

Section IV

에너지, 기후변화, 수송 및 대기의 질

이 섹션에서는 에너지, 수송, 기후변화 및 대기의 질 문제 등 상호 밀접하게 연계되어 있는 부문들을 다룬다.

에너지 및 수송에 관한 장에서는 전반적인 개발의 동향과 전망 및 이런 변화의 환경영향을 논의한다. 기후변화 및 대기의 질에 관한 장에서는 온실가스와 대기오염의 과거 및 미래의 배출을 조사하고, 이런 변화가 환경에 미치는 영향가능성을 분석한다.

모든 장에서는 확인된 문제를 해결하기 위해 활용가능한 정책대안을 도출한다.

제 12 장 에너지

개 요

- OECD 국가의 에너지소비는 1973년 대비 1998년 36%까지 증가하였으며, 2020년 까지 35% 이상, 세계적으로 51%까지 증가할 것으로 예상된다. 세계 에너지소비에서 수송부문뿐만 아니라 가정 및 상업부문의 에너지소비가 가장 급속하게 증가하는 것으로 나타나고 있다.
- 에너지생산 및 소비는 온실가스 배출, 대기오염 및 핵폐기물생산의 주된 요인이며, 또한 소음, 수질오염 및 생태환경의 저하를 가져온다. 에너지로 인한 대기오염은 인간의 건강에 심각한 부정적인 영향을 미친다.
- 2020년경(timeframe)에는 화석연료의 연소(combustion)효율과 환경적 성과에 있어 획기적인 향상은 물론, 신재생에너지와 연료전지와 같은 신기술의 시장점유율이 증가할 잠재력은 있다.
- 그러나 예상되는 총 에너지사용의 증가는 전기에너지의 수요증가와 원자력에너지의 이용감소와 결합하여 총 1차에너지소비와 에너지관련 배출량의 증가를 초래할 것 같다.
- OECD 지역에서 에너지관련 환경압력에 맞춰 획기적으로 감축을 달성하기 위해서는 천연가스의 이용, 신재생 및 저감 배출기술의 이용을 가속화하고, 산업 및 발전부문에서의 화석연료 이용에 대한 전환효율의 향상 속도를 더욱 단축해야 한다. 수요 관리를 목표로 하는 정책들이 가정, 상업, 농업 및 전환부문에서 에너지효율을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 환경친화적(green)인 발전을 촉진할 수 있다.

12.1 머리말

에너지의 생산 및 이용은 현대의 산업화된 경제에서 기본적인 것이며, 모든 경제활동을 뒷받침한다. 에너지는 차량을 움직이고, 난방을 하며, 산업에 전기를 공급하는데 이용된다. 하지만, 에너지를 생산하고 이용하는 것은 대기오염, 온실가스 배출, 원자력폐기물을 포함한 부정적인 환경적 효과를 초래한다. 에너지시스템은 또한 소음, 수질오염 및 생태계 저하를 가져올 뿐만 아니라 인간의 건강에도 영향을 미친다. 일반적으로 에너지이용의 환경에 대한 영향은 여러 가지 요인들의 결과이다. 즉, 에너지를 생산하기 위하여 사용되는 화석연료의 구성(Mix) ; 일차에너지의 유용한 에너지(배전, distribution 포함)로의 전환 효율 ; 사용 기술 ; 그리고 사용된 에너지의 전체적인 수준 등이다. 에너지를 위한 연료의 구성(Mix)에 있어 화석연료의 사용은 오늘날의 기술수준으로는 오염의 강도가 다소 감소된다 하더라도 대기오염과 온실가스 배출은 지속되고 있다. 원자력에너지 생산은 비용적으로 원전사고의 위험성과 방사성 폐기물을 처리해야 하는 필요성을 안겨주고 있다. 심지어, 신재생에너지원 조차도 어느 정도 부정적인 영향이 있다. 즉, 수력발전은 하천유역의 자연상태를 변화시킴으로써 생태계의 저하를 가져올 수 있고, 동식물의 상태(flora and fauna)에 영향을 주며, 풍력과 같은 다른 신재생에너지지도 시각과 소음에도 영향을 미친다.

에너지생산과 이용 및 환경과의 관계를 획기적으로 바꿀 수 있는 여러 가지 새로운 기술들이 개발 중에 있다. 이러한 기술들은 신재생에너지에 기초한 전기공급 체계 외에도 차량의 섬유소 에탄올 연료(cellulose ethanol fuel)의 이용, 수소차량의 개발과 이용, 수소연료전지, 그리고 이산화탄소 포집기술 등을 포함한다. 지속가능한 미래의 개발에 있어 핵심적인 도전은 청정기술로의 전환과 더불어 에너지공급의 안정성과 신뢰성, 에너지생산과 이용에 따른 비용 그리고 환경적인 외부효과(externality)간의 균형을 향상시키는 에너지원이다.

12.2 에너지부문의 발전

에너지수요

Reference Scenario 하에서 1995년과 2020년의 세계 총 에너지 소비는 비OECD 국가에서 일어나는 증가에 따라 51%까지 증가할 것으로 전망된다. 세계 전체에서 OECD 지역의 에너지 소비의 비중은 1995년 35%에서 2020년 32%로 낮아질 것으로 전망된다. 에너지소비의 최근 추세와 비교할 때, 이러한 수치는 OECD 지역과 전세계 경제모두 에너지집약도(Energy Intensity)가 감소한다는 것을 나타낸다. 즉 경제활동으로부터 에너지사용이 완화(de-coupling)되고 있음을 나타내고 있다(표 12.1). 그러나, 일인당에너지소비는 OECD 국가뿐 아니라 세계적으로도 2020년까지 계속 증가할 것으로 예상된다.

OECD국가들은 경제성장으로 부터 에너지소비증가의 완화를 실현하고 있다




표 12.1 주요 에너지부문 통계 및 전망

| | | 1980 | 1998 가능한 최근년도 | 2020 전망 | 총 변동 1995-2020 |
|---|-------|---------|------------------|------------|-------------------|
| 총 일차에너지공급(TPES, PJ) | OECD | 170,068 | 213,400 | 275,622 | 30% |
| | World | 299,817 | 402,569 | 586,193 | 52% |
| 총 최종에너지소비(TFC, PJ) | OECD | 123,636 | 145,155 | 197,768 | 35% |
| | World | 202,096 | 278,244 | 417,460 | 51% |
| 경제활동의 에너지밀도(TPES/GDP) (GJ/1,000US\$ GDP) | OECD | 13.0 | 10.9 | 8.0 | -19% |
| | World | - | 15.5 | 12.9 | -13% |
| 일인당 에너지밀도(TPES/GDP) (GJ/Capital) | OECD | 177 | 196 | 221 | 18% |
| | World | 68 | 70 | 78 | |

출처 : 국제에너지기구(IEA, 2000a), IEA(2000b), GTAP의 자료 및 기준시나리오

OECD 지역내에서 에너지사용은 1973년 이래로 태평양연안국가(2.7% p.a)에서 보다 북미(1.1% p.a)와 유럽(0.9 p.a)에서 보다 천천히 증가하여 왔다(IEA, 200b). 앞으로 20년 이상 에너지 수요증가율은 특히 서유럽과 일본에서 보다 낮을 것이다. (표 12.1). 비 OECD 지역의 경우 중국과 동아시아의 에너지수요는 앞으로 20년 이상 경제 성장과 인구증가에 의해 급속한 증가(대략 각각 3%와 2%)를 계속할 것이다. 1990년대에¹⁾ 동유럽과 구소련연방의 주요한 정치개혁과 경제침체에 따라 이 지역에서의 최종에너지소비는 급격한 감소현상을 보였으나, 이러한 추세는 반전되어 앞으로 20년 이상 에너지수요가 다시 증가할 것으로 전망된다.

OECD국가와 전세계 에너지 소비는 2020년까지 계속 증가할 것으로 보인다

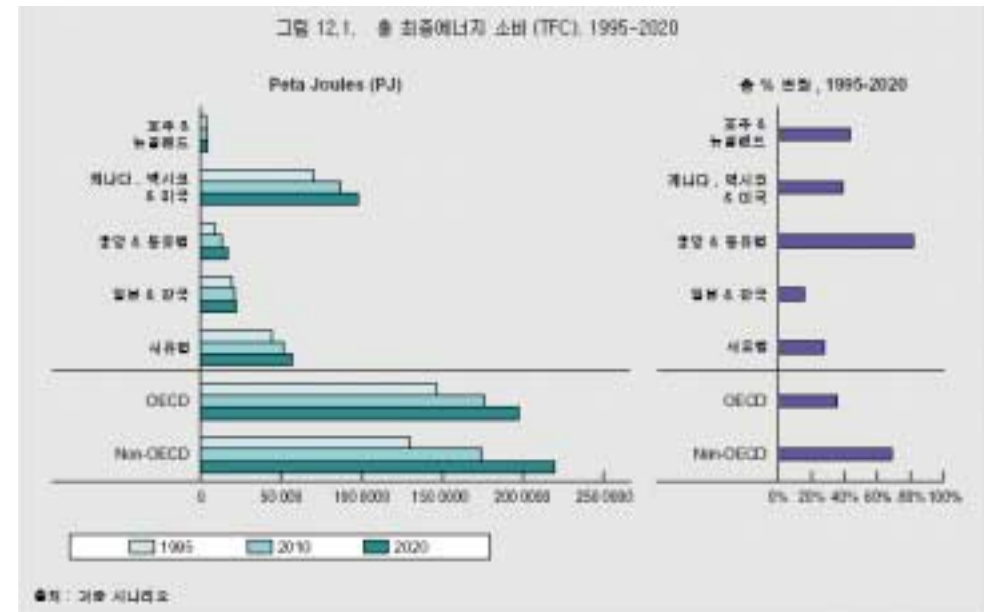


OECD 국가의 경우에 수송부문이 현재 최종에너지의 1/3에 해당하지만, 1970년대초 이래로 증가한 에너지소비의 2/3를 차지한다. 산업부문 에너지 소비는 총소비의 1/3 이상을 훨씬 넘게 구성하고 있으며, 나머지는 가정용, 서비스, 그리고 소규모의 농업용으로 분리된다. 국제에너지기구(IEA)의 “세계 에너지 전망 2000”에 따르면, 2020년까지 수송부문은 세계석유 수요의 절반 이상을 차지할 것이며, 이는 OECD 국가의 일차에너지 석유수요의 62%로서 OECD 지역에서의 전체 석유수요 증가의 요인으로 작용한다.(IEA, 200b)

산업부문에 있어서 최종에너지소비는 근소하게 하락하여 왔는데, 이는 주로 경제활동의 구조적 변화 - 제조업으로부터 서비스업으로의 이동 - 에 따라 에너지소비효율의 증가를 수반하였기 때문이다. 미국, 독일, 일본 경제의 구조적 변화는 총 에너지소비를 상당히 낮춘(적어도 10% 정도) 것으로 평가되고 있다.(IEA, 1997). 에너지소비에 있어서 이러한 감소와 병행하여 보다 적게 탄소를 함유한 에너지원으로부터 연료의 이용이 증대되는 추세를 유지

1) 러시아연방에 대하여는 1990년에 29,100PJ(peta(10¹⁵) joule)부터 1997년의 16,300PJ까지임(OECD, 1999a)

해 왔다. 예를 들면, 펄프나 제지부문에서 생물자원(Biomass) 에너지의 이용 증가 등을 들 수 있다.(제18장 참조).

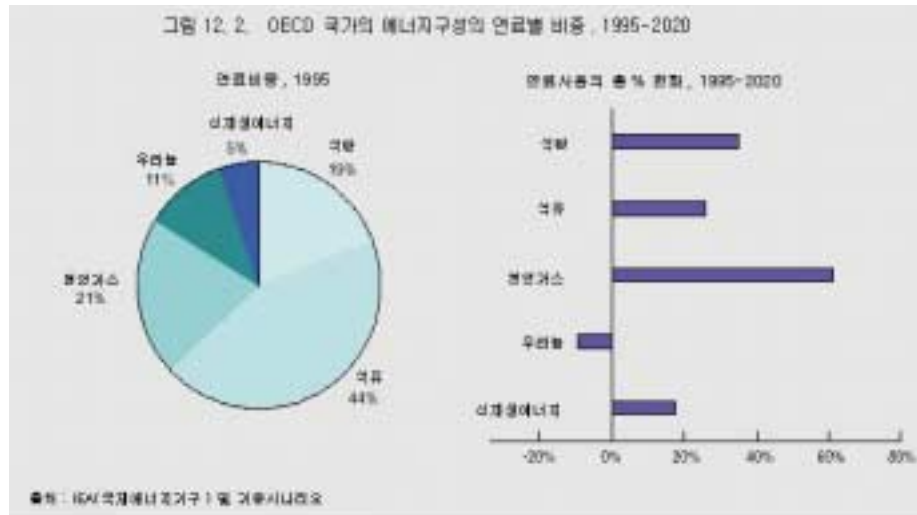


산업 및 가정부문은 전기용품(보다 많은 컴퓨터와 인터넷 이용시간)의 이용시간 증가, 일인당 건물면적의 확대, 냉난방 수준의 향상(제5, 16장 참조) 등으로 에너지소비의 증가가 지속되고 있다. 이러한 추세에 따라 OECD 국가에서 가정 및 서비스부문의 에너지소비는 2020년까지 계속 증가할 것으로 전망된다.

에너지공급

에너지를 생산하는데 투입되는 연료의 형태에 있어서도 지난 몇 십년간 중대한 변화가 있어왔다. OECD 지역의 현재 연료공급의 구성(Mix)은 석유가 주종이며, 그 다음으로 고체연료(넓게 석탄)와 천연가스로 구성된다.(표 12.2). 총 에너지공급에 있어서 최근 OECD 지역의 석탄 비중은 석유보다는 정도가 덜하지만, 꾸준히 낮아지고 있다. 이는 전력화현상(electrification)의

심화, 상대적으로 에너지집약적인 (energy intensive) 제조업부문의 중요성 감소 및 특히 전력부문에 석유와 석탄의 천연가스로의 대체 등이 반영되고 있기 때문이다. OECD 국가에서 실질적으로 석탄수요의 모든 증가는 전기발전에서 비롯된다. 가스는 전반적인 에너지사용에 있어서 비중이 증가되고 있으며, 에너지시장의 규제완화와 복합가스터빈의 기술진보는 앞으로 20년 이상 전력생산과 산업용소비에 있어 가스의 소비확대는 지속될 것으로 전망된다. 신재생에너지는 최근 몇 십년 동안 속도는 빠르지만, 상대적으로 작은 모체(base)로부터 증가해 오고 있다.



전기를 생산하는 에너지원(energy generation capital)의 전환은 다른 부문의 연료구성(fuel mix)을 변화시키는데 커다란 영향을 미치고 있다. 발전부문은 화석연료와 원자력발전소의 가동주기(life spans)가 적어도 20년 내지 40년이기 때문에 전형적으로 장기의 투자자본회전율(a slow capital stock turnover)을 가지고 있다. 그 결과, OECD 국가에서 2020년의 수요에 맞춰 필요한 규모의 발전설비가 이미 건설되고 있기 때문에 신재생에너지와 같은 새로운 에너지공급원이 발전시장에 침투할 수 있는 수준은 제한되고 있다.

지난 몇 십년간 에너지생산에 있어 아마도 가장 중요한 추세는 전기에너지

의 비중이 급속히 증가하고 있다는 점이며, 1975년 이래 총 에너지소비에서 전기의 비중은 거의 두배가 되었다. 이 것은 부분적으로 전기 집약적인(electricity-intensive) 가정 및 상업부문의 성장에 따른 결과이다. 이 부문에서 많은 전기용품, 특히 사무기기(business equipment)와 가정용 전기기기(residential appliances)은 전기에 대한 현실적인 대체에너지원이 없다. 더 나아가, 모든 부문에서 전기를 사용하는 방향으로 이동하고 있다. 이것은 전기사용의 광범위성, 유연성, 안전 및 비용성을 반영하고 있다. OECD 몇몇 국가들의 경우 전기공급체계가 너무 불안정해서 고품질의 전기를 요하는 컴퓨터(high-powered computer)에 필요한 전기를 지속적으로 공급하지 못하고 있어, 전기의 증가수요를 전력공급망으로부터 받지 못하고, 독립된 전력공급원(off-grid power sources)에서 얻고 있다.

2020년에 OECD 국가에서 에너지소비증가의 대부분은 석유와 천연가스 소비가 될 것으로 전망된다. 전자인 석유는 석유에 의존하는 수송부문의 이동수요에 의해 주도되고, 후자인 천연가스는 발전용 가스의 사용증가에 의해 주도될 것이다. 신재생에너지는 OECD 국가에서 2020년까지 총 연료소비의 6%까지 증가할 것이지만, 이것은 주로 정부로부터의 재정적인 유인책(incentive)에 달려있을 것이다. 원자력연료의 사용은 지난 수 십년간 OECD 국가에서 상당히 증가해 왔으며, 그 것은 1973년부터 1996년까지 OECD 국가의 총 에너지소비 증가의 거의 40%에 해당하는 수준이지만, 최근에 낮아지고 있다. 모든 OECD 국가에서 정치, 경제, 기술적인 쟁점(issues)들 때문에 원자력발전소 건설이 중단 또는 감축되고 있으며, 여러 국가에서 현재의 원자력 발전시설을 단계적으로 폐지하고 있다. 가동주기 연장이 보장될 가능성이 있음에도 불구하고, 지금부터 2020년까지 현존하는 발전소의 30%가 폐기될 것이다(IEA, 2000b). 결과적으로 OECD 국가에서 총 최종적인 원자력에너지 수요전망은 다소 감소할 수 있음을 나타낸다.

에너지집약도

OECD 지역에서 총에너지소비는 증가하고 있음에도 불구하고, 경제의 에너지밀도(GDP 대비 총 1차에너지 투입량)는 1980년 이래 16% 이상 감소하고

있다. 이 것은 주로 경제의 에너지효율 향상과 발전부문에서 연료 및 기술의 변화를 반영하는 것이며, 또한 시장개혁 정책과 마찬가지로 주로 에너지가격의 변화에 의해 주도되고 있다. 1973년/1974년(1차 석유과동) 및 1979년(2차 석유과동) 유가상승 이후, 에너지밀도는 특히 OECD 국가에서 급격하게 떨어졌다. 실제 석유가격이 석유과동 이전 수준으로 떨어진 1985년 후에 에너지밀도의 감소율이 둔화되었음에도 가격하락에 따른 에너지사용의 급격한 증가는 없었는데, 이는 인프라와 장기적인 행태변화²⁾를 통하여 OECD 경제에 에너지효율향상이 변함없이 지속되었음을(be locked in) 나타낸다. 최근 석유수출국기구(OPEC)의 원유감산 합의는 1999년과 2000년의 큰 가격상승의 원인이 되었다. 미래의 에너지가격 추세를 예측하는 것은 어렵지만, 그것은 주로 석유수출국기구의 합의와 에너지시장개혁의 속도에 달려있을 것이다.(Box 12.1)

Box 12.1 에너지부문 개혁

대부분의 OECD 국가들은 에너지공급 및 배분서비스를 자유화하는 과정에 착수했다. 대부분의 경우에 전력부문에서의 정책개혁은 산업이 보다 효율적이고 경쟁력을 갖추도록 전기요금을 낮추도록 유도하고 있다. 이러한 시장의 지속적인 개혁은 전기요금을 훨씬 더 낮추고 수요를 증가시킬 것으로 예상된다. 이러한 개혁으로 야기될 부정적인 환경적 영향을 상쇄하기 위해서 각 국가들은 에너지효율을 향상시키고, 배출을 감소시키며 및 청정연료 사용을 확대하는 정책을 채택하는 것이 필요할 것이다. 적절한 정책수단은 Section 12.4에서 논의된다.

2) 가격탄력성은 비대칭적(asymmetric) 경향이 있다. 이는 소비자가 수요감소보다는 가격상승에 보다 민감하게 반응하기 때문이다.

OECD 국가에 있어 또한 일차에너지를 최종에너지로 전환하는 전반적인 효율이 최근 몇 년간 점차적으로 감소해 왔다. 이것은 최종에너지소비에서 전기 비중의 증가를 반영하지만, 일차에서 최종에너지로의 전환시 효율향상에 의해 어느 정도 상쇄된다(offset). 이러한 결과는 획득가능한 보다 높은 효율기술(예를 들면 가스복합터빈, CCGT)이 발전투자자본의 전환점(turnover of power generation capital stock)을 넘어 생산중인(on stream) 곳에 적용될 때 발생할 것이다. 향상된 기술들은 높은 효율에 대한 잠재력을 제고하고, 새로운 가스연소발전화력에 대한 시장의 잠재력은 또한 매우 높다. OECD 경제의 에너지효율은 총 연료소비량/국내총생산량(TFC/GDP)에 의해 측정되는 바와 같이 2020년까지 향상될 것이다.(표 12.1 참조)³⁾

에너지무역

OECD 지역에서 에너지소비가 빠른 속도로 에너지생산을 증가함에 따라 Reference Scenario는 앞으로 수 십년 이상 보다 많은 연료, 특히 석유와 천연가스의 수입이 필요할 것임을 보여준다. 현재 OECD지역은 에너지소비량의 약 74%를 생산하고 있다. 에너지자급(Energy Self-sufficiency)은 1980년대에 78%로 최고치를 기록했었고, 그 이후로 전반적으로 감소해오고 있다. 다른 연료들의 에너지자급은 실제로 다양하다. OECD 국가들은 원자력에너지와 신재생에너지를 자급하고 있지만, 석탄은 단지 적은 부분(1998년 3%)을 수입하고 있고, 천연가스는 15% 이상, 석유는 50% 이상을 비 OECD 국가로부터 수입하고 있다.

2020년까지 총 에너지소비가 20% 이상 상승함에 따라, 에너지자급은 상당히 떨어지며, OECD 국가의 에너지생산은 안정을 유지하거나 다소 하락할 것으로 추정된다. 중동의 OPEC 국가로부터 세계 원유공급은 1997년 54%에서 2020년에 74%까지 증가할 것으로 예상된다(IEA, 2000b). OECD 지역, 부

3) 하지만, 이러한 자의적인 에너지효율향상의 비율에 대하여 상당한 정도의 불확실성이 존재한다.(AEEI 단순화를 위하여 Reference Scenario는 연평균에너지효율향상(AEED)이 2020년까지 모든 부문과 지역에서 매년 0.75%가 될 것이라고 가정한다. 자세한 것은 Annex2 참조.

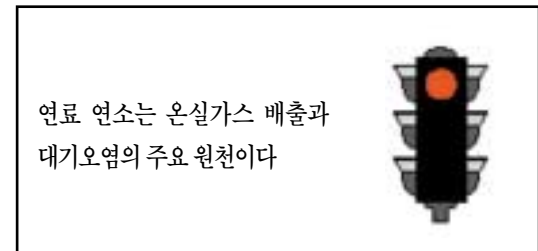
분적으로 서유럽국가는 향후 20년 이상 천연가스의 수입이 상당히 확대될 것으로 추정되는 반면, 비 OECD 국가들은 수출을 확대할 것이다. 이러한 무역 형태의 변화와 비 OECD 국가로부터 천연가스 공급원의 의존도는 천연가스 공급의 안정성에 대한 밀접한 관련성(Implication)을 가질 수 있다. 지역용통 전력시장(Open regional electricity markets)이 계속 확대됨에 따라, 지역간 전력거래도 증가할 것이며, 시장내(수력/화석연료/원자력)에서 연료구성(Mix)이 의존하게 됨으로써 지역적, 지구적 배출이 증가하거나 감소할 수 있다. 경매베이스(auction basis)로 운영되는 국내 전력공동배송시스템(Domestic power pool dispatch systems)은 한계비용을 최소화하는 발전원을 선호하는데, 현존하는 발전소의 경우에는 원자력발전이 그렇게 되는 경향이 있다.

12.3 에너지생산과 소비의 환경적 효과

에너지생산과 소비는 여러 가지 방법으로 환경에 영향(Affect)을 줄 수 있다. 그 것은 각각 다른 연료원으로부터 매우 다양한 영향(Imapcts)을 미치기 때문이다. OECD 국가에서 예상되는 총 에너지소비의 증가는 에너지생산과 소비에 따른 환경적 영향도 증가할 것이다. 반면에, 연료사용의 구성 변화에 따른 효과는 최종적인 연료의 구성(Mix)에 달려 있다. OECD 국가에서 석탄 의존도의 감소는 황산화물(Sulphur oxides, SO_x), 미세먼지(Particulate matter, PM) 및 이산화탄소(Carbon dioxide, CO₂)에 대한 낮은 배출밀도를 가져올 것이다, 반면에, 원자력에 대한 의존도 감소는 이러한 효과를 상쇄하고, 원자력에너지 감소분을 대체하기 위해 사용되는 연료에 의존하게 됨에 따라 질소산화물(Nitrons oxides, NO_x)의 배출 증가를 가져올지 모른다. 그러나, 연료구성에 있어 원자력에너지의 비중 감소는 원자력사고의 위험을 낮추고, 방사성폐기물의 생성을 감소시킬 것이다.

대기환경과 기후변화

대기오염과 인간이 유발한 기후변화는 에너지사용에 따라 일어나는 가장 긴급한 환경문제이다. 개별 국가에 있어 상황은 매우 다양하지만, 연료연소는 표 12.2에서 보는 바와 같이 OECD 지역 전체에서 주요한 대기오염원이며, 부수적으로 생태계뿐만 아니라 인간의 건강과 복지에 영향을 미친다.(제15, 21장 참조) 생태계에 대한 지역적, 지구적 영향은 황산화물과 질소산화물 배출을 통한 산성비(Acid rain)와 대기권의 온실가스 집중의 증가에 따른 기후변화를 포함한다. 1998년에 에너지부문(고정적인 연료연소와 수송)에서 OECD 국가에서 인류가 생성한 온실가스 총 배출량(Anthropogenic greenhouse gas emissions)의 약 80%를 차지하는 것으로 보고되었는데, 이는 토지이용과 산림을 제외한 것이다.(제13장 참조)



에너지로부터의 대기배출의 대부분은 화석연료의 사용에서 비롯된다.4) 석유는 에너지관련 이산화탄소 배출의 가장 큰 부분 즉, OECD 국가에서 1996년에 에너지관련 이산화탄소의 46%를 차지한다.(IEA, 1998c). 절반 이상이 수송부문이고, 그것은 또한 일산화탄소(CO)와 질소산화물(NO_x) 배출의 주요 원천이며, 국지적인 오존 집중화(localized ozone concentrations)에 있어 결과적으로 최고치가 된다. 발전부문은 주도적인 황산화물(SO_x)의 배출원이며, 다음으로 산업부문에서 고정된 에너지사용인데, 이는 또한 석탄을 가장 많이 사용하는 부문이다. 화석연료 연소로부터의 먼지(PM)배출 또한 상당한 수준이다. 그러나 보다 엄격한 규제와 보다 효과적인 통제기술의 도입으로 급격히 감소하고 있다.

