

에너지환경기술개발 동향 및 전망



손 영 목
한국에너지기술연구소 소장

1. 서 언

21세기를 환경과 에너지의 시대라고 전망하기도 한다. '78년의 석유파동은 풍부한 에너지에서 부족한 에너지로 인식을 전환시키는 계기가 되었다. 그러나 근래 석유가격의 하락과 안정세로 국내 에너지소비량이 크게 증가하여 '96년에는 에너지 수입이 240억 불에 달하므로써 당초 예상 목표량을 크게 초과하였으며 이는 수입 총액의 약 20%를 차지할 만큼 큰 비중을 차지하는 것으로 지적되고 있어 에너지절약의 실천과 더불어 절약기술개발이 강조되고 있다.

에너지사용량의 증가는 그에 비례하여 환경오염 발생을 가져오며 주 에너지원인 석유, 가스, 석탄 등의 화석에너지는 대기오염의 주범으로 환경에 미치는 영향이 크다. 그러나 화석에너지를 대체할 수 있는 새로운 에너지원이 개발되지 않는 한 2000년대에 도 여전히 화석연료의 사용비중은 클 것으로 추측되며 이에 따라 환경오염 물질의 발생은 필연적으로 따를 수밖에 없는 상황인 것으로 전망된다.

국내의 환경기술 수준은 미국, 일본, 유럽등 선진국과 차이가 크고 부분적으로는 초보단계에 있다 할 수 있다. 따라서 국내 환경개선과 국제환경 규제에 대응하기 위해서는 지속적인 기술개발이 따라야 할 것이나, 국내의 요소기술 기반 구축이 아직 미비한 상태이다. 에너지 환경기술은 공공성의 복합 기술로서 개별적으로의 해결은 한계가 있다.

에너지절약이나 대체에너지의 개발은 간접적으로 가장 확실한 환경대책이 될 수 있으나 대체에너지의 개발은 높은 투자비용과 개발 실용화에 장기간 소요,

경제성에 대한 불확실성 등의 제한 요소가 있어 현실적으로 화석에너지를 대체할 수 있는 양은 크지 않다. 대체에너지의 공급량을 보면 '95년말 기준 총 에너지의 0.6%공급 수준이었고, 정부의 에너지 10개년 계획의 완료 연도인 2006년에는 총에너지의 2%를 공급하는 것으로 계획되어 있으나 여기에는 폐기물 등 대체에너지로 분류된 것 중에서도 일부 환경오염 물질을 유발하는 것도 포함되어 있다.

근래 에너지와 관련된 지구환경 문제로서 지구온난화, 산성비, 오존층 파괴 문제가 크게 대두되고 있으며 탄소세등의 에너지세 부과에 대해서도 논의 되고 있다. 지구환경 문제와 국제환경 규제에 대해서 UN, OECD등 국제 기구를 중심으로 규제강화가 예고 되어 있고, 개도국의 동참을 강요하고 있으므로 이에 따른 대응책을 필요로 한다.

2. 에너지 수급 현황 및 환경오염물질 발생

우리 나라의 1차 에너지 소비는 세계 10위 권으로서 국제 비교에서 에너지 다소비국에 속하며 선진국들은 에너지소비 증가 추세가 안정세에 있는 반면 국내 소비는 상당한 증가 추세를 나타내고 있다. 우리 나라의 에너지 수급 구조는 공급위주의 에너지정책과 저 에너지 가격으로 취약한 에너지 소비 구조를 이루어 왔고, 지난 10년 동안 국민 총생산은 24배 증가한 반면 에너지 소비는 27배를 증가한 것으로 나타나고 있다. <표 1>에서 '92~2000년 사이 1인당 에너지 소비 증가율을 보면 연평균 72%의 증가 추

