

연구보고서  
2006-18

# 기후변화협약 대응을 위한 대기오염물질 배출특성 분석

정종관 · 임태인

연구보고서  
2006-18

기후변화협약 대응을 위한 대기오염물질  
배출특성 분석

2006 · 10

충남발전연구원

ISBN : 978-89-89552-88-8 93530

연구보고서 2006-18

# 기후변화협약 대응을 위한 대기오염물질 배출특성 분석

정종관 · 엄태인

# 발 간 사

기상학자인 잭 홀 박사는 남극에서 지구의 기온변화를 추적하기 위해 빙하 코어를 탐사하던 중 곧 기상이변이 일어날 것을 감지하고 얼마 후 국제회의에서 앞으로 닥칠 지구 기상 변화에 관한 연구를 발표하게 된다. 지구 온난화로 빙하가 녹아 해류의 흐름을 바꿔 결국 지구가 빙하로 뒤덮이게 되는 일이 일어날 것이라고 주장한다. 얼마 후 끔찍한 토네이도가 LA 지역을 휩쓸고, 일본에서는 우박으로 인한 엄청난 피해가 보도되는 등 지구 곳곳에서 이상 기후가 나타나게 된다. 이는 지구의 북반구가 빙하로 덮이기 시작하는 징후로써 미국 정부는 사람들을 남쪽으로 이동시키는 대피령을 발령한다. 목숨을 걸고 도서관에 고립된 아들을 구하러 가던 잭 홀 박사는 위험한 상황에 빠지게 된다. 아들을 구하러 위험을 무릅쓰는 아버지의 가슴 아린 가족사랑에 눈시울을 붉히지 않은 사람이 없었을 것입니다. 이것이 지구 온난화를 소재로 한 유명한 영화 「투모로우」의 줄거리입니다.

지구온난화와 기후변화에 대한 인식이 국제적으로 본격화된 것은 1970년대 말부터라 할 수 있습니다. 1979년 제1차 세계기후회의를 통해 기후변화 가능성과 부정적 영향 방지를 위한 조치강구의 필요성을 인식한 이래 2005년 2월 교토의정서의 발효에 이르기까지 우리나라를 비롯한 세계 각국은 온실가스 배출 저감을 위한 ‘만국공통의, 그러나 차별화된’ 노력을 기울여 왔습니다. 제12차 기후변화협약 당사국총회(COP12, 나이로비, 2006. 12) 결과, 1차 의무이행 기간이 종료되는 2012년 이후 새로운 국제 환경레짐의 발현이 예상되어 우리나라도 에너지 다소비업종 등에 대한 온실가스 배출규제가 강화될 것으로 전망되고 있습니다.

이러한 상황 아래에서 ‘한국의 중심, 강한 충남’을 지향하는 우리 지역은 어떻게 준비하고 대응할 것인지, 환경적으로 건전한 지속가능한 발전은 달성가능한 지 전반적으로 검토가 필요

할 것입니다. 튼튼한 지역경제를 이루기 위해서는 건강한 자연환경이 전제되어야 하고, 안정적인 에너지의 수요공급이 뒷받침되어야 합니다. 에너지의 사용은 필연적으로 대기오염물질과 온실가스의 배출로 이어지는데 분야별 배출특성을 파악하고 이에 따른 지방정부 차원의 대응전략 수립이 절실히 요구되고 있습니다. 특히 충남지역은 세종시로 명칭이 확정된 행정중심복합도시의 건설, 신도청도시, 기업도시 조성 등 대규모 개발사업과 국가발전을 견인하는 첨단 전자정보기기, 자동차, 철강, 석유화학, 화력발전 등 환경부하가 큰 산업의 비중이 점차 커지고 있어 환경문제에 대한 철저한 대응이 요구되는 지역특성을 가진 곳입니다.

이렇게 시기적 중요성을 감안하여 공동연구를 수행하신 한밭대학교 임태인 교수님과 환경행정 실무차원에서 자문과 협조를 아끼지 않으신 충청남도 환경관리과의 정종철 사무관님, 온실가스 관련정책 연구분야의 중부대학교 최정석 교수님, 환경공학을 바탕으로 기술적 대응방안에 대해 연구하시는 한밭대학교 김철규 교수님, 우리나라의 온실가스 저감에 대한 총괄연구를 진행하고 계신 문승현 한국에너지기술연구원 온실가스연구 센터장님께도 감사드립니다. 끝으로 본 연구를 담당하여 지식정보생산의 네트워크 매니저로서 우리 연구원 정종관 연구위원의 노고에 감사의 뜻을 표합니다.

2006년 10월 31일

충남발전연구원장 김 용 응

# 목 차

## 제1장 서 론

제1절 연구의 배경과 목적 .....	1
1. 연구의 배경 .....	1
2. 연구의 목적 .....	2
제2절 연구의 내용 및 방법 .....	4
1. 연구의 범위 .....	4
2. 연구의 내용 .....	4
3. 연구의 방법 .....	5
제3절 선행연구 고찰 .....	7
1. 대기오염물질 배출 .....	7
2. 온실가스 배출 .....	8

## 제2장 대기오염물질 배출량 산정 방법

제1절 배출원분류 .....	9
제2절 배출량 및 배출계수 산정방법 .....	12
1. 발생지점에 따른 적용 .....	12
2. 접근방법에 따른 적용 .....	13
3. 계산방법에 따른 적용 .....	13
4. 배출원별 배출량 산정식 .....	15

제3절 온실가스 배출량 산정 .....	21
1. 지구평형과 온난화 .....	21
2. 온실가스 특성 .....	22
3. 배출량 산정방법 .....	23
4. 배출원 분류체계 .....	24

### 제3장 대기오염물질 배출량

제1절 배출시설의 특성구분 .....	26
1. 배출원별 종류 구분 .....	26
2. 지역별 배출시설 구분 .....	27
3. 이동배출원 현황 .....	29
제2절 대기오염물질 발생량 .....	30
제3절 대기오염물질 배출량 .....	32
1. 배출량 변화 .....	32
2. 부문별 배출량 .....	33
3. 배출량 공간분포 .....	42
제4절 온실가스 배출량 .....	47
1. 배출량 추계 .....	47
2. 부문별 배출량 .....	48

### 제4장 대기오염물질 배출 저감방안

제1절 대기오염물질 저감 .....	51
1. 황산화물(SO <sub>x</sub> ) .....	51
2. 질소산화물(NO <sub>x</sub> ) .....	54
3. 자동차 배출가스 .....	55

제2절 온실가스 저감 .....	57
1. 에너지 부문 전망 .....	57
2. 온실가스 저감 기술 .....	58
제3절 기후변화협약 대응 정책 .....	65
1. 기본방향 .....	65
2. 부문별 추진 대응전략 .....	66
3. 분야별 온실가스 감축 사업 및 내용 .....	70
4. 대기오염물질과 온실가스 연계 감축 .....	72
5. 배출권 거래제도 .....	74

## 제5장 결론 및 정책 제언

1. 요약 및 결론 .....	77
2. 정책 제언 .....	79

참고문헌 .....	81
------------	----

## 부    록

# 표 목 차

<표 2-1> 대기오염물질 배출원 분류체계 .....	10
<표 2-2> 도로이동오염원에 대한 배출원 분류체계 .....	11
<표 2-3> 열차종별 배출계수 .....	18
<표 2-4> 건설장비 배출계수 .....	20
<표 2-5> 온실가스의 특성 .....	22
<표 2-6> 온실가스별 배출량 .....	24
<표 2-7> 부문별 온실가스 배출량 .....	25
<표 3-1> 종별 구분 변경 내용 .....	27
<표 3-2> 지역별 대기배출시설 구분 현황 .....	28
<표 3-3> 충청남도내 종류별 건설기계 등록현황 .....	29
<표 3-4> 지역별 자동차 등록현황 .....	29
<표 3-5> 지역별 점오염원 대기오염물질 발생현황 .....	31
<표 3-6> 충청남도 산업단지내 대기오염물질 발생량 특성 .....	31
<표 3-7> 충청남도의 연도별 대기오염물질 배출량 .....	32
<표 3-8> 충청남도의 에너지 산업연소 부문 배출량 .....	33
<표 3-9> 충청남도의 비산업연소 부문 배출량 .....	34
<표 3-10> 충청남도의 제조업 연소 부문 배출량 .....	35
<표 3-11> 충청남도의 생산공정 부문 배출량 .....	36
<표 3-12> 충청남도의 에너지 수송 저장 부문 배출량 .....	37
<표 3-13> 충청남도의 유기용제 사용 부문 배출량 .....	38
<표 3-14> 충청남도의 도로이동 부문 배출량 .....	39
<표 3-15> 충청남도의 비도로이동 부문 배출량 .....	40

<표 3-16> 충청남도의 폐기물 처리 부문 배출량 .....	41
<표 3-17> 연도별 GDP 및 온실가스 배출량 추계 .....	47
<표 3-18> 충청남도의 산업, 교통, 공공, 가정부문 종류별 사용량 .....	48
<표 3-19> 연료사용량 석유환산톤 .....	48
<표 3-20> 충청남도의 산업, 교통, 공공, 가정부문의 연료별 이산화탄소 배출량 .....	49
<표 3-21> 충청남도내 화력발전소의 연료사용량 .....	49
<표 3-22> 충청남도내 화력발전소의 발전량 .....	50
<표 3-23> 충청남도내 화력발전소의 이산화탄소 발생량 .....	50
<표 4-1> 충청남도의 에너지 부문 장기 전망 .....	58
<표 4-2> CNG버스 보급실적 .....	68
<표 4-3> CNG충전소 설치실적 .....	69
<표 4-4> 대기오염물질 및 온실가스 저감연계 대책 .....	73

# 그림 목 차

[그림 2-1] HAPs 통합관리 체계도 .....	11
[그림 3-1] 충청남도의 대기오염물질 배출량 추세 .....	33
[그림 3-2] 충청남도의 에너지 산업연소 부문 배출량 추세 .....	34
[그림 3-3] 충청남도의 비산업연소 부문 배출량 추세 .....	35
[그림 3-4] 충청남도의 제조업연소 부문 배출량 추세 .....	36
[그림 3-5] 충청남도의 생산공정 부문 배출량 추세 .....	37
[그림 3-6] 충청남도의 에너지 수송 저장 부문 배출량 추세 .....	38
[그림 3-7] 충청남도의 유기용제 부문 배출량 추세 .....	39
[그림 3-8] 충청남도의 도로이동 부문 배출량 추세 .....	40
[그림 3-9] 충청남도의 비도로이동 부문 배출량 추세 .....	41
[그림 3-10] 충청남도의 폐기물처리 부문 배출량 추세 .....	42
[그림 3-11] 점오염원의 미세먼지 배출량 현황 .....	43
[그림 3-12] 점오염원의 황산화물 배출량 현황 .....	43
[그림 3-13] 점오염원의 질산화물 배출량 현황 .....	44
[그림 3-14] 충청남도의 교통량 현황(2005) .....	44
[그림 3-15] 미세먼지 배출량 공간분포도 .....	45
[그림 3-16] 황산화물 배출량 공간분포도 .....	45
[그림 3-17] 질산화물 배출량 공간분포도 .....	46
[그림 3-18] 주요 점오염원 온실가스 배출량 공간분포도 .....	50
[그림 4-1] 노르웨이 STATOIL의 이산화탄소 해저저장 프로젝트 .....	61
[그림 4-2] 우리나라의 기후변화협약 대응대책 체계도 .....	66
[그림 4-3] 배출권 거래제도 개념도 .....	76

# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경과 목적

### 1. 연구의 배경

지구온난화와 기후변화에 대한 인식이 국제적으로 본격화된 것은 1970년대 말부터라 할 수 있다. 1979년 제1차 세계기후회의를 통해 인간의 활동에 의한 기후변화 가능성과 부정적 영향 방지를 위한 조치강구의 필요성이 인정되기 시작했다. 1985년 온실가스의 기후변화에 대한 영향평가회의가 오스트리아에서 개최된 이래 1988년 유엔환경계획과 세계기상기구 공동주관으로 '기후변화에 관한 정부간패널(IPCC)'이 유엔총회 결의로 설립되었다.

1992년 유엔환경개발회의에서 기후변화에 관한 국제연합 기본협약이 채택되고, 1997년 기후변화협약 이행 방법으로 당사국간의 지구온난화물질 배출저감 실행을 위한 교토의정서가 제3차 당사국총회에서 채택되었다. 2005년 2월 교토의정서가 발효됨에 따라 우리나라는 온실가스 의무 감축대상은 아니나 배출 저감을 위한 국가의 노력이 더욱 요구되고 있다. 제11차 기후변화협약 당사국총회(COP11, 몬트리올, 2005. 12) 결과 각국마다 기후변화 적응을 위한 5개년 작업프로그램을 마련하도록 하였고, 1차 의무이행 기간이 종료되는 2012년 이후 새로운 국제 환경레짐의 발현이 예상되어 국내에도 에너지 다량 소비업종에 대한 온실가스 배출규제가 강화될 것으로 전망되고 있다.

기후변화협약 발효에 따른 국가적 대응을 위해 우리나라는 국무총리실 산하에 기후변화협약대책위원회를 구성하고 2005년 2월 기후변화협약 대응 제3차 종합대책을 발표하였다. 이에 따라 지방자치단체의 대책 추진은 연차별 시행을 통해 정부종합대책과 연계 운용하도록 지침을 제시하고 있다.

충청남도는 부가가치가 높은 산업을 유치하여 지역경제력 향상시키는 특화산업 육성 시책을 중점적으로 추진하여 왔다. 특히 충남 서북부지역은 수도권과 인접하여 집중적인 기업유치로 화력발전, 석유화학, 철강, 반도체, 자동차산업 등 에너지 다소비 업종이 입지하여 이에 따라 대기오염물질 배출량도 지속적으로 증가하고 있다. 기후변화와 관련한 주요 물질인 이산화탄소 이외의 주요 대기오염물질은 먼지, 황산화물, 질산화물이며 충청남도내 대기오염물질 배출업소는 2004년말 현재 총 2,894개소이며 연간 오염물질 배출량 20톤 이상의 1~2종은 200여개소로, 서해안 개발에 따라 대형 배출원도 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 대형배출원 이외에 자동차, 철도, 선박 등의 이동배출원과 건설산업기계, 농기계 등에 의해서도 배출량 증가추세를 보일 것으로 예상되며, 특히 자동차 교통량의 지속적인 증가는 이동배출원 가운데 대기오염배출량에 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

따라서 주요 대기오염 배출특성을 분석하고 이에 따른 온실가스 및 대기오염물질 배출에 의한 환경상의 영향을 최소화하기 위한 관리대책을 수립함으로써 충남의 지역경제와 환경보전의 양립을 통한 지속가능한 발전을 도모할 필요가 있다.

## 2. 연구의 목적

기후변화협약의 발효에 따른 국제적 환경규제의 강화와 쾌적한 환경질에 대한 요구는 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 이를 위해 대기오염물질 배출특성 분석은 대기환경관리 및 기후변화협약 시행에 따른 오염물질 저감을 위해 가장 기본적으로 필요한 내용이라 할 수 있다. 이것은 국가나 지방자치단체의 환경정책 수립 및 시행을 위한 과학적 신뢰도나 정책집행의 효율성과 직결되지만 오염물질 배출량 및 특성분석을 통한 대책수립은 초기단계 수준이다.

충남은 2003년에 작성한 “환경보전종합대책 기본계획수립”에서 4가지 대기오염물질 항목에 대한 배출량을 산정하였으나 천안을 비롯한 북부지역 5개 시·군에만 적용하였고, 기후변화 요인으로 가장 중요한 이산화탄소 배출자료가 없고 입력자료의 한계로 산정결과를 오염물질 저감정책에 반영하기 위한 신뢰도가 낮았다. 또한 2004년부터 새로 적용된 오염물질 배출량에 근거한 종별 배출시설 분류 방법론의 적용과 배출계수의 산정에 대한 신뢰도 향상이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 2005년을 기준으로 그간의 연구성과를 반영하고 충남지역의 대기오염물질 배출량과 특성조사를 통해 향후 적용이 예상되는 대기오염총량관리제의 시행, 기후변화협약에 따른 대기오염물질과 온실가스의 저감을 위한 대책수립에 기본적인 정책 수립자료 체계로 활용할 수 있도록 기본연구가 필요하다. 이를 위해 충남지역에서 배출되는 종류별 대기오염물질의 목록을 구축하고 배출량 추정방법, 배출계수, 활동도 자료를 이용하여 대기오염물질 배출 특성분석을 통해 종합적인 대기오염 관리계획 수립에 기여하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적 하에 대기오염관리 및 온실가스 저감계획 수립에 기본자료로 활용될 수 있도록 하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

## 제2절 연구의 내용 및 방법

### 1. 연구의 범위

본 연구의 시간적 범위로 기준년도는 2005년이며, 공간적 범위는 충청남도 전지역으로 한다. 내용적 범위는 1차적으로 배출원별, 지역별, 오염물질별 연평균 배출량을 산정하도록 한다. 연구대상 물질은 대기오염관리에서 대표적인 먼지, 황산화물, 질산화물, 일산화탄소, 휘발성유기화합물질(VOC)과 지구온난화물질 가운데 대표적인 이산화탄소를 포함한다. 그러나 배출량 산정방법에서 불확실성이 크거나 배출계수가 정립되지 않은 중금속, 비산먼지, 기타 온난화 물질과 자연배출원에서 기인하는 물질은 제외하였고 인간의 경제활동에서 배출되는 오염물질을 대상으로 한다.

### 2. 연구의 내용

본 연구에서는 국내의 배출특성 현황과 배출량 산정방법론, 배출계수를 비교하여 우리지역 특성에 맞는 것으로 설정하도록 한다. 산업부문의 대기오염물질 배출시설 조사표를 근거로 면 오염원과 이동배출원 및 기타 배출원 관련 활동도자료를 조사하여 각 부문별 배출량으로 산정하도록 한다. 이를 위해 사업장별 대기배출원조사(SODAC/SODAM; Source Data Collection and Management) 자료, 대기정책시스템(CAPSS; Clean Air Policy Support System) 및 굴뚝 자동측정기(TMS; Tele-Metering System)별 배출량 자료조사를 비교하고, 배출농도와 유량에 기초한 사업장 대기오염물질 배출실태 조사와 함께 방지시설 특성조사를 포함하도록 한다. 이러한 조사내용에는 다음과 같은 내용이 포함된다.

- 배출시설 및 방지시설의 용량, 효율, 배출허용기준조사
- 사업장의 활동도(연료 및 원료 사용량, 제품생산량 등) 조사
- 연료사용시설의 배관 규격 및 굴뚝조건 등 시설 현황 조사

배출원조사 결과에 따라 대기오염물질 배출량 저감을 위한 정책 및 방법론의 도출을 위해서는 다음 항목을 중점적으로 다룬다.

- 이산화탄소를 포함하는 주요 대기오염물질의 저감을 위해 점오염원인 배출시설에서의 탈황, 탈질, 세정, 집진 등 시설현황 조사와 개선 방안
- 저탄소연료로의 연료전환 가능성 비교 : 대형에너지 공급시설의 연료를 고탄소의 석탄, 중유에서 저탄소의 LNG, CNG 등으로 전환
- 산업계를 포함한 관련업계의 대기오염물질 배출저감 방법에 대한 최적실행(BMP; Best Management Practice) 사례 수집 : 산업계는 참여방식이 지속적인 경제성장을 보장할 수 있도록 선진국과 차별화된 신축적이고 자발적인 방식으로 추진
- 지방자치단체 차원에서의 부문별 온실가스 감축 사업, 자발적 협약, 교육 및 홍보 방안 등에 대한 도출

### 3. 연구의 방법

본 연구를 수행하기 위해서는 배출원별, 오염물질별 배출량 분류체계는 가능한 한 국제적 표준분류체계를 따르되 연구내용과의 일관성을 유지하도록 한다.

#### ○ 배출시설 통계자료와 국내·외 연구자료 수집 분석

- CAPSS 자료의 내용 및 형태 분석
- 굴뚝 자동측정기(TMS)별 배출량 자료
- 산업단지내외의 주요 배출시설에 대한 배출량 자료
- 이동배출원과 기타 배출원 배출량 산정을 위한 기초자료는 도 및 각 시군의 통계자료를 근거로 활용
- 연료별 배출계수와 연료사용량 등은 에너지경제연구원에서 발간되는 IPCC 공식 근거자료와 충남통계연보를 기초로 산출

- 외국과의 비교를 위해 EPA에서 개발된 모형과 비교 분석
  
- 관련자료 산정 및 처리 과정에 대한 기본틀 구상
  
- 전문가 자문 및 의견수렴
  - 이 분야의 풍부한 연구경험을 가진 관련기관과 배출시설 관리담당자, 학계의 전문가를 충남환경포럼(내부 학습활동) 행사를 통하여 자문을 구하고 의견을 연구수행에 반영
  - 주요 배출시설 현지방문을 통한 자문과 자료수집 결과를 연구에 반영
  
- 기후변화 적응방안 도출을 위한 국제 및 국내동향, 타 자치단체, 산업계 등의 대응에 대한 지속적 추적(follow-up)으로 연구성과의 시의성 확보

### 제3절 선행연구 고찰

#### 1. 대기오염물질 배출

대기오염물질의 배출특성 분석 연구분야로 국가차원에서는 2001년부터 배출량자료 DB구축사업이 진행되고 있다. 이것은 배출계수에 근거하여 배출량을 추정하는 대기정책지원시스템(CAPSS)으로서, 이 자료는 1km의 해상도로 이루어져 있는데 시스템의 안정화와 관련하여 현재 자료 공개가 쉽지 않은 상황이다. CAPSS 자료는 광범위한 배출자료 DB이지만 자체를 대기질 모델링에 바로 사용할 수 없으므로 CAPSS 자료로부터 대기질 모델링에 이용될 수 있는 배출량 자료를 생성하는 시스템 개발이 필요한 실정이다.

한편 사업장의 배출농도와 유량에서 산정한 사업장별 대기배출원조사(SODAC/SODAM) 자료는 평균농도 및 유량측정 및 굴뚝 자동측정기(TMS)별 배출량 자료조사로 상당한 데이터 신뢰도를 구축해 가고 있다.

외국의 사례로 미국의 경우, 국내 CAPSS 자료와 유사한 국가배출목록(National Emission Inventory)을 사용자가 이용할 수 있도록 하는 시스템을 개발하여 EPA 홈페이지에 공개하고 있으나, 국내에서는 이러한 시스템이 구축되어 있지 않으므로 배출량 산정 시 어려움을 겪고 있다. 국내에서도 대기오염도가 상대적으로 높은 수도권지역은 「수도권 대기환경 개선에 관한 특별법」이 2007년 7월부터 시행됨에 따라 수도권 사업장 대기오염물질 총량관리 및 배출권 거래제의 효율적인 추진을 위하여 사업장 배출량 정밀조사가 진행되고 있다.

이러한 선행연구를 토대로 하여 기후변화협약 대응준비 방안으로 충청남도는 자체 온실가스 저감계획 시범사업안을 수립하였다. 그러나 충남지역에서는 사업장 중심의 점오염원뿐만 아니라 선오염원, 기타 이동배출원에 대한 배출특성조사는 충분하지 않은 상황이므로 이에 대한 체계적 조사연구가 필요하다고 판단된다. 특히 기후변화협약에서 중점적으로 다루는 이산화탄소 등 온실가스의 배출과 관련되는 내용은 기존연구에서 거의 다루지 않았으므로 연료사용량과 활동도, 배출농도와 배출유량 등에 대해 새로이 검증조사가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## 2. 온실가스 배출

온실가스의 배출특성 조사 및 연구는 주로 학회와 국가연구기관을 중심으로 진행되고 있다. 한국대기환경학회에서 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사(2000. 2), 국립환경과학원에서 대기오염물질 배출사업장에서의 이산화탄소 배출량 산정(2001. 12), 자동차 온실가스 배출량 산정(2002. 3), 자동차 부문의 온실가스 배출특성 조사 및 배출량 산정(2005. 9) 등이 진행되었다.

환경분야 단위사업장 차원에서는 환경관리공단이 지자체 매립장 10개소, 소각장, 하수처리장 등 환경부문 온실가스 배출량 조사 및 통계구축 I (2002. 8), 지자체 매립장 6개소의 온실가스배출량 조사 및 통계구축 II (2003. 10) 등을 진행하였다.

현재 진행 중인 연구로는 과학적·체계적 온실가스 배출량 및 배출계수 개발을 위해 기존의 대기오염물질 모니터링 및 관리시스템(TMS 및 CAPSS)과 연계하여 실측치에 근거한 상향식의 온실가스 배출량 조사 및 배출계수 개발이 국립환경과학원과 환경관리공단에서 진행되고 있다. 이것은 차세대 핵심환경기술 개발사업의 일환으로 시멘트, 철강, 제지, 환경기초시설, 자연생태계 등 주요 부문의 온실가스 배출원 목록 작성·평가 조사 및 국내에 적합한 배출계수 개발이 포함된다(2005. 4~2008. 4).