4) 바이오매스(biomass)를 소각함에도 불구하고 실질적으로 메탄가스(METHANE, CH₄), 비메탄 휘발성 유기화합물(non-methane volatile organic compounds, VOC), 일산화탄소(CO) 먼지(PM) 및 그을음(soot)의 배출을 야기할 수 있다.

표 12.2 에너지소비의 대기오염과 온실가스 배출에 대한 기여도
OECD국가에서 에너지사용에 따라 파생된 총 배출량의 %, 1990년대 중반

| 대기오염원 | 수송 | 발전 | 기타 연소 (산업 및 가정) | 기타 |
|--|-----------|-----|--------------------------------|-----|
| 황산화물 | 4% | 23% | 71% | 2% |
| 질소산화물 | 52% | 28% | 16% | 4% |
| 일산화탄소 | 85% | 2% | 13% | 0% |
| 먼지 | 17% | 12% | 26% | 45% |
| 부속서 I 국가(ANNEX I)의 온실가스 배출 (1990년대 중반, UNFCCC(기후변화협약) 보고자료) | | | | |
| 대기오염원 | 에너지부문 기여도 | | 에너지부문내 주요 원천 | |
| 아산화탄소 | 96% | | 연료 연소 | |
| 메탄가스 | 35% | | 탈루성 배출 (fugitive emissions) | |
| 아산화질소 | 26% | | 연료 연소 | |
| 출처: OECD(1999a), UNFCCC(2000) | | | | |

기준시나리오를 보면 OECD 지역에서 에너지관련 아황산가스(SO₂) 배출이 2020년까지 약 26% 증가할 것으로 보여지고 있는데, 이는 비 OECD 국가에서 예상되는 것보다는 상당히 낮은 증가이다. 이산화탄소(CO₂) 배출은 현재의 정책하에서 OECD지역과 전세계적으로 모두 증가할 것으로 예상되며, 비록 과거보다 그 증가 속도는 낮지만 1995년부터 2020년까지 전체적으로 각각 약 33%와 61%가 증가할 것이다. 기준시나리오에서 OECD 국가의 경우 이산화탄소, 황산화물의 배출 증가율이 낮은 것은 신재생에너지의 비율증가와 더불어 천연가스와 상대적으로 청정한 가스터빈기술(상대적으로 온실가스, 황, 질소산화물 배출이 적음)의 사용을 통해 공급되는 에너지 비중의 증대에 기인하는 결과이다. 이러한 감소된 증가율은 또한 황산화물, 질소산화물 및 비메탄 휘발성 유기화합물(VOC)에 대한 최종단계(End-of-pipe)의 통제기술 향상을 반영하고 있으나, 이산화탄소의 경우는 그렇지 않다.

용수와 토양

많은 OECD 국가에서 추출된(abstracted) 용수(water)의 상당 부분이 발전소의 냉각용으로 사용되고 있으며, 이러한 목적으로 사용되는 용수의 비중은 최근 몇 년에 급격하게 증가해 왔다.(제8장 참조). 이러한 용수는 일반적으로 원래 상태로 돌아가지만, 종종 추출될 때보다 온도가 올라가거나, 산소농도가 낮아지기도 한다. 이러한 용수로의 온배수(Thermal pollution of waterways)는 담수(freshwater)의 산소를 고갈시킬 수 있다. 온배수는 대부분의 OECD국가에서 주로 허용기준(sitting permits)을 통해 규제되고 있다. 에너지소비로 인한 물과 토양의 오염은 또한 직접적으로 유류탱크의 누출과 간접적으로는 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx)(주로 연료연소로부터 발생)의 대기배출로 인한 산성(acidic)의 퇴적에 의해 발생한다. 이 것은 몇몇 지역에서 호수와 강 그리고 산림에 민물고기와 생물 그리고 서식지에서 피해를 주는 등 심각한 영향을 미쳐왔다.

자연자원의 이용

화석연료는 필연적으로 재생불가능한 자원이다: 그것은 고갈되기 때문에 다른 것 보다 풍부하고 재생가능한 자원으로 대체될 필요가 있다. 그러나, 2020년을 넘어서도 화석연료에 대한 제약이 에너지공급에 있어 중요한 역할을 할 것 같지는 않다. 국제에너지기구(IEA)의 세계 에너지 조망(The IEA's World Energy Outlook 2000)은 세계 석유자원의 기반이 예측한 기간, 즉 2020년의 수요를 충족하는데 적합한 것으로 보고 있다. 그러나 이는 자본투자가 가능하도록 2020년까지 꾸준히 가격이 배럴당 미화 28달러(US\$28/barrel)로 인정될 것을 전제로 한다. 천연가스의 부존량은 석유환산으로 1.9조(trillion) 배럴로 평가된다. 그리고 천연가스 수요는 석유보다 빠르게 증가함에도 불구하고, 2020년 이후까지 심각한 공급부족은 예상되지 않는다. 세계 석탄생산은 2020년을 훨씬 넘어서도 수요를 충족시킬 것으로 예상되며, 일부 지역의 공급부족은 국제시장을 통해 해소될 것이다.

석탄채광(coal extraction)의 환경영향은 노천탄광(open-cast coal

mining)으로부터의 토지저하(서식지의 부수적인 변화)와 용해되지 않거나 부유하는 고체(dissolved/suspended solids)와 산성을 함유한 광산배출수(mine drainage water)를 인근 수로로 스며드는(leaching) 것을 포함한다. 원유 채굴과 수송, 특히 해안채굴은 누출을 초래할 수 있으며, 가스와 석유생산은 이산화탄소(CO₂)와 메탄가스(CH₄) 배출을 가져온다. 석탄채광 또한 메탄가스의 주요 배출원이다. 우라늄 채광은 라돈가스(Radon gas), 먼지를 생성할 뿐만 아니라, 원자력발전과 관련된 폐기물 덩어리를 형성하는 광산폐기물 등으로 하천을 오염시킨다. 대규모 수력발전댐은 종종 최소한의 물의 흐름을 규제하여 바다생물에 대한 피해를 감소시킴에도 불구하고, 하천의 흐름에 영향을 주게 된다. 댐은 또한 잠재적으로 범람지역에서 조류와 다른 동식물 상태에 지역화된 영향을 미친다. 최근 연구들은 침수지역에서 유기물질(organic matter)의 쇠퇴를 가속화하여 메탄가스(CH₄)의 배출을 야기하고 있다는 것을 보여준다. 새가 죽는 것과 함께 시각, 소음공해가 풍력발전의 부정적인 환경영향으로 인식된다. 하지만, 소규모 신재생발전의 부정적인 환경영향은 일반적으로 제한적이다.(장소에 특정된다).

폐기물

석탄의 채광 및 연소 모두 상당한 정도의 고체폐기물(분탄 및 재, slag and ashes)을 생성하며, 그 것은 오염을 야기하거나 시각적인 쾌적함을 감소시킬 수 있다. 석탄의 채광이나 연소시 톤당 발생하는 폐기물의 양은 장소에 따라 다양하며, 이 것은 탄층(coal seam)의 화학적 특성에 달려있다. 석탄을 청소하는 것 또한 대기에 분진을 배출시키며, 분진이 함유된 검은 물을 배출한다.

원자력폐기물은 그 것의 수송과 폐기과정에 관련된 독특한 위험을 안고 있다. 왜냐하면, 그 것은 수 백년 동안 높은 방사능이 잔류해 있을 수 있기 때문이다. 더 나아가 거기에는 원자력발전시설로부터 방사성물질의 누출사고의 위험이 있다. 많은 OECD 국가에서 안정된 지질구조 위에 방사성폐기물을 격리하는 것이 최상의 선택이라는 것에 동의하지만, 이러한 정책의 집행은 정치적인 이유 등으로 부진하다.⁵⁾ 게다가 그러한 방법으로 폐기된 폐기물의 저장

5) 2010년 이전까지는 고준위 원자력폐기물의 저장을 위한 최소 시설장비가 기대되지는 않는다.(IEA, 200c)

시설이 핵무기(nuclear material)의 불법적인 원료가 될 수 있는 위험을 최소화하기 위하여 - 결과적으로 다른 저장방법이 선호되는 경우 - 그 폐기물이 회수될 수 있는지, 없는지에 대한 합의도 없다.

12.4 정책대안과 잠재적 효과

OECD 국가에서 경제적 에너지밀도는 감소하고 있음에도 불구하고, 1980년대 이후 에너지생산과 소비는 급격히 증가해 왔다. OECD 국가에서 사용되는 에너지가 2020년까지 35%가 증가할 것으로 전망되고 있어 이러한 추세는 계속 될 것 같다. 반면에, 세계적으로는 51%까지 증가할 것이다. 에너지 사용에 다른 환경적 영향, 특히 대기오염과 온실가스 배출을 감소시키기 위하여 에너지정책은 보다 수요관리(전반적으로 에너지수요증가를 감소시키는 것)를 하는 방향으로 강화될 필요가 있다. 즉 연료구성에 있어 저배출 에너지원의 비중 확대, 저배출 및 에너지효율기술의 개발과 적용 활성화 등이다.

OECD 국가에서 새로운 에너지정책을 위한 주요 환경적 동인(driver)은 온실가스배출을 감축시키기 위한 합의된 목표를 달성하는 것이다. 전통적인 대기오염원의 배출과는 달리, 아직 이산화탄소 배출에 대한 경제적으로 성장가능한 최종단계(end-of-pipe)의 통제가 적용될 수 있는 것은 없다. 초점은 배출의 억제나 감축이 될 필요가 있으며, 이는 에너지사용의 감축과 무(zero) 또는 저배출기술의 사용 또는 신재생에너지와 같은 연료원을 사용하는 것을 의미한다. 에너지 공급측면에서는 전기비중의 증가에 따라 이 것은 특히 향후 정책의 중요한 초점이 되고 있다.

기술의 발전과 확산

에너지소비 및 생산에 따른 환경적 영향을 감소시킬 수 있는 많은 연료원과 기술들이 조업단계(on-stream)에 있다.(Box 12.2 참조). 하지만, 이 중에서 많은 것들이 아직 기존의 전통적인 연료원이나 기술보다 사용시 높은 비용 때문에 앞으로 5내지 10년 이내에 많은 점유율을 가질 것 같지는 않다. 수송수

단의 자본회수는 상대적으로 빨라 수송부문에서 새로운 기술의 신속한 침투를 유도할 수 있으며, 전력부문에서는 상대적으로 낮은 자본회수율(rate of capital turnover) 때문에 보다 효율적인 기술의 채택(up-take)이 저해되고 있다.

Box 12.2 에너지관련 기술

가스터빈과 석탄가스화기술을 포함한 화석연료의 연소기술 향상은 중전의 화석연료기술보다 상당한 배출감축 잠재력을 제공한다. 신재생에너지의 가격하락은 풍력과 생물자원(biomass) 에너지의 적용범위를 확대시켜 이를 경쟁력있게 만들고 있으며, 향상된 축전 및 전력망관리기술은 신재생에너지의 시장침투를 도울 것이다. 수송관련 에너지이용에 대하여도 수소전기(hybrid electric)/가솔린과 바이오 에탄올(petrol and bio-ethanol)/가솔린 수송수단(petrol vehicles)이 최근 여러 OECD 국가에서 상업화되고 있으며, 연료절약과 배출감소에 큰 잠재력을 제공할 수 있다. 수소연료전지기술(hydrogen fuel cell technology)은 수송부문에서 거의 상업화 단계에 이르렀으며, 이러한 것들은 급격하게 그 부문의 에너지수요와 환경적 피해를 변화시킬 수 있다. 에너지부문으로부터 온실가스 배출을 처리하기(addressing) 위한 기술, 가령 이산화탄소를 저장할 수 있는 사용된 가스에 집어넣는(pump) 이산화탄소정제과정(CO₂ scrubbing processes)등이 또한 탐색되고 있다.(제13장 참조)

보다 효율이 높은 최종 에너지사용기기(end-use appliance)를 포함하여 지속가능한 에너지체계를 개발하고 적용과정을 가속화하기 위해서 정부는 이러한 대안의 연구개발과 채택에 대한 보다 강력한 지원을 제공할 필요가 있을 것이다. 에너지절약과 신재생에너지에 투입되고 있는(각각 전체의 13.6%와 8.2%) 에너지 연구 및 개발에 대한 전체 국제에너지기구(IEA)에 가입한 정

부의 지원 비율은 현재 석탄, 석유 및 가스에 투입되는 비율을 증가하고 있는 반면, 대부분의 연구개발 지원이 원자력과 같은 전통적인 연료의 개발에도 계속되고 있다.(IEA, 2000e). 에너지연구개발 및 신재생에너지와 에너지효율 기술의 채택을 유도하는 유인제도(incenives)는 예상되는 에너지수요증가를 상쇄(counter-balance)하기 위하여 가속화 될 필요가 있다. 다른 연료와 에너지기술간의 환경적 외부효과를 반영하는 가격차별화를 보장하는 것은 보다 청정한 에너지시스템의 사용에 대한 확실한 유인책을 제공할 것이다.

규제수단

대부분의 OECD 국가에서 에너지부문에서 특히 연료연소로부터 대기배출을 줄이기 위하여 많은 최종단계(end-of-pipe) 환경기술의 폭 넓은 채택이 주로 배출규제기준에 의해 이루어지고 있다. 이것은 기술적인 배출기준, 생산 기준 및 대기의 질에 대한 기준 등을 포함한다. 차례로, 이러한 규제정책은 유연 휘발유(leaded petrol)의 단계적 사용폐지뿐만 아니라 열풍송관(flue-gas)의 탈황시설(flue-gas desulphurisation) 채택, 저유황 연료(low sulphur fuels)와 저질산화물 연소기(low NO_x burners) 및 질산화물 감축을 위한 촉매의 사용을 가속화 시켰다.

최종배관의 배출 감축을 보다 유도하는 외에도, 규제는 에너지부문에서 특정목표를 설정하고, 신재생에너지 및 복합발전(co-generation)과 저배출 수송수단을 포함한 효율적인 설비와 기기(applications)를 보다 많이 사용하는 방향으로 연료구성과 전환효율의 변화를 추구하는데 폭넓게 사용될 수 있을 것으로 보인다. 많은 OECD 회원국이 이미 에너지부문의 전반적인 규제개혁의 부속물(accompaniment)로서 종종 자원배분기준(portfolio standards)을 채택하고 있는 데, 이는 일정한 비율을 새로운 발전원이나 수송수단이 신재생 또는 비화석 에너지원으로 연료를 공급하도록 하는 것이다. 이것은 에너지부문으로부터 대기배출에 상당히 영향을 미친다; 2020년에 OECD 지역의 에너지공급을 신재생에너지로 최소한 15%를 충당토록 하는 정책을 모든 OECD 국가에서 채택하는 것으로 하는 모의 실험에서 이산화탄소(CO₂)와 황산화물(SO_x)의 배출이 모두 기준시나리오에 비하여 7% 이상 감소하는 것으로 나타

났다. 그러나 OECD 연구는 그러한 목표(target)는 경제적인 수단(instrument)을 사용할 때와 비교하여 온실가스 감축에 대한 비용이 상대적으로 높을 수 있다. (OECD, 2001). 그럼에도 불구하고 많은 경우에 그러한 목표가 에너지사용에 따른 환경적 피해를 확실히 감축시킬 수 있는 가장 실질적인 대안이 될 것이며, 그러한 목표(target)는 정부의 환경적 지향목표(aims)에 대하여 공공 및 사업체에 분명하고 지속적인 신호로 작용할 수 있을 것이다.

설비기기(equipment)에 대한 에너지효율기준은 또한 에너지사용과 부수적인 환경피해를 감축시키는데 잠재적으로 중요한 역할을 할 것이다. 연구는 에너지효율기준이 특히 에너지효율 설비기기에 대한 시장의 투자장벽을 극복하는데 효과적일 수 있다는 것을 보여준다.

경제적 수단

에너지는 OECD 지역에서 가장 심하게 보조되는(subsidised) 분야의 하나이다. (OECD, 1998). 선정된 국가의 석탄의 보조금에 관한 OECD 자료는 직접적인 생산자 보조에 해당하는 (PSE, producer subsidy equivalents) 것은 최근 상당히 감소하고 있지만, 1997년에 이들 국가에서 석탄생산에 대한 생산자 직접보조의 수준은 아직도 연간 80억불(US\$8 billion)이다. 모든 에너지부문에 대한 보조는 원자력 석탄, 석유생산에 대한 지원의 규모에 따라 종종 지역적인 고용을 유지할 목적으로 보다 큰 규모의 생산주문(order)을 하게 되는 것으로 평가되어 왔다. (de Moor and Calamai, 1998)⁶⁾ 특정연료에 대한 보조는 경제적으로 비효율적인

에너지생산에 대한 모든 보조금들은 환경적으로 피해를 주는 연료원에 대한 지원을 계속하는 것이다.



6) 석탄생산에 대한 보조금 폐지는 사소하지만 장기적으로(증가된 경제효율을 통하여) 순고용에 긍정적인 효과를 야기하는 것 같다. 반면에, 신규 고용과 훈련기회에 대한 지원전환의 조치가 취해질 때까지 이 것은 단기적으로 영향을 받는 부문과 지역에서 실업을 야기한다. 적응에 필요한 시간을 주기 위해서는 전환조치가 고려되어야 하고, 보조금도 점진적으로 폐지되어야 한다.

에너지공급의 규모와 구성을 가져오며, 부정적인 환경영향을 감소시킬 수 있는 새로운 연료나 기술개발을 위촉시킨다. OECD 국가에서 환경적으로 폐해가 되는, 특히 에너지생산과 소비에 있어 보다 오염을 유발하는 연료(예를 들면 화석연료, 특히 석탄)에 대한 보조금의 개혁은 온실가스 배출감소와 자연환경적 목표에 대한 교토의정서 목표치(Kyoto targets)를 충족시키는데 기여할 수 있다.

오염자 부담의 원칙(The polluter Pays Principle)에 따라 에너지생산과 소비에 대한 지원을 폐지하는 것은 환경적 피해를 내재화하기 위하여 부담금이나 조세를 부과하는 것을 병행하여야 한다. 그러한 부담금은 다른 연료에 의해 야기되는 각각의 환경피해를 이상적으로 반영하여야 한다. 가령, 기후변화의 기여도에 대한 대용(proxy)으로서 탄소의 함유정도를 반영하는 것이다. 많은 OECD 국가가 에너지과세나 탄소세를 논의해 왔고, 이미 도입했다. 그러나, 대규모 에너지집약적인 산업의 경쟁력에 부정적인 영향을 피하기 위하여 대부분의 국가들이 그러한 과세로부터 이러한 산업을 면제해 주고 있는데, 이러한 정책수단이 경제적 효율과 환경적 효과를 감소시킨다.

표 12.3은 모든 OECD 국가에서 에너지원에 대한 모든 보조금과 OECD 국가에서 매년 연료사용 가격에 비례하여 부과되는(ad valorem tax, 종가세) 조세증가를 합쳐 에너지생산에 대한 모든 보조금의 폐지를 포함하여 실시한 에너지정책의 모의실험 결과를 나타낸다. 종가세는 매년 석탄은 2%p, 원유는 1.6%p, 천연가스는 1.2%p씩 증가하여 2020년에 각각 조세전 가격의 총 50%, 40% 및 30%에 이른다. 매년 조세의 증가는 각 연료의 탄소함유 정도와 연계되지만, 조세증가의 출발점이 그와 연계되어 있지 않기 때문에 이러한 충격은 적절한 탄소세(carbon tax)의 모의실험으로 보여지지 않는다. 표 12.3에서 볼 수 있는 바와 같이 정책의 모의실험은 OECD 국가에서 연료의 수요, 특히 석탄의 사용에 상당히 중요한 영향을 미친다. 전 세계적으로 비 OECD 국가에서 연계효과가 적게 예상되고, 이 지역에서 연료사용이 최소한으로 증가한다고 하더라도, 기준시나리오와 비교하여 석탄, 석유, 천연가스의 총수요의 감소가 있을 것이다. 보조금 폐지와 에너지조세부과의 환경적 영향은 보다 실질적이 될 것이다. 기준 시나리오와 비교하여 이러한 정책의 도입

은 황산화물과 이산화탄소 배출의 25% 감축을 가져오고, 그래서 대기의 질의 획기적인 향상과 OECD 국가에서 에너지사용으로 인한 기후변화의 영향을 감소시킬 것이다. 이러한 정책의 경제적 영향은 매우 작아 OECD 지역에서 2020년에 예상된 국내총생산(GDP)의 단지 약 1%를 감소시킨다.

표 12.3 OECD국가에서 에너지보조금 폐지와 에너지조세 사용의 효과
(% 2020년에 기준시나리오로부터의 변화)

| OECD국가의 수요에 미치는 효과 | | | 국내총생산 | 황산화물 배출 | 이산화탄소배출 |
|--|------|------|--------|---------|---------|
| 석탄 | 석유 | 가스 | | | |
| -32% | -18% | -17% | -0.11% | -25% | -25% |
| <p>1. 이 정책모의실험은 모든 에너지원의 모든 보조금과 OECD지역에서 에너지부분의 생산단계에서 사용되는 투입물에 대한 모든 보조금을 제거할 때의 그 영향을 추정하고, 후자의 보조금은 매년 석탄, 석유, 천연가스에 각각 추가되는 2%, 1.6%, 1.2%의 증가세와 결합되어 있다.</p> <p>2. 이 모델에 반영된 에너지보조금은 국내 회계계정으로부터 얻을 수 있는 자료와 GTAP 데이터베이스에 축적된 자료에 기초하고 있으며(자세한 것은 부속서2 참조), 실질적인 에너지보조금의 작은 부분까지도 반영한다. 그래서 OECD국가에서 에너지보조금은 1995년에 미화 47억불에 이르는 것으로 GTAP 데이터베이스에 기록되어 있는 반면에, 다른 평가들은 미화 700-800억불이 될지 모른다고 지적하고 있다. (de Moor and Calamai, 1998)</p> | | | | | |
| 출처: 기준시나리오 및 정책모의실험 | | | | | |

많은 OECD 국가에서 에너지사용으로부터 발생하는 온실가스와 다른 대기 오염원의 국가간 배출거래제도(national emission trading schemes)가 논의되고 있고, 설치되기 시작했다.(OECD, 1999b) (제13, 15장 참조) 그러한 거래제도의 허용이 배출에 대한 총상한(overall cap), 그리고 개인회사나 독립된 존재(entity)를 위해 특정한 할당(allocation)과 조합하여 사용될 때, 그것들은 경쟁사간의 주어진 배출할당량의 수준을 효과적으로 배당하는데 도움이 될 수 있으며, 배출을 감소시키는데 강력한 유인책을 제공할 것이다. 그러나 그것의 광범위한 도입은 배출감시시스템에 막대한 투자가 요구되며, 이에 협력할(compliance) 분명한 유인책을 제고할 수 있도록 규제적인 감독이 요구된다. 일반적으로 배출권 거래제도는 감축의 한계비용이 매우 높고 다양한 배

출자가 많이 있을 때, 그리고 환경적 수혜(benefit)가 배출감축의 지리적 위치(location)로부터 폭 넓게 다양화되지 않는 곳에서만 경제적으로 의미가 있다. 후자가 온실가스 배출감축이 되는 것은 사실이지만, 연료연소로부터 파생되는 다른 오염문제 즉, 온배수, 전통적 대기오염 및 소음의 경우 필연적인 것은 아니다.

자발적 협약

산업 및 발전부문에서 연료사용을 줄이기 위한 자발적협약은 거의 10여년간 사용되어 왔다. 그러한 협약은 종종 국가의 자연 기후변화 일괄정책(national climate change policy package)의 한 부분을 형성한다.(제13장 참조). 그러나 산업용 에너지와 배출을 감축시키는데 있어 자발적협약의 효과성은 의문이 제기되어 왔다. 게다가, 몇몇 국가에서 광범위한 각 부문들로부터 많은 이해관계가 있는 사적 부문의 참여자를 끌어들이는 것이 어렵다는 것을 알았다. 새로운 자발적 혹은 협상적 협약체도가 세탁기와 같은 소비자 전기기기(appliances and electronics)에 대하여 정립되고 있다.(IEA, 200d). 유럽연합의 절약협약(EU's SAVE agreement)과 같이 세탁기에 대한 자발적협약은 1998년에 최저효율의 세탁기를 단계적으로 퇴출시키는데 성공하였다.

정보제공 등 기타수단

에너지사용기기(appliances and equipment)에 - 널리 사용되는 가정용 - 대하여 에너지효율 등급표시제도(Energy-efficiency labels and standards)는 37개국에서 실시되고 있으며, 적용되는 제품의 범위가 계속 확대되고 있다. 그러한 등급표시제의 실시는 상당한 정도로 소비자의 선택에 영향을 줄 수 있다. 예를 들어 판매비중이 있는 냉동 및 냉장기기(refridges and frezers)의 연평균 에너지효율지수(annual average energy-efficiency of index)는 유럽연합의 등급표시프로그램이 진행되었던 1994년부터 1996년까지 4.5% 향상되었다.(IEA, 2000d).

