

기후변화협약 시행에 따른 대응 방안 및 발전분야 영향 분석

우광재 · 황재동 · 정석용 · 장길홍

한국중공업 기술연구원 환경기술연구소

Analysis of the abroad and domestic research trends on climate change and its economical effect on the power plant

*Kwangje Woo · Jae Dong Hwang · Seok Yong Jeong · Gil Hong Jang
R&D Center, Korea Heavy Industries & Construction Co., Ltd.*

요 약

CO₂ 의무규제에 대비해 국내외의 대응방안 및 기술개발 동향과 국내 산업계 대처방안, 향후 발전분야에 미칠 영향 등을 분석하였다. 의무규제에 대비하여 가장 많은 준비가 된 유럽은 에너지 효율 개선 및 대체에너지 개발에 많은 투자를 하고 있으며, 일본은 에너지 절약 및 해외사업을 통해 감축의무를 준수하도록 하는 동시에, 장기 기술개발 계획에 따라 여러 분야에서 R&D 투자가 활발히 이루어지고 있다. 또한, 미국은 에너지 절약 프로그램 및 배출권 거래제를 이용하여 감축의무에 대비하고 있으며 최근에 DOE(Department of energy) 등을 중심으로 경제성 있는 신기술 분야에 집중 연구하는 경향을 보여주고 있다.

우리나라도 향후 의무부담을 받을 경우를 대비하여 그동안 정부 및 출연연구소 중심으로 연구가 수행되어 왔다. 한편, 감축의무 적용시 가장 먼저 이행이 예상되는 발전분야에 대해 선진국중 완화된 기준을 가지는 포르투갈 감축기준을 적용하였을 경우, 제5차 장기전력 수급계획에 따른 청정연료 등의 전환 등의 자발적 감축 노력에도 불구하고, 2015년 이후 가동중인 발전소중 50여기를 가동 중지해야 하는 사태가 발생할 수 있음을 발전분야 감축의무량 분석결과를 통해 도출하였다.

ABSTRACT : To meet CO₂ emission regulation, this study describes the present state of CO₂ reduction technology and the effect of the regulation on power industry. In Japan, R&D investment is actively continuing through a long-term R&D project, along with trying to meet the reduction demand by the ways of energy saving and abroad business. EU has made a lot of investments in increasing the efficiency of power generation and developing alternative energy sources. The US is making provision of the portion of reduction by using energy saving program and emission trading, and the current DOE-driven program is addressing the development of cost-effective power systems. In the country, the research to reduce CO₂ emission has been mainly driven by the government and research institute supported by the government. Meanwhile, if the reduction obligation imposed on Portugal which is the least strict condition will be enforced in Korea, it is likely that about 50 running power plants should be stopped or shut down after 2015, in spite of voluntary reduction efforts such as conversion to clean fuels, etc. according to the government's long-term electric power need and supply plan.

1. 서 론

우리나라는 교토의정서에 따른 온실가스 저감 의무부담 대상국가는 아니지만 지구온난화 방지 노력에 대한 국제적 동참 요구를 외면할 수만은 없으며, OECD 국가로서 의무부담 대상이 아닌 국가에 대해 미국, 캐나다, 일본 등 선진국들의 참여 요구가 점차 강화될 것으로 예상된다[1].

현재 화석연료 사용에 따라 필연적으로 발생하는 CO₂ 배출량 저감을 위해 화석연료 사용합리화를 통한 CO₂ 배출량 저감기술 개발과 CO₂ 배출을 원천적으로 방지할 수 있는 대체에너지원 개발이 세계 각국에서 추진되고 있다. 선진국은 이미 자국의 산업기반을 최대한 보호할 수 있는 관점에서 탄소세 부과, 교토 메커니즘을 활용한 감축 계획을 수립하여 시행중에 있으며, CO₂ 처리기술 개발을 통해 새로운 사업의 기회로써 활용하고자 하고 있다[2].

국내에서도 최근 들어 범국가적 차원으로 정책개발과 더불어 기술적인 해결을 위해 산·학·연에서 R&D 투자를 계획 또는 일부 진행하고는 있으나, 현재까지 CO₂ 저감기술에 대한 연구 정보 공유가 미비한 실정이다. 또한, 산업별 CO₂ 배출량 및 강제 의무규제 적용시 발생하게 될 경제적 영향에 대한 구체적인 자료가 부족하다.