업종별·용도별 온실가스 배출량 산정 및 보고지침 마련을 위해 기업의 온실가스 배출현황 파악과 배출권거래제도 실시 등을 위한 업종별·용도별 온실가스 배출량 산정방법 제시 및 보고지침 개발은 환경관리공단과 에코프론티어(주)에서 연구조사 사업을 실시하고 있다(2004. 12~2007. 11).

이처럼 부문별·용도별 온실가스 배출량 산정·관리방안은 대기오염물질 배출량 산정 및 관리에 사용되는 TMS, CAPSS 등의 배출량 및 대기관리시스템과 연계하는 방향으로 추진되고 있다. 따라서 대기오염물질과 온실가스의 배출량 통합관리는 온라인 모니터링 및 향후 배출권거래제도 등 교토 메카니즘 이행관리에 용이하므로 대기관리정책과 온실가스 감축정책의 효율적 통합 추진이 바람직하다고 볼 수 있다.

## 제2장 대기오염물질 배출량 산정 방법

### 제1절 배출원 분류

대기환경보전법 제2조에서 '대기오염물질'이라 함은 대기오염의 원인이 되는 가스 및 입자상물질로서 환경부령으로 정하는 것을 말한다고 규정하고 있다. 이에 따라 현재 법적으로 정한 대기오염물질은 입자상물질과 황산화물, 질소산화물, 중금속과 그 화합물 등 61종으로 정하고 있다. 한편 '특정대기유해물질(HAPs; Hazardous Air Pollutants)'이라 함은 사람의 건강·재산이나 동·식물의 생육에 직접 또는 간접으로 위해를 줄 우려가 있는 대기오염물질로서 환경부령으로 정하는 것으로 중금속과 그 화합물 및 유해화학물질 등 35종을 정하고 있다(대기환경보전법 개정, 2005. 12. 30).

이에 따라 대기오염물질 배출원을 분류하는 방법은 배출특성에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로 자연현상에 의한 배출원을 제외하고 인간활동에 의한 배출원을 공간 분포에 따라 점, 선, 면 배출원으로 구분하거나 이동성 유무에 따라 고정, 이동배출원으로 구분한다. 점오염원은 대형 산업시설, 지역난방 공급시설, 화력발전소 등 단일 배출시설로서 대기오염 기여도가 큰 것이 해당한다. 면 오염원은 주거용 난방, 소형소각시설, 소규모 산업시설 등이 밀집하여 개별적 조사가 어려워 통상적으로 단위면적당 배출량을 관리하는 배출원이다. 선 오염원은 일반적으로 도로이동배출원인 자동차가 해당되며, 항공기, 선박, 철도, 건설산업기계, 농기계 등의 비도로이동배출원을 포함한다.

배출원 분류체계는 배출량 산정과정의 효율적인 수행을 위하여 유사한 속성을 가지는 배출원들을 하나의 단위(group)로 묶은 것이다. 국가 대기오염배출량 배출원 분류체계는 유럽 CORINAIR의 배출원 분류체계로 이용되는 SNAP97(Selected Nomenclature for Air Pollution 1997)을 참고하여 설정하고 있는데, SNAP97 배출원 분류체계는 대분류, 중분류, 소분류, 세분

류 4단계로 구성되어 있다. 국가 대기오염배출량에서는 중분류까지 SNAP97을 준용하였으며, 소분류 및 세분류는 국내실정을 고려하여 설정하고 있다.

현재 우리나라의 배출원 분류체계는 유럽연합에서 정하고 있는 배출목록체계 (EMEP/CORINAIR)와 미국 EPA의 분류체계를 참고하여 대기정책지원시스템의 표준분류체계를 정하고 있다. 유럽연합환경청(EEA)은 1986년에 8가지 주요 산업활동에서 배출되는 황산화물, 질산화물, 휘발성유기화합물 등 세 가지에 대한 국가별 배출목록을 작성하기 위해 CORINE 프로그램을 채택했다. 그 후 이러한 방법론에 대한 적용이 260종의 산업활동으로 확대되고 오염물질의 종류도 비메탄 유기화합물, 암모니아, 일산화탄소, 메탄, 미세먼지, 중금속, 잔류성 유기화합물까지 포함되었다.

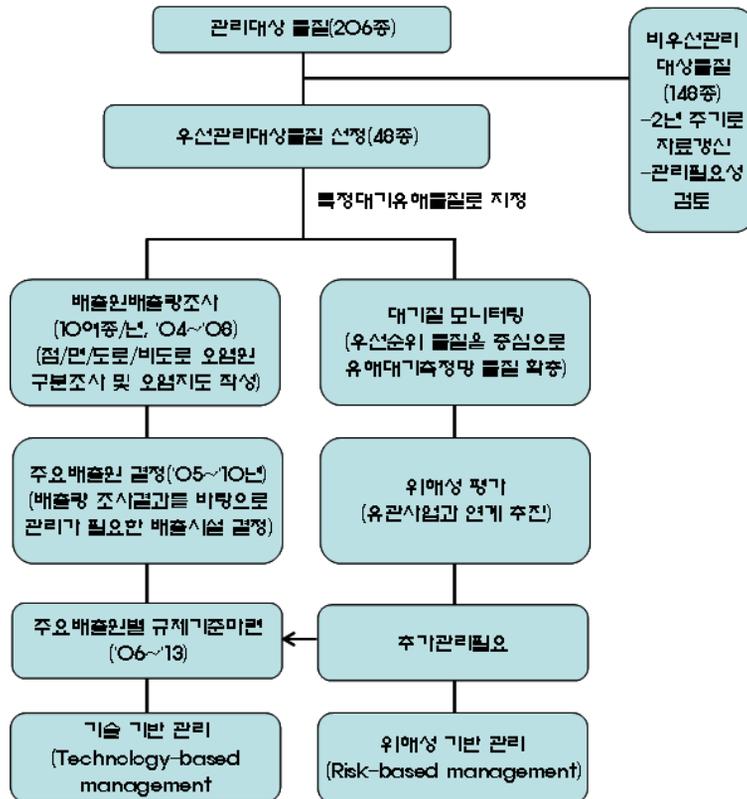
이렇게 배출목록이 확대된 목적은 지구차원의 환경문제 즉, 기후변화, 산성비, 오존층고갈을 고려한 배출규제 등을 다루는 기후변화협약, 몬트리올의정서, 오염물질의 장거리 이동의정서 등에 대한 대처까지 고려하기 때문이다. 이를 고려한 우리나라의 분류 방법은 다음과 같다.

〈표 2-1〉 대기오염물질 배출원 분류체계

분류번호	분류	주요 항목
01	에너지 산업연소	화력발전, 지역난방, 집단에너지 공급, 석유정제
02	비산업 연소	주거, 공공, 상업, 농축산 난방
03	제조업 연소	제조업 배출시설 연료연소
04	생산공정	연료연소를 제외한 제조업 생산공정
05	에너지 공급	석유류 공급과정의 배출
06	유기용제	유기용제 사용
07	도로이동	자동차 교통 및 이륜차
08	비도로이동	철도, 선박, 항공기, 건설산업기계, 농기계
09	폐기물관리	폐기물 소각, 매립
10	자연배출	자연현상, 식생에 의한 배출
11	농업	농경지 비료살포, 가축분뇨처리

〈표 2-2〉 도로이동오염원에 대한 배출원 분류체계

SCC 코드	대분류명	중분류명	소분류명	세분류명
07000000	도로이동오염원	-	-	-
07010000	도로이동오염원	승용차	-	-
07010100	도로이동오염원	승용차	경형	-
07010101	도로이동오염원	승용차	경형	엔진가열
07010102	도로이동오염원	승용차	경형	엔진미가열
07010103	도로이동오염원	승용차	경형	휘발유증발
07010104	도로이동오염원	승용차	경형	타이어마모
07010105	도로이동오염원	승용차	경형	도로비산먼지



〈그림 2-1〉 HAPs 통합관리 체계도

## 제2절 배출량 및 배출계수 산정방법

대기오염물질 배출량을 산정하는 방법은 직접조사법과 간접조사법으로 구분할 수 있다. 가장 기본적으로는 각 배출원별 개별조사를 통해 직접 산정하는 것이 바람직하나 시료채취의 정확성, 시간적 연속성, 대표성 확보가 전제되어야 한다. 오염물질 배출량이 많은 대형 산업시설은 TMS 설치를 통해 이러한 전제조건을 충족하여 조사가 가능하다.

그러나 현실적으로 개별 배출원 조사가 어려운 소형 배출원에 대해서는 활동도와 배출계수 등의 대표 값을 적용하여 총 배출량에 대한 할당 등의 방법으로 산정할 수 있다. 즉, 활동도와 배출계수를 곱하여 배출량을 구할 수 있다. 이를 위해 배출원 특성에 적합한 활동도 및 배출계수를 설정해야 하며, 활동도를 구성하는 항목은 인구, 교통량, 연료사용량, 산업단지면적, 건설사업장 면적, 조업가동시간 등이 사용될 수 있다. 배출계수는 활동도에 따른 오염물질의 단위 배출량이므로 실측이나 전과정평가에서 사용되는 물질수지균형식으로부터 구할 수 있다. 배출량 산정방법은 분류기준에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.

배출원을 분류하는 방법은 배출특성에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로 자연현상에 의한 배출원을 제외하고 인간활동에 의한 배출원을 공간 분포에 따라 점, 선, 면 배출원으로 구분하거나 이동성 유무에 따라 고정, 이동배출원으로 구분하기도 한다.

### 1. 발생지점에 따른 적용

배출점 중심 평가방법(Source-oriented Approach)은 오염물질 배출지점에서의 평가 방법으로 대부분의 배출원에서 이용되는 방법이다. 현재 국가 대기오염배출량 평가를 위해서도 적용되고 있으며, 배출량의 계산식으로는 직접측정법, 배출계수법, 물질수지법 등이 적용되고 있다.

이에 비해 수용점 중심 평가방법(Receptor-oriented Approach, Load-oriented Approach)은 오염물질이 유입되는 지점에서의 배출량 평가방법으로 수용체의 유입농도 및 용량을 이용하여 평가한다. 이는 환경 중에서 반응성이 적고, 수용 환경매체의 용량을 쉽게 측정할 수 있는 경우에 적용할 수 있다. 산성침적물의 호수 유입량 등과 같이 배출원을 분리할 수 없는 경우처럼 제한적으로 적용할 수 있다.

## 2. 접근방법에 따른 적용

상향식 접근방법(BUA; Bottom Up Approach)은 배출시설 각각에 대하여 배출량을 평가하고 이를 종합하여 국가배출량을 추정하는 방법으로 발전소, 대형공장, 대형 빌딩 등에 적용되는 방법이다. 이에 비해 하향식 접근방법(TDA; Top Down Approach)은 먼저 부문별 총배출량을 산출하고 이를 적절하게 배분하여 배출목록을 작성하는 방법으로, 전수조사가 불가능한 가정난방, 소규모 상업 시설, 자동차 등 분산된 배출원에 적용된다.

## 3. 계산방법에 따른 적용

### 가. 직접측정법

굴뚝에서 측정된 오염물질 농도 및 배가스 유량을 이용하여 배출량을 평가하는 방법으로 이론적으로 가장 정확하게 배출량을 평가할 수 있다. 그러나 실제 굴뚝으로 배출되는 현황을 연속 측정하는 것은 막대한 시간과 비용이 필요하기 때문에 대부분의 경우 적용이 쉽지 않다. 우리나라의 경우 아직 이 방법을 적용하고 있지 않으나, 업종별·시설별 배출특성 원단위 조사가 현재 진행되고 있다. 이와 함께 3종 이상의 주요 배출원에 대해 굴뚝 연속측정 장비가 지속적으로 확충되고 있어서 앞으로는 대형 배출시설 중심으로 적용 가능하다고 판단된다.

### 나. 물질수지법(Mass Balance Approach)

물질의 유입량과 유출량 차이를 이용하여 배출량을 평가하는 방법으로 화학제품 생산공정에서 누출에 의한 배출량 평가에 주로 이용되며, 우리나라의 경우에는 유해화학물질배출량(TRI; Toxic Release Inventory) 평가에서 일부 적용하고 있다. 배출량 산정에서는 황산화물에 대하여 연료 중 황함량에 기초한 물질수지법을 적용하고 있어 배출량 산정결과를 검증하는데 활용하고 있다.

#### 다. 배출계수법(Emission Factor Analysis)

직접측정법 또는 물질수지법을 이용하기 어려운 배출시설에 대하여 적용하는 방법으로 연소과정, 생산과정 부산물로 배출되는 오염물질 평가에 적용된다. 이 때 배출계수는 단위 활동도(연료소비량, 제품생산량, 소각량 등)에 대한 평균배출량을 의미한다. 또한 배출계수는 시설에 대한 표본조사를 통하여 개발되는데, 실측조건에 따라서 변이가 크기 때문에 대표성 있는 평균 배출계수를 개발하는 것이 중요하다.

#### 라. 공학적 계산법

화학반응식, 물리화학적 성질(증기압, 용해도, 확산계수), 이상기체상태방정식 등과 같은 물리화학 법칙이나 이론을 적용하는 방법으로 공정설계자료(온도, 압력, 용량, 유속, 반응시간, 체류시간 등) 및 생산공정 성능지표(수율, 효율, 생산율 등) 또는 방지설비 성능지표(방지효율) 등을 적용하는 방법이다. 연소공학에서 이론공기량을 계산하여 배가스량을 산정하는 것도 화학반응식을 이용한 공학적 계산법의 일례라 할 수 있다.

국가 대기오염배출량에서는 배출원 중심 평가방법에 따라서 배출계수법을 적용하여 평가하며, 배출원의 특성에 따라서 TDA와 BUA를 혼용하고 있다. 대체로 규모가 큰 1~3종 배출업소, 공공발전시설, 지역난방시설, 석유정제시설, 소각시설, 매립시설 등에 대해서는 BUA를 적용하는 반면, 규모가 작은 가정난방시설, 도로이동오염원, 비도로이동오염원, 자연배출원 등에 대해서는 TDA를 적용하고 있다.

국가 대기오염 배출량에서는 비산먼지와 자연식생으로부터 배출되는 VOC배출량은 아직 연구진행 단계로서 불확실성이 높아 오염물질별 배출총량에는 포함시키지 않고 있다. 이들에 대해서는 선진국의 관련자료와 보완연구를 통해 배출량 산정방법에 대한 개선이 필요하다고 본다.

#### 4. 배출원별 배출량 산정식

##### 가. 고정오염원

점오염원은 비교적 규모가 큰 배출시설로 주로 연료연소 부문(에너지산업연소, 비산업연소, 제조업연소), 생산공정, 에너지 수송 및 저장 등의 분야가 해당된다. 이에 비해 면오염원은 규모가 작은 개별배출원의 밀집으로 개별적으로 산정하기 어려워 해당지역 전체에 대해 합리적으로 산정하며, 주로 해당분야는 유기용제 사용, 폐기물관리, 농업분야이다.

##### - 산정식

$$\text{배출량}(M/T) = \text{배출계수}(M/\text{원단위}) \times \text{활동도}(\text{원단위}/T) \times [1 - \text{방지효율}]$$

M : 중량(일반적으로 kg 이용)

T : 시간(일반적으로 연간 이용)

##### 나. 도로이동오염원

도로에서 주행하는 자동차에 의한 배출량 산정은 엔진가열배출, 엔진미가열배출, 증발배출, 도로비산먼지 및 타이어마모 배출 등으로 구분되며 각각에 대하여 별도의 배출량 평가방법을 적용할 수 있다. 도로별 교통량은 모든 도로에 대해 측정하기 어려우므로 차종별 등록대수와 평균주행거리를 이용하여 차량총주행거리를 선정한 다음 이를 교통량 실측도로의 차량주행거리와 교통량 비실측 도로로 나누어 공간배분을 한다. 이 결과치를 배출계수에 적용하여 도로별 배출량을 산정한다.

##### - 엔진가열 배출 산정식

$$\text{배출량}(kg/year) = \sum[\text{배출계수}(kg/km; \text{차종, 연료, 속도}) \times \text{주행거리}(km/year; \text{차종, 도로}) \times \text{차량대수}(\text{차종})]$$

차종별 배출계수는 속도에 대한 함수식으로 표현되며, 자세한 함수식은 별도의 배출계수에 수록한다. 주행거리(VKT; Vehicle Kilometer Traveled)는 차종별로 일정기간 동안의 운행거리를 말하며, 차종별 일일평균 주행거리에 차량등록대수를 곱하여 구할 수 있다.

- 엔진미가열 배출 산정식

엔진미가열 상태는 자동차 냉각수 온도가 70°C 이하인 조건에서 추가적으로 배출되는 오염 물질을 유발한다. 일반적으로 도심주행, 교외주행, 고속주행 등 3가지 주행모드에서 발생하나 주로 도심 주행에서 발생한다. 이러한 산정 방법은 ETC/AEM(COPERT II Methodology and Emission Factor, 1997)와 CORINAIR(Emission Inventory Guidebook, 1999) 프로그램에 의해 다음 식으로 적용한다. 주행거리 분율  $\beta$  및 상대배출비율( $E_{cold}/E_{hot}$ ) 산정은 별도로 제공하는 배출계수에 제시되어 있다.

$$E_{c,i,j} = \beta_j \cdot m_j \cdot E_{hot} \cdot (E_{cold}/E_{hot} - 1)$$

$E_{c,i,j}$  : 엔진미가열 배출량

$\beta_j$  : 미가열 엔진 또는 촉매 미가동 온도 이하의 주행거리 분율

$m_j$  : 총 주행거리

$E_{cold}/E_{hot}$  : 미가열/가열 상대적 배출량 비율

- 증발배출

증발배출은 휘발유 증발에 의한 배출량으로서 낮 동안의 광량에 의한 증발손실(diurnal loss), 온열상태의 적심에 의한 손실(hot and warm soak), 주행 중의 손실(running loss) 등으로 구분된다. 증발배출량을 산정하기 위해서 1회 주행거리, 등록대수, 주행거리, 연료특성 등에 대한 자료가 필요하다. 그리고 증발배출량에 대해서 국내배출계수가 정립되어 있지 않으므로 유럽연합에서 적용하고 있는 배출계수를 적용한다. 유럽의 증발배출량 산출식은 다음과 같다. (ETC/AEM, COPERT II Methodology and Emission Factor, 1997, CORINAIR, Emission Inventory Guidebook, 1999)

$$E_{eva,voc,j} = 365 \times a_j \times (ed + Sc + Sfi) + R$$

$E_{eva,voc,j}$  : 차종별(j) 증발손실에 의한 VOC 배출량(g/year)

$a_j$  : 차종 j의 휘발유 사용 차량 등록대수(대)

$ed$  : 금속탱크를 가지고 있는 휘발유 차량의 일중 VOC 배출량(g/day-대)

$Sc$  : 기화기 휘발유 차량의 일중 온열상태 적심에 의한 손실 배출량(g/day-대)

$Sfi$  : 연료주입 차량의 일중 온열상태 적심에 의한 손실 배출량(g/day-대)

$R$  : 휘발유 차량의 주행 중의 손실 일중 배출량(g/day-대)

#### - 황산화물 배출량

자동차 교통에 의해 소비되는 경유 및 휘발유에 함유된 황에 의한 황산화물 배출량 산정으로 활동도는 연료소비량이며, 속도에 따른 연비식에 따라 추정한다. 우리나라는 별도의 적용 연비식이 없어 유럽연합의 연비식을 이용하여 추정한다.

$$\text{배출량(kg/년)} = \text{연료소비량(L/년)} \times \text{연료비중} \times \text{황함량}/100 \times 2$$

위 식에서 적용하는 연료별 비중은 휘발유 0.730, 경유 0.825, LPG 0.508이며, 황함량은 연도별로 달라질 수 있으므로 석유품질검사소에 입수한 자료를 활용하여 계산한다. 계수 2는 황함량을 황산화물(아황산가스)로 변환하기 위한 수치이다.

#### 다. 비도로이동오염원

##### - 철도(SCC 0802)

철도운행에 의한 오염물질 배출은 기관차와 동차가 해당하며 전기기관차와 전동차는 배출량 산정에서 제외한다. 활동도와 철도운행 관련자료는 한국철도공사에서 발행하는 철도통계연보에서 확보한다. 기관차종별로 연료소비량 및 운행거리를 집계하여 노선별 구간별 열차종별 운행횟수 자료를 작성하고 있다. 배출량 산정을 위한 활동도는 연료소비량 자료를 사용하는데 열차종별 노선별 월별 연료소비량을 이용하여 오염물질 배출량을 산정한다.

$$\text{총배출량(kg/년)} = \sum \text{노선별 월별 배출량}$$

$$\text{노선별 월별 배출량(kg/월)} = \sum \text{노선별 월별 연료소비량} \times \text{배출계수}$$

〈표 2-3〉 열차종별 배출계수

(단위: kg/kL)

구분	CO	NOx	TSP	THC	NH <sub>3</sub>	SOx
디젤기관차	28.38	64.38	4.10	10.66	0.11	1.64
장거리 디젤동차	15.07	37.75	2.68	6.20	0.11	1.08
단거리 디젤동차	5.87	15.69	1.14	1.22	0.11	0.43

- 선박(SCC 0803)

내륙수송 선박은 연료사용량으로, 해상수송 선박은 톤급별 입출항 자료와 어선 연료 사용량으로 산정한다. 톤급별 연료사용 연비는 에너지경제연구원에서 매3년 단위로 센서스 조사를 실시하고 있다. 대기배출에 직접적으로 영향을 주는 것은 원해 운항보다 항만에서 정박시와 접안시의 배출이 주 요인이 된다. 배출량은 연료소비량을 활동도로 하여 산정하므로 정박과 접안의 연료소비량 산정이 중요하다. 부피환산을 위한 B-C유의 비중은 0.96을 적용한다.

$$\text{선박운항 배출량} = (\text{정박시 연료소비량} + \text{접안시 연료소비량}) \times \text{배출계수}$$

- 항공기(SCC 0804)

항공기에 의한 오염물질 배출은 이착륙 시, 항공기의 운항 시, 이착륙 관련 지상부대장비 운항 등 세 부분으로 나누어 평가한다. 이착륙 시 미국 연방항공청(USFAA)에서 개발한 항공기 배출확산모형인 EDMS에서 제시하는 기종별 엔진별 배출계수를 적용한다. 항공기는 순항 모드에서 배출은 지상에 미치는 영향이 적어 제외하고 지상운행 부대장비는 기종별로 표준화되어 있으므로 EDMS에서 제시하는 기종별 기본 운항장비 및 배출계수를 적용하여 산정한다. 항공기 운항모드는 근접(approach), 상승(climb out), 이륙(takeoff), 활주로 이동주행(taxi/idle)으로 구분한다. 상승 및 이륙 시는 질산화물, 근접 및 활주로 이동주행 시는 일산화탄소의

배출농도가 높다. 항공기 배출량 산정식은 다음과 같으며, 식에서 0.5는 이륙과 착륙으로 분리된 통계를 하나의 이착륙 활동도(LTO)로 보정하기 위한 계수이다.

$$\text{배출량} = \text{기종별 배출계수} \times \text{기종별 이착륙횟수} \times 0.5$$

$$\text{기종별 배출계수} =$$

$$\sum [\text{기종별 운항모드별 소요시간} \times \text{배출계수} \times \text{기종별 엔진수}]$$

- 농기계(SCC 0805)

농업활동에 동원되는 기계류에는 경운기, 콤파인, 분무기, 양수기, 탈곡기, 파종기, 트랙터 등이 주요 기계이다. 농림부에서 발간하는 농기계연보의 시군구별 등록대수를 이용하며, 연간 가동시간은 연간작업일수, 일평균작업시간 등을 조사하여 평가한다. 이러한 기초자료는 농업기계화연구소에서 매 5년마다 조사하는 농기계연간작업시간 자료를 이용한다. 주요 농기계의 연간 작업일수는 경운기 50, 트랙터 40, 이앙기 7, 바인더 4, 콤파인 10일이다. 산정식 적용시 평균 출력비율은 실제 작업시 엔진운전출력을 반영한 것으로 국립환경과학원의 제시수치 0.48을 적용한다. CO, VOC, NOx, SOx 및 TSP(또는 PM<sub>10</sub>) 배출량은 연간가동시간 및 정격출력을 이용한다.

$$\text{배출량 (kg/년)} = \text{보유대수(대/년)} \times \text{평균정격출력(kw)} \times \text{평균출력비율(0.48)} \times \text{가동시간 (hr/년)} \times \text{배출계수(kg/kwh-대)}$$

황산화물의 경우에는 연료소비계수와 황함량을 이용하여 배출계수를 산정하되 EU CORINAIR 연비식과 황함량을 고려하여 산정한다. 여기서 연료계수는 평균출력별 연료소비계수 및 환산단위를 고려하여 산출한 값으로, 1/1000은 g단위를 kg으로 환산하기 위한 계수, 2는 황함량을 황산화물(SO<sub>2</sub>)로 전환하기 위한 화학당량 전환계수, 1/100은 % 황함량을 비율로 전환하기 위한 계수이다.