에너지시장의 규제완화와 병행하여 많은 OECD국가들이 “녹색가격제도

(Green Pricing)를 도입하였다. 그 경우에는 소비자가 오직 신재생에너지원 으로부터 생산된 전기만을 사용하는 것을 선택할 수 있다. 반면에, 그러한 제도는 현재 매우 낮은 적용율(take-up rates)을 가지고 있는데, 이는 그 전기가 아직도 상대적으로 비싸기 때문이다. 그러나 그 것들은 신재생에너지의 가격이 하락함에 따라 미래에 소비자수요에 의해 상당히 연료구성을 변화시킬 수 있는 잠재력을 제공하고 있다.(IEA, 1998b)

참고자료

- de Moor, A. and P. Calamai (1998), *Subsidizing Unsustainable Development: Undermining the Earth with Public Funds*, Earth Council, San Jos, Costa Rica.
- IEA (International Energy Agency) (1997), *Indicators of Energy Use and Efficiency: Understanding the Link between Energy and Human Activity*, IEA/OECD, Paris.
- IEA (1998a), *World Energy Outlook: 1998 Edition*, IEA/OECD, Paris.
- IEA (1998b), *Renewable Energy Policy in IEA Countries Volume II: Country Reviews*, IEA/OECD, Paris.
- IEA (1998c), *CO2 Emissions from Fuel Combustion*, IEA/OECD, Paris.
- IEA (2000a), *Key World Energy Statistics from the IEA: 2000 Edition*, IEA/OECD, Paris.
- IEA (2000b), *World Energy Outlook 2000*, IEA/OECD, Paris.
- IEA (2000c), *Review of Nuclear Power*, IEA/OECD, Paris.
- IEA (2000d), *Energy Labels and Standards*, IEA/OECD, Paris.
- IEA (2000e), *The Role of IEA Governments in Energy: 2000 Review*, IEA/OECD, Paris.
- Newman, J., N. Beg, and G. MsGlynn (2001), *Energy and Climate Change: Trends, Drivers, Outlook and Policy Options*, background document for the *OECD Environmental Outlook*, OECD, Paris.
- OECD (1998), *Improving the Environment through Reducing Subsidies*, OECD, Paris.
- OECD (1999a), *OECD Environmental Data: Compendium 1999*, OECD, Paris.
- OECD (1999b), *Implementing Domestic Tradable Permits for Environmental Protection*, OECD, Paris.
- OECD (2001), *Instruments and Technologies for Climate Change Policy*, ENV/EPOC/GEEI(99)15/FINAL, OECD, Paris.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (1998), *Second compilation and synthesis of second national communications*, FCCC/CP/1998/11/Add.1, September 1998.
- UNFCCC (2000), UNFCCC database, www.unfccc.de drawn from official national inventory submissions, UNFCCC, Bonn.

(출처) OECD, *OECD Environmental Outlook*, 2001 : 145-156

제 13 장 기후변화

개 요

- OECD 국가들은 온실가스(CO₂, CH₄ 및 N₂O)의 약 50%정도를 배출하고 있으나 그 비중은 2020년까지 계속 감소될 것이다.
- OECD 국가들의 온실가스(GHG) 배출은 1990년~1998년 동안 4% 증가하였다. 북아메리카와 아시아-태평양 지역에서 배출량이 급격히 증가하고 있으며, 반면 유럽의 배출량은 약 5%정도 감소하여, 결과적으로 온실가스 배출은 2020년까지 지속적으로 증가할 것으로 보인다.
- OECD발표에 의하면, OECD 국가들의 총 CO₂ 배출량은 1995년에서 2020년 까지 약 33% 증가할 것이다. 이것은 OECD 국가가 기준 시나리오 수준보다 20~40% 이하로 배출량을 감소시킴으로써 교토의정서상의 저감목표량 달성에 대한 노력을 보여주는 것이다.
- 온실가스 배출량은 지구 평균온도의 상승을 가져오며, 해수면을 상승시킬 것이다. 기후는 이미 변하고 있으며, 그러므로 적용여부에 대한 판단을 요구할 것이 거의 확실되고 있다.
- 온실가스 배출 저감에 필요한 가장 시급한 정책은 온실가스세의 폭넓은 적용, 기후변화 관련 보조금을 재편성, 대체 전환연료, 자동차 및 모드, 그리고 신재생 에너지 기술 등의 개발 촉진, 국내 및 국제적 배출권 거래 시스템을 효과적으로 시행하는 것이다.

13.1 머리말

최근의 과학적 징후들은 지구 온난화가 현실임을 보여주고 있다. 관찰되고 있는 기후변화들은 해마다의 큰 변수들을 고려하더라도, 지구의 평균 온도가 지난 백년간 상당히 상승했음을 보여준다. 지난 세기에 온도상승은 더 빨랐으며 과거 천년간보다 오래 지속되었고, 북반구에서는 1990년대가 가장 더운 날씨를 보였다. 강수량의 증가와 적설량 및 빙하의 감소, 해수면 상승을 포함한 다른 지표들도 지구온난화 경향을 확인시켜주고 있다.

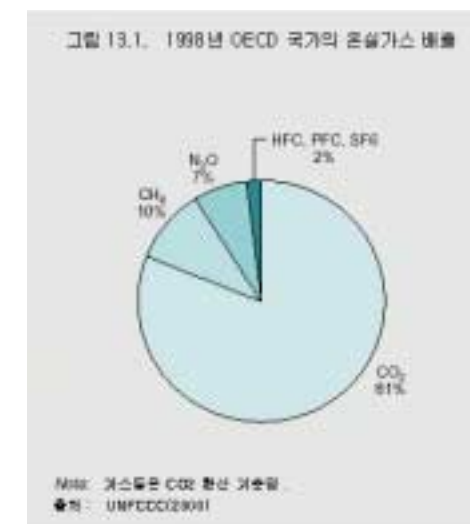
과학자들은 관찰되고 있는 지구온난화가 주로 인간활동의 변화 때문이며 온실가스 배출의 증가와 관련 있다고 믿는다. 이러한 변화들은 전세계적인 인구 및 경제 성장에 의해 나타나며, 농경활동의 집약화와 토지사용 변화뿐 아니라 화석연료의 생산과 소비에 기초를 두고 있다. OECD 국가들은 과거와 현재의 기후변화를 초래한 주요 기여자들이며, 따라서 온실가스 배출량의 저감과 흡수원의 확대에 대한 정책 수행에 중요한 책임이 있다. 그러나 OECD 국가들 스스로는 효과적으로 기후변화를 억제할 수 없기 때문에 장기적인 온실가스 농도의 안정화를 위해서는 세계 주요 선진국가들의 배출량 저감을 끌어내기 위한 노력을 확대하도록 해야 한다.

기후변화협약(UNFCCC)의 목표는 온실가스 배출을 줄이고 흡수원을 확대하는 것이며, 이 협약에 170국 이상이 서명하였다. 협약의 이행은 교토의정서에서 선진국들(Annex I 국가들)이 정한 목표설정을 통해 전개해왔다. 향후에는 OECD국가들이 주도적으로 추진 여부에 관계없이, 협약의 장기적 목표-대기중의 온실가스 농도의 안정화- 달성을 위해 우선 의정서의 비준 및 시행 방안을 모색해야 할 것이다. 헤이그에서 열린 6차 당사국 총회(COP6)에서는 관리, 재원조달 및 의정서와 관련된 기술적 부분에 대해 진전을 보였으나 최종 합의에 도달하지는 못했다.

13.2 환경적인 압력 : 온실가스 배출량

총 배출량 추이

세 가지 온실가스 즉, 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄) 및 아산화질소(N₂O)가 인간활동에 의한 지구 온난화 현상의 주 요인으로 설명된다(그림 13.1)¹⁾ 이산화탄소(CO₂)는 대표적인 온실가스로서 온실가스 배출량의 75%를 차지하고 있으며 이는 OECD 국가들의 배출량(토지사용 및 삼림 흡수부문 제외)의 81%에 해당한다. 그 뒤를 메탄(OECD 국가들의 10%)과 아산화질소(OECD 국가들의 약 7%)가 뒤따르고 있다. 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs)와 육불화황(SF₆)은 OECD 국가의 총 배출량의 일부분(약 2%)만을 차지하고 있으나, 빠른 속도로 증가하고 있으므로 UNFCCC(기후변화협약)에서 관리하는 온실가스 항목이다(Burniaux, 2000;UNFCCC, 2000).



1) 이 장에서 사용된 도표는 UNFCCC의 공식국가자료에 기초한 것이며, 3가지 주요 가스, 즉 이산화탄소, 메탄가스, 아산화질소의 배출을 의미하고 토지이용 변화와 삼림분야의 배출은 제외한다. 자료는 기간과 국가가 정확하게 일치되지 않는다.

화석연료의 연소로 인한 이산화탄소(CO₂)배출량은 에너지 생산 및 (넓은 범위의 발전을 위한) 전환과 부문별 최종에너지 사용(산업, 수송, 가정 및 상업)으로 배출되는 양으로 크게 나눌 수 있다. OECD 국가에서 메탄(CH₄)의 가장 큰 배출원으로는 천연가스와 석유산업(누출 및 이송 중 유실), 가축의 장발효(가축의 일반적인 소화과정)와 총 메탄 발생량의 75%를 차지하는 고형폐기물의 매립(매립지에서의 유기물질 분해)이 있다. OECD 국가에서 아산화질소(N₂O)의 가장 큰 배출원은 경작토지(60% 이상)가 있으며 산업공정에서 15%정도가 배출되고 있다. 수송으로 인한 아산화질소(N₂O) 배출량은 지난 10년 동안 급격히 증가하였고(20% 이상), 이는 공기-연료 혼합, 연소온도 및 자동차의 오염저감설비(촉매 전환장치)의 사용과 밀접한 관계를 갖고 있다.

OECD 국가와 다른 부속서 I (Annex I) 국가들에²⁾ 대한 온실가스 배출의 최근 추세는 기후변화협약(UNFCCC)에 의해 세밀하게 확인되고 (monitored) 있다. 총 OECD 국가들의 모든 온실가스 배출(한국과 멕시코 제외)은 1990년부터 1998년까지 약 4% 정도 증가하였으며, 이는 1998년에 13,902 CO₂환산톤(CO₂ equivalent Mt)에 이른다. 5개국을 제외한 모든 OECD 국가에서 이 기간 동안에 배출가스 증가를 보고하였으며, 이는 부분적으로 건설한 경제성장에 기인한다. 지난 몇 년 동안에 배출증가 추세는 완화되고 있으나, 배출량은 증가하고 있다. OECD 국가의 배출은 1996년에만 최근 10년중 최초의 5년보다 유일하게 증가하였으나³⁾, 이러한 급속한 증가는 1997년 및 1998년에 평균치 이하로 떨어진 것으로 나타난다. OECD 지역에서 5대 배출국(미국, 일본, 독일, 캐나다, 영국)은 OECD 국가의 온실가스 배출의 75%를 차지하고 있으며, 이 것은 OECD의 추세가 이들 국가의 변화에 의해 지배되고 있음을 나타낸다.


2) 기후변화협약하에서 부속서 I (선진국) 국가는 그들의 온실가스 제한에 동의한다. 교토의정서의 부속서B 국가는 거의 모든 부속서 I 국가들에 해당하는 것으로 법적 온실가스 감축을 법적으로 강제하기 위하여 설정되었다.
3) 국가별 온실가스 배출 추이, 교토 목표(objectives), EU의 부담비율 등에 대한 개요는 Newman et al을 참조(2001)

OECD 국가들의 에너지 사용으로 인한 CO₂ 배출량은 전세계의 50% 이상을 차지하고 있으나 그 비중은 점차 낮아지고 있다. 그리고 다른 온실가스의 경우, OECD 지역의 배출비중은 적은 편이며, 2020년경까지 계속 감소할 것이다.

OECD 국가의 이산화탄소 총 배출은 1990년부터 1998년까지 약 6% 증가하였고, 이는 1998년에 11,026톤(Mt)에 달한다. 이산화탄소의 경우 북미(11%)와 아시아태평양(12%)가 가장 높은 배출 증가율을 보이고 있다. 반면 유럽지역의 배출은 실제로 5%⁴⁾ 감소하였다(UNFCCC, 2000). 1996년부터 1998년까지 연료 연소로 배출되는 온실가스의 배출 증가율은 미국에서 3.5%에서 0.5%로 상당히 둔화되었다. 이 기간 동안에 부속서 I (Annex I) 국가의 배출은 대체로 7% 정도 감소하였으며, 이는 시장경제 전환기에 이들 국가의 경기 침체 때문이다.

Reference Scenario 및 다른 시나리오들은 OECD국가와 세계 다른 지역 모두 이산화탄소 배출이 2020년까지 실질적으로 증가할 것이라고 보고 있다(표 13.2 참조). Reference Scenario에서 OECD 국가의 배출은 1995년으로부터 2020년까지 약 33%(1990년부터는 38% 증가, 비OECD국가에서는 거의 100% 증가를 전망하고 있다. 것은 1995년부터 2010년까지 OECD국가들의 연평균 배출증가율은 1.2%, 2010년부터 2020년까지는 1.1%가 될 것으로 추정하고 있다. 이러한 전망은 도표 13.2에서 보는 바와 같이 다른 주요 모델의 전망치(modeling exercises)내에 있다. 그리고 중앙 및 동부 유럽의 이산화탄소 배출은 1995년부터 2020년까지 약 78% 증가할 것으로 예상되며, 호주 및 뉴질랜드에서는 38%, 북미는 약 35%, 서유럽은 23%, 일본과 한국은 17% 각각 증가할 것으로 전망하고 있다.

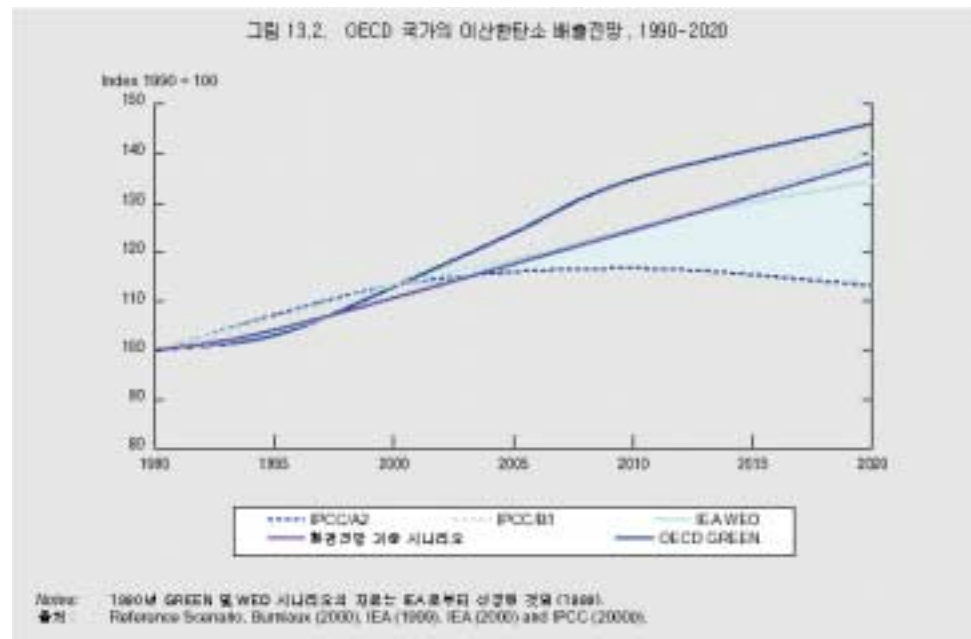
OECD 국가의 이산화탄소 배출은 1995년부터 2020년까지 약 33% 증가할 것으로 전망된다.



4) 유럽의 숫자는 시장 경제 전환기에 있는 몇몇 비OECD 동유럽국가를 포함한다.

모든 OECD지역에서 이산화탄소 배출 증가율은 1995년~2010년 기간보다 2010년~2020년 기간에 더 낮아질 것으로 보이는데 이는 주로 2010년 이후 경제성장이 둔화될 것으로 전망되기 때문이다.

기후변화정부간협의체(IPCC)의 A2 시나리오는 2020년의 배출증가를 Reference Scenerio보다 약간 높은 40%로 보고 있는데, 이 시나리오는 지역 경제발전 집중, 상대적으로 낮은 일인당 경제성장률과 기술변화를 가정하고 있다. 그 외 기후변화정부간협의체(IPCC)의 B1시나리오는 13% 증가를 전망하고 있는데, 이는 지역적 형평성을 포함하되, 경제, 사회 및 환경적 지속가능성에 대한 범지구적 해결을 전제하고 있다. 두 가지 IPCC(기후변화정부간협의체, Intergovernmental panel on Climate Change) 시나리오의 환경 결과의 차이는 배출집약도(emissions intensity)이며, B1이 배출집약도가 급격히 감소하는 것으로 나타났다.




국제에너지기구(IEA)에서 작성하는 세계에너지 전망(The World Energy

Outlook)에서 제시한 한 시나리오에서는 1990년부터 2020년까지 배출증가를 34%로 전망하고 있다(IEA, 2000). OECD GREEN 시나리오는 이산화탄소 배출증가율을 보다 높게 전망하고 있는데, 이 모델은 주로 석유와 가스 부존량의 고갈, 석탄과 탄소중심의 연료로 에너지수요 이동으로 사용연료의 탄소 배출집약도 증가할 것으로 보기 때문이다. 이 모델은 또한, 에너지보조금의 더 많은 감축이 없는 것으로 가정하고 있는데, 이는 최근의 추세 변화를 반영한 것이다.

OECD 국가에서의 메탄과 아산화질소(N₂O) 배출량은 이산화탄소(CO₂) 배출량보다 다소 느리거나 약간 감소하는 것으로 나타났다. 1995년~2010년 동안 부속서 I (Annex I) 국가에서의 아산화질소(N₂O) 배출량은 연평균 0.9%정도(총 14%)로 증가한 반면 메탄의 배출량은 연간 0.8%정도 감소하여 총 13%가 감소할 것으로 예측하고 있다(Burniaux, 2000). 동기간에 세 가지 온실가스의 총 배출량은 부속서 I (Annex I) 국가에서 연간 1.4%(총 23%)정도 증가할 것으로 예측된다.

교토의정서의 저감목표 달성은 OECD 국가의 온실가스 배출량을 2020년까지 기준 시나리오 전망치 대비 20~40%정도로 감소해야 함을 의미한다.

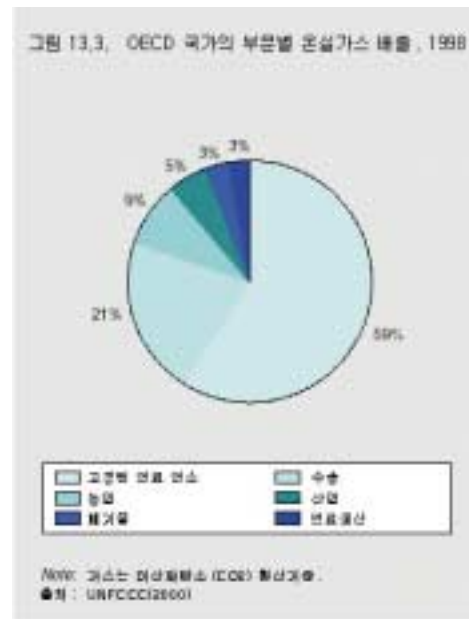


온실가스 배출의 예상 증가율은 교토의정서상의 저감목표량 달성에 있어 저감노력이 필요함을 보여주는 것이다. 이는 기준 시나리오의 40% 이하로 배출량을 줄이도록 요구받는 OECD 국가들이 목표치를 충족시켜야 한다. 만약 OECD 국가들이 개발도상국들과 공동으로 시행한다면 그 차이는 대략 18% 정도로 감소될 수 있다.

부문별 배출 추이

고정 연료 연소는 대부분이 발전시 배출되는 것으로 온실가스 배출량의 최대 단일 배출원이다(1998년에 59%) (그림 13.3). 화석연료의 연소로 인한 이산화탄소(CO₂) 배출량은 에너지 생산 및 전환에 관련된 배출량(1998년, 34%)과 기타 부문(약 9%)과 에너지 최종 사용부문(산업 17%, 수송 27%,

주거 및 상업 13%)의 배출량으로 구분할 수 있다. 현재, 석탄은 연료 연소시 발생하는 전체 이산화탄소(CO₂) 배출량의 34%, 석유는 45%를 차지하였다(IEA, 2000). 시장정책개편과 기술 변화로 인해 최근 석탄에서 천연가스로의 대체가 전력생산부문 및 다른 산업부문의 탄소 집약도(carbon intensity)를 낮추었다. 그러나 원자력 발전의 비중이 줄어들게 되면 탄소집약도의 감소는 계속되지 않을 것이다(제12장 참조).



여러 국가의 전력생산 수요증가는 이산화탄소(CO₂) 배출 추이의 주요 촉진 요소이다. 국제에너지기구(IEA)는 OECD 국가들에서 전력 부문에서 나오는 이산화탄소(CO₂) 배출량이 2010년에는 1997년 수준보다 21% 이상 상승하고 2020년에는 33% 까지 상승할 것으로 추정하고 있다. 이산화탄소(CO₂) 배출량의 증가는 화석연료를 이용한 발전의 효율향상으로 전력 수요의 성장을 이하로 유지될 것으로 전망되고 있다(IEA, 2000).


1990년 이후 대부분 OECD 국가의 수송부문에서 발생한 배출량은 기타 다른 에너지 관련 배출원에서 나오는 것 보다 더 빨리 증가해왔다(Schipper et

al., 2000). 수송부문의 배출량은 1990년 총 온실가스 배출량의 19%에서, 1998년에는 약 21%로 증가하였고, 절대치로는 이 부문이 15%정도 되었다(UNFCCC, 2000). 수송부문 중 비행으로 인한 배출량은 비록 아직까지 총 수송부문 배출량에 비해 비교적 적은 부분을 점유하고는 있지만, 가장 급격히 성장하고 있다.⁵⁾ 수송부문은 이산화탄소(CO₂) 배출 증가에 있어 압도적인 위치를 차지하고 있으나, 아산화질소(N₂O)의 배출이 훨씬 더 급격하게 증가하고 있다. OECD 국가들 중에서 총 이산화탄소(CO₂) 배출량 중 수송부문의 비중이 1995년 20%에서, 2020년에는 31%로 증가할 것이라는 전망이다. 다른 주요 온실가스의 부문별 배출원에는 농경(1998년 9%), 산업공정(1998년 5%), 폐기물(1998년 3%) 및 연료생산(3%) 등이 있다.

토지이용 및 삼림 활동은 다른 온실가스 배출원은 별도로 고려하고 있으며, 대규모 농장의 설립과 수확, 상업적 삼림경영 및 연료용 목재 등 삼림과 기타 목재 바이오매스(biomass)량의 변화를 포함한다. 경작지로 사용하기 위해 삼림을 전환시키거나 잘 운영되어 온 토지를 황폐화시키는 것은 지표면에 있는 바이오매스(biomass)의 탄소 저장량 뿐 아니라 토양 내의 탄소저장량에도 영향을 준다. 삼림 면적과 밀도의 전체적 변화 및 경작용 토지사용의 변화에 따라 이러한 활동들이 대기중의 온실가스 배출이나 흡수를 가져올 수 있다.

대부분의 OECD 국가들은 1998년 이후의 토지이용과 삼림의 변화를 순 이산화탄소 흡수원으로 추정하고 있다. 국가별로 통계에 의하면 흡수원은 1990년⁶⁾ 총 이산화탄소 배출량의 10%에

토지이용과 삼림의 변화는 모든 OECD 국가에서 순수한 이산화탄소(CO₂) 흡수원으로 평가된다.



5) 국제항공배출은 기후변화협약과 교토의정서의 감축의무에 포함되지 않았으며, 이는 이러한 배출이 원천적으로 국내적이거나 보다는 국제적 배출로 간주되기 때문이다. 따라서 각 국가들은 국제항공배출량을 보고하고 있지만, 국내 총 배출인벤토리(national inventory totals)에는 포함하지 않는다.

6) 그리스, 아이슬랜드, 룩셈부르크를 제외한 모든 OECD 국가들이 보고하는 것임.

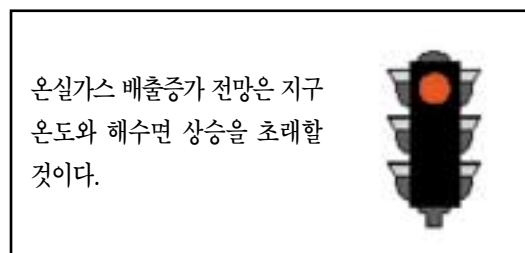
해당한다. UNFCCC(기후변화협약)의 국가 인벤토리에 의하면 OECD 국가들의 탄소량은 1990년부터 1998년 사이 상당히 감소해 약 25% 정도 떨어졌다.(IPCC, 2000a)

13.3 기후변화에 관한 온실가스 배출의 영향

IPCC(기후변화정부간협의체, Intergovernmental Panel on Climate Change)가 준비한 기후변화 시나리오의 기후모델들은 지구의 표면 온도가 2100년까지 약 1.5에서 6.0도 정도 상승한다고 전망하고 있다. 이전의 IPCC에서는 1.0에서 3.5도가 상승한다고 발표한다(IPCC, 2001a).

또한 전 세계적으로 강수는 상승할 것으로 보이나 지역에 따라서는 (아열대 지역에서의) 강수는 감소할 것으로 예상하고 있다. 그리고 일부 지역에서는 가뭄의 빈도수와 강도가 커져 건조해진 여름으로 인해 결과적으로 전세계적으로는 적은 강수량을 보이게 될 것이다. 특히 북반구에서 눈의 두께와 빙하가 얇아질 것으로 예상하고 있다. 시나리오에 의하면 향후 100년 동안 해수면은 10cm에서 95cm 상승할 수 있음을 보여주고 있다.

기후변화는 인간의 생활과 지구의 생태계에 다양한 방법으로 충격을 가할 것이며, 이러한 충격들은 농경, 물의 공급량과 수질, 인간의 주거, 건강 그리고 생물다양성 및 이동패턴을 포함한 생태계에 영향을 미칠 것이다. 최근 지역적으로 심층적인 연구가 중요한 통찰을 제시하고 있음에도 불구하고, 장기적으로 기후변화를 초래하고 있는 영향에 대한 우리의 인식은 제한되어 있다.



