하고자 대부분의 실시국가에서는 환경오염물질의 처리비용에 상당하는 금액을 부과하던가 여기에 오염물질의 환경위해성을 감안한 금액을 부과하는 경우가 많다. 그러나 우리나라의 배출부과금의 효율이 낮고 위반자가 적발될 확률도 매우 적어 배출부과금 본래의 목적을 달성하지 못하고 재원조달 역할에 치중하고 있다는 비난을 받고 있기도 하다.

구체적으로 배출부과금은 사업장 규모별로 부과하는 기본부과금과 배출허용기준을 초과하여 배출되는 오염물질의 처리비용에 상당하는 금액을 부과한 처리부과금으로 구분하여 이를 합산한 금액으로 한다.

기본부과금의 산정에 필요한 오염물질 배출량은 배출계수에 연료사용량 등을 곱하거나 먼지의 경우 자가측정 결과를 근거로 산출하며, 기본 부과금의 부과대상이 되는 사업장을 1종, 2종 사업장, 그리고 특별대책지역내 3종사업장으로 규정하고 있다.⁷⁾

1.2.3. 배출오염원 관리 및 대책

대기환경기준 설정 물질 중 아황산가스(SO₂), 일산화탄소(CO), 먼지(TSP)는 주로 난방이나, 산업공정에 사용되는 연료의 연소과정에서 발생하는 물질들로써, 주요오염원은 가정이나 소규모 연료 사용시설(면오염원)과 대형배출시설(점오염원)이다. 반면 이산화질소(NO₂)와 탄화수소(HC)는 자동차(선오염원)에서 주로 배출되는 것이 특징이다.

점오염원의 관리는 대기환경보전법에서 사업장의 연간 연료사용량에 따라 고정배출시설을 〈표Ⅱ-6〉과 같이 1~5종으로 구분하고, 이를 다시 배출되는 오염물질의 특성에 따라 일반배출업소와 특정대기유해물질 배출업소로 분류하여 관리하고 있다. 1995년 12

월의 법 개정을 통해 이들 중 일정 규모 이하의 오염물질 배출시설에 대하여는 허가제를 신고제로 전환하고 지방자치단체의 역할을 강화하였다.

〈표 II-6〉 사업장의 규모별 구분

종 류	내 용
1종사업장	고체환산연료사용량이 연간 10,000톤 이상인 사업장
2종사업장	고체환산연료사용량이 연간 2,000톤 이상 10,000톤 미만인 사업장
3종사업장	고체환산연료사용량이 연간 1,000톤 이상 2,000톤 미만인 사업장
4종사업장	고체환산연료사용량이 연간 200톤 이상 1,000톤 미만인 사업장
5종사업장	1종 내지 4종 사업장에 해당되지 않는 사업장

주: 고체환산연료사용량은 사업장의 배출시설에서 사용되는 고체·액체·기체 및 기타 연료(열원으로 사용되는 연료 포함)의 사용량을 무연탄으로 환산한 양을 말함(개정 93.6.9.).

한편, 이동배출원(선오염원)인 자동차 배출가스 규제수단으로는 제작자동차와 운행차에 대한 배출허용기준 이외에도, 저공해 자동차의 보급 및 결합시정제도, 배출가스보증기간 강화, 연료의 품질개선 등을 통해 대기질을 관리하고 있다.

이 중 결합시정제도는 자동차 제작자가 배출가스 보증기간 동안 제작차배출허용기준을 유지하는지의 여부를 확인하기 위한 규제수단으로, 검사결과 제작차배출허용기준을 초과하는 경우에는 자동차제작자가 책임을 지고 당해 차종 전체에 대하여 무상으로 관련 부품을 수리 또는 교체하도록 하고 있다.⁸⁾ 또한, 자동차 연료의 유종별 품질기준을 정해 휘발유의 경우 1992년 이전까지는 납과 인 함량만을 규제하여 왔으나 1993년부터는 방향족화합물질, 벤젠 및 산소의 함량도 연차적으로 규제를 강화해 나가고 있다.⁹⁾

그 밖의 면오염원인 생활환경상의 대기관리는 크게 연료규제와 고체연료 사용금지 및 비산먼지 규제 등으로 나누어 볼 수 있다. 산업체에서 배출되는 아황산가스를 줄이기 위하여 1981년부터 정유사의 탈황 및 분해시설 설치계획을 세우고 지금까지 저유황 연료유 공급을 확대·강화하여 실시하고 있으며, 고체연료의 사용을 금지하고 있다.¹⁰⁾

LNG 사용의무화는 저황유 공급 대책만으로는 아황산가스의 저감이 어렵다고 판단되는 지역에 대하여 지역난방시스템의 확대 등 주로 발전 및 난방부문을 대상으로 추진되는 대책으로서 현재까지는 대도시 특히 서울 등 수도권지역에서 시작하여 부산·대구 및 기타 지역으로 계속 확대해 나가고 있다. 〈표 II-7〉에서 보는 바와 같이 LNG의 사용확대를 통해 아황산가스 배출량이 상당히 저감되어, 서울시의 경우에는 아황산가스 오염도가 '93년 0.023ppm, '94년 0.019ppm, '95년 0.017ppm으로 급격히 감소하여 WHO 권고기준(0.015-0.023ppm)에 도달하는 결과를 가져다주었다.

〈표 II-7〉 연도별 LNG 사용량 현황

연 도	1990	1991	1992	1993	1994
사용량(천톤/년)	2,316	2,659	3,481	4,365	5,783

또한 일정한 배출구 없이 대기중에 직접 배출되는 비산먼지를 관리하기 위해 1987년에 비산먼지 발생원 시설관리기준을 마련하였다. 이 기준에 따르면 비산먼지를 발생시키는 사업행위를 하기 위해서는 환경부에 신고하고 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설을 설치하거나 조치를 하여야 한다. '90년대에 들어와서는 이 기준을 강화하여 대상사업장을 확대하는 한편, 보다 엄격한 시설관리기준을 설정하였다. 또한 지방자치단체로 하여금 진공청소차 확보와 노천소각 및 쓰레기 적환장에서 발생하는 비산먼지의 저감을 추진토록 하여 대도시의 먼지를 저감하도록 하는 조치를 취하고 있다. 그러나 비산먼지의 관리는 아직도 여타 국가에 비해 소홀한 편이다.

1.3 기타 관리대책

1.3.1 비규제 오염물질의 관리

대기 중에는 위에서 언급되지 않은 많은 종류의 오염물질이 존재하며, 상당수가 암이나 기타 인체에 대한 유해성을 가지기 때문에 관심의 대상이 되고 있다. 미국 등 선진국에서는 이들 오염물질의 유해성 평가를 지속적으로 추진하고 있으며 적절한 대기질 관리를 위해 배출허용기준 항목에 이들 오염물질을 추가시키는 등 꾸준한 노력을 하고 있다.

현재의 국내 특정대기유해물질(HAP : Hazardous Air Pollutants)은 대부분이 금속 및 무기화합물로 제한되어 있고, 47종의 현 대기오염물질 항목 중에는 선진국에서 유해대기오염물질로 지정해 놓은 항목이 상당 종류 포함되어 있어 특정대기유해물질의 개념과 지정항목의 제정립 및 추가가 요구된다. 아울러, 현 특정대기유해물질의 사업장 배출시설 관리대상 항목 수 자체는 선진국과 비교할 만하나 사업장 관리제도가 미흡하고 규제이행의 준수여부 확인 및 관리의 부실 등이 지적되고 있어 이에 대한 대책이 요구된다.¹¹⁾

이전까지는 오존과 악취발생 유발물질인 휘발성유기화합물질(VOC)은 대기환경보전법상 대기오염물질로는 지정되어 있으나 대상물질 선정과 별도의 규제대책은 없었다. 그러나 1996년 9월의 개정을 통해 대기환경규제지역안에서 배출이 규제되는 VOC의 종류를 구체적으로 정하고, VOC 배출억제 및 방지시설의 설치기준 및 VOC 배출업체에 대한 방지시설의 설치를 규정하고 1999년부터 시행에 들어간다. 아울러 이산화탄소·메

탄 등 7개 기체상 물질을 기후·생태계변화 유발물질로 새로이 지정하였다.

1.3.2 오존경보제

최근 자동차 보급의 급격한 증가로 질소산화물과 탄화수소의 배출이 늘어나면서 이로 인한 오존오염이 큰 사회문제로 등장하고 있다. 그러나 오존오염은 오염원뿐만 아니라 기상현상에 많은 영향을 받기 때문에 실효성 있는 대책 마련이 어렵다. 따라서 환경부에서는 오존오염도가 일정 수준 이상 높게 나타났을 때 국민들에게 신속히 알리는 오존경보제를 1995년 7월부터 서울지역에 실시하고 있으며 이 제도를 계속 확대해 나갈 예정이다.

1.3.3 기타

우리나라도 선박 등 자동차 이외의 운송수단에 의한 배출가스가 1994년의 경우 난방 부문(398천톤, 8.8%) 보다 많은 506천톤(11.2%)의 오염물질을 배출하는 것으로 나타나고 있다. 이것만을 보더라도 선박, 철도, 항공기 등에 대한 규제가 시급함을 알 수 있다.

따라서 디젤엔진을 사용하는 기관차 등의 연료에는 단계적으로 황함유량을 줄여나가고 전기동력차량으로 대체하며, 항공기에 대해서는 미국환경보호처와 국제민간항공기구의 규제치를 도입하는 방안을 고려할 필요가 있다. 아울러 선박에 대해서는 국제해사기구에서 곧 마련할 선박용 디젤엔진에 대한 세계적인 규제안 수용을 통해 공해 상의 대기오염행위에도 관심을 가져야 할 것이다.

주석 1) 최근에는 기존의 대기오염물질 이외에도 지구환경보호 등을 이유로 더 많은 물질들이 대기오염물질로 지정되는 추세이며, 독일, 이태리, 스위스 등에서 CO₂를 대기오염물질로 규제하는 것이 그 예라고 할 수 있다. 우리나라에서도 이산화탄소, 메탄, 이산화질소, 일산화탄소, 이산화질소, 아황산가스, 염화불화탄소 등을 '기후·생태계변화 유발물질'로 정하여 관리하고 있다. (대기환경보전법2조 1의 2, 시행규칙 3조 참조)

주석 2) 대기환경보전법 2조8항 및 동법 시행규칙 2조 참조. 이들 특정대기유해물질의 배출시설의 설치를 환경부장관의 허가사항으로 규정(법 제10조1항 및 시행령 4조 1항의 1 참조)하고 있으며, 또한 이들 물질의 배출시설에 대해 방재설비의 설치를 명령(법10조4항 및 시행규칙24조 참조)할 수 있다.

주석 3) 1996년 9월 개정된 대기환경보전법 제8조3항, 동법 시행령 제3조 및 동법 시행규칙 제 14조 참조

- 주석 4) 자세한 내용은 대기환경보전법 시행규칙 (이후로는 시행규칙으로 칭함) 참조.
- 주석 5) 운행차 배출허용기준은 <표A-5> 참조. 제작자 배출허용기준은 시행규칙 참고.
- 주석 6) 현재 우리나라는 배출허용기준을 초과하여 오염물질을 배출하는 사업자에 대하여 부과하던 상태에서 법 개정을 통해 오염물질 배출량에 비례하여 기본 배출부과금을 부과하는 보다 더 배출세에 가까운 형태를 띄게 되었다. (개정 95. 12. 29.).
- 주석 7) 상세한 배출부과금 부과 방법은 부록 I 참고.
- 주석 8) 대기환경보전법 상의 배출가스 보증기간은 시행규칙 참조.
- 주석 9) 자세한 자동차 연료규제 내역은 시행규칙 참조.
- 주석 10) 그러나 시멘트, 석회석 등의 소성로시설과 폐기물관리법 관련규정에 따라 설치된 소각시설에 대해서는 예외규정을 두어 고체연료 사용금지 지역에서 도 사용할 수 있도록 하고 있다. 또한 오염물질의 배출을 최소화할 수 있는 시설설치 및 운용에 관한 입증서류를 제출하여 환경부장관의 승인을 받은 경우에 한하여 고체연료를 사용할 수 있도록 하고 있다.
- 주석 11) 한화진(1994) 참조

2. 현행 제도의 문제점

위와 같은 제도적 장치와 노력에도 불구하고 우리나라의 현행 대기관리 제도는 지속적인 개선을 필요로 하고 있다. 현행 대기환경 관리제도의 문제점은 대략 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째는 우리나라의 대기환경기준의 성격과 설정 방법에 있다. 우리나라의 대기환경 기준은 단순한 행정목표치이다. 단순한 행정목표치는 국민의 건강보호와 재산보호라는 본래의 대기관리 정책의 목적이 희석되는 결과를 초래하게 된다. 또한 행정목표치인 대기환경기준과 이를 달성하는 도구인 배출허용기준과의 연계가 희미해지는 결과를 초래하게 됨으로서 환경규제의 효율성을 상실하는 결과를 낳는다.

현재의 대기환경기준은 지역별로 위반하는 경우가 많이 일어나고 있다. 특히 울산지역의 경우 대기환경기준을 고질적으로 초과함에도 불구하고 이들 지역에 대해 현재 별다른 제재수단을 가지고 있지 못하다.¹⁾ 일정 지역에서의 고질적인 대기환경기준은 대기환경기준이 올바르게 설정되지 못하였거나, 또는 이행 및 제재수단의 미비로 인해 대기환경기준 그 자체가 무의미한 경우로 나누어 볼 수 있다. 양자의 경우 모두 현행의 대기환경기준 제도의 개선을 필요로 하고 있다.

둘째로 우리나라의 배출허용기준치는 농도기준치로서 농도규제의 성격을 지니고 있다. 그러나 농도기준치만으로는 소규모와 대규모 배출시설의 오염 정도를 구별해 낼 수 없다는 데에 문제가 있다. 즉 대규모시설은 일반적으로 그 절대량에서 소규모 시설보다 훨씬 많은 양의 오염물질을 배출하지만 배출허용기준치를 준수하기만 하면 규제 대상이 되지 않는 것이다. 현재 우리나라의 배출부과금제도가 기본부과금 산정에 있어 총량규제의 특성을 도입하기는 하였으나 기본 효율이 낮아 효과적인 경제적 유인을 제공하고 있지 못하고 있는 상태이다. 따라서 어떤 형태로든지 총량규제를 도입하는 방향으로 정책이 바뀌어야 할 것이다.

셋째, 앞에서 살펴본 바와 같이 지금까지 우리나라의 대기질 관리를 위한 환경기준 설정이 기준오염물질에 국한되어 왔기 때문에 도시지역이나 공업지역에서 예상되는 다양한 종류의 독성 대기오염물질이나 유해화학물질 등에 대한 관리가 부실한 상태이다.

현행의 특정대기유해물질 역시 대부분이 금속 및 무기화합물로 제한되어 있으며, 사업장에서의 특정대기유해물질 규제·관리제도가 미흡하다. 또한 잠재적 위해성이 높은 미량 유기 화합물의 위해성 평가 자료 및 측정 등의 기초 자료가 거의 없을 뿐 아니라 과학적, 정책적 연구가 거의 이루어지지 않아 대기유해물질의 관리가 제대로 이루어지지 않고 있다. 그러나 우리나라의 OECD가입과 함께 이 부분의 문제점은 어느 정도 해소될 것이 전망되고 있다.

넷째, 대기환경보전을 위하여 현재 운영되고 있는 정책이 지나치게 직접규제에 의존하고 있다는 특징을 갖고 있다. 그러나 직접규제는 경제적 비효율성을 야기한다는 것은 이미 널리 알려진 사실이다. 특히 정부가 기업의 생산활동에 너무 깊숙이 관여하고, 대부분의 규제가 획일성·경직성 및 행정편의주의적으로 만들어지는 경향이 있어 기업의 생산성 저하의 요인으로 자리잡고 있다.

아울러, 직접규제는 필연적으로 규제당사자가 감시·감독 및 처벌을 하게 되어 각종 부정·비리의 온상이 될 수 있으며, 특히 국내 실정을 감안하지 않은 과도한 규제기준은 그 집행을 어렵게 하는 문제가 있다.

마지막으로, 앞서 기술한 정책의 모든 단계에서 올바른 평가 및 개선 기능이 내재되어 있지 않다는 데에 문제가 있다. 즉, 제반 정책은 그 목표와 평가 기준이 마련되어 주기적으로 정책과 집행의 성과에 대한 평가가 자동적으로 이루어지고, 이에 기초하여 제도가 개선되고 집행 체계를 재정비하는 계기가 되어야 한다. 그러나 현 제도하에서는 이러한 정책의 평가 및 개선 체계가 갖추어져 있지 않아 담당부서와 담당자의 역량과 주관적인 정책 우선순위에 따라 정책이 개선되거나 방치되는 결과를 낳고 있다. 이러한 장애를 넘어야만 일관성 있고 예측 가능한 선진 대기정책이 가능케 될 것이다.

주석 1) 현재 울산을 특별관리지역으로 지정하여 총량규제가 가능하도록 하고는 있으나 아직 실효성이 없는 것으로 보인다.

Ⅲ. 외국의 대기질 관리 현황

1. 미국의 관리 현황

1.1. 대기환경기준

대기오염저감을 위한 미국의 대기질 관리제도는 대기환경기준(air quality standards), 배출허용기준(emission standards), 배출부과금(pollution taxes) 등으로 나눌 수 있는데 이중 대기환경기준과 배출허용기준 제도는 미국 대기정책의 근간을 이루는 제도이다.