· 황산화물 배출계수 산정식

$$\text{배출계수(kg/kwh-대)} = \text{연료계수} \times \text{황함량(\%)}$$

$$\text{연료계수} = \text{연료소비계수(g/kwh-대)} \times 1/1000 \times 2 \times 1/100$$

- 건설장비(SCC 0806)

건설장비에 대한 중분류는 EU CORINAIR의 체계를 따랐으나 소분류의 경우 자료구축현황 및 기종별 배출계수 확보가능성을 고려하여 분류한다. 건설장비 등록대수는 건설교통통계연보와 충청남도 월별 행정 통계수치를 적용한다. 건설장비 가동시간은 대한건설기계협회와 한국건설산업연구소에서 제시한 월별가동률과 건축공사 표준품셈의 가동시간 기준을 적용하여 산정한다. 황산화물 배출량 산정 활동도는 연료소비량으로, 나머지 항목은 작업량(kwh)에 기초하여 산정한다.

$$\text{배출량 (kg/년)} = \text{보유대수(대/년)} \times \text{평균정격출력(kw)} \times \text{평균출력비율(0.48)} \times \text{가동시간(hr/년)} \times \text{배출계수(kg/kwh-대)}$$

건설장비의 연료사용 특성 및 연료소비와 평균출력을 고려한 각 항목별 배출계수는 다음과 같다.

〈표 2-4〉 건설장비 배출계수

(단위 : g/kwh-대)

구분	CO	NOx	TSP	THC	NH <sub>3</sub>	SOx
불도저	2.52	10.24	0.35	0.94	0.03	5.20
로우더	1.45	8.40	0.18	8.40	0.03	5.20
지게차	3.00	9.94	0.45	1.35	0.03	5.30
굴삭기	2.52	10.24	0.35	0.94	0.03	5.20
기중기	5.07	5.45	0.40	2.05	0.03	5.08

### 제3절 온실가스 배출량 산정

#### 1. 지구평형과 온난화

인간을 비롯한 생물체는 지구상에서 지역적인 변화나 지구 전체에 걸친 변화를 일으킬 수 있다. 예를 들어, 대기 중의 산소는 녹색식물에 의해 다음과 같은 과정을 거쳐 생성된다.



지구상의 모든 유기물과 화석연료는 생물체에 의해 생성된 것이지만, 인류는 지구의 평균온도를 높일 수 있는 물질들을 대기중으로 배출하여 지구온난화(온실효과)를 유발하고 있다. 이 때 지구 밖으로 방출되는 복사(지구권 밖의 온도는 절대온도 0 K, 흑체복사로 가정) 에너지는 지구의 표면적을 고려하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{방출되는 전체 열} = \pi D^2 \sigma T^4 = \pi (12.75 \times 10^6 \text{ m})^2 \cdot 5.672 \times 10^{-11} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \text{K}^4} T^4$$

여기서,  $\sigma$  : Stefan - Boltzmann 상수 =  $5.672 \times 10^{-11} \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

이 두 식의 결과를 같다고 놓고  $T$ 에 대한 해를 구하면, 그 결과는  $278\text{K} = 5^\circ\text{C}$ 이다.

이 결과는 관측되는 지구 표면온도인  $15^\circ\text{C}$ 보다 낮다. 따라서 대기권이 있음으로 해서 지구의 평균온도가 약  $10^\circ\text{C}$  정도 상승한다는 것을 알 수 있다. 그러나 지구가 입사하는 모든 태양 에너지를 흡수하지 못한다는 점을 감안하면, 대기권의 역할은 매우 크다는 것을 알 수 있다. 지구는 구름, 빙하, 바다 등의 반사로 인해 입사하는 태양광의 약 30%를 반사한다(지구의 albedo 0.3).

지구의 평균 표면온도가  $15^\circ\text{C}$ 가 되기 위해서는 지구가 방출하는 에너지가 비율이  $0.606/0.7=0.87$  즉, 입사하는 태양광의 87%가 지표에 도달해야 한다. 이 비율이 변화되면, 지구의 표면온도가 변하게 된다. 인간이 이 비율을 바꿀 수 있는 가능성을 알아보는 것이 지구 온난화의 관점에서 볼 때 중요하다.

## 2. 온실가스 특성

온실가스는 온실효과를 초래하는 기체로 지구상의 기후와 생태계에 적합한 환경을 유지해주는 역할을 한다. 그러나 물질수지 불균형이 진행되어 축적되면 지구온난화현상이 발생한다.

1997년에 채택된 교토의정서에 의해 배출량을 줄이도록 규정한 온실가스는 화합물의 구조적 차이로 열을 축적하는 능력이 다르기 때문에 온실효과 잠재력도 다르다. 지구온난화에 기여하는 정도를 이산화탄소를 기준으로 상대지수로 나타낸 것이 지구온난화지수(GWP; Global Warming Potential)이다. 이산화탄소의 발생은 화석연료가 연소될 때 연료에 포함된 탄소성분이 산소와 결합하여 발생한다. 자연계의 탄소순환은 생물지구화학적 과정(biogeochemical cyclic process)에서 대기의 이산화탄소를 제거하는 자연적인 흡수원(sinks)에 의해 균형을 유지한다. 그러나 연간 인위적인 배출량이 자연배출량의 3%를 초과해도 흡수원의 균형효과가 파괴된다. 이처럼 연간 배출량이 상당히 커지면 흡수원의 균형은 깨지고 온실가스가 서서히 축적되어 온실효과가 초래된다.

〈표 2-5〉 온실가스의 특성

구분	이산화탄소	메탄	아산화질소	염화불화탄소 (HFC, PFC, SF <sub>6</sub> )
대기중 체류시간	50~200년	20년	120년	65~130년
배출원	화석연료 연소, 산림벌채	농업, 광산업, 바이오매스 연소	산업공정, 비료사용	냉매, 세척제, 반도체 세정
지구온난화지수 (GWP)	1	21	310	1,300~23,900
온난화기여도(%)	55	15	6	24
국내총배출량 비율(%)	86.3	7.3	2.3	4.0
1990년 농도 수준 유지 저감조건(%)	60~80	15~20	70~80	-

자료 : 대한상공회의소, 기후변화협약 제대로 보기, 2003

### 3. 배출량 산정방법

대기환경보전법 제2조에서 "기후·생태계변화 유발물질"이라 함은 기후온난화 등으로 생태계의 변화를 가져올 수 있는 기체상물질로서 온실가스 및 환경부령이 정하는 것을 말하며, "온실가스"라 함은 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기 중의 가스상태의 물질로서 이산화탄소·메탄·아산화질소·수소불화탄소·과불화탄소·육불화황을 말한다고 규정하고 있다(대기환경보전법 개정, 2005. 12. 30).

교토의정서가 발효되면서 그로 인한 산업, 경제, 환경영향과 대응대책에 대한 관심이 증폭되고 있다. 이에 따라 온실가스 배출량 통계구축과 배출계수 개발은 앞으로 각종 부문별·업종별 대책을 위한 기초자료로서 중요한 의미가 있다. 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)은 각국의 신뢰성 있는 온실가스 배출통계 작성을 위해 가능한 국가고유의 배출계수 및 실측치를 사용하도록 권장하고 있다. 그동안 우리나라는 IPCC 배출계수를 이용하여 연료투입량을 통하여 배출량을 추정하는 하향식(top down) 산정방식으로 국가 온실가스 배출량을 산정해 왔다. 그러나 IPCC1996 가이드라인에는 이러한 방법에 대한 규정이 없으며, 온실가스 배출량을 실측으로 추정하지 않고 있다. 따라서 이러한 규정의 모호함 때문에 배출량 산정방법론과 관련하여 배출원의 범위를 탄소흡수원/저장원으로 확대, 대상온실가스의 범위를 확대한 WRI/WBCSD 가이드라인2004를 준용한 IPCC2006 가이드라인 발간을 통해 구체화 할 수 있을 것으로 예상된다.

산업연구원에서 사용연료의 양으로부터 배출계수를 활용하여 제조업 업종별 배출원단위를 추계한 적이 있으나, 이는 배출시설 등에 의해 처리되어지는 부분이 반영되지 않아 실제 배출량과는 차이가 나고 있다(산업연구원, 『환경친화적 산업발전』, 1998). 이처럼 우리나라는 IPCC가 제시한 기본 배출계수(default value)를 적용하여 투입연료량에 의한 추정치로서 부문별 담당부처가 온실가스 배출량 조사를 실시하였다. 즉, 에너지부문과 산업공정부문은 산자부, 환경부문은 환경부, 농축산부문은 농진청, 산림부문은 산림청이 담당하였다. 산업자원부가 국가 온실가스 배출통계구축 총괄기관으로 지정(2003)되어, 각 부문별 담당기관이 산정한 배출량을 취합·발표하고 있다.

그러나 이 방법은 개략적인 추정치를 중심으로 하고 있으므로 감축 대책을 보다 더 체계적으로 추진하고 국제협상에도 착실하게 대비하기 위하여 실측치에 근거한 상향식(bottom-up)의 과학적·체계적인 온실가스 배출통계 및 배출목록(inventory)의 작성이 요구되고 있다. 환

경부 차원에서 추진하는 온실가스 배출통계 조사의 특징은 대기오염물질 측정 모니터링(TMS)과 배출량 조사사업(CAPSS)을 활용하는 방식으로, 부문별/업종별 특수성을 반영할 수 있는 배출원 인벤토리 구축 및 배출계수 통계 구축 사업이다. 이러한 방법은 방대한 DB구축과 많은 인력을 필요로 하지만 국가와 기업의 온실가스 배출량 저감목표 설정, 배출저감 잠재량 평가, 배출권거래제도의 시행 등에도 기초자료를 제공할 수 있을 것이다. 이 사업은 3년 동안 시멘트, 철강, 석유화학, 수송, 제지 등의 산업부문, 자동차 교통부문, 자연생태계 중의 온실가스 배출원 목록작성, 배출량산정 및 배출계수 개발 등을 목표로 하고 있다.

#### 4. 배출원 분류체계

제3차 기후변화당사국총회(COP3)에서 지구온난화에 영향을 주는 주요 온실가스로 이산화탄소 CO<sub>2</sub>, 메탄 CH<sub>4</sub>, 아산화질소 N<sub>2</sub>O, 수소불화탄소 HFC, 과불화탄소 PFC, 육불화황 SF<sub>6</sub> 등 6종을 지정하였다. 이 가운데 HFC, PFC, SF<sub>6</sub>은 자연계에 존재하지 않는 인공합성물질이다.

온실가스의 배출 및 흡수에 관한 분류체계는 IPCC의 준거에 따라 5가지 영역인 에너지, 산업공정, 농업, 토지이용변화 및 임업흡수원, 폐기물 등으로 구분된다.

6종의 온실가스에 대해 배출량은 종류별 지구온난화지수(GWP)를 곱하여 산정하는데, 우리나라 전체의 이산화탄소 및 이산화탄소로 환산한 온실가스 배출량 데이터는 다음과 같다. 여기서 2004~2005년 자료는 2000년 이후의 연평균 증가율 2.7%를 적용하여 추계하였다.

〈표 2-6〉 온실가스별 배출량

(단위 : 백만 CO<sub>2</sub>톤)

항 목 \ 연 도	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
계	310.6	452.8	528.6	548.2	569.3	582.2	597.9	614.1
이산화탄소 CO <sub>2</sub>	258.3	401.0	464.9	482.9	501.9	510.7	524.5	538.7
메탄 CH <sub>4</sub>	43.2	28.5	26.4	26.4	26.3	25.8	26.5	27.2
아산화질소 N <sub>2</sub> O	8.0	11.9	14.9	14.8	14.8	18.1	18.6	19.1
수소불화탄소 HFC	1.0	5.1	8.3	8.4	8.6	7.7	7.9	8.1
과불화탄소 PFC	-	-	2.3	2.2	2.2	2.5	2.6	2.6
육불화황 SF <sub>6</sub>	-	6.3	11.7	13.5	15.6	17.4	17.9	18.4

자료 : 에너지경제연구원, 국가온실가스 배출통계추이, 2006

〈표 2-7〉 부문별 온실가스 배출량

(단위 : 백만 CO<sub>2</sub>톤)

항 목		연 도								
		1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
총배출량		310.6	452.8	528.6	548.2	569.3	582.2	597.9	614.1	
순배출량		286.8	431.5	491.4	513.6	535.9	548.9	563.7	578.9	
에너지 부문	합계	247.7	372.1	438.5	453.0	473.0	481.4	494.4	507.7	
	연료연소	소계	242.3	368.9	434.1	448.4	468.2	476.4	489.3	502.5
		에너지산업	38.0	83.2	125.9	138.0	146.8	151.2	155.3	159.5
		제조업, 건설업	82.0	124.2	141.8	142.3	148.4	150.8	154.9	159.1
		수송	42.4	77.2	87.1	89.6	94.9	97.9	100.5	103.3
		광업, 농림어업, 상업, 가정 및 공공	79.9	84.3	79.3	78.5	78.2	76.5	78.6	80.7
	탈루성	소계	5.4	3.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3
		석탄생산	4.8	1.6	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9
		석유 및 천연가스	0.6	1.6	3.2	3.5	3.9	4.1	4.2	4.3
	산업공정	소계	19.9	47.1	58.3	63.6	64.5	69.6	71.5	73.4
광물산업		17.8	30.9	27.9	28.9	30.5	31.1	31.9	32.8	
화학산업		1.0	4.6	7.9	8.2	7.5	10.7	11.0	11.3	
금속산업		0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	
기타산업		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
HFC, PFC, SF <sub>6</sub> 생산		1.0	2.6	3.2	0.6	2.0	1.4	1.4	1.5	
HFC, PFC, SF <sub>6</sub> 소비		0.0	8.8	19.1	25.9	24.4	26.2	26.9	27.6	
농업	소계	17.5	17.8	16.2	15.8	15.8	15.5	15.9	16.3	
	장내발효	2.6	3.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	
	분뇨분해	2.0	2.8	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	
	경작	8.6	7.3	7.2	7.2	7.2	7.0	7.2	7.4	
	토양	4.2	4.0	3.6	3.3	3.2	3.2	3.3	3.4	
토지이용 변화와 임업	소계	-23.7	-21.2	-37.2	-34.6	-33.4	-33.3	-34.2	-35.1	
	산림저장량	-26.2	-25.2	-41.4	-38.9	-37.7	-37.7	-38.7	-39.8	
	산림초지전용	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
	토지방치	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	토양배출흡수	2.3	3.7	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	
폐기물 처리	소계	25.5	15.7	15.6	15.9	16.0	15.6	16.0	16.5	
	매립	23.5	12.4	10.2	9.7	9.8	9.3	9.6	9.8	
	소각	0.8	2.1	4.2	5.0	4.9	5.0	5.1	5.3	
	생활하수처리	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	
	산업폐수처리	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	

자료 : 에너지경제연구원, 국가온실가스 배출통계추이, 2006

## 제3장 대기오염물질 배출량

### 제1절 배출시설의 특성구분

#### 1. 배출원별 종류 구분

대기배출시설의 종별 구분은 시설을 설치하고 관리하는데 기준이 되는 시설의 규모를 정하는 것으로 2003년 말까지는 고체연료 환산사용량으로 종을 구분하였으나 2004년부터 대기오염물질 발생량 기준으로 변경되었다. 즉, 대기오염물질 배출사업장은 1977년 환경보전법 제정 이래 B-C, 경유, 천연가스 등 각 연료사용량을 열량을 기준으로 고체연료인 무연탄량으로 환산하여 그 사용량에 따라 1~5종으로 구분하였다. 그러나 연료를 사용하지 않고 공정 중에 오염물질이 발생하는 시설에 대한 종별 구분과 발생량 산정이 곤란한 경우가 있었다. 예를 들면 혼합시설, 반응시설, 유기용제 사용·저장시설, 분쇄·탈사·선별시설 등 연료를 사용하지 않는 사업장의 경우 공정에 따른 특성 때문에 종 산정이 어렵기 때문에 대기오염물질 발생량 중심으로 변경하게 된 것이다.

종별 구분에 따라 배출시설의 입지제한, TMS설치 대상사업장, 기본부과금 대상사업장 지정, 환경관리인 선임, 자기측정 등 환경관리 여건이 달라진다. 오염물질발생량 산정방법은 대기오염 기여도가 높고 대부분의 공정에서 배출되는 대기오염물질 3종류(먼지, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)를 종 산정기준 오염물질로 정하고 있다.

산정 기준은 배출시설에서 발생하는 오염물질량은 방지시설의 종류·규모 및 유지관리 등에 따라 다르게 배출되므로 최종 배출량보다는 방지시설 유입 전 오염물질 발생량을 기준으로 산정하고, 당해 배출시설에서 시설용량 또는 최대 연료사용량 기준으로 발생 가능한 대기오염물질 3종류의 연간 총 발생량을 기준으로 한다.

대기환경보전법 시행규칙 제39조, 제40조에서 규정한 산정방법은 대기오염물질 연간 발생량은 배출시설별로 대기오염물질 발생량을 산정한 후 예비용 시설을 제외한 사업장내의 모든 배출시설에 대한 대기오염물질 발생량을 합하여 산정하도록 하고 있다. 대기오염 배출시설에 대해 방지시설 유입 이전 단계에서 오염물질 발생량을 산정하되, 발생량산정 시 배출계수를 이용하여 오염물질을 산정하며 배출계수는 연료별·시설별로 정한다. 배출계수는 대기환경보전법 시행규칙 제40조 별표9 및 「배출시설의 대기오염물질 배출계수 고시(국립환경과학원 고시 제2003-34호)」에서 규정하고 있으며, 배출계수가 없는 경우는 실측에 의한 방법, 외국의 배출계수 활용, 이론적인 방법 등으로 산정한다고 규정하고 있다.

〈표 3-1〉 종별 구분 변경 내용

구분	변경 전(연간 고체연료 환산사용량)	변경 후(연간오염물질 발생량)
1종	10,000톤 이상	80톤 이상
2종	2,000톤 이상 10,000톤 미만	20톤 이상 80톤 미만
3종	1,000톤 이상 2,000톤 미만	10톤 이상 20톤 미만
4종	200톤 이상 1,000톤 미만	2톤 이상 10톤 미만
5종	상기 1종 내지 4종 사업장에 해당되지 아니하는 사업장	1종 내지 4종사업장에 해당되지 아니하는 사업장

(주) 변경 전은 환경보전법 적용 기간인 2003년까지이며, 변경 후는 2004년부터 대기환경보전법 개정으로 적용됨.

## 2. 지역별 배출시설 구분

충청남도내 대기오염 배출시설은 2005년말 기준으로 전체 2,772 개소로 1~2종 203개소와 산업단지내 99개소는 도에서 관장하고 있으며, 3~5종 2,569개소는 각 시군에서 관리를 담당하고 있다. 각 시군별 전체 대기오염 배출시설은 다음 표와 같다.

〈표 3-2〉 지역별 대기배출시설 구분 현황

지역	합계	1종	2종	3종	4종	5종
천안시	642	23	29	36	34	520
공주시	169	2	9	11	33	114
보령시	136	5	3	5	39	84
아산시	449	14	14	30	156	235
서산시	131	14	7	6	32	72
논산시	212	2	6	11	56	137
계룡시	12	1	1	0	4	6
금산군	144	2	2	15	32	93
연기군	218	10	4	8	33	163
부여군	94	2	3	7	21	61
서천군	58	5	3	7	17	26
청양군	54	6	3	1	17	27
홍성군	82	1	2	6	22	51
예산군	122	3	1	8	38	72
태안군	63	2	0	4	14	43
당진군	186	11	13	8	38	116
합계	2,772	103	100	163	586	1,820

(주) 충청남도의 행정자료를 근거로 충청남도에서 관장하는 배출업소를 포함하여 각 시군별로 구분 재산정  
(2005년 12월말 기준)

### 3. 이동배출원 현황

선박과 항공기 등을 제외한 이동배출원의 배출량을 추계하기 위한 입력자료는 2006년 1월 기준으로 설정하였다. 충청남도내 건설기계 및 자동차 등에 대한 등록현황은 다음 <표 3-3>, <표 3-4>과 같고, 세부적인 지역별 현황자료는 부록에 수록하였다. 건설기계의 비중은 굴삭기, 지게차, 덤프트럭, 콘크리트믹서트럭, 기타 순으로 나타나고 있으며, 2000년 이후 연평균 5.7% 씩 증가하고 있다.

<표 3-3> 충청남도내 종류별 건설기계 등록현황

합계	불도우저	굴삭기	로우더	지게차	덤프트럭	콘크리트믹서트럭	기 타
20,957	318	7,272	1,060	6,411	2,956	1,521	1,419

자료 : 충청남도, 행정자료, 2006

<표 3-4> 지역별 자동차 등록현황

구 분	계	승용	버스	화물	특수
계	672,922	445,159	48,037	177,483	2,243
천안시	185,914	137,770	13,633	34,191	320
공주시	42,456	27,307	3,196	11,840	113
보령시	34,768	21,654	2,411	10,503	200
아산시	73,127	51,060	5,460	16,394	213
서산시	51,944	34,134	3,523	14,032	255
논산시	43,315	25,806	3,333	14,079	97
계룡시	12,389	10,302	606	1,473	8
금산군	19,803	11,448	1,796	6,490	69
연기군	28,837	18,911	1,971	7,882	73
부여군	25,031	13,538	1,960	9,474	59
서천군	19,922	12,290	1,036	6,521	75
청양군	10,713	5,790	727	4,115	81
홍성군	30,109	17,726	1,948	10,339	96
예산군	30,211	18,182	2,214	9,696	119
태안군	20,948	12,188	1,503	7,189	68
당진군	43,435	27,053	2,720	13,265	397

자료 : 충청남도, 행정자료, 2006

## 제2절 대기오염물질 발생량

대기오염물질 발생량을 산정하는 방법은 직접조사법과 간접조사법으로 구분할 수 있다. 가장 기본적으로는 각 배출원별 개별조사를 통해 직접 산정하는 것이 바람직하나 시료채취의 정확성, 시간적 연속성, 대표성 확보가 전제되어야 한다. 오염물질 배출량이 많은 대형 산업시설은 TMS 설치를 통해 이러한 전제조건을 충족하여 조사가 가능하다.

그러나 현실적으로 개별 배출원 조사가 어려운 소형 배출원에 대해서는 활동도와 배출계수 등의 대표값을 적용하여 총 발생량에 대한 할당 등의 방법으로 산정할 수 있다. 즉, 활동도와 배출계수, 일일가동시간, 연간 가동일수 등을 곱하여 발생량을 구할 수 있다. 이를 위해 배출원 특성에 적합한 활동도 및 배출계수를 설정해야 하며, 활동도를 구성하는 항목은 인구, 교통량, 연료사용량, 산업단지 면적, 건설사업장 면적, 조업가동 시간 등이 사용될 수 있다.

배출계수는 활동도에 따른 오염물질의 단위배출량이므로 실측이나 전과정평가에서 사용되는 물질수지균형 식으로부터 구할 수 있다. 발생량 산정방법은 배출계수를 적용한 오염물질발생량의 산출식(국립환경과학원 고시 2004-1, 연료를 사용하는 대기배출시설의 배출계수 별표 1)을 적용하여 구한다.

점오염원에 대하여 배출업체 종별 구분에 사용한 기준에 따라 각 지역별로 대기오염물질의 발생량을 구할 수 있다. 선오염원 등에 대해서는 발생량과 배출량이 같다고 전제하였다. 표에서 보령, 서천, 태안, 당진의 오염물질 발생이 많은 이유는 화력발전소에서 기인하고 있으며, 연간 연료 사용량은 유연탄, 무연탄, 등유, 벙커C유, LNG 등을 포함한 총량이다. 한편 산업단지내 종별 대기오염물질 발생량은 제1종이 약 98%를 차지하고 있으며, 연료사용량은 전체의 99%를 차지하고 있다.

