

# 기후변화협약 대응 에너지기술

박 상 도

한국에너지기술연구원 온실가스저감기술개발사업단장

## 1. 머리말

21세기 인류의 환경보존을 위한 최대과제로 인식되고 있는 지구온난화현상을 알아보자. 태양으로부터 발산되어 온 태양파는 지구에 도달하여 일부는 흡수되고 일부는 재반사되는데 이들 반사파 중에 단파장의 반사파는 문제 없이 외계로 방사되나 장파장의 반사파와 지구에서 발산되는 원적외선(파장: 4~100 $\mu$ m)의 에너지파는 온실가스(GHG : Green House Gas)에 의하여 흡수되어 지구의 에너지 평형을 파괴시키면서 대기의 온도를 상승시키

는 것으로, 엘리뇨 현상 등과 같은 기상이변, 해빙국의 존폐위기가 달려 있는 해수면의 상승, 농업생태계의 변화, 건강피해 등과 같은 문제점을 야기시킨다.

표 1과 같이 주요 온실가스에 있어서 최근 100년 동안(1990년 기준)의 배출량을 환산하여 지구온난화에 대한 상대기여도를 계산하면 이산화탄소 61%, 메탄 15%, 아산화질소 4%, 프레온 가스 11.5%, 기타 8.5%이다. 발생 과정은 이산화탄소는 대부분 화석연료의 연소시 발생하며, 메탄은 폐기물의 분해 및 농업생산과 같은 자연 중에 발생되어 제어가 곤란하다. 아산화질소는 에너지 연소,

〈표 1〉 온실가스의 지구온난화에 대한 상대지수

화합물명	영문명	분자식	지구 온난화지수*	발 생 처	기준년도	
이산화탄소	Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	1	-화석연료와 산림 등의 연소로 대기 중 방출	-1990년도(평균 5.2% 감축, -8%~+10% 차별화)	
메 탄	Methane	CH <sub>4</sub>	21	-산소가 없는 환경에서 박테리아가 유기물을 분해할 때 생성		
아산화질소	Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	310	-에너지 연소, 질소비료 사용, 폐기물 소각 및 산업공정에서 배출		
CFC 대체 물질	수소불화탄소	Hydrofloro carbon	HFCs	1,300	-냉매제, 세척제 및 각종 스프레이 제품 사용 중 방출 -CFC(염화불화탄소, Chloro Fluro Carbon)는 현재 거의 사용이 중지되고 있으며 대체물질 HFC, PFC, SF <sub>6</sub> 를 사용함	-각국의 사정에 따라 기준년도를 1995년으로 정할 수 있음
	과불화탄소	Perfluoro carbons	PFCs	7,000		
	육플로오르화황	Sulfur hexafluoride	SF <sub>6</sub>	23,900		

\*지구온난화지수(Global Warming Potential) : 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)가 제시한 온실가스들이 지구온난화에 기여하는 정도로서 CO<sub>2</sub>를 기준으로 환산한 수치임

질소비료 사용 및 산업공정상에서 소량 배출되고, 프레온 가스는 냉매제 및 세척제 사용시 배출되며 2020년에 완전 폐기될 예정이다. 따라서 지구온난화 방지를 위한 기후변화협약에서 논의되고 있는 온실가스라 함은 대부분 이산화탄소를 말하고 있다.

따라서 온실가스의 저감을 위한 최선의 대응책은 에너지기술 개발에 의한 이산화탄소의 배출을 감소시키는 것으로서, 기후변화협약에서도 배출권거래, 공동이행 및 청정개발체제와 같은 유연성체제(Flexible Mechanism)를 통해 적극 대응하고자 하며 이는 선진 에너지기술 확보에 의해 가능하므로 기후변화협약에 대비한 근본적이며 장기적 대응방안은 온실가스 저감량이 높은 에너지기술 개발을 통해서만 가능하다.