미국은 1970년대 이후 대기정화법에서 주요 대기오염물질의 환경기준으로 생활환경(재산) 보호를 위한 1차 기준과 건강보호를 위한 2차 기준을 설정하고 있다. <표Ⅲ-1>은 1·2차 연방대기환경기준을 보여주고 있다. 여기서 주목할 것은 미국의 대기환경 2차 기준은 건강위해성의 완전 제거에 역점을 두고 있기 때문에 신체의 안전을 보장하는 선보다는 엄하게 설정되어 있다는 사실이다. 이와 같은 사실은 미국의 대기환경기준이 대기오염에 가장 취약한 비교적 소규모의 대상계층까지의 보호 수준 확보를 목표로 하고 있어 비효율적, 비경제적이라는 산업계로부터의 비난을 받는 요인이 되기도 한다.

미국은 이 6가지 기준오염물질의 배출제한에 초점을 두고, 각 지역(air quality control regions)에 대해 각 기준오염물질마다 기준치 달성여부를 조사하여, 달성·미달성 지역으로 구분하여 관리하고 있다.

1.2 대기오염물질의 분류 및 관리

현재 미국의 대기오염물질에는 오존과 입자상물질을 포함한 6가지의 기준오염물질 외에 '77년 개정법에 의해 지정된 석면, 베릴륨, 수은, 염화비닐, 벤젠, 방사성핵종(라돈 포함), 무기비소 등 7가지 유해대기오염 물질을 포함하여 현재 189개의 HAP(Hazardous Air Pollutants)를 규정하고 있다. 유해대기오염물질은 <표A-6>과 같다.

〈표Ⅲ-1〉 미국의 연방 대기환경기준

구분	1차기준	2차기준	측정방법
SO ₂	년평균	80 μ g/m ³ (0.03ppm)	동일 비분산적외선분광기법 (Nondispersive infrared spectroscopy)
	24시간평균	365 μ g/m ³ (0.14ppm)	
	1시간평균	1300 μ g/m ³ (0.5ppm)	
CO	8시간평균	10 μ g/m ³ (9ppb)	동일 살츠만비색정량분석법 (Colorimetric using Saltzman method or equivalent)
	1시간평균	40 μ g/m ³ (35ppb)	
NO ₂	년평균	100 μ g/m ³ (0.053ppm)	동일 파라로세닐린법 (Pararosaniline method or equivalent)
PM-10	년평균	50 μ g/m ³	50 μ g/m ³ 입자크기분별법 (Size-selective samplers)
	24시간평균	150 μ g/m ³	
HC	3시간 (6-9 am)	160 μ g/m ³ (0.24ppm)	동일 크로마토그래피를 이용한 불꽃이온화검출법 (Flame ionization detector using gas chromatography)
O ₃	1시간평균	235 μ g/m ³ (0.12ppm)	동일 화학발광법 (Chemiluminescent method or equivalent)
Pb	3개월평균	1.5 μ g/m ³	동일 원자흡광법 (Atomic absorption)

자료: IUAPPA, 1995, Clean Air Around The World: National Approaches to Air Pollution Control.

1.3 배출규제

1.3.1 배출규제기준

미국의 배출규제기준은 총량규제로써 각각의 상한규제는 주에 의해 만들어진다. 각 주는 생산활동의 규모와 실정에 맞게 합리적인 규제를 하고 있으며 기준치의 단위는 연료소비량당 오염물질의 중량, 생산물품 중량당 오염물질의 중량, 시간당 오염물질의 중량, 사용에너지당 오염물질의 중량 등 여러 가지를 활용하고 있다. 총량규제를 하기 위해서는 먼저 충분한 자료의 축적에 의한 환경용량의 파악과 각 업종별로 구체적인 배출원 자료 및 원단위의 산출 등 기초작업이 이루어져야 한다. 〈표A-7〉 ~ 〈표A-9〉는 미국의 기준오염물질 중 황산화물, 먼지, 질소산화물의 배출허용기준의 예를 보여주고 있다.

또한 미국은 1990년의 대기정화법(Clean Air Act) 개정을 통해 주요 오염원인 자동차 배출가스의 90%이상 저감을 목표로 배출가스기준을 강화해오고 있다. 그 1단계로 1996년까지 탄화수소 30%, 질소산화물 및 미세먼지는 60% 저감시키고, 2단계로 2003년 이후에는 1단계 기준의 2배로 강화하여 비메탄탄화수소(NMHC)는 0.125g/mile, CO는 1.7g/mile, NO_x는 0.28g/mile의 배출기준을 적용하며, 알콜 또는 알콜 85% 이상 함유연료, 천연가스, 액화석유가스(LPG), 전기, 수소, Reformulated Gasoline 등 청정연료를 사용하는 자동차를 생산, 보급할 예정이다. 오존기준 초과지역에서는 청정연료 사용차와

소형화물차를 대상으로 시범프로그램(Pilot Program)을 실시하여 1996-1998년에는 연간 15만대, 1999년 이후에는 연간 30만대 이상의 청정연료자동차를 확보하도록 의무화하는 방안을 강구하고 있다.

아울러 유해대기오염물질 중 7개의 오염물질에 대해 <표A-10>이 보여주는 바와 같이 연방배출기준을 규정·실시하고 있다. 역사적으로 미국은 독성대기오염물질 규제를 요구하는 사회적 압력에도 불구하고 1970년부터 20년 동안 이 7가지 물질만이 유해대기오염물질에 관한 연방배출기준(NESHAPs : National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants)규제를 받는 등 실적이 미약하였다. 그러나 1990년에 청정대기법의 개정을 통해 189종류의 대기오염물질에 대하여 배출원을 조사하고 이들에 대해 1994년 11월까지 25%, 1997년 11월까지 추가 25%, 그리고 2000년 11월까지의 나머지 50%에 대한 배출허용기준을 제정토록 하고 있다.

1.3.2 신규·기존오염원에 대한 기술규제

미국은 신규배출원에 대해 NSPS(New Source Performance Standards)와 BACT(Best Available Control Technology)의 준수를 요구하고 있다. 이 규제는 해당시설의 장소와 규모에 관계없이 일정 범주에 속하는 신규배출시설에 모두 적용된다. 또한 기존 발생원에 대해서도 오존형성물질인 VOC를 연간 100톤 이상 배출하는 대규모발생원은 BACT를 적용하도록 규정하고 있다.

RACT(Reasonably Available Control Technology)은 기존의 발생원에 적용되는 개념으로서, 오염방지장치에 대규모 투자를 하기에 도 또 조기철거를 하기에 도 경제성이 없는, 낡고 오래된 수명이 한정적인 기존의 오염원에 적용한다. '90년 개정법에서는 오존기준 미달성지역에 대해서는 오염정도에 따라 RACT의 대상이 되는 대규모 발생원의 대상을 확대하고 있다. 또, 다른 오존형성물질인 NO_x에 대해서도 일정량(100톤) 이상 배출하면 RACT의 대상이 되도록 하고 있다.

MACT(Maximum Achievable Control Technology)란 달성 가능한 최고의 오염방지 기술로서 유해대기오염물질을 더 엄격하게 관리하기 위한 방안이다. 유해대기오염물질의 경우 초기의 연방배출기준은 인간의 건강에 기초한 기준으로 '충분한 안전보장' 등과 같은 계량화하기 어려운 기준은 설정 자체가 어려웠다. 이와 같은 법률상의 결함을 보완하기 위해 '90년 개정법은 건강기준을 대신하여 MACT기준을 채용하고 있다.

이 밖에도 기준을 만족하는 지역의 CO, NO_x, PM₁₀, SO₂, 및 휘발성 유기화합물의 관리를 위한 PSD(Prevention of Significant Deterioration) 제도, 미달성지역의 신설 대형사업장(연간 100톤 이상 규모)에 대한 LAER(Lowest Achievable Emission Rate) 요건, 그리고 기존의 시설에 신기술을 도입하거나 기존의 공장을 폐쇄함으로써 신설되는 시설로 인한 증가분을 상쇄하는 배출상계제도(Emissions Offset) 등을 적절히 활용하고 있다.¹⁾

1.4 기타 주요 규제 현황

미국은 산성비에 대한 대책으로 발전소로부터 배출되는 황산가스를 1995년 초까지 500만톤, 2000년까지 1000만톤으로 감축할 계획이며, 이를 위해 22개 주에 있는 111개 대형석탄화력발전소에 대하여 대기오염방지 시설을 설치하든가 또는 저유황 석탄으로 대체하는 방향으로 개선을 유도하고 있다. 이를 촉진하는 수단으로 배출권거래제도를 도입하여 감축 목표를 초과 달성한 기업이 초과분을 미달성 기업에 판매할 수 있도록 하여 기업의 오염방지 기술력을 높이고 관련 투자를 촉진하고 있다.

1994년 7월에는 최근에 주요 오염원으로 주목받고 있는 철도, 선박, 건설장비 등에 사용되는 엔진출력 50HP(37KW) 이상 모든 신형 비도로용 디젤엔진의 NO_x, 매연, HC, CO 및 PM 등의 최종 규제안을 마련하여 NO_x의 경우 2010년까지 단위당 평균 27%의 감소를, 2025년까지는 37%를 감축하도록 하고 있다.²⁾ 또한 1973년부터 "항공기와 항공기용 엔진에 의한 대기오염물질의 배출량 규제"에 관한 법률을 실시하여 헬리콥터를 제외한 모든 종류의 민간항공기의 배연 및 탄화수소의 배출을 규제하고 있다.³⁾

1.5. 대기정책의 사후관리 및 검토

미국의 청정대기법 section812는 2년에 한번씩 정기적으로 청정대기법의 집행과 관련한 사회적 비용-편익분석의 결과를 의회에 제출하도록 명문화하고 있으며, 제1차 보고서가 1996년에 작성되어 보고된 바 있다.⁴⁾

이와 같은 규정을 통해 대기 환경기준 및 규정의 경제성을 평가하고 법률의 재·개정 및 정책 판단의 기초자료로 활용하고 있다.

- 주석 1) 상쇄분은 시장을 통하여 거래 및 장래의 사용에 대비한 저축도 가능하다.
- 주석 2) 캘리포니아 대기자원국(CARB)의 조사에 의하면 선박으로부터 배출되는 NO_x, SO_x가 각각 주 전체의 발생량의 10%, 30%에 달하는 것으로 나타나고 있으며, 이에 따라 연안 100마일 내를 운행하는 선박에 대해서는 적극적인 규제를 실시하고 있다.
- 주석 3) 국제민간항공기구(ICAO)는 미국의 규제안을 기초로 하여 1977년에 "항공기 엔진 배출물의 관리" 규정을 만들어 배연 및 탄화수소 외에 일산화탄소, 질소산화물을 추가로 규제하고 있다.
- 주석 4) 동 연구는 TSP, 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소, 납, VOC 등의 규제에 관해 1990년부터 약 5년여에 걸쳐 진행되었으며, 참여 인원만 해도 60여명의 EPA직원과 40여명의 외부참여자도 참여하였으며, 연구결과의 검토에만도 연인원 30여명이 관여된 대형 연구이다.

2. 일본의 관리현

2.1 환경기준

일본은 1967년의 공해대책기본법 및 1970년 12월의 대기오염방지법 개정법에서 국민의 건강보호와 생활환경의 유지와 보전을 환경기준의 설정목표로 하고 있다.¹⁾ 일본의 대기환경기준은 역치농도²⁾라는 인체의 위해성을 기초로 한 기준으로 1969년에는 SO₂의 기준설정을 필두로 1970년에는 CO, 1972년에 입자상물질(부유먼지), 1973년에 NO₂와 광화학옥시단트에 대한 대기환경기준을 각각 설정하였으며, 1973년에는 SO₂의 기준을 개정하고, 1978년에는 NO₂의 기준을 개정하여 오늘에 이르고 있다. 일본의 대기환경기준은 <표Ⅲ-2>와 같다. 그 후 수차례에 걸친 개정으로 염소, 불화수소, 납 등과 같은 유해물질과 석면 등과 같은 특정분진의 기준을 새로이 설정하였고 이를 상시 규제토록 하였다. 개정법에서 규제항목 이외의 물질에 대해서는 각 지방자치단체에서 자유로이 규제할 수 있도록 하고 고유조례로 행하는 규제범위를 확대한 것은 주목할 만하다.

2.2 대기오염물질 및 관리현황

개정된 대기오염방지법 상의 규제대상 대기오염물질은 배연 및 새로이 추가된 분진 등이 포함된다. 배연에는 "연료 및 기타의 연소에 의하여 발생하는 ① 황산화물, 연료 외의 연소, 또는 열원으로서의 전기사용에 따라 발생하는 ② 배진, 물질의 연소, 합성분해, 그 밖의 처리에 의해 발생하는 물질 중의 카드뮴·염소·불화수소·납 등 기타 인간의 건강 또는 생활환경에 관계되는 피해를 발생시킬 수 있는. ③ 유해물질" 등이 이에 속하며, 기타 대기오염물질은 유해물질 또는 비규제 오염물질의 범주에 속한다.

유해물질은 일반유해물질과 특정분진으로 구분되며 일반유해물질은 질소산화물과 함께 ① 카드뮴 및 그 화합물, ② 염소 및 염화수소, ③ 불소, 불화수소 및 불화규소, ④ 납 및 그 화합물 등의 4가지 특별 입자상물질이 포함된다. <표Ⅲ-4>은 일반유해물질에 적용되는 배출시설별 배출기준이다. 이 시설 이외의 것에서 발생할 때에는 특정물질로 취급하며 28종으로 <표Ⅲ-3>와 같다. 그 외 특정분진은 분진 중 석면이나 기타 사람의 건강에 피해를 줄 우려가 있는 물질을 말하며 일반분진은 특정분진 이외의 분진을 말한다.

〈표Ⅲ-2〉 일본의 대기오염물질 환경기준

구분	기준	측정방법
이산화황	24시간평균	0.04ppm이하
	1시간	0.1ppm이하
일산화탄소	24시간평균	10ppm이하
	8시간평균	20ppm이하
입자상물질	24시간평균	0.10ng/m ³ 이하
	1개월1시간	0.20ng/m ³ 이하
이산화질소	24시간평균	0.04ppm-0.06ppm 또는 그 이하
광화학옥시탄트	1시간	0.06ppm이하

비고: 1) 입자상물질이란 대기중에 부유하는 입자상물질로 그 입경이 10 μ m이하인 것을 말함.
 2) 광화학옥시탄트란 오존, PAN 그밖에 광화학반응으로 생성되는 산화성물질(중성요오드화합물에서 요오드를 유리하는 것에 한하며 이산화질소를 제외)을 말함.
 자료: Clean Air Around The World, 3rd, IUAPPA, 1995.

잠재성 있는 유해물질의 배출농도와 환경에의 영향에 대한 조사결과에 의하면 몇몇 물질은 현재 수준에서는 대기중에서 즉각적인 문제를 야기시키지 않으나 장기적인 영향을 야기시킬 수 있는 것으로 나타나고 있다. 이에 따라 석면, 포름알데히드 및 다이옥신에 대한 모니터링이 1985년, 1986년과 1987년에 각각 행해졌다. 일본 환경청은 위의 물질이외에 클로로포름, 트리클로로에틸렌과 테트라클로로에틸렌을 모니터링하기 시작하였는데, 석면을 예로 들면 석면은 특정분진으로 분류되어 엄격히 규제되고 있다. 석면의 농도측정은 특정분진 배출자의 공장 또는 사업장의 규모에 따라 측정횟수를 별도로 정할 수 있으나 대개 6개월 이내에 최소한 1회이상 행하며 측정법, 발생시설의 상황을 기록한 측정결과는 3년간 보존하도록 규정하고 있다.³⁾

〈표Ⅲ-3〉 일본의 특정유해물질

1. 암모니아	8. 인화수소	15. 벤젠	22. 클로로술폰산
2. 불화수소	9. 염화수소	16. 피리딘	23. 황인
3. 시안화수소	10. 이산화질소	17. 케놀	24. 삼염화인
4. 일산화탄소	11. 아크로레인	18. 황산(삼산화황 포함)	25. 취소
5. 포름알데히드	12. 이산화황	19. 불화규소	26. 니켈카보닐
6. 메탄올	13. 염소	20. 포스겐	27. 오염화인
7. 황화수소	14. 이황화탄소	21. 이산화세렌	28. 멜캅탄

2.3 배출규제

1970년에 12월에 개정된 대기오염방지법은 규제를 전국적으로 확대하여 배진 및 유

해물질에 대해서는 厚生省令, 通産省令으로 전국에 일률적으로 배출기준이 정해지고, 다시 건강 및 생활환경 보전을 위해 필요한 경우에는 지자체가 조례로써 국가기준보다 엄격한 기준을 규정할 수 있게 하고 있다.

〈표Ⅲ-4〉 일본의 일반유해물질의 배출기준 및 발생시설

오염물질	시설	배출기준 (mg/Nm ³)
카드늄 및 그 화합물	황화카드늄 또는 탄산카드늄을 원료로 사용하는 유리제조용 소성로 및 용융로	1.0
	구리, 납 또는 카드늄 정제용 용융로, 소성로, 용융로, 轉爐 및 건조로	
	카드늄계 顔料 또는 탄산카드늄 제조용 건조시설	30
염소	염소화된 에틸렌 제조용 염소냉각시설	
	염화제2철 제조용 용해조	
	염화아연을 사용하여 황성탄을 제조하는 반응로 화학제품 제조용 반응시설 및 흡수시설	
염화수소	위와 동일	80
	폐기물 소각로	700
불소, 불화수소 및 불화규소	알루미늄 제련용 전해로 (배출구로부터 유해물질이 배출됨)	3.0
	알루미늄 제련용 전해로 (상층부에서 유해물질이 배출됨)	1.0
	형석 또는 규불화나트륨을 원료로 사용하는 유리제조용 소성로 및 용융로	10
	인산제조용 반응시설, 농축시설 및 용융로	
	인산제조용 용축시설, 흡수시설 및 증류시설	
	트리폴리인산나트륨 제조용 반응시설, 건조시설 및 소성로	
	過燐酸鹽 석회제조용 반응로	15
인산비료 제조용 소성로 및 평爐	20	
납 및 그 화합물	구리, 납 또는 아연 정제용 용융로, 轉爐, 용융로 및 건조로	10
	구리, 납 또는 아연 정제용 소성로 및 용광로	30
	납파이프, 판, 선, 납축전지 또는 납안료를 제조하는 2차 납정제용 용융로 등	10
	산화납을 원료로 사용하는 유리 제조용 소성로 및 용융로	20

비고: 轉에 따라 더욱 강화된 기준을 설정할 수 있다.
 자료: 유해대기오염물질 규제에 대한 국내 대응방안 연구, 한화진, 1994.