특집-2

세를 나타낼 만큼 증가폭이 크며 그 이후에는 증가 추세가 둔화될 것으로 전망된다. 에너지원별 구성비에서 석유의존도는 현재 약 60%가 되고 있고 향후 LNG가 청정 연료로서 크게 증가될 것이나, LNG의 사용이 2000년에 64%, 신 재생에너지가 09%정도를 나타내어 여전히 석유, 석탄 의존도가 클 것으로 예측된다. <표 2>에서 석유, 석탄 등의 화석연료 사용에 따른 대기오염 물질 배출량을 보면 '94년 유황산화물(SOx) 배출량은 총 160만톤/년으로서 산업에서 83만톤, 발전 33만톤, 수송 28만톤의 순으로 산업부문에서의 배출 비중이 크고 질소산화물(NOx)은 산업보다 수송부문에서의 비중이 크며, 특히 탄화수소(HC)의

배출은 수송부문이 절대적인 것으로 분석된다.

한편 지구온난화 가스로 주목되고 있는 CO₂의 배출량을 보면, 1990년에 IEA가 평가한 우리나라의 배출량은 67.1백만 TC로 세계 16위를 차지했고 1인당 배출량은 1.57 TC로 세계 31위를 차지했다. 그리고 현재와 같은 추세로 에너지 사용량이 증가한다면 2000년경에는 국내 배출량이 세계 10위권 내에 가까울 것으로 추측된다. 그러나 전세계의 CO₂배출량은 미국, 러시아, 중국등 3개국이 상당 부분을 차지하고 있어 전세계 배출량의 절반에 가까운 45.3%를 나타내고 있으며, 우리 나라는 전세계 CO₂ 배출량의 1.14%가 되는 것으로 분석된다.

<표 1> 에너지 수요전망

구 분	1992	1997	2000	2010
1차 에너지수요 총계(백만TOE)	116	177	217	326
석유(천 BD)	1,409	2,089	2,400	3,218
전력(천 Gwh)	115	200	258	448
LNG(백만톤)	4	9	13	26
유연탄(백만톤)	26	49	62	91
GNP(조원, 1985)	149.5	-	248.6	404.9
에너지원단위(TOE/백만원)	0.78	-	0.87	0.80
1인당에너지소비(TOE)	2.66	3.88	4.63	6.55
석유 의존도(%)	61.8	60.2	56.6	30.8

주) 에너지기술개발에 대한 기획연구, 예기연, 1996

<표 2> 대기오염물질 배출량('94)

(단위 : 만톤/년)

구분	계	SO ₂	TSP	CO	NO _x	HC
계	453	160	43	115	119	15
난방	40	16	1	16	6	0.2
산업	134	83	15	2	33	0.2
발전	64	33	17	2	13	0.1
수송	215	28	10	95	67	14

주) 대기환경보전기술 및 정책방향, 에너지절약기술웍샵 초청강연자료, 예기연, 1996

〈표 3〉 우리 나라의 이산화탄소 배출실적 및 전망

구 분	'90	'92	'97	2000	2010
1인당 배출량(탄소톤/인)	1.5	1.78	2.56	3.01	3.98
연간 배출량(백만탄소톤)	65.5	78.4	116.8	140.7	197.8

주) 한국청정기술학회 세미나 발표자료, Vol. 2, No. 2, 1996

3. 지구환경 문제와 국제환경 규제

'92. 6 리우 UN 환경개발회의 이래 지구환경문제에 대하여 범세계적인 대응 방안이 논의되고 있으며, 기후 변화협약(FCCC)을 비롯한 국제환경 협약과 WTO, OECD에서의 무역-환경 연계 논의는 장차 국내 산업에 크게 영향을 가져올 것으로 관심을 끌고 있다.

근래에 들어 지구환경 문제가 국제적인 과제로 크게 대두되어 오존층 파괴-프레온, 온실효과-CO₂, 산성비-SO_x, NO_x 등식의 관계를 가지고 원인 제거를 위해 각국이 공동으로 노력하는 한편 개별 국별 환경규제 강화를 의무화할 태세로서 탄소세의 부과, 무역과 환경의 연계등 국제 환경 규제에 적극 대처해야 할 추세이다. 특히 WTO 체제의 출범과 OECD 가입으로 환경라운드(Green Round)가 보다 가시화 될 것으로 전망된다.