〈표 3-5〉 지역별 점오염원 대기오염물질 발생현황

	대기오염물질 발생량(톤/년)				연료사용량 (톤/년)
	합계	먼지	황산화물	질산화물	
천안시	11,937	6,221	3,991	1,787	1,822
공주시	1,348	1,126	117	105	NA
보령시	961,958	724,664	154,415	82,879	8,683,639
아산시	11,308	8,340	1,213	1,750	11,101
서산시	55,712	15,134	21,467	19,112	13,562
논산시	1,116	833	176	107	NA
계룡시	326	312	4	11	NA
금산군	1,558	488	718	352	28,725
연기군	5,960	2,089	2,693	1,177	1,244
부여군	553	200	219	134	NA
서천군	324,450	278,996	30,504	14,951	731,000
청양군	993	322	432	239	NA
홍성군	568	322	54	131	NA
예산군	528	443	41	44	NA
태안군	1,229,836	947,630	182,259	99,947	8,985,000
당진군	913,297	673,294	125,034	116,116	6,347,586
합계	3,521,448	2,660,414	523,336	338,841	24,803,680

(주) NA : Not Available

〈표 3-6〉 충청남도 산업단지내 대기오염물질 발생량 특성

업종	업체수	발생량(톤/년)				연료사용량 (톤/년)
		계	먼지	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	
1	17	51,937.7	46,984.6	2,188.3	2,764.8	368,756.4
2	14	686.0	248.0	235.3	202.8	935.9
3	13	187.1	133.3	12.2	32.0	656.9
4	39	218.8	168.4	21.1	29.3	624.7
5	61	33.0	31.5	0.5	0.9	737.9
합계	144	53,062.6	47,565.8	2,457.3	3,029.8	371,711.8

### 제3절 대기오염물질 배출량

#### 1. 배출량 변화

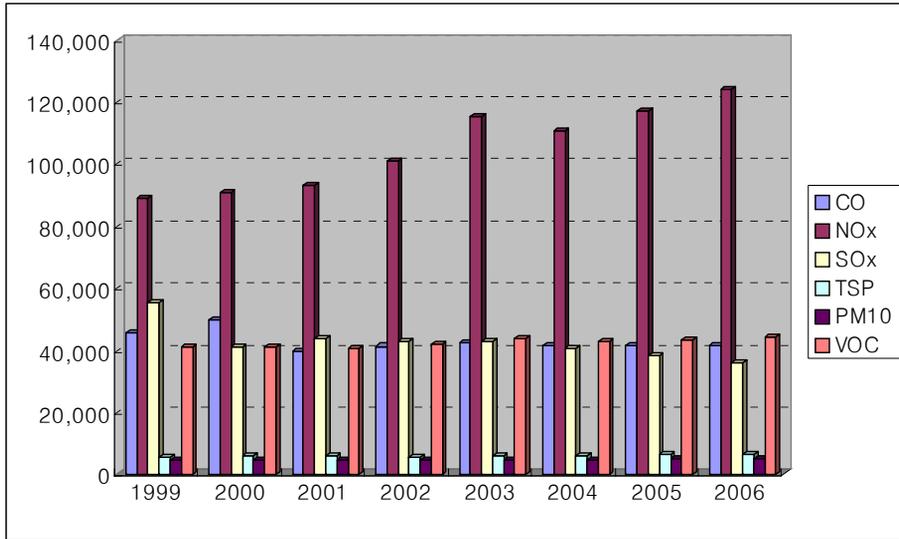
대기오염물질 배출량 산정을 위해 배출원은 점, 선 오염원으로 구분하고 배출원 표준분류체계에 따른 대기오염 배출원은 농업 및 자연배출원을 제외한 9가지 영역으로 구분하여 연도별 배출 총량을 산정한다. 2005~2006년은 추정치로 하여 오염물질별 배출량 합계를 구하였다. 대기오염물질 배출총량은 1999년 240,449톤에서 2006년에 256,394톤으로 연평균 0.95% 증가한 것으로 추정하였다. 물질별로 CO, SOx는 저황유 공급정책과 청정연료 사용 등의 연료전환, 연소방법개선을 통한 열효율 개선 등에 의해 배출량이 각각 연평균 1.3%, 5.1%씩 감소하는 경향을 보였다.

반면, 대형 발전시설 및 산업배출시설의 증가, 자동차 교통량 등이 주요 배출원인 NOx는 연평균 5.7% 씩 증가율이 높아지고 전체 대기오염 물질에서 차지하는 비중도 1999년 36.9%에서 2006년 48.3%로 크게 증가하고 있다. 총먼지 TSP는 연평균 2.1%, 미세먼지 PM<sub>10</sub>은 에너지 산업 연소와 도로이동오염원의 증가에 따라 연평균 1.4%의 꾸준한 증가추세를 보이고 있다. 주로 생선공정과 이동오염원에서 비롯되는 VOC 배출량은 연평균 1.2%로 증가하는 것으로 추정하였다.

〈표 3-7〉 충청남도의 연도별 대기오염물질 배출량

(단위 : 톤)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CO	45,512	49,614	39,406	41,197	42,320	41,616	41,443	41,431
NOx	88,732	90,879	92,982	100,685	115,168	110,342	117,072	123,882
SOx	55,424	40,808	43,644	42,884	42,792	40,417	38,070	35,723
TSP	5,523	5,730	5,929	5,691	6,062	6,034	6,177	6,323
PM <sub>10</sub>	4,439	4,553	4,593	4,475	4,761	4,704	4,793	4,886
VOC	40,819	40,939	40,358	41,674	43,590	42,719	43,426	44,149
합계	240,449	232,523	226,912	236,606	254,693	245,832	250,980	256,394



[그림 3-1] 충청남도의 대기오염물질 배출량 추세

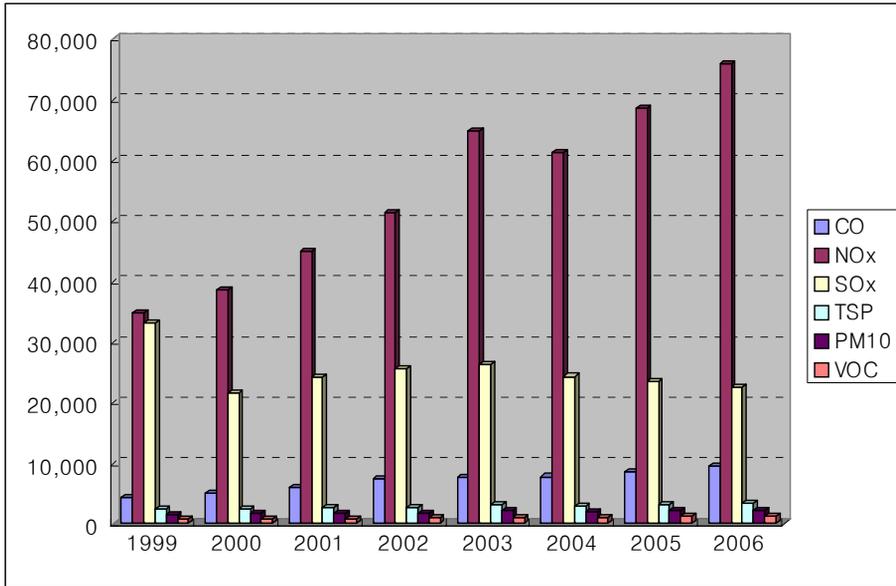
## 2. 부문별 배출량

에너지 산업연소 부문은 화력발전, 지역난방, 집단에너지 공급시설, 석유정제 등의 범주에 해당하는 부문으로 충청남도내 대기오염물질 배출의 대부분을 차지하고 있다. 특히 질산화물과 황산화물은 각각 전체 배출량의 61.2%와 62.7%를 차지하고 있다. 이러한 오염물질 배출의 주요 연료원으로 발전시설의 무연탄, 유연탄, 석유정제시설의 나프타, 집단에너지 공급시설의 벙커C유 등이 에너지원으로 사용되는 데에서 기인한다.

<표 3-8> 충청남도의 에너지 산업연소 부문 배출량

(단위 : 톤)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CO	4,415	5,014	5,877	7,315	7,556	7,752	8,610	9,469
NOx	34,890	38,541	44,886	51,329	64,714	61,359	68,603	75,846
SOx	33,056	21,590	24,162	25,694	26,316	24,288	23,350	22,413
TSP	2,332	2,539	2,698	2,628	3,118	2,995	3,161	3,327
PM <sub>10</sub>	1,562	1,702	1,809	1,769	2,098	2,016	2,130	2,244
VOC	688	751	862	1,055	1,085	1,108	1,218	1,327



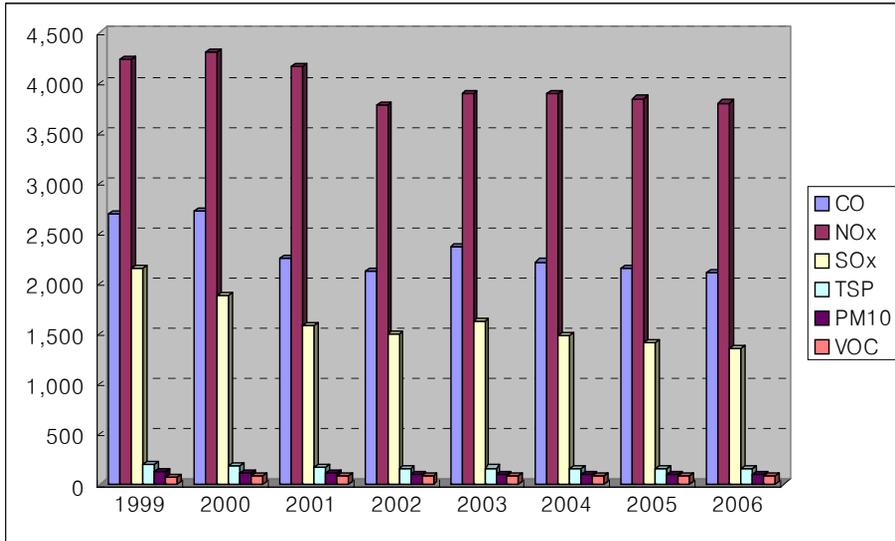
[그림 3-2] 충청남도의 에너지 산업연소 부문 배출량 추세

비산업 연소 부문은 주거, 공공 및 상업업무시설의 난방, 농축산 난방 등에 사용되는 에너지에서 비롯되는 오염물질의 배출특성을 갖는다. 전체 대기오염물질 배출량 가운데 비산업 연소 부문이 차지하는 비중은 낮으나 사용연료의 특성상 상대적으로 CO의 비중이 높은 편이다.

<표 3-9> 충청남도의 비산업연소 부문 배출량

(단위 : 톤)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CO	2,693	2,718	2,245	2,116	2,367	2,214	2,154	2,104
NOx	4,235	4,298	4,158	3,775	3,889	3,889	3,838	3,795
SOx	2,155	1,883	1,578	1,490	1,623	1,487	1,415	1,353
TSP	194	186	175	155	163	159	155	152
PM <sub>10</sub>	123	118	111	99	104	102	99	97
VOC	70	79	83	80	84	84	86	87



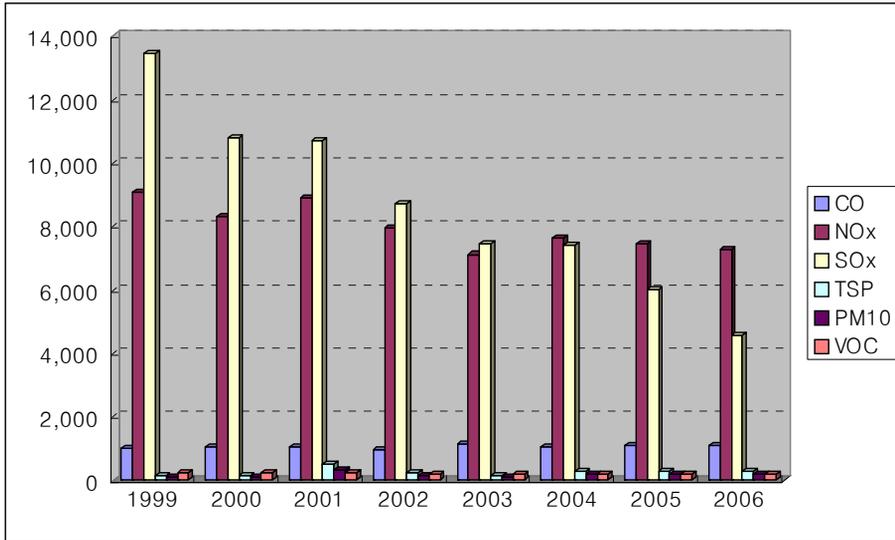
[그림 3-3] 충청남도의 비산업연소 부문 배출량 추세

제조업 연소부문 배출량은 연료연소에 의한 산업분야 대기오염물질 배출특성을 갖는데 가  
 격이 낮은 벙커C유 등을 사용하므로 상대적으로 질산화물과 황산화물의 비중이 크다. 연도별  
 변화추세로는 황산화물은 저유황경유, 저유황수지유류(LSWR) 등으로 대체되어 가고 있어 배  
 출량이 현저하게 감소하고 있으며, 질산화물도 안정감소 추세를 보이고 있다.

〈표 3-10〉 충청남도의 제조업 연소 부문 배출량

(단위 : 톤)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CO	1,019	1,027	1,060	948	1,126	1,063	1,077	1,090
NOx	9,090	8,295	8,884	7,932	7,113	7,615	7,434	7,281
SOx	13,468	10,801	10,681	8,721	7,457	7,405	5,995	4,585
TSP	156	153	520	214	127	257	264	270
PM <sub>10</sub>	98	96	342	139	80	167	172	176
VOC	233	221	221	202	209	206	203	200



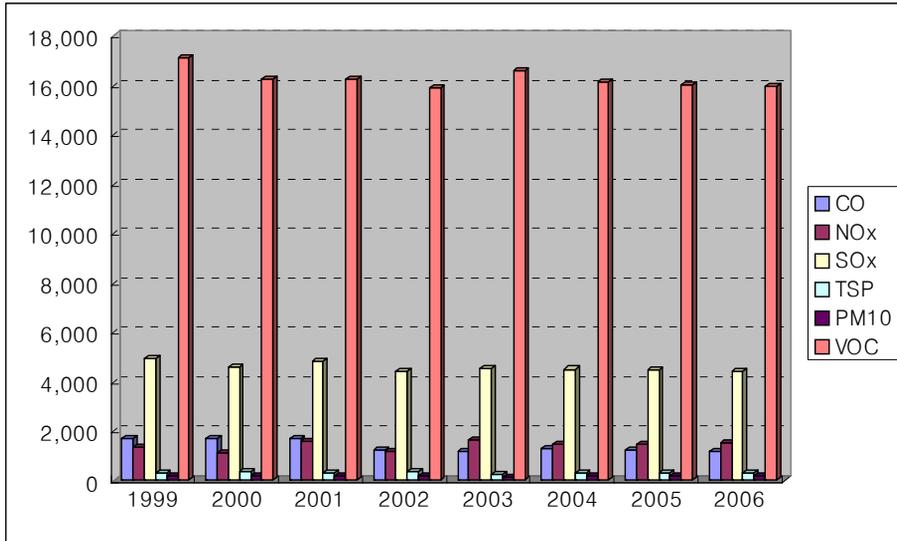
[그림 3-4] 충청남도의 제조업연소 부문 배출량 추세

생산공정 부문의 배출량은 제조업과 산업분야의 에너지 연소를 제외한 생산, 가공공정에서 배출되는 물질량으로 휘발성유기화학물질이 가장 큰 비중을 차지한다.

<표 3-11> 충청남도의 생산공정 부문 배출량

(단위 : 톤)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CO	1,695	1,692	1,679	1,202	1,183	1,270	1,208	1,156
NOx	1,330	1,135	1,553	1,176	1,633	1,452	1,476	1,497
SOx	4,915	4,611	4,820	4,400	4,561	4,506	4,463	4,426
TSP	326	366	321	338	248	297	290	285
PM <sub>10</sub>	183	194	175	181	148	165	162	159
VOC	17,136	16,253	16,232	15,895	16,599	16,110	16,022	15,948



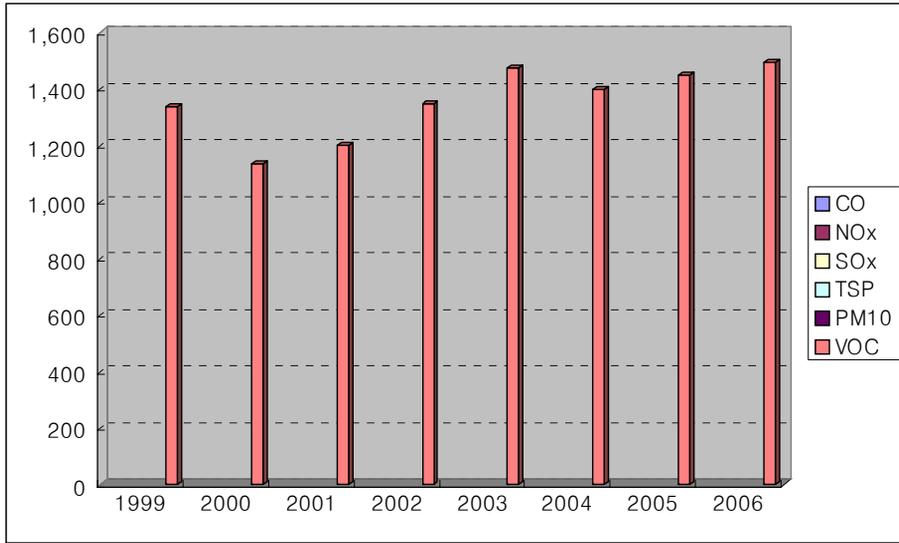
[그림 3-5] 충청남도의 생산공정 부문 배출량 추세

에너지 수송 저장 부문 배출량은 에너지 공급을 위한 수송, 저장, 배분 시에 발생하는 유류에서 기인하는 물질로 주로 총석유계탄화수소(TPH)와 BTEX 등의 휘발성 유기화학물질 성분을 포함한다.

<표 3-12> 충청남도의 에너지 수송 저장 부문 배출량

(단위 : 톤)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
VOC	1,335	1,134	1,202	1,349	1,474	1,397	1,447	1,496



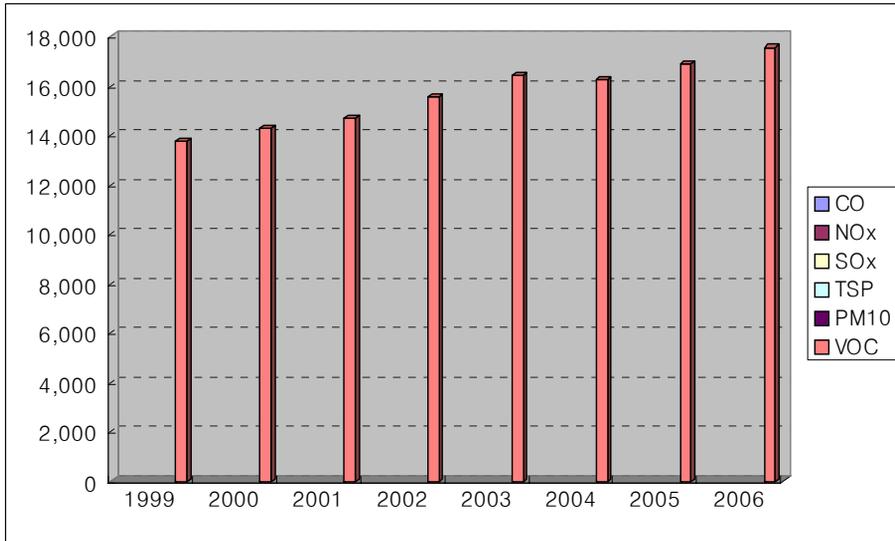
[그림 3-6] 충청남도의 에너지 수송 저장 부문 배출량 추세

유기용제 사용 부문 배출량은 유기용제에 의한 휘발성물질이다.

<표 3-13> 충청남도의 유기용제 사용 부문 배출량

(단위 : 톤)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
VOC	13,750	14,248	14,657	15,526	16,389	16,225	16,881	17,536



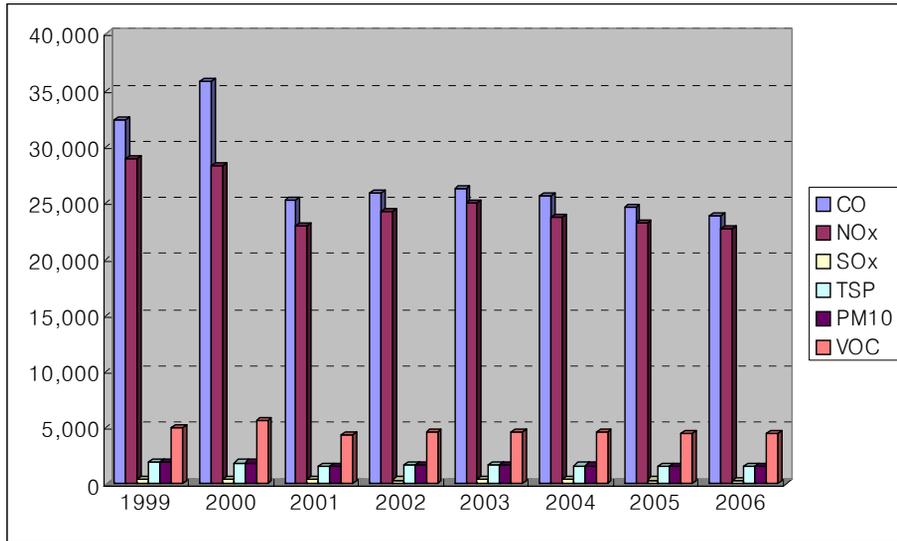
[그림 3-7] 충청남도의 유기용제 부문 배출량 추세

도로이동 부문 배출량은 선형 이동오염원인 자동차에 의한 오염물질로 각 부문별 전체 배출량 가운데 일산화탄소 57.4%, 질산화물 18.3%, 미세먼지 31.6%의 비중을 차지한다.

<표 3-14> 충청남도의 도로이동 부문 배출량

(단위 : 톤)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CO	32,321	35,749	25,202	25,847	26,240	25,580	24,604	23,778
NOx	28,867	28,220	22,880	24,234	24,948	23,725	23,136	22,639
SOx	411	440	380	333	353	350	340	332
PM <sub>10</sub>	1,908	1,864	1,568	1,641	1,675	1,609	1,575	1,546
VOC	5,009	5,593	4,368	4,542	4,654	4,560	4,484	4,419



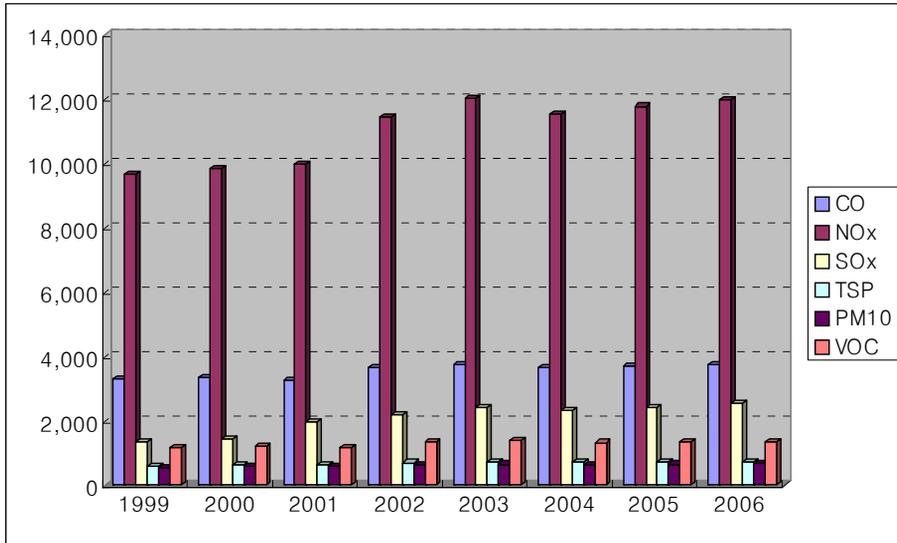
[그림 3-8] 충청남도의 도로이동 부문 배출량 추세

비도로이동 부문 배출량은 철도, 선박, 항공기, 건설산업기계, 농기계 등의 가동에 의해 발생하는 대기오염물질이 해당하는데, 다양한 산업활동과 물동량의 증가로 오염물질 전부문에서 대체로 증가하는 추세를 보이고 있다.

<표 3-15> 충청남도의 비도로이동 부문 배출량

(단위 : 톤)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CO	3,292	3,357	3,273	3,665	3,741	3,640	3,689	3,730
NOx	9,681	9,830	9,982	11,448	12,050	11,528	11,789	12,009
SOx	1,362	1,442	1,973	2,169	2,402	2,309	2,432	2,536
TSP	593	610	633	697	712	699	713	724
PM <sub>10</sub>	562	577	585	643	652	641	652	661
VOC	1,186	1,210	1,167	1,327	1,369	1,321	1,340	1,356



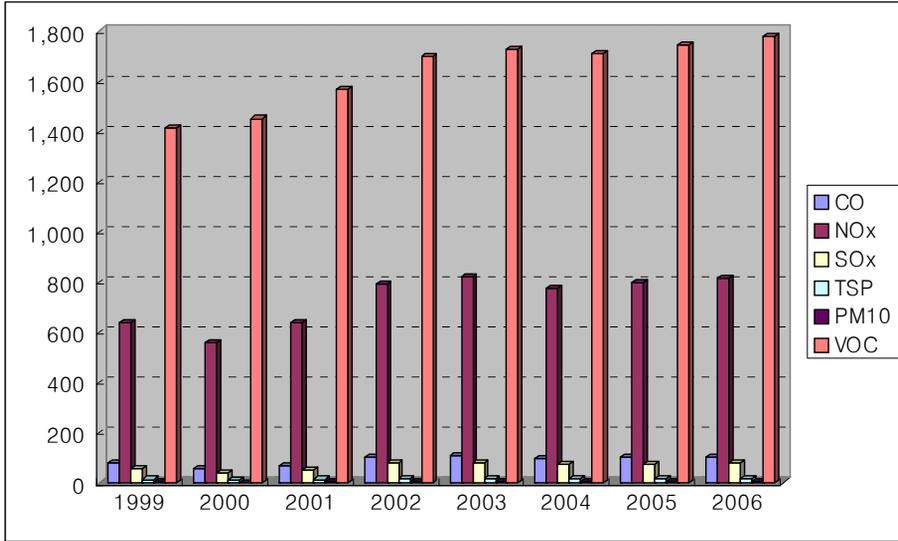
[그림 3-9] 충청남도의 비도로이동 부문 배출량 추세

폐기물 처리 부문 배출량은 폐기물의 소각 및 매립과정에서 발생하는 오염물질로 전체 대기 오염물질 배출량에서 차지하는 비중은 낮다.