배출허용기준은 황산화물과 유해물질중의 질소산화물을 중심으로 지역별 총량규제를 채택하고 있으며 대기확산식에 근거를 둔 K-치규제⁴⁾(착지농도규제)를 행하고 있으며, 배진 및 일반유해물질에 대해서는 배출구에서의 농도규제로써 행하며, 황산화물, 배진 및 특정유해물질을 발생하는 시설을 신설하는 경우 특별배출기준이 적용된다.⁵⁾ 특정유해물질의 배출기준은 없으나 사고시에 규제를 하도록 되어 있다.

대기오염물질을 배출하는 배연발생시설의 종류는 32종, 일반유해물질발생시설 5종과 특정분진 발생시설 9종으로 되어 있다. 〈표Ⅲ-4〉은 일반유해물질의 배출기준 및 발생시설을 제시하고 있다.

2.4 일본의 대기관리 효과

일본은 일찌기 수입원유의 저유황화와 증유의 탈황시설 확충으로 증유의 황함유율을 '73년 1.9%에서 '88년 1.08%로 저감하여 공급하는 한편 산업체의 대형공장에는 배연탈황설비를 설치하여 배출원 규제를 확대해왔으며, 일정규모 이상의 특정공장에 대해서는 총량규제를 실시하고 공장밀집지역에 대해서는 청정연료를 사용하도록 하는 총량규제 특정지역을 고시하여 대기오염 관리를 실행한 결과 이산화황의 농도가 전국적으로 0.01ppm정도로 지난 20년간 80%의 저감효과를 성취하였으며, 같은 기간중 일산화탄소와 부유분진의 경우도 각각 50%와 30%의 저감효과를 거두었으나 이산화질소의 경우는 배연탈황 장치의 확대에도 불구하고 자동차의 급증으로 인해 거의 같은 수준을 유지하고 있는 실정이다.

주석 1) 대기정책의 근간을 이루는 대기오염방지법은 1971년의 개정 및 환경청 설치 이후, 1972년, 1974년, 1989년 등 4회에 걸쳐 개정되어 현재에 이르고 있다.

주석 2) 역치농도란 일반적으로 해당농도 이하일 때, 지역주민의 건강에 악영향을 일으키지 않는다고 하는 오염의 한계치를 말한다.

주석 3) 한화진(1994) 참조.

주석 4) K-치규제란 황산화물에 일률적으로 적용하는 값으로 $q=k \times 10^{-3} \times \text{He}_2$ 을 말한다.

주석 5)기준치의 단위는 우리나라와 같이 ppm, %, mg/m^3 이며, 지역배출원의 관리자가 소규모시설부터 대규모시설까지 적정치를 유지하도록 규제 및 감시를 한다.

3. 기타 국가의 관리현황

EC에서는 북구지역의 산성비 피해에 대한 여론이 커지기 시작한 1980년대부터 대기질의 보전을 위한 구체적인 조치들을 시행되었다. 1980년에 아황산가스과 입자상 물질에 대한 기준을 처음 제정한 이래, 1982년에 납, 1985년에 이산화질소에 대한 기준을 각각 제정하였으며 1989년에는 아황산가스의 기준을 개정하고, 1991년에는 오존에 대한 기준을 마련하였다.

주요 이동오염원인 자동차는 1991년 3월에 승차정원 6인 이하 또는 차량 총중량 2.5톤 이하의 자동차에 대한 통합배출가스 기준치를 적용하고, 1991년 10월에는 차량 총중량 3.5톤 이상인 중량차 기준을 단계적으로 강화하여 1995년까지 일산화탄소는 64%, 탄화수소는 54%, 질소산화물은 51% 저감하도록 규정하고 있다. 아울러 유럽국가들은 하나의 열차문화권으로 묶여 있기 때문에 철도에 의한 배출가스를 유럽 전체의 문제로 인식하여 종합적인 배출가스 규제안을 일찍부터 마련해 오고 있는데 특히, 디젤기관차에서 배출되는 아황산가스의 경우는 연료에 대한 유황의 함유량을 규제하고 있다.¹⁾ 디젤기관차에서 사용하는 디젤유의 유황함량기준은 종전의 0.2%에서, 1996년 10월 1일부터 0.05%로 강화된 바 있다.

현재 항공기에서 배출되는 대기오염물질을 직접 규제하고 있는 나라는 별로 없으나 유럽에서는 유일하게 스위스가 1985년부터 항공기로부터의 배연과 배출가스에 대한 배출허용기준을 규정한 법령을 시행하고 있으며, 스웨덴에서는 국내선 항공기에 대하여 질소산화물 및 탄화수소의 배출에 대한 세금을 부과하기로 결정한 것으로 알려져 있다.

유럽은 선박으로부터 배출되는 대기오염에 대한 규제는 국제해사기구에서 마련한 73/78 국제해양오염방지협약(MARPOL)의 부속서에 규정된 선박으로부터 가스상 오염물질의 배출규제에 따르고 있으며, 내륙수로(운하나 강과 같은 내수면)에서의 선박으로부터 배출되는 대기오염물질의 규제에 대해서도 경유의 황함유량을 규제한 지시안 75/716/EEC, 87/219/EEC, 90/660/EEC 및 93/12/EEC를 적용하고 있다. 선박에 있어서의 배출가스의 배출량 산출방법이 가장 명확한 나라는 노르웨이이며 노르웨이의 방법에 따라 배출량을 산출하는 오염물질은 NO_x와 SO_x이고 유럽은 이 두 배출가스를 제외한 다른 배기가스는 규제하고 있지 않고 있다.

영국은 1956년에 청정공기법(Clean Air Act)을 제정하여 연기(smoke) 규제를 시작하게 되었고, 1968년에 이 법을 개정하여 1970년에 환경부(Department of Environment)를 신설하고, 1990년에는 대기오염, 폐기물 및 기타 환경오염 문제를 포함하는 환경보호법(Environmental Protection Act)으로 개칭되기에 이르렀다. 대표적 해운국인 영국에서의 선박에 대한 규제는 1990년 환경보호법(Environmental Protection Act)과 1993년 대기정화법(Clean Air Act)에 의하여 내수면을 항해하는 선박에 한하여 경유의 황함유량을

규제하고 있다.

기타 국가에 있어서 대기오염의 규제에 있어서 주목할 점은 발생원 그 자체에 대한 규제가 추가되고 있다는 점이다. 독일에서는 영업법에 근거하여 대기정화를 위한 기술 수준과 소음방지를 위한 기술수준이 공포되어 있으며, 오늘날 연방임미시온방지법에서 일정의 시설설치와 조업에는 인가를 받도록 하고 있다. 프랑스에서는 허가를 요하는 분류시설에 관하여 위험을 야기하는 업종을 상세히 구분하여 지정하고 그 기준인 분류표에서 유해한 물질의 종류와 양이 명시되고 있다.

참고로 독일에서는 오존법률을 제정하여 1995년부터 자동차 배기가스속의 유해 성분을 무해로 전화시키는 촉매 변환장치를 장착하지 않은 차량은 스모그가 심한 여름 낮에 도로주행을 금지시키고 있다. 이 장치를 달지 않은 차량은 공기 중 오존 집중치가 1m³ 당 2백40 μ g에 달하는 경우 운행을 할 수 없게 된다. 독일에서 이산화질소의 배출을 80% 줄이는 이 촉매컨버터를 부착한 차량은 전체 차량의 약 반수이다.

주석 1) 지시안(directive) 75/716/EEC, 88/219/EEC, 90/660/EEC, 91/692/EEC 참조.

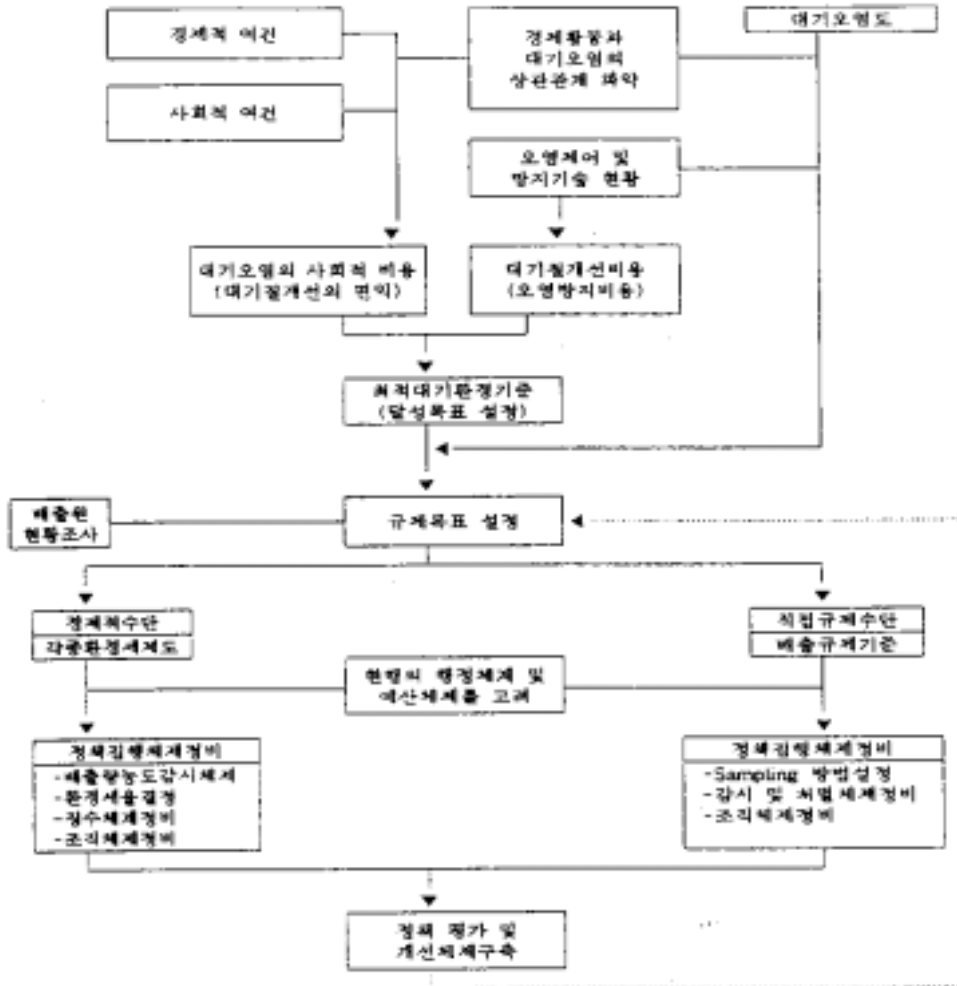
IV. 합리적인 대기관리 체계와 개선 방향

합리적인 대기관리정책은 아래의 <그림Ⅳ-1>에서 볼 수 있는 바와 같이, 1) 대기환경기준설정, 2) 대기규제기준 설정, 3) 정책수단의 선정, 4) 집행방법의 설정, 그리고 5) 정책 집행의 효율성 평가 및 개선 체제 구축 등의 5단계로 크게 나누어진다.

제 1단계의 대기환경기준 설정은 대기정책을 통해 궁극적으로 이루고자 하는 목표를 설정하는 단계로서, 여기에서 설정된 대기질이 일반인의 복지수준에 직접적인 영향을 미치므로 결정 과정에서 단순히 疫學的 고려사항뿐만 아니라 사회적·경제적 여건이 동시에 고려되어야 함은 不問可知이다. 제 2단계의 대기규제기준 설정은 대기환경기준을 달성하기 위하여 대기오염물질을 배출하는 여러 형태의 배출원에 대한 규제 목표치를 설정하는 것을 말한다. 규제기준 설정을 위해서는 오염배출원의 배출량 및 형태가 궁극적으로 전체적인 대기질에 어떻게 영향을 미치는가에 대한 분석이 전제되어야 하며 이를 위해서는 공학적·계량분석적인 연구가 병행되어야 한다. 이렇게 대기규제기준이 설정되면 제3단계에서는 이를 수행하는 정책수단의 형태를 선택하여야 한다. 규제기준의 집행을 위해서는 적절한 정책수단의 선택이 성패의 관건이라고 할 수 있다. 정책수단은 통상적으로 직접규제수단(command and control)과 경제적 수단(economic incentives)으로 나뉘어지며, 이 단계에서 적절한 정책수단의 선택이 정책 목표의 달성 여부를 판가름한다. 경제적 수단이 직접규제수단보다 더 효율적이라는 것이 일반적인 견해이며, OECD 회원국 등 여러 선진국에서는 이러한 추세에 맞추어 직접규제수단을 경제적수단으로 대체하려는 움직임이 활발하게 이루어지고 있다.

여기까지의 단계가 정부의 정책 입안 단계라고 한다면 다음의 제4, 5단계는 정책의 집행과 평가의 단계에 해당한다. 정책의 성공적 집행을 위해서는 적합한 집행 방법의 설정이 필수적이며 이를 위하여는 배출원의 분포 형태 및 규제대상의 경제활동 상황이 고려되어야 한다.

〈그림 IV-1〉 합리적 대기관리 체계도



마지막으로 제5단계에서는 이제까지 행해져 왔던 정책과 집행 수단에 대한 평가 및 개선을 위한 장치의 마련이 필수적이다. 목표의 달성을 위해 채택된 정책이 소기의 목표를 달성하지 못할 경우가 있으므로 수시로 정책 및 집행수단의 평가가 이루어져야 하며, 사회적 여건의 변화 또한 빠른 속도로 일어나고 정책의 변화가 수시로 요구되고 있어 이를 위한 정책평가체도의 정례화가 필요하다고 볼 수 있다. 우리나라에서는 여러 부분 중에서도 특히 이 부분이 취약한 것으로 보인다.

1. 최적대기환경기준의 설정 방법

1.1. 최적대기환경기준 설정의 이론적 기반

대기환경기준을 설정하는 데에 있어 가장 손쉬운 방법으로 WHO의 권고기준이나 선진국의 기준을 그대로 따르는 방법이 있다. 그러나 WHO의 권고기준은 건강에 영향을 미치지 않는 수준의 대기기준, 즉 안전한 대기기준에 불과할 뿐 이것이 곧 사회적 최적이라고 볼 수는 없다.

사회적으로 최적의 환경기준을 설정하기 위해서는 이론적으로 그 환경기준을 준수하기 위해 수반되는 제반의 행위가 사회복지를 극대화하는 점을 찾아 이를 환경기준으로 하면 될 것이다. 이러한 최적환경기준의 개념이 대기질에 적용되었을 때, 그 기준을 최적대기환경기준이라고 한다. 다시 말해 하나의 대기질 수준에서 다른 대기질 수준으로 변화할 때 필연적으로 발생하는 편익과 비용간의 차이, 즉 순편익의 누계가 극대화되는 점의 대기질 수준을 최적대기환경기준이라고 한다.¹⁾ 따라서 올바른 최적대기환경기준의 설정을 위해서는 사회전반에 걸친 대기질과의 경제행위와의 상관관계를 파악하여야 하므로 매우 어려운 작업이다.

많은 사람들이 인간의 건강과 생명이 달려있는 환경문제를 다루는 데에 있어, 경제적인 가치를 그 판단기준으로 삼는다는 것에 심한 거부감을 표출하기도 한다. 그러나 우리는 알게 모르게 이와 같은 선택을 매일 하고 있다.²⁾ 대기환경기준을 설정하는데에 있어서도 대기질 자체만을 볼 때에는 대기질이 좋을 수록 좋다는 것은 누구나 인정할 것이다. 그러나 대기오염 그 자체는 언제나 인간에게 불편한 피해를 초래하지만 대기오염의 원인을 제공하는 경제행위는 국민소득을 창출하고 복지수준을 높이는 역할을 한다는 데에 그 어려움이 있다.

이와 같은 맥락에서, 대기환경기준을 설정하는 것은 대기오염을 배출하는 행위를 간접적으로 제한하는 것이며 따라서 이러한 대기환경기준의 설정은 대기오염으로 인한 피해와 대기오염 배출행위로 인한 경제적인 이익이 적절히 균형 잡힌 상태에서 결정하여야 하는 것이다.

