

ISSUE PAPER

2018 02호

기후변화법제연구사업
이슈페이퍼

김승도 한림대학교 교수

대기오염물질과 온실가스의 통합관리



한국법제연구원
KOREA LEGISLATION RESEARCH INSTITUTE

ISSUE PAPER

2018 02호

기후변화법제연구사업
이슈페이퍼

김승도 한림대학교 교수

대기오염물질과 온실가스의 통합관리



한국법제연구원
KOREA LEGISLATION RESEARCH INSTITUTE

기후변화 완화 및 에너지 전환에 관한 국제 동향과 우리나라에의 시사점



제1호 : 파리협정 후속협상의 내용과 동향
(이재형 고려대학교 법학전문대학원 교수)

제2호 : 대기오염물질과 온실가스의 통합관리
(김승도 한림대학교 교수)

제3호 : 기후변화 시대 재생에너지 확대를 위한
에너지 규제 패러다임의 변화: 미국 뉴욕주
Reform the Energy Vision(REV)
개혁을 중심으로
(박시원 강원대학교 법학전문대학원 교수)

대기오염물질과 온실가스의 통합관리

김승도 한림대학교 교수

CONTENTS

I. 들어가며

1. 대기오염과 온실가스 현황 02
2. 대기오염과 기후변화 영향 및 피해 03
3. 대기오염물질과 온실가스 감축목표 04
4. 대기오염물질과 온실가스 통합관리 가능성 04

II. 통합관리는 왜 필요한가?

1. 대기오염물질과 온실가스 연관성 08
2. 통합관리 효과 09
3. 통합관리 성과 분석 10

III. 통합관리 대상은 무엇인가?

IV. 통합관리는 어떻게 해야 하는가?

1. 영국의 통합관리 사례 22
2. 통합관리 추진 전략 28

V. 나가는 글

참고문헌 34



I. 들어가며



I. 들어가며

1. 대기오염과 온실가스 현황

▶ 최근 국내 미세먼지 지표가 최악을 보이면서 대기 환경 개선에 대한 국민적 요구가 높아짐과 동시에 인간 활동으로 배출된 온실가스가 기후변화를 초래한다는 사실이 밝혀지면서 온실가스 감축에 관한 관심이 높아지고 있음.

• 특히 우리나라는 높은 온실가스 배출로 인하여 온실가스 감축에 대한 대내·외적 압박에 직면하고 있음.

▶ (대기오염 현황) 2016년 기준 국내 대기오염물질의 연평균 농도는 이산화황(SO₂)가 0.0050ppm, 이산화질소(NO₂)는 0.023ppm, 오존(O₃)은 0.027ppm, 일산화탄소(CO)는 0.5ppm, PM₁₀은 47 μ g/m³, PM_{2.5}는 26 μ g/m³, Pb는 0.024 μ g/m³로서 PM_{2.5}¹⁾를 제외한 나머지 대기오염물질은 환경기준보다 낮은 상황이며 지난 5년간 큰 변화 없이 안정된 양상을 보임. 단지 오존의 경우 2011년에 비해 0.003ppm 증가하였음[1].

• PM₁₀²⁾과 PM_{2.5}의 대기 중 농도는 국내 환경기준보다 다소 낮거나 높은 상황이나[1], WHO의 PM₁₀과 PM_{2.5} 기준이 각각 20 μ g/m³, 10 μ g/m³인 점을 고려한다면 국내 미세먼지의 대기 중 농도는 WHO 기준 보다 두 배 이상 높으므로 우려할만한 수준임.

▶ (기후변화 현황) 지구온난화를 유발하는 대기 중 온실가스는 산업혁명 이후 화석연료 연소, 산림 파괴 등의 인간 활동에 기인하여 크게 증가하고 있으며, 지난 112년 동안(1901~2012년) 지구의 평균 기온은 0.89 $^{\circ}$ C 상승하였음. 현재와 같은 기온 상승률이 유지된다면 21세기 말 지구 평균 기온은 3.7 $^{\circ}$ C, 한반도는 이보다 훨씬 높은 최대 6 $^{\circ}$ C까지 상승하리라 예측함[2].

▶ (온실가스 배출현황) 2015년 기준 우리나라 배출량(LULUCF³⁾ 제외)은 690.2백만 tCO₂eq이며, 부문별 배출 비중은 에너지 부문 87.1%, 산업공정 부문 7.6%, 농축산 부문 3.0%, 폐기물 부문 2.4%로 에너지와 산업 부문 배출 비중이 높은 선진국형 배출 양상을 보임[2]. 아래에서 보는 것처럼 우리나라의 배출 관련 지표들이 모두 상위권에 속하므로 온실가스 배출에 대한 책임도 높음.

1) PM_{2.5}에서 PM은 Particulate Matter의 약자로서 미세먼지를 의미하며, PM_{2.5}는 미세먼지 중에서 입자크기(지름)가 2.5 μ m 이하의 초미세 먼지로서 국내 환경기준은 25 μ g/m³

2) PM₁₀은 미세먼지 중에서 입자크기(지름)가 20 μ m 이하의 미세먼지로서 국내 환경기준은 50 μ g/m³

3) Land Use, Land-use Change and Forestry

- **(총배출량)** 2015년 기준 우리나라 온실가스 총배출량은 United Nations Framework Convention on Climate Change(이하 UNFCCC, 기후변화협약) 의무감축국(부속서 I 당사국)과 비교하면 6위, 비부속서 I 당사국도 포함하면 전 세계 12위이며, 35개 OECD 회원국을 대상으로 본다면 6위를 차지하고 있음[3].
 - **(일 인당 배출량)** 2013년을 기준으로 한 일 인당 온실가스 배출량은 11.4tCO₂eq로서 세계 29위를 기록하고 있음[4].
 - **(누적배출량)** World Resource Institute(이하 WR)에 따르면 1850년부터 2002년까지의 우리나라 누적배출량은 전 세계 누적배출량 중 0.8%로 세계 23위를 차지하고 있음[5].
- ▶ **(기후변화대응 평가 현황)** 앞선 지표에서 알 수 있듯이 우리나라는 온실가스 배출에 대한 책임이 높은 반면에 비정부기구인 저먼워치(Germanwatch)가 2017년에 발표한 CCP(Climate Change Performance Index; 기후변화대응지수) 2018에 따르면 우리나라의 기후변화 대응 성적은 '매우 부족'으로 조사 대상 60개국 중에서 최하위(57위) 수준으로 평가하였음[6].

2. 대기오염과 기후변화 영향 및 피해

- ▶ 일반적으로 대기오염물질이 환경 및 인체에 미치는 영향과 피해는 지역적·단기적으로 나타나지만, 기후변화에 의한 영향과 피해는 글로벌·장기적이라는 특성을 보임.
- 대기오염 영향과 피해
 - WHO(세계보건기구)는 연간 7백만 명이 대기오염과 관련되어 조기 사망하고 있으며, 그중에서 초미세먼지(PM_{2.5})와 연관된 조기 사망자 수는 3.7백만 명에 이른다고 보고[7].
 - 전 세계 절반 이상의 국가에서 대기오염물질 관련 조기 사망으로 인한 경제적 비용은 GDP의 10% 이상이나 되며, 2010년 기준 유럽의 대기오염물질 관련 비용은 16천억 불에 달할 정도로 심각한 수준[8].
 - 기후변화 영향과 피해
 - 스톤 보고서[9]에서는 기후변화의 피해 비용이 전 세계 일 인당 평균 소비 수준의 5~20%에 이르러 경제적 파탄에 직면하리라 경고하였으며, 2007년 다보스포럼에서는 기후변화로 인해 세계 경제는 매년 GDP의 5% 손실을 예고하였음.
 - 2012년에 비정부기구인 다라(DARA)에서 발표한 자료[9]에 따르면 기후변화로 인해 2010년 세계 GDP의 1.7% 손실이 발생했으며, 2030년에는 3.2% 손실을 예상하고 있음. 또한, 기후변화로 인한 사망자 수는 2010년에 400,000명이고, 2030년에는 632,000명으로 추정하고 있음.

3. 대기오염물질과 온실가스 감축목표

▶ 최근 미세먼지에 대한 국민적 우려가 증폭되면서 정부는 서둘러 관련 대책을 발표했으며, 온실가스는 신규 기후체제가 시작되면서 우리나라는 자발적인 온실가스 감축목표를 UNFCCC에 제출하였고, 국제 사회에 공표하였음.

▶ (미세먼지 감축목표) 최근 미세먼지가 연일 최악의 상황을 맞이하면서 정부는 2017년 9월에 '미세먼지 종합 관리대책'을 발표하여 국내 미세먼지 배출량 감축목표를 다음과 같이 제시하였음[11].

- 4대 핵심 배출원(발전, 산업, 수송, 생활)에서 집중적으로 감축하여, 2014년 대비 2019년까지 12.6%, 2022년까지 31.9%의 감축률을 달성하여 총 103,273톤 감축

▶ (온실가스 감축목표) 2015년에 12월 파리에서 개최된 기후변화협약 제21차 당사국 총회(COP21)에서 '파리협정(Paris Agreement)'을 채택하였음.

- 파리협정의 목표로서 금세기말 지구 온도를 산업화 이전의 온도보다 2°C 이하⁴⁾로 온도 상승을 제한한다는 데 합의했으며, 이를 위해 모든 당사국이 온실가스 감축에 자발적으로 참여하는데 합의
- 우리나라도 2030년의 온실가스 예상 배출량(Business-As-Usual; 이하 BAU) 대비하여 37% 감축을 목표로 설정하였고, 감축목표 달성을 위한 예상 감축량은 315백만 tCO₂eq임.

– 국내 배출원의 온실가스 감축은 BAU 대비 25.7%로서 219백만 tCO₂eq을 목표로 설정하였고, 나머지는 국외에서 탄소배출권 구매를 통해 감축한다고 계획을 수립하였으며, 국외 감축분은 BAU 대비 11.3%로서 96백만 tCO₂eq임.