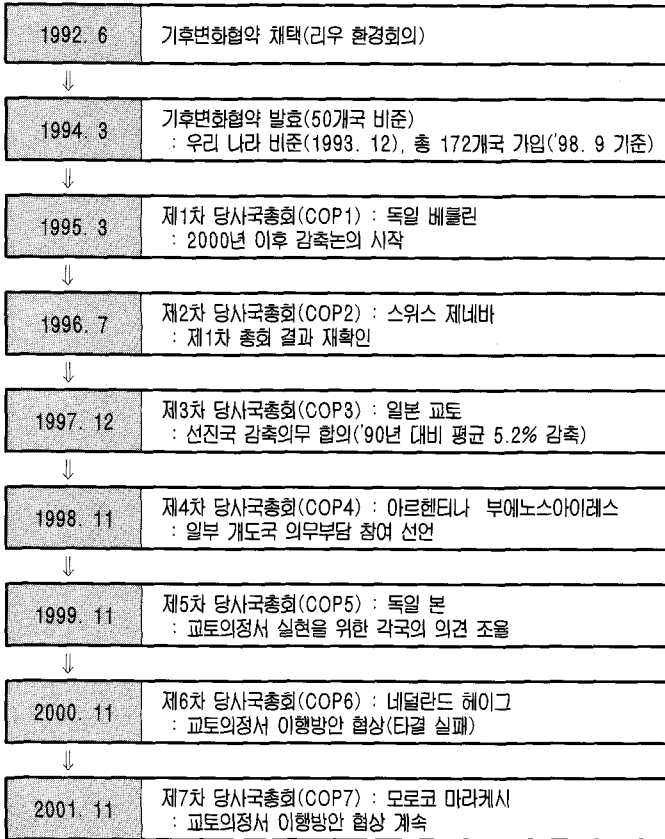
이와 관련하여 국내에서의 기술개발로는 산자부의 에너지기술개발 10개년계획(1997~2006)을 들 수 있는데, 이는 에너지절약, 대체에너지 및 청정에너지 기술개발을 통한 최종연도인 2006년에 에너지절약 10%를 목표로 추진하고 있다. 또한 환경부는 G-7사업(1992~1998)으로 이산화탄소 분리 및 전환 기술개발을 수행하였다. 그러나 에너지기술개발 10개년계획은 중장기적 개념의 연구개발에 투자되지 못하고 단기간 내에 실용화가 가능한 과제에 대하여 업체참여를 유도하면서 소규모 연구로 분산 투자하여 왔기 때문에 온실가스 저감효과가 높은 원천기술개발에는 집중적으로 투자되지 못하는 미흡함을 보이고 있다. 따라서 국내에서도 기후변화협약에 적극적으로 대응하고자 과기부는 1998년 11월 중점연구사업의 일환으로 온실가스저감기술개발사업단을 출범하였다. 1단계 사업이 완료되는 2002년 국내 총 이산화탄소 배출량 중 1.5%인 210만톤소톤 저감 기술 확보를 목표로 하고 있으며, 이를 위해 5년 이내에 실용화 가능한 기술개발과 개발 후 파급효과가 높은 원천기술개발을 병행하여 수행하고 있다.

한편, 온실가스 저감기술은 에너지관련 복합기술로 기술개발에 있어 민간부문이 참여하기 어려운 공공기술이므로 선진국인 미국, EU, 일본 등에서는 효과적인 온실가스 저감 기술개발을 위하여 국가주도로 10년 이상의 중장기 개발을 수립·추진하고 있다. 우리 나라도 기후변화협약에 적극적으로 대비하기 위해서는 온실가스 잠재력이 매우 높은 혁신적인 기술분야를 발굴하여 집중적이며 장기적으로 추진함으로써 기술개발 후 이산화탄소 저감효과를 높여야 할 것이다.

## 2. 기후변화협약 추진현황

지구온난화에 지대한 영향을 미치는 온실가스 문제에 관하여는 1988년 세계기상기구(WMO)와 국제연합 환경계획(UNEP)이 공동으로 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC ; Inter-governmental Panel on Climate Change)을 설립함으로써 본격적으로 토의되기 시작하였으며, 1992년 브라질 리우데 자네이로에서 개최된 UN 환경개발회의에서 기후변화협약(UNFCCC ; United Nations Framework Convention on Climate Change)을 채택하였다(그림 1 참조). 채택된 기후변화협약은 각국의 비준동의 과정을 거쳐 1994년 3월 21일 발효되었으며 한국은 1993년 12월 47번째 국가로 비준을 동의하였다. 온실가스 저감을 위한 국가간의 실무협의로 1995년부터 해마다 기후변화협약 당사국총회(COP ; Conference Of Parties)가 개최되고 있다.