1.2. 최적대기환경기준의 설정 방법

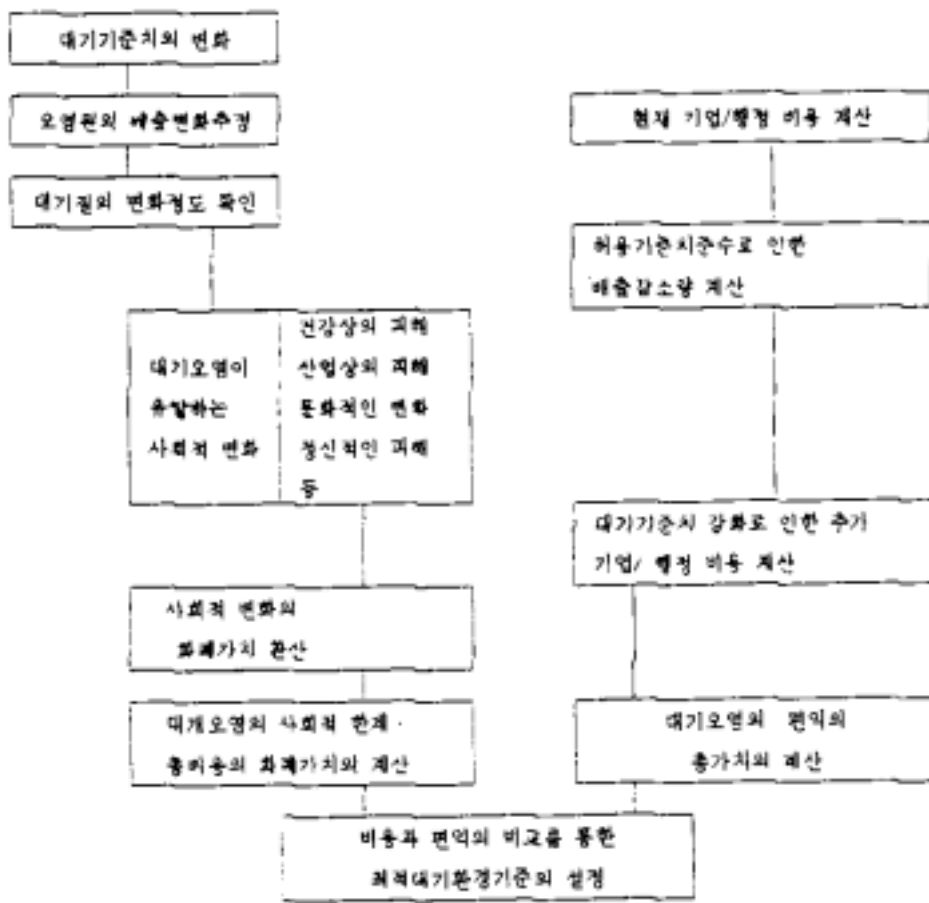
최적대기환경기준의 설정방법으로는 여러 가지가 있을 수 있으나 본 연구에서는 비용-편익분석과 일반균형경제모형 설정 방법 등을 소개하고자 한다. 이 두 가지가 일견 서로 다른 형태를 하고 있으나 일반 균형모형 내부에 비용-편익분석 기제가 자연스럽게 작용하고 있으므로 그 기본적인 의도는 같다고 볼 수 있다. 단지 비용과 편익의 개념을

적용하는 방법상의 차이가 있다는 것일 뿐이다.³⁾ 본 절에서는 이들 방법론을 자세히 소개하고자 한다.

1) 비용-편익분석

비용-편익분석은 대기오염으로 인한 사회적 비용과 사회적 편익을 명시적인 대기오염수준의 함수로 규정하고 이 함수의 모수추정을 통해 비용과 편익을 비교함으로써 최적 대기환경기준을 도출하는 방법으로서 <그림IV-2>가 이를 잘 설명하고 있다.

<그림IV-2> 최적대기환경기준 설정 체계도



그러나 비용과 편익의 형태에 대한 가정과 이를 추정하는 방법에 있어 여러 가지 방법을 취할 수 있어 비용-편익 분석은 매우 다양한 형태를 지닌다. 그 이유는 비용과 편익의 정의에 있어 누구나 인정하는 비용과 편익의 정의가 없다는 데에 있다.

이해의 편익을 위해서 현 상태에서 대기질을 개선하는 경우를 가정해보자. 먼저 대기질의 개선을 위해 발생하는 비용은 강화된 대기기준을 달성하기 위한 정부부문 및 기

업의 추가비용을 들 수 있을 것이다. 즉 정부 비용은 중앙 및 지방정부의 제도개선과 규제대상의 법규/정책의 준수여부를 감시하기 위한 감시비용 등을 합한 것을 의미한다. 이와 아울러 피규제자인 기업은 새로운 대기기준을 준수하기 위하여 오염방지설비 및 장비에 대한 투자와 이들 시설의 운영비용이 추가적으로 발생하므로 적절한 자료만 갖추어진다면 이들 일차적인 비용은 쉽게 추정할 수 있다.

그러나 이들 일차비용은 추정하기 쉽다는 장점이 있고 또 이용 목적에 따라서는 매우 유용하다는 장점에도 불구하고 이들 대기오염 개선에 소요되는 사회적 비용으로 보기에는 무리가 따른다. 즉 앞서 말한 직접효과는 2, 3차의 파급효과를 가져오기 마련이며 이들 효과는 방향과 크기면에서 매우 복잡한 양상을 보여 이들을 무시하고 일차적/직접적 효과만을 본다는 것은 나무를 보고 숲을 보지 못하는 것과 같다고 할 수 있다.

그 일례로 새로운 환경기준을 만족하기 위해서 드는 시설비용과 운영비용은 피규제 산업의 비용증가를 가져와 물가상승과 생산성 하락의 요인이 되나, 환경설비의 투자와 운영비용은 해당부분의 고용을 창출하고 환경산업을 육성하는 효과를 가지므로 경제적 가치 창출에 공헌하는 바도 있는 것이다.

환경기준 개정으로 인한 편익 부분은 훨씬 더 복잡한 양상을 지닌다. 대기질이 개선 그 자체는 산성비로 인한 농·임업 피해가 감소하고 건축물과 철골구조물의 부식속도가 감소함으로써 직접적인 피해를 줄일 수도 있다. 또한 대기질이 개선됨으로 인해 발생하는 건강개선과 정서적 효과는 금전가치로 환산하기는 힘드나 더욱 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 보인다. 건강개선은 병원비의 감소를 가져올 뿐만 아니라 투병기간의 감소로 인한 노동력의 증가를 유발하게 되며, 이들 효과는 비교적 수량적인 추정이 쉽다는 장점이 있다. 그러나 다른 한편으로는 여가기회의 확대로 인한 여가수요의 증가를 가져오고 이로 인한 여가산업의 활성화와 의료비 지출의 감소로 인한 의료산업의 감소, 그리고 대기오염으로 인한 정서적·건강적 효용가치의 추정은 매우 어려워 특수한 형태의 일반균형모형 없이는 이를 추정하기 어렵다는 것이 현실적인 제약으로 남고 있다.

이와 같은 이론적인 한계에도 불구하고 비용-편익 분석은 분석절차의 용이성과 결과의 해석이 쉽고 직관적이어서 가장 널리 이용되고 있는 방법이다. 비용과 편익의 추정 방법은 통상적으로 직접적 가치추정 방법과 간접적 가치추정 방법으로 크게 나눌 수 있다.

가) 직접적 가치추정 방법

가장 직관적이고 이해가 쉬운 방법으로 열거식 가치추정방법을 들 수 있다. 이 방법은 대기오염의 피해와 편익 항목을 모두 열거하여 항목별로 가치를 추정하고 이를 합산하여 비용과 편익을 추정하는 방법이다. 이 방법의 장점으로는 추정 절차가 투명할 뿐만 아니라, 추정방법이 직관적이고 간단하므로 다수 대중이 쉽게 공감할 수 있다는 점을 들 수 있으나, 대기오염으로 인한 피해 항목의 완벽한 열거가 어려울 뿐만 아니라

一次的(직접적)인 피해로부터 파생되는 二次的인 피해의 추정이 어렵다는 단점이 있다.

위의 단점을 이유로 열거식 추정 방법은 주요 일차 효과만을 측정하는 것이 일반적인 추정 형태이며, 이러한 추정 방법은 대기오염이 사회 전체에 미치는 포괄적 비용 추정치로는 보기 어려우나 사회적 비용이 큰 줄기를 이해하는데에 매우 효과적 방법으로 널리 이용되고 있다.

나) 간접적 가치추정 방법

간접적인 비용-편익 추정방법은 열거식 추정방법과 같이 대기오염의 직접효과 및 공급효과를 직접적으로 추적하여 계산해 내기보다는 대기오염이 미치는 영향이 여러 단계를 거쳐 나타나는 특정 현상을 관찰함으로써 간접적으로 비용과 편익을 추정하는 방법이다. 이들 중 가장 많이 사용되는 방법으로는 상품특성가치(Hedonic Price)추정법과 회피비용(avoidance cost)추정법 등을 들 수 있다.

a) 상품특성가치추정법

상품특성가치(Hedonic Price)추정법은 각종의 재화의 최종 가격은 그 재화의 성격과 질을 결정 짓는 여러 가지 요인의 가치를 반영한다는 해석에서부터 출발한다. 따라서 집이나 아파트와 같은 부동산의 시장가격도 단순히 평수나 건축 재료의 질에만 의존하는 것이 아니라 대기오염이나 인근 지역의 범죄율 등과 같은 여러 가지 주변 환경여건에 의해 영향을 받게 된다는 추론이 가능해진다. 이러한 논리적 근거를 바탕으로 부동산의 가격과 대기환경질과의 상관관계를 통계적으로 추정하는 것이 전형적인 상품특성가치추정법의 응용사례일 것이다.

이 방법은 비교적 간단하고 자료의 求得도 용이하다는 장점이 있으나, 연구자가 실제의 재산가치 결정 메카니즘을 정확히 알 수 없으므로 환경에 영향을 미치는 여러 변수를 누락시킬 위험이 크고, 시장거래가 이루어지지 않고 있는 대다수의 부동산에 대한 정보가 누락되어, 사람의 행동결정이 近視眼的이거나 불완전한 정보나 환경지식을 갖고 있을 때에는 환경질의 참가치가 자산가치에 적절히 반영되지 못한다는 단점이 있다.

b) 회피비용 산출법

회피비용(avoidance cost) 산출법은 가상의 오염상태를 피하기 위해 지불하여야 하는 비용을 추정하는 방법이다. 제일 쉬운 방법으로는 오염제거비용을 산출하는 방법을 들 수 있으나 오염이 비가역적이거나 오염의 제거방법이 현재로는 존재하지 않는 경우에는 비용 산정의 근거가 없다는 단점이 있다.

이와는 달리 특정한 오염 상태를 벗어나기 위해 부담할 수 있는 최고액을 묻는 설문-여론조사를 통해 이를 추정하는 방법이 있다. 흔히 이를 지불용의의사(willingness-to-pay)추정법이라고 칭하나, 특정한 오염상태를 벗어나기 위해 지불하여

야 하는 비용을 추정한다는 면에서 회피비용산출법의 한 형태라고 볼 수 있다.

2) 일반균형모형을 통한 최적대기환경기준 설정

이 방법은 비용-편익 분석과 같이 어떠한 변화로부터 발생하는 비용과 편익을 명시적으로 규정하여 이를 추정하기보다는, 사회 각 구성원의 경제활동 행태를 구체적으로 묘사한 경제모형의 설정을 통해 일반균형 상태에서의 환경과 국민복지와의 상관관계를 규명하는 방법이다.

이 방법은 환경오염의 파생적 효과가 모두 고려된 궁극적인 대기오염의 사회비용을 추정하는 방법으로서 대기오염의 직접효과와 파급효과를 모두 포함하는 종합적인 접근법이다. 또한 모형내에서 비용과 편익이 상호 작용을 하여 후속적인 파급효과를 유발하고 이들 모든 파급효과가 균형을 찾은 상태를 관찰함으로써 비용-편익 분석이 내재되어 있는 셈이다. 따라서 이 방법은 이론적으로 비용-편익에 분명한 우위를 차지하고 있다.

그러나 이 방법은 모형의 설정과정이 매우 복잡하기 때문에 모형의 解를 구하기 위해서는 엄청난 시간과 인력을 필요로 하거나, 이를 피하기 위해서 부득이하게 모형을 단순화하여야 한다는 부담을 지니고 있다. 따라서 현실적인 모형의 설정이 쉽지 않으며, 모형의 간소화에 따른 분석 결과의 신뢰도 손실의 문제가 상존한다.

이 방법을 사용한 추정치의 신뢰도는 모델의 충실성에 의해 큰 영향을 받으므로 모델설정 단계에서 주의를 요한다. 또한 이 방법은 비전문가가 비용 산출 절차를 이해하기 쉽지 않고, 이 방법의 개발과 이용을 위해서는 막대한 예산과 시간이 소요된다는 단점이 있으나 궁극적으로 지향해야 할 분석도구임에는 틀림이 없다.

앞서 열거한 두 가지 방법 이외에도 이론적-실증적으로 시도되고 있는 여러 가지 방법이 존재한다.⁴⁾ 이들 모두 개개의 추정법에 장·단점이 있을 뿐만 아니라, 절대적으로 우위에 있는 방법이 존재하지 않으므로 여러 가지 방법을 이용하여 합리적인 결론을 끌어내는 것이 중요하며, 이들 연구 결과를 해석하는 정책입안자들의 판단력이 요구된다.

주석 1) 수학적인 표현으로 최적대기환경기준은

$$x^* = \underset{x}{\operatorname{Argmax}} \int_0^x (\text{편익}(a) - \text{비용}(a)) da$$

로 정의됨. 여기서 x는 대기질 수준이며

x*는 최적대기환경기준임.

주석 2) 일례로 암환자의 예를 들어보자. 암환자의 경우 고가의 최신의 의술치료를 받으면 완쾌할 확률이 더욱 높아짐에도 불구하고 우리 모두 최고의 의료서비스를 고집하지는 않는다. 또한 자동차의 에어백이 사고시 생명을 보호해 준다는 사실을 모두 알고 있음에도 불구하고 모든 사람이 에어백이 장착된 차를 구입하지 않는다. 이와 같은

예들은 건강과 안전의 추구도 이들이 경제적 비용이라는 반대급부를 수반하는 한은 경제적 선택의 범주를 벗어나지 못한다는 사실을 단적으로 보여주고 있다.

주석 3) 계량분석적인 이해를 빌리자면 이 두 방법의 차이는 결과식(reduced form equation)과 구조식(structural form equation)의 분석 간의 차이와 비슷하다고 볼 수 있다.

주석 4) 환경의 경제가치를 측정하는 이론적 배경과 실증적 방법론에 관하여는 곽승준-전영섭(1995)을 참고.

2. 주요 연구 결과

2.1. 비용-편익 분석

앞서 설명한 비용-편익 분석기법을 이용한 최적대기환경기준치의 설정과 관련한 연구로는 우리나라에서는 나성린 외(1992)의 연구가 효시라고 볼 수 있으며, 그 이후에 추가적인 연구는 없는 형편이다. 위 연구는 아황산가스, 이산화질소, 오존, 그리고 분진 등의 4개 가스에 대해서 연구하였다. 이 연구에서는 상품특성가치 추정법을 이용하여 서울지역의 주택가격이 대기질로 인한 피해를 감안하여 결정된다는 가정 하에 대기질 개선의 한계편익을 추정하였다. 또한 대기질 개선 비용은 각 지역별로 각각의 대기오염물질의 대기중 농도 개선을 위한 투자계획과 예상되는 대기질 개선효과를 연관지어 회귀 분석을 함으로서 각각의 대기오염물질의 대기중 농도 개선 단위당 한계비용을 추정하였다.

이를 경제학에서의 순편익 극대화의 원리에 따라 한계비용과 한계 편익이 일치하는 점을 도출해 본 아황산가스의 대기중 최적 농도치는 0.023-0.024ppm이며, 분진은 130mg/m³수준인 것으로 나타나고 있다.¹⁾

이 기준치가 1992년의 최적 대기환경기준치라고 볼 때에, 향후의 최적대기환경기준치는 이 보다는 더욱 강화되어야 할 것으로 여겨진다. 환경질에 대한 일반의 선호는 국민소득이 높아지면서 더욱 높아지는 것이 일반적인 현상이다. 이와 같은 환경질에 대한 욕구의 증가는 곧 좋은 환경 하에 위치한 주택의 가격을 상승시키는 요인이 되므로 환경질 개선에 의한 한계편익은 높아지는 것이 일반적인 현상이다. 이와는 반대로 환경질 개선을 위한 비용은 관련기술 및 장비의 수요기반이 확충되면서 규모의 경제와 기술개발로 인해 가격이 하락하는 것이 일반적인 현상이므로 대기질 개선의 한계비용은 하락하는 현상으로 나타나는 것이다.

따라서 나성린 외의 연구를 현재의 시점에서 재시도 한다면 최적 대기환경기준은 위 연구의 결과보다도 다소 강화되어야 할 것이라는 것이 저자의 견해이다. 물론 이 연구에서의 최적대기기준은 할인율과 주택수명 등 몇 가지 변수에 의해 영향을 받게되는 것은 사실이다. 그러나, 현재 우리나라의 기초자료 및 유관 연구인력 현황을 볼 때 비교적 연구의 기간과 비용이 적게드는 가장 보편적인 연구방법으로 자리잡을 수 있으며, 이와 같은 연구를 주기적으로 수행할 필요가 있는 것으로 여겨진다.

2.2. 일반균형모형 분석

2.2.1. 모형의 이해

본 연구의 주요 관심사는 환경(대기오염)과 경제활동과의 관계이므로 동적인 자본재의 상관관계는 없는 것으로 가정하였다.²⁾ 그리고 대기오염의 대부분은 에너지의 이용, 그 중에서도 특히 화석연료의 연소에 크게 좌우되므로 대기환경질은 에너지소비의 함수로 가정하였다.

소비자는 자신의 평생효용 극대화를 위해 매 期마다 자신의 총소득을 소비와 저축에 분배한다. 물론 이 경제에서는 자본의 축적이 없으므로 저축의 유일한 동기는 안정적인 소비에 있는 것이다. 즉 소비자들 간에 대출과 차입은 자신의 소비를 안정적으로 유지하기 위한 행위이며, 이자율은 자본재와는 관계없이 이들 간의 자금 공급과 수요에 의해 결정되는 것이다.

소비자의 소비행위는 그 형태에 따라 대기오염을 유발하기도 한다.(자동차의 소비나 가정용 난방 등이 이 경우에 해당한다.) 그러나 소비자는 자신의 소비행위가 대기오염의 유발효과가 있다는 것을 인식하지 못하거나 자신의 소비행위가 사회전체에 유발하는 공해 요인이 매우 작으므로 자신의 의사결정 단계에서 자신의 공해유발 행위는 무시되는 것이 통례이다. 이러한 형태의 외부효과는 전형적인 Marshallian Externality의 한 유형으로서 본 연구에서도 그와 같은 형태의 외부효과로 다룬다.