<표 3-16> 충청남도의 폐기물 처리 부문 배출량

(단위 : 톤)

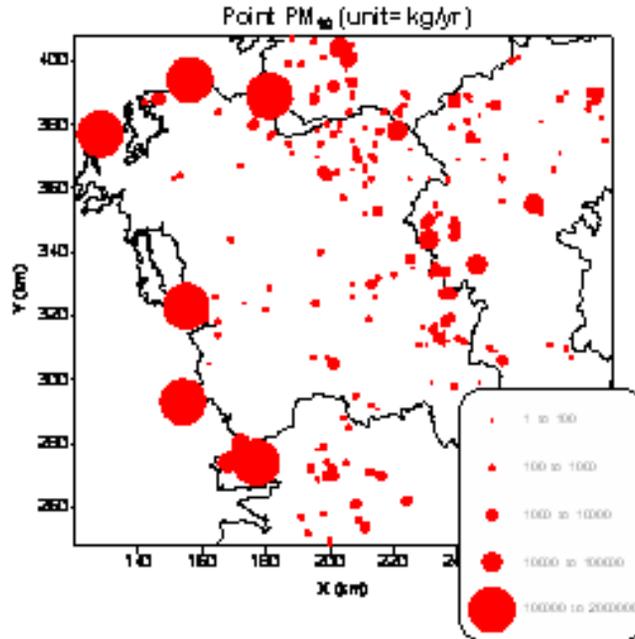
구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CO	77	57	70	104	107	97	101	105
NOx	639	560	639	791	821	773	796	815
SOx	57	41	50	77	80	72	75	77
TSP	14	12	14	18	19	18	18	19
PM <sub>10</sub>	3	2	3	3	4	3	3	4
VOC	1,412	1,450	1,566	1,698	1,727	1,708	1,746	1,778



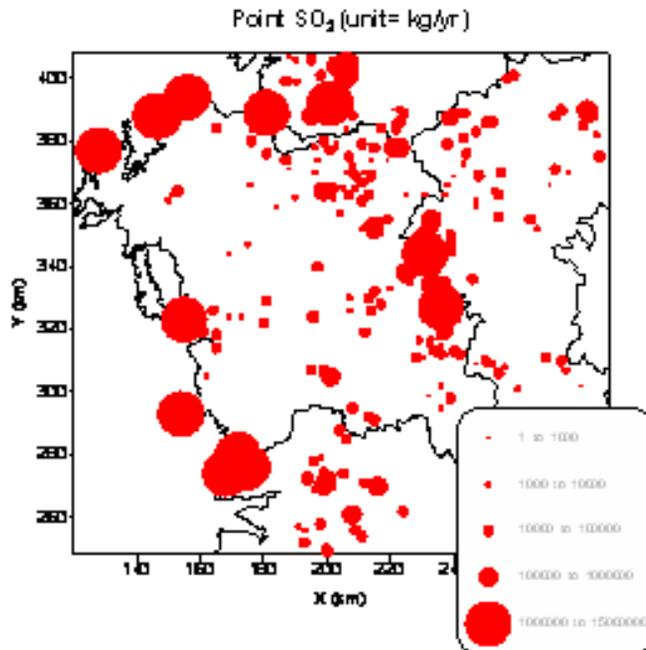
[그림 3-10] 충청남도의 폐기물처리 부문 배출량 추세

### 3. 배출량 공간분포

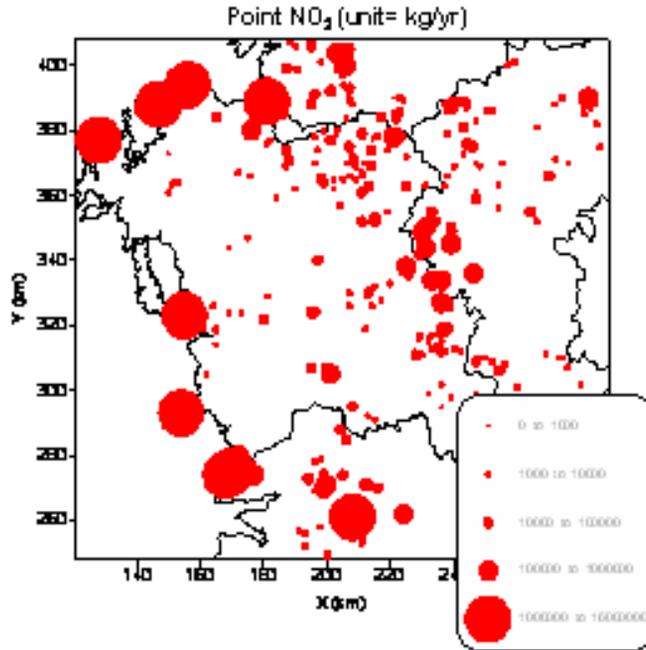
주요 대기오염물질인 먼지, 황산화물, 질산화물의 충청남도내 점오염원에 의한 공간분포는 다음 [그림 3-11], [그림 3-12], [그림 3-13과 같이 서해 연안의 대형배출원과 대도시권 인근에 집중되고 있음을 알 수 있다. 점오염원을 제외한 선 및 면오염원에 의한 배출량 분포는 다음과 같이 교통량에 의해 좌우되는데 주로 경부축의 천안-대전, 호남고속도로, 서해안고속도로 연접지역과 충남북부권에 집중되고 있음을 알 수 있다.



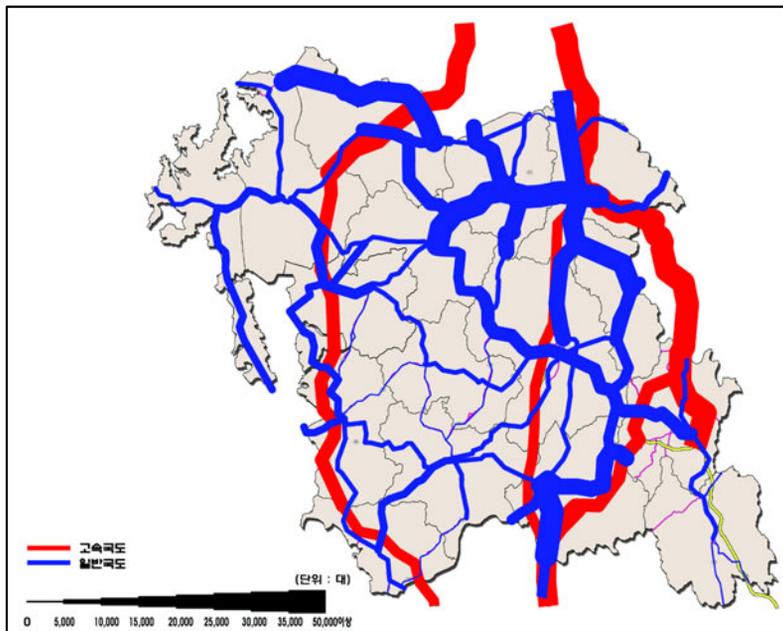
[그림 3-11] 점오염원의 미세먼지 배출량 현황



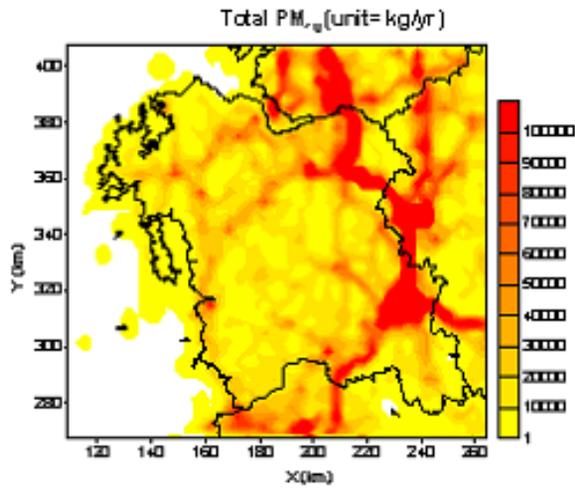
[그림 3-12] 점오염원의 황산화물 배출량 현황



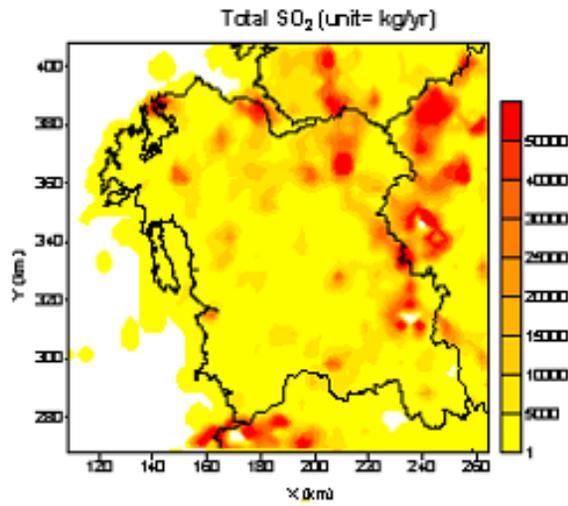
[그림 3-13] 점오염원의 질산화물 배출량 현황



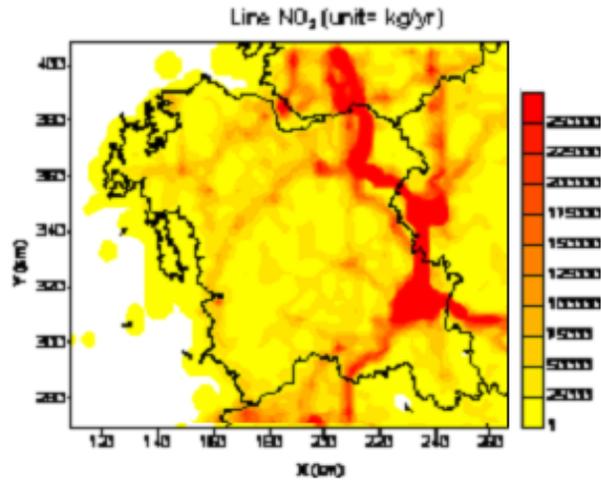
[그림 3-14] 충청남도의 교통량 현황(2005)



[그림 3-15] 미세먼지 배출량 공간분포도



[그림 3-16] 황산화물 배출량 공간분포도



[그림 3-17] 질산화물 배출량 공간분포도

## 제4절 온실가스 배출량

### 1. 배출량 추계

온실가스의 배출량 추정을 위한 부문별 구분은 각 산업분야의 연료연소 및 탈루성(脫漏性) 물질을 포함하는 에너지, 분야별 산업공정, 농업, 폐기물처리, 산림저장 및 토양 배출흡수를 포함하는 임업 및 토지이용변화, 하·폐수 소각 매립 등의 폐기물처리 등으로 세분된다.

온실가스의 배출과 관련되는 전국 GDP는 1999년 이후 연간 8.4%의 성장률을 보인 반면 충남의 지역총생산GRDP 성장률은 10.9%로 전국 평균치보다 높은 성장률을 보였다. 이에 따라 온실가스의 배출량 증가율은 연간 6.1%, 도민 1인당 연간 온실가스 배출량은 이산화탄소 환산 37톤 수준을 보이는 것으로 추계하였다.

〈표 3-17〉 연도별 GDP 및 온실가스 배출량 추계

연 도	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
전국GDP (십억원)	527,603	577,971	620,905	685,946	731,627	786,362	785,053
충남GRDP (십억원)	25,915	28,963	30,532	34,395	38,893	43,236	44,245
전국대비 GDP비율 (%)	4.912	5.011	4.917	5.014	5.316	5.498	5.636
충남온실가스배출량 (이산화탄소 천톤/년)	NA	NA	NA	NA	72,326	74,045	75,398
충남인구 (천인)	1,926	1,930	1,928	1,919	1,930	1,973	1,982
1인당 배출량 (이산화탄소톤/년)	NA	NA	NA	NA	37.5	37.5	38.0

(주) : 2005년은 추정치 임. NA: Not Available

## 2. 부문별 배출량

온실가스의 발생배출에 대한 부문별 추계는 에너지, 산업공정, 수송, 공공 및 상업, 가정부문으로 구분된다. HFC, PFC, SF<sub>6</sub> 등 자연계에 존재하지 않는 인공합성물질과 자연계에서 발생하는 메탄, 아산화질소를 제외하고 대표적인 온실가스로 이산화탄소의 발생은 연료의 연소에서 비롯된다.

에너지 산업인 화력발전을 제외한 부문의 에너지 사용량은 다음 표와 같다. 병커C유, 나프타, 경유 등은 주로 생산공정과 수송부문에서, 프로판과 부탄, 무연탄 등은 공공 및 가정부문에서 사용된다. 특히 나프타는 증기와 혼합하여 800℃ 정도의 고온에서 열분해함으로써 석유 화학의 기초원료인 에틸렌(Ethylene, 폴리에틸렌의 원료), 프로필렌(Propylene, 폴리프로필렌의 원료), 부틸렌(Butylene, 합성고무의 원료)을 생산하는 원료로 사용되며, 부산물로는 BTEX도 생산된다. 따라서 나프타는 이산화탄소 배출량 계산에서는 제외하였다. 연료사용량을 근거로 IPCC의 연료별 배출계수를 적용하여 계산한 이산화탄소 배출량은 <표 3-20>과 같다.

<표 3-18> 충청남도의 산업, 교통, 공공, 가정부문 종류별 사용량

(단위 : 천KL, 천톤, 백만m<sup>3</sup>)

년도	계	휘발유	등유	경유	병커C유	나프타	프로판	부탄	기타	무연탄	도시가스
2003	15,442	529	680	1,690	1,232	9,962	373	324	199	48	404
2004	15,285	495	580	1,502	1,167	10,086	344	322	237	67	509
2005	15,881	508	544	1,623	933	10,539	363	375	277	105	614

자료 : 충청남도, 행정자료, 2006

<표 3-19> 연료사용량 석유환산톤

(단위 : 천TOE)

년도	계	휘발유	등유	경유	병커C유	나프타	프로판	부탄	기타	무연탄	도시가스
TOE 환산계수		0.830	0.870	0.920	0.990	0.800	1.200	1.180	1.000	0.450	1.050
2003	13,224	439	565	1,555	1,220	7,970	448	383	199	22	424
2004	13,090	411	504	1,382	1,155	8,069	413	380	237	30	509
2005	13,590	422	473	1,493	924	8,431	436	443	277	47	645

〈표 3-20〉 충청남도의 산업, 교통, 공공, 가정부문의 연료별 이산화탄소 배출량

(단위 : 천톤)

년도	계	휘발유	등유	경유	벙커C유	프로판	부탄	기타	무연탄	도시가스
C T/TOE		0.783	0.812	0.837	0.875	0.713	0.713	0.630	1.100	0.637
CO <sub>2</sub> T/TOE		2.871	2.977	3.069	3.208	2.614	2.614	2.310	4.033	2.336
2003	15,336	1,260	1,681	4,772	3,913	1,172	1,000	460	87	991
2004	14,560	1,181	1,502	4,242	3,705	1,080	992	547	122	1,189
2005	14,798	1,210	1,409	4,581	2,963	1,140	1,158	641	191	1,506

(주) 나프타는 단위공정 원료로 사용하므로 연료사용 배출량 계산에서 제외

충청남도의 에너지 산업부문 중 화력발전에 의한 온실가스 배출량은 당진 6호기 3000MW, 태안 6호기 3000MW, 보령 6호기 3000MW, 서천 2호기 400MW, 보령복합화력 1800MW, 부곡 GS EPS 537MW, 대산현대 507MW, 대산시텍 72MW, 기타 내연기력 3MW등 발전용량 총 12,319MW에서 배출된다.

이에 따른 연료사용량, 발전량, 이산화탄소 배출량은 각각 다음 <표 3-21>, <표 3-22>, <표 3-23>과 같다.

〈표 3-21〉 충청남도내 화력발전소의 연료사용량

(단위 : 천톤, 천kL)

연도	당진		태안		보령			서천		부곡		대산 현대	대산 시텍
	유연탄	경유	유연탄	경유	유연탄	경유	LNG	무연탄	중유	LNG	경유	중유	중유
2002	5,579	7	7,574	73	8,500	450	3	880	173	142	6	-	-
2003	5,765	16	8,197	145	8,200	570	2	877	169	121	67	-	-
2004	6,046	1	8,981	4	9,000	980	2	730	161	261	-	-	-
2005	6,090	9	8,625	3	8,687	1,162	3	731	179	298	-	1,376	255

자료 : 각 발전회사, 연료사용량 자료, 2006

〈표 3-22〉 충청남도내 화력발전소의 발전량

(단위 : GWh)

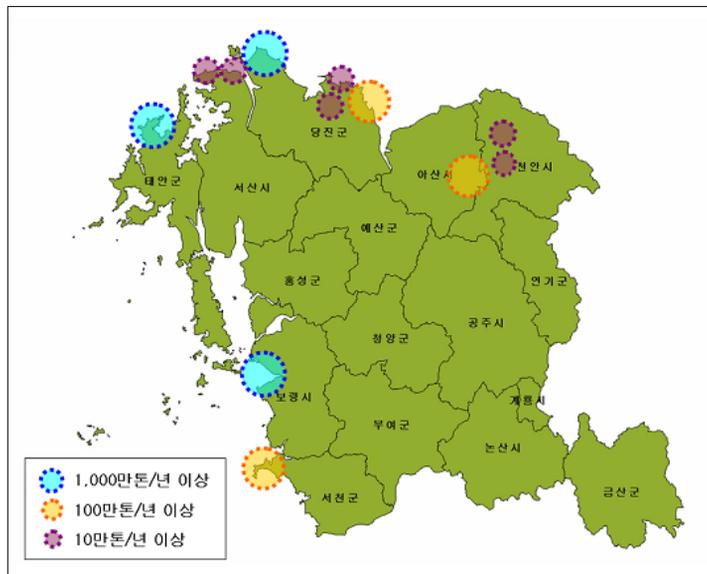
연도	당진	태안	보령	서천	부곡	대산현대	대산시택	합계
2002	15,653	22,059	28,730	1,775	1,115	-	-	69,332
2003	16,207	23,372	29,209	1,805	1,252	-	-	71,845
2004	16,260	24,766	31,799	1,958	1,933	-	-	76,716
2005	17,997	23,900	31,672	2,041	2,227	175	19	78,031

자료 : 각 발전회사, 전력생산량 자료, 2006

〈표 3-23〉 충청남도내 화력발전소의 이산화탄소 발생량

(단위 : 천톤)

연도	당진	태안	보령	서천	부곡	대산현대	대산시택	합계
2002	13,149	15,993	23,702	2,247	594	-	-	55,685
2003	13,614	17,038	23,426	2,225	687	-	-	56,990
2004	13,658	17,931	24,930	1,918	1,048	-	-	59,485
2005	15,117	17,447	24,704	1,985	1,203	130	14	60,600



[그림 3-18] 주요 점오염원 온실가스 배출량 공간분포도

## 제4장 대기오염물질 배출 저감방안

### 제1절 대기오염물질 저감

대기오염이란 산업체, 자연, 인간 등 다양한 오염원으로부터 인간에 유해한 영향을 미치는 각종 물질이 대량으로 대기 중으로 방출되어 존재하는 것을 의미한다. 일반적으로 대기오염관리는 인간 활동에 기인한 오염뿐만 아니라 넓은 의미에서는 다양한 원인에 의하여 인간 및 자연에 악영향을 미치는 것을 다룬다.

산업화 및 도시화에 의하여 인간이 밀집되어 생활하게 됨에 따라 오염물질이 대부분 인간 활동에 의하여 유발되고 그 영향을 국부적으로 증가하였으나 최근에는 대기오염 물질이 전 지구적인 문제로 확대되었다. 이들 대표적인 대기오염 물질은 입자상 물질과 기상 오염물질로 구분할 수 있으며 기상 오염물질에는 황산화물, 질소산화물 등이 주로 취급되었으나 최근에는 지구 온난화 문제의 심각성으로 인하여 이산화탄소를 대기오염 물질의 범주로 취급하고 있다 (대기환경보전법 개정, 2005. 12. 30).

이상의 다양한 대기오염 물질을 저감하기 위한 방안으로 원료에서 오염물질을 제거하는 방법과 산업체 및 자연에서 불가피하게 발생하는 것은 후처리 방법에 의하여 제거는 방법으로 크게 구분할 수 있으며, 각각의 오염물질 특성을 고려하여 적합한 저감 방법을 적용할 수 있다.

#### 1. 황산화물(SO<sub>x</sub>)

황산화물은 SO<sub>x</sub>로 표기되며 SO<sub>2</sub> 또는 SO<sub>3</sub>로 대부분 1차적 오염물이며 주 배출원은 화석연료의 연소에 의하여 방출된다. 황산화물은 주로 석탄과 석유의 연소, 원유의 정제를 위한 정유

공장 등에서 인공적으로 방출된다. 황산화물은 대기오염물질 중 가스상으로서 자연적으로 발생하는 것과 인위적으로 발생하는 것으로 크게 구별할 수 있다. 자연적 발생의 경우 화산의 폭발과 같은 예를 들 수 있으며, 인위적 발생의 경우는 대부분이 화석연료의 연소에 의하여 발생된다. 이와 같은 황화합물은 SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 같은 황산화물과 CuSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>와 같은 황산염을 처리하는 과정에서 마지막의 생성물로서 배출된다. SO<sub>2</sub>는 타지 않는 무색의 기체로서 공기 중에 약 0.5ppm 이상의 농도로 존재할 때 냄새가 감지된다. SO<sub>3</sub>는 SO<sub>2</sub>의 생성 시 약 1/40 ~ 1/80 정도로 발생되기 때문에 이들 황산화물의 혼합물을 SO<sub>x</sub>로 표시하며 SO<sub>x</sub>의 오염물의 양을 산출할 때에는 SO<sub>2</sub>로서 산출한다.

이와 같은 황산화물의 생성반응은



위에서 연료(CmHnS)중에 황의 성분이 존재하면 공기 중의 산소와 반응하여 황산화물이 생성되는데 이 중 이산화황은 대기 중의 산소와 반응하여 삼산화황이 만들어진다. 또한 이산화황과 삼산화황은 대기 중의 수분과 반응하여 아황산 및 황산을 생성한다.

이와 같은 황산화물의 발생을 통제하기 위하여는 무엇보다도 원유의 저황화이다. 이는 황산화물의 배출원인 물질이 화석연료중의 황성분이기 때문이다. 국내에서는 원유의 생산이 전혀 없기 때문에 외국에서 원유를 전량 수입에 의존하고 있으므로 원유속의 황의 함량이 낮은 것을 도입함으로써 황산화물의 발생을 억제할 수가 있다.

그동안 국내로 수입한 원유의 경우는 중동산이 약 3% 정도의 황함유율을 갖고 있으며 산지에 따라서는 1.5% 이하의 경우와 황의 함량이 거의 없는 것이 있다. 국내에서의 대기오염과 관련하여 근래에는 수입하는 원유속의 황함량은 거의 1% 이하의 것을 도입하고 있다. 원유는 정제되어 나프타, 휘발유, 등유, 경유, 중유, 아스팔트(피치)로 구분되는데 이중 황의 함량이 가장 큰 것이 중유로 탈황 비용이 많이 들지만 황산화물의 발생을 감소시킬 수가 있다.

탈황은 비용이 많이 들지만 황산화물의 중심적인 대책이다. 특히 국내에서는 최근 들어 중질유 분해공장이 건설되어 환경오염문제를 해결하는데 큰 도움이 되고 있다. 또 다른 방법으로 배연 탈황은 우리나라에서 적극적으로 고려하는 사항이다. 배연 탈황은 배출되는 연기속의 황산화물을 제거하는 방법으로 선진 여러 나라에서 이용되고 있고, 우리나라에서도 이에 따른

배출허용기준도 강화추세다.

다음의 방법이 동력원의 대체로서 현재의 화석연료의 사용을 억제하고 새로운 대체에너지 개발이 절실히 요구된다. 특히 새로운 에너지원으로서 태양에너지, 수력, 원자력, 조력, 풍력과 같은 청정에너지의 개발이 대기오염부하를 줄일 수 있다.

높은 굴뚝에 의한 확산 방법은 과거 대기오염에 대한 규제가 느슨하던 시절 대기오염으로 인한 지역 주민과 분쟁을 해결하기 위한 방법이었다. 그러나 대기오염물질의 제거가 아닌 대기오염 광역화 문제의 한계가 있다.

배출가스 중의 탈황은 처리방법에 따라 흡수법, 흡착법, 산화법 등으로 구분하며 건식법은 흡착법, 금속산화물을 이용한 흡수법, 촉매에 의한 접촉 산화법이 있으며 습식법으로는 수산화나트륨 또는 이황산나트륨을 이용한 알칼리 흡수법, 암모니아를 쓰는 암모니아 흡수법, 석회 슬러리를 이용한 석회수법이 있다.