– 높은 국외 감축분에 대한 논란이 거세지면서 최근 정부는 국내 감축 기여분을 획기적으로 상향 조정할 감축 로드맵을 구상하고 있으며, 사회적 합의를 거쳐 곧 확정되리라 기대됨.

4. 대기오염물질과 온실가스 통합관리 가능성

▶ 현재 국내 정책은 대기오염물질과 온실가스를 따로 관리하고 있으나, UNFCCC는 주요 대기오염물질을 간접 온실가스로 규정하면서 두 물질의 연관성과 통합관리 필요성을 강조하였음.

4) 2016년 기준 대기 중 CO₂ 농도는 403ppm이며(WMO(2017), WMO Greenhouse gas Bulletin), 2°C 온도 상승 목표 달성을 위해서는 금 세기말 CO₂ 농도는 450ppm 이하를 유지해야 함(IPCC(2014), 제 5차 평가보고서).

- ▶ 특히 대기오염과 기후변화는 동일 또는 유사 원인에 기반을 둔 경우가 많으므로 통합관리를 통해 비용 효과적으로 목표 달성이 가능할 수 있음.

- ▶ 본 글에서는 다음과 같은 세 가지 관점에서의 대기오염물질과 온실가스의 통합관리에 대해 논의해 볼 예정임.

- ① 통합관리는 왜 필요한가?
- ② 통합관리 대상은 무엇인가?
- ③ 통합관리는 어떻게 해야 하는가?



II. 통합관리는 왜 필요한가?

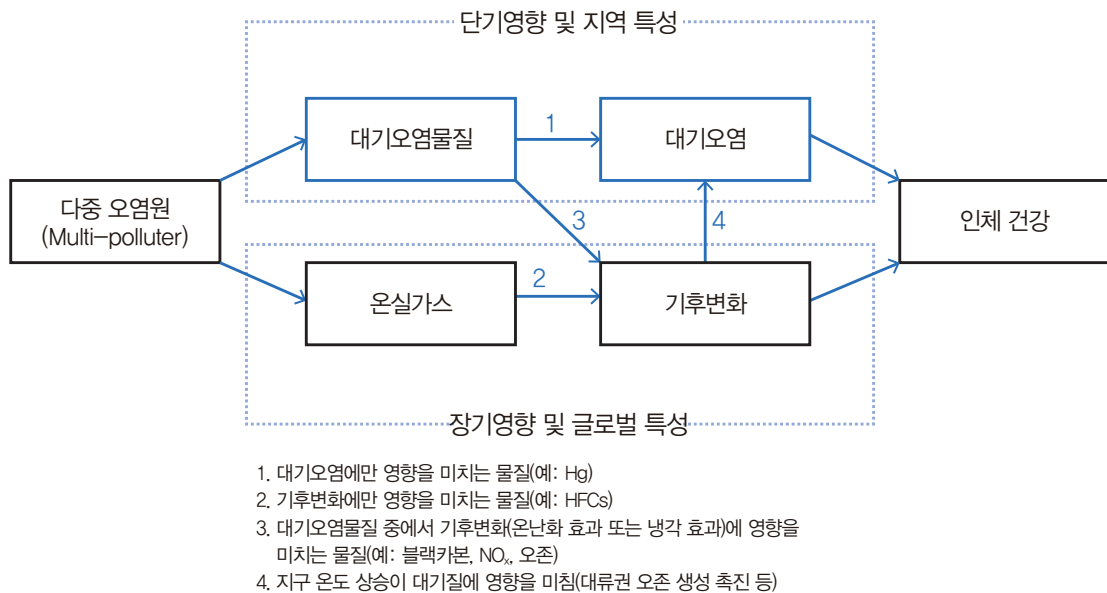


II. 통합관리는 왜 필요한가?

1. 대기오염물질과 온실가스 연관성

➤ (동일 배출원) [그림 1]은 동일 배출원⁵⁾에서 발생하는 대기오염물질과 온실가스가 어떤 상관관계를 보이며, 대기오염과 기후변화에 어떻게 영향을 미치는지를 간략히 도시하고 있음.

- ‘다중 오염원’은 대기오염물질과 온실가스를 같이 배출하는 특성이 있으며, ‘다중 오염원’에서 배출되는 물질은 크게 1) 대기오염에만 영향을 미치는 물질, 2) 기후변화에만 영향을 미치는 물질, 3) 동시에 대기오염과 기후변화에 영향을 미치는 물질로 구분할 수 있음.
- 통합관리 효과는 대기오염과 기후변화를 같이 유발하는 물질 관리에서 거둘 수 있음.



[그림 1] 대기오염물질과 온실가스 상관관계

출처: West(2013), Co-benefits of mitigation global greenhouse gas emissions for future air quality and human health에서 일부 변경

5) 대기오염물질과 온실가스를 동시에 배출하는 다중 오염원은 대부분 화석연료 연소 공정과 밀접한 관련이 있음.

▶ (간접 온실가스) Intergovernmental Panel on Climate Change(이하 IPCC)와 UNFCCC는 주요 대기오염물질인 CO, 질소산화물(NOx), NMVOC(Non-Methane Volatile Organic Compounds; 비메탄 휘발성 유기화합물), SO₂를 간접 온실가스로 규정하여 대기오염물질과 온실가스가 관련성이 높음을 밝혔음.

- UNFCCC는 부속서 I 당사국에게 직접 온실가스⁶⁾뿐만 아니라 간접 온실가스의 인벤토리도 보고토록 요구하고 있으며, 간접 온실가스의 감축도 권장

▶ (기후변화의 대기질 영향) 지구 온도 상승은 대류권 오존 형성을 촉진하고, 여름철 스모그 발생 빈도와 환경피해 잠재력도 높아 기후변화가 대기질에도 지대한 영향을 미친다는 사실이 밝혀졌음.

2. 통합관리 효과

▶ 대기오염물질과 온실가스를 통합관리는 긍정적 효과만 있는 것이 아니라 부정적 효과도 있어 정책 및 제도 수립 단계에서 세밀한 분석이 필요함.

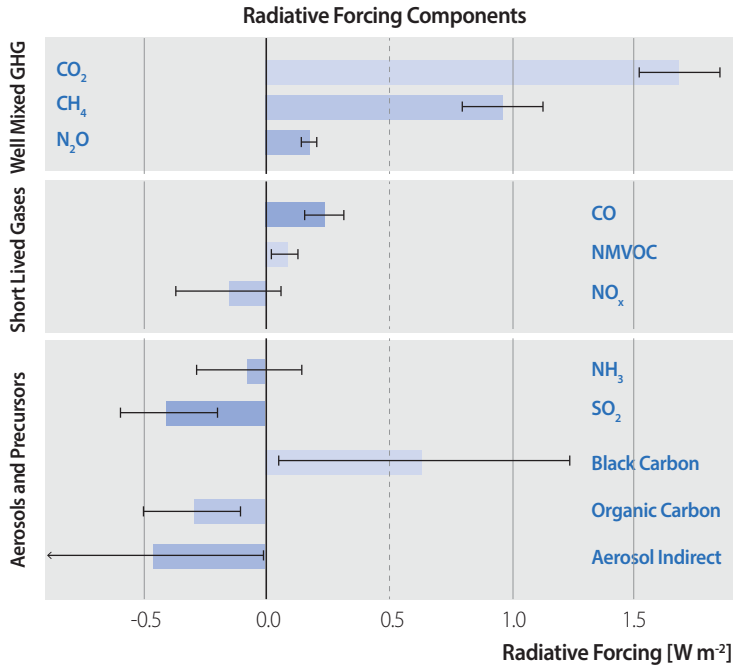
▶ 긍정적 효과

- (감축 효과) 온실가스 감축이 대기오염물질의 감축도 동시에 달성할 수 있는 순기능(Synergy Effect 또는 Co-benefit)이 있음.
- (정책 효율성 제고) 대기오염물질과 온실가스의 유사 감축정책이 독립적으로 적용되는 정책 중복성의 문제 해소를 통한 정책 효율성 제고

▶ 부정적 효과

- (역기능; Trade-off 또는 Adverse Side-effect) 온실가스 감축이 대기오염물질의 배출을 증가시키는 또는 대기오염물질 감축이 온실가스 배출을 증가시키는 사례가 일부 배출원에서 목격됨. 즉 대기오염물질과 온실가스가 반비례 관계에 있음.
 - (냉각 효과) 대기오염물질과 온실가스 발생이 비례 관계에 있더라도 일부 대기오염물질은 지구 온도를 낮추는 냉각 효과(Cooling Effect)가 있어 이러한 대기오염물질 감축은 지구온난화 측면에서만 본다면 부정적 효과라고 할 수 있음.
- CO, NMVOC, 블랙카본(Black Carbon)은 온난화 효과(Warming Effect)를 일으키지만, NOx, 암모니아(NH₃), SO₂, 유기탄소는 '냉각 효과(Cooling Effect)'가 있음(그림 2).

6) 온실효과에 직접 기여 하는 물질



[그림 2] 대기오염물질별 강제복사력

출처: IPCC(2014), 제5차 평가보고서

- ▶ 통합관리는 상반되는 효과가 존재하므로 정책 및 제도 설계·도입단계에서 환경성 및 경제성 분석과 더불어 인간 건강에 미치는 영향도 조사하여 통합관리의 적절성을 검증할 필요가 있음.