따라서 소비자는 소비재의 소비를 통해서만 자신의 복지에 의도적으로 영향력을 행사할 수 있을 뿐 자신의 복지에 직접적인 영향을 미치는 또다른 요소인 대기오염의 결정과정에는 의도적으로 참여하지 않는다.

기업은 정해진 여건 하에서 이윤을 극대화하는 것을 목표로 한다. 그리고 이와 같은 기업의 생산활동은 필연적으로 공해를 유발하게 된다. 그러나 본 연구에서는 기업의 생산활동의 부산물로 생성되는 공해는 경제구성원에게 직접적인 영향을 미치나 그 피해에 대한 보상체계는 갖추어지지 않았다고 가정한다. 따라서 기업은 자신의 활동이 타인에게 미치는 영향을 무시하고 자신의 이윤극대화만을 목표로 기업활동을 하게 된다. 이것이 전형적인 Pigouvian externality의 형태이다.

2.2.2. 일반균형

앞서 설명한 경제의 일반균형은 다음 문제의 해를 꺾으로서 구할 수 있다. 여기서의

\bar{x} 는 고려대상에서 제외된 변수, 즉 의사결정자가 외생적이라고 판단하는 변수를 의미한다.³⁾

$$\text{Max}_{c, K, N, E} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U(c_t, \bar{X}_t) \quad \text{subject to}$$

$$S_t = F(K_t, N_t, E_t; \epsilon_t) + (1 + R_t)S_{t-1} - c_t \quad \forall t$$

위 문제에서 c, K, N, E, S 는 각각 소비, 물적자본, 노동량, 에너지, 저축을, β 는 시간 선호계수를 의미한다. 그러나 분석의 편의를 위해 에너지 소비와 기업활동에 관한 추가적인 가정을 한다. 에너지의 이용은 실물 생산, 즉 경제의 가동률을 결정하는 결과를 가져오며, 어느 국가를 막론하고 실물생산과 에너지소비와는 매우 밀접한 관계를 보이고 있다.⁴⁾

본 연구에서는 이와 같은 논리에 바탕하여 자본과 노동력의 투입 모두 에너지투입량의 함수라고 가정하였다.⁵⁾ 즉 대기공해와 실물생산과의 상관관계는 대기오염의 주원인이 연료의 연소에 있다는 것과 이렇게 해서 얻어진 에너지는 생산과정에 투입됨으로서 실물생산을 유발하게 된다는 것으로 요약할 수 있다. 이와 같은 가정은 위의 문제를 아래와 같이 더욱 간편화하는 효과가 있다.

$$\text{Max}_{c, K, N, E} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U(c_t, \bar{X}_t) \quad \text{subject to}$$

$$S_t = F(K_t, N_t, E_t; \epsilon_t) + (1 + R_t)S_{t-1} - c_t \quad \forall t$$

이 문제의 해는 식(1)과 식(2) 및 위의 예산식(budget constraint)을 만족하여야 한다. 필요조건 (1)은 소비와 저축의 관계를 시사하는 통상적인 Euler 항등식으로 지금 한 단위 소비로부터 오는 효용은 이것을 저축하여 얻어지는 총수입을 다음 期에 소비함으로부터 얻어지는 효용과 같아야 한다는 것을 의미한다. 또한 필요조건 (2)는 일반균형 하에서는 공해로 인한 피해를 신경 쓸 필요 없으므로 에너지 소비를 가능한 한 최대한 (\bar{X})으로 늘려 생산량을 극대화하는 것을 의미한다.

(1)

$$\frac{U_{c_t}}{\beta U_{c_{t+1}}} = (1 + R_{t+1})$$

(2)

$$F(E_t^*) \geq 0, \quad E_t^* \in [0, \bar{E}_t]$$

이와 같은 조건이 충족되면 소득과 대기오염은 정해진 함수형태에 따라 자동적으로 결정되는 것이다. 수식 (4)는 효용함수의 형태를 수식 (3)과 같다고 가정하고 이를 수식 (1)에 대입하여 로그를 취한 것이다.

(3)

$$U(c_t, X_t) \equiv \frac{c_t^\sigma}{\sigma} \prod_{i=1}^X \frac{X_{it}^{\eta_i}}{\eta_i}$$

(4)

$$\ln(1 + R_t) = -\ln\beta - (\sigma - 1) \cdot \Delta \ln(c_t) - \sum_{i=1}^X \eta_i \Delta \ln(X_{it}) \quad \forall t$$

(5)

$$\ln X_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot t^2 + \ln E_{it} + \varepsilon_{it}$$

(6)

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot t^2 + \sum_{j=1}^{N_x} \eta_j \cdot \ln X_{jt} + \zeta \ln E_{it} + \sum_{i=1}^3 \delta_i \cdot Dummy(\text{도시})_i + \varepsilon_{it}$$

대기질과 소득이 식 (5)와 식 (6)의 형태를 띤다고 가정하자. 그러면 이 모형에서의 모수 추정은 식(4), 식(5), 식(6)과 예산식을 일괄 추정하여 구할 수 있다.

2.2.3. 모형의 추정 결과

앞서 앞서 밝힌 바와 같이 식 (4)-(6)과 예산식을 일괄 추정하는 것이 가장 바람직한 계량적인 수단이나, 본 연구에서는 data의 제약으로 인해 이들 수식을 모두 각각 추정하여 이들 결과를 종합하는 방법을 사용하였다. 즉, 각각의 식의 추정에 사용되는 data가 상호 호환성이 없어 수식(4)는 월별 거시자료 및 전국 6개 시·도의 평균오염도를 이용하여 추정하고, 수식(5)와 수식(6)은 자료 구득이 가능한 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전 등 6개 지자체의 연도별 자료를 이용하여 추정하였다.

〈표 IV-1〉 대기오염도와 에너지 소비량과의 관계

$$\text{모델1: } \ln X_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot t^2 + \ln E_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

종속변수 독립변수	SO ₂	TSP	O ₃	NO ₂	CO	Ph
상수	-14.759 (-8.440)	-0.533 (-0.455)	-3.802 (-2.560)	-12.721 (-7.054)	-3.115 (-1.482)	2.563 (7.665)
t	0.009 (0.140)	-0.025 (-0.561)	-0.283 (-5.074)	-0.077 (-1.143)	0.078 (0.985)	0.004 (0.297)
t ²	-0.014 (-1.556)	-0.011 (-1.842)	0.037 (4.925)	0.003 (0.338)	-0.022 (-2.113)	0.000 (0.358)
Energy	0.326 (6.704)	0.160 (4.914)	-0.008 (-0.193)	0.255 (5.094)	0.112 (1.921)	-0.024 (-2.632)
R ²	0.616	0.696	0.404	0.452	0.347	0.300
adj. R ²	0.586	0.672	0.357	0.409	0.296	0.137
F	30.319**	29.0**	8.586**	10.448**	6.731**	3.157*
df	38	38	38	38	38	38

주: 1) * α=0.05에서 모형의 유의성 있음. H₀: all slope coefficients(β's)=0

** α=0.01에서 모형의 유의성 있음. H₀: all slope coefficients(β's)=0

2) 괄호안은 t-value를 제시

〈표 IV-2〉 지역총생산(GRP)의 결정모형(종속변수: $\ln Y_t$)

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot t^2 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \ln X_{it} + \zeta \ln E_t + \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot Dummy(도시)_j + \epsilon_t$$

회귀모형 독립변수	회귀모형1	회귀모형2	회귀모형3	회귀모형4	회귀모형5	회귀모형6
상수	14.460 (2.986)	22.611 (3.540)	17.090 (30.371)	-19.563 (-15.006)	10.317 (5.603)	10.235 (4.507)
t	0.065 (0.372)	0.023 (0.115)	0.123 (7.022)	0.039 (0.799)	0.107 (9.490)	0.075 (7.313)
t ²	0.024 (1.040)	0.026 (0.952)	-0.004 (-1.450)	-0.010 (-1.502)	-0.005 (-4.035)	
SO ₂		0.291 (0.618)	-0.017 (-0.218)			0.009 (0.131)
TSP		1.065 (1.739)	0.069 (1.063)			0.074 (1.340)
O ₃		-0.370 (-0.707)	-0.046 (-1.066)			-0.082 (-2.460)
NO ₂		0.939 (2.065)	0.028 (0.728)			0.052 (1.464)
CO		0.052 (0.120)	-0.061 (-0.873)			-0.021 (-0.352)
Pb	-5.216 (-2.479)	-5.644 (-2.610)	-0.246 (-1.192)			-0.042 (-0.222)
Δ Aupol	1.974 (3.828)					
Energy				0.991 (27.353)	0.185 (3.694)	0.175 (3.035)
CityDum1			-1.306 (-25.413)		-1.000 (-19.218)	-0.966 (-13.819)
CityDum2			-1.866 (-58.793)		-1.577 (-19.404)	-1.571 (-16.375)
CityDum3			-1.630 (-43.206)		-1.434 (-21.424)	-1.429 (-18.456)
CityDum4			-2.485 (-39.305)		-2.044 (-15.996)	-1.982 (-12.176)
CityDum5			-2.370 (-45.213)		-1.958 (-16.280)	-1.924 (-13.456)
R ²	0.410	0.601	0.998	0.952	0.996	0.998
adj. R ²	0.346	0.504	0.997	0.948	0.998	0.997
F	6.428**	6.213**	1,074.77**	251.272**	2,068.375**	1,074.769**
df	27	29	28	26	33	28

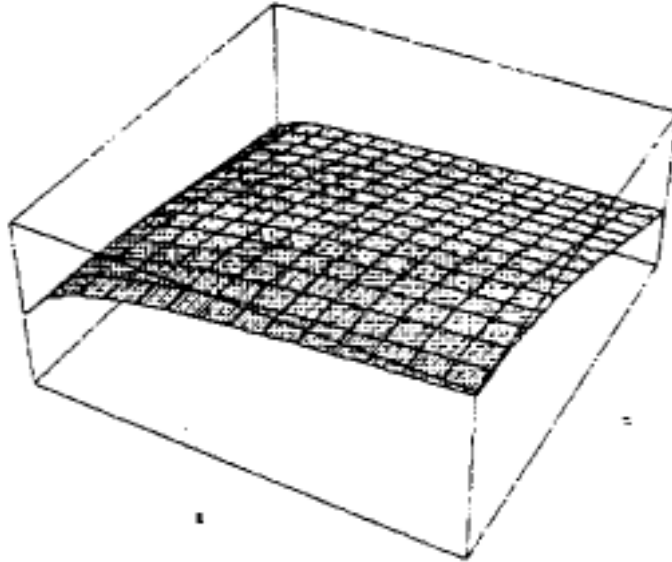
주: 1) * α=0.05에서 모델의 유의성 있음. H₀: all slope coefficients(β_i)=0
 ** α=0.01에서 모델의 유의성 있음. H₀: all slope coefficients(β_i)=0
 2) 괄호안은 t-value를 제시

〈표IV-1〉은 각각의 오염물질의 대기 중 농도와 에너지 소비량과의 상관관계, 즉 수식 (5)를 추정한 것이다. 예상대로 대기오염은 에너지 소비와 밀접한 관계를 가지고 있다. 보다 구체적으로 오존을 제외하고는 모든 식에 있어서 에너지가 대기환경을 해치는 것으로 나타나고 있다.⁷⁾

그러나 오존은 에너지의 소비로 인해 형성된 1차 오염물질이 광화학반응에 의해 2차로 형성되는 오염물질인 관계로 에너지와의 직접적인 연계가 희박하다. 이를 반영하는 듯, 오존농도를 결정하는 에너지변수의 계수는 방향도 맞지 않고 통계적 유의성도 없는 것으로 나타나고 있다. 또한 일산화탄소는 에너지와의 관계가 불분명하고 통계적 유의성이 판단 경계에 있다. 이는 근래에 우리나라의 총 에너지 소비에서 일산화탄소의 주 배출원인 무연탄이 차지하는 비중이 매우 작으며 지속적으로 줄어들었던 데에 기인하는

것으로 여겨진다.

〈그림 IV-3〉 에너지소비량과 지역총생산(GRP)과의 상관관계



〈표IV-2〉는 수식 (4)의 여러 형태를 추정한 것이다. 여기서 총생산은 광역 자치단체별 지역총생산을 사용하였다. 여러 가지 모형이 시도되었으나 회귀모형 4·5가 모형의 단순성과 종속변수 설명력 모두에서 월등한 것으로 나타났다. 이 모형에 의하면 광역자치단체의 지역총생산의 거의 대부분을 에너지 이용 현황으로 설명해 낼 수 있음을 보여주고 있으며, 지역총생산의 에너지 탄력성은 0.991에 달하는 것으로 나타난다. 〈그림IV-3〉은 이와 같은 추정의 결과를 보여준다.

〈표IV-3〉은 수식 (4)의 여러 가지 변형을 추정한 결과로서 앞서의 두 회귀식의 경우 보다 훨씬 복잡한 양상을 띤다. 이 식의 추정에 있어 균형이자율은 장내·외 회사채 수익률 및 주식수익률 등 여러 가지 자료가 이용되었으나 이 중 주식수익률이 가장 신빙성있는 결과를 가지는 것으로 나타났으며, 〈표IV-3〉은 주식수익률을 이용하여 추정한 결과를 보고하고 있다.

주목해야 할 것은 이들 회귀식의 추정결과가 지극히 불안정하다는 것이다. 가장 좋은 결과를 보이는 회귀모형 1과 회귀모형2의 경우에도 R^2 가 0.25-0.3 정도에 머무르고 있으며, 독립변수의 계수의 사인이 아황산가스와 분진을 제외하고는 이론과 반대로 나타나고 있다. 전체적으로 이 모델의 통계적 유의성을 찾기 어려워 이 결과를 가지고 어떤 결론을 유추하기 어렵다는 판단이 선다. 이는 다음 연유에 기인하는 것으로 보여진다.

먼저, 자료의 빈약함을 들 수가 있다. 이 수식의 추정에 사용된 자료는 모두 6개 지방자치단체의 7년간의 자료로 시계열자료로서 설명력을 갖기에는 부족한 면이 있다. 또한 고정자본에 대한 공식 통계가 없어 본 연구에 적합한 기업의 생산함수 추정자체가 어려운 점도 있다.

그러나 무엇보다도, 균형이자율 변수로 사용된 주식수익률의 문제점을 들 수 있다. 즉 우리나라의 주식수익률은 그 자체가 비전문 투자자들과 작전 등으로 인해 비정상적인 추가변동이 심하고 거품이 많다.⁸⁾

〈표 IV-3〉 Euler's Equation 회귀분석의 결과 (No filtering) 9)

구분	모형1	모형2	모형3	모형4
상수	0.009 (1.270)	0.009 (1.004)	0.009 (1.151)	0.007 (0.800)
c	-0.086* (-2.382)	-0.068 (-1.568)	-0.076* (-2.169)	-0.054 (-1.277)
l	-	0.046 (0.284)	-	-0.041 (-0.262)
SO ₂	0.105* (1.743)	0.121* (1.785)	-	-
TSP	0.151* (1.929)	0.193* (1.987)	-	-
O ₃	-0.038 (-0.849)	-0.035 (-0.704)	-	-
NO ₂	-0.119 (-1.602)	-0.160* (-1.828)	-	-
CO	-0.112 (-1.330)	-0.134 (-1.394)	-	-
5Airpol	-	-	0.095* (1.856)	0.111* (1.754)
Ph	0.317 (1.488)	0.305 (1.170)	0.327 (1.568)	0.386 (1.519)
R ²	0.264	0.305	0.168	0.176
adj. R ²	0.152	0.146	0.119	0.092
F	2.356	1.921	3.376	2.089
df	46	35	50	39
β	0.991	0.991	0.991	0.993
σ	1.066	1.068	1.076	1.054
ρ	-	-0.046	-	0.041
\bar{r}_{SO_2}	-0.105	-0.121	-	-
\bar{r}_{TSP}	-0.151	-0.193	-	-
\bar{r}_{CO}	0.038	0.035	-	-
\bar{r}_{NO_2}	0.119	0.160	-	-
\bar{r}_{CO}	0.112	0.134	-	-
$\bar{r}_{5Airpol}$	-	-	-0.095	-0.111
\bar{r}_{Ph}	-0.317	-0.305	-0.327	-0.386

주: 1) * $\alpha=0.05$ 에서 모델의 유의성 있음, H₀: all slope coefficients(β 's)=0

** $\alpha=0.01$ 에서 모델의 유의성 있음, H₀: all slope coefficients(β 's)=0

2) 괄호안은 t-value를 제시

또한 다른 여유자금 시장인 회사채 시장이 정부의 강력한 조정을 받고 있어 우리나라에는 균형이자율이라 할 수 있는 대표 투자수익률이 없다는 데에 문제가 있다. 이와 같은 문제는 이 방법이 앞으로의 대기환경 기준치 설정에 이용될 수 있는 하나의 방향을 제시하는 선에서 그치게 한다. 또한 최적대기환경기준 설정을 위해 수집되어야 할 data가 무엇인가를 제시하는 기초연구의 성격을 가지고 있다고 볼 수 있다.

2.2.4. 최적대기환경기준의 결정 방법

최적대기환경기준은 이론적으로 앞 절에서 추정된 계수를 가지고 앞 절에서 사용한 모형을 외부효과를 감안한 계획자(planner)의 최적화문제를 풀어서 구할 수 있다. 구체적으로, 경제의 계획자는 앞서의 일반균형에서와 같이 아래의 Lagrangian을 극대화하되 일반균형에서는 외부효과를 가지는 X(대기오염도)를 선택변수로 취급하지 않았던 반면 파레토최적경제에서는 X를 선택변수로 취급하고 이 문제를 푼다는 것을 의미한다.