#### 가. 정유 과정의 탈황

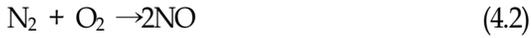
석유 탈황 방법은 대기 중의  $\text{SO}_2$ 는 거의 연료내의 황성분이 원인이며 벙커C유의 황함량이 4% 정도로 높기 때문에 대기오염방지에 어려움이 있다. 따라서  $\text{SO}_2$ 오염도를 낮추려면 탈황이 필요하다. 탈황방법은 접촉수소화 탈황, 접촉산화물에 의한 생화학적 탈황, 미생물에 의한 생화학적 탈황과 방사선 화학탈황이 있다. 접촉수소화 탈황 이외에는 거의 기초 단계이며, 직접 탈황법, 간접 탈황법, 중간 탈황법 등 3가지 방법이 현재 사용되고 있다. 직접법의 탈황률은 간접법보다 1.5~2배로 탈황효과가 높다.

#### 나. 배출가스의 탈황

배출가스 중의  $\text{SO}_2$ 를 제거하는 방법은 건식 흡수법, 습식 흡수법, 흡착법 및 산화법이 있다. 이러한 방법은  $\text{SO}_2$ 와  $\text{O}_2$ 가 활성탄에 흡착되며 산화되거나  $\text{SO}_3$ 를 만든 다음, 계속해서 산화하여  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 이나 황산염 화합물로 고정하여 제거하는 방법이다.

## 2. 질소산화물(NOx)

질소산화물은 NOx로 표기되며, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>이며 공기중의 질소와 산소가 연료의 연소시 반응하여 생성된다. 특히 연료의 연소시 고온에서는 식(4.2)처럼 NO가 생성된다.



또한 저온에서는 식 (4.3)처럼 NO<sub>2</sub>가 생성된다.



이와 같은 질소산화물은 1차적 대기오염물로서 대부분이 연료의 연소시에 발생되며, 대부분이 NO로서 약 90%를 차지하고 나머지는 NO<sub>2</sub>로서 자동차 연료의 연소시에 주로 발생되며, 각종의 공장, 발전소의 순서로 많은 양을 배출한다.

질소산화물은 황산화물과 같이 대기오염에 있어서 대단히 중요하게 다루어지고 있는 유해가스의 하나로 질소와 산소가 결합되어 있는 상태로 여러 가지의 화합물의 존재가 알려지게 되었다. 특히 연료의 성분 가운데에 질소가 함유된 경우(연료에 의한 질산화물 생성)와 연료의 연소 시에 공기 중의 산소와 질소가 서로 반응하여 생성된 경우(열화학반응에 의한 질산화물 생성)로 크게 구분된다. 연료중의 질소의 함량은 석탄, 석유가스의 순서로 석탄 속에는 질소가 많이 함유되어 있다. 따라서 석탄의 사용감소는 질소 산화물의 발생을 억제하는 하나의 좋은 방법이다. 따라서 연료를 전환시킴으로서 질소산화물의 발생을 억제할 수가 있게 된다.

일산화질소(NO)는 무색, 무취의 기체로서 물에는 거의 녹지 않고 있으며 생물에 대한 영향에 대하여는 아직 충분히 밝혀지지 않았으나, 이산화질소보다는 독성이 작은 것으로 알려져 있으며 대기 중에는 비교적 적은 양으로 인체에 해가 될 정도는 아니다. 특히 대기 중의 산소와 결합하여 이산화질소가 되어 LA 스모그 같은 광화학적 연무를 형성하는 중요한 물질이다. 이산화질소는 적갈색의 기체로서 냄새가 있으며 인체에 해롭다.

$\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$ 의 반응은 온도가 높을수록 촉진되며 1,100°C가 넘으면 급격히 NO<sub>2</sub>로 증가

하다가 그 후 배출과정에서 NO<sub>2</sub>의 일부는 식 (4.4)처럼 NO<sub>3</sub>가 된다.



NO<sub>x</sub>의 방지책으로는 발생 억제기술, 배출가스 중 탈질 기술이 있다.

발생 억제기술 중 저산소 연소법은 공기량이 많을수록 NO<sub>x</sub>도 많으므로 과잉 산소농도를 1~3% 정도(공기비 1.05~1.10으로 억제하여 저산소로 연소)로 연소시키는 방법이다. 이단 연소법은 이론 공기량의 85~95%로 불완전 연소시키고 그 이후 10~15%의 공기를 추가로 보내서 완전 연소시키고 물질 온도를 낮춘다. 이 방법은 NO<sub>x</sub>의 생성량을 10~30%로 낮추는 효과가 있다. 배출가스 재순환법은 연소용 공기에 배출가스를 일부 혼합하여 O<sub>2</sub> 농도를 낮추는 방법이다. 이 때 재순환하면 연소온도가 낮아져 NO<sub>x</sub>의 생성량이 10~30% 감소되고, 연소버너 개량법(저NO<sub>x</sub> 버너)은 연소 온도를 균일하게 하여 NO<sub>x</sub>의 발생을 감소시키는 방법이며, 연료 전환법은 연료 중에 질소 성분이 낮은 것 즉, 기체, 액체, 고체의 순위로 선택하도록 한다.

배출가스 중 탈질소 기술로 습식법에는 흡수법, 환원법이 있으며, 흡수법은 물 또는 알칼리 용액에 의한 세정식 제거법이다. NO는 흡수되지 않기 때문에 우선 모두 NO를 NO<sub>2</sub>로 산화한 후 제거한다.

### 3. 자동차 배출가스

자동차의 주요 오염물질은 CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> 산화제(Oxidant) 및 미세먼지 등으로서 이들 중 CO, HC, NO<sub>x</sub>가 자동차의 큰 배출원으로 취급되고 있다. 특히 NO<sub>x</sub>와 HC는 태양 광선중 자외선에 의하여 광화학 반응을 일으켜 옥시던트를 형성하여 스모그현상을 일으킨다. 이 때 디젤 자동차는 악취와 검은 매연이 문제가 되고 있다.

배가스 중 탄화수소(HC) 발생원은 증발 20%, 미연소에 의한 블로우바이(blow by) 가스 25%, 배출가스 55%등이며, CO와 NO<sub>x</sub> 등은 배출가스로 100% 배출된다.

한편 배출량은 자동차 운행조건과 배출 농도에 따라 변화된다. 휘발유 엔진일 경우에 운전 조건에 따라 정지 가동상태에는 CO 농도가 높으며 40km/hr 이상에서는 감소된다. HC는 감

속시에 가장 많이 배출되며 NO<sub>x</sub>는 가속과 정속시에 가장 많이 방출된다.

자동차 배출가스 방지대책으로 HC는 공기비가 너무 적으면 실화를 일으켜 증가하므로 충분한 공기비를 공급하고, NO<sub>x</sub>중 NO는 고온·고압 정전기 등에 의해서 생성되므로 이를 피하여 반응해야 한다. CO는 자동차 엔진에 공급되는 혼합가스의 공기비에 좌우되므로 공기량이 적당한 혼합기를 엔진에 공급시켜서 연소시켜야 한다.

자동차 배출가스를 감소시키기 위한 대책으로는 행정적인 대책과 기술적인 대책으로 분류하고 행정적인 대책은 교통가로망 및 도로상태 정비, 배출가스 규제 및 단속강화, 자동차 공해에 대한 교육 및 계몽과 무공해 청정연료개발과 배가스 후처리장치 부착(기존의 삼원촉매, DOC, DPF 등)등이 있다. 기술적 대책은 연료의 조성 및 대체 연료(BD, 수소에너지, 바이오에탄올)의 개발, 연료 기관인 엔진의 개량과 배출가스 정화처리 등이 있다.

## 제2절 온실가스 저감

### 1. 에너지 부문 전망

충청남도의 에너지부문 장기전망의 경우, 2006~2020년까지 에너지 사용량은 별도의 온실가스 감축노력이 없는 기존추세(BAU; Business As Usual)를 유지할 경우 전국 평균치보다 0.2% 포인트 높은 연평균 2.5% 증가가 예상된다.

- 발전부문은 2005년 연간 발전량 78,031GWh 규모에서 2015년경 서천, 보령화력 일부의 폐쇄조치로 증가세는 다소 둔화되나 당진, 태안, 보령 지역에서 추가 증설할 경우 비중이 지속적으로 증가 전망
- 산업부문은 철강, 석유화학, 시멘트 등의 에너지 다소비산업은 성장이 둔화할 것이나, 전자정보기기, 자동차부품 산업의 성장 등으로 온실가스 배출비중이 점진적으로 축소될 것이나 전국 평균보다는 높을 것으로 예상
- 수송부문은 2005년말 자동차 670천대에서 꾸준히 증가추세를 유지하여, 2020년에는 전체 배출의 22.5% 수준으로 예상
- 가정 및 공공 기타는 가정부문은 낮아지나 행정중심복합도시, 신도청도시, 기업도시 개발 등 공공사업에 의해 12.2~14.2% 수준을 유지할 것으로 전망

충청남도의 제조공정 및 물질회수부문 장기전망의 경우 온실가스 중 수소화불화탄소, 과불화탄소, 육불화황 등의 사용량은 지속적으로 증가할 것이나, 공정상 회수 가능할 것이므로 배출량은 전체의 5% 이하를 유지할 것으로 예상된다. 그러나 충청남도의 지역특화업종인 초박막액정표시장치(TFT-LCD), 반도체, 전자정보기기 등의 산업규모 확대와 생활수준의 향상에 따라 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다.

〈표 4-1〉 충청남도의 에너지 부문 장기 전망

(단위 : %)

구 분 \ 년 도	2005년	2010년	2015년	2020년
발 전	32.0	33.0	34.0	34.3
산 업	33.5	32.5	31.5	31.0
수 송	21.0	21.5	22.0	22.5
가 정	10.5	10.2	9.6	9.1
상업·공공·기타	3.0	2.8	2.9	3.1
계	100.0	100.0	100.0	100.0

## 2. 온실가스 저감 기술

### 가. 온실가스 저감기술의 종류

지구온난화 현상을 근원적으로 해결하기 위해서는 대기 중의 이산화탄소 농도를 안정적으로 유지시키는 것이 핵심인데 이를 위한 방법은 CO<sub>2</sub> 발생자체를 줄이는 이용효율 향상을 통한 화석에너지 사용의 줄임과 CO<sub>2</sub>가 전혀 발생되지 않는 풍력, 태양광 등과 같은 신·재생에너지의 보급 확대 및 발생된 CO<sub>2</sub>를 대기권에서 분리, 회수하여 영원히 격리·고정화 시키는 것 등으로 분류할 수 있다. 한편 원자력 기술도 CO<sub>2</sub>를 발생시키지 않는 기술로 분류되나 완벽한 대안으로 평가하기에는 아직 무리감이 있다.

이러한 기술들 중 신·재생 에너지 기술이나 CO<sub>2</sub> 처리기술 등은 대기 중의 CO<sub>2</sub>를 안정화시키는데 매우 필수적인 기술로 반드시 개발 보급되어야 하나 신·재생에너지의 경우 기존의 화석에너지와 비교하여 경제성이 낮은 문제를 안고 있으며 CO<sub>2</sub> 처리기술의 경우도 처리비용이 더 드는 등 현실적 타당성이 낮다. 따라서 이들 기술의 필요성은 우리 모두 공감하고 있으나 제반 문제 때문에 크게 걸림돌이 되고 있으므로 이의 개선을 위해서는 장기적 관점에서 지속적으로 기술혁신을 위해 노력해야할 것이다.

현재 중단기적 관점에서 할 수 있는 기술개발은 에너지 사용을 획기적으로 줄일 수 있는 혁신적 에너지 이용효율 향상기술 개발을 들 수 있다. 에너지 이용효율 향상이란 개념은 기존의 틀인 통상적 개념에서 보면 기술혁신을 통한 획기적인 기술개발이 그리 쉽지만은 않음을 알 수 있다.

앞으로도 상당 기간은 화석연료를 주 에너지원으로 사용할 수밖에 없는 현실 하에서, 가장 효율적인 지구온난화 대응방안은 중단기적으로는 혁신적인 에너지이용효율 향상기술을, 장기적으로는 CO<sub>2</sub> 처리기술이나 신·재생에너지의 기술혁신을 통해 경제성을 확보해 보급·확대함으로써 지구상의 CO<sub>2</sub> 농도를 안정화시켜야 한다.

이중 가장 현실성 있는 이산화탄소 배출저감은 에너지 이용효율의 향상을 통해 이루어질 수 있으며, 이는 곧 기업의 생산성 및 가격경쟁력 향상으로 이어지므로 실질적인 경제적 효과를 이룰 수 있는 기술 분야이다. 특히, 2004년 기준 석유화학산업 및 철강산업 등의 산업분야가 국내 이산화탄소 배출량의 35%를 점유하고 있는 상황에서 이 부문에 대한 에너지 이용효율 향상은 상당한 CO<sub>2</sub> 배출 저감효과를 가져올 수 있다.

충남지역의 대산석유화학단지, 제철제강업종의 송산지방산업단지 등은 이러한 여건을 참조할 수 있다. 대표적인 예로서 석유화학산업의 나프타 접촉분해 공정은 기초 유분 생산을 위한 분해, 냉각 및 증류 공정에서 다량의 에너지를 소비하는 대표적 에너지 다소비 산업이다. 석유화학산업 이산화탄소 배출량의 40%를 점유하고 있는 기존의 NCC 공정이 경질 나프타를 원료로 사용하였으나 새로 개발된 촉매는 저가의 중질 나프타를 원료로 사용할 수 있으며, 또한 접촉분해온도를 기존의 850℃ 이상에서 700℃ 이하로 낮춰 에너지 비용을 18% 저감할 수 있다.

석유화학산업의 주요 에너지원은 B-C유 13%, 전력 20%, 부생가스, 메탄, LPG 등 사용원료의 부산물 60%로 이루어져 있으며, 석유화학산업의 매출액 대비 에너지 비용은 약 7%로서, 이는 기업의 수익 구조에 상당한 영향을 미치는 중요한 요소이다. 이에 따라 업계에서는 에너지 이용효율 향상에 의한 경쟁력 강화를 위해 신기술 개발에 많은 노력을 기울이고 있으며, 투자회수 기간이 긴 장치산업의 특성상, 많은 시간과 비용이 소요되는 공정개발 보다는 기존 공정의 개선 등에 집중되어, 설비의 대체 또는 보완 및 폐열회수 등에 국한되고 있다.

에너지관리공단에 따르면 공정개선에 의한 에너지 절감량은 5.6%에 불과하며, 설비 대체 18.3%, 설비 보완 28.3%, 폐열회수 6.3%에 의한 것이 전체 에너지 절감량의 52.9%에 달한다. 이는 기존공정의 조업개선은 투자 대비 효과가 높고 개선의 여지가 많으며 기술적 난이도가

높지 않다는 점으로 인해, 특히 자발적 협약(VA) 사업 등 정부지원금을 활용할 수 있다는 업계의 이해관계에 의해 비교적 활발하게 추진되고 있다.

반면에 신 공정 개발의 경우, 중장기적 개발기간, 공정구성의 복잡성 및 개발공정의 성능검증을 통한 성능보장 문제, 다단계의 공정으로 구성된 업계의 특성으로 인해 업계에서 수행하기가 어렵다. 그러나 대체 또는 신규공정의 개발은 관련 업계의 근원적인 경쟁력 확보 및 2005년 2월 발효된 교토의정서에 대응하여 반드시 추구해야 할 과제이며, 이를 위해 업계는 정부 지원에만 의존하기 보다는 새로운 촉매 및 막분리 시스템, 반응증류기술의 개발 등과 같은 다양한 단위 공정들에 대한 꾸준한 연구개발을 통해 최종적으로는 독자적인 공정개발 능력 배양이 필요하다.

가까운 시일 내에 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 경제적 에너지원의 개발이 어려운 현실 하에서 이처럼 이산화탄소 저감 및 처리기술의 개발은 대폭적인 에너지 절감과 이에 따른 이산화탄소 배출 저감을 가능케 할 수 있는 가장 현실적인 대안이며 국내 산업계의 경쟁력 향상을 통한 지속발전을 위한 현실적 대응방안이다. 또한 개발기술의 보급 및 확산을 통해 국내 에너지 소비구조를 혁신적으로 개선함으로써 에너지 자원빈국인 우리나라를 가장 효율적인 에너지 저소비국으로 전환시킬 수 있을 것으로 예상된다.

#### 나. 온실가스 해저 저장

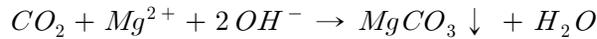
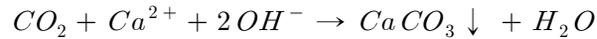
연료 연소로 인한 연간 CO<sub>2</sub> 배출량은

$$= (\text{인구수}) \times (\text{1인당 연료 사용량}) \times (\text{연료별 CO}_2 \text{ 배출계수})$$

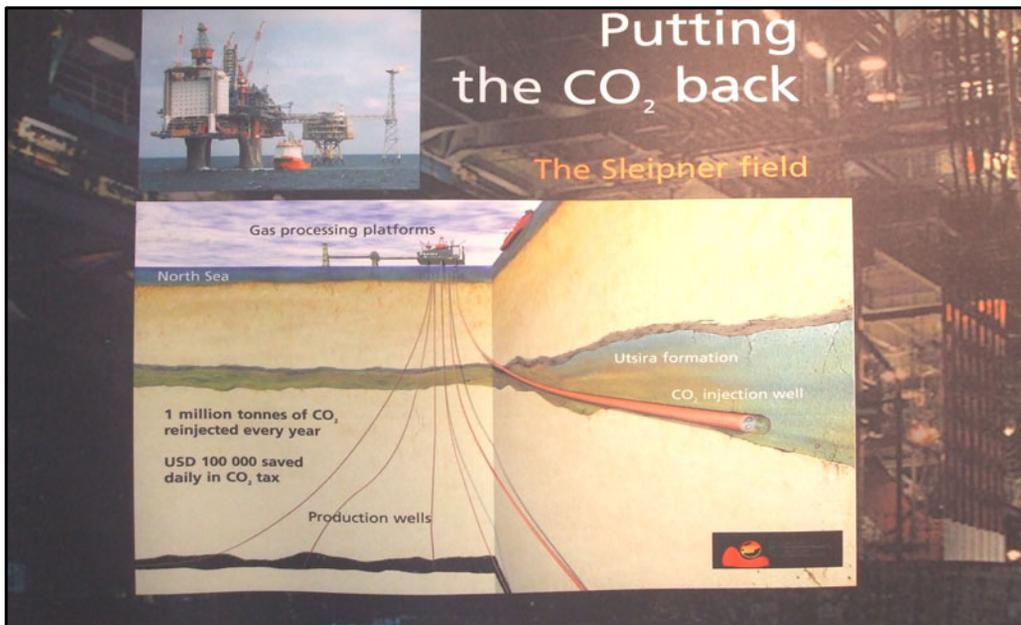
로 나타낼 수 있는데, 세 번째 항 연료별 CO<sub>2</sub> 배출계수는 연료중의 수소/탄소 비에 따라 다르다. 같은 양의 에너지를 생산할 때, CO<sub>2</sub>의 배출비율을 나타내는 IPCC 탄소배출계수는 기체화석연료 0.637, 액체화석연료 0.630~0.829, 고체화석연료 1.059~1.186 C ton/TOE 이므로 석탄대신 석유, 천연가스로 대체 한다면 CO<sub>2</sub> 배출량은 줄어든다.

연소시 배출되는 CO<sub>2</sub>는 제거 가능하나, 소석회(CaO)같은 화학물질을 사용해야 하는데 이들 제품들의 생산으로 인해 이산화탄소를 또 배출한다.

지구화학적인 관점에서 대기 중으로부터 CO<sub>2</sub>가 제거되는 과정은 다음 식과 같다.



이 반응은 모든 바다에서 일어나며, 바다 밑바닥에 CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> 성분을 갖는 석회석, 방해석, 백운석 등으로 침적된다. 따라서 대규모 배출원의 이산화탄소 배가스를 매년 100만톤씩 해저로 저장하는 방안(CCS; Carbon Capture and Storage)을 노르웨이에서 제안 추진하고 있으나, 해저 생태계에 미치는 영향에 대해서는 알려져 있지 않다.



[그림 4-1] 노르웨이 STATOIL의 이산화탄소 해저저장 프로젝트

#### 다. 축산분뇨 바이오가스 발전 방안

충청남도의 축산폐수 발생량은 28,916m<sup>3</sup>/일로 축산폐수공공처리시설, 해양배출, 토양살포 등에 의해 축산분뇨를 처리하였으나 2011년부터 해양배출이 금지돼 별도의 대책이 필요한 상

황이다. 특히 대규모인 허가대상 1,408개소에서 13,630m<sup>3</sup>/일, 중간규모인 신고대상 5,993개소에서 12,219m<sup>3</sup>/일, 소규모인 신고미만 35,849개소에서 3,067m<sup>3</sup>/일을 고려한다면 오염기여도가 큰 허가대상시설에 우선적으로 대안을 적용할 필요가 있다.

OECD 선진국에서는 온실가스 저감을 위한 환경규제와 재활용 정책이 정착되어 바이오가스 플랜트 보급이 활발하다. 덴마크는 22개의 집중형 바이오가스 플랜트와 55대의 개별형 바이오가스 플랜트를 가동한다(2003년 기준). 독일은 개별형 바이오가스 플랜트 1,900개와 집중형 플랜트 11기를 가동한다(2002년 기준). 일본은 축산분뇨로부터 질소성분이 다량으로 흘러나와 지하수 오염정도가 환경기준을 초과한 홋카이도 지역에서 보급이 활성화되어 31개의 플랜트가 운영중이다(2004년 기준).

현재까지 축산분뇨의 일반적인 재활용 방법은 퇴비화로 이 과정에서도 에너지가 소비된다. 처리를 위해 필요한 열공급을 위해 화석연료를 사용하면 연소시 CO<sub>2</sub>가 발생하기 때문에 교토의정서와 배치(背馳)된다. 그러나 축분으로부터 발생된 바이오 가스는 탄소중립적(carbon neutral)이므로 추가적인 CO<sub>2</sub> 발생이 없어 온실가스 저감을 위한 유력한 대안으로 부상하고 있다.

하루 축산분뇨 10톤(돼지 800두 규모)을 처리하면 메탄가스로 시간당 5kW 발전이 가능하다. 축산분뇨 20톤/일 규모로 유입수 BOD 농도 50,000mg/L에 대해 BOD 제거율 80%, 운전 온도 35℃, 메탄전환율 35%를 적용하면 메탄생성량은 316Nm<sup>3</sup>/일이 발생한다. 메탄발열량 8,900kcal/Nm<sup>3</sup>에서 발전효율 30%를 적용하면 발생전력량은 980kwh/일 정도가 된다. 30kw 바이오가스 발전 플랜트에 대해 산업자원부가 총 23억원 사업비 중 실증사업 6억원, 시범보급 8억원을 지원했다. 산자부는 국내 축산분뇨를 혐기소화로 생산한 메탄가스를 에너지로 전환 이용할 경우 연간 약 36만TOE의 에너지를 얻을 수 있다고 하였다.

바이오가스플랜트에 대한 실증사업 완료 및 금년 말 시범보급사업을 성공적으로 마무리하게 되면 2007년부터 축산농가에 시범보급사업을 확대 추진하여 축산분뇨처리 지원 및 전력판매를 통한 농가소득 증대를 도모할 수 있는데, 축산분뇨를 이용한 발전으로의 투자유도를 위해 금년 하반기부터 전력시장 거래가격과의 차액을 보전해주는 발전차액(72.73원/kwh) 지원 대상에 바이오 가스 발전을 신규로 포함시킬 계획이다.

혐기성 소화는 유기물이 분해되는 과정의 일부로서, 유기물이 가수분해하여 소화되면서 유기산, 메탄가스, 암모니아 등으로 순차적으로 분해되는 과정을 공정화 한 것이다. 이 과정은

자연계에서도 일어나는 현상이지만 혐기성 소화공정은 온도, 유기물 농도 등의 조건을 최적화해 효율적으로 유기물을 분해하고 메탄가스를 생성하도록 공정을 구성한다.

메탄가스는 수분, 부식성인 황화수소 가스( $H_2S$ )를 제거한 다음 보일러나 가스엔진 발전기의 연료로 사용되어 온수, 증기 혹은 전기로 전환하여 필요시설에 공급하거나 한전에 판매할 수 있다. 소화되지 않고 남은 잔사(殘渣)를 포함한 유출수는 액비로 농지에 살포하거나 탈수 건조 후 퇴비로 판매하고, 액상물질은 추가 수처리 후 방류한다.

바이오가스 발전 시스템의 구성 및 처리 절차는 저류조(input tank), 메탄발효조(fermentor 1 or 2)로 혐기소화 처리  $\Rightarrow$  메탄가스는 가스저장조(gas tank)와 가스엔진 발전기로 구성된 발전시설에서 전력을 생산 판매  $\Rightarrow$  나머지는 액비저장조(storage tank)에 3개월 이상 저장 숙성 후 액비로 사용한다.