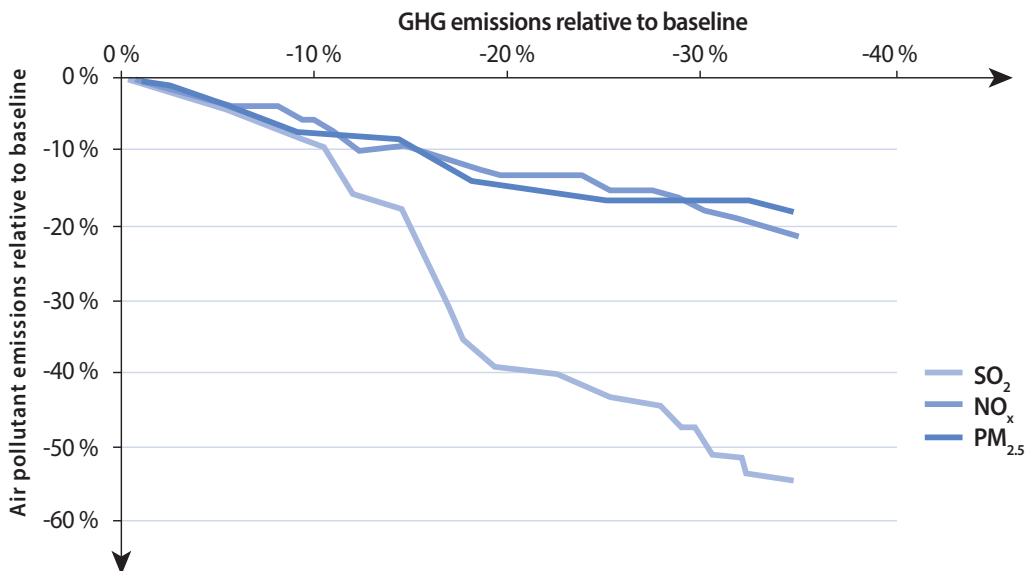
3. 통합관리 성과 분석

- ▶ 통합관리 적절성을 최근에 보고된 자료를 토대로 분석하였고, 통합관리의 성과를 배출량 감소, 경제적 측면, 인체 건강 측면에서 살펴보았음.
- (배출량 감소) 2100년에 대기 중 이산화탄소 농도를 450ppm⁷⁾에 도달하기 위한 온실가스 감축 시나리오와 기준 시나리오⁸⁾를 비교해 보면 감축 시나리오의 경우에 대기오염물질의 감축도 두드러진 것으로 나타났음[8].

7) 금세기말 지구 기후 온도를 산업화 이전보다 2℃ 이하로 상승 제한을 위해 필요한 이산화탄소 농도

8) 2005년의 대기오염물질 관리정책과 온실가스 감축정책이 현재 상태를 유지한다는 시나리오

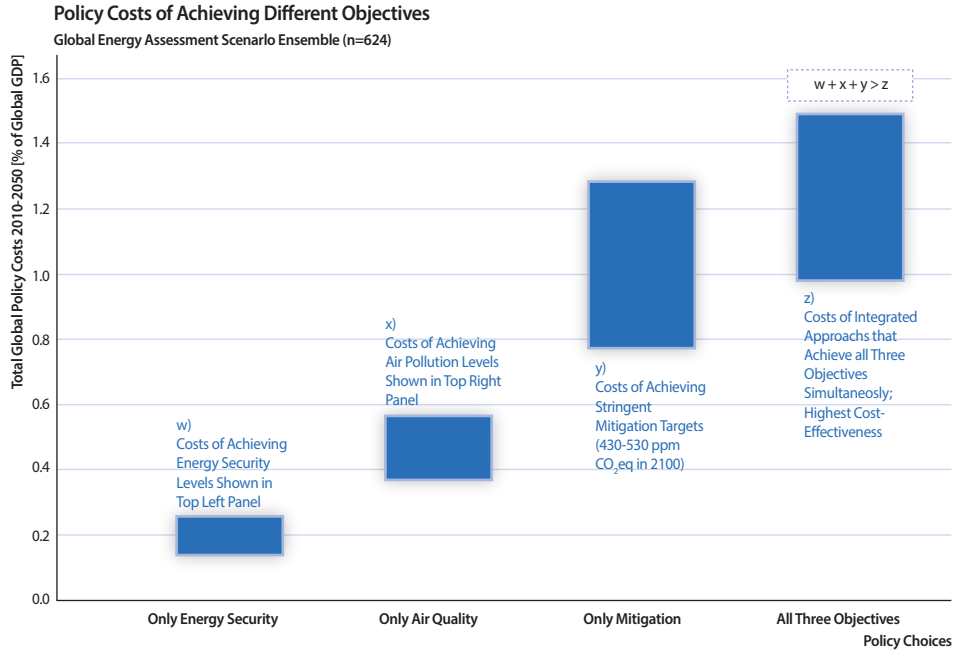
- 2100년에 파리협정의 목표인 지구 기후 온도 상승 제한인 2°C를 충족하는 데 필요한 온실가스 감축정책 적용만으로도 블랙카본은 약 2배 감소, 이산화황은 약 3배 감소 달성 가능[8]
- IIASA(2009)가 GAINS 모델을 활용하여 UNFCCC의 부속서 I 국가들의 1990년 대비 2020년의 온실가스 감축이 대기오염물질 감축에 어떤 영향을 미치는지 예측하였음[13].
- 온실가스 감축과 연동하여 주요 대기오염물질인 NO_x, PM_{2.5}, SO₂의 배출량도 감소함을 보여주고 있음(그림 3).
- 온실가스 감축에 대한 NO_x와 PM_{2.5}의 감축 민감도는 75% 수준이었으나, SO₂의 민감도는 160%로서 감축 효과가 탁월함을 알 수 있음(그림 3). 그러나 SO₂는 '냉각효과'를 일으키는 물질로서 대기 중 SO₂ 농도 감소는 기후변화에 부정적 효과로 작용함.



[그림 3] 온실가스 감축과 대기오염물질 배출량 감소의 상관관계

출처: Swedish EPA(2009), Air Pollution and Climate Change, Two sides of the same coin?

- 기존 연구[8,13]에 따르면 온실가스 감축이 주요 대기오염물질의 감소에도 뚜렷이 이바지한다고 결론을 내렸기 때문에 통합관리가 적절하다고 판단됨. “비록 일부 대기오염물질의 감소가 냉각 효과에 부정적으로 작용하나, 온실가스 감축으로 인한 온난화의 완화가 이러한 냉각 효과의 축소를 압도한다고 풀이됨”
- (경제성 증가) IPCC 5차 보고서(2014)에서는 대기오염물질과 온실가스의 통합관리가 독립적으로 관리하는 것보다 비용적인 측면에서도 유리하다고 보고하였음(그림 4).



[그림 4] 2050년 목표 달성을 위한 개별 정책과 통합정책 적용에 따른 2010~2050년의 블랙카본과 이산화황 감축비용 비교

출처: IPCC(2014), 제5차 평가보고서

- (인간 건강) OECD(2009)는 2050년까지 2005년에 대비하여 온실가스를 50% 삭감하면 대기오염물질에 의한 조기 사망률이 2050년에 20~40%가 줄어들 것으로 예측하였음[15].
- 대기오염물질과 온실가스를 동시에 배출하는 오염원의 경우 각 물질을 독립적으로 관리하는 것보다 통합관리가 인체 건강에 미치는 영향뿐만 아니라 환경적·경제적 측면에서도 유리하다고 밝혀졌음[8,13,14,15].



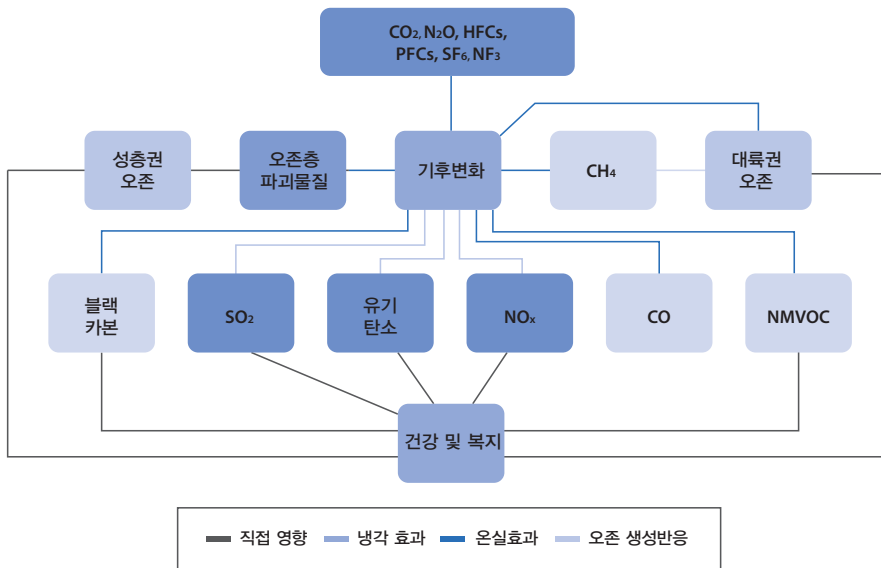
Ⅲ. 통합관리 대상은 무엇인가?



III. 통합관리 대상은 무엇인가?

➤ (기후변화 유발물질 영향) 기후변화 유발물질은 온난화 효과 또는 냉각 효과를 일으키는 물질로서, [그림 5]에서 보는 것처럼 모든 기후변화 유발물질이 인체 건강에 악영향을 미치는 것으로 나타났음.

- 교토의정서 규정 7개 온실가스(표 2), 오존층 파괴물질(CFCs, 프레온 가스), 블랙카본, CO, NMVOC는 온난화 효과가 있는 반면에 NO_x, SO₂, 유기탄소는 냉각 효과가 있음.
- [그림 5]에서 보는 것처럼 프레온 가스는 온실가스이면서 오존층 파괴물질로서 성층권의 오존을 파괴함으로써 태양광 중의 자외선이 지표면에 도달할 수 있도록 하여 인간 건강에 치명적 결과를 초래함.
- 메탄(CH₄)은 대표적 온실가스이며, 대류권 오존 전구물질임. 대류권 오존은 대기오염물질이면서 온실가스로 알려져 있음.



[그림 5] 기후변화 유발물질이 외부 인자에 미치는 영향

➤ 통합관리를 위해서는 대기오염물질과 온실가스의 종류와 특성에 대해서 살펴볼 필요가 있음.