3차 당사국 총회(1997. 11)에서는 온실가스 배출감축 이행에 대한 그 동안의 많은 논란에도 불구하고 경제적 비용이 막대하여 구속력 있는 감축목표가 설정되지 못하였으나, 선진국들은 환경문제에 대한 국제사회의 여론 및 온실가스 배출에 대한 역사적 책임을 외면할 수 없어 감축목표에 합의하게 된 것이다. COP3에서 채택된 교토



〈그림 1〉 기후변화협약 추진경위

의정서(Kyoto Protocol)는 전문 27개의 조항 및 부속서 A, B로 이루어졌으며, 주요내용으로는 선진 38개국은 2008년부터 2012년까지 5년 동안 평균 5.2%의 온실가스 감축의무화, 감축대상 가스로 6종을 선정하고 이중 이산화탄소, 메탄, 아산화질소는 1990년 기준으로 감축하고 대체 프레온가스 3종(HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)은 1995년 기준으로 감축하고자 하였다.

COP3에서 결정된 감축의무 선언과 관련 감축방법의 하나로 채택된 중요사항은 교토메커니즘의 도입인데, 그 핵심사항은 공동이행제도(JP, Joint Implementation), 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism), 배출권거래제(ET, Emission Trading)이다. 공동이행

제도는 선진국인 A국이 선진국 B국에 투자하여 발생된 온실가스 감축분의 일정분을 A국의 배출저감실적으로 인정하는 제도이고, 청정개발체제는 선진국인 A국이 개도국인 B국의 사업에 투자하여 발생된 온실가스 배출감축분을 자국의 감축 실적에 반영할 수 있도록 하는 제도이다. 배출권 거래제는 선진국 각국이 온실가스 감축의무에 따른 배출권쿼터를 국제 시장에서 거래할 수 있게 만든 제도로서 이 제도에 따라 감축의무 초과 달성국은 배출권을 판매할 수 있고 미달성국은 매입할 수 있게 된다. 본 제도의 도입은 선진국들은 대부분 온실가스 배출량이 계속 증가되고 있어 국내에서의 수단에만 의존하여 감축목표를 달성하는 경우 경제적 비용이 막대할 것으로 분석됨에 따라 선진국들이 이를 최소화하기 위한 목적이며, 이외에도 온실가스를 상품으로서 사고 팔 수 있게 함으로써, 온실가스 저감 관련 기술시장을 확대시키고, 감축비용을 최소화시키기 위한 전제조건인 개발도상국의 참여를 유도하기 위해서이다.

그러나 세부 시행방안 검토를 위해 COP4, COP5 등의 계속된 당사국 총회에서 계속 논의되었고 COP6 (2000. 11. 헤이그)에서는 이행방안에 대한 당사국간 최종 합의도출을 시도하였으나 실패하여 금년 중 속개회의(7. 16~27) 및 제7차 당사국총회(10. 29~11. 9)를 개최할 예정이다.

한편, 미국의 부시행정부는 2001년 3월에 중국, 인도 등 대부분의 감축 불참 등을 이유로 교토의정서에 반대하면서 개도국을 포함하는 새로운 대안방안 모색을 주장하였다. EU 등 대부분의 선진국은 미국의 일방적인 입장변경을 비판하는 한편, 미국정부의 방침을 재고해 줄 것을 요청하고 있으나, 미국의 입장은 현재까지 완강하며 일본은 최근 미국의 입장에 동조하고 있는 실정이다.

〈표 2〉 우리 나라의 에너지 수요 및 CO<sub>2</sub> 배출 전망

구 분	1999	2005	2010	2015	2020	연평균 증가율(%)		
						2000~2010	2011~2020	2000~2020
1차에너지수요(백만TOE)	181.4	235.8	275.1	307.1	334.2	3.9	2.0	3.0
CO <sub>2</sub> (백만TC)	111.3	146.4	170.6	188.8	205.3	4.0	1.9	3.0

이에 따라 금년 7월 속개회의시 제시될 것으로 예상되는 미국정부의 신규상에 대한 EU 등 대부분의 국가가 기존의 교토의정서 체제를 지지하고 있음에 비추어 상당한 논란이 예상되고, 국제적 합의가 이루어질 가능성은 크지 않을 것으로 전망된다.