한편, 중화학 중심의 산업구조 및 고성장 과정에 있는 우리나라는 CO₂ 감축에 의한 충격이 IMF보다 극심한 경제적 위기를 몰고 올 수도 있으나, 사태의 심각성과 본질에 대한 공감대가 부족하여 국가 및 개별 산업체의 움직임이 아직까지는 미진하다.

따라서, 본 고에서는 먼저, 지구 온난화 문제 해결을 위한 선진국의 정책방안 및 기술개발 현황을 살펴 보았다. 그리고 국내 산업계의 동향 및 정부의 지원현황 조사를 수행하였으며, CO₂ 다 배출원인 발전분야의 배출현황 조사를 통해 기후변화 협약 시행으로 인한 영향을 간접적으로 살펴 보았다.

2. 국내외 대응 현황

2.1 해외

EU는 15개 회원국들이 기후변화협약에 공동 대응하는 정책을 추구하고 있으며, 다른 선진국에 비해 CO₂ 배출량 저감에 가장 엄격한 입장을 주장하고 있어 미국등과 심한 견해 차이를 보이고 있다[3]. EU 내에서 각국은 서로 다른 감축의무를 부과 받아 신축적인 정책을 취하고 있다. 영국을 비롯한 북유럽 국가는 북해에서 생산되는 천연가스를 이용한 에너지 생산 시스템 변화 및 에너지 효율 개선을 통해 이미 상당한 저감 효과를 거두고 있다. 또한 바이오메스 발전, 풍력 발전을 비롯한 대체 및 신재생 에너지 개발을 통한 CO₂ 저감방안이 활발하게 진행되고 있다[4,12].

노르웨이, 스웨덴 등의 국가들은 1990년 초부터 개별 산업에 대해 탄소세를 부과하고 있으며, 일부 국가들은 시범 배출권 거래제도를 준비하고 있는 등, EU는 감축의무에 대한 강한 자신감을 보이며 새로운 사업적 영역의 토대로서 활용하려는 움직임을 보이고 있다[1,13,14].

1990년 대비 6%의 감축의무를 부과 받은 일본은 1990년 지구온난화 방지를 위한 실천계획을 제정하였으며, 1998년 지구온난화 대책 추진법을 결정하는 등 장기적인 관점에서 지구 온난화 방지대책을 추진해 오고 있다. 일본은 감축 목표를 달성하기 위하여 에너지 절약과 신에너지 보급, 원자력 건설 등을 통해 2.5%, 식림이나 재식림 등을 통해 0.3%, 모자라는 감축분은 배출권거래, 공동이행 실시, 청정개발 체제등을 활용한다는 계획이다. 이미, 해외 조립활동, 동남아 전력보급 사업, 중국등과의 공동이행 및 러시아 노후발전소 교체 등의 사업을 활발히 진행하고 있다[15,16].

기후변화협약에 소극적 자세를 견지하는 미국은 세계 1위의 온실가스 배출국으로서 에너지 소비 효율을 높이고 에너지 관련 신기술 개발 보급 확대, 신재생 에너지의 이용 증대, 에너지 절약확대를 위한 세계지원 등의 활동을 통해 온실가스 저감 계획을 추진하고 있다. 백악관 경제자문위원회의 연구결과에 의하면 미국 국내에서만 온실가스 배출을 저감할 경우 520억 달러이지만 전세계가 배출권 거래에 참여하는 경우 120억 달러가 소요된다[3,5]. 따라서 미국은 온실가스의 대부분을 해외에서의 배출권 거래를 통해 달성하고자 개도국의 참여를 적극 요구하고 있

으며, 자국내 SO₂ 배출권 거래시장 경험을 바탕으로 무제한적 거래를 주장하고 있다[3].

2.2 국내

기후변화협약에 대응하기 위하여 1998년 범정부 대책기구를 구성하여 운영하고 있다[6]. 우리나라는 에너지 다소비형 경제구조를 가지고 있어 조기 의무 부담은 성장에 큰 부담이 되기 때문에 에너지 절약 및 청정연료 등의 보급 확대를 통한 자발적·비구속적 저감시책을 실시하며 의무부담시기는 최대한 늦추어 경제에 미치는 영향을 최소화하려는 정책을 추진하고 있다[1,6].