➤ 대기오염물질 개요

- (정의) 대기환경보전법에 따르면 “독성, 생태계에 미치는 영향, 배출량, 환경정책기본법 제12조에 따른 환경기준에 대비한 오염도를 심사·평가한 결과 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상 물질”을 대기오염물질로 정의하고 있음.

- (종류) 대기환경보전법에서 대기오염물질은 SO₂, CO, NO₂ 등 가스상 물질(악취 물질 포함)과 먼지 등 입자상 물질을 포함한 총 64종으로 정하고 있으며, 이 중 카드뮴 등 35종을 특정 대기 유해물질로 정하여 관리하고 있음.
- (배출원) 대기오염물질의 주요 배출원은 아래 표에서 보는 것과 같음.

〈표 1〉 대기오염물질의 종류와 주요 배출원

대기오염물질 종류	주요 배출원
아황산가스(SO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> • 황 함유 연료의 연소 • 금속 제련공정 • 기타 산업공정
일산화탄소(CO)	<ul style="list-style-type: none"> • 수송부문 • 산업공정 • 비수송부문의 연료연소 • 산불과 같은 자연발생 • 주방, 담배연기, 지역난방 등
이산화질소(NO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 • 화력발전 등의 고온 연소공정 • 화학물질 제조공정 • 토양 중 세균에 의한 자연적 생성
오존(O ₃)	<ul style="list-style-type: none"> • 2차 오염물질로 전구물질인 휘발성유기화합물은 자동차, 화학공장, 정유공장 등 산업시설에서 발생
미세먼지	<ul style="list-style-type: none"> • 사업장 연소 • 자동차 연료 연소 • 생물성 연소과정
납(Pb)	<ul style="list-style-type: none"> • 금속공정(철, 비철 제련공장 및 배터리 제조업체)
벤젠	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 배출가스 • 석유의 저장 및 운송 중 증발

❖ 온실가스 개요

- (정의) 저탄소 녹색성장 기본법[16]에 따르면 “적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기 중의 가스 상태의 물질”로 정의하고 있음.
 - (종류) 온실가스는 지구온난화에 직접 영향을 미치는 직접 온실가스와 직접 온실가스의 전구물질인 간접 온실가스로 구분할 수 있음.
- (직접 온실가스) 교토의정서에서는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆), 삼불화질소(NF₃)⁹⁾를 규정하고 있으며, 이외에도 UNFCCC에서 온실가스로 규정하지는 않고 있으나, 블랙카본, 대류권 오존(Tropospheric Ozone), 염화불화탄소(CFCs; 프레온 가스)¹⁰⁾, H₂O¹¹⁾도

9) 2차 공약 기간에서 직접 온실가스로 규정

10) 몬트리올 의정서에서 성층권 오존 파괴물질로 알려져 이미 규제받고 있음.

11) 자연계 순환물질로 알려져 인위적 온실가스에서는 제외

주요 직접 온실가스로 알려졌다. 우리나라에서는 교토의정서 1차 공약 기간(2008~2012년)에서 규정한 6개 물질¹²⁾을 직접 온실가스로 규정하고 있음¹⁶⁾.

- (간접 온실가스) 2006 IPCC 온실가스 산정 지침¹⁷⁾에서는 CO, NO_x, SO₂, NMVOC를 간접 온실가스로 규정하고 있음. CO, NO_x, NMVOC는 대류권 오존의 전구물질로 알려졌으며, SO₂는 기후변화에 영향을 미치는 주요 물질 중의 하나인 에어로졸 황산염의 전구물질임.

• (배출원) 교토의정서에서 규정한 7개 온실가스의 특성과 주요 배출원은 아래 표에서 보는 것과 같음.

〈표 2〉 교토의정서에서 규정한 온실가스 특성과 주요 배출원

온실가스 종류	GWP ¹³⁾	체류 시간 ¹⁴⁾	주요 배출원
이산화탄소 (CO ₂)	1	100~300	<ul style="list-style-type: none"> • 화석연료 연소 • 금속산업에서 산화금속 환원공정 • 비금속광물산업에서 탄산화합물(예 CaCO₃ 고온 가열) 가열공정 • 폐기물소각 • 바이오매스 연소
메탄(CH ₄)	21	12	<ul style="list-style-type: none"> • 매립지에서 혐기성 분해과정 • 벼 재배 과정 • 기체 및 액체연료 저장시설로부터 탈루배출 • 가축 소화 과정 • 석탄채굴 • 화석연료의 불안전연소
아산화질소 (N ₂ O)	310	114	<ul style="list-style-type: none"> • 농경지토양 • 토양경작과정, 특히 상업적 유기화학 비료의 이용하는 대규모 경작 • 화석연료의 연소 • 질산생성과정 • 바이오매스 연소과정
수소불화탄소 (HFCs)	140 ~ 11,700	1.4~270	<ul style="list-style-type: none"> • 저장 및 사용과정에서 탈루 배출 • 반도체 제조 • 산업공정의 부산물
과불화탄소 (PFCs)	6,500 ~ 9,200	1,000 ~ 50,000	<ul style="list-style-type: none"> • 반도체 제조 • 냉매 • 산업공정의 부산물
육불화황 (SF ₆)	23,900	3,200	<ul style="list-style-type: none"> • 발전·에너지 • 디스플레이 • 반도체 제조
삼불화질소 (NF ₃)	16,100 ¹⁵⁾	740	<ul style="list-style-type: none"> • 디스플레이 제조 • 반도체 제조

12) CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆

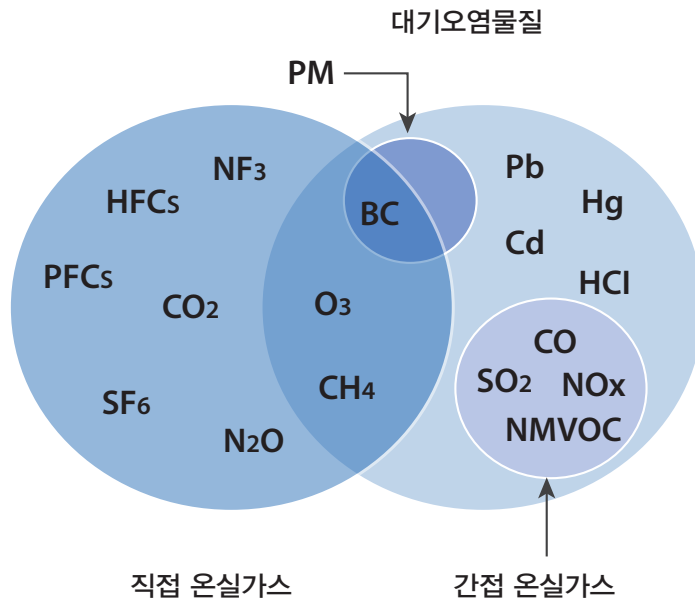
13) IPCC(1995) 제2차 평가보고서

14) IPCC(2007) 제4차 평가보고서

15) IPCC(2014) 제5차 평가보고서

▶ (통합관리 대상) [그림 6]는 대기오염물질과 온실가스의 분포도로서 대기오염물질이면서 직접 온실가스는 블랙카본(BC), 메탄(CH_4), 대류권 오존이고, 간접 온실가스는 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 이산화황(SO_2), NMVOC임

- 블랙카본, CH_4 , 대류권 오존은 단기체류 기후변화 유발물질(Short-lived Climate Pollutant; 이하 SLCP)로서 기후변화와 대기오염을 동시에 유발한다고 알려졌으며, 인간 건강·복지, 농업 생산력 등에도 부정적 영향을 미침.
- 일반적으로 메탄은 대기오염물질로 분류하고 있지는 않으나, 대류권 오존의 전구물질로 알려져 여기서는 대기오염물질로 분류하였음(그림 6).



[그림 6] 대기오염물질과 온실가스 분포도

▶ 통합관리 대상 물질 특성

- 블랙카본 개요
 - (정의) 블랙카본은 화석연료, 바이오매스 및 바이오연료가 불완전연소 되면서 발생하는 순수 탄소성분의 에어로졸임.
 - (특성 및 배출원) 순수 탄소성분의 초미세입자($\text{PM}_{2.5}$) 형태의 에어로졸로서 인간 건강에 해로운 대기오염물질이며, 대기 중 체류 기간이 수일에서 수주 정도인 단기체류 기후변화 유발물질임. 블랙카본은 연료의 불완전연소 과정에서 배출되므로 일산화탄소 및 휘발성 유기화합물과 함께 발생함. 주요 배출원은 디젤 엔진, 바이오매스 연소 및 석탄 화력발전 등이 있음.