한편, 우리 나라는 1970년대부터 본격적인 경제개발을 추진한 이래 매년 높은 경제성장률을 달성하고 있으며, 이에 따른 에너지 사용량의 증가는 이산화탄소 배출량을 기하급수적으로 증가시켰다. 이에 따라 선진국에서는 2010년에 1990년보다 낮은 이산화탄소 배출을 목표로 하고 있으나 우리 나라는 2000년에서 2010년 사이 연평균 4% 증가가 예상되고 있다. 다행히 한국은 개도국의 강한 반발로 온실가스 감축 의무부담국에서 제외되었지만 경제기반이 미약한 동유럽 체제변환국도 의무부담국으로 참여하고 있는 마당에 경제력으로서나 국제사회에서의 위치로 보아 국제사회의 압력에 얼마만큼 버틸 수 있는지는 미지수이다. 또한 1996년 경제협력개발기구(OECD)에 가입협상의 일환으로 “기후변화 방지를 위한 OECD의 노력에 동참할 것”을 약속한 바 있어 더욱더 온실가스 감축의무를 회피하기는 어려울 것으로 전망된다.

### 3. 국내 에너지 수요 및 CO<sub>2</sub> 배출 전망

에너지수요전망과 관련하여 한국은 에너지이용합리화법에 따라 10년 단위의 「국가에너지기본계획」을 수립토록 되어 있고, 5년마다 연동계획(Rolling Plan)으로 경제상황변동, 인구증가율 등을 고려하여 수정해 오고 있다.

방법론상으로는 외국에서 많이 사용하는 LEAP Model을 기본으로 하여 한국의 상황을 감안 보완한 모델을 사용하였다. 특히 전력분야는 장기(Long Term)계획하에 「WASP」 모델을 활용한 결과를 참조하였다. CO<sub>2</sub> 배출량 추정을 위해서는 IPCC 방법론을 이용하였다.

표 2와 같이 우리 나라의 에너지수요는 1999년 1억 8140만TOE에서 2005년 2억 3580만TOE, 2010년 2억 7510만TOE 등으로 지속적으로 증가될 전망이다. 2000년에서 2010년 기간 동안의 연평균 에너지 수요 증가율은 3.9%에 달할 것이다. 따라서 CO<sub>2</sub> 배출량은 경제성장을 뒷받침하기 위한 에너지 수요 증대에 따라 1999년 1억 1130만TC, 2005년 1억 4640만TC, 2010년 1억 7060만TC 등으로 지속적으로 증가될 전망이다. 2000년에서 2010년 기간 동안의 연평균 CO<sub>2</sub> 배출 증가율은 4.0%에 달할 것이다.

### 4. 지구온난화 방지를 위한 에너지기술

에너지기술개발은 포괄적으로 화석에너지를 사용할 때 발생하는 이산화탄소를 줄이거나 발생된 것을 처리하는 기술로 표 3과 같이 에너지절약, 대체에너지 및 이산화탄소 처리 기술로 분류된다.

#### 가. 에너지절약·효율적 이용향상 기술

에너지 절약 및 이용효율 향상 기술은 화석연료의 사용 및 관련기술의 에너지 사용을 저감시킴으로써 직접적인 이산화탄소 저감효과를 나타내는 기술로, 산업, 건물,

〈표 3〉 에너지기술개발 분류

이산화탄소 발생 전·후 기술	관련기술	세부기술
발생 전 기술	에너지절약·이용효율 향상 기술	산업에너지 기술 건물에너지 기술 수송에너지 기술 전기에너지 기술 청정에너지 기술
	대체에너지 기술	자연에너지 이용기술 신에너지 이용기술 폐기물에너지 이용기술
발생 후 기술	이산화탄소 처리기술	분리/회수 기술 폐기/고정화/재활용 기술

수송, 전기 에너지 및 석탄·석유의 이용효율향상 기술로 분류할 수 있다.