3. 국내외 기술개발 동향

3.1 해외

일본은 지구온난화와 같은 환경문제와 에너지 기술개발을 긴밀하게 연계시킨 종합기술개발 추진계획인 New sunshine Program을 1993년부터 운영하여 지속가능한 성장을 창출하기 위한 혁신 기술 개발을 시작하였다. 통산성이 중심이 되어 신기술 개발 3단계 계획을 수립하였으며 1단계에서는 에너지기술 개발 및 에너지 이용 효율극대화, 2단계에서는 연료 전지 등의 개발, 3단계에서는 분리처분 기술 개발등을 추진하고 있다. 일본은 CO₂ 분리·회수 연구가 가장 활발히 진행되고 있는 나라로서 전력회사를 중심으로 흡착, 흡수, 막분리 및 고정화 관련 설비중 일부는 상용화에 근접한 기술을 보유하고 있는 것으로 알려져 있다[5,12].

미국은 DOE(에너지성) 및 EPA(환경청)를 중심으로 에너지 효율향상을 통한 온실가스 저감 기술 개발이 이루어지고 있다. 최근 몇 년간 DOE를 통해 공고된 국가 지원과제 특성을 살펴보면, 2025년 대기중 CO₂ 농도를 550ppm으로 안정화하기 위한 장기 계획을 추진하며, 탄소처리에 소요되는 비용이 \$10/톤의 범위를 만족하는 신기술에 대해 집중 투자한다는 것이다. CO₂ 해양 및 지층 투입을 위한 연구 과제에 비교적 많은 투자가 이루어지고 있으며, 분

리분야에서는 EOR(Enhanced Oil Recovery)를 목적으로 1970년대부터 개발한 Kerr McGee공정, Fluor Daniel 공정등 아민 흡수법에 대한 원천기술을 보유하고 있으나 최근 막을 이용한 연구 개발에 많은 지원을 하고 있다[5,7].

유럽은 복합발전 확대, 신재생에너지 보급확대(바이오메스, 혐기성 가스 발전등), 대체에너지 개발을 통한 온실가스 저감기술의 확보에 주력하고 있다. 그러나 노르웨이, 네덜란드 등 일부 국가에서는 과중한 탄소세 및 원예사업의 경제성등을 이유로 에너지 절감형 신기술 개발이 상당한 성과를 거두고 있는 것으로 알려져 있으며, CO₂의 대규모 해양 투기공정이 대서양에서 운영되고 있다[4,8].

3.2 국내

CO₂ 관련 과제는 민간 단독으로는 수행하기 힘든 특성을 가지므로 이제까지 정부 주도하에서 정부출연 연구기관을 주축으로 대학 및 산업체가 공동연구를 수행하는 형태로 진행되어 왔다. 현재 정부에서 추진 중인 CO₂ 관련 사업으로서는 과기부 주관하의 환경기반기술개발사업 및 산자부 주관하의 청정에너지기술개발사업이 있다. 1998년 환경부의 G7과제와 통합된 환경기반기술개발사업은 신기술 확보 및 검증측면에서 이루어지고 있으며, 청정에너지기술개발사업은 실용화 가능기술 개발과 기술 저변확대를 목적으로 2006년까지 기술 상용화를 목표로 추진되고 있다[5,9].

Fig. 1.에는 CO₂ 저감관련 정부지원 총연구기비를 보여 주고 있다. Fig. 1.에 의하면, 1997년~2006년 기간에 493,800백만원으로 계획되어 있으며, 현재 과기부 연구예산으로 에너지기술연구소에서 주관하고 있

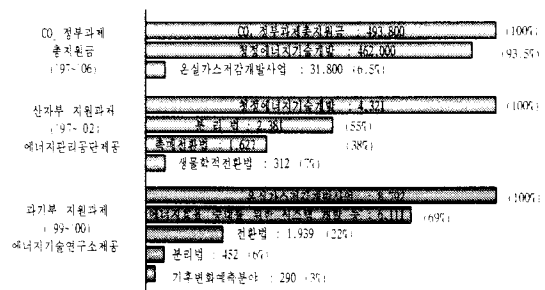


Fig. 1. The trends of the Government research funds (Unit : Million Won)

는 온실가스저감기술개발사업 31,800백만원(6.5%)과 산자부 연구예산으로 에너지관리공단에서 주관하는 청정에너지 기술개발사업 462,000백만원(93.5%)으로 나누어 추진되고 있다[5,16].

4. 국내산업계의 CO₂저감기술 개발 현황

Table 1.에서 국내 전력산업부분의 CO₂ 배출 추이를 살펴보면, 우리나라 CO₂ 총배출량중 약 5.8% 정도 차지하고 있으며 1990년 15.9%에서 1997년 25.8%으로 전력부분이 차지하고 있는 비중이 점차 증가되고 있다.