- (대기오염물질로서 특성) 블랙카본은 초미세먼지(PM_{2.5})로서 천식 등 호흡기 질환, 심장병, 폐암 및 저체중 출산 등과 같은 해로운 영향을 미친다.
- (온실가스로서 특성) 블랙카본은 SLCP에 해당하는 물질이며, 지구온난화지수(Global Warming Potential; 이하 GWP)는 약 460~2,240으로 온난화 효과가 큰 물질이며[20], 얼음이나 눈 위를 덮어 검게 만듦으로써 만년설이나 빙하의 녹는 속도를 가속화시킴[21].
- 메탄 개요
 - (정의) 탄화수소화합물로서 화학식은 CH₄이며, 알칸(Alkane; C_nH_{2n+2})족 물질 중에서 가장 분자량이 작은 물질임.
 - (특성 및 배출원) 메탄은 상온에서 가스로 존재하는 무색·무취의 기체이며, 천연가스의 주성분으로 발열량이 높아 연료로서 사용되고 있음. 메탄은 1) 유기성 물질의 혐기적 분해 과정, 2) 반추동물의 대사 과정 및 3) 화석연료의 불완전연소 과정에서 생성·배출되며, 천연가스의 보관 및 운송 과정에서 탈루 배출되기도 함.
 - (대기오염물질로서 특성) 메탄은 인간 건강에 직접 해로운 영향을 미친다고 알려진 바는 없으나, 대표적인 대기오염물질인 대류권 오존의 전구물질로 알려져 있음.
 - (온실가스로서 특성) 메탄은 SLCP이면서 교토의정서에서 규정한 6대 온실가스에 포함되며 지구온난화지수(GWP)는 21임. 메탄의 대기 중 농도는 1990년대 후반부터 약 10년간 안정적으로 나타났으며, 2007년 이후 대기측정결과는 점차 증가하는 것으로 나타나고 있음[2].
- 대류권 오존 개요
 - (정의) 오존(O₃)은 3개의 산소원자로 이뤄져 있으며, 산소의 불안정한 동소체로 산소보다 높은 에너지를 가지며 햇빛 등 주위의 전자파를 흡수하여 쉽게 분해되고 이때 생긴 여분의 산소원자가 주위의 물질들과 쉽게 반응하여 강한 산화력을 가진 활성기체임. 대류권 오존은 대기 중에서 광화학적으로 반응하여 생성된 물질로서 인체에 해로운 대기오염물질로 정의할 수 있음.
 - (특성 및 배출원) 오존은 무색의 자극성 기체로서 강한 산화력을 가진 활성기체이며 공기보다 다소 무겁고 물에는 잘 녹지 않는 특성이 있음. 강한 산화력으로 살균, 탈취용으로 사용되기도 하며, 성층권에 오존층을 형성하여 태양으로부터 방출되는 자외선을 차단해 주는 기능이 있지만, 지표면에 생성되는 대류권 오존은 인간 건강에 악영향을 미치는 대기오염물질임. 대류권 오존의 직접 배출원은 거의 없으며, NO_x 탄화수소(Hydrocarbon, HC), VOC 및 CO 등의 전구물질이 자외선에 의해 광화학반응을 일으켜 활성화된 산소원자와 산소분자가 반응하여 생성되는 2차 오염물질임. 대류권 오존의 전구물질은 대부분은 자동차 등의 수송부문과 화력발전소 등에서 배출됨[22].
 - (대기오염물질로서의 특성) 오존은 대기 중에 일정 농도 이상 존재할 경우, 인체에 독성이 있어 대기오염물질로 분류하고 있으며, 우리나라는 대기 중 오존에 대한 기준치를 8시간 평균농도 0.06ppm(1시간 평균 0.1ppm)으로 정하고 있음. 오존은 호흡기나 눈에 자극을 주며 기침이 나고 눈이 따끔하거나 심할 경우 폐 기능 저하를 가져오는 등 폐와 관련된 질환을 유발함. 또한, 오존은 식물 광합성에도 영향을 미쳐 식물의 생산 및 저장능력을 약화시키며, 미국의 경우 오존에 의한 농작물 수확 피해를 연간 5억 달러로 추정하는 사례도 있음.
 - (온실가스로서의 특성) 대류권 오존은 SLCP에 해당하며, 대기 중 체류기간은 약 4~18일임. 대류권에 존재하는 오존은 식물의 이산화탄소 흡수율을 감소시킴으로서 지구온난화에 대한 이차적인 원인이 됨.

● 일산화탄소 개요

- (정의) 1개 탄소원자와 1개 수소원자가 삼중 결합된 물질로서 화학식은 CO이며, CO₂를 고온에서 탄소(C)와 환원 반응하여 생성되는 기체임.
- (특성 및 배출원) 무색·무취의 유독성 가스로서 흡입하면 중추 신경계 손상 및 질식이 유발됨. 일산화탄소는 산소가 부족한 상태에서 연료가 불완전연소 될 때 생성·배출되며, 화석연료를 이용하는 에너지 관련 분야(고정 연소시설, 자동차 등의 수송부문 등)에서 CO 발생비율은 연소조건이 양호한 조건에서 1% 이하임.
- (대기오염물질로서 특성) CO는 그 자체로 독성이 있는 것은 아니고, 폐에서 혈액 중의 헤모글로빈(Hb)과 결합하여 산소 공급을 방해하여 체내 조직 세포의 산소 부족 현상을 불러와서 중독 증상을 유발하고, 심한 경우 사망에 이르게 함. CO의 흡입이 계속되어 산소 공급이 부족해지면 우선 산소 결핍에 민감한 중추 신경계(뇌, 척추)가 영향을 받고, 두통·현기증·이명·가슴 두근거림·맥박증가·구토가 일어나고 마취상태에 빠지게 되고 사망에 이르게 됨.
- (온실가스로서 특성) CO는 간접 온실가스이지만 오존 전구물질로 알려졌다. NOx와 반응하여 산소를 온실가스인 오존으로 전환하므로 온실효과에 간접적인 영향을 미침.

● 질소산화물 개요

- (정의) 질소산화물은 질소와 산소로 이루어진 여러 화합물의 총칭으로 질소산화물의 종류는 일산화질소(NO), 이산화질소(NO₂), 일산화이질소(또는 아산화질소, N₂O), 삼산화질소(N₂O₃), 사산화질소(N₂O₄), 오산화질소(N₂O₅)가 있음. 그러나, 일반적으로 NO와 NO₂를 대기오염물질로 간주하여 질소산화물(NOx)이라고 일컫고 있음.
- (특성 및 배출원) NO는 상온에서는 무색 기체로 존재하며 화학적으로 반응성이 큰 물질로서 산소 또는 공기가 존재할 때 쉽게 산화되어 NO₂로 전환됨. NO₂는 적갈색의 자극성 기체로서 물에 용해되면 질산으로 존재함. 고체 또는 액체 상태에서는 거의 사산화이질소(N₂O₄) 형태로 존재하고, 600°C 이상으로 가열하면 일산화질소(NO)와 산소로 해리됨. 배출원은 질소 함유 연료를 연소하는 과정에서 질소가 산화¹⁶⁾ 배출되거나(디젤자동차 배기가스, 바이오매스 연소), 고온에서 질소가 산소와 반응하여 NO¹⁷⁾가 되고 대기 중으로 배출 산화되어 NO₂로 전환됨. 그러나 후자는 1500°C 이상 고온에서 주로 일어나는 반응이므로 일반적인 연소공정에서는 일어나지 않음.
- (대기오염물질로서 특성) NOx는 자체적으로 독성을 갖고 있을 뿐만 아니라 대기 중에서 산성비를 유발하고, 광화학반응을 일으켜 2차 오염물질인 오존, PAN(Peroxy Acetyl Nitrate), 초미세먼지 생성에 관여하고, 시정 장애¹⁸⁾의 원인이 됨.
- (온실가스로서 특성) 대기오염물질인 NOx(NO, NO₂)는 냉각 효과가 있으나, 오존 전구물질로 알려졌으며, 대기 중의 CH₄, CO, HCFCs(Chlorofluoromethane) 등의 농도에도 영향을 미치는 것으로 밝혀져 지구온난화에 간접적 영향을 미치는 간접 온실가스로 규정되었음. 질소산화물 중 N₂O는 교토의정서에서 규정한 7대 온실가스에 포함되며, 비료사용 및 화석연료 연소 시 발생함. N₂O의 GWP는 3100이고, 대기 중 체류 시간은 114년임.

16) 연료 질소산화물(Fuel NOx)

17) 고온 질소산화물(Thermal NOx)

18) 대기 중의 미세입자로 인해 대기가 혼탁해지고 시정이 악화되는 현상

• 이산화황 개요

- **(정의)** 이산화황은 산화물의 일종으로 황(S) 원자와 두 개 산소 원자가 결합된 무기 화합물로서 아황산가스, 무수 아황산이라고 부르며, 화학식은 SO_2 임.
- **(특성 및 배출원)** 물에 잘 녹는 자극성 냄새를 지닌 무색의 기체로서 대기 중의 수증기 및 산소와 반응하여 황산(H_2SO_4)이 됨. 화산 활동 등의 자연 발생원도 존재하나 대부분 인위적인 활동인 황 함유 연료(주로 석탄과 석유)의 연소, 금속 제련공정, 기타 산업공정에서 생성 배출됨.
- **(대기오염물질로서 특성)** SO_2 는 인체에 급성 및 만성 피해를 주는 대기오염물질로서 만성 피해로는 폐렴, 기관지염 및 폐기종 등을 유발하고, 급성피해로는 자극성 냄새, 시정감소, 생리 장애 및 압박감 등을 유발함. SO_2 는 산성비의 주요 원인 물질이고, 대기오염 피해사건 중 대표적 사례인 1952년 런던 스모그 사건도 이산화황에 의한 것임.
- **(온실가스로서 특성)** SO_2 는 냉각 효과가 있는 간접 온실가스로서 대기 중 황산, 황화합물 에어로졸의 전구물질임. 태양 빛 산란, 구름형성 및 대기화학 조성 등에 영향을 미침으로써, 지구온난화에 간접적으로 이바지함.