산업 에너지 기술은 산업공정에 투입하는 에너지를 줄이는데 기존공정을 탈피한 새로운 공정 기술의 개발, 화석에너지를 연소시켜 열이나 동력을 얻는 열이나 동력 발생장치의 효율향상 기술 및 생산된 열에너지를 시간적이나 공간적으로 보다 효율적으로 이용할 수 있는 시스템의 기술개발 등을 들 수가 있다. 건물 에너지는 가정용이나 상업용 건물에 적용되는 각종 공조설비의 효율을 높임으로써 전기나 화석에너지의 소비를 줄이는데 초점을 맞추었으며 또한 환경친화적 건물의 조건을 만족시킬 수 있는 자연에너지의 이용기술 등을 중심으로 기술개발을 하고 있다. 수송에너지 기술은 기존차량의 연비개선에 의한 이산화탄소의 배출을 저감시킬 수 있는 기술개발, 이산화탄소의 배출이 적은 대체연료 자동차 개발, 차세대 저소비 연료 자동차의 개발 등을 들 수 있다. 전기에너지 기술은 전력에 있어 부하관리 방안을 통하여 전기에너지의 수요 공급을 안정화시키며 다기능 전력저장방법을 갖추어 전기에너지의 소비를 줄이는 것을 핵심기술로 개발하고 있다. 석탄·석유의 이용효율향상 기술은 석탄과 같은 탄소의 함량이 높은 연료를 천연가스 등 탄소함량이 낮은 연료로 전환함으로써 단위발열량 당 이산화탄소 발생량을 줄이는 기술과 연소효율을 향상시켜 이산화탄소의 배출

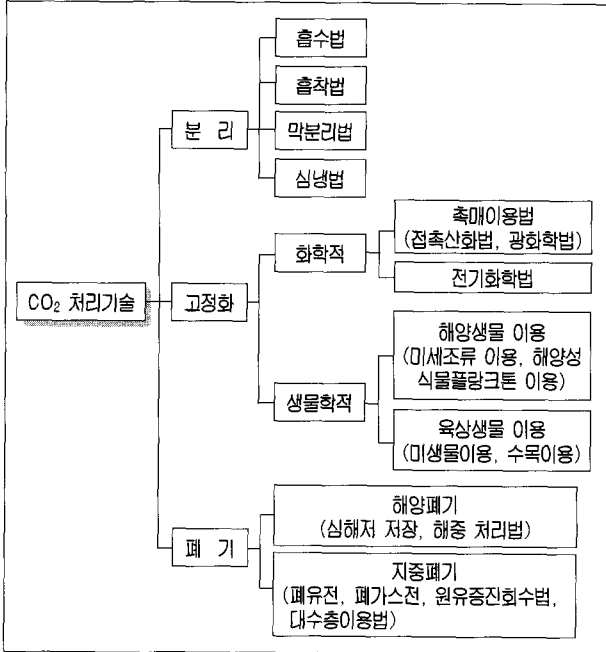
을 줄이는 기술로 대별될 수 있다. 이 중 연료전환 기술의 개발 및 보급은 경제성 문제를 제일 먼저 고려하여야 할 사항이다. 즉, 이산화탄소 배출이 적은 연료전환은 현재 사용하고 있으며 연료에 비하여 경제적 우위를 차지하거나 정책적인 고려가 있을 경우에만 실현될 수 있는 사항이다.