(6)

$$L \equiv \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \{ U(c_t, X_t) + \lambda_t [F(X_t; \epsilon_t) + (1 + R_t)S_{t-1} - c_t - S_t] \}$$

위 Lagrangian을 푸는 데에 있어 대기환경질(X_t)이 어떤 형태로 결정되느냐에 따라 푸는 방법이 약간씩 차이가 나게 된다. 즉 탈황시설이나 탈질설비, 그리고 비산먼지 등 각각의 오염물질에 대한 통제 및 제거 기술이 독립적으로 존재할 때는 이들 오염물질의 대기 중 농도는 오염 처리비용에 따라 독립적인 양상을 보일 것이다.

이 경우는 선택변수가 최종소비(C)와 에너지소비(E), 그리고 각각의 대기오염 물질의 대기중 농도(X_t)가 될 것이며, 최적상태에서 각각의 선택 변수는 식(7), 식(8), 식(9)와 예산식(budget constraint)을 만족하여야 한다.

(7)

$$c \quad U_{c_t} = \lambda_t \quad \forall t$$

(8)

$$S \quad \lambda_t = \beta \lambda_{t+1} (1 + R_{t+1}) \quad \forall t$$

(9)

$$X: U_{X_{it}} = -\lambda_t F_{X_{it}} \quad \forall i, t$$

위의 식(7), (8), (9)에 (3)의 효용함수를 대입하여 풀면 식(1)과 식(10)을 얻을 수 있다. 이 단계에서 앞 절에서 추정된 모형의 모수를 식(1), 식(10), 그리고 예산식에 대입하여 최종소비(C), 에너지소비(E), 그리고 대기질(X)에 대해 풀면 국가복지의 극대점을 구하는 것이며, 이렇게 얻어진 대기질 수준(X^*)이 곧 최적대기환경기준이 되는 것이다.

(10)

$$U_{X_{it}} = -U_{c_t} \cdot F(X_{it}) \quad \forall i, t \quad (48)$$

그러나 앞서의 가정과는 달리 X_i 가 단순한 경제활동의 부산물이며, 이 경제활동은 에너지의 이용과 밀접한 관계를 가진다고 가정해보자. 즉, 각각의 대기오염물질에 대해 적절하고 경제적인 통제기술과 장비가 없고, 각 오염물질의 배출계수의 상관관계가 일정하게 유지된다면, 이 문제의 선택변수는 최종소비(C)와 에너지소비(E)로 압축되며, 이때의 최적대기환경질은 예산식과 식(7), 식(8), 그리고 식(11)을 만족하여야 한다. 여기서 다시 식(7), 식(8), 식(11)에 식(3)의 효용함수를 대입하여 풀면 식(4)와 식(12)를 얻을 수 있다.

(11)

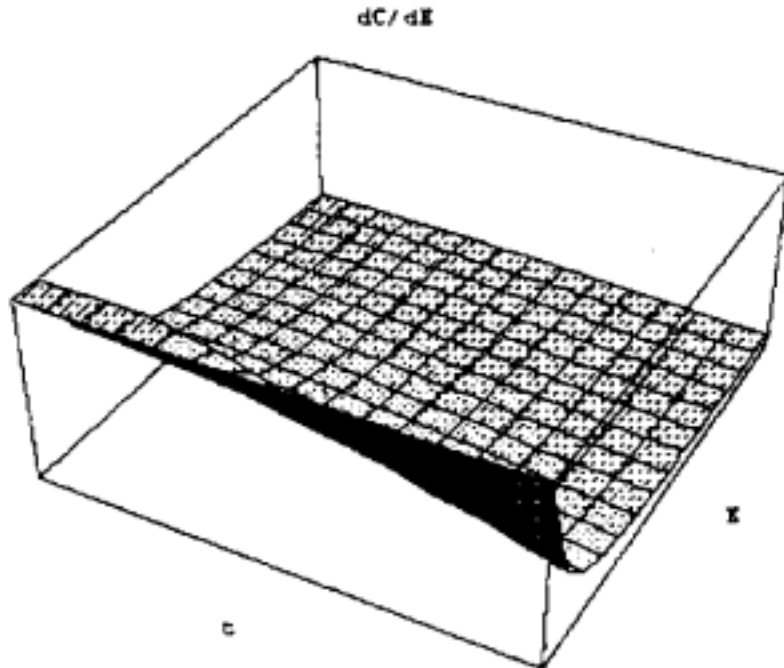
$$E: \sum_{i=1}^X U_{X_{it}} \cdot X_i'(E_t) = -\lambda_t F'(E_t) \quad \forall t$$

(12)

$$\sum_{i=1}^X U_{X_{it}} \cdot X_i'(E_t) = -U_{c_t} \cdot F'(E_t) \quad \forall t \quad (49)$$

위의 두 식과 예산식에 앞 절에서 구한 계수들을 대입시켜 C와 E를 풀면 최적 에너지소비량(E^*)과 최적최종소비(C^*)가 결정되며, 이 때의 최적 대기오염도 (X_i^*)와 소득 수준은 식(5)와 식(6)에 의해 자동적으로 결정될 것이다. 이렇게 결정된 최종소비와 에너지소비와의 상관관계를 1985년을 기준 시점으로 하여 나타낸 것이 <그림 IV-4> 이다.

<그림 IV-2> 에너지소비량과 최종소비와의 상관관계



소비와 에너지의 편미분으로 표시된 이 그림은 우리나라의 경우 현재의 에너지소비량으로 보아 향후 소득과 소비가 급격히 증가한다 하여도 에너지의 소비량은 크게 늘지 않아야 함을 보여주고 있다. 즉 현재의 소득수준과 대기오염도로 추정해볼 때, 우리나라는 소득의 원천이 더 이상 에너지 소비성향이 높은 경제행위에 의존해서는 안됨을 시사하고 있다는 것이다.

앞서 밝힌 바와 같이 본 연구의 계량적 연구 결과가 지극히 불안정한 관계로, 이 연구의 결과만으로는 분명한 定量的 결론을 내리기는 어려운 상태이나, 한가지 분명한 것은 우리의 경제발전에 따른 에너지 이용, 그리고 궁극적으로 최적대기질의 관계가 경제성장이라는 이유로 대기관리에 대해 무관심하여서는 안되다는 것을 시사하고 있다는 점이다.

주석 1) 이산화질소와 오존에 대해서는 관련 개선 비용자료의 부족으로 최적대기환경기준치를 설정하지 못하였음.

- 주석 2) 대기환경오염은 화석연료의 연소로 인해 발생하는 것이 대부분이므로 화석 연료의 연소와 자본재의 축적과는 직접적인 관계가 없다는 관점에서 볼 때 자본재의 축적을 생략하고 모형을 단순화한 것은 어느 정도 타당성을 지닌다.
- 주석 3) 이와 같이 간단한 일반균형의 풀이 방법은 Romer(1986)를 따른다.
- 주석 4) 특히, 우리나라는 다른 나라보다 그 정도가 심해 실물생산과 에너지소비량의 단순비교에 의한 에너지소비의 실물생산탄력성이 0.98에 달하는 것으로 나타나고 있다.
- 주석 5) 에너지의 투입량이 자본재의 가동률과 깊은 상관관계를 가진다는 사실은 이미 널리 알려져 있으며, 실제로 몇몇의 연구는 자본재의 가동률의 대리변수(proxy)로 에너지소비량을 이용하기도 한다.
- 주석 6) 이 수식의 변형을 이용한 모수 추정결과는 <표A-11> 과 <표A-12> 참조.
- 주석 7) 에너지는 총 에너지 소비를 Kcal로 환산한 량을 사용하였으며, 대기질은 광역자치단체 내의 자동측정망 측정치 평균을 사용하였다.
- 주석 8) 비전문 투자자는 전문용어로 noisy trader라고 불리우며, 이들이 존재할 경우에는 주식가격은 진정한 균형이자율을 반영하지 못하게 된다.
- 주석 9) 여러 가지 방식의 filtering을 이용한 자료의 모수 추정결과는 <표A-14> 참조.
- 주석 10) 그러나, 오염수준은 기업이 결정하고 소비자는 이렇게 결정된 오염 수준에 의해 일방적으로 피해를 받는 형태의 외부효과를 가진 정부불간섭 경제하에서 일반 균형이 $F_x = 0 \quad \forall i, t$ 의 식에 의해 대기오염농도가 결정될 것이다.
- 주석 11) 그러나, 오염수준은 기업이 결정하고 소비자는 이렇게 결정된 오염수준에 의해 일방적으로 피해를 받는 형태의 외부효과를 가진 정부불간섭 경제하에서 일반 균형이 $F'(E_t) = 0 \quad \forall t$ 의 식에 의해 에너지량(E_t)가 결정될 것이다.

IV. 결론 및 정책 제언

지금까지의 논의를 통해 우리는 대기질과 경제활동과의 관계 고찰을 통한 최적대기환경기준 설정방법을 논의 해보았다. 결론적으로, 자료의 부족과 여건의 미비로 인해 객관적이고 타당성 있는 대기환경기준치를 제시하기에는 계량적인 결과가 너무 불분명한 것으로 나타났다.

그럼에도 불구하고 향후 최적대기환경기준의 방향은 제시되었다고 볼 수 있다. 즉, 나성린 외의 연구에 의하면 이미 1992년의 소득수준에서의 대기 중 아황산가스와 분진의 최적 농도는 0.023ppm과 130mg/m³ 정도로서 현재의 0.03ppm과 150mg/m³보다 강화되어야 한다고 보고하고 있다. 여기에 1992년에 비하여 훨씬 높아진 현재의 소득수준을 감안할 때 더욱 강화되어야 할 것이라는 추측을 할 수 있다.

또한 본 연구 <표IV-3>의 결과를 보면 다른 대기오염물질과는 달리 아황산가스와 분진이 국민복지에 미치는 영향은 그 파급효과 면에서 명확하게 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다. 이들 기체는 현재 상태에서도 대체적으로 환경기준을 만족하고 있는 상태이며, 따라서 아황산가스와 분진의 대기환경기준을 강화되는 방향으로 정책이 이루어져야 할 것이다. 또한 PM10에 대해서는 최근에 환경기준이 마련되었으나 PM2.5에 대해서는 아직 기준이 마련되지 않고 있어 이들의 기준 강화 및 설정에 대한 검토가 이루어져야 할 것으로 보인다.

그러나 오존과 일산화탄소 등은 현재의 기준을 초과하는 경우가 많아 이들의 대기기준을 강화하기보다는 현재의 기준을 안정적으로 소화해내는 방향으로 정책이 나아가야 할 것이다.

대기관리정책의 합리성을 높이고 안정적인 사후관리를 이루기 위해서는 <그림IV-1>이 제시하는 대기관리정책의 흐름도에 충실하여야 할 것으로 보인다. 보다 구체적으로는, 대기환경기준의 설정과 배출허용기준과 관련한 비용-편익분석을 주기적으로, 예를 들어 5년에 한번씩 실행하고 이에 바탕하여 이들 기준을 개정해 나가는 절차를 법제화할 필요가 있다. 환경기준의 개념을 목표기준과 실행기준의 두 가지 개념으로 분리하여 실행기준은 각 지방자치단체가 반드시 만족시켜야만 하도록 규제를 가할 필요가 있다. 이 경우 목표기준으로 WHO의 권고기준이 무난할 것으로 예상되며, 실행기준은 앞서 언급한 바와 같이 몇 년에 한번씩 주기적으로 전국 최적 실행기준을 정하는 것이 바람직하다. 아울러 지금의 지방화 시대에 환경행정도 지방으로 대폭 이양 될 것이 예상되는 만큼 각 지방자치단체가 전국 실행 기준의 일정 % 범위 내에서 각자의 실정에 맞는 대기환경기준을 수립하고 이의 이행계획을 세우도록 의무화 할 필요가 있다. 지자체에서 전국 실행기준보다 느슨한 기준을 설정할 때에는 반드시 그 이유와 개선계획을 중앙

정부에 제출하여 승인을 받도록 하는 방향으로 추진할 필요가 있다. 이 경우 지역별 배출허용 기준의 설정은 자연적으로 지방정부의 몫이 될 것이며, 중앙정부는 지방정부의 환경관리 적격성 여부를 조정함으로써 전국적인 대기질 관리를 효율적으로 수행할 수 있을 것이다. 이와 같은 과정을 통해 고질적인 지방화의 문제점으로 부각되는 지방자치단체의 환경관리 능력 부족을 보완해 나가면서 장기적으로 자율 환경관리의 기반을 구축하여야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 1 나성린 외, "환경규제기준 설정의 비용-편익 분석에 관한 연구," 환경관리공단, 1992.
- 2 노재식, "환경과학 입문," 電波科學社, 1985.
- 3 노재식, "대기 환경 오염에 의한 인간 피해의 일화," 1985.
- 4 서울시립대, "대기문제 개선논문집," 서울시립대 수도권개발연구소, 1995
- 5 윤순창 외, "대기환경기준 설정 및 대기환경지표개발에 관한 연구," 한국 환경과학연구협의회, 1992.
- 6 임종수, "대기오염의 사회적 비용," mimeo, 한국환경기술개발원, 1996.
- 7 환경부, "대기측정기술요원," 환경공무원교육원, 1995.
- 8 환경처, "대기오염물질 배출량('93)," 환경처, 1994.
- 9 환과연, "선진국의 배출시설 관리에 관한 조사 연구," 한국환경과학연구협의회, 1993.
- 10 Adams, R. M. and et al, "An Assessment of Economic Effects of O₃ on U.S. Agriculture," JAPCA, 1985.
- 11 Godish, Thad, "Air Quality," Lewis, 1991.
- 12 Freedman, Martin and Bikki Jaggi, "Air and Water Pollution regulation," Quorum Books, 1993.
- 13 Jacobson, J. S., and A. C. Hill (Eds.) "Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation: A Pictorial atlas, Air Pollution Control Association, Pittsburg, PA, 1970.
- 14 OECD, "The Macro-Economic impact of Environmental Measure," OECD, 1985.
- 15 Schulze, E. D., "Air Pollution and forest Decline in a Spruce Forest," Science, 1989.
- 16 USEPA, "The Benefits and Costs of the Clean Air Act: 1970-1990," USEPA, 1995.

17 Yocum, J. E., and J. B. Upham, "Effects on Economic Materials and Structures, In A. C. Stern (Ed.) Air Pollution Vol II, Academic Press, 1977.

VI. 부록

1. 배출부과금 산정 기준 및 방법

구체적으로 배출부과금은 사업장규모별로 부과하는 기본부과금과 배출허용기준을 초과하여 배출되는 오염물질의 처리비용에 상당하는 금액을 부과하는 처리부과금으로 구분하여 이를 합산한 금액으로 한다.

기본부과금의 산정에 필요한 오염물질 배출량은 황산화물의 경우 황산화물 배출계수에 연료사용량 등을 곱하여 산출하고, 먼지의 경우에는 자가측정 결과를 근거로 산출하도록 하며, 1997년 1월 1일부터 기본부과금의 부과대상이 되는 사업장을 1종 및 2종사업장·특별대책지역내 3종 사업장으로 규정하되 1종사업장에 대하여는 '97년 15%, '98년 10%이고, 2종사업장에 대하여는 '97년 70%, '98년 50%, '99년 30%의 기본부과금을 감면하도록 한다(개정, 1996. 9. 14.).

〈표A-1〉 기본부과금 산정기준 (단위:만원)

구 분	1종 사업장	2종 사업장	3종 사업장	4종 사업장	5종 사업장
기본부과금	400	300	200	100	50

부적정운영신고 규정에 의한 배출허용기준초과 오염물질배출량은 배출기간 중에 배출허용기준을 초과하여 조업함으로써 배출되는 오염물질의 양으로 하되, 배출허용기준 초과 일일오염물질배출량에 배출기간의 일수를 곱하여 산정한다.

〈표A-2a〉 처리부과금 산정방법(부적정운영신고의 경우)

황산화물내지 시안화수소의 경우	오염물질1kg당부과금액×배출허용기준초과오염물질배출량 ×지역별부과계수×연도별부과금산정지수
악취의 경우	배출물질1천 ³ m당부과금액×배출물질량×악취농도별부과계수 ×지역별 부과계수×연도별 부과금산정지수

〈표A-2b〉 처리부과금 산정방법(부적정운영신고 외의 경우)

황산화물·먼지 시안화수소의 경우	오염물질 1kg당 부과금액 × 배출허용기준초과 오염물질배출량 × 배출허용기준초과율별부과계수 × 지역별부과계수 × 연도별부과금산정지수 × 위반횟수별부과계수
악취의 경우	배출물질 1천 ³ m당 부과금액 × 배출물질량 × 악취농도별부과계수 × 지역별부과계수 × 연도별부과금산정지수 × 위반횟수별부과계수

배출허용기준초과 오염물질배출량은 배출허용기준초과농도(배출농도-배출허용기준농도)에 일일유량을 곱하여 배출허용기준초과 일일오염물질량을 구하고 여기에 배출기간을 곱하여 산정한다.