북반구의 농업생산력의 변화는 기후변화로 인한 식물 성장기의 변화이다. 물을 공급하는 압력이 변하면, 물 공급과 수질 또한 영향을 받는다. 북반구, 남반구에 걸

쳐 또 다른 기후변화는 뎅기열병(dengue fever)과 말라리아 등 곤충에 의해 매개되는(vector-borne) 질병의 확산이다(WHO, 2000). 그러나 일부 북반구지역에서는 농업생산량이 증가하고, 겨울의 더운 날씨 때문에 적은 에너지를 보이는 등의 긍정적인 영향이 부정적인 영향을 부분적으로 상쇄시키기도 한다. 가장 부정적인 영향은 남반구가 기후변화에 쉽게 적응하지 못하고 있다는 것이다. 결과적으로 기후변화예측의 불확실성으로 인해 잠재적 재앙을 증가시키거나 성공적인 적응전략 수립을 어렵게 하고 있다.

인류는 기후변화에 적응해왔고, 불안정한 기후 및 기후 이동으로 발생하는 경제적 손실을 흡수해 왔다. 기후변화의 적응정도는 비용과 이익의 수준에 따른 선택에 의해 결정된다. 적응하기 위해 발생한 추가 비용으로 비용이 증가하며, 투자중인 사업에 대해서는 더욱 높은 비용을 낳게 된다. 그밖에 홍수와 농작물의 높은 생산성의 상실, 건물과 기초시설에 심각한 손상을 야기할 수도 있다. 공공 건강프로그램과 재난의 준비(화재, 홍수와 여타 자연재해)에 대한 비용은 만약 기후 상태가 악화될 경우 복지의 손실을 가져오며, 기후변화의 불확실성으로 위험부담이 증가하기 때문에 적응 능력의 향상이 필요하게 된다.

13.4 정책 선택권(options)과 잠재적 효과

OECD(경제협력개발기구), IEA(국제에너지기구) 그리고 IPCC(기후변화정부간협의체)의 온실가스 배출전망은 교토 감축의무를 달성하기 위해서 중요한 정책조치와 투자와 소비형태의 변화가 요구됨을 보여주고 있으며, 장기적인 배출의 안정화와 기후변화를 유발하는 인간적 요인들을 감축시키는 것이 보다 중요함을 언급하였다. IPCC(기후변화정부간협의체)는 온실가스 농도를 “안전한” 수준으로 안정화시키기 위해서는 지구의 온실가스 배출량이 2050년까지 현재 수준의 50-60% 범위내에서 제한되어야 한다고 제안하고 있다.(IPCC, 1996)

온실가스 배출을 집중적으로 다루기 위한 부문별 정책수단은 이 보고서의

각 장에서 분석되고 있다. 언급되고 있는 정책수단들은 주로 조세, 보조금 폐지 등과 같은 경제적 수단이 권고되고 있으며, 규제적 수단 및 다른 수단, 그리고 보다 환경친화적인 기술의 증진 등이다. 탄소세, 배출권거래제, 자발적 협약과 같은 수단들은 전보다 기후변화의 핵심내용으로서 보다 주목을 받고 있으며, 이러한 것들은 여기서 간략히 검토하면 다음과 같다.

기후변화협약과 교토의정서의 관리체제는 직접적인 모든 온실가스 배출을 다룬다.⁷⁾ 이는 가장 비용 효과적으로 온실가스 배출을 방지하기 위한 유연성을 제공하기 위해서이다. 이산화탄소(CO₂) 외의 온실가스 배출은 상대적으로 에너지 사용으로 인한 이산화탄소 배출보다 비중이 낮고, 단기간 내 적은 비용으로 줄일 수 있으며, 에너지 부분에서 보다 청정한 기술과 연료로의 전환에 시간적 여유를 갖는다.

국가 기후변화정책들은 여전히 초기 단계이고, 전체비용과 효과를 산정하기에는 아직 이르다. 현재의 정책들은 전략적이라기보다는 유동적이고 광범위하다. 교토의정서 저감목표를 달성하기 위해서는 보다 광범위하고 지속적인 정책개발이 OECD 국가들 사이에 필요하다(OECD, 1999c). 효율적인 이행을 위해서는 합리적인 가격, 시장의 창출과 사용(거래 허용기준을 통한), 다른 광범위한 정책의 혼합, 최종 사용자들의 배출량 모니터링, 의사결정을 위한 기구, 국제적 협력이 필요하겠다.

7) 이산화탄소(CO₂), 메탄가스(methane), 아산화질소(N₂O) 외에도 직접적인 온실가스로는 과불화탄소(PFCs), 수소불화탄소(HFCs), 육불화황(SF₆) 등이 있으며, 간접적인 온실가스에는 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 비메탄 휘발성유기화합물(NMVOCS)가 있다.

Box 13.1 온실가스 저감의 부수적 이익

온실가스 저감은 기후변화와 관련하여 직접적인 이익 외에 추가적인 이익이 있다. 특히 온실가스 배출의 저감은 도시 공해에 긍정적인 효과를 갖고 있으며 인간의 건강에도 영향을 준다. OECD 국가들에서 탄소 톤당 발생하는 부수적 이익의 규모를 추정해 보면 매우 크다. 저감 노력을 위한 비용을 상당히 상쇄할 수 있을 것이다. 헝가리에서의 한 연구에서는 이산화탄소 배출을 약 7.7% 저감할 경우 6억5천만달러에 해당하는 건강이익이 있다는 결과를 제시한 바 있다. 이는 이산화탄소 저감 방안의 이행에서 요구하는 투자를 커버할 수 있을 만큼 큰 것이다.(Aunan et al. 2000). 부수적 이익의 두 번째 예는 온실가스 감축정책으로 수송분야의 수요를 줄임으로써 교통 정체를 줄이는 사회적 이익을 도출할 수 있다는 것이다.

가장 큰 부수적 이익으로 예상되는 것으로는 온실가스를 줄임으로써 순 사회비용이 낮아진다는 것이다. 따라서 어디에 이러한 이익이 존재하는지 주요 부분을 정의하는 것이 중요하다고 하겠다. 그리고 이런 것들을 정량화하는 방법들을 개발하고 이러한 정보를 반영하여 최선의 의사결정과정에 이용할 수 있도록 해야 할 것이다.

국제적 협력

기후변화의 영향과 비용은 전 세계 지역 또는 국내 경제의 모든 부분에 균등하게 나타나지는 않는다. 또한 상당량을 배출한 지역과 이로 인한 악영향을 받는 지역이 다를 수 있다. 대부분의 해로운 영향은 개도국에서 일어날 것이며, 국가간 불균형을 더욱 두드러지게 할 것이다. 따라서 기후변화를 완화하고 적응하기 위한 형평성있게 비용을 배분하는 장치의 고안은 효과적인 정책대응을 위한 지구적 합의에 핵심 열쇠이다. 기후변화협약(UNFCCC)은 의무분

담을 위한 국제적인 활동과 기본 원칙에 관한 초기의 기본틀 (framework)을 수립하고 있다.

Box 13.2 교토의정서와 시장 메카니즘

교토의정서는 당사국들이 그들의 배출저감 목표를 비용효과적으로 달성하기 위해 3가지 유형의 시장메카니즘을 제시하고 있다.

- 국제배출권거래제 (International Emission Trading) : 부속서 I (Annex I) 국가 혹은 배출저감의무를 할당받은 국가가 허용된 일정 수준의 배출량을 거래할 수 있게 한 제도로 당사국 목표에 비해 추가적인 배출저감을 한 국가는 다른 나라에 그 배출권리를 팔 수 있게 하였다(의정서 제17조).
- 공동이행 (Joint Implementation) : 부속서 I (Annex I) 국가들 사이에 특정한 프로젝트를 수행하여 그 감축량을 인정받는 제도이다(의정서 제6조).
- 청정개발체제 (Clean Development Mechanism) : 개도국(또는 비부속서 I 국가)이 인증된 배출 저감량을 프로젝트로부터 부속서 I (Annex I) 국가로 이전할 수 있도록 한 제도로써, 이 항목은 부속서 I (Annex I) 국가들이 1차 의무이행기간(2008년~2012년) 사이의 감축목표를 이행하는데, 2000년부터 프로젝트 수준의 배출 저감량을 인정받을 수 있다(의정서 제12조).

이 메카니즘을 운영하기 위한 특정한 설계와 규칙은 여전히 국제 협상의 주제이며, 우선 순위는 핵심기준들 즉, 환경효과, 경제효율 및 국가간 균형을 고려한 형평성을 유지해야 한다.

기후변화협약(UNFCCC)의 목적은 현재 대기중의 온실가스 농도 수준을 기후변화에 위협한 인류적인 간섭 (anthropogenic interference)을 방지할 수

있는 수준으로 안정화시키는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 광범위한 국제적 협력과 정부의 다양한 수준과 각 부문으로부터의 기여를 요함은 물론, 각 주체 (stakeholder)의 현재의 생산 및 소비 패턴의 변화가 요구된다.

1997년에 이루어진 교토의정서는 기후변화협약(UNFCCC) 이행을 위한 첫 단계라 할 수 있다. 2000년 11월 헤이그에서 열린 제6차 당사국총회 (COP6)에서는 정부, 재정, 의정서 설계에 관해 어느 정도 진전이 있었다. 국가간에 기술적 그리고 정치적 관점에서 견해의 차이는 적었음에도 불구하고, 대표들은 최종적으로 전체적인 합의에는 이를 수 없었다. 2001년 중반까지 조기에 그러한 합의에 도달하고, 신속한 비준을 유도하여 2002년에 의정서가 집행될 수 있기를 희망했다. 교토의정서는 1차 의무공약기간인 2008년부터 2012년 동안 1990년 대비 적어도 5%의 온실가스 배출 감축을 위해 개별 선진국가들의 온실가스 배출 감축 목표를 설정하였다.

한 경제분석에 따르면 부속서 I (Annex I) 국가들이 교토 저감 목표 (targets)를 달성하는 비용은 낮고(2010년 GDP의 0.2%), 국제배출권 시스템을 효과적으로 운영 할 경우 더 낮아질 것 (GDP의 0.1% 또는 그 이하)이라고 한다(Buriaux, 2000). 그러나 조정 (adjustment) 또는 이전 비용 (transition costs)은 에너지 부문에서 상당할 것으로 예상된다. 이러한 결과는 배출권거래에 있어 이산화탄소 (CO₂), 메탄가스 (CH₄), 아산화질소 (N₂O)를 포함한 다원화된 가스 경감정책 (multiple gas mitigation policies)을 활용할 경우, 이산화탄소 (CO₂)만을 대상으로 한 정책실행보다 한계 또는 평균비용을 20~30%까지 줄일 수 있다는 가정에 따른 것이다. 따라서 정책의 당면과제는 효과적인 온실가스 저감방법을 규명하고 이행하는 것이다.

경제분석가는 몇 개 분야에서 조정비용이 중요해 질 것이나, 부속서 I (Annex I) 국가에서 교토 저감목표 달성을 위한 비용은 낮아질 것이다.



삼림 (forestry)과 토지이용 (land use)의 경우, 생태계나 토지의 탄소축적 및 저장작용을 증가시키거나, 또는 물입탄소의 이탈을 저감하도록 정책이 설계되

도록 해야 한다. 이런 정책들은 탄소 흡수원으로써 산림 이용을 강화시키고, 토양이나 식물을 탄소의 저장수단(pool)으로 유지 또는 확장시킬 수 있어야 한다. 배출저감 규제를 상쇄(offset)하기 위해, 교토의정서는 1990년 이후 인간의 활동으로 발생한 흡수원의 변화를 계산하도록 하고 있다. 흡수원 계산에 대해 세부적인 합의가 이루어진 것은 아니지만, 그것은 배출저감 수준에 영향을 줄 수 있다.

기술 개발과 확산

교토 저감목표를 달성하기 위해 필요한 기술들이, 현재 “쓸모없게(on the shelf)” 되더라도, 기술확산은 상대적으로 고비용에 관한 문제이다(OECD, 1999a). 청정 기술의 확산을 지원하는 프로그램들도 OECD 국가의 기존 에너지/환경 정책에 초점을 맞추고 있으며 국가 기후변화 관련 프로그램의 중요한 일부로 작용하고 있다. 비록 이런 프로그램들이 비용 효과적이며, 특정 기술이나 기업에 자금을 지원하는 것을 피하도록 면밀하게 살펴 정책을 입안할 필요가 있을지라도, 환경적으로 지속가능한 기술의 이용 및 개발을 효과적으로 가속시킬 수 있도록 해야 한다.

직접적인 정부지원 이외에, 정부는 조세유인책(tax incentive)과 같은 다양한 재정수단을 통해 연구 및 개발 투자를 촉진시킬 수 있다. 이런 정책들은 저감의무가 있는 지역에서의 자금회전을 촉진시켜 청정 기술의 확산을 가속화시킨다. 정상 상태에 있는 기업은 이전 기술의 수명이 다했을 때 신기술로 대체한다. 재정정책은 생산설비의 폐기비용을 앞당겨 지불하더라도 신재생기술의 투자를 위해 조세혜택(tax credit)을 제공하거나 감가상각되는 시기를 가속화시킬 수 있다. 이것은 일시적으로 신재생기술의 틈새 시장을 창출하도록 돕는다. 그리고 신기술의 비용을 줄이고, 대체되는 기술과 경쟁하게 된다.

법적 규제수단

규범(자발적, 규제)은 보다 에너지 효율적인 상품, 승용차, 빌딩의 개발, 시정성, 구매를 장려하는데 유용하다. 실투자 결정과 보다 에너지 효율적인 상품

의 비용 효과적인 투자 기회간의 차이(gap)는 높은 거래비용, 상충되는 인센티브(세입자와 건물 소유자, 또는 건물소유자와 개발자), 정보 실패 등을 반영한다. 규범을 이행하기 위해서는 이러한 장벽을 극복해야 한다. 이것은 투자를 이동시키고, 효율의 gap을 좁히고, 에너지 공급을 증가시키는 수 있도록 에너지 효율을 높이고, 경쟁력을 향상을 돕는다.

경제적 수단

기후변화를 완화시키기 위한 정책들의 혼합에 있어 중요한 요소는 적정 가격을 설정하는 것이다. 정책은 다른 방향으로 진행했을 때의 비용을 반영하도록 가격 신호를 포함하는데 초점을 맞추어야 한다. 기후에 악영향을 주는 재정지원의 제거, 국내 및 국제 배출권 거래의 창출 및 이행은 기후변화를 완화시키는 가장 경제적인 수단들이다.

OECD 국가들은, 재정지원이 온실가스를 배출하는 대부분의 부분에서 이루어지고 있다. 이런 재정지원의 상당수가 온실가스 배출 및 기후변화를 촉진시키는데 기여하고 있으며, OECD 국가들은 교토 저감목표(targets)를 달성하기 위한 중요 요소로써 제외 또는 개정하도록 해야 한다. 많은 OECD 국가들은 환경적으로 위대한 재정지원을 제외하거나 개정을 시도하고 있는 반면, 그 진행과정은 매우 느리다. 여러 OECD 연구는 재정지원의 삭제가 온실가스의 저감 잠재량이 상당하다는 것을 제시하고 있다. 따라서 석탄 및 다른 에너지 관련 재정지원정책의 폐지효과에 대한 일련의 OECD 사례연구에 의하면, 2010년 이산화탄소(CO₂) 배출량은 BAU 대비 에너지 부문에서 1~8%까지 온실가스를 저감할 수 있다고 한다(OECD 1997). 이것은 재정지원정책의 폐지는 “후회하지 않을(no regrets)” 정책임을 시사하는 것이다.

OECD 국가들은 전체 연료사용의 저감 또는 온실가스를 덜 배출하는 연료원으로서의 대체를 촉진시키기 위해 에너지 세를 도입할 수 있다. 매년 상승하는 OECD 국가에서 사용되는 연료의 가격에 따른 증가세율의 적용, 연료의 탄소 함유도와 연계한 세율 증가 등을 결합하여 OECD지역에서 사용하는 에너지의 생산과 소비에 대한 보조금을 폐지할 때의 효과를 정책시뮬레이션

(policy simulation)으로 실시하였다(제12장 참조)⁸⁾

여기서 석탄의 경우 연간 2%p, 원유의 경우 1.6%p, 천연가스의 경우 1.2%p씩 세율이 인상되도록 설정하였고, 2020년에는 총 세율이 각각 세전 가격의 50%, 40%, 30%에 달한다. 이 정책모의실험 결과의 영향은 현실적이다. 2020년의 OECD 지역에서의 이산화탄소(CO₂) 배출량은 기준 시나리오 상에서 예상한 것보다 약 25% 더 적고, 전세계적으로는 11% 더 적게 배출하는 것으로 나타났다. 재정지원정책의 폐지 또는 혼합하여 에너지세를 이 수준으로 적용하는 것이 교토의정서 저감목표(targets) 달성을 의미하는 것은 아니지만, 교토의정서 저감목표(targets)에 근접하는데 도움을 주는 것으로 나타났다.

또 다른 OECD 및 외부 연구 기관에서는 국내 수단만을 이용하여 교토 저감 목표(targets)를 달성할 경우 필요한 탄소세 수준 설정 문제를 다른 연구들을 발표하고 있다. OECD는 OECD 국가들이 국내총생산(GDP)의 0.2%에 해당하는 비용인 다중 온실가스세(multiple GHG tax)로 달성할 수 있는 교토 저감목표(targets)를 추정하고 있다. (Burniaux, 2000). 일부 OECD 국가들은 이미 기후변화 협약 정책의 주요 열쇠로써 탄소세를 실시하고 있지만, 그 성공시기는 차별적으로 낮은 세율 또는 국제 경쟁력과 관련한 대규모 에너지 사용자에게 제공되는 큰 면세 혜택 때문에 미정이다. 이러한 세금제도를 갖는 국가들은 제도를 강화하는데 노력해야하며, 대규모 에너지 이용자들에게 대한 면세 혜택 없이 탄소세를 도입해야 한다. 세금제도는 매립지에서의 메탄, 산업공정에서 배출되는 질소산화물 같은 다른 온실가스 배출원에도 적용할 수 있다.

또 다른 중요 수단으로는 국내 그리고 국제 배출권 거래 시스템이다. 배출권이 국제 체제에서 중요 역할을 담당하기 때문에, 많은 OECD 국가들은 국내 및 국제 체계의 참여 등을 통해 사용할만한 배출권거래 수준에 대해 조사하고

있다. 배출권의 할당, 비 에너지에서의 배출 및 다른 요소들과 같은 미해결 요소들이 있다는 것은 지금까지 어느 국가도 포괄적으로 국가 체제로 배출권을 이행한 적이 없다는 것을 의미한다. 그리고 배출권체제는 교토 의정서 합의 결정이 이루어지지 않아서 국제 체계가 아직 설정되지 않았다. 그러나 일부 OECD 국가들은 계획중이거나 기후변화협약 전략의 일부로써 국내 배출권 시스템을 시범 운영하고 있다. OECD 모델(GREEN model)은 국제 체제에서 배출권 제도를 실시할 경우, OECD 지역에서 교토의정서 저감목표(targets)를 이행할 때 필요한 비용은 국내총생산(GDP)의 0.2%에서 0.1%로 떨어질 수 있다는 것을 보여준다. OECD 국가들은 교토의정서 저감목표(targets)를 이행하기 위한 총 비용을 낮추기 위해 포괄적인 국가 배출권 체제를 구축하도록 해야 한다.

온실가스 배출을 완화시키는 정책은 타 부문에서의 자원 절약과 밀접하게 연계되어 있음을 인식하는 것도 매우 중요하다. 수송부문에서, 대중 교통 및 효과적인 수송 정책에 대한 투자는 국부적 오염원 및 추가적인 온실가스 배출의 정체를 줄일 수 있다. 지속가능한 산림 및 토지 이용의 장려는 생태변화를 보호하고 농부에게 이윤을 얻게 하는 긍정적인 일련의 과정이 될 수 있다.

자발적 협약

자발적협약은 OECD에서 국가 기후 프로그램으로 중요하게 나타나고 있으며, 다른 형태로 진행되고 있을지라도 산업부문을 주요 목표(target)로 하고 있다(OECD, 1999a). 이런 수단들을 구별하는 것은 정밀함, 명확함, 배출저감 목적의 정도, 참여자의 특성 등을 강화하는지 또는 얼마나 정확하게 감시(monitored)하는 지에 달려있으며, 자발적협약은 정부의 투자 정도에 따라 다양해 질 수 있다. 정부를 포함하지 않은 양자간 이루어진 공약이 일부 국가, 특히 일본에서 아주 현저하게 나타나고 있다. 그러나 다국적 기업들의 양자간 활동이 국가 정책 구조에서 어떻게 계산될 수 있는지는 불명확하다.

그럼에도 불구하고, 자발적협약은 기후변화협약의 목적을 달성하기 위해 정부가 사용하는 정책의 중요 요소이며 유연성 있는 정책수단을 제공한다. 또

8) 이 산출모델(modeling exercise)에서 사용한 GTAP 데이터베이스의 목록에 에너지관련 보조금정책이 제한적으로 반영되었기 때문에 데이터베이스에 포함된 보조금 폐지의 모의실험 효과가 중요한 의미를 갖지는 못한다.

한 자발적협약은 기술적 저감수단의 선택권(option)과 비용이 필요한 산업 공정의 배출량과 육불화황(SF6), 수소불화탄소(HFC), 과불화탄소(PFC)와 같은 부문에 특히 효과적이다. 자발적협약의 효과를 측정하기 어려울지라도, 산업 및 사업의 환경문화에 영향을 줄이기 위해 확산되고 있다.

정보 및 기타 수단들

교육과 공공의 인식은 또 다른 중요한 온실가스 저감 정책이다. 사업 및 산업 그리고 소비자들의 태도는 국내 경제를 통하여 궁극적으로 새로운 “그린” 제품 및 기술의 수용과 선택의 속도에 영향을 줄 것이다. 일례로 소비자들이 더 많은 지출이 필요한 그린 발전 계획(green power scheme)을 선택했다는 것은 정보와 고객의 선택이 결합된 흥미로운 사례라 할 수 있다.(제12장 참조) 전반적으로 “그린”을 생각하고, 행동하고, 구매하도록 보다 직접적이고 지속적으로 인센티브를 제공하는 정책들과는 달리 교육과 정보도구들은 보완적인 수단으로 간주되어야 한다.

온실가스 배출과 특히 정책 수단의 효과에 대한 감시(monitoring)는 정부의 행정적인 역량이 상당히 요구되는 부분이다. OECD 국가들은 배출 및 정책 성과의 모니터링에 대하여 다양한 역량을 보유하고 있으며, 그 경험을 공유하기 위해 보다 강력한 네트워크를 활용할 수 있다. 이러한 목표 설정과 종합적인 모니터링은 지역단위에서 인식을 제고하고 저감의 동기를 자극하는데 효과적이다. OECD 및 IEA는 기후변화협약(UNFCCC)하에 설립된 모니터링의 기본틀/framework)을 확장하거나 보강하는 작업을 계속하고 있다. 에너지, 수송, 농업, 환경 및 경제분야에서 OECD 성과검토서(performance reviews)는 기후정책의 몇 가지 측면을 포함하고 있다. 시간이 지나면, OECD 검토보고서는 OECD 지역내에서 배출추이의 주요 요인에 대한 통찰력을 제공하고, 좋은 실천 방안을 규명 및 조사하며, 현재의 정책을 평가하여 좀더 나은 정책을 촉진하도록 해야 할 것이다.

참고자료

- Aunan, K., H.A. Aaheim, H.M. Seip (2000), Reduced Damage to Health and Environment from Energy Saving in Hungary , in OECD (2000), *Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation* OECD, Paris.
- Burniaux, J.-M. (2000), A Multigas Assessment of the Kyoto Protocol , Economics Department Working Paper No. 270, OECD, Paris.
- IEA (International Energy Agency) (1999), *World Energy Outlook 1999 Insights: Looking at Energy Subsidies: Getting the Prices Right*, OECD, 1999.
- IEA (2000), *World Energy Outlook 2000*, OECD, Paris.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996), Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate Change: Scientific Technical Analysis , in Watson, R. T., M.C. Zinyowera and R.H. Moss (Eds): *Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, Geneva.
- IPCC (2000a), *Land Use, Land-Use Change, and Forestry*, IPCC, Geneva.
- IPCC (2000b), Special Report on Emissions Scenarios, A Special Report of Working Group III of IPCC , Cambridge University Press, Geneva.
- IPCC (2001a), Climate Change 2001: The Scientific Basis , Working Group I Third Assessment Report, IPCC, Geneva.
- IPCC (2001b), Climate Change 2001: Impacts, Adaption, and Vulnerability , Working Group II Third Assessment Report, IPCC, Geneva.
- Newman J., N. Beg, J. Corfee and G. McGlynn (2001): Energy and Climate Change: Trends,
- Drivers, Outlook and Policy Options , Background document for the *OECD Environmental Outlook*, OECD, Paris.
- OECD (1997), *Reforming Energy and Transport Subsidies: Environmental and Economic Implications*, OECD, Paris.
- OECD (1998), Energy Efficiency Standards for Traded Products , Annex I Expert Group on the United Nations Framework Convention on Climate Change, Working Paper No. 5, OECD, Paris.
- OECD (1999a), *Voluntary Approaches for Environmental Policy: An Assessment*, OECD, Paris
- OECD (1999b), *National Climate Policies and the Kyoto Protocol*, OECD, Paris.
- OECD (1999c), *Action Against Climate Change: The Kyoto Protocol and Beyond*, OECD, Paris.
- OECD (2000), The Potential for Using Tax Instruments to Address Non-CO2 Greenhouse Gases:
- CH4, N2O, HFCs and SF6 , COM/ENV/EPOC/DAFFE/CFA(99)110/FINAL, OECD, Paris.