오존층 파괴와 직접 관련이 있는 CFC에 대해서는 '87. 9 몬트리얼 의정서 채택을 기점으로 하여 '94. 6의 코펜하겐 개정 의정서에서 선진국의 경우에 CFC의 사용을 '96. 1부터 중단토록 규제하고 있다. 이에 따라 전자, 자동차등 산업에 미치는 영향이 큰 바 국내에서도 이미 대체물질 개발에 주력하고 있는 실정이다.

기후변화 협약(FCCC)은 기후변화의 영향을 방지하기 위하여 CO₂등 온실가스 배출을 저감하기 위한 목적으로 체결된 국제환경 규제 협약의 일환으로서 특별의무 사항으로 선진국들은 2000년까지 자국의 온실가스 배출을 '90년 수준으로 감축토록 되어 있으며 한국, 멕시코등 선발개도국에 대해서도 의무강화를 주장하고 있다. 한편 CO₂의 감축 기술로서

CO₂의 분리회수, 고정화 등의 기술개발이 전개되고 있으나 연료의 연소시 대량 발생하는 CO₂량을 감당하기에는 요원한 것으로 평가되는 바 CO₂ 감축을 위하여는 에너지 이용 효율의 향상을 비롯한 에너지 절약기술과 대체에너지의 개발이 보다 확실한 방안인 것으로 평가된다.

4. 연료, 연소관련 환경규제의 강화

국내의 환경관련 법령은 '63. 11에 제정된『공해방지법』을 시초로 '77. 12『환경보전법』의 제정으로 본격화되었다 할 수 있다. 이중 대기오염 문제는 화석연료사용과 직접적인 관련이 있는 것으로서 연료정책은 대기오염정책이라 해도 과언이 아닐 만큼 관련성이 크다.

최근 연료규제 강화와 연소 배출가스의 허용농도 기준강화 그리고 총량 부과금제도는 특히 산업체에서의 에너지 비용 부담을 크게 증가시킬 것으로 전망되며 화력 발전소에서의 발전원가 상승도 따를 것이다. 이중 연료 규제에서는 고체연료(석탄) 사용이나 중질유의 사용을 금지하고 경질유나 LNG사용을 유도하는 것과 연료중의 유황분 함유량을 규정하는 것으로 구분되어 점차 강화하는 것으로 예고되어 있다. '96. 12 환경부 고시로 공고된 대기부문의 연료 사용 규제(청정연료사용) 및 배출허용 기준 강화 내용을 보면 년차적으로 각 단계에 걸쳐 기준치가 강화되어 해당 산업체에서는 이에 따른 연료비 증가와 더불어 배가스처리 시설비 부담도 클 것으로 추측된다. 따라서 이와 같은 기준 결정에는 환경에 미치는 영향과 더불어 현재의 기술수준, 그리고 수용자들의 부담능력이 동시에 충분히 고려되어 조화로운 범위

〈표 4〉 대기오염물질 배출량('94)

(단위 : ppm이하)

오염물질	대상배출 시설	'94. 12. 31까지	'95. 1. 1 ~ '98. 12. 31	'99. 1. 1 이후
황산화물(SO ₂)	• 일반오일보일러			
	- 저유황사용지역	850(4)	540(4)	540(4)
	- 기타지역	1950(4)	1950(4)	540(4)
	• 일반선탄보일러			
	- 고체연료사용규제지역	500(6)	250(4)	250(6)
	- 기타지역	700(6)	500(6)	250(6)
	• 발전시설			
- 오일보일러				
· 500MW 미만	1,200(4)	1200(4)	270(4)	
· 500MW 이상	1,200(4)	540(4)	270(4)	
- 유선탄보일러	700(6)	500(6)	270(6)	
질소산화물(NO _x)	• 오일 보일러	250(4)	250(4)	250(4)
	• 석탄보일러	350(6)	350(6)	350(6)
	• 가스발전시설	400	400	400

내에서의 기준 결정이 이루어 져야 마찰이 적은 것으로 간주된다.