정부에서는 제5차 장기전력 수급계획 수립시 CO₂ 장기안정화 목표를 0.11kg-C/kWh로 설정하고, 2010년까지 이를 달성할 수 있도록 저탄소배출형 전원구성(원자력+LNG+수력)비를 1998년의 62.1%에서 2015년에는 67.3%로 확대하고 고효율복합화력 및 IGCC 등 신발전기술을 도입하는 열효율 향상 계획을 확정하였다[10]. 또한, 한국전력연구원에서는 96년부터 CO₂ 관련 연구를 시작하여 향후의 기술개발 계획으로 흡수기술을 적용, 2000년 3월~2003년 2월 기간에 55억 원(민간부담 8억원)의 예산으로 CO₂ 2톤/일, 회수율 90%, 흡수탑 직경이 40cm규모의 pilot plant 개발 계획을 발표하였다.

Table 1. The change of CO₂ emission in the electric power generation

(unit : thousand carbon tons)

구 분	1990년	1995년	1996년	1997년
총배출량	65,172	101,188	111,306	116,918
전력부분	10,332	22,427	26,783	30,186
점유율	(15.9%)	(22.2%)	(24.1%)	(25.8%)

Table 2. The amount of cement production and CO₂ emission

	1993년	1995년	1997년	1999년
시멘트 생산량(천톤)	46,894	55,130	59,796	48,157
CO ₂ 배출량 (TC/톤-cement)	0.217	0.208	0.199	0.198

시멘트산업에서는 Table 2.에서와 같이 원료의 탈탄산공정으로 석회석을 열분해하는 과정에서 전체 CO₂ 발생량 중 63%가 발생한다. 따라서, 쌍용양회 등에서는 저감기술 개발보다는 기존 습식공정을 병행하면서 공정개선을 통해 CO₂ 총발생량 중 약4.9% 감소시키는 기술 등에 초점을 두고 있다.

대표적인 CO₂ 배출업종인 철강업체중 포항제철의 경우, 1999년 현재 14.6백만TC의 CO₂를 배출하였으며 조강생산량 대비 CO₂ 배출량을 Table 3.에 나타내었다. CO₂ 발생량을 감축하기 위하여 공정개선 및 혁신적인 기술 개발을 추진하고 있다. 또한 저탄소 연료 사용 및 지역사회와 연계한 에너지 이용 방안을 검토하고 있다.

Table 3. The amount of crude steel production and CO₂ emission in POSCO

구 분	1995년	1997년	1998년	1999년
조강생산량 (백만톤)	23.4	26.4	25.6	26.5
CO ₂ 배출량 (백만TC)	13.5	15.0	14.5	14.6

CO₂ 회수 및 이용 기술개발에도 투자하여 현재 300Nm³/h의 PSA pilot plant를 운영할 계획이며 분리된 CO₂를 용접, 소화용 및 폐수중화제로 활용하려는 계획을 가지고 있다.

석유화학산업은 가장 다양한 제품을 생산하는 에너지 다소비업종으로서 단기적으로 생성단계에서의 CO₂ 저감 방안에 주력하고 있다. 반응조건 개선, 설비 대체 및 폐열 회수 활용방안 수립등을 통해 에너지 절약이 가능하며 환경에 무해한 새로운 제품개발도 시도되고 있다. 한편,

쌍용정유에서는 Naphtha HDS Unit에서 CO₂를 분리·회수하기 위하여 후처리 설비인 MEA 흡수 plant를 설치 및 운영하고 있다고 알려져 있다[5].

5. 국내 발전분야 CO₂ 배출량 및 감축량 산정

CO₂ 의무규제가 발전분야에 미치는 영향을 살

Table 4. CO₂ emission reduction requirements to the level of scenarios

(unit : Million tons-CO₂)

Standard	1990 emission	Permissible Emission	2010			2020		
			Emission Amount	Reduction Amount	Emission Rate	Emission Amount	Reduction Amount	Emission Rate
USA (- 7%)	65.2	60.6	188	127.4	67.8%	224	163.4	72.9%
Portugal (+ 27%)	65.2	82.8	188	105.2	56.0%	224	141.2	63%
Korea	141.3(1997)	141.3	188	46.7	24.8%	224	82.7	36.9%

해보기 위해 우리나라 전체의 의무 감축량을 각 시나리오별로 예측한 후 발전분야에 적용하였다. Table 4.에 시나리오별 CO₂ 감축 의무량 및 비율을 나타내었다.