Schipper, L. C. Marie-Lilliu, and R. Gorham (2000), *Flexing the Link Between Transport and Greenhouse Gas Emissions: A Path for the World Bank*, World Bank, Washington DC.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2000), UNFCCC database (www.unfccc.de) drawn from official national inventory submissions , UNFCCC, Bonn.

WHO (World Health Organisation), (2000) *Climate Change and Human Health: Impact and Adaptation*, WHP/SDE/ODE/00.4, WHO, Geneva.

(출처) OECD, *OECD Environmental Outlook*, 2001 : 157-168.

제 14 장 수송

개 요

- 수송부분은 가장 높은 성장률을 나타내고 있는 도로 수송(여객 및 화물)과 항공수송에 따라 높은 성장을 지속할 것이다.
- 자동차의 이동거리는 2020년까지 OECD 지역에서는 40%까지, 전세계적으로는 86%까지 증가할 것으로 예상된다. 같은 기간동안, 항공수송은 전세계적으로 세배가 증가할 것으로 예상된다.
- OECD 국가에서 수송으로 인한 일부 주요 대기 오염원, 즉 납, 일산화탄소(CO), 휘발성 유기 화합물(VOC), 및 가장 최근에 알려진 질소 산화물(NOx) 등의 배출은 감소하고 있다. 동시에, OECD 국가에서 수송부문에서 특히 이산화탄소와 같은 온실가스의 배출은 증가하고 있다.
- 현 수준과 비교하여 수송으로 인한 위 대기오염원의 추가적인 감소가 2020년까지 15%에서 55%까지 있을 것으로 예상된다. 그러나, OECD국가에서 자동차의 CO₂ 배출은 1995년에서 2020년까지 약 44%까지 증가할 것으로 전망된다.
- 예상되는 전 세계적인 수송의 증가는 인간 건강과 환경에 심각한 영향을 미칠 것이다. 가장 우려가 되는 쟁점(issues)들은 기후 변화, 대기 오염, 소음 및 토지 이용이다.
- 보다 집중된 수송정책이 요구되며, 그 것은 수송의 증가를 관리하고(address), 기술향상과 수송수요관리를 지원할 정책수단들을 통합하여야 한다. 적용가능한 정책 도구들은 잘 알려져 있고, 철저하게 평가되어 왔으나, 상당한 집행의 편차(implementation gap)가 있다. 앞으로 경제적 도구들은 보다 강화되고, 잘 결합되며, 보다 일관성 있게 사용되어야 한다.

14.1 머리말

20세기 경제발전의 현저한 특징의 하나는 여객과 화물수송 모두에서 엄청난 자동차수의 증가였다. 수송수요는 OECD 국가뿐만 아니라 전 세계적으로 빠르게 증가하고 있다. 즉, 지난 25년간 OECD 지역에서 수송수요는 두 배 이상 증가하였다. 이러한 성장은 거의 전적으로 도로수송, 그리고 보다 최근에는 항공수송의 형태로 나타나고 있다. 정책과 관습에 있어 중요한 변화가 없다면, 이러한 추세는 수십 년 동안 계속될 것 같다¹⁾.

수송활동은 환경과 인간의 건강, 특히 기후 변화와 지역적인 대기오염에 매우 부정적인 영향을 끼친다. 다른 영향으로는 소음, 산성화와 부영양화로 인한 생태계 파괴, 서식지 파괴, 토지 이용, 수질 오염, 및 폐기물 생성 등이 포함된다.

비록 개별적인 차량에 대하여는 중요한 연료효율의 성과를 거두었지만, OECD 국가 및 전세계에서의 전반적인 수송부문의 성장은 이러한 성과를 훨씬 능가한다. 전반적으로 전 세계의 경제성장으로 부터 수송의 환경적인 영향을 완화하는 것은 아직 OECD 지역의 몇몇 대기오염원 배출을 제외하고는 일어나지 않고 있다.

1) 수송부문에 대한 상세한 특정부문별 전망(projection)을 산정하기 위해 이 장의 기준시나리오에서 사용된 산정 기본모델(modelling framework)은 다른 장에서 사용된 산정모델과는 다르다. 그래서 여기 사용된 지역들은 다른 장의 그것과 약간 다르다.

14.2 수송부문의 발전

표 14.1 수송부문의 핵심 통계 및 전망

| | | 1980 | 1998 가능한 최근년도 | 2020 전망 | 총 변동 1997-2020 |
|----------------------------|-------|-------|------------------|------------|-------------------|
| 도로 자동차수(million) | OECD | 348 | 552 | 730 | 32% |
| | World | 411 | 688 | 1,200 | 74% |
| 자동차 주행의 수송거리(billion km) | OECD | 4,924 | 8,472 | 11,900 | 40% |
| | World | - | 11,000 | 20,500 | 86% |
| 항공수송(billion passenger km) | World | 1,310 | 3,000 | 9,000 | 200% |

출처: OECD(1999b; 2001b) 및 기준시나리오

수송수요와 공급

수송은 OECD 국가에서 GDP의 4-8%, 노동력의 2-4%를 기여하는 부문이다. (OECD, 2001a) 수송공급은 수송인프라와 이동수단의 생산, 유지 및 이용을 포함한다. 수송은 또한 국제무역, 기업경영, 가정소비지출, 및 공공지출에 있어서 실질적인 중요한 역할을 담당한다.(제5장 및 16장 참조)

수송수요는 현대사회에서 사람, 장소, 물품, 및 서비스에 대한 접근수요로부터 비롯된다. 개인의 이동성, 즉 여객수송에 대한 수요는 소득수준, 지역적 위치, 집과 직장 또는 교육기관과의 거리, 및 쇼핑과 오락기회 등과 밀접하게 관련되어 있다. 지난 몇 십 년간의 소득증가, 기술과 인프라향상, 더 많은 여가시간 등으로 사람들은 더 많이, 더 먼 거리를 이동할 수 있게 하였고, 사람들에게 이동수단을 선택할 수 있는 자유를 주었다. 이러한 선택은 위 모든 요인들뿐만 아니라, 개인의 선호도와 우선 순위에 따라 달라진다.

화물수송수요는 경제성장과 국제무역, 경제의 다양한 부문의 전반적인 발전, 토지이용계획 및 인프라와 긴밀한 관계가 있다. 화물수송은 지난 수 십 년

간 여객 수송보다 더 빨리 성장하고 있으나, 화물수송의 총 이동거리는 여전히 여객수송보다 짧다.

역사적으로, OECD 국가에서 경제성장은 여객 및 화물수송수요와 긴밀한 관계를 가지고 있다. GDP성장은 전체 수송수요, 특히 도로수송에 있어서 GDP증가율을 약간 상회하는 성장률을 나타내고 있다. OECD 국가들의 GDP는 1980년에서 1995년까지 46% 성장하였고, 자동차수는 59%증, 자동차 이동거리는 1980년에서 1997년까지 72% 증가하였다. 항공수송은 지난 수십년간 매년 약 10% 증가함으로써, OECD 국가의 GDP성장률보다 훨씬 더 높았다.

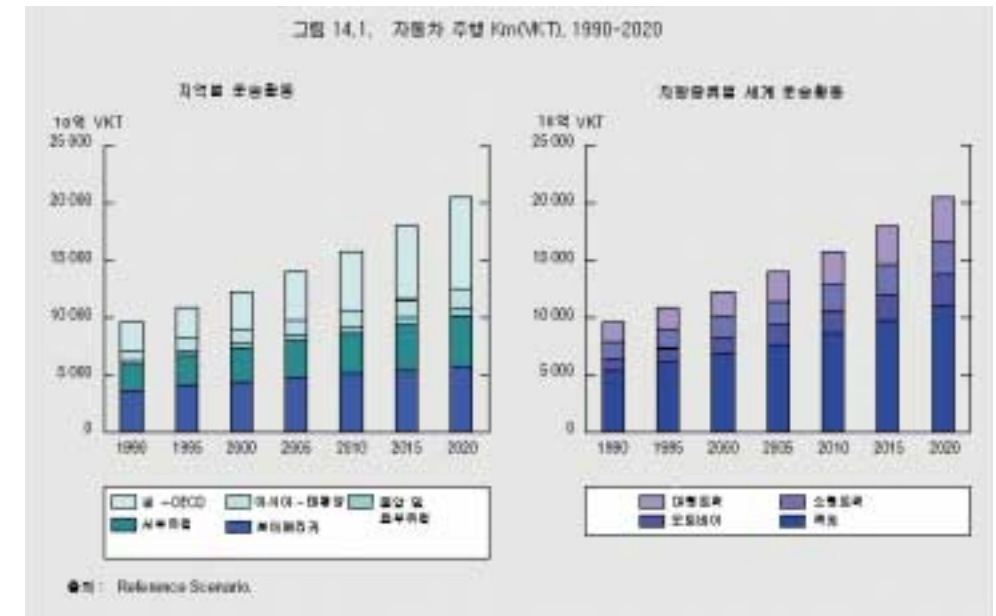
여객과 화물 모두의 도로수송은 OECD 국가에서 지난 25년간 두 배 이상의 성장을 하는 등, 지난 수십년간 엄청난 성장을 경험하였다. 도로수송은 여객의 90%이상과 물품이동의 75%이상을 차지하는 지배적인 수송방식이다. 오늘날, 55억 대 이상의 자동차(75%는 여객 차량)가 OECD 국가에 등록되어 있고, 전세계적으로는 약 70억대이다.(OECD, 1999b)

OECD 국가의 총 자동차 대수는 1998년 55.2억대에서 2020년 약 73억대로, 총 32%의 증가율을 기록할 것이다. 세계적으로는, 동기간동안, 자동차 대수가 74%만큼 증가할 것으로 예상된다. OECD 국가에서 승용차와 소형화물차의 높은 증가와 함께, 거의 모든종류의 차량이 증가할 것이다. 자동차는 전세계적으로 계속해서 지배적인 수송수단이 될 것이다.

자동차 이동거리는 오늘날보다 2020년에 상당히 높은 수준에 이를 것으로 예측된다.(그림 14.1) 총 이동거리는 OECD 국가에서 40%까지 증가할 것으로 예측된다. OECD 지역의 성장률은 중부와 동부 유럽에서 매우 높을 것이고, 다른 OECD 국가들은 보다 적정한 수준의 증가가 예상된다. 자동차 이동거리는 1997년에서 2020년까지 총 약 86% 증가하고, 전세계적으로 보다 높은 성장이 예상된다.

중형트럭의 수송활동은 전세계적으로 아주 중요하게 될 것으로 예측된다.

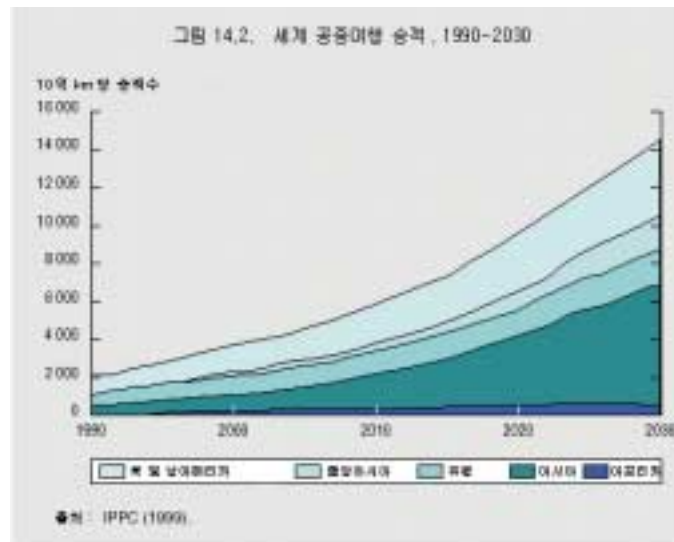
1995년에서 2020년까지 중형트럭의 이동거리는 거의 두 배가 될 것으로 예상된다. 총 승용차의 총 이동거리는 79%까지 증가할 것으로 예측된다.



철도수송의 전망은 자동차수송의 전망과는 완전히 다르다. 여객수송과 화물수송모두에서 철도가 차지하는 비율이 모든 OECD 국가에서 최근 수십년간 감소하였다. 예외는 화물철도수송이 빠르게 증가하는 미국뿐이다. 모든 철도여객수송은 지난 15년 동안에 걸쳐서 10%의 성장을 누렸으나, 그것은 단지 OECD 국가에서 여객이동의 6%에 불과하다. 철도가 화물수송에서 시장점유율을 계속해서 잃을 것이나 2020년까지는 화물철도수송은 40%만큼 증가할 것으로 예측된다.(OECD, 1997a)

최근에 많은 OECD 국가에서 수상수송 형태의 화물수송은 꾸준히 증가하고 있음에도 불구하고, 수상수송 역시 내륙 수로와 해상수송 모두에서 시장점유율이 감소하고 있다. 수상수송은 1990년에서 2020년까지 약 90% 증가할 것으로 예측되고, 그래서 시장점유율도 증가할 것이다.(OECD, 1997a)

세계여객수송에서 항공수송이 차지하는 비율은 현재 3% 이하이다. 그러나, OECD 국가에서 1997년에 항공여객의 규모는 총 여객수송의 약 10%에 해당한다. 국제항공산업은 경제성장, 더 높은 가처분소득, 수요측면에서 여가시간의 증가, 공급측면에서 항공요금(airline tariff)의 감소와 기술변화 등의 결과로 지난 30년간 엄청나게 성장하였다. 여객수송은 1960년 이후 매년 평균 9%의 비율로 증가하였고, 항공화물은 매년 11%씩 증가하였다. 항공은 다른 수송의 형태보다 보다 엄청나게 활동이 증가할 것으로 예측된다. 그래서 1997년에서 2020년까지 세계적으로 항공여객의 이동거리는 약 200% 증가할 것으로 예측된다.(그림 14.2) 가장 높은 증가율은 아시아지역 내, 유럽과 아시아간, 및 태평양 횡단루트에서 있을 것으로 예상된다.



14.3 수송의 환경적 영향

OECD 국가들은 수송부문에서 기존의 전통적인 대기오염원을 줄이는 데 상당한 진전이 있었다. 그렇지만, 수송활동은 환경과 인간의 건강, 특히 기후변화, 지역적 대기오염과 소음에 꾸준히 부정적인 영향을 미치고 있다. 그것은

또한 재생할 수 없는 자원의 심각한 고갈을 초래한다.

OECD 국가에서, 도로수송은 수송분야의 거의 모든 환경영향에 책임을 지고 있다. 이것이 모든 수송관련 에너지소비의 80%이상을 차지하고 있다.(OECD, 1999b) 아주 최근에, 특히 사적이고 휴가여행에서 아주 빠르게 성장하고 있는 항공교통의 환경영향에 대한 우려가 증가하고 있다. 현재 항공수송은 수송관련 에너지소비의 약11%를 차지한다.(OECD, 1999b) 고속철도를 포함하는 철도수송은 도로나 항공교통보다 환경영향은 훨씬 적다. 수상수송의 경우, 일반적으로 선적(shipping)이 항공, 도로 또는 철도수송보다 전반적으로 수송되는 톤과 킬로미터 당 환경영향이 적은 것으로 나타나고 있다.

대기 오염과 기후변화

수송은 국내간, 지역간, 및 국제적인 수준에서 기후변화와 대기오염에 상당히 기여하고 있다. 수송으로부터 발생하는 대기배출은 화석연료소비와 직접 관련되어 있으며, OECD 국가에서 전반적으로 인간에 의한 배출의 높은 비중을 차지하고 있다.(OECD, 1995) 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 질소산화물(NO_x), 먼지(PM), 납(Pb) 및 휘발성유기화합물(VOC)은 수송으로부터 발생하는 주요 오염원이다.

지역적인 수준에서, 도로수송은 도시환경을 저하시키고, 도로교통과 혼잡이 집중되는 도시지역에서 대기오염원의 주요인자이다. 인체에 미치는 영향 때문에 경유 자동차에서 배출되는 특히 질소산화물과 미립자에 대한 우려가 크게 부각되고 있다. 이러한 많은 오염원들 중에서 자동차가 OECD 국가 전체 배출에 가장 크게 기여하는 인자이다. 1997년에, 자동차는 일산화탄소(CO) 배출의 89%, 질소산화물(NO_x) 배출의 52%, 휘발성유기화합물(VOC) 배출의 44%를 기여하고 있다.(OECD, 1999a)

유럽, 일본, 및 미국에서는 2005년과 그후까지 자동차의 엄격한 배출표준과 목표치를 채택하였다. OECD 국가에서 마련한 대책들에 따르면, 일산화탄소, 휘발성유기화합물, 일산화탄소 및 먼지 등의 배출을 지금부터 2020년까지

지 15%에서 55%까지 줄이고, 그 이후는 아주 낮은 수준으로 안정화시키는 것이 가능한 것으로 예측되고 있다. 하지만, 나머지 다른 나라에서는 모든 대기오염원에 대하여 유사한 감소가 진전될 것으로 예상하지 않고 있다. 그 나라들에서는 수송으로부터 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 휘발성유기화합물(VOC)의 배출이 2020년까지 각각 70%, 20%, 55%씩 증가할 것으로 예상된다.(Wiederkehr, 2001)

수송의 주요 에너지원은 화석연료이다. OECD 지역에서, 자동차수송에서 화석연료의 사용이 1980년에서 1997년까지 45%이상 증가한 반면, 동기간 동안 철도수송에 있어 그것은 17% 감소하였다. 총 수송연료 사용은 자동차대수와 이동거리증가에 따라 계속 증가하고 있다. 이는 전세계적으로 온실가스, 특히 이산화탄소(CO₂)의 배출증가를 가져오고, 지구온난화를 가중시키는 결과를 초래하고 있다. 수송부문에서 온실가스 배출이 OECD 국가에서 총 온실가스배출의 19%에서 1998년에 21%로 상승하였고, 다른 부문의 배출보다 빠르게 증가하고 있다.(제13장 참조)

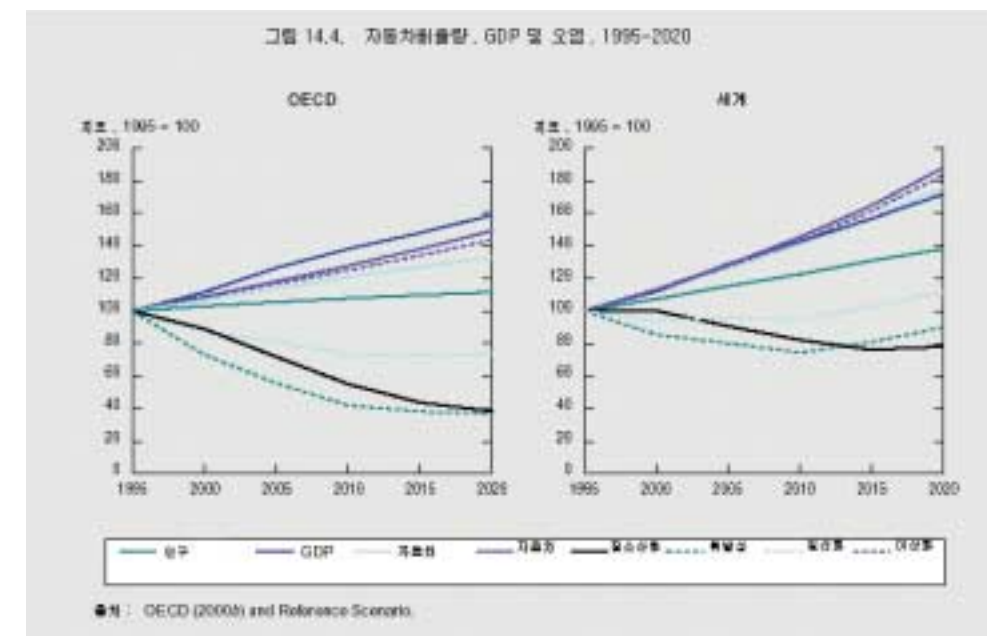
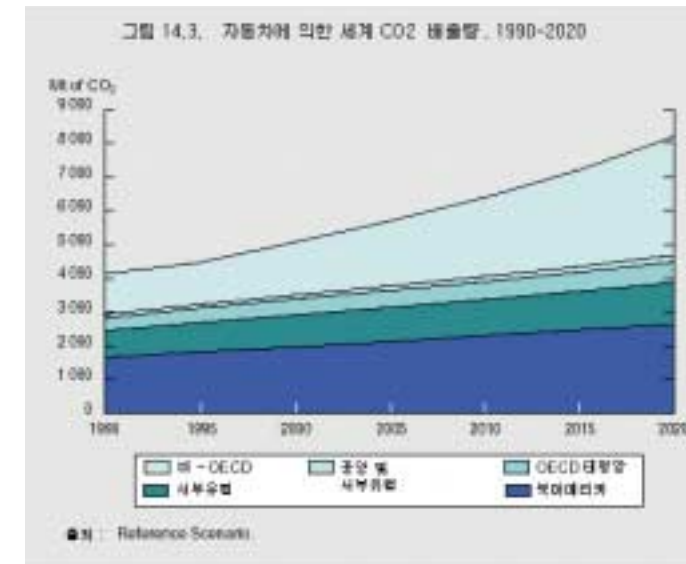
자동차로부터 세계적으로 이산화탄소(CO₂) 배출이 1995년에서 2020년까지 약 83%, 그리고 1990년도 수준의 거의 두 배로 증가할 것으로 예측된다. (그림 14.3) OECD 국가에서, 자동차의 이산화탄소(CO₂) 배출은 1995년에서 2020년까지 거의 44%(1990년 대비 59%) 증가할 것으로 예상된다. OECD 국가에서 총 이산화탄소(CO₂) 배출에 대한 수송부문의 기여도는 1995년 약 20%에서 2020년 30%로 증가할 것으로 예상된다.(제13장 참조)

OECD 국가에서 전체 이산화탄소 배출에 대한 수송부문의 기여도는 1995년도에 20%에서 2020년도에 30%로 증가할 것으로 전망된다.



전세계적으로 수송활동의 전반적인 성장으로부터 환경적 영향이 완화되리라고는 기대되지 않는다. 위에서 언급한 대로, 자동차대수와 수송활동이 계속적으로 증가하는 기간동안에도 OECD 지역 내에서 주요 대기오염원의 배출(예, VOC, NO, CO)은 상당히 감소할 것으로 예상된다.(그림 14.4) 그러나,

수송으로부터 이산화탄소(CO₂) 배출은 연료효율향상을 목표로 하는 강력한 정책의 부재 때문에, 계속해서 빠르게 증가할 것이다.



도로 수송에 비하여 항공수송은 소음, 대기오염, 및 이산화탄소(CO₂) 배출 증가로 인한 지구의 기후영향을 포함한 환경영향은 상대적으로 작지만, 빠르게 증가하는 인자이다. 1980년과 1997년 사이에, 항공수송에 의한 에너지 소비가 OECD 국가에서 65%, 그리고 전세계적으로 약 50%씩 높게 증가하였다.(OECD, 1999b) 항공수송에 의한 에너지 소비가 같은 기간동안에 가장 높게 증가한 지역은 아시아태평양(158%)과 유럽(86%)으로 알려져 있다. 민간 항공이 전세계 온실가스배출의 약 2.5%에 해당하고, 수송부문 이산화탄소(CO₂) 배출의 12.4%인 5억 톤 이상의 이산화탄소(CO₂)를 배출한다.(IPCC, 1999) 최근에 항공관련 이산화탄소(CO₂) 배출은 항공수요 증가와 서비스 향상에 따라 가속화되었고, 지속적인 항공수송의 빠른 성장은 미래의 배출에 대한 압력증가를 유발할 것으로 예상된다.

항공운항에 대한 환경영향을 평가할 때, 대기의 중간층과 상층부에 배출되는 모든 오염원의 고려하는 것이 중요하다. 기후변화정부간협의체(IPCC)의 최근 보고서는 항공운항으로부터 배출되는 모든 오염원으로 인한 지구 온난화영향이 항공운항으로부터 발생하는 이산화탄소(CO₂) 하나만으로 인한 지구온난화에 미치는 효과와 비교했을 때, 2배 내지 4배에 이른다.(IPCC,1999) 이러한 발견치와 항공과 자동차의 예측된 증가율에 근거했을 때, 현재 비교적 낮은 항공운항의 이산화탄소(CO₂) 배출에도 불구하고, 항공운항의 지구온난화에 대한 기여도는 2020년과 그 이후에는 승용차와 중형 트럭의 영향을 능가할 것이다.(OECD/BMFLUW, 2000)

토지 이용

수송을 위한 토지 이용은 수송활동(인프라가 이동성을 유발)을 일으키는 한 요인이고, 환경 압박의 인자이기도 하다. 주로 도로관점에서 수송인프라는 OECD 국가에서 도시 지역의 약 25내지 30%를, 농촌지역에서는 거의 10% 이하의 토지를 사용하고 있다. 도로 연결망은 EU에서 수송에 이용되는 총 토지면적의 93%를 차지한다. 철도는 4%의 토지점유를, 항공은 1%미만을 차지한다. 철도는 승용차에 비해 수송단위당 토지이용율이 3.5배 낮기 때문에, 수송단위당 가장 낮은 토지점유를 필요로 한다.(EEA, 2000) 경제와 수송활동

의 증가가 예상되기 때문에, 수송인프라(도로와 주차장, 철로, 공항 및 항구)에 이용되는 토지면적은 2020년까지 증가할 것 같다. 이러한 수송의 토지이용 증가는 서식지의 분열과 파괴, 수송의 산성화와 부영양화에 대한 기여 때문에 생물다양성에 대한 압박이 증가할 것이다.(제11장 참조) 인프라가 동물 사이의 이동과 교류의 장벽으로 작용된다면, 이는 확실히 서식지와 종에 영향을 미칠 수 있다.

쓰레기

수송인프라와 자동차, 기차, 및 비행기와 같은 수송수단들의 생산, 유지, 및 이용은 OECD 국가에서 딱딱하고 위험한 쓰레기를 생성하는데 기여하였다.(제20장 참조) 약 5천만 대의 차량들이 폐기되어, 많은 금속, 플라스틱, 타이어 및 폐유와 같은 거대한 폐기물 더미를 생산하고 있다. OECD 국가들은 대부분의 차량 부품에 대한 재생가능성과 최종 폐기에 대한 요건들은 에너지, 원재료, 및 희귀 자원을 절약하기 위해 물질의 흐름에 대한 순환고리에 접근하는 것을 목적으로 하고 있다. 도시적이고 유해한 폐기물의 매립장, 소각장, 재생과 이외 다른 처리시설로의 흐름 또한 수송수요를 증가시킨다. 프랑스의 보고서에 따르면, 쓰레기수송이 수송부문의 총 에너지소비량의 약 5%를 차지하고, 화물수송의 15%가 폐기물의 수송과 관련된다.