#### 라. 화력발전소 흡수공정 개선

에너지 산업 부문 중 충남지역의 화력발전량 비중은 전국 대비 39.1%를 차지한다. 에너지원도 유연탄, 무연탄, 경유, 중유, LNG 등으로 다양하다. 따라서 화력발전소에서 배출되는 이산화탄소를 분리 제거하는 다공성 제올라이트 알루미늄관 등의 신기술 개발 적용도 저감에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

선진국에서는 화력발전소의 이산화탄소를 포집하기 위해 습식재생 흡착제를 사용해왔다. 습식흡착제는 아민이라는 흡수물질을 물에 15~30%의 농도로 타서 만든 흡착제인 MEA(Mono Ethanol Amine)으로 발전소에서 나오는 배출가스가 MEA를 통과하면 처리효율 30~50%를 달성한다. 이 습식흡착제는 흡수속도가 빠르나 그만큼 흡수력이 줄어드는 단점을 지니고 있다. 이산화탄소 회수 효율이 30~50%정도에 머물고 있으며, 아민액체의 폐수처리 문제, 아민액체의 발전소 배출가스에 대한 내구성 문제 등이 있다. 또한 액체아민은 재활용 즉 이산화탄소와의 분리효율이 낮아지는 단점이 있다.

이러한 문제에 대한 대안으로 건식흡착법을 적용할 수 있다. 흡착제는 건조중량 100g 당 이산화탄소 8~10g과 반응한다. 따라서 시스템의 회전율을 높이면 이산화탄소 처리율 90%이상도 가능할 것이다. 건식흡착제는 주성분이 소다회여서 처리에 큰 문제가 없는 환경친화적이며

이산화탄소 흡수력이 습식보다 강하다.

이산화탄소가 포함된 화력발전소 배출가스를 건식 흡착제로 채워진 밀폐형 상하회전 공정으로 내보내면 공정의 하나인 흡수탑에서 배출가스 중 이산화탄소만 흡착제와 결합한 후 이산화탄소를 제외한 나머지 배출가스는 다른 곳으로 빠져나가고 이산화탄소를 머금은 흡착제는 재생탑으로 넘어간다.

그 곳에서 발전소 보일러에서 나오는 열을 회수하여 별도의 열공급시설 없이 120℃에서 흡착제를 털어주면 이산화탄소는 떨어져 나와 배송관을 타고 다른 곳으로 이동된다. 분리된 흡착제는 다시 흡수탑으로 건너가 새로 유입되는 배출가스 내 이산화탄소와 만나 결합한다.

#### 마. 반도체공정 온난화방지 기술(Non-PFC CVD 세정)

과불화탄소화합물(PFCs)은 반도체 화학기상증착(化學氣相蒸着, CVD)공정과 식각(蝕刻, etching)공정 중에서 배출되는 지구온난화 유발물질이다. 현재 대기 중으로 배출되는 지구온난화 가스의 약 2~4% 정도가 PFC/HFC 등으로 이루어져 있으며, PFC/HFC 발생량 중 약 2%가 반도체 소자 제조공정에서 발생된다. 반도체 공정 중에서 발생하는 PFCs 중 약 90%가 CVD 세정공정 중에 발생한다. 이들 PFCs의 배출 총량은 CO<sub>2</sub>의 수 천분의 1 정도이지만, 지구온난화지수(GWP)가 CO<sub>2</sub>에 비해 7,900~23,900배 정도로 높기 때문에 PFCs 배출량저감을 위한 별도의 회수 노력이 필요하다.

반도체생산 CVD 챔버 세정공정 중에서 유발되는 PFC가스를 원천적으로 제거하기 위해 Non-PFC 가스인 F<sub>2</sub> 가스를 사용한 CVD 챔버 세정기술을 적용한다면 기존의 삼불화질소(NF<sub>3</sub>)를 사용하지 않고 지구온난화지수(GWP)가 0(zero)인 불소(F<sub>2</sub>)가스를 사용하여 반도체산업에서 유발되는 지구온난화 영향을 혁신적으로 줄일 수 있다. 현재 반도체 생산에서 사용되는 육불화황은 천안 4개 라인 22톤/년, 아산 1개 라인 62톤/일로 사용량은 적지만 GWP를 고려한 지구온난화도는 이산화탄소 201만톤 수준으로 상당히 크므로 이러한 생산 및 세정공정에서 물질회수와 함께 대체물질 도입이 필요하다.

### 제3절 기후변화협약 대응 정책

#### 1. 기본방향

지구 온난화 방지를 위한 국제적 노력 및 범정부적 노력에 동참하여 지속가능한 발전을 지향하는 충청남도의 위상을 높이고, 지역경제력 향상과 쾌적한 환경 공간을 유지하여 도민의 삶의 질을 향상하도록 한다. 에너지 이용의 효율성과 효과성을 향상시켜 온실가스 저배출형 경제구조로의 전환 연착륙을 통해 국제 환경규제 충격의 완화가 필요한데, 부문별로 화력발전과 산업공정에 의한 온실가스 배출비중이 높은 것을 감안하여 지역내 기업의 자발적 협약(VA)을 통한 참여 유도과 경제적 인센티브 제공방안을 강구한다.

기후변화협약 발효에 따른 에너지 사용규제 보다 도민에 대한 교육 및 홍보기능의 강화로 심리적 위축, 부정적 경제영향의 최소화를 위해 위기를 기회로 전환 극복할 수 있도록 충남지역내 온실가스 배출원 그룹별 종합 DB망 구축으로 각 분야별 총력 대비체계를 구축하도록 한다.

기후변화협약에 대응한 각 영역 주체별 역할 정립방안으로 중앙정부, 지방정부, 기업, 도민의 기후변화 대응을 위한 상호협력체제 구축한다. 특히 충청남도의 각 부서별 주요 활동과제를 도출하여 중앙정부 및 타 지방정부와의 협력, 관내 기업, 도민과의 협력방안을 마련한다.

각 영역 부문별 과제도출을 위해서는 발전, 산업, 수송, 가정, 공공부문 등 온실가스 배출현황, 전망, 대책 등에 대해 적용기간별로 단기, 중기, 장기적 대응과제를 도출하도록 한다. 연차별 시행은 상위계획인 기후변화협약 대응 관련 정부의 <제3차 정부종합대책> 내 지자체 대책 추진 지원과 연계 운용하도록 한다.

## 기후변화협약 대응 제3차 종합대책

### 추진 목표

- 지구온난화문제에 대응하기 위한 국제적 노력에 적극 동참
- 온실가스 저배출형 경제구조로의 전환을 위한 기반 구축
- 기후변화가 국민생활에 미치는 부정적 영향 최소화

#### 협약이행 기반구축 사업

- 의무부담 협상기반 구축
- 통계·분석시스템 구축
- 온실가스 감축관련 연구개발
- 기후변화협약 대응 교육·홍보
- 교토메카니즘 활용기반 구축

#### 기후변화 적응기반 구축 사업

- 기후변화 모니터링 및 방재기반 확충
- 생태계 및 건강영향평가

#### 분야별 온실가스 감축 사업

- 통합관리형 에너지 수요관리
- 에너지 공급부문 온실가스 감축
- 에너지 이용효율 개선
- 건물에너지 관리
- 수송·교통부문
- 환경·폐기물 부문
- 농축산·임업 부문

[그림 4-2] 우리나라의 기후변화협약 대응대책 체계도

## 2. 부문별 추진 대응전략

### 1) 기후변화협약 대응 관련 교육·홍보

산업체 홍보 및 여론조사, 홍보 등을 통해 기후변화협약 발효에 대한 인식을 강화하고 온실

가스 감축을 위한 생활 속의 실천을 유도하는 것이다.

교육부문은 충청남도교육청과 협의하여 초·중·고 사회탐구 및 교육과정에 기후변화 관련 내용을 반영할 수 있다.

산업부문에서의 실천을 위해 에너지 다소비 업종에 대해 자체계획 수립·추진을 지원하고, 산업체의 자발적 오염저감 및 온실가스 감축실적을 인정하고 보상하는 선행행동(early action)에 대한 유인인정 제도의 마련을 들 수 있다. 우리나라의 중앙정부는 온실가스 배출량을 줄이는 기업에 대해 감축 실적에 따라 현금인센티브 보상제를 2007년부터 시행할 계획을 수립하고 있다. 이 경우 연간 50억원의 예산을 책정해 이산화탄소 1톤을 줄이면 5,000원씩 보상해주는 방안에 대해 충청남도 자체의 상응자금(matching fund) 설정을 검토할 필요가 있다. 그리고 이에 대한 정책 상 뒷받침을 위하여 도내 주요 배출시설에 대한 대기오염물질 및 온실가스 배출현황 파악 및 자발적 감축목표를 수립하도록 지원이 필요하다.

## 2) 자발적 협약의 확대

자발적 협약(VA; Voluntary Agreement)은 에너지를 생산, 공급, 소비하는 기업과 정부가 상호신뢰를 기초로 에너지 절약 및 온실가스배출 감축목표를 달성하기 위한 협약으로 자발적 협약(VA) 추진근거는 환경정책기본법 제34조 제2항(사업자의 환경관리에 대한 국가의 행정적 지원)과 환경부 고시(제2002-139호)에 근거하여 자율환경관리협약 운영규정에서 정하고 있다.

배출허용기준 강화 등 기존 농도규제 대책만으로는 신규 및 대형 배출시설의 오염물질 저감에 한계가 있어 대기오염 개선효과가 미흡하여 사업장의 오염물질 배출량을 자발적 저감하는 동기부여가 필요하다.

협약내용으로는 협약 참여사업장에 인센티브 부여를 위해 자율환경관리업체 현판부착, 친화기업지정 가점부여, 정기점검면제 등과 함께 대기오염 총량관리제도 도입 등 새로운 환경정책 추진시 협약 참여기업에 불이익을 주지 않는 조건을 협약서에 명시하는 이는 선행행동에 대한 보상의 의미도 갖는다. 이는 기존산업단지 확장 및 신 산업단지 조성 시 환경오염 심화를 우려하는 지역주민, 언론, 시민단체 등의 반발에 대해 신뢰할 만한 운영성으로 뒷받침 할 수 있는 전기를 마련하도록 한다.

3) 각 영역 부문별 과제

- 발전 : 분야별 온실가스 배출비율이 전국 평균으로는 가장 높은 상태이며, 충남지역에서도 배출 비중이 높아 연료전환이 필요한 상황이므로 충남지역내 신규 발전시설은 점차 저탄소 연료로 전환 정책을 추진한다.
- 산업 : 분야별 온실가스 배출비율이 높은 상태이나, 에너지 다소비형 업종의 비중이 감소 되더라도 충남지역의 지역경제 성장추세에서 여전히 배출 비중이 높을 것이므로 산업단지 중심으로 에너지 사용량 관리, 연료 개선, 에너지 절약형 설비 도입, 청정생산(CP) 등 생산공정 개선과 폐열회수, 운전관리개선 등을 추진한다.
- 수송 : 자동차의 지속적인 증가로 온실가스 배출비율은 꾸준히 증가세를 보이고 있다. 수요관리 차원에서 교통수요관리를 위한 지능형 시스템(ITS) 도입, 화물 수송능력 향상, 물류 수송의 합리화와 공급관리 차원에서 천연가스 버스 도입 등 기반을 구축한다. 2006년 9월 현재 기준으로 전국의 CNG버스 보급운행률은 93.4%에 비해 충남은 85.2%로 상대적으로 낮은 상태이므로 인구밀집 도시지역에 대해 우선 중점 추진하도록 한다.

〈표 4-2〉 CNG버스 보급실적

구분	계	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	
버스	계획	11,819	3,485	475	963	1,187	668	432	365	2,246	165	165	264	563	176	140	525
	운행	11,040	3,081	295	796	1,344	587	497	435	2,191	105	191	225	456	247	75	515
청소차	계획	177	50	-	18	10		3	9	39	4	9	-	19	1	6	9
	운행	92	43	-	5	1		6	1	15	-	9	-	6	1	-	5

자료 : 환경부, 천연가스자동차 보급현황, 2006

〈표 4-3〉 CNG충전소 설치실적

구 분	계	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	
고정식 (기)	계	81 (223)	21 (59)	3 (6)	7 (17)	8 (21)	5 (12)	4 (16)	3 (6)	14 (48)	2 (3)	2 (4)	2 (5)	5 (11)	3 (6)	1 (2)	6 (18)
	가동중	78 (226)	21 (54)	3 (6)	7 (16)	9 (18)	3 (12)	4 (16)	3 (6)	11 (48)	2 (3)	2 (4)	2 (5)	4 (9)	3 (6)	1 (2)	6 (21)
	추진중	5 (12)	3 (6)	-	-	2 (4)	-	-	-	2 (4)	-	-	-	1 (2)	-	-	-
이동식 (대)	31 (85)	5 (9)	2 (6)	1 (2)	1 (4)	1 (4)	4 (14)	-	16 (42)	-	-	-	1 (2)	-	-	1 (2)	

※ ( )는 충전기 기수(50대 1기) 및 이동식 충전차량(T/T) 대수임

자료 : 환경부, 천연가스자동차 보급현황, 2006

- 가정 : 온실가스 배출비율은 거의 일정하나 생활수준의 향상으로 단위 사용량은 꾸준히 증가세를 보이고 있다. 따라서 에너지 절약형 가전제품 사용, 주택의 단열재사용 및 자연채광, 솔라시스템 채택, 지역 냉난방 등 에너지 수요관리를 추진한다.
- 공공 : 온실가스 배출비중은 가장 낮지만 사회적 파급효과를 고려한 선도 기능이 필요하다. 이를 위해 에너지 절약형 OA 기기 보급, 지역냉난방 등에 의한 에너지 부하 경감, 자연채광 및 통풍 시스템, 솔라시스템 등을 채택하고, 선진국이 개도국의 온실 가스 감축 사업에 투자하여 절감한 온실가스 배출량을 자국의 의무부담이행에 활용하는 제도인 청정개발체제(CDM : Clean Development Mechanism)적용 및 도입의 일환으로 개도국 우호협력 자치단체에 대한 조립지원, 비위생 매립지 정비와 매립가스 회수 등을 추진한다.

### 3. 분야별 온실가스 감축 사업 및 내용

#### 1) 통합형 에너지 수요관리

- ① 자발적 협약의 지속적 확대
- ② 에너지진단 관리·지도 강화
- ③ 에너지사용자를 대신하여 에너지절약 시설에 투자하고 에너지 절감액으로 투자비를 회수하는 에너지절약전문기업(ESCO:Energy service companies) 사업 확대
- ④ E-TOP 프로그램 추진 : 산업체의 에너지 절약 및 온실가스 감축 유도를 위해 VA 사업의 확대. E-TOP 프로그램은 정부와 업체가 대상품목의 에너지 효율을 일정수준까지 달성하기로 협약을 체결하고 우대지원 하되, 목표 미달시는 정부지원 자금을 회수함으로써 에너지효율 세계최고 수준의 제품을 만들도록 추진하는 프로그램

#### 2) 에너지 공급부문 온실가스 감축

- ① 집단 에너지 및 열병합발전 확대 : 대규모 주택단지, 산업단지 등을 대상으로 열과 전기를 일괄 생산하여 공급하는 열병합발전 확대
- ② 신재생에너지 보급 확대 : 신재생에너지 보급을 위한 보조 또는 저리 융자지원 및 신재생에너지 발전전력 의무구입 추진
- ③ 청정연료 보급 확대 : 천연가스의 안정적 공급기반 확충을 위한 도시지역내 배관망 및 저장탱크 등 인프라 구축 지원
- ④ 지역에너지 계획 수립 시 에너지 공급자의 절약계획 수립 추진 의무화 : 에너지공급자에게 수요관리 및 신재생에너지 생산 등을 포함한 에너지 절약계획 수립 명문화

#### 3) 에너지 이용효율 개선

- ① 절전형 사무·가전기기 보급
- ② 고효율제품 공공기관 사용 의무화
- ③ 에너지 소비효율등급표시제도 확대
- ④ 최저효율기준 상향 및 대상품목 확대 : 에너지사용량이 많은 제품을 대상으로 최저효율기준 상향, 고효율 기자재 인증대상품목 확대, 에너지 소비효율 등급 표시제도 확대

#### 4) 건물에너지 관리

- ① 건축물의 에너지 절약설계 기준강화 : 신축건물에 대한 설계단계의 에너지 절약기준 강화 및 건축물별 에너지 총량 관리
- ② 건축물 에너지소비 총량규제 도입
- ③ 건축물 에너지 이용 효율등급 인증 : 고효율 건축물에 대한 건물에너지 이용효율 인증서 발급 및 건축비의 일부 지원
- ④ 환경친화적 건축물 인증제도 도입
- ⑤ 자원절약형 신도시 개발 : 자원절약형 신도청도시, 신도시, 기업도시 건설을 위한 기준 마련 및 적용

#### 5) 수송·교통부문 에너지 관리

- ① 첨단도로교통체계(ITS) 구축
- ② 통행료 전자지불 시스템(ETCS) 구축 : 무정차 상태에서 자동징수하는 고속도로 통행료 전자지불시스템을 구축하고, 실시간으로 교통정보를 제공하는 첨단도로교통체계 구축
- ③ 자동차공회전 규제 강화
- ④ 간선급행버스(BRT) 도입 : 대중교통 이용률 확대를 위하여 간선급행버스를 도입하고, 전용차로와 지능형 교통체계 등을 확대

#### 6) 환경·폐기물 부문 사업추진

- ① 공단폐수, 축산폐수공공처리시설, 하수처리장 확충을 통한 온실가스 발생 감축
- ② 폐기물 매립지 자원화사업 추진 : 폐기물 매립가스를 발전연료로 활용하고, 음식물 쓰레기 자원화 사업을 통해 온실가스 발생을 억제
- ③ 바이오디젤 등 청정연료 보급 확대

#### 7) 농축산·임업 부문 사업추진

- ① 농경지 온실가스배출 감축 : 농경지에서 배출되는 메탄과 아산화질소의 감축
- ② 축산분뇨 처리개선 : 가축 종류별 분뇨처리방법 개선을 통한 메탄배출 저감
- ③ 숲가꾸기 사업 확대 : 숲가꾸기, 도시숲 조성을 지속적으로 확대하여 산림 흡수원 확충

④ 해외조림사업 확대: 해외 우호협력자치단체에 대해 청정개발체제의 일환으로 신규조림/재조림 공동추진

- 숲 가꾸기 및 재해방지 : 충남도 관내의 임야 약 45만ha
- 국·도립공원, 그린벨트 등 숲 가꾸기가 어려운 지역의 산림은 산불예방 및 진화, 병해충방제 및 보호관리
- 영농이 어려운 한계농지는 신규 조림을 통해 온실가스 흡수원으로 인정받도록 추진
- 도시숲, 학교숲 및 가로수 조성 확대
- 산림바이오매스 및 목재이용 촉진 : 산림에서 생산되는 목재류는 재생이 가능한 자원으로 산림부산물을 화석연료의 대체 에너지원으로 활용하고, 목제품 활용을 촉진하여 이산화탄소의 배출량 감축
- 숲 가꾸기 산물의 수집·활용시 타 분야의 화석연료 사용을 절감하여 탄소배출을 감축하는 간접적인 효과와 산불확산의 방지 및 수해방지에 기여
- 장기간 사용 가능한 건축재 등의 용도개발 및 폐목재자원의 재활용을 통한 탄소배출 억제정책 추진

#### 4. 대기오염물질과 온실가스 연계 감축

대기오염물질의 저감은 결국 에너지 이용의 효율성을 향상시키므로 부수적으로 온실가스 저감효과를 가져온다. 충남지역에서 이에 대한 구체적인 개선효과를 계량화한 것은 아직 없다. 따라서 이러한 성과를 예상하기 위해서는 수도권 대기환경개선특별법에 따라 현재 추진되고 있는 수도권지역의 이산화탄소 감축효과를 참조할 필요가 있다.

2005년 수도권 대기환경관리 기본계획이 확정된 후 국립환경과학원의 「수도권 대기질 개선대책 추진에 따른 CO<sub>2</sub> 삭감효과 분석 연구」 결과 대기환경개선이 이산화탄소 배출량을 약 8% 저감시킬 수 있을 것으로 예상하였다. 이 연구에서는 일반 대기오염물질(먼지, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 등) 저감에 따른 온실가스의 부수적 저감효과를 처음으로 계량화하여 산출한 것으로 향후 대기오염물질과 온실가스 통합관리정책 수립에 중요한 근거가 됨을 알 수 있다.

이 연구결과에서 수도권지역의 대기환경개선 특별대책 추진에 따른 CO<sub>2</sub> 배출저감 효과는

연간 약 825만톤(2014년 기준)정도로써 수도권 지역 전체 이산화탄소 배출량(약 1억톤)의 8% 정도로 산정되었다. 이 중 대기배출사업장에서 저 NOx 버너 교체, 저공해 연료전환 정책 등에 따라 전체 삭감량의 약 86%인 708만톤이 삭감되고, 경유차의 청정연료 전환 등 이동오염원 분야에서 777천톤으로 약 9%, 집단에너지나 태양광 보급을 확대하는 면오염원 및 신재생에너지 분야에서 397천톤으로 약 4.8%가 삭감되는 것으로 산정되었다. 그 이외에 자동차 및 사업장에 대한 배출허용기준 강화, 교통수요 관리, 환경친화적인 에너지 및 도시계획관리 등으로 인한 저감효과를 고려할 경우 CO<sub>2</sub> 저감량은 훨씬 더 증가할 것이다. 일본의 경우 제1차 온실가스 의무 감축 기간인 2008~2012년의 5년 동안 배출총량을 1990년 보다 6% 삭감한 연간 11.85억톤으로 배출할당량을 확정했고, 이에 따라 2006년 4월에 각 배출원별 배출량을 경제산업성과 환경성에 보고하도록 함으로써 국가적인 온실가스 및 대기오염물질 배출량 DB 구축 작업도 병행하고 있다.

특히 충남지역은 온실가스 배출량의 비중이 높은 발전시설과 에너지 다소비 산업연소 비중이 수도권의 32% 보다 높으므로 선, 면 오염원보다 점오염원 대책중심으로 대기오염물질과 온실가스 저감을 병행한다면 훨씬 효과가 높을 것으로 판단되며, 점차 주요 배출원별 대기오염물질 및 온실가스 배출량에 대한 DB 구축 작업도 함께 추진함으로써 선진 환경행정의 기틀을 마련할 필요가 있다.

〈표 4-4〉 대기오염물질 및 온실가스 저감연계 대책

구분	오염원 구분		
	점	선	면
대기오염물질과 온실가스 연계 저감대책	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 석탄, B-C유를 LNG로 전환</li> <li>• 저NOx 버너로 보일러 교체</li> <li>• 화력발전소 건식 흡착제 흡수시스템 가동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저공해 자동차(CNG 버스, 하이브리드 차량 등) 보급</li> <li>• 운행차량에 대한 연료전환(LPG 개조 등)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 민수용 무연탄을 LNG로 전환</li> <li>• 도시가스공급 및 지역 난방 확대</li> <li>• 신재생에너지(CES) 보급 확대</li> <li>• 지열난방, 태양열급탕, 태양광 보급 확대</li> </ul>

## 5. 배출권 거래제도

대기오염물질 뿐만 아니라 온실가스의 저감을 위한 경제적 유인대책으로 배출권 거래제도 시행을 검토할 필요가 있는데, 지역별로 과학적인 자료에 근거하여 대기환경 여건이 수용할 만한 환경용량을 산정하고 합리적인 개선목표를 설정, 주요 배출시설에서 목표달성을 위한 경제적인 방안의 적용을 고려할 필요가 있다. 배출권 거래제도(Emission Trading)는 대기오염물질 및 온실가스 감축의무가 있는 사업장간에 배출 권한을 매매할 수 있는 기회를 부여함으로써 비용 효율적으로 감축목표를 달성하도록 지원하는 제도이다. 환경경제적 관점에서 이러한 제도의 적용 대상물질로는 먼지, 황산화물, 질산화물 이외에 이산화탄소 등 온실가스 종류를 들 수 있다. 대표적인 시행 방법으로는 총량관리 규제 방식을 통해 오염배출 허용권(credit) 매매를 배출시설 간에 거래하는 것이다. 배출권거래제도는 개별오염원에게 일정량의 오염물질을 배출할 수 있는 권리(emission right)를 인정해 주고 오염원들 간에 이러한 권리를 서로 양도하거나 매매할 수 있게 함으로써 최소의 사회적 비용으로 환경목표를 달성하는 제도이다.

배출권 거래제도는 오염문제의 근본적 원인이 환경에 대한 재산권의 부재 혹은 불완전성에 있다는 인식하에 환경 또는 오염행위에 대한 재산적 권리를 설계하고 이를 경제 주체간에 배분하여 거래토록 함으로써 효율적인 의사결정을 촉진하고자 하는 제도라 할 수 있다.

배출권 거래제도의 장점은 비용의 효율성 측면에서 삭감비용의 최소화라고 할 수 있는데, 거래비용이 없다는 가정 하에서 배출권 거래제도는 초기 배출부하 할당에 관계없이 목표로 설정한 환경의 질을 최소비용으로 달성할 수 있다. 또한 배출부과금에 비하여 형평성과 효율성의 조화를 이룰 가능성이 높고, 오염총량의 직접관리를 통해 환경의 질을 개선할 수 있어서 명확한 목표관리를 통하여 정책의 효과성 확보가 가능하고 정책시행의 사후평가가 용이하다. 기술개발 측면에서는 배출권 판매 및 매입업체 모두에 있어서 직접규제보다 기술개발의 유인이 높게 나타나며 효율적인 자원배분을 촉진하는 시장 메카니즘 역할을 수행한다는 점이다.