• NMVOC 개요

- **(정의)** NMVOC는 CH_4 를 제외한 VOC(Volatile Organic Compounds; 휘발성유기화합물)를 의미하며, VOC는 상온에서 높은 증기압을 가지고 있는 액상 또는 기체상 유기화합물의 총칭임.
- **(특성 및 배출원)** 비점이 낮아 대기 중으로 증발하는 특성이 있어 향기와 악취의 원인물질이고, 일부 NMVOC는 중추신경계를 억제하는 마취작용이 있는 대기오염물질임. 인체에 미치는 영향은 노출된 VOCs의 화학구조, 노출된 농도와 시간, 다른 VOCs와의 복합노출, 개인의 신체적 특성 및 건강상태 등에 따라 다르게 나타날 수 있음. 배출원은 자연적 배출원과 인위적 배출원으로 구분되며, 나무 등이 뿜어내는 이소프렌, 테르펜, 알콜, 에스테르 등에서 기인하는 VOC는 자연 배출원에 의한 것인 반면 인위적 배출은 석유류 및 유기용제 등의 유통과정, 도로나 잉크의 제조·사용, 유기용제를 사용한 세척 등 기타 제조공정, 자동차 운행 및 VOC를 함유한 생활용품의 사용과정 등 산업 활동과 일상생활 중 광범위하게 분포되어 있음.
- **(대기오염물질로서 특성)** 모든 VOC가 대기오염물질이 아니고, 일부 VOC가 인체와 생태계에 해로운 것으로 알려졌다. 규제 대상 VOC는 환경에 해로운 방향족 탄화수소, 할로겐화탄화수소와 광화학반응을 일으켜 오존 발생 등 2차 오염을 일으키는 지방족 탄화수소 등이 있음. VOC 관리와 규제는 총 휘발성유기화합물의 농도 또는 위해성이 있는 개별 VOC에 대해 이뤄지고 있음.
- **(온실가스로서 특성)** 대기 중 VOCs는 지표면에서 광화학반응에 참여하여 온실가스인 대류권 오존을 생성하고, 대류권에서 CH_4 분해를 방해하는 간접 온실가스로 알려졌다. 또한, 대기 중으로 배출된 VOCs는 산화 과정을 거쳐 최종적으로 이산화탄소(CO_2)로 전환되는 온실가스 전구물질임.



IV. 통합관리는 어떻게 해야 하는가?



IV. 통합관리는 어떻게 해야 하는가?

1. 영국의 통합관리 사례

- 영국은 UK Climate Change Act(기후변화법)을 제정하면서 저탄소 전환 계획(Low Carbon Transition Plan: 이하 LCTP)을 발표하였음.
- 온실가스 감축정책이 대기질에 미치는 효과에 대해 IGCB(Interdepartmental Group on Costs and Benefits)에서 비용 편익 분석을 실시하였고, 최소의 사회적 비용을 초래하는 감축정책을 적용토록 계획 추진하였음[23].
 - 통합관리체계 및 방법
 - 영국은 통합관리 목적으로 정부 조직 내에 관리체계를 갖추고 있지 않으나, IGCB에서 여러 부처와 기관이 연관된 이슈에 대해 비용 편익 분석을 통해 의사결정을 지원하고 있음. IGCB의 결과를 바탕으로 Defra(Department of Environment, Food and Rural Affairs)에서 통합관리정책을 추진하고 있음.
 - 또한, 영국은 대기오염물질과 온실가스를 통합관리하는 법이 있는 것은 아니며, 개별법 추진 과정에서 타 법과 정책에 미치는 영향을 고려하여 Defra에서 통합관리정책 방향을 결정하고 있음. 전술한 것처럼 여러 부처가 연관된 정책에 대해서는 IGCB에서 그 정책에 대한 비용 편익 분석을 통해 의사결정하고 있음.
 - (온실가스 감축정책 영향) Defra는 온실가스 감축정책이 대기오염에 미치는 정성적 영향을 다음과 같이 분석 제시하였음.

〈표 3〉 온실가스 감축정책이 대기질에 미치는 정성적 영향

분야	온실가스 감축정책	대기질에 미치는 영향	설명
수송	전기차	●	<ul style="list-style-type: none"> 대기질에 상당히 긍정적 효과 기대 전기생산을 위해 어떠한 에너지를 사용하였는가가 중요하며, 이 경우는 저탄소 에너지를 사용 하였다고 가정
	수소 연료전지차	●	<ul style="list-style-type: none"> 대기질에 상당히 긍정적 효과 기대 전기생산을 위해 어떠한 에너지를 사용하였는가가 중요하며, 이 경우는 저탄소 에너지를 사용 하였다고 가정
	바이오 연료	○	<ul style="list-style-type: none"> 바이오 연료를 15% 이상 혼용하게 되면 NO_x와 VOC 배출이 증가하며, PM의 배출 증가 개연성이 있음. 바이오메탄은 대기질 개선에 상당히 효과적이거나 보관 및 운송, 연료 주입 과정에서 탈루 배출되지 않도록 설계를 잘 해야 함(메탄은 주요 온실가스)
난방	히트 펌프	●	<ul style="list-style-type: none"> 대기오염물질 배출이 없으며, 도시 대기질 개선에 긍정적이거나 펌프에 사용하는 에너지원이 친환경 적이어야 함.
	열병합 난방 및 발전	○	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 열병합설비(CHP)는 대기오염물질 및 온실가스 배출 측면에서 부정적 효과가 있음. 일반적으로 CHP는 에너지효율적이므로 기존의 화력발전보다는 온실가스 배출 측면에서는 유리함.
에너지	원자력	●	<ul style="list-style-type: none"> 미량의 대기오염물질 배출로 도시 대기질 개선에 긍정적 효과 온실가스 배출 제로
	탄소 포집 및 저장(CCS)	◐	<ul style="list-style-type: none"> CCS가 상업 규모로 적용된 사례가 없기 때문에 대기질에 미치는 영향을 종합적으로 판단하기는 쉽지 않으며, 어떠한 기술을 적용하느냐에 따라 대기질에 미치는 영향이 달라짐.
	재생에너지(연소 제외)	●	<ul style="list-style-type: none"> 대기오염물질 배출이 없으므로 도시 대기질 개선에 기여 온실가스 배출 제로

바이오 매스	바이오매스(열; Heat)	X	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축 측면에서 유리하므로 천연가스 대체로 적용될 경우 도시 대기질에 상당히 부정적 효과 그러나 적절한 배가스 처리설비를 갖춘다면 대기질에 미치는 영향도 줄어 들 수 있으나 경제성 악화 초래 온실가스 배출 제로
	바이오매스(에너지 생산)	●	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 바이오매스 발전의 경우 대기오염물질 배출이 우려되나, 도시 대기질에 영향을 최소화하기 위해서는 적절한 배가스 처리설비의 설치 운영이 필수적임. 온실가스 배출 제로
	CCS(바이오매스 연소)	●	<ul style="list-style-type: none"> CCS가 상업적으로 적용된 사례는 없으나 바이오매스 연소와 연계된 CCS는 바이오매스 연소의 부정적 요인을 제거할 수 있어 긍정적 측면이 있음. 온실가스 배출 제로
잔류 탄화수소화합물 사용		○	<ul style="list-style-type: none"> 잔류 탄화수소화합물의 사용은 대기질 및 기후변화에 부정적 영향을 미치나, 지속적 사용은 BAU(Business-As-Usual)와 비교하면 동일한 영향 또는 BAU보다 다소 부정적 영향
농업	아산화질소 소극적 감축	○	<ul style="list-style-type: none"> 아산화질소를 크게 감축하지 못하는 공법을 적용하는 경우에는 암모니아 생성 배출로 인해 대기질에 부정적 영향
	아산화질소 적극적 감축	●	<ul style="list-style-type: none"> 아산화질소를 적극적으로 감축하기 위해서는 질소 투입을 줄여야 가능하므로 암모니아 생성 배출량도 감소하므로 대기질 개선에 기여

● : 매우 좋음, ● : 좋음, ● : 보통, ○ : 나쁨, X : 매우 나쁨

출처: UK Defra(2010), Air Pollution: Action in a Climate Change

- (정책 및 기술의 영향) 본 분석은 영국에서 분석 제시한 자료는 아니나, 정책 및 기술 적용에 따라 어떤 오염물질이 증가하고, 감소하는가에 대한 일반적 정보임. 즉 몇 가지 경우만 제외하고는 물질별로 부정적 또는 긍정적 효과를 거둘 수 있으므로, 정책 및 기술을 적용할 경우 환경 및 경제적 측면에서의 종합적 검토가 필요한 상황임.

〈표 4〉 정책 및 기술 적용에 따른 배출량 감소 또는 증가 물질

구분	정책 및 기술	배출량 감소 물질	배출량 증가 물질
에너지 정책	에너지 절약 및 효율 제고	대기오염물질 및 온실가스	
	천연가스 사용 증가	CO ₂ , SO ₂ , VOC, NO _x , PM	CH ₄
	바이오매스 사용 증가	CO ₂	VOC, PM, CH ₄ , N ₂ O
고정 연소	석탄가스화복합화력발전 (IGCC)	CO ₂ , SO ₂ , NO _x , PM	
	열병합(CHP)	대기오염물질 및 온실가스	
	촉매 및 무촉매환원공정 (SCR 및 SNCR)	NO _x , CO	NH ₃ , N ₂ O
	유동상 연소	SO ₂ , NO _x	N ₂ O
	신규 보일러 설비	VOC, PM, CO, CH ₄	
이동 연소	유로 배출기준	NO _x , VOC, PM, CO	NH ₃ , N ₂ O
	저황 연료	SO ₂ , PM	
	디젤	CO ₂	PM
농축산 분야	저배출형 돈사	NH ₃ , CH ₄	N ₂ O
	슬러지 덮개 설치 보관	NH ₃	CH ₄
	가축 배설물 주입	NH ₃	N ₂ O
	혐기성 소화	CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O	NH ₃

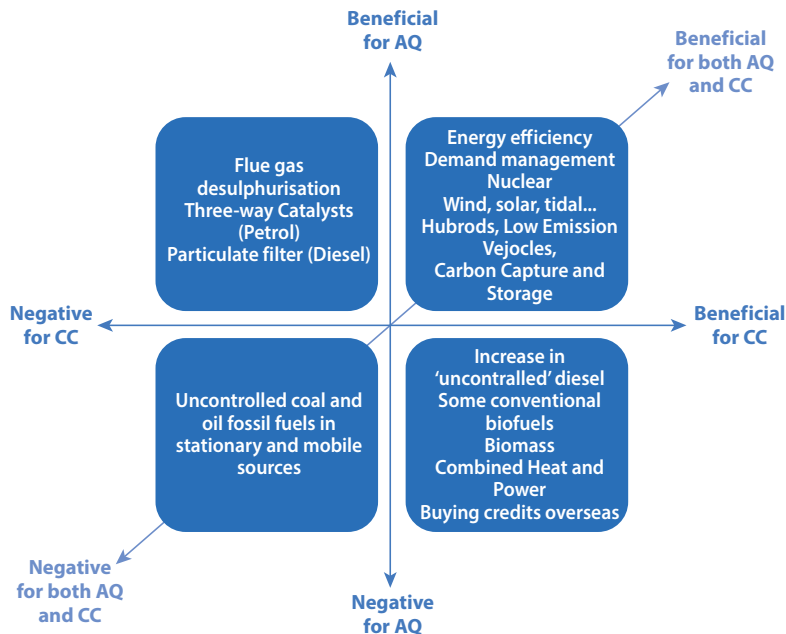
출처: Swedish EPA(2009), Air Pollution and Climate Change, Two sides of the same coin?