소음

특히, 도로교통과 항공비행에서 나는 교통소음은 도시지역의 외부 청각장애의 가장 큰 요인이다. 낮은 수준의 소음이 사람들의 행복에 영향을 주는데, 65 db(A) 이상의 수준에서는 건강에 해롭다.

인간 건강에 심각하게 영향을 미치는 소음 수준은 많은 OECD국가에서 아직도 보고되고 있다.



자동차, 상용차량 및 항공기에 대한 소음기준은 지난 20년 동안 대부분의 OECD 국가에서 점진적으로 개선되었다. 그러나, 65dB(A)이상이라는 과도한 소음기준이 여전히 많은 나라에서 설정되어있는 데, 이는 고혈압과 심장

혈관관련 질병 등에 기여하는 등 인체에 심각한 영향을 끼치고 있다.

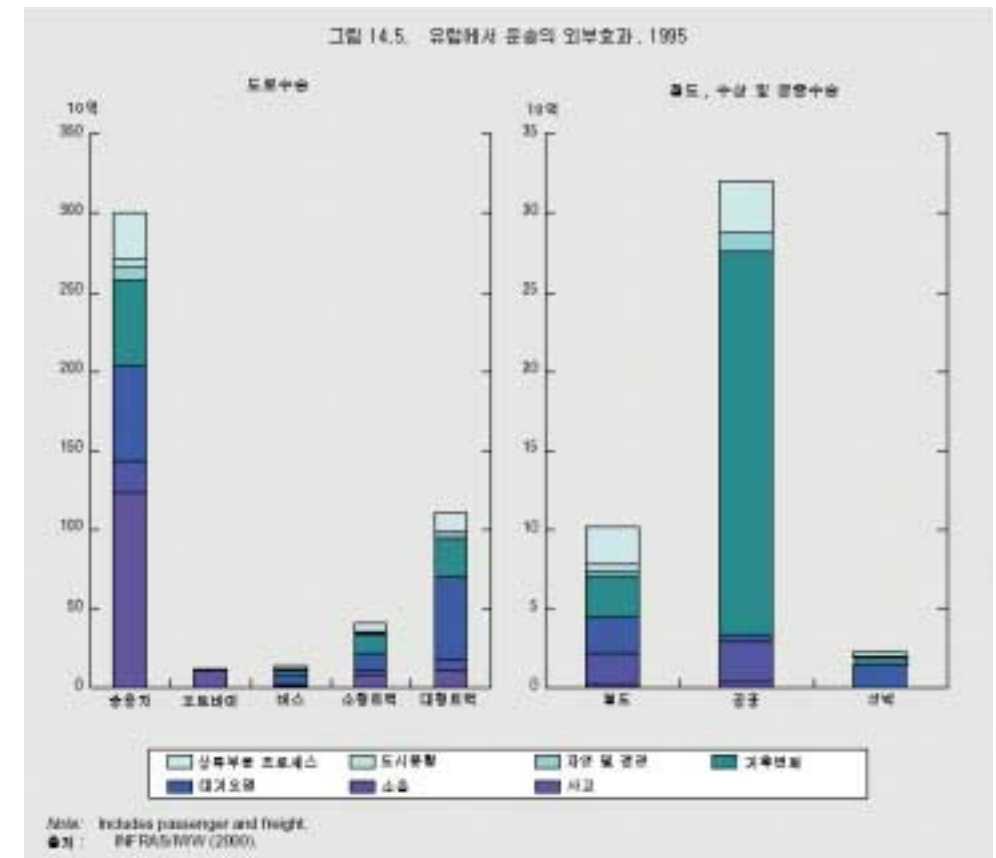
유럽 OECD 국가에서는, 약 30%의 인구가 55 dB(A)이상의 도로 교통 소음에 노출되어 있으며, 약 13%가 65 dB(A)이상에 노출되어 있다.(EEA, 2000) 소음 방지조치와 함께 자동차와 도로표면에 대한 저소음기술은 현 수준을 상당히 줄일 수 있을 것이다. 철도소음을 줄일 수 있는 많은 잠재가능성이 있다. 바퀴의 소음성(noise characteristics)을 줄이고, 소음 흡수대를 부착한 디스크브레이크의 이용과 소음 감소 덮개(aprons) 및 저소음 방지벽 이용을 통해 노출된 지역에서 55dB(A)을 초과하지 않는 수준으로 철도소음을 줄일 수 있을 것이다. EU의 약 10%의 인구가 55dB(A)를 초과하는 항공소음 때문에 심각한 방해를 받는 것으로 추정된다.

소음원에 대한 소음을 줄일 수 있는 기술진보와 저소음기술의 도입(도로표면, 타이어, 바퀴, 방지벽 등)에도 불구하고, 미래의 전망은 밝지 않다. 소음장애는 자동차 교통의 예측되는 증가로 인해 도로 인근에서 더욱 심화될 것 같고, 더 많은 항공비행은 공항과 활주로 근처에 상당히 높은 소음을 발생시킬 것이다.

수송활동의 환경적 및 사회적 외부효과

수송에서 발생하는 부정적인 환경과 건강에 대한 외부효과는 사회에 많은 비용을 부과시킨다. 세계보건기구(WHO)에 의해 실시된 최근 연구는 오스트리아, 프랑스, 스위스에서 미세먼지(PM10)의 노출이 인간 건강에 미치는 효과를 조사하였다. (WHO, 1999) 이 연구는 자동차로부터 생긴 대기오염에 어른을 장기간 노출시킨 결과, 이들 국가에서 호흡기나 심장질병으로 매년 21,000명이 조기에 사망하는 것으로 나타났다. 이 수치는 교통사고에 의한 사망자 수의 두 배가 넘는다. 이 연구는 도로수송이 인간을 대기오염과 소음에 노출시키는 가장 중요한 요인이라는 것을 확인하였다. 경유 미립자물질의 노출로 인한 추가적인 암발생 위험성을 조사한 유사한 연구가 캘리포니아에 있는 사우드 코스트 대기질 관리청(South Coast Air Quality Management District)에 의해서 실시되었다.(SCAQMD, 1999) 이것은 이동원(주로 자동

차)이 지역 대기오염으로 인한 암 발생 위험에 90%의 책임이 있고, 이중 70%는 경유 미립자 때문이라고 결론을 내렸다. 미국의 모든 거대 도시지역에서는, 125,000건의 암 발생 경우가 경유 미립자 때문이라고 예측되었다.



대기오염, 소음, 사고, 및 기후변화영향을 포함하는 수송 때문에 전체 환경과 건강에 들이는 비용은 최근 조사에서 유럽 국가들의 GDP의 약 8%에 해당한다고 예상되었다.(혼잡 비용제외) 1995년 동안, 이 수치는 약 5,300억 유로에 해당하는 데, 주로 교통사고(21%), 대기 오염과 기후변화(48%) 때문이다.(INFRA5/IWW, 2000) 도로 수송은 이들 비용의 92%, 항공은 6%, 철도는 약 2%를 차지한다. (그림 14.5) 이들 비용의 2/3는 여객 수송에서, 1/3은 화물수송 때문이다.

14.4 정책대안들

기술진보는 2020년까지 증가하는 수송수요로부터 유발되는 증가된 환경 압력과 영향을 극복하기에 충분할 것 같지 않다. 주요 우려되는 지역은 기후 변화, 대기오염, 소음, 혼잡, 자원이용(연료, 원재료, 등), 토지이용 및 서식지 파괴가 계속될 것이다.

현 수송시스템의 환경과 건강에 미치는 부정적인 영향을 줄이기 위해서 많은 정책조치들이 채택되었거나, 논의되고 있다. 자동차의 배출가스와 연료의 질을 통제하는 국가적 또는 국제적인 규제를 통하여, 특정 오염원, 즉 잘 알려진 일산화탄소와 납에 대하여는 상당한 진전이 있었다. 그러나, 특히 수송활동의 구조적 변화를 목표로 하는 것이나 이산화탄소(CO₂) 배출감소를 목적으로 하는 것과 같은, 미래를 위해 제안된 많은 정책조치들이 효과적으로 집행될 수 있는 기본적인 틀이 부족하다. 게다가, 지속적인 수송증가의 전망은 기술적인 향상을 통하여 달성될 수 있을 것 같은 진전(gains)을 능가할 것으로 위협적인데, 이에 대한 많은 조치들이 취해지지 않고 있다.

더 집중적이고, 목표 지향적인 정책적 접근이 세계적, 국가적 및 지역적 수준에서뿐만 아니라, 관련된 부문에 걸쳐 이루어져야 하며, 그 것은 환경적, 건강적 목표가 정치적 의제보다 상위에 두어져야 한다. 그러한 접근방법은 대기오염의 통제분야에서 잘 작동하고 있는데, 대기오염에 대하여 국가적으로나 국제적 수준에서 채택된 대기질의 목표들은 이러한 목표달성을 위해 배기가스와 연료구성의 표준, 한도, 목표수준의 형태로 엄격한 통제요건을 설정하는데 이용되어왔다.

장기적으로 합의된 환경과 건강목적의 달성에 대한 타당성은 이러한 목적에서 파생된 일련의 특정한 목표를 사용함으로써, 환경적으로 지속가능한 수송(EST)에 관한 OECD 프로젝트와 EST 비엔나 가이드라인내에서 탐색되어지고 있다.(OECD, 1996; OECD, 1997b; OECD/BMLFUW, 2000) EST 프로젝트는 야심차지만 적절한 목적은 기술진보를 보장할 수 있는 정책들과, 특히, i) 기존 인프라와 수송방식(mode)을 더 잘 이용할 수 있게 개선된 수송관

리, ii) 환경영향이 적은 수송방식의 유도, iii) 통합된 이동서비스와 물류를 통한 효율향상의 달성 등으로 수송수요에 영향을 끼치는 방법들의 조합(combination)을 통하여 달성될 수 있다.

기술 발전과 확산

자동차의 환경영향을 상당히 낮출 수 있는 기술은 이미 존재한다. 현재 사용할 수 있는 개선된 기술을 모든 신승용차와 상용차량에 오늘 도입한다면, 2010년까지 약 30%만큼 연료소비감소에 기여할 수 있을 것이다. 연료전지 자동차(Hybrid fuel cell vehicle)와 같은 대체 연료기술의 개발과 폭넓은 이용은 배기가스를 훨씬 줄일 수 있다. 그러나, OECD 국가들의 넓은 장벽이 그 것의 폭넓은 사용을 방해한다. 이러한 것들에는 높은 비용과 소비자들의 중형차 선호뿐만 아니라, 현재의 추세를 상쇄할 수 있는 보다 연료 효율적인 자동차의 상품화에 대한 산업계의 기피 등이 포함된다. 시장의 지배력은 최고의 적용가능한 기술을 적용한 차에 대한 광범위한 수요를 유발하는데 크게 실패하고 있다. 그러므로, 기술발전을 북돋우고 환경영향이 적은 차의 시장공략을 가능케 할 수 있는 가격 및 재정정책의 도입이 중요하다.

보다 환경친화적인 수송기술과 유익한 관행의 광범위한 이용의 장벽은 OECD 국가들에 존재하고 있다.



현재, 발전된 배출통제기술의 조합은 적용가능하며, 이는 자동차와 다른 경차들이 현재 OECD 국가들에서 유효한 가장 엄격한 최종단계의 배출표준보다도 50%에서 80%까지 더 엄격한 표준을 달성할 수 있게 해 줄 것이다. 기존 연료효율 기술과 자동차의 소형화는 오늘날의 OECD 국가들의 평균연료소비와 비교했을 때, 약 50%의 연료와 자원을 더 절약할 수 있게 할 것이다. 그러나, 자동차의 이산화탄소(CO₂) 배출을 실질적으로 줄일 수 있는 기술은 단기간내에 시장에서 포화상태가 되지는 못할 것이다, 왜냐하면, 기술의 전개와 시장공략이 모든 차량들이 완전히 교체될 때인 약 20년이 지난 후에야, 충분한 영향력을 발휘할 것이기 때문이다. 이러한 신기술들이 보다 빨리 시장침투를

보장받기 위해서는, 유인책들이 제공되어야 하고, 단계적으로 보다 높은 성과표준을 도입하여야만 한다.

대체 연료기술이 존재하고, 만일 가격경쟁력이 있고, 보단 광범위하게 사용된다면, 이 기술들이 상당한 환경압력을 감소시킬 것이다. 천연가스와 바이오디젤(bio-diesel)이 다른 방식의 응용을 촉진시킬 수 있는데, 특히 중앙연료 공급설비를 갖춘 도시버스와 회사의 수송장비들의 경우에 적용할 수 있다. 화석연료사용과 환경영향을 줄이기 위해, OECD 국가들은 수소 및 전기 차량과 함께 연료전지 자동차의 개발과 사용을 위한 장려 및 유인책을 제공하여야 한다. 특히 황(sulphur)이 아주 적거나, 전혀 없는 연료와 같은 청정연료의 개발 또한 촉진되어야 하는데, 이는 오염원을 상당히 줄일 수 있는 향상된 통제기술을 도입하는데 필요하기 때문이다.

법적 규제수단

표준, 한도 및 규제는 분명한 건강과 환경적 목적과 목표에 기반을 두었을 때, 대기오염을 감소시키는 데 가장 효과적으로 작용해 왔다. 다른 성공적인 정책들은 최근의 많은 OECD 국가들에서 유연 휘발유에 대한 금지와 더불어 보다 낮게 속도를 제한하는 제도의 도입 등이 있다. 도시지역에서는, 도시 도로 통행세와 같은 경제적인 정책수단과 결합되어야 함에도 불구하고, 주차규제와 요금부과 등으로 자동차들을 도시중심가로 접근하지 못하도록 제한하는 것이 교통을 제한하는데는 계속해서 효과적일 것이다.

국가와 세계적인 노력은 먼지(PM) 형성을 줄일 수 있는 깨끗하고 아주 적은 유황을 포함한 연료를 도입하기 위하여 법적 및 규제적 정책도구들을 사용하는 데 초점을 두고 있다. 이러한 연료들은 다양한 효과를 가지고 있다. 현재 연료와 비교했을 때, 그러한 연료들은 기존의 오염물질 배출을 상당히 줄일 뿐만 아니라, 이산화탄소(CO₂) 배출도 줄일 것이다. 게다가, 그러한 연료들은 질소산화물(NOx) 배출을 낮추는 발전된 촉매제이용과 배기관에서 미립자들을 제거하기 위한 고효율 필터의 사용을 가능하게 할 것이다. 여러 OECD 국가로부터 제안된 바와 같이, 연료의 유황수준을 30ppm에서 가능한 10ppm이

하로 낮추기 위한 노력이 지속되어야 한다. 장기적인 목표치와 최종기한을 가지고, 연료의 질에 대한 국제적인 상호조정과 분명한 규제요건은 산업계에서 그에 따라 그들의 사업계획을 준비하고 적응할 수 있도록 가능한 정보와 시간을 제공해야 할 것이다.

경제적 수단

OECD 국가들에서, 보조금은 여전히 공통적으로 모든 형태의 수송에 사용되고 있다. 이것은 수송기관(가령, 차량을 제공한 사업주)에 대한 광범위한 세금감면, 전반적인 수송수준의 향상을 위한 연료 보조금을 포함하며, 그로 인해 부정적인 환경영향이 증가한다. OECD 국가에서 전반적으로 환경에 유해한 보조금의 점진적인 철폐는 수송에 대한 환경압력, 특히 대기오염과 기후변화 등을 상당히 줄이는 결과를 가져올 것이다.

많은 OECD 국가들, 특히 유럽은 수송의 외부 환경비용을 줄이기 위한 유인책을 제고하기 위해 조세체계를 개편 중에 있다.(OECD, 2001a) OECD 국가에서 자동차이용에 대한 조세체계를 개편함으로써, 증가하는 수송수준에 의해 야기될 환경영향을 실질적으로 줄일 수 있다. 그러나, 조세구조 개편에 대한 요구는, 예를 들면 기존 조세구조와 지역적 상황에 따라서 지역마다 다를 것이다. 오염자 부담원칙과 사용자 부담원칙을 완전히 적용하는 것은 도로세(road pricing), 자동차 및 연료세에 더 많이 의존한다는 것과 OECD 국가에서 전반적으로 보조금 철폐를 의미한다. 그러한 세계개편은 증가하는 자동차이용에 대해 사회적 및 환경비용을 완전히 반영하고, 최적의 행동변화를 유도할 수 있도록 구조화되어야 한다.

소유권을 기초로 한 세제에서 배출관련 및 이용에 근거한 자동차세로의 강조점의 이동은 수송의 이용정도에 영향을 미칠 것이다. 이 경우, 대부분 이동성과 수송수단의 선택을 줄이지 않으면서, 환경적 향상과 자원의 더 적은 이용에 기여할 것이다. 그러나, 저항이 예상될 수 있고, 형평에 대한 우려도 관리될 필요가 있다. 급격하게 증가하는 도로화물들을 보다 효율적이고, 그것의 높은 외부비용을 완전히 내재화하기 위하여, 도로 또는 사용자 부담금과 같은

재정적 정책조치들이 적용되어야 할 것이다.

밀도가 높은 지역에서 개인자가용 수송보다 더 에너지 효율적이고 환경과 피가 적은 대중교통의 이용을 촉진하기 위해서, OECD 국가들은 대중교통의 감소에 기여하고 있는 요인들을 상쇄해 나갈 필요가 있다. 이러한 요인들에는 대중교통요금의 인상과 같은 현재의 추세를 포함한다. 실질비용과 가격이 균형을 이루면서, 매력, 신뢰성 및 성과를 높이기 위하여 대안들을 개발할 필요가 있다. 대규모의 개인승용차의 이용증가는 주로 1980년대와 1990년대에 실질적으로 감소하여 낮은 연료가격이 때문에, 주로 자가용의 운영비용이 감소하였음을 반영한다. 보다 높은 외부효과를 에 책임을 지도록 하기 위해서 휘발유세에 맞춰 경유세를 부과하는데 행동의 초점이 두어지고 있다. 그러나, 많은 유럽국가에서 최근의 증가하는 연료가격과 경유세 수준에 대한 저항을 보면, 경유세 부과가 보다 매력적인 이동성 대안을 제공하는 정책조치의 수반 없이는 달성되기가 어렵다는 것을 나타내고 있다.

일부 유럽국가에서는 적어도 국내항공에 한해서 항공 연료세를 도입하자는 시도가 있는 반면, 국제적으로는 항공부문은 완전한 면세혜택을 누리고 있다. 2020년 이후까지 계속될 것으로 예상되는 항공교통의 매우 높은 증가 덕분에 그러한 조치는, 수요변화에 효과적이라면, 환경영향을 낮추는데 도움이 되고, 또한 오염자 부담원칙과도 일치될 것이다.

자발적 협약

자발적 협약은 수송부문에서 환경영향을 줄일 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 그런 협약은, 다른 정책조치와 병행 또는 부속물로서의 조합으로는 수송부문에서 하나의 독자적인 정책도구로서 효과적이라고 간주되고 있지 않지만, 자발적 협약은 최소한의 규제요건을 넘어 향상을 달성하는데 유용하다는 것을 입증해왔다. 정부, 자동차와 항공기제작사, 산업계, 항공과 철도운영자들 사이에서 협의된 연료효율에 대한 가능한 장기적인 합의인 자발적 협약은 다른 정책도구들과 조합한다면 연료 효율을 높이고, 총 연료소비를 낮추는 데 효과적임을 증명할 수 있을 것이다.

정보와 기타수단

정보와 다른 정책도구들의 중요성은 소비자행동과 수송수요 변화에 결정적이기 때문에, 미래에는 높아질 것 같다. 일부 정책대안(policy options)은 이미 OECD국가에서 효과적인 것으로 판명되었으며, 더 개발되고 확대되어야 할 것이다. 이들은 다음과 같다: 자동차 함께 타기 문화와 대중 교통서비스를 결합하여 통합화된 이동 서비스 제공; 포괄적이고 실시간 승객정보와 교육서비스; 종업원에 대한 대중교통 이용에 대한 인센티브; 인식제고와 실험적 프로그램; 걷기, 자전거 타기, 대중교통이용을 촉진하는 지역적 술선(local initiatives)뿐만 아니라 마케팅 캠페인에 대한 지원.

그러나, 자동차에 연료효율표시제의 경험은, 소비자들이 차를 구입할 때, 자동차 크기, 추진력, 편안함, 부대 장식물과 같은 다른 기준에 비하여 연료효율성에 대하여는 아주 낮은 우선 순위를 부여하고 있기 때문에, 소비자에게 단순히 정보를 주는 것만으로는 소비자에 대한 아주 제한된 영향력밖에 없음을 나타내주고 있다. 효과적이 되기 위해서는, 소비자 정보 캠페인과 교육이 다른 정책도구들, 특히 재정지원과 재정적 유인책 등에 의해 보다 지속적으로 보완되어야 한다.

수요관리 차원의 통합된 도시 및 수송계획

주의 깊게 착안하고 통합화된 도시의 토지이용과 교통계획은 특히 대중 교통에 유리하게 장기적으로 여행 수요를 상당히 수정하고, 주거지의 좋지 않은 영향을 줄이는데 잠재적으로 매우 효과적인 접근방법이다. 그러한 계획은 위에서 논의된 다른 형태의 정책도구들을 이용하여야만 한다.

가정과 기업들의 장소 선호도는 토지이용개발 및 교통수요와, 교통에 의한 환경영향의 주요한 결정요인(drivers)이다. 토지이용과 개발에 대한 보다 나은 계획은 차량으로 이동할 필요 없이 직장, 상점, 다른 이용시설들에 대한 접근성을 향상시켜야 한다. 특히, 교통혼잡이 덜한 지역(low-traffic zones)의 도입과 같은 지역화(Zoning)는 도시이동패턴을 바꾸고, 환경영향을 줄이는

데 효과적인 것으로 판명되었다. 다른 정책대안들로는 더 많은 자동차 없는 지역의 설치, 효율적인 교통통제, 철도와 다른 대중교통 연결망의 향상과 확대, 잘 조합되고 최적화된 수송 터미널과 물류시설의 제공, 대중교통, 자전거, 및 보행인을 위한 전용 도로 설치 등이 있다

일반적으로 교통 수요에 영향을 미치는 정책수단은 세 가지 분류(categories)로 나누어진다. : 특정 형태의 교통 이용(이나 이용하지 않는 것)에 대한 유인책; 대체 형태의 교통 수단 제공(가령, 교통수단이 형태 변화 유도); 수송조직체계에 변화를 주기 위한 사용자 부담금제도의 도입 등이다. 자동차의 역사적인 도시의 중심에 접근 제한, 교통 무소음 지역(traffic calming zone), 규제적인 주차 정책 등을 통해서 일부 지역에서는 이미 성공하였다. 아래에 열거된 것과 같이, 기존 인프라의 효과적인 이용과 함께, 여객과 화물 수송에 대한 더 혁신적인 접근은 상당한 비용절감과 환경 영향의 감소를 가져올 수 있다. 그러한 정책조치들은 OECD 국가에서 보다 더 개발되어야 한다.

- 기존 인프라의 보다 효율적인 이용
 - 수송차량의 적재율을 높이고, 빈 화물차량 운행횟수를 줄이기 위해 도로 사용자 부담금제도 도입(유럽에서는 약 30%)
 - 효율성 향상과 불필요한 적재 중량을 줄이기 위해 규격화된 화물이동(bundling freight movements)
 - 교통흐름을 원활하게 하고, 혼잡을 줄이고 연료를 절약하기 위해 속도 제한시행
 - 보행 및 자전거를 이용하는 인프라를 확대함으로써 자동차를 이용하지 않는 수송을 촉진
- 횟수, 신뢰, 편안함 및 안전성을 향상시킴으로써 고객수요를 효율적이고 환경적으로 맞출 수 있는 지역에서 대중교통(최저의 환경영향과 외부비용을 가진 형태)의 이용증대
- 공공-민간 동반자관계(partnership)를 결합하는 이중 또는 합성시스템(hybrid system)의 권장과 대중교통과 개인 자가용 이용 모두에 더 나은 접근성을 제고하는 교통 체계정립
- 주문, 생산, 배달을 수송 연계(chains)와 총시간관리제도의 적용으로 환

경친화적이고, 효율적인 방법으로 시장에 도움을 줄 수 있는 도로-철도의 결합수송의 발전

OECD 국가들은 수요관리의 수단(tools)들을 더 조사하고 개발하고 적용하여야 한다. 이 수단들은 이동수요간의 조화를 이루고, 부정적인 환경영향도 줄일 수 있는 수송을 권장하는 데 효과적이다. 많은 OECD 국가들의 경험에 따르면, 기술 진보와 수송수요관리를 보장하는 종합적인 정책도구(packages of instruments)들은 수송 부문의 상당한 환경 향상을 가져올 수 있는 가장 유망한 전망들을 제공한다.

참고자료

EEA (European Environment Agency) (2000), *Environmental Signals 2000*, EEA, Copenhagen.

INFRAS/IWW (2000), *External Costs of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs of Transport in Western Europe*, INFRAS and IWW, Zurich and Karlsruhe.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1999), *Aviation and the Global Atmosphere, Summary for Policy Makers A Special Report of the Working Groups I and III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva.

OECD (1995), *Motor Vehicle Pollution: Strategies Beyond 2010*, OECD, Paris.

OECD (1996), *Environmental Criteria for Sustainable Transport: Report on Phase 1 of the Project on Environmentally Sustainable Transport (EST)*, OCDE/GD(96)136, OECD, Paris.

OECD (1997a), *Freight and the Environment: Effects of Trade Liberalisation and Transport Sector Reforms*, OECD/GD(97)213, OECD, Paris.