#### 나. 대체에너지 기술

대체에너지 기술 분야는 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원으로 태양, 풍력, 소수력, 해양, 지열, 바이오와 같은 자연에너지 이용기술과 연료전지, 수소에너지 등과 같은 신에너지 이용기술 및 폐기물 에너지화 기술을 들 수 있다. 주요기술로 태양열에너지 기술은 에너지자립형 태양에너지 건물, 산업용 태양열 시스템, 태양광발전 기술은 독립형 태양광발전시스템 이용, 계통연계형 태양광발전, 규모계 태양전지, 화합물 반도체 태양전지 및 신형 태양전지, 풍력발전 기술은 중형급 풍력발전시스템 국산화 및 중규모단지 조성, 소수력 발전 기술, 해양에너지 발전 기술, 지열에너지 이용기술, 바이오 에너지 기술은 연료용 에탄올 생산기술, 메탄가스 전환 이용기술, 미래 바이오 에너지 기술, 연료전지 기술은 용융탄산염, 인산형, 고체전해질형, 고분자전해질형, 수소에너지 응용기술, 폐기물 연료화 기술, 폐기물로부터 에너지 회수 기술을 들 수 있다. 대체에너지원은 에너지자원의 다변화로 화석연료의 수입의존도 감소 및 청정에너지 사용으로 환경보전에 기여하고 미래의 에너지원을 확보할 수 있다.

#### 다. 이산화탄소 처리 기술

그림 2와 같이 이산화탄소 처리기술은 화석연료 연소 후 생성되는 이산화탄소를 대기 중으로 배출시키지 않는 것으로 분리/회수, 폐기 및 고정화/재활용 기술로 분류할 수 있다. 분리/회수 기술 중 흡수법은 선진국에서는 이미



〈그림 2〉 이산화탄소 처리기술 분류도

상용화되어 운전하고 있으며, 흡착법은 실증실험단계이고, 막분리법은 연구개발 단계에 있다. 따라서 현재의 분리기술의 완숙도와 국내의 기술수준을 보았을 때 연소 배가스 중에 포함된 이산화탄소를 분리하기 위하여 단시일 내에 적용될 수 있는 기술은 흡수식, 실증공정을 거친 다음 상용화 공정으로 적용할 수 있는 기술로 흡착식이며

미래 분리공정으로 막분리법을 들 수 있다. 회수된 이산화탄소는 해양 2,700m 이하의 심해 중에 폐기하는 것이 현재로서는 가장 경제적이며, 고정화/재활용 기술로 화학적, 생물학적, 광학적, 전기화학적 방법이 이용되고 있다.

### 5. 맺음말

지구온난화 방지를 위한 기후변화협약 당사국 총회는 해마다 계속될 전망이다. 이에 따른 배출방지를 위한 규제 강화도 가속화될 것이다. 만약 우리 나라가 이산화탄소의 무감축국으로 포함될 경우에 GNP의 5~7% 정도 하강 및 국내 주력산업인 철강, 석유화학, 조선, 시멘트와 같이 에너지 다소비업체에 심각한 타격을 줄 것으로 예상된다. 한편, 선진국 기업들은 기후변화협약을 앞선 기술력과 경제력을 바탕으로 공동이행, 배출권거래 및 청정기술개발 등을 이용하여 미래 국제시장 확보를 위한 일종의 그린마케팅 전략으로 활용할 계획으로 있다.

따라서 우리 나라도 온실가스 저감 잠재력이 높은 선진 에너지 기술 확보만이 기후변화협약에 능동적으로 대처할 수 있는 방안인 동시에 미래 그린시장을 확보할 수 있을 것이다. ▣

### 〈참고문헌〉

- (1) 과학기술부, "주요 선진국 환경기술의 개발현황 및 정책동향 분석", 2001. 2
- (2) 산업자원부, 에너지기술연구원, "에너지기술개발 10개년 계획 개선방안 연구", 2001. 1
- (3) 산업자원부, 에너지관리공단, "에너지절약기술개발사업 자료집", 2001. 5
- (4) 산업자원부, 에너지관리공단, "대체에너지기술개발 자료집", 2000. 9
- (5) 산업자원부, 에너지관리공단, "청정에너지 및 자원기술개발 자료집", 2000. 10
- (6) 산업자원부, 에너지경제연구원, "기후변화협약 및 교토의정서 대응전략 연구", 2000. 12
- (7) 산업자원부, 에너지경제연구원, "기후변화협약과 교토의정서", 2000. 1
- (8) 대한민국정부, "UN 기후변화협약에 의거한 대한민국 국가보고서", 1998. 12
- (9) 과학기술부, 에너지기술연구소, "기후변화협약과 연계된 에너지 원천기술 기획", 1997. 6
- (10) 통산산업부, "중장기 에너지 기술개발 추진전략", 1996. 6