첫째, 감축의무가 미국과 동일한 조건인 배출 허용량이 1990년 기준 -7%인 경우 우리나라는 2020년에 예상 CO₂ 전체 배출량의 73%를 감축해야 한다. 둘째, 비부속서 I 국가중 가장 완화된 의무규정이 부과된 포르투갈의 감축기준(1990년 기준 +27%)을 따를 경우 2020년 예상 CO₂ 배출량의 63%를 감축해야 한다. 셋째, 1990년대에 CO₂ 배출량이 가장 많았던 1997년(IMF이전)을 기준년도 하였을 경우 2020년 예상 CO₂ 배출량의 37%를 감축해야 함을 알 수 있다.

미국과 같은 선진국의 감축의무를 받는 것은 우리나라 경제규모 및 경제 성장률에 비추어 볼 때 너무 가혹하며, 1997년을 기준년도로 지정 받는 것은 우리나라에 가장 유리하나 선진국과 비교해 볼 때 현실적으로 이루어지기 힘들 것으로 예상된다. 따라서 선진국들 중 가장 완화된 의무규정을 받는 포르투갈의 사례를 비추어 볼 때, 2015년도 예상 배출량

의 약 60%정도 감축이 요구된다. 발전소는 가장 큰 국내 CO₂ 배출원 중에 하나로, 감축량의 산정을 대외적으로 수치상 명확히 인정 받을 수 있는 분야이다.

Table 5.에서는 발전분야에 미치는 구체적 영향을 살펴보기 위해 제5차 장기전력 수급계획에 의해 2015년까지 화석연료를 사용하는 신규 및 폐기 발전소를 고려한 100MW급 이상의 발전소 현황을 조사하여 국내 발전용량을 산정하였으며, 연료별 CO₂ 배출계수를 구하여 발전소 종류별 CO₂ 발생량을 산정하였다. 또한, Table 5에 앞에서 가정한 포르투갈과 유사한 의무규정을 따른다고 가정한 시나리오에 따라 감축해야 하는 CO₂량을 기준으로 하여 저감이 필요한 발전용량을 산출한 결과를 나타내었다.

여기서, 기준년도는 제5차 장기전력 수급계획상의 최종년도인 2015년이며 발전소의 연간 가동율은 7,000hr로 가정하였다[10]. Table 5.에 의하면 아무런 대응조치가 없을 경우, 목표년도(2015년)의 CO₂ 의무 감축량 달성을 위해서는 이론적으로 500MW 발전소 약 50여기(24,360MW) 정도가 정지해야 한다는 결론을 얻을 수 있다.

우리나라 총발전량의 35%이상이 원자력발전이며

Table 5. CO₂ emissions and reductions from different fuels in electric power plant

(Base line : 2015yr)

Fuel type	Carbon emission Factor(tons/MW-h)	Total electric Power (MW)	CO ₂ emission (ton/yr)	Goal of CO ₂ emission reduction on electric power (MW)
Coal	0.9533	21,600	144,138,960	12,960
Heavy oil	0.7333	4,700	24,125,570	2,820
LNG	0.6233	14,300	62,392,330	8,580
Total	-	40,600	230,659,860	24,360

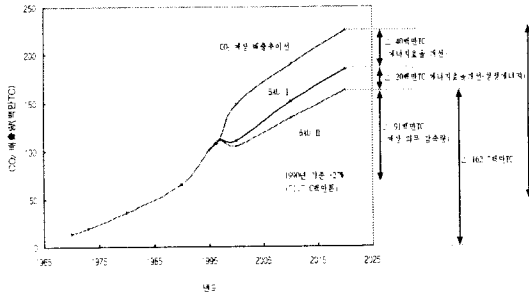


Fig. 2. Estimate of CO₂ required reduction to the level of scenarios. (LG Economic Research Institute, 1998)

지탄소 배출형 발전설비 구성비가 선진국 수준으로 특히, 1990년 이후 건설된 발전소가 많아 에너지 효율 향상으로 인해 CO₂ 배출감축 여지가 적은 편이다. 따라서, 대체에너지발전 및 청정에너지 발전계획이 포함된 제5차 장기전력 수급계획이 예정대로 진행된다고 하더라도 발전분야에 미치는 영향은 심각하다.