OECD (1997b), *Environmentally Sustainable Transport: Synthesis Report on Phase 2 of the EST Project*, ENV/EPOC/PPC/T(97)1/Final, OECD, Paris.

OECD (1999a), *Indicators for the Integration of Environmental Concerns into Transport Policies*, ENV/EPOC/SE(98)1/Final, OECD, Paris.

OECD (1999b), *OECD Environmental Data: Compendium 1999*, OECD, Paris.

OECD (2001a, forthcoming), *Analytical Report on Sustainable Development*, OECD, Paris.

OECD (2001b), *Policy Instruments for Environmentally Sustainable Transport: Report of Phase 3 of the EST Project*, OECD, Paris.

OECD/BMLFUW (OECD/Federal Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Austria)(2000), *est! Environmentally Sustainable Transport Futures, Strategies and Best Practices, Synthesis Report of the OECD project*, presentation at the International est! Conference, Vienna, 4-6 October 2000.

SCAQMD (South Coast Air Quality Management District) (1999), *Multiple Air Toxics Exposure Study in the South Coast Air Basin (MATES II)*, SCAQMD, Los Angeles.

WHO (World Health Organisation) (1999), *Health Costs Due to Road Traffic-Related Air Pollution An Impact Assessment project of Austria, France and Switzerland: PM10 Population Exposure, Technical Report on Air Pollution*, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

Wiederkehr, P. (2001), *Environmental Outlook to 2020 for Transport*, background document for the *OECD Environmental Outlook*, OECD, Paris.

(출처) OECD, *OECD Environmental Outlook*, 2001 : 169-181.

제 15 장 대기 질

개 요

- OECD 국가들의 대기질 목표를 달성하기 위한 노력은 황산화물, 일산화탄소, 납 배출량의 현저한 감소를 가져왔고, 2020년까지 이러한 오염원들의 배출량을 더욱 줄일 것으로 예상된다.
- 질소산화물의 배출, 분진과 휘발성 유기화합물은 비록 몇몇 나라에서 관찰되었지만, 같은 정도로 줄어들지는 않았다. 이는 무엇보다도 자동차 교통의 강력한 성장 때문이다. 자동차 교통의 성장은 새로운 기술발달로부터 획득된 효율성을 크게 증가할 뿐만 아니라 광화학 스모그(대류권 오존), 산성(화)의 퇴적 및 부영양화에 기여하였다.
- 산성비와 부영양화를 위한 임계량(critical loads)뿐만 아니라 이산화질소, 대류권오존, 미세먼지를 위한 표준 대기(공기) 질이 많은 OECD 국가에서 여전히 초과되고 있다. 그리고 이것은 2020년까지 계속될 것으로 예상된다.
- 대기질을 개선하기 위한 중요한 정책 선택은 ; 더 발전적이고 실천적인 지역적, 세계적 합의와 대기질 행동 계획 ; 법적 규제 도구들의 강화, 규제와 배출 및 연료사용의 표준을 연결시키는 것 ; 청정연료와 연료의 내용을 개선하기 위한 경제적 도구의 적용, 그리고 에너지 저축수단을 장려하는 것 ; 그리고 자발적 협약을 사용하는 것이다.

15.1 머리말

대기오염물질의 배출은 OECD 국가에서 대기질을 떨어뜨렸고, OECD 국민의 대다수가 사는 도시지역에서 인간의 건강에 상당한 영향을 주었다. OECD

나라에서 도시 대기질의 압박은 주로 교통, 에너지와 산업 부문에서 발생하는 아황산가스(SO₂), 일산화탄소(CO), 납(Pb), 먼지(PM), 질소산화물(NO_x), 휘발성 유기화합물(VOC), 그리고 오존(O₃)의 배출에 의해 야기되었다. 겨울 스모그의 원인이 되는 SO₂, CO, 그리고 PM의 수준은 OECD 국가에서 현저하게 줄었다. 그러나 주로 NO_x와 VOC에 의해서 야기되는 여름 스모그(대류권 오존)는 늘어났다. 특정한 산업(제련공, 코크스 제조가마들, 그리고 폐기처분 시설들)에서 배출된 유독성 잔류 오염물질들 - 중금속 원소(예를 들면 카드뮴, 납, 아연)와 휘발성 유해 유기오염 물질들(예, 벤젠과 할로젠 원소들)을 포함하여 - 은 OECD 도시지역의 대기질을 더욱 악화시켰다.

배기가스 배출은 또한 산성비와 토양 및 수질 부영양화의 원인이 된다. 주로 교통과 농업에 의해 만들어지는 SO_x, NO_x 그리고 암모니아의 퇴적은 수질표면을 산성화시키고, 유럽, 북아메리카, 아시아의 많은 산림을 손상시키고 있다. 더구나 질소산화물의 배출은 육지와 해양에 질소를 퇴적시키고, 부영양화시키고 있으며, 이것은 OECD 국가들에게 심각한 문제를 안겨주고 있다.

15.2 대기질의 압박

배출경향과 조망

1990년대에 많은 OECD 국가에서 SO_x, CO, PM과 Pb의 배출 감소가 이루어졌다. NO_x와 VOC의 방출은 지난 20년간 광범위하게 남아있었으나, 1990년대 초 이후 약간 감소하였다. 2020년까지 대다수 대기오염물질의 배출은 감소할 것으로 예상된다¹⁾ 높은 배출수준은 OECD 국가의 도시지역에서 여전히

1) 배기가스 배출의 범위가 북극성 모델(the Polestar model)에서 수행하였던 범위를 넘어서서 조사된 것을 확장하기 위하여, 이 장에서 사용된 조사계획은 움직이는 조사 원천을 위한 MOVE II 모델에 기초하고(부기 2를 보라), 다른 조사 원천은 Wiederkehr(2001)의 배경 보고서에 기초하였다. 기저를 이루는 가정이 참고 시나리오의 나머지와 같은 반면에, 이러한 조사계획은 이미 합의된 국가적, 지역적 목표를 확실히 달성하기 위해 취했던 새롭고 부가적인 정책의 실천을 가정하는 것에 있어서 다르다. 여기에서 사용된 지역들도 다른 장들과는 약간 다르다.

히 심각하게 건강에 대한 관심을 불러 일으키고, 동시에 높은 오존 집적률, 산성화 및 부영양화를 야기하고 있다.

황산화물(SO_x) 배출은 겨울 스모그와 산성화의 원인이 되고 있다. SO_x 배출은 지난 20년 동안 모든 OECD 국가에서 평균 30%-50% 감소하였다. OECD 국가는 1995년에 전세계 SO_x

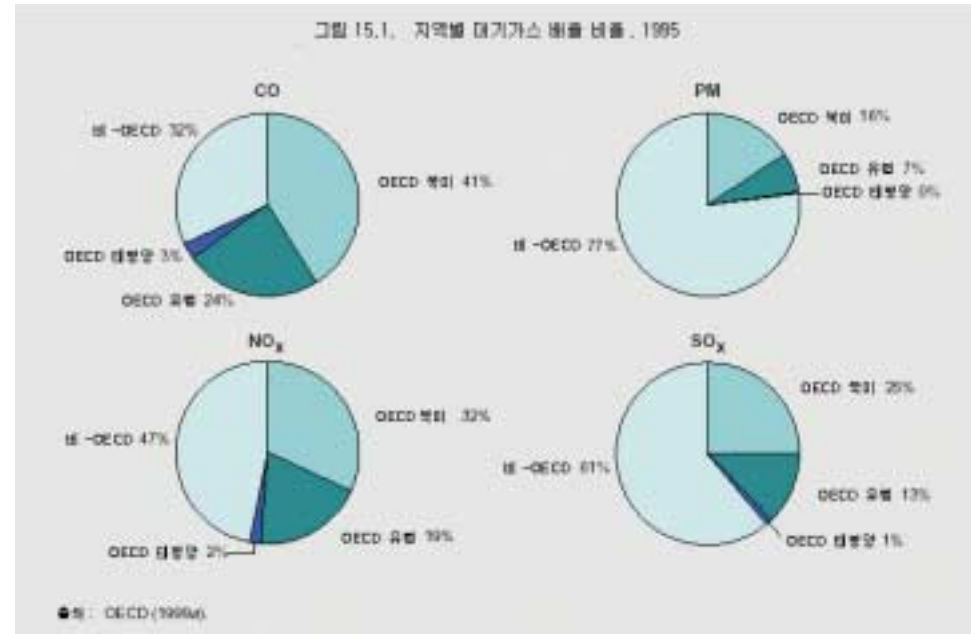
황산가스, 일산화탄소, 그리고 납의 현저한 배출 저감이 OECD 국가에서 이루어지고 있다.



배출의 약 40%를 접하였다. 북아메리카는 25%, OECD 유럽은 13%, 그리고 OECD 태평양국들이 1%를 각각 배출하였다(그림 15.1). OECD국가에서 배출 통제의 향상, 청정연료 사용과 저유황연료의 사용이 계속된다고 가정 할 때, SO_x의 배출은 1995년에서 2020년까지 30%나 더 줄어든 것으로 예상된다(Wiederkehr, 2001). 북아메리카에서는 미국에서 '산성비 프로그램'의 완전한 실시 결과로 1990년 수준과 비교해서 2010년까지 20% 이상의 저감이 현실화될 것으로 보인다. 유럽에서는 1990년과 2010년 사이에 전체 유황 배출량의 75% 저감이 실현 가능할 것이다. 또한 EU와 산성화 퇴적을 줄이기 위한 광범위 월경 대기오염(Long-Range Transboundary Air Pollution(LRTAP))에 대한 UNECE 회의에 의해 합의된 저감 목표를 달성하기 위한 노력들이 반영될 것으로 보인다(UNECE, 1999). OECD 태평양 지역에서의 배출은 안정되거나, 일본에서의 보다 강력한 통제 때문에 약간 감소할 것이다. 그러나 다른 지역, 다른 국가에서 보다 엄격한 통제가 도입되지 않는다면 공기 배기가스 배출은 증가할 것이다. 전지구적 차원에서, 황산화물 배출은 강력한 경제성장과 몇몇 나라 - 우선 비OECD 국가 -에서 유황함유 석탄의 높은 사용량으로 인해 상당히 늘어날 것으로 예상된다.

일산화탄소(CO) 배출은 겨울 스모그의 원인이 되고 있다. OECD 국가에서 일산화탄소의 배출량은 저감되고 있는데, 1980년이래 10-25% 사이에서 낮아지고 있다. 1995년에 OECD 국가의 CO 배출량은 전세계 배출량의 약 68%를 차지하고 있는데, 이는 북아메리카 41%, OECD 유럽 24%, OECD 태평양 지역이 3%이다. 전지구적 차원의 일산화탄소 배출량은 계속 늘어날 것이다.

반면에 OECD 국가에서는 만일 자동차 운송 수단에 대한 배출 표준이 좀더 엄격하게 적용된다면, OECD 유럽과 북아메리카에서 가장 많이 저감하는데 힘입어, 2020년까지 35%를 더 저감할 수 있을 것이다.(Wiederkehr, 2001)



질소산화물(NO_x) 배출은 여름 스모그, 대류권 오존, 산성화와 부영양화의 원인이 된다. NO_x 방출은 최근 몇 십 년간 대다수 OECD 국가에서 안정적이거나, 약간 늘거나 감소되었다. 1995년에 OECD 국가로부터의 전지구적 배출량은 53%를 차지하고 있는데, 북아메리카가 32%, OECD 유럽이 9%, OECD 태평양지역이 2%를 구성하고 있다. 2020년까지 OECD 국가에서의 배출은 주로 엄격한 자동차 배출규제 노력 때문에 줄어들 것이다. 큰 규모의 저감이 OECD 유럽(거의 60%)과 북아메리카(거의 30%)에서 예상된다(Wiederkehr, 2001). 세계의 다른 지역에서는 질소산화물의 배출이 경제성장과 자동차 교통 증가의 결과로 실제적으로 늘어날 것으로 예상된다.

휘발성 유기화합물(VOC)의 배출은 북아메리카와 OECD 아시아 태평양 지역에서 지속적으로 감소하였다. 반면에 OECD 유럽에서는 1980년대 후반까

지 증가하였다가 그 이후 감소하기 시작하였다. 자동차로부터 엄청난 양의 배출은 대다수 OECD국가에서 더욱 큰 지상오존의 형성(여름 스모그)을 초래하였다(OECD, 1995b). OECD 지역에서 VOC의 배출은 주로 자동차의 배출 규제 때문에 2020년까지 거의 40%까지 줄어들 것으로 예상된다(Wiederkehr, 2001). 세계의 다른 지역에서의 배출은 특히 규제가 온건하거나 아예 배출 규제를 하지 않는 지역에서 실제로 늘어날 것이다.

미세먼지의 배출은 도시지역에 사는 사람들의 건강에 상당히 부정적인 영향을 준다. 석탄과 석유를 태우는 발전소 연소, 제련소, 승용차와 디젤 자동차는 미세 먼지의 가장 큰 오염원이다. OECD

OECD국가에서 미세 및 극미세 먼지 물질의 배출은 도시지역에서 인간의 건강에 현저히 부정적인 영향을 주면서 증가하고 있다.

국가의 총 먼지 배출량은 상대적 오염원(stationary sources)에 대한 엄격한 먼지 통제의 결과로 수십 년에 걸쳐서 줄어들었다. 그러나 미세 및 극미세 먼지는 전통적인 통제시스템이 연소가스로부터 이들을 완전히 제거할 수 없기 때문에 꾸준히 증가하여 왔다. 1990년대 중반에 전세계 먼지 배출에서 OECD국가들은 23%를 점하였다. 이는 북아메리카가 16%, OECD 유럽 7%, OECD 태평양지역이 0.5%이하를 차지하였다. 공기 중에 배출된 미세, 극미세 먼지의 양이 고효율 여과장치 도입의 잠재성에 의존한다는 측면에서, OECD 국가의 향후 먼지 배출량을 예상하는 것은 매우 어렵다. 세계의 다른 지역에서 먼지의 배출은 효율적인 배출 통제의 부족과 에너지 및 교통수요의 증가로 인해 늘어날 것으로 예상되고 있다.

1980년대와 1990년대 동안에, 납(Pb) 배출은 대다수 OECD 국가에서 매우 효과적으로 줄어들었다. 이것은 유연 휘발유의 무연화를 통해 이루어졌다. 1980년대 이후로 미국과 일본에서는 90% 이상이, EU에서는 70% 이상의 배출저감이 이루어졌다(EEA, 1999). OECD 국가에서 자동차로부터의 향후 납 배출은 점차 무시해도 좋을 정도로 감소할 것으로 예상된다. 그러나 세계의 다른 지역에서는 모든 나라에서 휘발유 무연화를 채택하지 않기 때문에 늘어날 지도 모른다.

유럽에서 암모니아의 배출은, 만일 달성 목표치가 1999년부터 산성화, 부영양화, 대류권 오존의 형성을 줄이기 위한 UNCECE LRTAP 회의의 다각적 효과 협정(multi-effects protocol) 안에서 합의된다면, 2010년까지 15% 감소할 수 있을 것이다(UNECE, 1999;Wiederkehr, 2001).

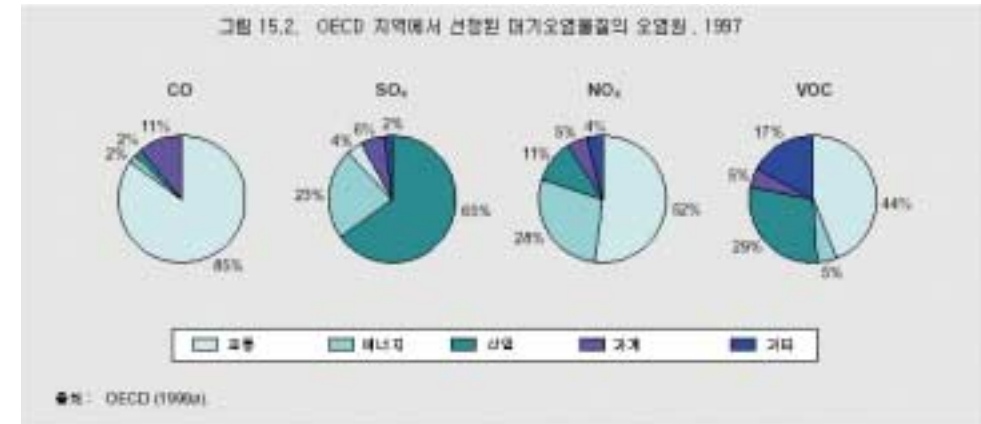
지구 온실가스의 배출은 이산화탄소(CO2), 메탄(CH4), 아산화질소(N2O) 등 3가지 주요 가스를 포함하여, 과거 10년 동안 대다수의 OECD 국가에서 증가되어 왔으며, 2020년까지 실제적으로 늘어날 것으로 예상된다. 기후변화에 대한 그들의 영향에 더하여, 그들은 또한 대기 오염의 기여자이기도 하다(제13장 참조).

오존층을 희석화시키는 대기가스 배출을 줄이기 위한 엄청난 진보가 OECD 국가에서 이루어져 왔다. 오존층 감소는 지금 매우 낮은 수준에서 안정되어 있다. 몇몇 비 OECD 국가에서, 수소염화불화탄소(HCFCs)의 배출은 증가되고 있고, 성층권에 오랫동안 남아있을 것이다(제19장 참조). 또한 과거 배출되어서 남아있는 가스로부터의 지구적 충격은 지금부터 몇 년까지는 최대의 효과를 발휘하지는 않을 것이다.

대부분의 막대한 유독성 잔류 오염물질은 약간의 중금속(예컨대, 납, 카드뮴, 아연, 비소 등), 약간의 발암제(예컨대, 벤젠과 1,3-부타디엔), 그리고 약간의 분해가 잘 되지 않는 유기 오염물질들을 제외하고는 장기간의 배출 경향은 없다(OECD, 1995a). OECD 국가들로부터의 자료는(주로 유럽, 일본, 미국) 비소, 카드뮴, 아연을 포함하여 미립자를 함유한 중금속이 1970년대 이후로 65% 이상 감소하고 있다는 사실을 보여준다. 벤젠 배출량은 자동차의 엄격한 배출규제로 향후 감소할 것으로 예상된다.

부문별 배출 경향

에너지, 교통, 산업, 농업 그리고 가계 부문은 오염물질의 배출에 다양하게 기여하고 있다. 총배출량에 대한 상이한 부문별 기여도는 오염물질 마다 다양하다(그림 15.2).



교통 부문에서의 배출은 OECD 국가의 전체 배출 비중 중에 최고이다 ; CO 배출량의 약 85%, NOx 배출의 52%, VOC 배출의 44%, 공기 중 납 배출의 최소한 50%를 차지하고 있다. 단지 SOx 배출에서만 4%를 차지하고 있는 실정이다(OECD, 1999a;OECD, 1995b). 일반적으로 교통 특히 거리교통수단에 의해 배출되는 비율은, 교통량의 전체적인 성장에 대응하는 배출규제를 엄격하게 적용하는 몇몇 나라들을 제외하고는 늘어나고 있다(제14장 참조).

공공 이용물에 의한 에너지 생산은 SOx 배출의 주된 원천이고(23%) NOx 배출에는 두 번째로 커다란 역할을 하고 있다(28%). 단지 VOC(5%) 및 CO 배출(2%)에만 작은 원천이 되고 있다. SOx 배출은 대다수 OECD 국가에서 유독가스 처리(탈황화)와 저항연료의 사용, (1차 연료로서) 석탄을 기름으로 교체(더 나아가서 가스로 교체)하는 등의 결과로 실제적으로 줄어들고 있다.(제12장 참조)

1990년대 중반에 산업 부문으로부터의 배출은 (산업용 에너지 생산으로부터의 배출을 포함하여) SOx 배출의 약 65%, VOC의 29%, NOx 배출의 11%를 차지하였으며, 단지 CO 배출의 2%만을 차지하고 있을 뿐이다. 이러한 상대적 오염원으로부터의 NOx 배출은 많은 OECD 국가에서 효과적으로 줄어들었다. 산업부문은 또한 기름 생산(예를 들면 가스를 태우는 과정)과 천연가스 정제로부터 메탄 배출의 중요한 원천이다. 산업은 또한 오존층 희석 오염

물질 배출의 주요한 원천이다.

가계 부문은 연료의 연소를 통해 CO, NO_x, VOC와 먼지를 배출한다(제16장 참조). 그러나 이것은 다른 부문의 배출보다는 적으며, 명목적으로 CO의 11%, SO_x의 6%, 그리고 NO_x와 VOC의 5%를 배출하고 있다.

농업은 암모니아, 아산화질소, 메탄 배출의 주된 오염원이다(제7장 참조). 암모니아는 아산화질소, 메탄이 중요한 온실가스인 반면에 산성화, 부영양화의 원인이 된다.

15.3 대기질에 있어서의 변화

대기의 질

높은 공업화와 인구밀도가 높은 지역에서, 아황산가스, 일산화탄소, 먼지와 납의 배출과 관련된 대기질을 향상시키는데 있어서 실질적인 진전이 이루어졌다. 그러나 미세먼지와 극미세먼지물질, 이산화질소, 오존은 같은 정도로 감소되지 않았다. 상이한 지역, 수천 개의 모니터 장소에서의 자료 - 주로 서유럽, 북아메리카, 일본의 도시 지역에서 - 는 주요공기 오염물질(일산화탄소, 납, 이산화질소, 오존, 먼지, 아황산가스)에서 WHO 대기질 가이드라인을 증가하는 것으로 분석되었다(그림 15.3).

OECD국가에서 대기오염 물질 배출 저감에서의 진전에도 불구하고, 심각한 대기질의 상태 및 대기질과 관련된 인체 건강의 문제는 계속되고 있다.



겨울 스모그와 산성화의 원인이 되고 있는 아황산가스의 경우에, 장기간 연평균 가이드라인을 증가하는 장소는 거의 없었으나, 반면에 보고된 장소의 약 12%는 아직 일일단기(24시간) 가이드라인 값보다 높은 농도를 보여주고 있다. 1980년대 후반 이후에 아황산가스 집적도는 미국에서 39%, 서유럽의 고도로 오염된 지역에서는 50%까지 줄어들었다. 일본에서는 일반적으로 낮은

수준에서 유지되고 있다. OECD 지역에서 아황산가스의 만성적 효과 수준(chronic effect level, 연 평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 증가하는 경우는 거의 드물지만, 민감한 건강효과수준(acute health effect level, 24시간 평균, 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 있어서는 서유럽과 미국에서 도시 거주지역의 20%보다 더 증가하고 있으며 단지 일본에서만 소수지역에서 초과하고 있는 실정이다.



일산화탄소는 점검된 지역의 약 10%에서 단기 가이드라인을 초과하고 있다. 일산화탄소 집적의 경향은 OECD 국가에서 상당한 정도의 감소가 겨울스모그 문제를 줄이면서 성취되고 있다는 것을 보여주고 있다. 그럼에도 불구하고 OECD유럽 거대도시들의 거의 30%에 가까운 지역과 미국 도시의 약 10% 지역에서는, 심각한 교통문제가 있는 지역에서 부정적 건강효과(adverse health effects, 19mg/m³, 8시간 평균)를 방지하는데 목표가 있는 WHO 가이드라인을 아직도 초과하고 있다.

이산화질소 - 고농도 오존집적(여름 스모그), 산성화, 부영양화와 기후변화에 기여하는 - 에 있어서는 조사지역의 50%가 연평균 장기 가이드라인을 초과하였으며, 약 10%는 단기 가이드라인을 초과하였다. 서유럽과 미국에서는 95%가 넘는 지역에서 8시간 오존 가이드라인을 초과하였다. 1980년대 후반 이후로 이산화질소 집적도는 일본에서 그대로 유지되었던 것에 비해 서유

럽과 미국에서는 14%–30% 사이로 감소되었다. 이산화질소에 있어서 WHO 일일 최대치 가이드라인($150\mu\text{g}/\text{m}^3$)은 OECD 전지역에서 광범위하게 초과되었다. 심각한 교통문제가 있는 지역에서, 서유럽의 약70%, 미국의 60%, 일본의 65%에서 장기 가이드라인을 초과하였다(연평균, $40\mu\text{g}/\text{m}^3$).

거의 모든 조사지역에서 납은 장기 가이드라인 수준 이하였다. 납의 농도는 1980년대 후반이후 주로 유연 휘발류로부터의 배출을 줄인 결과, 거의 모든 OECD 국가들이 납 농도 수준에서 비록 소수의 유럽국가들이 1990년대 초기에 한계치를 넘어섰지만, 비 부정적 건강효과수준(no-adverse-effect level)에 대한 WHO 가이드라인($0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 한계수준 이하를 유지하고 있다. 일본의 납 농도는 1980년대 이후 매우 낮은 수준에서 변하지 않고 남아 있다.

먼지의 기본 측정단위인 PM10(미세먼지)을 위한 총 함유된 부유미립자와 임시적인 구분(total suspended particles and tentative criteria for PM10)을 위한 24시간 가이드라인을 적용할 때, 조사지역의 약 75%가 수용할 수 있는 수준 이상으로 확인되었다. 대기중의 부유먼지(Suspended particulate matter)은 상이한 크기의 미립자와 화학적 복합 물질들로 구성된다. 직경이 $10\mu\text{m}$ 과 $2.5\mu\text{m}$ 보다 작은 미립자들은 각각 PM10과 PM2.5로 불려진다. PM10은 상부 호흡기관(upper respiratory tract)에 들어갈 수 있으며, PM2.5는 허파를 관통할 수 있다. 건강에 영향을 주는 먼지가 주로 미세먼지, PM2.5와 그보다 더 작은 미립자라는 증거가 점점 늘어나고 있다. 최근의 연구는 먼지 문제에 안전한 진입수준(threshold level)은 없다는 것을 보여준다. 1980년대 후반 이후로 총 부유 먼지 농도는 서유럽 도시지역에서 35% 정도 줄었다. 미국의 PM10 농도는 35% 줄었으며, 일본에서는 동기간에 보다 낮은 수준에서 일정하게 유지되고 있다.