- (통합관리정책 방향) 대기오염 및 기후변화 영향을 동시에 줄일 수 있는 순기능 정책과 그렇지 않은 정책을 〈표 5〉와 [그림 7]에서 보는 것처럼 분류 제시하였음.

〈표 5〉 대기질과 온실가스에 미치는 효과별 방법과 기술

효과	방법 및 기술
대기질 개선 및 온실가스 배출 감소	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 효율 제고 에너지 수요 관리 재생에너지(원자력, 풍력, 태양광, 수력) 하이브리드 및 저탄소 배출 차량
대기질 개선하나 온실가스 배출 증가	<ul style="list-style-type: none"> 배가스 탈황 휘발유 차량의 삼단 촉매 장치 디젤 차량의 미세먼지 제거 목적 필터 시설
대기질 악화하나 온실가스 배출 감소	<ul style="list-style-type: none"> 디젤 차량 확대 보급 바이오매스 연료 열병합발전 탄소배출권 해외 구매
대기질 악화 및 온실가스 배출 증가	<ul style="list-style-type: none"> 석탄 및 석유의 화석연료 사용

출처: Swedish EPA(2009), Air Pollution and Climate Change, Two sides of the same coin?

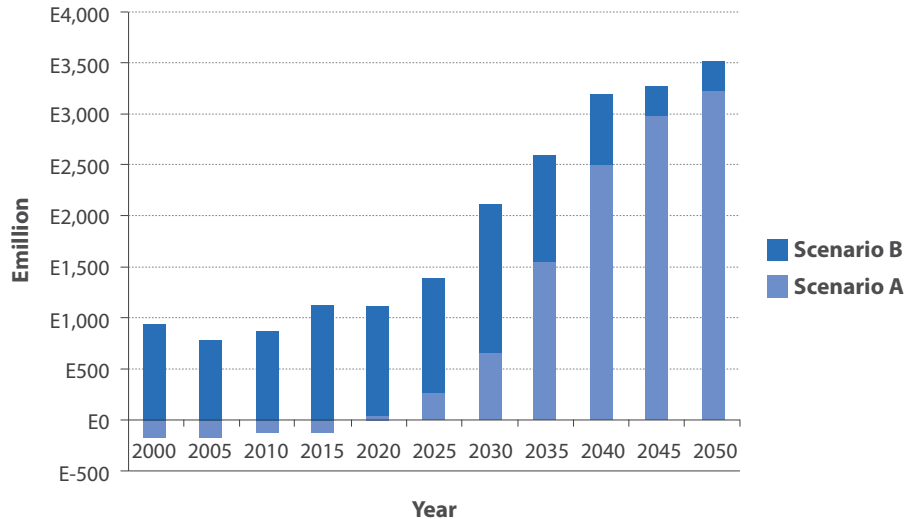


〔그림 7〕 대기오염물질 및 온실가스 관리정책의 영향 분석

출처: UK Defra(2010), Air Pollution: Action in a Climate Change

- (경제성 분석) 2008년에 Defra는 대기오염물질과 온실가스의 통합관리가 개별 정책 추진과 비교하여 경제적으로 유리한지에 관한 모델연구를 2000~2050년까지 실시했으며, 그 결과 통합관리 정책이 경제성이 있음을 증명 제시하였음[25].

- [그림 8]에서 보는 것처럼 정책 초기 단계에는 비용적 측면에서 통합관리 정책이 불리하나, 시간이 지남에 따라 점차 경제성이 있는 것으로 드러났음. 특히 후반기로 갈수록 통합관리 정책의 효과가 두드러져 경제성이 훨씬 높아짐.



[그림 8] 개별 관리정책 적용한 경우와 통합관리정책 적용한 경우의 비용 편익 분석결과(시나리오 A는 대기오염물질과 온실가스 관리정책을 독립적으로 적용한 경우, 시나리오 B는 통합관리정책을 적용한 경우)

출처: <http://www.defra.gov.uk/environment/quality/air/airquality/panels/igcb/documents/uk-markal-model.pdf>

▶ 영국은 다음과 같이 구체적인 순기능, 역기능, 복합 사례도 소개하였음.

● (순기능 사례) 바이오메탄(Biomethane)의 자동차 연료 사용

- 매립지에서 포집한 매립가스로부터 메탄을 분리 정제한 다음에 차량 연료로 사용한 경우로서 매립지로부터 배출되던 메탄을 회수 사용함으로써 60%의 온실가스 감축이 가능했고, 바이오메탄을 자동차 연료로 사용함에 따라 NOx 배출이 현격히 줄었고, 미세먼지 배출도 거의 없었음[24].

● (역기능 사례 1) 바이오매스 연료

- 온실가스 배출 측면에서는 바이오매스 연소가 화석연료 연소보다 훨씬 유리하여 바이오매스 연료로의 전환이 온실가스 주요 감축정책으로 꼽혔으나, 목재 연소로부터의 PM₁₀¹⁹⁾ 배출이 천연가스보다는 10~100배 높아 대기오염 측면에서는 불리함[23].

● (역기능 사례 2) 디젤 차량

- 영국에서는 2002년 이후 이산화탄소 저배출 차량에 대한 지원이 세제를 통해 이뤄졌으며 디젤 차량이 휘발유 차량보다 이산화탄소 배출 측면에서는 유리하여 2001년의 디젤 차량 비중이 19%이었던 것이 2009년에는 42%까지 높아졌음. 반면에 디젤 차량에서 대기오염물질 배출이 휘발유 차량보다 훨씬 높아 건강에 미치는 악영향이 20배 정도 높음[23].

19) 지름이 10 μ m 이하의 미세먼지

- <표 5>는 연료 사용 방식의 차이에 따른 온실가스 및 대기오염물질 배출과 연관된 비용을 조사한 결과로서 휘발유 차량과 비교하여 온실가스 배출 측면에서는 디젤 차량이 유리하나, 대기오염 측면에서는 훨씬 불리한 것으로 나타남.
- 휘발유 하이브리드 차량이 온실가스 배출 감소와 대기질 감소에서 가장 우수한 것으로 드러남(표 6).

<표 6> 차량 사용 연료별 연간 환경 및 건강 비용(혼다 Civic 차량 대상)

구분	휘발유 차량	경유 차량	하이브리드 ³ 차량
기후변화 ¹	£ 166	£ 146	£ 98
대기질 ²	£ 1	£ 21	£ 1
합 계	£ 167	£ 167	£ 99

출처: Defra(2010), Air Pollution: Action in a Changing Climate

1: 비저래 부문의 탄소 가격; 2: 미세먼지가 건강에 미치는 영향 기준 한 비용;

3: 휘발유 하이브리드 차량

- (복합 사례) 디젤차량의 대기오염물질 배출저감장치
 - 영국에서는 대형 디젤자동차(버스, 대형 수송 차량, 폐기물 운반 차량 등)에서 배출되는 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 제거 필터 및 선택적촉매환원(Selective Catalytic Reduction; SCR)장치 부착 의무화
 - 배출저감장치 부착에 따른 대기질과 온실가스 배출에 미치는 영향에 대한 분석 결과는 <표 7>에서 보는 것과 같음.

<표 7> 대형 디젤자동차에 대기오염물질 배출저감장치 부착에 따른 영향 분석

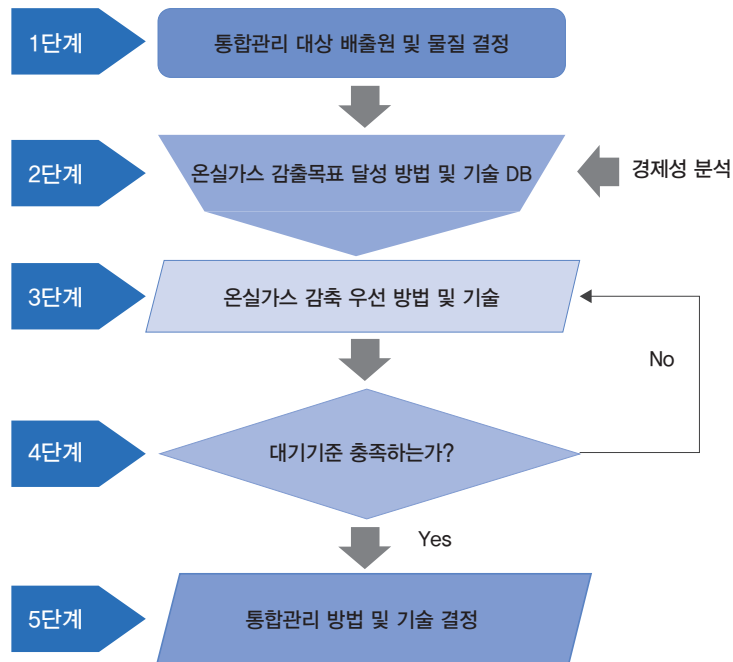
구분	영향 분석
대기질	대형 디젤자동차에서 배출되는 미세먼지와 NO _x 의 양이 크게 감소하여 대기질 향상에 기여
온실가스	<ul style="list-style-type: none"> • (긍정적 영향) 미세먼지 디젤 차량에서 배출되는 직접 온실가스인 블랙카본 배출 감소 • (부정적 영향) 배출저감장치 부착으로 차량 연비가 나빠지므로 연료사용량 증가로 온실가스 배출량 증가