〈표A-3〉 배출허용기준초과 일일오염물질배출량의 산정방법

구 분	오염물질	산 정 방 법
일반오염물질	황산화물	일일유량 × 배출허용기준초과농도 × 10 ⁻⁶ × 64 ÷ 22.4
	먼지	일일유량 × 배출허용기준초과농도 × 10 ⁻⁶
	암모니아	일일유량 × 배출허용기준초과농도 × 10 ⁻⁶ × 17 ÷ 22.4
	황화수소	일일유량 × 배출허용기준초과농도 × 10 ⁻⁶ × 34 ÷ 22.4
	이황화탄소	일일유량 × 배출허용기준초과농도 × 10 ⁻⁶ × 76 ÷ 22.4
특정대기유해물질	불소화합물	일일유량 × 배출허용기준초과농도 × 10 ⁻⁶ × 19 ÷ 22.4
	염화수소	일일유량 × 배출허용기준초과농도 × 10 ⁻⁶ × 36.5 ÷ 22.4
	염소	일일유량 × 배출허용기준초과농도 × 10 ⁻⁶ × 71 ÷ 22.4
	시안화수소	일일유량 × 배출허용기준초과농도 × 10 ⁻⁶ × 27 ÷ 22.4

주: 1) 배출허용기준초과농도=배출농도-배출허용기준농도
 2) 먼지의 배출농도의 단위는 mg/Sm³이고, 그의 오염물질의 배출농도의 단위는 ppm으로 한다.
 3) 일일유량=측정유량(m³/hr) × 일일조업시간, 일일조업시간은 측정하기전 최근 30일의 평균조업시간

배출허용기준초과 일일오염물질배출량은 배출오염물질채취일 오염물질의 배출허용기준초과농도에 그 배출농도를 측정할 때의 배출가스의 유량(측정유량)에 의하여 계산한 그 날의 배출가스의 총량(일일유량) 곱하여 산정한 양을 kg 단위로 표시한 양으로 한다.

〈표A-4〉 처리부과금 산정기준(제17조3항 관련, 단위=원)

구분	오염물질 1kg당 부과금액	배출물질 1천m ³ 당 부과금액	배출허용기준 초과율별 부과계수							지역별 부과계수			악취농도별 부과계수			
			20% 미만	20 - 40%	40 - 80%	80 - 100%	100 - 200%	200 - 300%	300 - 400%	400 % 이상	I 지역	II 지역	III 지역	3 - 4	4 - 5	5 -
황산화물	500		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
먼지	770		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
암모니아	1,400		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
황화수소	6,000		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
이황화탄소	1,600		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
특정 유해 물질	불소화합물	2,300	1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
	열화수소	7,400	1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
	염소	7,400	1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
	시아니드수소	7,300	1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
약취		500									2	1	1.5	1	1.25	1.5

- 비고: 1) 배출허용기준 초과율(%) = (배출농도·배출허용기준농도) ÷ 배출허용기준농도 × 100
 2) I 지역: 국토이용관리법 제6조 및 동법시행령 제7조의 규정에 의한 도시지역중 택지개발예정지구, 준도시지역중 취락지구와 도시계획법 제17조의 규정에 의한 주거지역·상업지역
 3) II 지역: 국토이용관리법 제6조 및 동법시행령 제7조의 규정에 의한 도시지역중 국가공업단지·지방공업단지·전원개발사업구역 및 예정구역, 준도시지역중 시설용지지구 및 집단모지지구, 자연환경보전지역중 수산자원보전지구와 도시계획법 제17조의 규정에 의한 공업지역
 4) III 지역: 국토이용관리법 제6조 및 동법시행령 제7조의 규정에 의한 준도시지역중 운동·휴양지구·농림지역, 준농림지역, 자연환경보전지역(수산자원보전지구 제외)과 도시계획법 제17조의 규정에 의한 녹지지역

연도별부과금산정지수는 매년 전년도 부과금산정지수에 전년도 물가상승률을 감안하여 환경처장관이 고시하는 가격변동지수를 곱한 것이다.

위반횟수별부과계수는 위반이 없는 경우를 100분의 100으로 하고, 처음 위반의 경우를 100분의 105로 하며 다음 위반부터는 그 위반직전의 부과계수에 100분의 105를 곱한 것으로 한다. 처리부과금의 산정에 필요한 오염물질 1kg당 부과금액·배출물질 1천m³당 부과금액·배출허용기준 초과율별 부과계수·악취농도별 부과계수·지역별 부과계수는 〈표A-1〉과 같다.

2. 본문과 관련한 부록표

본 장에서는 본문의 서술 과정에서 설명의 간결성을 이유로 생략되었던 여러 표들을 참고로 제시한다.

〈표A-5〉 우리나라의 운행차배출허용기준

배출가스	차종	배출가스 구분	일산화탄소	배기관탄화수소	매연
휘발유 · 가스 · 알콜	승용자동차	1987.12.31.이전에 제작된 자동차	4.5% 이하	1,200ppm	-
		1988.1.1.이후에 제작된 자동차	1.2% 이하	220ppm이하(휘발유,알콜 자동차) 400ppm이하(가스자동차)	-
	경자동차 소형화물차 중량차	전체	4.5% 이하		
경유	경자동차 소형화물차 중량차	1995.12.31.이전에 제작된 자동차	-	-	40%(2도) 이하
		1996.1.1.이후에 제작된 자동차	-	-	35%(2도) 이하

- 주: 1) 휘발유사용자동차에는 휘발유·알콜·가스를 혼합사용하는 자동차를 포함함.
 2) 알콜만을 사용하는 자동차에는 위 표의 배기관탄화수소기준을 적용하지 아니함.
 3) 경유사용자동차에는 경유와 가스를 혼합사용하는 자동차를 포함함.
 4) 매연관중()안의 기준은 제7호 제1항 단서의 규정에 의하여 비디오 카메라를 사용하여 점검할 때에 적용함.
 5) 위 표의 구분란중 자동차제작일은 자동차제작사에서 출고한 날짜(수입차는 동관일자를 말함).
 6) 위 표의 구분란중 1986년 1월 1일 이후에 제작된 자동차중 과급기(Turbo Charge) 또는 중간냉각기(Inter Cooler)가 설치된 경유사용자동차의 매연배출허용기준 "40%(2도)이하"를 적용함.
 7) 자동차소유자는 항상 위 표의 기준에 적합하게 운행하기 위하여 색로이 대체되는 자동차에 대한 출력향상, 배출가스의 저감을 위하여 환경부장관이 정하는 필요한 조치를 하여야 함.

〈표A-6〉 미국의 유해대기오염물질

1. <u>Acetaldehyde</u> ^o	39. <u>Chloroform</u> ^o
2. <u>Acetamide</u>	40. <u>Chloromethyl methyl ether</u> ^o
3. <u>Acetonitrile</u>	41. <u>Chloroprene</u>
4. <u>Acetophenone</u>	42. <u>Cresols/cresylic acid(isomers and mixture)</u>
5. 2-Acetylaminofluorene	43. <u>o-Cresol</u>
6. <u>Acrolein</u>	44. <u>m-Cresol</u>
7. <u>Acrylamide</u> ^o	45. <u>p-Cresol</u>
8. <u>Acrylic acid</u>	46. <u>Cumene</u>
9. <u>Acrylonitrile</u> ^o	47. 2,4-D,salts and esters
10. <u>Allyl chloride</u>	48. DDE
11. 4-Aminobiphenyl	49. <u>Diazomethane</u>
12. <u>Aniline</u>	50. Dibenzofurans
13. <u>o-Anisidine</u>	51. 1,2-Dibromo-3-chloropropane
14. Asbestos ^o	52. Dibutylphthalate
15. <u>Benzene</u> ^o (가솔린에 의한 벤젠 포함)	53. <u>1,4-Dichlorobenzene</u>
16. <u>Benzidine</u> ^o	54. 3,3-Dichlorobenzidine
17. <u>Benzonitrile</u>	55. <u>Dichloroethyl ether</u> ^o
18. <u>Benzyl chloride</u>	56. 1,3-Dichloropropene
19. Biphenyl	57. Dichlorvos
20. Bis(2-ethylhexyl)phthalate(DEHP)	58. <u>Diethanolamine</u>
21. Bis(chloromethyl)ether ^o	59. <u>N,N-Diethylaniline</u>
22. Bromoform ^o	60. <u>Diethyl sulfate</u>
23. <u>1,3-Butadiene</u> ^o	61. 3,3-Dimethoxybenzidine
24. Calcium cyanamide	62. Dimethyl aminoazobenzene
25. <u>Caprolactam</u>	63. 3,3'-Dimethyl benzidine
26. Captan	64. Dimethyl carbamoyl chloride
27. Carbaryl	65. Dimethyl formamide
28. Carbon disulfide	66. 1,1-Dimethyl hydrazine
29. Carbon tetrachloride ^o	67. Dimethyl phthalate
30. Carbonyl sulfide	68. Dimethyl sulfate ^o
31. Catechol	69. 4,6-Dinitro-o-cresol and salts
32. Chloramben	70. 2,4-Dinitrophenol
33. Chlordane ^o	71. 2,4-Dinitrosoluene
34. Chlorine	72. 1,4-Dioxane
35. Chloroacetic acid	73. 1,2-Diphenylhydrazine ^o
36. 2-Chloroacetophenone	74. <u>Epichlorohydrin</u> ^o
37. <u>Chlorobenzene</u>	75. 1,2-Epoxybutane
38. Chlorobenzilate	76. Ethyl acrylate

〈표A-6〉 미국의 유해대기오염물질(계속)

77. <u>Ethyl benzene</u>	115. 4,4-Methylene bis(2-chloroaniline)
78. Ethyl carbamate	116. <u>Methylene chloride</u> ^o
79. Ethyl chloride	117. Methylene diphenyl diisocyanate(MDI)
80. Ethylene dibromide ^b	118. 4,4'-Methylenedianiline
81. <u>Ethylene dichloride</u> ^o	119. Naphthalene
82. Ethylene glycol	120. <u>Nitrobenzene</u>
83. Ethylene imine	121. 4-Nitrobiphenyl
84. <u>Ethylene oxide</u>	122. <u>4-Nitrophenol</u>
85. Ethylene thiourea	123. <u>2-Nitropropane</u>
86. Ethyldine dichloride	124. N-Nitroso-N-methylurea
87. <u>Formaldehyde</u> ^o	125. N-Nitrosodimethylamine ^o
88. Heptachlor ^o	126. N-Nitrosomorpholine
89. Hexachlorobenzene ^o	127. Parathion
90. Hexachlorobutadiene	128. Pentachloronitrobenzene
91. Hexachlorocyclopentadiene	129. Pentachlorophenol
92. Hexachloroethane	130. <u>Phenol</u>
93. Hexamethylene-1,6-diisocyanate	131. p-Phenylenediamine
94. Hexamethylphosphoramide	132. Phosgene
95. <u>Hexane</u>	133. Phosphine
96. Hydrazine ^o	134. Phosphorus
97. Hydrochloric acid	135. Phthalic anhydride
98. Hydrogen fluoride	136. Polychlorinated biphenyls(aroclors)
99. Hydroquinone	137. 1,3-Propane sultone
100. Isophorone	138. β -Propiolactone
101. Lindane	139. <u>Propionaldehyde</u>
102. Maleic anhydride	140. Propoxur(Baygon)
103. <u>Methanol</u>	141. <u>Propylene dichloride</u>
104. Methoxychlor	142. <u>Propylene oxide</u> ^o
105. Methyl bromide	143. 1,2-Propylenimine
106. <u>Methyl chloride</u>	144. Quinoline
107. Methyl chloroform	145. Quinone
108. <u>Methyl ethyl ketone</u>	146. <u>Styrene</u>
109. Methyl hydrazine	147. <u>Styrene oxide</u>
110. Methyl iodide	148. <u>2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin</u>
111. Methyl isobutyl ketone	149. <u>1,1,2,2-Tetrachloroethane</u>
112. Methyl isocyanate	150. <u>Tetrachloroethylene</u>
113. <u>Methyl methacrylate</u>	151. Titanium tetrachloride
114. <u>Methyl-t-butyl ethe</u>	152. Toluene

〈표A-6〉 미국의 유해대기오염물질(계속)

153. <u>2,4-Toluene diamine</u>	172. <u>p-Xylene</u>
154. 2,4-Toluene diisocyanate	173. • Antimony compounds
155. <u>o-Toluidine</u>	174. • Arsenic compounds ^o
156. Toxaphene ^o (chlorinated camphene)	175. • Beryllium compounds ^o
157. <u>1,2,4-Trichlorobenzene</u>	176. • Cadmium compounds ^o
158. 1,1,2-Trichloroethane	177. • Chromium compounds ^o
159. <u>Trichloroethylene</u>	178. • Cobalt compounds ^o
160. 2,4,5-Trichlorophenol	179. • Coke oven emissions ^o
161. 2,4,5-Trichlorophenol ^o	180. Cyanide compounds ^o
162. <u>Triethylamine</u>	181. Glycol ether
163. Trifluralin	182. • Lead compounds ^o
164. <u>2,2,4-Trimethylpentane</u>	183. • Manganese compounds ^o
165. <u>Vinyl acetate</u>	184. • Mercury
166. <u>Vinyl bromide</u>	185. Fine mineral fiber ⁴¹
167. <u>Vinyl chloride</u>	186. • Nickel compounds ^c
168. <u>Vinylidene chloride</u>	187. • Polycyclic organic compounds ⁴¹
169. Xylenes(isomers and mixtures)	188. Radionuclides ^{o, 42}
170. <u>o-Xylene</u>	189. • Selenium compounds
171. <u>m-Xylene</u>	

비고: a: 광화학반응 생성물, b: EPA가 정한 A 또는 B분류의 흡입발암성물질
 c: 몇가지의 광화학물은 EPA가 정한 A 또는 B분류의 흡입발암성물질로 간주됨.
 * 밑줄친 부분은 미국 EPA의 VOC정의(광화학반응)에 의해 지정된 오염물질임.
 1) 평균직경이 1 μ m이하인 입자로 유리, 암석 또는 광석에서 성유,의 제조 또는 공정 시설에서 배출되는 미네랄 섬유를 포함함.
 2) 한개 이상의 벤젠고리를 갖고 끓는점이 100 $^{\circ}$ C 이상인 유기화합물 포함.
 3) 자발적으로 방사능붕괴를 하는 원소 형태
 •는 입자상물질임.

자료: 한화진, 유해대기오염물질 규제에 관한 국내 대응방안 연구, 1994.

〈표A-7〉 미국의 황산화물 배출허용기준(CFR '89 자료기준)

배출시설명	허용기준
◦ 액체연료사용난방시설	>73MW: 340ng/MJ
◦ 고체연료사용난방시설	>73MW: 520ng/MJ
◦ 1차 비철금속 (백소로, 용융로, 전로, 소결로)	650ppm
◦ 황산제조시설	2kg/ton, 0.075kg/ton(acid mist) of 100% H ₂ SO ₄
◦ 탈황시설	산화환원: 0.025%(250ppm) 환원: 0.03%(300ppm)
◦ Gas turbines	>10 × 10 ⁶ BTU/hr 또는 >2930kW: 150ppm
◦ 건조상태	15% S함유량 0.8%이상연료사용금지

〈표A-8〉 미국의 질소산화물 배출허용기준(CFR '89 자료기준)

배출시설명	허용기준
◦ 잔사유연소	>73MW: 129ng/MJ(NO _x)
◦ 석탄연소	>73MW: 300ng/MJ
◦ 발전시설	>73MW: ① 석탄, 갈탄, 역청탄사용시설: 260ng/MT ② 남, 북다코다/몬타나주산 갈탄: 340ng/MJ
◦ 기체연료연소시설	>73MW
◦ Gas터빈(15% O ₂)	>29.3MW: 75ppm >2.93~29.3MW: 150ppm
◦ 질산제조시설	1.5kg/t NO _x (10% opacity)

〈표A-9〉 미국의 먼지 배출허용기준(CFR '89 자료기준)

배출시설명	허용기준
○ 발전시설	>73MW 발전시설 - 잔사유: 43ng/MJ - 고체연료(갈탄계 외): 43ng/MJ - 혼합연료: 13ng/MJ
○ Sludge 소각(1000kg/day 생활폐기물)	650ng/kg(12% CO ₂) (20% opacity)
○ 생활폐기물	>45Mt/day: 180ng/Sm ³ (12% CO ₂)
○ 전기아크로(전기발전로)	12ng/Sm ³
○ 분진제어장치	opacity 10%
○ 아스콘제조	생략(규제기준다양)
○ 석유정제 촉매 재생시설	1kg/ton(fluid catalytic cracking)(opacity 30%)
○ 석유정제 가열시설	43.0g/MJ
○ 유리용융시설: (일일생산량 4550kg이상) (단위: g/kg glass)	- 가스연료 사용시설 ①유리용제: 0.1 ②암축 송풍유리: 불규산염 0.5, 생석회납 0.1 ③기타: 0.25 ④섬유유리: 0.25 ⑤판유리: 0.225 - 액체연료 사용시설 ①유리용제: 0.13 ②암축송풍유리 구조점토(불규산염): 0.65 생석회·납: 0.13 ③기타: 0.325 ④섬유유리: 0.325 ⑤판유리: 0.225
○ 기타시설	회전 석회로: 150g/t CaCO ₂ (opacity 1%) 생석회의 수하: 0.075kg/t Ca
○ 시멘트 생산시설	건조로: 0.15kg/Mt(opacity 20%)
○ 소피 냉각기(clinker cooler)	0.05kg/t(opacity 10%)

비고. 미국의 기타 먼지 배출허용기준

○ Kraft pulp mills

① 회수로: 100ng/Sm³(8% O₂, 35% 혼탁도) ② 용융조: 0.1 kg Black liquors solids

③ 석회로: Gas fuel: 150 ng/Sm³(10% O₂), Liquid gas: 300ng/m³

○ 철합금 생산시설

① 전기칭전 Arc 용광로: 15% 혼탁도 ② High Silicon 합금: 0.45kg/MWh

③ 철, 강간합금: 0.23kg/MWh ④ 분진조절장치: 10% 혼탁도

○ 금속광물처리설비

① 굴삭: 50ng/Sm³(7% 혼탁도) ② 비산분진: 10% 혼탁도

○ 1차 Al 환원설비

① 도관: 10% 혼탁도 ② 전기(Anode)로: 2% 혼탁도 ③ 전기분해시설: 10% 혼탁도

○ 1차 황유, 청유 생산시설(반사로, 용광로, 전기로): 50ng/Sm³

자료: 대기오염개론, 1993.