독성 잔류물질의 집적(농축)과 유해 대기오염 물질

만성 호흡기 질환과 다른 질병을 유발하는 많은 독성잔류 오염물질에 대한 불충분한 모니터 자료로 인해서 우리는 주요 대기 오염물질들에서 수행한 유

사한 평가를 사용할 수밖에 없다. 그러나 소수의 국가에서 모니터 자료는 여러 가지 미립자를 함유한 중금속들(카드뮴, 납, 아연 등)이 점(고정) 오염원(point sources)에 대한 엄격한 통제와 이러한 오염원을 함유한 생산물(예를 들어 유연 휘발유)의 사용에 대한 규제 때문에 상당한 정도로 줄어들었다는 것을 보여주고 있다. 독성잔류 오염물질 대기질 수준은 1980년대 이후 20–50% 까지, 몇몇 OECD 국가에서는 1970년대 이후 75% 이상 감소하였다(OECD, 1995a). 유해 휘발성 유기오염물질의 농도는 – 벤젠, 할로젠 유기물 등 – 1980년대 동안 건강에 대한 위험을 줄이기 위한 통제 노력의 결과로 30–50% 감소하였다. 그러나 유럽에서의 대기 중 벤젠 농도는 아직 인구의 약 반 정도가 초과 수준에 드러나 있는 상태로, 한계치를 능가하고 있다.

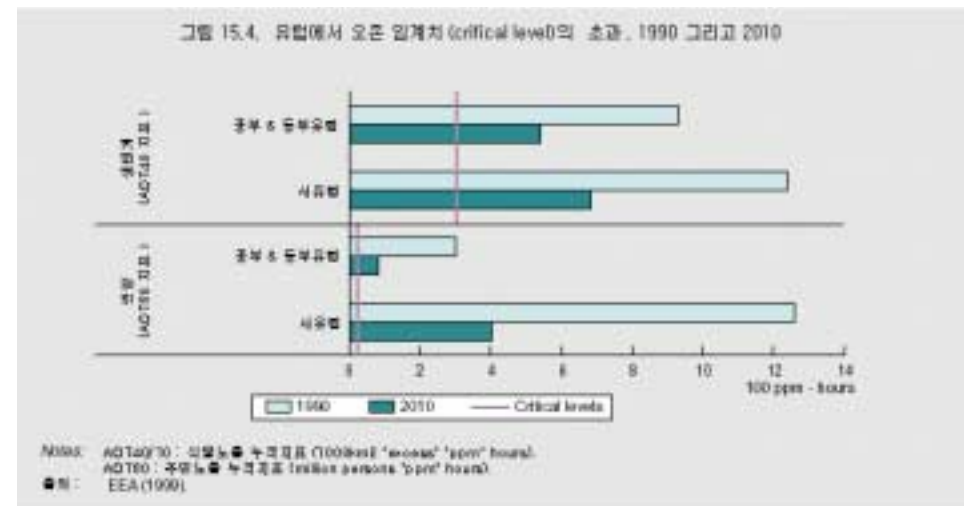
대류권 오존 농도

높은 대류권 오존 농도에 의해 야기되는 여름 스모그는 많은 OECD 국가에서 빈번하게 발생된다. 유럽에서 최근 일일평균 오존 농도는 1950년대보다 2배 가량 높다. 이러한 수준은 주로 산업과 교통에서 NOx와 VOC의 실제적인 배출 증가의 결과이다. 오존과 같은 2차 오염물질의 복잡한 형성 절차는, 발생을 위하여 많은 시간과 에너지를 필요로 하는 수많은 물질, 태양광 그리고 화학적 반응을 포함하고 있다. 이런 연유로, 높은 오존집적 현상은 배출원천으로부터 멀리 떨어진 곳에서 발생하는 경향이 있으며, 여름에 오존 형성을 촉발하는 강력한 햇볕과 함께 자주 발생한다. 광범위한 규모의 광화학적 산화제들(오존을 포함하여)의 형성은, 고도로 산업화되고 인구밀도가 높은 지역으로부터의 엄청난 양의 배출 – 낮은 대기층의 화학적 구성을 실제로 변화시키는 – 에 의해 야기된 지구적 현상이라는 것이 점차 인정되고 있다.

1980년대 후반 이래로 오존 농도는 ($120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 WHO가이드라인으로 정의된 8시간 최대치를 사용하여) 서유럽과 일본의 도시 지역에서 약 15% 증가하였다. 오존 농도의 집적이 이미 높게 진행된 미국의 어떤 지역에서는 최고 4% 수준으로 증가하였다. 이 차이는 NOx와 VOC 배출에 있어서 상대적인 변화 때문이다. WHO오존한계치는 광범위하게 초과되었다 : 미국과 일본의 95%, 그리고 서유럽의 약 90% 조사지역에서, 인체를 보호하는데 초점이 맞

취진 수정된 WHO 8시간 가이드라인을 초과하였다.

유럽에서 약 3억3천만 명이 임계치를 넘는 오존 수준에 노출되었고, 유럽 도시지역에 사는 3천 3백만 명 이상이 매년 25일 이상 초과수준에 노출되고 있다(EEA, 1999). WHO오존가이드라인은 유럽에서 임계 수준개념(critical levels concept)과 60ppb의 진입값(threshold value-임계값/ADT60 지표)를 넘어서는 인구의 누적 오존 노출을 측정하기 위하여, LRTAP(Long-Range Transboundary Air pollution, 광범위한 월경 공기오염)에 대한 UNECE 회의에서 채택되었다. 1999년 LRTRP 회의의 다자오염의정서(multi-pollutant protocol)에서 합의된 배출최고량(NOx의 50%, VOC 배출의 53%)을 고려하면서, 대규모 모델링이 1990년과 2010년에 유럽의 AOT60을 측정하기 위해 유럽에서 수행되고 있다. 이 모델은 2010년에 건강 관련 AOT60 수준이 서유럽에서 68%, 중앙 및 동부 유럽에서는 74% 줄어들 것으로 예상하고 있다(그림 15. 4). 그림에도 불구하고 이 수준은 상당 정도 목표치 위에 남아 있을 것이고, 인구의 커다란 비율이 매년 많은 일수에서 임계 수준(critical levels) 이상의 오존농도에 노출될 것이다. 다가오는 새로운 EU 오존 지침은 2010년까지 초과일수를 25일까지로 하여 목표치를 정의하고 있다.



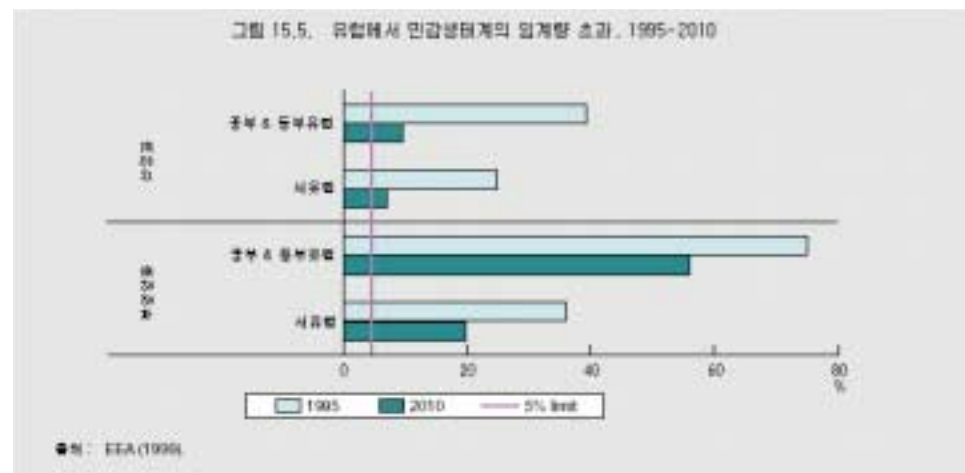
생태계의 오존 노출을 위한 지표는, 성장 계절 동안 식물에 가해진 오존 영향을 평가하기 위해, 40ppb의 진입값(AOT40지표)을 상회하여 축적된 오존 노출량이라는 개념을 사용하는 것이다. 최근 대부분의 대기질 목표들이, 농작물과 산림에 대한 영향을 평가하는 임계 수준(critical levels)을 결정하기 위해, AOT40 지표를 사용하는 UNECE LRTRP 회의에서 당사국들 사이에서 합의되고 있다. 2010년에 AOT40수준은 서유럽에서 45% ; 중부와 동부 유럽에서 43%로 감소될 것으로 예상되고 있다(EEA, 1999). 이러한 결과들은 오존 수준의 유의미한 개선들이 이러한 대기 가스 배출 감소로부터 예상된다 는 것을 명백하게 논증하고 있다. 이러한 배출 감소의 효과는, 농작물과 산림 생태계를 보호하는 보다 낮은 오존 수준을 달성하는 것이 훨씬 어렵게 될 것인 반면에(즉, AOT40 수준의 보다 적은 감소), AOT60 수준으로 나타내지는 최고치(peak values)에서 더 효과가 있을 것으로 보인다. 예상은 대류권 바탕의 오존 농도가 북아메리카와 유로-아시안 대륙에서 계속 증가할 것으로 나타나고 있다(EEA, 1999). 이러한 꾸준한 증가는 이산화질소, 일산화탄소 및 메탄의 바탕수준(background levels)에서의 증가에 의해 비롯되고 있다.

1990년대 중반 미국에서는 약 9천만 명의 사람들이, 국가 오존대기질 표준이 파괴된(손상된) 지역에서 살았다. 그 시점 이후로부터 다음 10년에 대한 예상은 28개의 포함되지 않았던 지역에서 기준을 능가하는 오존 수준이 발생할 것을 보여주고 있다(US EPA, 2000). 미국에서의 상황은 유럽에서 언급한 것과 비슷하다. : 1997년에 1억 1천만 명의 사람들이 기준을 초과했거나 여러 개의 표준이 적용되는 지역에서 살았다. 대기질 수준에 관한 장기간의 예측이, 과도한 오염 수준에 노출된 인구 수를 측정하기 위하여, 배출 예상과 대기질 경향의 모델링을 사용하는 미국에서 수행되어 왔다. 2007년에 1억2천9백만 명 이상의 많은 사람이 하나 혹은 여러 가지 종류의 표준 대기질 오염을 초과하는 지역에서 살 것으로 측정되고 있다. 예컨대 오존에 있어서 28개의 비 포함 지역과 80개의 한계 초과지역이 오염 초과 지역으로 편입될 것이 예상된다(US EPA, 2000). 세계의 다른 지역에 대한 평가는 유용하지 않다.

산성화와 부영양화

산성화 퇴적은 발전기, 교통과 농업용 화석 연료의 연소에 의해 주로 생성되는 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 암모니아의 배출로부터 만들어진다. 이러한 물질의 퇴적과 상호 작용물의 생성은 유럽, 북아메리카, 아시아의 광범위한 지역에서 수질 표면의 산성화 및 숲 파괴의 원인이 된다(제8장, 제10장 참조). 산성화 문제를 줄이기 위해 유황구성물질의 통제에서 상당한 진전이 이루어진데 반하여, 질소 퇴적은 같은 정도로 줄이지 못하고 있다.

최근 북유럽과 북아메리카 지역의 산성화 퇴적은 최소한 비판적 수준(critical levels)의 두배 만큼 높은 실정이다. 유럽에서 민감한 생태계(sensitive ecosystem) 표면지역의 25%~40%정도가 계속된 산성화로 인하여, 버틸 수 있는 능력 이상의 산성 퇴적작용을 받았다(그림 15.5). 이러한 현상은 2010년까지 중,동부유럽과 서유럽에서 10%보다는 적게 감소될 것으로 예상되고 있다(EEA, 1999). 세계의 다른 지역에서, 2000년 이후 더 실질적인 유황 배출 감소는 이루어질 것 같지 않다. 초점이 총퇴적량을 줄이기보다는 발전소로부터 아황산가스를 통제하는데 맞춰져 있기 때문이다. 따라서 산성화 퇴적작용은 수질과 토양 표면의 산성화 및 가장 민감한 생태계의 질을 떨어뜨리며 계속적으로 이루어질 것이다.




부영양화는 OECD 국가에서 심각한 문제로 남아 있다. NOx의 배출은 질소 퇴적과 육지 및 해양 생태계 부영양화의 원인이 되고 있다. 임계량(critical loads)을 상회하여 질소 퇴적을 경험하는 민감한 생태계 지역은 1995년에 중, 동부유럽의 거의 80%, 서유럽의 40%를 차지하였다. 2010년까지 이것은 중, 동부 유럽에서 60% 이하로, 서유럽에서는 약 20%로 감소할 것으로 예상되고 있다(그림 15.5) (EEA, 1999). 불행히도 비슷한 연구와 평가를 세계의 다른 지역에서는 사용할 수 없다.

15.4 정책 선택

채택되고 계획된 통제 전략들로 인해 OECD 국가에서는 향후 10년 동안 대기배출에서 더 많은 저감과 2020년에는 실질적인 감소가 이루어질 것으로 보인다(Wiederkehr, 2001). 그럼에도 불구하고 NOx와 VOC의 높은 수준의 배출은 광화학 스모그 형성(주로 오존)에 끼치는 역할 때문에 여전히 관심 대상으로 남아 있다. 먼지 배출은 고효율 필터 기술 또는 유황 처리연료가 도입되지 않으면, 그리고 미립자의 다른 원천이 통제되지 않는다면, 도시지역 주민의 건강에 계속해서 상당한 해를 끼칠 것이다.

OECD국가에서 높은 수준의 질소산화물 및 휘발성 유기화합물의 배출은 이들이 광화학스모그의 형성의 주된 원인 물질이기 때문에 지속적인 관심이 주어지고 있다.



현재 대기 오염 통제 프로그램은 다양한 환경 수단(공기, 물, 토지)과 영역(산업, 에너지, 교통, 농업, 가계), 그리고 언급된 모든 곳에서 최종단계 통제(end-of-pipe controls)를 강조하는데 초점을 맞추어 왔다. 상대적, 동적, 확산적 오염원천을 포괄하는 광범위 대기질 관리 접근 방식으로서, 통합적 접근과 상향식 오염방지 정책은 지금까지 다소 제한되어 왔다.

대기질의 지속적인 개선과 엄격한 환경적 표준 및 목표를 달성하기 위하여 향후에 기대되는 전략은 현존하는 규제 수단들을 강화하고, 여러가지 경제적

도구들을 효과적으로 결합하면서, 규제 행위를 보완하는 자발적인 접근을 포함해야 한다. 이러한 전략은 현재의 규제 수단들을 사용할 수 있으나, 환경적 목표를 달성하기 위하여 이들을 주의 깊게 결합하고 좀더 꾸준하게 전개시켜야 할 것이다. 무엇보다도 이것은 사려 깊은 대기질 및 관리행동계획(예컨대, EU의 훈령에 의해 요구된)의 발전을 포함한다. 이 관리행동계획은 규제행동을 보완하기 위하여 자발적 협약은 물론, 청정기술, 자동차, 연료 품질개선 생산품, 연료사용, 경제적 도구를 포함하여 모든 원천으로부터의 배출규제를 결합하는 것이다.

몇몇 광범위 대기오염문제는 대기오염물질의 경계를 초월한 장거리 이동과 2차 오염물질의 형성(오존과 같은)에 의해 야기되기 때문에, 많은 지역적, 지구적 국제협약이 이러한 오염물질을 다루기 위해 20여년 동안 발전되어 왔다. 이러한 지역적 협약 - 특별히 장거리이동 대기오염에 관한 UNECE 회의(the UNECE convention on Long-Range Transboundary Air Pollution), 북해 그리고 발틱해 보호를 위한 지역 해양협약(the regional sea conventions for the protection of the North Sea, and Baltic Sea) : 그리고 EU 훈령들 - 들은 장기적 배출 감소 목표를 설정하기 위한 목표로서의 임계 수준과 임계량의 개념에 최근 들어 보다 초점을 맞추고 있다. 방대한 모델링과 평가는 이러한 효과 지향적인 접근이 이용할 수 있는 통제 기술을 사용하는 전통적인 접근보다도 더 큰 개선을 이루어낼 것임을 제안하고 있다.

법률 및 규제수단들

몇몇 OECD 국가는 끊임없는 기술 개선을 통하여 장기간에 걸쳐 중요한 개선들을 이룩해 온 상태적이고 이동적인 오염원들(stationary and mobile sources)을 위한 배출과 성능 표준을 마련하여 왔다. 많은 OECD 국가에서 최적 기술(BAT)의 도입을 허용하면서, 지속적인 배출규제 개선을 이루면서, 심지어 오염물질로 인한 환경적, 건강적인 함의들이 완전히 이해되지 못하고 있는 곳에서 예방적인 접근이 이루어지고 있다. 산업시설을 위한 환경적 면허 제도는 환경적 필요조건들의 효과적인 수행과 적절한 감시와 보고를 통해 확실히 규칙을 따르게 하기 위해 중요하다.

높은 오염 연료(예를 들면, 중유, 남은 연료, 찌꺼기들)의 규제와 그들의 합성물(예를 들면, 황, 중금속, 유독성 약취 내용물)에 대한 제한은 계속되어야 한다. 또한 막대한 기술적 환경적 진보를 가져오는 깨끗한 저유황, 또는 탈유황 연료가 도입되어야만 한다.

자동차를 위한 보다 엄격한 배출 표준이, 특별히 디젤 자동차와 오토바이를 위해서 필요하다. 이에 더해 감시와 배출통제 프로그램이, 시간을 초월하여 확실히 표준을 지키게 하고 오염을 많이 내뿜는 자동차의 사용을 방지하기 위해 필요하다. 유럽, 일본, 북아메리카에서 자동차(가볍고 무겁고를 막론하고)에 대한 납득할 만한 좀더 엄격한 배출규제 프로그램이 - 향후 8-10년 동안 - CO, NOx, VOC와 먼지(디젤 자동차로부터 현저하게 배출)에 있어서 보다 현저한 배출감소를 유도할 것이다.

오염방지와 통제를 위한 여러 기체들을 좀더 훌륭히 통합할 필요성이 있다. 모든 오염원을 망라하는 목표, 한계와 광범위 지역 대기질 행동 및 관리계획, 그리고 SOx, NOx, PM과 중금속의 배출규제를 위한 거대 산업 오염원 및 발전소를 포함한 상태적 연소오염원(stationary combustion sources)에 대한 최적기술(BAT:best available technology)에 기초한 성능 표준들을 통합해야 한다.

대다수 OECD 국가에서 규제는 현존 시설들이 재개보수 되거나 혹은 주요한 과정 변화가 이루어졌을 때, 새로운 오염원을 위한 규제 표준에 맞출 것을 요구하고 있다. 다수의 설비들(90%까지)이 공장의 규칙적인 작동을 향상하기 위한 유지 활동의 과정에서 공장의 개선과 작동과정 변화를 통해 이 규제를 피하고 있다. 이것은 재개보수된 공장들이 일반적으로 보다 높은 출력으로 작동되듯이 이러한 공장들의 환경적 성능에 중요한 의미를 가지고 있다. 그러나 최신 기술의 통제력을 사용하는 것에 의해서, 이러한 설비들은 필수적이고 환수할 수 있는 수준보다 더 관대한 배출 관리 아래에 있다. 미래의 관리 전략과 시행은 이러한 이슈를 언급해야만 하고 특히 실행에 초점이 맞추어져야 한다.

경제적 수단들

경제적 수단들이 OECD 국가에서 대기질 향상을 위한 전통적인 규제 접근을 보완하기 위해 점점 더 많이 사용되어 지고 있다. 그들은 배출 비용과 부담금체계, 보조금 사용과 가속 감가상각 계획(accelerated depreciation schemes), 그리고 최근에는 오염 크레딧(pollution credits)의 거래를 포함한다. 경제적 도구의 미래 적용을 위한 주요한 이슈는 외부환경비용과 건강비용의 보다 완전한 내부화이고, 부분적 접근에서 좀더 설득력 있는 세금개혁으로의 이동이다. 따라서 여러 OECD 국가는 그들의 세제 구조변화를 시작하고 있다. 이러한 노력들은 대기 관리정책들 안에서 강화되고 보다 잘 통합될 필요가 있다.

자동차 사용과 배출에 대한 세금은 많은 OECD 국가에서 넓게 적용되어 왔으며, 정부수입의 중요한 원천이다. 유황수준과 연료의 납 함유에 따른 상이한 세금은 오염 방지를 위해 중요하게 기여해 왔다. 가격 책정과 세제상의 우대 조치들은 또한 연료 대체(예, 천연가스, 전기)를 증진시키고 에너지 절약 수단들을 격려하기 위해 제고되어야 한다. 연료의 모든 타입의 에너지 세(그러나 비행 연료나 등유에는 적게)가 도입되고 가능한 모든 곳에서 높여져야 한다(제12장 참조).

외부환경과 건강비용도 또한 통합될 수 있다. 이것은 막대한 환경적 진보(예, 유황과 PM 배출의 저감)를 갖고 있는 저유황, 탈유황 연료의 사용과 발전을 보완하는 재정적 조치들을 사용하는 것을 통해 이루어질 수 있다. 발달된 디젤 NOx, PM 통제 기술의 사용이, 보다 높은 연료소비와 먼지배출을 위한 다른 발달된 기술의 실행을 증진시키는 것뿐 아니라, 경제적 우대조치들을 통해 격려되어야 한다.

상태적 오염원(stationary sources)의 시장에 기초를 둔 배출허용과 거래 계획은 1차적으로 미국에서 주로 SOx, NOx, CFCs, VOC 배출을 줄이기 위해 사용되었다. 아황산가스 배출 거래 계획은, 산업계에 배출을 줄이기 위하여 최대의 유연성을 부여하는 것에 의해 25-50%의 산업계 적용비용을 줄일 것으로 예상되고 있다.

중소기업의 환경실행 능력을 증진하기 위해, 특별한 주의가 시장에 기반한 경제적 도구를 적용하는데 주어져야 한다. 그들은 늘어나는 오염원의 원천이고 아직 규제에 의한 저감 목표 대상이 되지 않는 것이다. 가격 책정과 재정적 우대조치들은 이러한 점에서 매우 효과적인 것으로 판명될 것이다.

자발적 협약

자발적 접근과 협약들이 대기오염규제 프로그램들을 보완하기 위해 산업계에서 점차 자주 사용되어지고 있다. 그들은 여러 가지 형태를 가질 수 있는데, 상대적으로 덜 엄격한 자발적 주도 및 협약으로부터 목표와 표적, 보고의 요구와 마감시간을 포함하여 더 엄격하고 협상된 협약까지 다양하다. 그들의 대부분은 산업과 전기생산, 승객 운송용 차량의 연료효율 향상, 그리고 화학품과 소비자 생산물의 덜 오염된 사용에 있어서, 에너지 효율을 향상시키기 위해 활용되어 왔다.

자발적 협약은 규제와 그 실행이 어려운 지역, 혹은 영역이 너무 이질적이거나 너무 많은 단위들을 가지고 있는(예, 중소기업들) 지역에서 전통적인 규제 접근 타입을 보완하는데 유용할 수 있다. 만일 주의 깊게 계획되어지고 협상되어지며 실천되어진다면, 자발적 협약의 한계들을 줄일 수 있고, 대기질 관리에 있어 그들의 역할을 제고할 수 있다. 이러한 경험이 아직 너무 최근에 이루어져 그들의 효과를 최종적으로 평가하기에는 이르지만 일반적으로 자발적 협약은 그 효과를 확실히 하기 위해 허가제(면허제), 규제, 또는 가격책정 및 재정적 우대제도와 결합되거나 연결되어야 한다. 그들의 신뢰성과 투명성은 목표와 연결된 그들의 충실한 실천에 대한 공공출판 및 독립적인 검증에 의해 크게 향상될 수 있을 것이다.

정보 및 기타 수단들

도시 대기질의 개선은 오염방지와 통제 정책의 효과성뿐 아니라 도시 녹지대의 이용가능성에도 달려 있다. 녹지대의 크기, 유형 및 분포는 대도시에서 더욱 중요해지고 있다. 공원, 가로수 길과 같은 녹지는 도시 기후를 향상시키

고 공기 순환을 촉진하며, 대기오염물질을 흡수하고 주민들이 가까이에서 여가 활동을 즐길 수 있게 해 준다.

도시 지역의 나무는 수많은 양의 오염물질을 제거함으로써 공기질을 향상시킨다고 평가되고 있다. 그러므로 도시에서 적절한 녹지를 유지하는 것은 전체적인 대기질의 관리에 중요한 구성요소가 되어야만 하며, 주민의 복지와 삶의 질에 상당히 기여하는 것이다.

대기질의 상태와 경향에 대한 정보에의 접근뿐 아니라 규칙적인 감시와 공공보고(출판)는 이러한 문제들에 대한 진전을 보여주면서 사업영역, 정부와 공공영역의 참여를 유발하고, 이러한 문제들에 관한 경각심을 불러 일으키는 데 매우 중요하다. 또한 목표로 선정된 정보 및 교육 프로그램은 이 프로그램과 좋은 실천들의 효과성을 증명하는데 있어서 점차 중요성이 증가되고 있다.

참고자료

EEA (European Environment Agency) (1999), *Europe's Environment: the Second Assessment*, EEA, Copenhagen.

OECD (1995a), *Control of Hazardous Air Pollutants in OECD Countries*, OECD, Paris.

OECD (1995b), *Motor Vehicle Pollution: Reduction Strategies Beyond 2010*, OECD, Paris.

OECD (1999a), *Environmental Data Compendium 1999*, OECD, Paris.

OECD (1999b), *Advanced Air Quality Indicators and Reporting*, ENV/EPOC/PPC(99)9/FINAL, OECD, Paris.

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) (1999) *Gothenburg Protocol to the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*, ECE/ENV/99/8, UNECE, Geneva.

US EPA (United States Environmental Protection Agency) (1999), *National Air Quality and Emissions Trends Report, 1998*, US EPA, Washington, DC.

Wiederkehr, P. (2001), *Environmental Outlook to 2020 for Air Quality*, background document for the *OECD Environmental Outlook*, OECD, Paris.

(출처) OECD, *OECD Environmental Outlook*, 2001 : 183-193