출처: Environmental Protection UK(2011), Air Quality and Climate Change: Integrating Policy within Local Authorities

2. 통합관리 추진 전략

- 대기오염물질과 온실가스의 통합관리를 위해서는 첫째, 통합관리 원칙 수립, 둘째, 통합관리 대상 결정, 셋째, 통합관리 대상별 관리방법 결정, 넷째, 통합관리체계 결정 순으로 진행해야 함.
- (통합관리 원칙) 1. 규제 조건 동시 충족; 2. 최적가용기술(Best Available Technology; BAT) 적용; 3. 비용 최소화를 꾀할 수 있음

- (규제 조건 동시 충족) 대기오염물질로서의 배출허용기준 및 환경기준 충족해야 하며, 온실가스로서는 감축목표 달성이라는 조건을 동시에 충족
 - (최적비용기술 적용) 통합관리를 위해 적용하는 방법 및 기술들이 규제 및 목표를 만족하는 범위에서 가장 우수한 방법 및 기술인 BAT 적용
 - (비용 최소화) BAT 중에서 비용이 가장 저렴한 방법 및 기술을 선정해야 함. 그러나 BAT보다는 처리 효율이 떨어지나, 규제 및 목표를 만족하는 비용 최소화 기술이 존재하는 경우 정책결정권자가 의사결정 할 필요가 있음(BAT 또는 비용 최소화 기술 중에서 선택).
- ▶ (통합관리 대상 결정) 통합관리 대상은 앞 장에서 기술한 것처럼 물질의 경우는 블랙카본, CH₄, 대류권 O₃, CO, NO_x, SO₂, NMVOC이며, 통합관리대상 주요 배출원은 에너지 분야(고정 연소, 이동 연소), 농축산 분야를 꼽을 수 있으며 이외에도 대기오염물질과 온실가스가 같이 나오는 배출원은 그 대상이 될 수 있음.
- ▶ (통합관리 방법 및 기술 결정) 통합관리 방법과 기술을 결정하는 의사결정도는 아래에서 보는 것과 같음.



[그림 10] 비용 최소화 통합관리 방법 및 기술 선정 의사결정도

- (1단계) 통합관리 대상 배출원 및 물질을 결정하는 단계로서 우리나라의 대기오염물질과 온실가스 배출 특성 분석을 토대로 대상 배출원을 결정하고, 배출원별로 발생하는 대기오염물질과 온실가스 종류와 양을 결정
- (2단계) 배출원별로 설정된 온실가스의 감축목표가 달성 가능한 방법과 기술을 목록화하고 DB화
- (3단계) 배출원별로 목록화된 방법과 기술에 대한 비용 분석을 통해 온실가스 감축방법 및 기술에 대해 우선순위를 정하고, 경제성이 가장 높은 방법과 기술을 선정(여기서 편익은 온실가스 감축목표로 설정하였고, 감축목표를 달성하는 방법과 기술은 모두 동일한 편익으로 간주하였음. 즉 감축목표 초과 달성에 대한 가점은 없음)
- (4단계) 선정된 온실가스 감축방법 및 기술이 배출원에서 발생하는 대기오염물질의 배출허용기준 및 환경기준 만족 여부를 조사 분석하고, 충족시키지 못하면 3단계로 돌아가서 그다음 순위 기술에 대한 4단계 과정 반복
- (5단계) 4단계를 거치면서 선정된 방법 및 기술에 대한 사회적 수용성 등 기술과 비용 이외에 다른 요소를 고려하여 최종적으로 결정

➤ (통합관리체계 구축) 대기오염은 지역적·단기적 특성이 있으나, 기후변화는 글로벌·장기적 특성으로 인해 두 물질의 규제 접근 방법이 달라 통합법으로 대기오염물질과 온실가스를 관리함은 쉽지 않은 상황임. 반면에 대기오염과 온실가스 담당 부서가 동참하는 관리체계를 갖추어 통합적 관점에서 정책을 개발 추진해야 함.



V. 나가는 글



V. 나가는 글

- ▶ 기존 연구에서 대기오염물질과 온실가스를 동시에 배출하는 ‘다중 오염원’의 경우 각 물질을 독립적으로 관리하는 것보다 통합관리가 인체 건강에 미치는 영향뿐만 아니라 환경적·경제적 측면에서도 유리하다고 이미 밝혔음.
- ▶ 전술한 것처럼 ‘다중 오염원’의 경우 통합관리가 유리하나, 대기오염물질과 온실가스의 배출이 비례 또는 반비례하는 경우가 존재하므로 비용 편익 측면에서의 합리적 최적 조건을 찾아야 함.
- ▶ 또한 기후변화에 영향을 미치는 대기오염물질 중에는 온난화 효과를 일으키는 물질도 있으나 냉각 효과를 일으키는 물질도 존재하므로 감축방법 및 수단을 적용할 때 대기오염과 기후변화에 미치는 영향을 종합적 관점에서 분석하여 세밀한 설계가 필요함.
- ▶ 대기오염물질과 온실가스 통합관리 원칙으로 1) 규제 조건의 동시 충족, 2) 최적가용기술 적용, 3) 비용 최소화를 제시하였으며, 여기서 규제 조건은 대기오염물질의 배출허용기준과 환경기준을 의미하며, 온실가스 경우에는 감축목표를 의미함.
- ▶ 본 글에서는 비용 최소화를 위한 통합관리 방법 및 기술 선정 의사결정도를 다음과 같이 제시하였음.
 - (1단계) 통합관리 대상 배출원 및 물질 결정
 - (2단계) 온실가스 감축목표 달성을 위한 방법 및 기술 목록화
 - (3단계) 경제성 평가를 통한 온실가스 감축목표 달성 방법 및 기술 서열화
 - (4단계) 3단계 우선순위 기술의 적용했을 때 대기 규제기준 충족 여부 진단하고 충족하지 못한 경우는 3단계로 다시 돌아가 그다음 순위 기술로 대기 규제기준 충족 여부 진단하여 만족할 때까지 반복 수행
 - 모든 온실가스 감축방법 및 기술로 대기 규제기준을 맞출 수 없는 경우에는 추가적인 대기오염물질 방법 및 기술을 도입 적용하되, 비용 최소화하면서 대기 규제기준 충족시키는 방법 및 기술 선정 필요
 - (5단계) 사회적 수용성 등 기술과 비용 이외의 요소를 고려하여 최종적으로 결정하되, 5단계를 충족하지 못하면 3단계로 돌아가서 반복 수행하여 최종결정
- ▶ 대기오염물질과 온실가스의 규제 접근 방법이 달라 통합법으로 두 물질을 관리하는 것은 용이하지 않으나, 대기오염물질과 온실가스 관리 담당 부서가 참여하는 협의 및 관리체계를 갖추어 통합관리 정책을 개발 추진함이 필요함.



참고문헌



참고문헌

1. 환경부(2017), 2016 대기환경연보
2. IPCC(2014), 제5차 평가 보고서
3. 온실가스종합정보센터(2017), 2017년 국가 온실가스 인벤토리(1990~2015)보고서
4. 기획재정부 홈페이지, 국가경쟁력 통계,
http://www.mosf.go.kr/st/ncstats/detailTbNcstatsView.do?searchBbsId1=MOSFBBS_000000000052&searchNttId1=MOSF_00000000008018&menuNo=6060000&searchDiv1=301
5. WRI(2005), Navigating numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy
6. Germanwatch(2017), The Climate Change Performance Index Results 2018
7. WHO(2014), Mortality from ambient air pollution for 2012,
http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/
8. UNECE(2016), The co-benefits of climate change mitigation, Sustainable Development Brief, Jan, 2016
9. Nicholas Stern(2006), The Stern Review: The Economics of Climate Change
10. DARA(2012), Climate Vulnerability Monitor 2nd Edition
11. 환경부(2018), 미세먼지 관리 종합대책
12. West(2013), Co-benefits of Mitigating Global Greenhouse Gas Emissions for Future Air Quality and Human Health
13. Purohit, P. and Amann(2009), Scenarios for Cost-effective Control of Air Pollution and Greenhouse Gases in India, Laxenburg, Austria, International Institute for
14. Swedish EPA(2009), Air Pollution and Climate Change, Two sides of the same coin?

15. OECD(2009), Co-benefits of Climate Change Mitigation Policies: Literature Review and New Results, ECO/WKP(2009)34
16. 국무조정실, 녹색성장기본법 제2조9항
17. IPCC(2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
18. IPCC(1995), 제2차 평가보고서
19. IPCC(2007), 제4차 평가보고서
20. Bachmann, J. (2009), Black Carbon: A Science/Policy Primer, PEW Center on Global Climate Change
21. 이성진, 오동익(2015), 단기체류 기후변화 유발물질 관련 기술개발 및 정책 동향, Issue Paper 2015-11, KISTEP(한국과학기술기획평가원)
22. 국립환경과학원(2001), 오존의 이해와 대응 - 지표 오존을 중심으로
23. UK Defra(2010), Air Pollution: Action in a Climate Change
24. Environmental Protection UK(2011), Air Quality and Climate Change: Integrating Policy within Local Authorities
25. <http://www.defra.gov.uk/environment/quality/air/airquality/panels/igcb/documents/uk-markal-model.pdf>

ISSUE  PAPER
기후변화법제연구사업
이슈페이퍼



한국법제연구원
KOREA LEGISLATION RESEARCH INSTITUTE

발행일 2018년 6월 29일 / 발행인 이익현 / 발행처 한국법제연구원 (www.klri.re.kr)
주소 30147 세종특별자치시 국책연구원로15 한국법제연구원 글로벌법제연구실
TEL (044) 861-0483 / FAX (044) 868-9919