〈표A-10〉 미국의 유해대기오염물질 연방배출기준

오염물질	영향을 받는 시설	배출 기준	모니터링 또는 시료채취 방법
석면 (Subpart B)	석면제조공장	두드러진 배출량이 아니거나 설비기준을 충족시켜야 함.	필요없음
	도로포장	일시적 사용을 제외하고는 석면이 없어야 함.	필요없음
	제조업	두드러진 배출량이 아니거나 설비기준을 충족시켜야 함.	필요없음
	파쇄/수리	Wet friable 석면 또는 설비기준과 두드러진 배출량이 아니어야 함.	필요없음
	Spraying friable 석면		
	◦ 설비와 기계	두드러진 배출량이 아니거나 설비기준을 충족시켜야 함.	필요없음
	◦ 건물, 구조물 등	< 1% 석면 건조중량	필요없음
	조립계통	두드러진 배출량이 아니거나 설비기준을 충족시켜야 함.	필요없음
	약한 질연재	석면이 없어야 함.	필요없음
	폐기물처리	두드러진 배출량이 아니거나 설비와 작업수행요건을 충족시켜야 함.	필요없음
폐기물 처분지역	두드러진 배출량이 아님: 계획과 작업수행요건	필요없음	
무기비소 (Subpart N)	유리 용해로	기준: < 2.5Mg/year 또는 85% 제어 신규 또는 변경시: < 0.4Mg/year 또는 85% 제어	방법 108 제어를 위한 연속적인 불투명도와 온도 측정
	구리전로	2차 hooding system 입자제한 11.6mg/dscm* 승인된 운영계획	2차 hood를 위한 기류측정
	비소삼산화물과 금속비소제조공장 (배소(焙燒)/액화공장 사용)	배출량 제어를 위한 승인된 계획	제어를 위한 불투명도 측정 대기측정

〈표A-10〉 유해대기오염물질의 연방배출기준(계속)

오염물질	영향을 받는 시설	배출 기준	모니터링 또는 시료채취 방법
염화비닐 (Subpart F)	Ethylene dichloride (EDC) 제조	1. EDC세정: 10ppm ^a 2. Oxychlorination: EDC 생성물의 0.2g/kg	오염원시험/CEM 오염원시험
	염화비닐(VC) 제조 Polyvinylchloride 제조	10ppm ^a	오염원시험/CEM
	○ 설비	10ppm ^a	오염원시험/CEM
	○ 개구반응기의 손실	0.2g/kg	오염원시험
	○ 반응기의 수동환기 밸브	비상시를 제외하고는 배출하면 안됨.	
	Stripper후의 오염원	각 calender day: 1. Strippers-2000ppm (latex를 제외한 PVC처분 수지): 그밖에 400ppm 2. 기타-2g/kg (latex를 제외한 PVC 처분 수지): 그밖에 0.4g/kg	오염원시험 오염원시험
	EDC/VC/PVC 제조		
	○ 안전판 방출	비상시를 제외하고는 배출하면 안됨.	
	○ 부하/비부하	부하/비부하후 0.0038m' 또는 제어시 10ppm	오염원시험
	○ Slip 계기	제어할 배출량	
	○ 설비봉인	이중 봉인이 필요함.	
	○ 안전판누출	Rupture disc가 필요함.	
	○ 수동환기	제어할 배출량	
	○ 개구설비	2.0% VC 또는 25갈론으로 감소시킴.	오염원시험
	○ 시료채취(무계로 10%이상의 VC)	공정으로의 회귀	
	○ LDAR ^c	승인된 계획이 필요함.	승인된 계획
	○ 제조과정중 폐수	방출전 10ppm VC	오염원 시험

〈표A-10〉 미국의 유해대기오염물질 연방배출기준(계속)

오염물질	영향을 받는 시설	배출 기준	모니터링 또는 시료채취 방법
벤젠 (Subpart J)	설비누출(정비매체 또는 가스누출)로 10% 벤젠: 시설취급<1000Mg/year와 크로크스 oven 부산물은 면제	누출은 방법21을 사용할 때 10,000ppm: NDE는 방법21 사용시 500ppm	
	◦ pumps	월간 LDAR, 이중봉인, 95%제어 또는 NDE	NDE를 위한 시험
	◦ 압축기	Barrier fluid를 갖는 봉인, 95% 제어 또는 NDE	NDE를 위한 시험
	◦ 압력완화장치	NDE 또는 95%제어	NDE를 위한 시험
	◦ 시료채취연결시스템	밀폐된 purge 또는 밀폐된 환기시설	
	◦ 개방식벨브/연결선	Cap, plug 또는 2차벨브	
	◦ 벨브	월간 LDAR(2개월 연속누출이 없을 시 연4회) 또는 NDE	NDE를 위한 시험
	◦ 압력완화설비	LDAR	
	◦ 생산물원출장치	95%제어	
◦ 밀폐된 환기시스템과 제어장치	NDE 또는 95%제어	연중측정	
벤젠 (Subpart L)	크로크스부산물 공장		
	◦ 설비와 저장조	동봉오염원, 복구, 파괴, 탄소 흡착기 또는 소각로로제	연2회의 LDAR, 1년유지
	◦ 경유기름통	덮개, 기름통의 환기없음	연2회의 LDAR
	◦ 나프탈렌 설비	배출량 없음	
	◦ 설비누출 (정비누출)로 10%	40 CFR 61 subpart J참고	
	◦ 배어장치(≥무게로1%)	연4회 LDAR 또는 95%제어 또는 NDE	NDE를 위한 시험
벤젠 (Subpart L)	벤젠저장용기 10,000갤론 이상의 용량을 갖는 용기	구비조건: 1. Fixed roof with internal floating roof-seals, 또는	정기적인조사
		2. External floating roof with seals, 또는	정기적인조사
		3. 폐쇄된 환기시설과 95% 제어	정비제외과 측정

〈표A-10〉 미국의 유해대기오염물질 연방배출기준(계속)

오염물질	영향을 받는 시설	배출 기준	모니터링 또는 시료채취 방법
벤젠 (Subpart BB)	벤젠수송 ○ 생산자와 터미널 (1,300,000 l/year이상의부하)	증기수집과 95%제어	연간제증명
	Loading racks(해상,철도,트럭)	단지증기-밀폐용기부하	해당됨
	면제대상 ○ 벤젠 70%이하의 부하시설		
	○ 벤젠 70%이상의 필요량보다 작은 부하시설		
	○ 기록유지를 필요로 하는 위 2가지 사항		
벤젠 (Subpart BB)	폐기물작동 ○ 화학물질제조공장 ○ 석유정제시설 ○ 코크스부산물 공장 위3곳으로부터의 TSD ⁴ 처리폐기물	1.수성폐기물 10Mg/year 이상인 시설은 10ppm 이상으로 유출되도록 제어해야만 한다.	순정제어와 처리,또한 어떤 배출설비의 정기적 측정
		2.폐수처리시스템에서 10ppm이상인 경우 10ppm미만의 폐기물 1Mg/year이하총량	>500ppm과 조사설비
		3.1Mg/year이상 10Mg/year미만	1년간기록
		4. 1ag미만시설	1회보고
방사성 핵종 (Subpart H)	DOE시설 (라돈은 포함되지 않음)	10 mrem/year ³ 방사성핵종	승인된 EPA컴퓨터 모형과 방법 114 또는 직접측정 (ANSIN 13.1-1969)에 의해 결정된 배출량
방사성 핵종 (Subpart K)	NRC허가시설과 Subpart H에 해당되지 않은 시설들	10 mrem/year 방사성핵종	승인된 EPA컴퓨터 모형 또는 부록 E
		3mrem/year 요오드	방법 114 또는 직접 측정(ANSIN13.1-1969)에 의해 결정된 배출량

〈표A-10〉 미국의 유해대기오염물질 연방배출기준(계속)

오염물질	영향을 받는 시설	배출 기준	모니터링 또는 시료채취 방법
방사성핵종 (Subpart K)	인원소공장에서 의 하 고체와 nodulizing 體	2 curies/year(플로늄-210)	방법 111
방사성핵종 (Subpart Q)	DOE가 소유/운영하는 라듐합유물질의 저장 및 폐기시설	20 pCi/m ³ /sec ³ (라돈-222)	명시되어있지않음
방사성핵종 (Subpart R)	인석고연돌(인비료 생 산사 나오는 폐기물)	20 pCi/m ³ /sec ³ (라돈-222)	방법 115
방사성핵종 (Subpart W)	우라늄제조공장의 쓰 레기 처리(운영적)	20 pCi/m ³ /sec ³ (라돈-222)	방법 115
Beryllium (Subpart C)	추출공장 세라믹공장 주물공장 소각로 추진제 제조공장 기계제작소(베릴륨 무 제로 5%이상의 함유)	1. 10g/hour, 또는 2. 0.01µm ³ /m ³ (30일)	1. 오염원시험 2. 3년간 CEM ^a
Beryllium	로켓드모터시험장소 및제조예의 연소생성 물 수집	2주연속 10-60분에 대기 의 75µg min/m ³ 2g/h, 최대 10g/day	시험동안과 시험후 대 기농도 배출되는 동안의 연속 적인 시료채취
수은 (Subpart E)	광석처리과정	2300g/24hour	오염원시험
	Chlor-alkali 공장	2300g/24hour	오염원시험 또는 승인 된 계획, 유지와 관리사 용
	슬러지건조기와 소각 로	3200g/24hour	오염원시험 또는 슬러 지 시험

비고: a CEM = Continuous Emission Monitoring(연속배출모니터링)
 b 열화비회의 경우 시설 개구전에 규오에는 관제없이 부피로 2.0% 또는 25달론까지 감
 속되어야 함.
 c LDAR = leak detection and repair(누출탐지와 수리)
 d Mg/year = megagrams per year
 e µg/dscm = milligrams per dry standard cubic meter
 f NDE = no detectable emissions(감지할 수 없는 배출량)
 g TSDF = treatment, storage, and disposal facilities(처리, 저장 및 처분설비)
 h mrems/year = millirems per year(rem은 방사선 노출에 대한 표준복용량의 단위임)
 i pCi/m³ per second = 페츠당 m³당 picocuries.
 # 시료채취 방법은 미국 EPA의 Proposed Method 301(EPA 1991)을 참고
 자료: 유해대기오염물질 규제에 관한 국내 대응방안 연구, 한국전, 1994.

〈표A-11〉 대기오염도와 경제활동과의 상관관계

독립변수 \ 종속변수	SO ₂	TSP	O ₃	NO ₂	CO	Pb
상수	-7.4559 (-8.4249)	2.9810 (5.4058)	-3.9934 (-6.0878)	-7.2990 (-8.7803)	-0.4376 (-0.4621)	2.0886 (14.2709)
t	-0.0054 (-0.0718)	-0.0316 (-0.6765)	-0.2821 (-5.0714)	-0.0881 (-1.2496)	0.0724 (0.9008)	0.0048 (0.3764)
t ²	-0.0099 (-0.9942)	-0.0090 (-1.4503)	0.0365 (4.9330)	0.0058 (0.6160)	-0.0209 (-1.9534)	0.0002 (0.1281)
Y _t	0.2751 (5.0176)	0.1394 (4.0802)	-0.0069 (-0.1447)	0.2345 (4.5517)	0.0847 (1.4427)	-0.0253 (-2.7860)
R ²	0.4953	0.6545	0.4040	0.4028	0.3209	0.2147
adj. R ²	0.4555	0.6272	0.3569	0.3557	0.2673	0.1527
F	12.4308**	23.9952**	8.5851**	8.5434**	5.9655**	3.4531*
SEE	0.2927	0.1824	0.2170	0.2750	0.3133	0.0484
d.f	38	38	38	38	38	38

주) 1) * $\alpha=0.05$ 에서 모델의 유의성 있음. H₀: all slope coefficients(β 's)=0

** $\alpha=0.01$ 에서 모델의 유의성 있음. H₀: all slope coefficients(β 's)=0

2) 괄호안은 t-value를 제시

〈표A-12〉 대기오염도와 에너지소비 및 경제활동과의 상관관계

$$\text{모델3: } \ln X_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot t^2 + \beta_3 \ln Y_t + \ln E_{it} + \epsilon_{it}$$

종속변수 독립변수	SO ₂	TSP	O ₃	NO ₂	CO	Ph
상수	-30.1008 (-7.9348)	-6.2837 (-2.1263)	-3.0871 (-0.7787)	-17.1070 (-3.5862)	-12.5003 (-2.3304)	1.8467 (2.0885)
t	0.0398 (0.7304)	-0.0132 (-0.3106)	-0.2839 (-4.9924)	-0.0685 (-1.0050)	0.0964 (1.2529)	0.0052 (0.4063)
t ²	-0.0213 (-2.8711)	-0.0137 (-2.3668)	0.0370 (4.7714)	0.0009 (0.0925)	-0.0269 (-2.5688)	9.0317 (0.0522)
Y _t	-0.7830 (-4.3709)	-0.2935 (-2.1033)	0.0365 (0.1948)	-0.2239 (-0.9971)	-0.4790 (-1.8910)	-0.0366 (-0.8757)
E _{it}	1.1022 (6.0549)	0.4509 (3.1799)	-0.0441 (-0.2319)	0.4774 (2.0925)	0.5871 (2.2811)	0.0118 (0.2774)
R ²	0.7465	0.7287	0.4048	0.4660	0.4047	0.2163
adj. R ²	0.7191	0.6994	0.3405	0.4083	0.3403	0.1316
F	27.2392**	24.8451**	6.2910**	8.0721**	6.2884**	2.5530
SEE	0.2103	0.1638	0.2197	0.2635	0.2973	0.0490
df	37	37	37	37	37	37

주: 1) * $\alpha=0.05$ 에서 모델의 유의성 있음, H₀: all slope coefficients(β 's)=0
 ** $\alpha=0.01$ 에서 모델의 유의성 있음, H₀: all slope coefficients(β 's)=0
 2) 괄호안은 t-value를 제시

〈표A-13〉 Euler's Equation의 회귀분석 결과
(Filter : Monthly Dummies)

구분	모형1	모형2	모형3	모형4
상수	4.776 (7.489)	1.635 (2.288)	4.110 (6.072)	1.276 (1.634)
c	-0.178 (-0.946)	-0.251 (-0.935)	-0.065 (-0.353)	-0.001 (-0.005)
i	-	-0.161 (-0.676)	-	-0.259 (-1.104)
SO ₂	0.042 (0.586)	0.047 (0.561)	-	-
TSP	0.114 (1.254)	0.123 (1.035)	-	-
O ₃	-0.020 (-0.299)	-0.020 (-0.233)	-	-
NO ₂	-0.167 (-1.962)	-0.214 (-2.149)	-	-
CO	-0.123 (-1.280)	-0.138 (-1.210)	-	-
SAirpol	-	-	0.020 (0.267)	-0.030 (-0.305)
Ph	0.503 (2.213)	0.560 (2.087)	0.617 (2.618)	0.671 (2.309)
R ²	0.291	0.367	0.132	0.158
adj. R ²	0.183	0.222	0.080	0.072
F	2.697	2.540	2.528	1.829
df	46	35	50	39
β	1.000	1.000	1.000	1.000
σ	1.178	1.252	1.065	1.001
ρ	-	0.161	-	0.259
σ_{SO_2}	-0.042	-0.047	-	-
σ_{TSP}	-0.114	-0.123	-	-
σ_{O_3}	0.020	0.020	-	-
σ_{NO_2}	0.167	0.214	-	-
σ_{CO}	0.123	0.138	-	-
$\sigma_{SAirpol}$	-	-	-0.020	0.030
σ_{Ph}	-0.503	-0.560	-0.517	-0.671

주: 1) * $\sigma=0.05$ 에서 모형의 유의성 있음, H₀: all slope coefficients(β 's)=0
 ** $\sigma=0.01$ 에서 모형의 유의성 있음, H₀: all slope coefficients(β 's)=0

2) 괄호안은 t-value를 제시

〈표A-14〉 Euler's Equation의 회귀분석 결과
(Filter : Monthly Dummy 및 3차 Time Trend)

구분	모형1	모형2	모형3	모형4
상수	-3.867 (-6.455)	-1.654 (-2.451)	-2.045 (-3.190)	-1.401 (-1.880)
c	-0.167 (-0.942)	-0.258 (-1.019)	-0.055 (-0.312)	-0.002 (-0.007)
l	-	-0.224 (-0.989)	-	-0.291 (-1.286)
SO ₂	0.052 (0.879)	0.062 (0.763)	-	-
TSP	0.116 (1.368)	0.127 (1.138)	-	-
O ₃	-0.021 (-0.333)	-0.018 (-0.232)	-	-
NO ₂	-0.181 (-2.256)	-0.240 (-2.512)	-	-
CO	-0.116 (-1.282)	-0.123 (-1.134)	-	-
SAurpol	-	-	0.024 (0.337)	-0.021 (-0.222)
Ph	0.442 (2.039)	0.511 (2.009)	0.532 (2.336)	0.596 (2.122)
R ²	0.287	0.383	0.110	0.153
adj. R ²	0.179	0.242	0.057	0.066
F	2.545	2.713	2.062	1.750
df	46	35	30	39
$\hat{\sigma}$	1.000	1.000	1.000	1.000
σ	1.157	1.258	1.055	1.002
p	-	0.224	-	0.291
t _{SO₂}	-0.062	-0.062	-	-
t _{TSP}	-0.116	-0.127	-	-
t _{CO}	0.021	0.018	-	-
t _{NO₂}	0.181	0.240	-	-
t _{CO}	0.116	0.123	-	-
t _{SAurpol}	-	-	-0.024	0.021
t _{Ph}	-0.442	-0.511	-0.532	-0.596

주: 1) * $\alpha=0.05$ 에서 모형의 유의성 있음, H₀: all slope coefficients(β 's)=0

** $\alpha=0.01$ 에서 모형의 유의성 있음, H₀: all slope coefficients(β 's)=0

2) 괄호안은 t-value를 제시