또한, Fig. 2.는 우리나라에서 CO₂ 예상 배출량은 2020년 224백만톤으로 예측되나 지속적인 에너지 효율개선 및 청정에너지 사용을 위한 연료 대체 등의 계획을 추진하였을 경우, CO₂ 배출량[11]을 도식화하여 나타내었다. 우리나라의 감축기준을 선진국 중 완화된 기준을 가지는 포르투갈(1990년 기준 +27%)의 경우와 동일하게 적용하였을 경우, 2020년 전체 배출량의 55~67%를 감축해야 됨을 알 수 있다.

6. 결 론

CO₂ 의무규제에 대비해 국내외 정책 및 기술개발 동향과 국내 산업계 대처방안 및 향후 발전분야에 미칠 영향 등을 분석하였다. 교토의정서 제정으로 2008년부터 의무감축 시행이 예정되고 있는 선진국들은 정부 주도하에 적극적인 대응 정책 수립과 기술개발에 많은 자본을 투자하고 있다. 국내에서도 정부 주도하에 정책수립 및 기술개발을 추진 중이며, 산업체에서도 중요성을 인식하여 자체 저감 방안 및 처리기술 개발을 위한 연구를 수행 중에 있으나 선진국에 비해 구체적 방안 및 목표수립 측면에서 아직까지는 부족하다.

발전분야는 모니터링이 쉽고 대규모 고정 배출원이란 측면에서 CO₂ 규제가 시작되면, 우선 의무대상 분야로 선정될 가능성이 높다. 선진국 중 완화된 기준을 가지는 포르투갈 감축기준을 적용 받는다고 가정하였을 경우, 2015년에 500MW 규모의 발전소 50여기 정도가 정지하여야 한다는 결과를 얻었다. 이것은 포르투갈과 동일한 기준 적용시 2020년 전체 배출량의 약60%에 해당한다. 앞에서도 언급한 것처럼 우리나라 총발전량의 35%이상이 원자력발전이며 대체에너지발전 및 청정에너지 발전계획이 포함된 제5차 장기전력 수급계획이 예정대로 진행된다고 하더라도 대체에너지개발등의 간접 방식으로 60%의 CO₂를 줄이기에는 거의 불가능하다. 따라서, CO₂ 배출 감축을 위한 직접적 방법인 처리 기술 개발이 시급한 실정이다.

이와 같이 기후변화 협약은 우리 경제에 IMF 이상의 심각한 영향을 미칠 수 있다. 이에 대응하기 위해서는 현시점에서 정부 주도하에 종합적인 각 분야의 의견을 수렴하는 정책 수립과 현재의 정부출연 연구소, 대학 중심의 연구에서 탈피하고 현장 적용 및 상용화가 가능한 기업체가 참가하는 산·학·연 형식의 국제 경쟁력 있는 처리기술개발 형태가 활성화되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 산업자원부, 기후변화협약과 교토의정서(1999)
2. 에너지경제연구원, 배출권 거래제를 활용한 전력 산업의 온실가스 저감방안(1999)
3. 우석훈, 기후변화협약 6차 당사국총회 결과 1차 보고서, 에너지관리공단 기후변화협약대책반(2000)
4. 장길홍, 정석용, 김해경, 황재동, 우광제, 기후변화협약 시행에 따른 발전분야의 CO₂감축량 예측, 한국대기환경학회 춘계학술발표회, pp.206~207 (2000)
5. 에너지관리공단 R&D본부, 이산화탄소 분리이용 기술연구회 Workshop Proceeding, pp.187~194(2000)
6. 기후변화협약실무대책회의, 기후변화협약 대응 종합대책, 국무조정실(1999)
7. 김진오, 문영석, 조경엽, 기후변화협약에 따른 대

- 체에너지 개발전략, 에너지경제연구소(1999)
8. 에너지경제연구원, 에너지 동향(1998)
9. 에너지경제연구원, 기후변화협약 대응 실무계획 수립을 위한 연구(1997)
10. 산업자원부 공고 제2000-3호, 제5차 장기 전력 수급 계획(2000)
11. 이명균, 정승태, 온실가스 감축과 한국경제, LG 경제연구원(1998)
12. IEA, Carbon dioxide capture from power stations, <http://www.ieagreen.org.uk/>
13. <http://www.co2e.com/>
14. <http://www.iisd.ca/>
15. <http://www.co2e.com/>
16. <http://www.kemco.or.kr/va/>