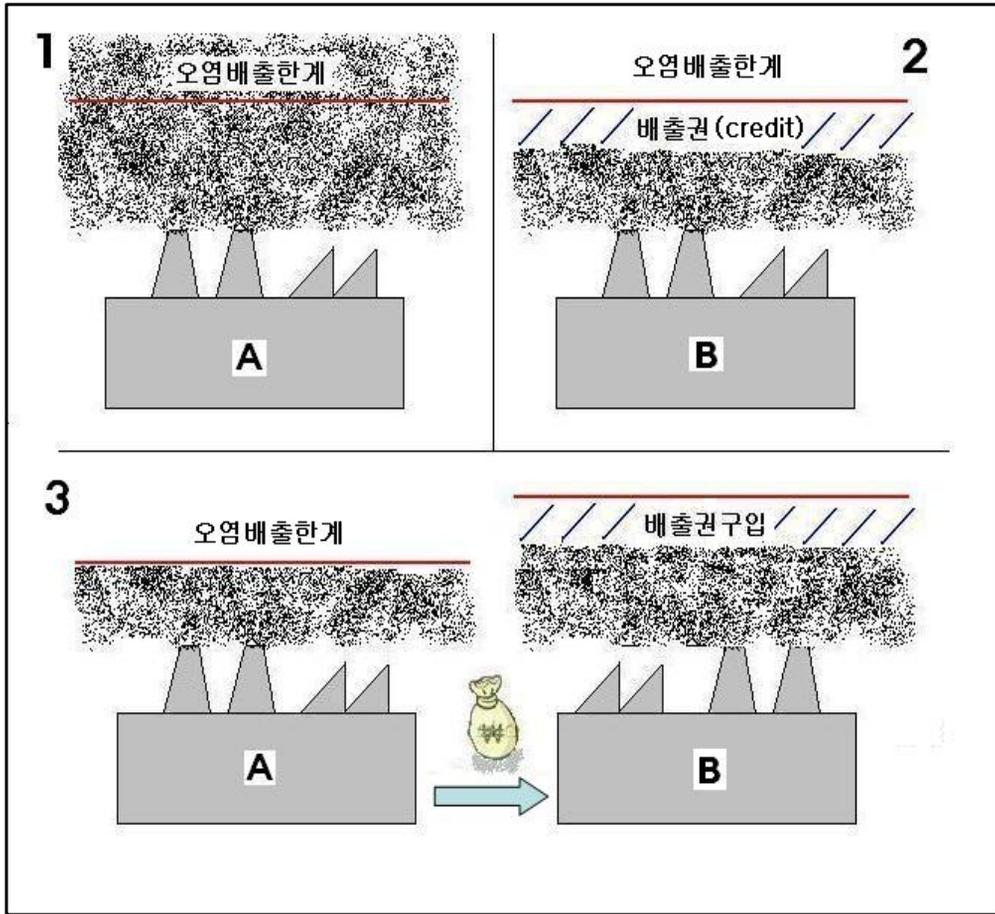
한편 배출권 거래제도의 단점은 행정비용과 거래비용이 크다는 것인데, 이 제도의 도입을 위해서는 직접규제 수단에 비해 정교한 배출량 산정 비교가 가능하도록 충분한 DB의 구축이 요구되며, 독과점에 의한 시장의 불안정성 등 경제주체가 당면하는 불확실성이 증가할 수 있다는 점이다.

현재 우리 지역의 온실가스 배출 기여도가 큰 배출시설이 자발적으로 온실가스를 줄여야

할 법적의무는 없다. 이러한 상황에서 주요 배출시설에 대해 온실가스 감축작업에 끌어들이려면 사전준비 작업에 대한 보상 즉, 선행행동(early action)에 대해 제도적으로 인정하고 보상하는 것이다. 이는 법적규제가 시행되기 전에 배출시설이 자발적으로 온실가스를 감축하도록 행정적으로 유도하는 효과가 있다.

온실가스 배출권거래제는 기후변화협약 실천을 전제로 한 교토의정서 제1차 의무공약기간(2008~2012)동안 온실가스를 의무적으로 감축해야 하는 영국과 일본 등 주요 선진국을 중심으로 활발히 시행되고 있는 제도로서, 국제사회로부터 제2차 공약기간에는(2013~2017) 구속적 형태의 온실가스 의무감축을 부담하여야 한다는 압력이 증가하고 있는 우리나라의 경우, 중앙정부 뿐만 아니라 지방정부에서도 온실가스 배출량의 약 65%를 차지하고 있는 사업장 배출시설에서의 조기 대응체계 구축이 매우 필요한 상황이다. 따라서 배출시설에서 배출권거래제의 노하우를 축적하도록 하고, 이를 관련 제도 정비와 DB 구축 등 사전 준비 작업이 요구되고 있다.

이를 위해서는 각 배출시설에 대해 환경용량을 고려한 오염배출한계를 설정하고, 오염배출한계 이내인 배출시설은 배출허용권을 갖게 되며, 이것을 다른 시설에 판매할 수 있다. 생산량을 늘려 오염배출량을 허용받기 위해서는 다른 배출원으로부터 배출권을 구입해야한다. 그렇게 되면 모든 배출원들이 오염배출량을 최소한으로 줄이기 위한 경제적 유인책을 고려하고 이에 따라 배출량을 줄이게 된다. 이러한 과정을 도시하면 다음과 같다.



(그림 4-3) 배출권 거래제도 개념도

## 제5장 결론 및 정책 제언

### 제1절 요약 및 결론

기후변화협약의 발효에 따른 국제적 환경규제의 강화와 함께 쾌적한 환경질에 대한 요구는 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 이러한 상황에서 대기오염물질 배출특성 분석은 대기환경관리 및 기후변화협약 시행에 따른 오염물질 저감을 위해 가장 기본적으로 필요한 내용이라 할 수 있다. 이것은 국가나 지방자치단체의 환경정책 수립 및 시행을 위한 과학적 신뢰도나 정책집행의 효율성과 직결되지만 오염물질 배출량 및 특성분석을 통한 대책수립은 초기단계 수준이다.

본 연구에서는 2005년을 기준으로 그간의 연구성과를 반영하고 충남지역의 대기오염물질 배출량과 특성조사를 통해 향후 적용이 예상되는 대기오염총량관리제의 시행, 기후변화협약에 따른 대기오염물질과 온실가스의 저감을 위한 대책수립에 기본적인 정책 수립자료 체계로 활용할 수 있도록 기본연구를 수행하였다. 이를 위해 충남지역에서 배출되는 종류별 대기오염물질의 목록을 구축하고 배출량 추정방법, 배출계수, 활동도 자료를 이용하여 대기오염 배출원의 특성분석을 통해 온실가스의 저감을 포함한 종합적인 대기오염 관리계획 수립에 기여하는 것을 목적으로 연구를 수행하였다.

대기오염물질 배출량 산정을 위해 배출원은 점, 선 오염원으로 구분하고 배출원 표준분류체계에 따른 대기오염 배출원은 농업 및 자연배출원을 제외한 9가지 영역으로 구분하여 연도별 배출 총량을 산정한 결과 대기오염물질 배출총량은 1999년 240,449톤에서 2006년에 256,394톤으로 연평균 0.95% 증가한 것으로 나타났다. 물질별로 CO, SO<sub>x</sub>는 저황유 공급정책과 청정연료 사용 등의 연료전환, 연소방법개선을 통한 열효율 개선 등에 의해 배출량이 각각 연평균 1.3%,

5.1%씩 감소하는 경향을 보였다.

반면, 대형 발전시설 및 산업배출시설의 증가, 자동차 교통량 등이 주요 배출원인 NOx는 연평균 5.7% 씩으로 증가율이 높고 전체 대기오염 물질에서 차지하는 비중도 1999년 36.9%에서 2006년 48.3%로 크게 증가하고 있다. 총먼지 TSP는 연평균 2.1%, 미세먼지 PM<sub>10</sub>은 에너지 산업연소와 도로이동오염원의 증가에 따라 연평균 1.4%의 꾸준한 증가추세를 보이고 있다. 주로 생산공정과 이동오염원에서 비롯되는 VOC 배출량은 연평균 1.2%로 증가하는 것으로 추계하였다.

에너지 산업연소 부문은 화력발전, 지역난방, 집단에너지 공급시설, 석유정제 등의 범주에 해당하는 부문으로 충청남도내 대기오염물질 배출의 대부분을 차지하고 있다. 특히 질산화물과 황산화물은 각각 전체 배출량의 61.2%와 62.7%를 차지하고 있다.

주요 대기오염물질인 먼지, 황산화물, 질산화물의 충청남도내 점오염원에 의한 공간분포는 서해 연안의 대형배출원과 대도시권 인근에 집중되고 있음을 알 수 있다. 점오염원을 제외한 선 및 면오염원에 의한 배출량 분포는 주로 교통량에 의해 좌우되는데 경부축의 천안-대전, 호남고속도로, 서해안고속도로 연결지역과 충남북부권에 집중되고 있음을 알 수 있다.

온실가스의 배출량 추정을 위한 부문별 구분은 각 산업분야의 연료연소 및 탈루성 물질을 포함하는 에너지, 분야별 산업공정, 농업, 폐기물처리, 산림저장 및 토양 배출흡수를 포함하는 임업 및 토지이용변화, 하·폐수 소각 매립 등의 폐기물처리 등으로 세분된다. 온실가스의 배출과 관련되는 전국GDP는 1999년 이후 연간 8.4%의 성장률을 보인 반면 충남의 지역총생산 GRDP 성장률은 10.9%로 전국 평균치보다 높은 성장률을 보였다. 이에 따라 온실가스의 배출량 증가율은 연간 6.1%, 도민 1인당 연간 온실가스 배출량은 이산화탄소로 환산하여 37~38톤 수준을 보이는 것으로 추계하였다.

대표적인 온실가스로 이산화탄소의 발생은 연료의 연소에서 비롯된다. 연료사용량을 근거로 IPCC의 연료별 배출계수를 적용하여 이산화탄소 배출량을 계산하였다. 벙커C유, 나프타, 경유 등은 주로 생산공정과 교통부문에서, 프로판과 부탄, 무연탄 등은 공공 및 가정부문에서 사용된다. 에너지 산업부문 중 화력발전에 의한 온실가스 배출량은 당진 6호기 3000MW, 태안 6호기 3000MW, 보령 6호기 3000MW, 서천 2호기 400MW, 보령복합화력 1800MW, 부곡

GS EPS 537MW, 대산현대 507MW, 대산시텍 72MW, 기타 내연기력 3MW등 발전용량 총 12,319MW에서 배출된다. 특히 충청남도내 온실가스 배출량 가운데 화력발전이 차지하는 비중이 78.8~80.4%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 해마다 그 비중이 약간씩 증가하고 있다.

발전, 산업, 교통, 공공, 가정 등 충청남도내 2005년의 이산화탄소로 환산한 온실가스 총배출량은 75,398천톤으로 전국 배출량 614,100천톤의 12.3%를 차지하였다.

지구온난화 현상을 근원적으로 해결하기 위해서는 대기 중의 온실가스를 안정적으로 유지시키는 것이 핵심인데 이 방법은 CO<sub>2</sub> 발생자체를 줄이는 이용효율 향상을 통한 화석에너지 사용의 줄임과 CO<sub>2</sub>가 전혀 발생되지 않는 풍력, 태양광 등과 같은 신·재생에너지의 보급 확대 및 발생된 CO<sub>2</sub>를 대기권에서 분리, 회수하여 영원히 격리·고정화 시키는 것 등으로 분류할 수 있다.

## 제2절 정책 제언

기후변화협약에 대응한 충청남도의 정책 기본방향으로는 지구 온난화 방지를 위한 국제적 노력 및 범정부적 노력에 동참하여 지속가능한 발전을 지향하는 충청남도의 위상을 높이고, 지역경제력 향상과 쾌적한 환경 공간을 유지하여 도민의 삶의 질을 향상하도록 한다. 에너지 이용의 효율성과 효과성을 향상시켜 온실가스 저배출형 경제구조로의 전환 연착륙을 통해 국제 환경규제 충격의 완화가 필요한데, 부문별로 화력발전과 산업공정에 의한 온실가스 배출비중이 높은 것을 감안하여 지역내 기업의 자발적 협약(VA)을 통한 참여 유도과 경제적 인센티브 제공방안을 강구한다.

기후변화협약 발효에 따른 에너지 사용규제 보다 도민에 대한 교육 및 홍보기능의 강화로 심리적 위축, 부정적 경제영향의 최소화를 위해 위기를 기회로 전환 극복할 수 있도록 충남지역내 온실가스 배출원 그룹별 종합 DB망 구축으로 각 분야별 총력 대비체계를 구축하도록 한다.

기후변화협약에 대응한 각 영역 주체별 역할 정립방안으로 중앙정부, 지방정부, 기업, 도민의 기후변화 대응을 위한 상호협력체제 구축한다. 특히 충청남도의 각 부서별 주요 활동과제를 도출하여 중앙정부 및 타 지방정부와의 협력, 관내 기업, 도민과의 협력방안을 마련한다.

각 영역 부문별 과제도출을 위해서는 발전, 산업, 교통, 가정, 공공부문 등 온실가스 배출현황, 전망, 대책 등에 대해 적용기간별로 단기, 중기, 장기적 대응과제를 도출하도록 한다. 연차별 시행은 상위계획인 기후변화협약 대응 관련 정부의 <제3차 정부종합대책> 내 지자체 대책 추진 지원과 연계 운용하도록 한다.

대기오염물질의 저감은 결국 에너지 이용의 효율성을 향상시키므로 부수적으로 온실가스 저감효과를 가져온다. 충남지역에서 이에 대한 구체적인 개선효과를 계량화한 것은 아직 없다. 그러나 대기오염물질의 배출저감이 가져오는 온실가스 감축 성과를 예상하기 위해서는 수도권 대기환경개선훈합법에 따라 현재 추진되고 있는 수도권지역의 이산화탄소 감축효과를 참조할 필요가 있다. 특히 충남지역은 온실가스 배출량의 비중이 높은 화력발전시설과 에너지 다소비 산업연소 비중이 85% 수준으로 수도권의 32% 보다 훨씬 높다. 따라서 선, 면 오염원보다 점오염원 대책중심으로 대기오염물질과 온실가스 저감을 병행한다면 상승효과가 기대된다.

환경경제적 관점에서 배출권 거래제도 적용 대상물질로는 먼지, 황산화물, 질산화물 이외에 온실가스로 이산화탄소 등에 대해 적용할 수 있고, 조만간 도입이 예상되는 총량관리 규제 방식에 대비할 필요가 있다. 현재 온실가스 배출 기여도가 큰 배출시설이 자발적으로 온실가스를 줄여야 할 법적의무는 없으나, 주요 배출시설에 대해 온실가스 감축작업이 요구되고 있어 사전준비 작업으로 선행행동에 대한 제도적 보상방법을 국가정책과 보조를 맞출 필요가 있다. 이는 법적규제가 시행되기 전에 배출시설이 자발적으로 온실가스를 감축하도록 행정적으로 유도하는 효과가 있다. 이를 위해 사업장 배출시설에서의 조기 대응체계 구축을 위해 배출권 거래제도의 노하우를 축적하고, DB 구축과 관련 제도 정비 등 사전 준비 작업이 요구되고 있다.

## 참고문헌

- 국립환경과학원, 대기배출원 조사프로그램 SODAC, 2006
- 국립환경과학원, 수도권 대기질 개선대책 추진에 따른 CO<sub>2</sub> 감축효과 분석, 2006
- 국립환경연구원, 대기오염물질 배출사업장에서의 이산화탄소 배출량 산정, 2001
- 국립환경연구원, 대기정책지원시스템, 2004
- 국립환경연구원, 도시대기질 개선에 관한 연구 III, 1991
- 국립환경연구원, 자동차 온실가스 배출량 산정, 2002
- 국립환경연구원, 자동차 부문의 온실가스 배출특성 조사 및 배출량 산정, 2005
- 기상청, 기후변화영향평가 및 적응 방안에 관한 연구, 2006
- 김동영, 수도권 대기오염물질 배출목록 2002, 경기개발연구원, 2003
- 대한상공회의소, 기후변화협약 제대로 보기, 2003
- 대한상공회의소, 배출권 거래제도의 도입방안, 1997
- 산업자원부/전력거래소, 제3차 전력수급기본계획, 2006
- 삼성전자, 지속가능경영보고서, 2006
- 삼성SDI, 지속가능경영보고서, 2006
- 서울시정개발연구원, 수도권 대기환경영향요인 분석 및 총량관리 정책개발 연구, 2004
- 에너지경제연구원, 국가온실가스 배출통계추이, 2006
- 에코프런티어, 서스테이너빌리티, 2006
- 외교통상부, 기후변화 국제세미나 및 민관포럼, 2004
- 충청남도, 제3차 충청남도 종합계획, 2000
- 충청남도, 제45회 충남통계연보, 2005
- 충청남도, 환경백서, 2005
- 한국대기환경학회, 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사, 2000

한국동서발전, 2005년 환경보고서, 2006  
 한국서부발전, 2005년 환경보고서, 2006  
 한국에너지기술연구원, 자동차 오염물질 배출량 산정연구, 2001  
 한국중부발전, 2005년 환경보고서, 2006  
 한국철도기술연구원, 디젤기관의 배출가스 대기오염 현황 및 저감방안에 관한 연구, 1997  
 환경관리공단, 환경부문 온실가스 배출량 조사 및 통계구축 I, 2002  
 환경관리공단, 온실가스배출량 조사 및 통계구축II, 2003  
 환경관리공단, 굴뚝TMS 우수운영사례집, 2005  
 환경관리공단, 굴뚝자동측정 관제센터, 2006  
 환경부, 국가 대기오염물질 배출량 추이, 2004  
 환경부, 대기보전 정책수립 지원시스템, 2003  
 환경부, 대기보전 정책수립 지원시스템, 2004  
 환경부, 대기환경보전법, 2006  
 환경부, 전국폐기물 발생 및 처리현황, 2005  
 환경부, 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사, 2000  
 BSI Management System, Greenhouse Gas Emission Verification, 2005  
 CORINAIR, Emission Inventory Guidebook, 1999  
 ETC/AEM, COPERT II Methodology and Emission Factor, 1997  
 Intereconomics, Climate Policy after 2012 - Cutting the Gordian Knot, 2006  
 USEPA, Compilation of Air Pollutants Emission Factor, 1995  
 USEPA, Emission Inventory Improvement Program, 1997  
 USEPA, Non-road Engine and Vehicle Emission Study-Report, 1991

# 부 록

〈표 1〉 충청남도내 굴뚝TMS 설치 현황

사업장명	업종	종별	굴뚝수	위치
보령화력발전본부	발전,전기 가스업	1	14	보령시 오천면 오포리 산212
현대중공업	발전,전기 가스업	1	4	서산시 대산읍 독곶리 634
현대오일뱅크	석유정제및석유화학	1	7	서산시 대산읍 대죽리 640-6
씨텍	발전,전기 가스업	1	2	서산시 대산읍 대죽리 679-7
서광하이테크	폐기물중간처리	1	1	서산시 대산읍 대죽리 753
SPI서산코젠	발전,전기 가스업	1	1	서산시 대산읍 독곶리 411-4
금비	비금속광물제조	1	2	아산시 실옥동 343-2
창광실업	폐기물중간처리	2	1	천안시 성거읍 천흥리 315-2
현대자동차	기계제품제조	1	1	아산시 인주면 금성리 123
동화기업(아산)	목재펠트	1	1	아산시 인주면 문방리 186
한솔제지(천안)	종이제품제조	1	1	천안시 광덕면 행정리 40-1
안성유리공업	비금속광물제조	1	2	천안시 입장면 도림리 330
삼광유리공업	비금속광물제조	1	2	천안시 입장면 기로리 253
천안시 환경에너지	생활폐기물소각	1	1	천안시 백석동 527-6
한국타이어(금산)	기타	1	1	금산군 제원면 명암리 433
(주)영홍산업환경	폐기물중간처리	1	1	천안시 목천읍 소사리 187-7
당진화력발전처	발전,전기 가스업	1	6	당진군 석문면 교로리 974
현대제철(주)	1차금속제조	1	3	당진군 송악면 고대리 167-32

사업장명	업종	종별	굴뚝수	위치
서천화력발전처	발전,전기 가스업	1	2	서천군 서면 마량리 275-5
풍농	비료제조업	1	3	서천군 장항읍 신창리 379
한솔제지(장항)	종이제품제조	1	1	서천군 장항읍 화천리 481-8
풍만제지	종이제품제조	1	1	연기군 남면 보통리 319-1
(주)케이씨씨(소정)	비금속광물제조	1	1	연기군 전의면 유천리 935
태안화력발전처	발전,전기 가스업	1	6	태안군 원북면 방갈리 831
한국하니스	비금속광물제조	1	1	당진군 송악면 복운리 1668
삼성코닝정밀유리(주)	비금속광물제조	1	11	아산시 탕정면 명암1리 544
공주시생활폐기물 소각처리사업소	생활폐기물소각	1	1	공주시 검상동 산7-4
(주)태평양 장항공장	비금속광물제조	2	1	서천군 장항읍 창선리 303-18
태안군소각장	생활폐기물소각	1	1	태안군 태안읍 남문리 90
예산군생활폐기물소각시설	생활폐기물소각	1	1	예산군 대흥면 대를리 산51-1
논산그린환경	생활폐기물소각	1	1	논산시 은진면 시묘리 384
(주)청석환경개발	폐기물중간처리	1	1	연기군 전동면 송성리 668
새한환경(주)	폐기물중간처리	1	1	천안시 광덕면 대평리 163-1
보령그린환경	생활폐기물소각	1	1	보령시 남곡동 산 127-1
계룡종합폐기물처리	생활폐기물소각	1	1	계룡시 두마면 입암리 516
합계		35	86	

자료 : 환경관리공단 중부권관제센터, 내부자료, 2006

〈표 2〉 충청남도내 건설기계 등록현황

구분	등록대수	증가대수	증가율
2000년	15,531	543	3.5%
2001년	15,789	258	1.7%
2002년	16,498	709	4.5%
2003년	17,914	1,416	8.5%
2004년	19,564	1,650	9.2%
2005년	20,858	1,294	6.6%

〈표 3〉 지역별 건설기계 등록현황

구분	계	관용	자가용	영업용
계	20,957	192	9,161	11,604
천안시	4,372	20	1,525	2,827
공주시	1,534	33	550	951
보령시	1,442	9	531	902
아산시	2,129	14	1,332	783
서산시	2,034	11	723	1,300
논산시	1,350	16	619	715
계룡시	97	1	34	62
금산군	527	10	417	100
연기군	834	3	626	205
부여군	1,031	10	435	586
서천군	621	1	300	320
청양군	211	10	180	21
홍성군	924	11	440	473
예산군	1,680	24	482	1,174
태안군	515	10	177	328
당진군	1,656	9	790	857

자료 : 충청남도, 행정자료, 2006

〈표 4〉 충청남도내 종류별 건설기계 등록현황

구 분	계	관용	자가용	영업용
계	20,957	192	9,161	11,604
불도우저 bulldozer	318	8	43	267
굴삭기 back hoe	7,272	73	1,807	5,392
로우더 payloader	1,060	36	774	250
지게차 burden carrier	6,411	25	5,545	841
덤프트럭 dump truck	2,956	36	303	2,617
기중기 crane	406	3	101	302
모우터그레이더 motor grader	37	2	3	32
로올러 roller	320	4	83	233
콘크리트벙칭플랜트 concrete batching plant	2	0	1	1
콘크리트피니셔 concrete finisher	5	0	2	3
콘크리트믹서트럭 concrete mixer truck	1,521	0	242	1,279
콘크리트펌프 concrete pump	278	0	5	273
아스팔트믹싱플랜트 asphalt mixing plant	2	0	1	1
아스팔트피니셔 asphalt finisher	27	0	8	19
아스팔트살포기 asphalt dispenser	7	0	5	2
쇄석기 crusher	35	0	25	10
공기압축기 air compressor	154	0	110	44
천공기 perforator	100	0	76	24
항타 및 항발기 mallet and pile driver	7	0	3	4
사리채취기 sand collector	5	0	5	0
준설선 dredger	25	0	18	7
특수건설기계 specific equipment	9	5	1	3

자료 : 충청남도, 행정자료, 2006

■ 집 필 자 ■

연구책임 · 정종관 연구위원  
공동연구 · 엄태인 한밭대학교 교수

충발연 2006-18 · 기후변화협약 대응을 위한 대기오염물질 배출특성 분석

글쓴이 · 정종관 · 엄태인 / 발행자 · 김용웅 / 발행처 · 충남발전연구원  
인쇄 · 2006년 10월 31일 / 발행 · 2006년 10월 31일  
주소 · 대전광역시 중구 용두동 112-1 (301-745)  
전화 · 042-820-1181(환경생태연구팀) / 팩스 · 042-820-1129  
ISBN · 978-89-89552-88-8 93530  
<http://www.cdi.re.kr>

©2006. 충남발전연구원

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명기하면 자유로이 인용할 수 있습니다.  
무단전재하거나 복사, 유통시키면 법에 저촉됩니다.
- 이 연구는 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.