5. 에너지환경기술개발

에너지 기술 분야를 분류하면 에너지절약 기술, 대체에너지 기술 그리고 에너지환경 기술로 구분되며, 에너지절약과 대체에너지도 간접적으로 환경개선에 크게 기여하므로 광범위하게 보면 에너지환경 기술에 포함된다 할 수 있다.

에너지절약(Conservation)의 개념은 첫째 소비(Consumption)를 줄이는 것과 둘째 효율(Efficiency) 증가라는 두 가지 면에서 논할 수 있으며 에너지이용 효율을 높이기 위한 기술이 에너지절약 기술이라 할 수 있다. 에너지절약 기술을 분류하면 가정 및 건물에너지 절약기술, 산업에너지절약기술, 수송에너지절약기술 그리고 전기에너지 절약기술로 분류하기도 하고 또는 열사용설비, 열발생설비, 열수송설비에 대한 절약기술로 각각 분류하는 등 기술분야가 다양하다.

대체에너지 즉 신재생 에너지 기술분야는 태양열, 태양광, 풍력, 소수력, 바이오매스 그리고 전환과정을 거친 신 에너지로서 연료전지, 수소에너지 등이 포함된다.

한편 〈표 5〉에서 각국별 에너지기술 개발 예산 규모를 비교해 보면 미국, 일본등 선진국은 에너지기술 개발 투자 규모가 우리나라에 비하여 수십배가 되며, 기술개발을 위한 연구 인력수나 관련기업의 보유기술 수준면에서 차이가 큰 것으로 분석된다. 경제규모가 선진국에 비하여 상대적으로 작은 나라는 각국의 실정에 따라 실현가능성이 높고 파급효과가 큰 분야에 한정된 재원을 집중 투자해야 효과를 가져올 수 있을 것이다.

에너지환경기술은 언급한 바와 같이 광범위하게는 에너지절약기술, 대체에너지기술도 포함된다 할 수 있지만, 일반적으로 청정에너지 기술을 뜻하는 것으로 분류상 부분적으로는 상호 중복성이 있는 것도 있다. 화석연료와 관련된 환경기술은 연소전 처리기술, 연소중의 처리기술 그리고 연소 후처리기술로 구분되며, 에너지기술연구소에서 수행되고 있는 에너지

<표 5> 주요국의 에너지기술 개발 예산 규모('94년 기준)

(단위 : 백만불)

구 분	한 국	미 국	일 본	영 국
에너지절약기술	17.9	376.2	260.4	24.7
신재생에너지기술	8.0	266.4	120.5	29.9
에너지자립도(%)	3.2	86.5	1.5	88.0
GDP(10억불)	279.6	6,738.4	4,590.9	1,023.6

주) 대기환경보전기술 및 정책방향, 에너지절약기술워십 초청강연자료, 예기연, 1996.

환경 기술은 청정석탄 활용 기술(Clean Coal Technology), 연소 배가스 처리기술, 폐기물의 에너지화 기술 그리고 기타 분야로 구분하여 연구개발이 이루어지고 있다. 에너지기술연구소에서 수행하고 있는 에너지환경 기술중 청정석탄 이용기술, 배가스 처리기술 그리고 폐기물의 에너지화 기술에 대한 기술 분야를 <표 6>, <표 7>, <표 8> 각각 나타냈다.

청정석탄 이용기술에 포함되는 기술분야로는 석탄의 원천탈황, 탈회를 비롯한 석탄의 전처리 기술, CWM의 제조 및 연소기술, 유동층 연소기술, 석탄회재의 분리 및 이용기술, 석탄의 가스화 및 액화기술,

IGCC등이 주요 기술개발 대상 과제로 선정되어 수행되고 있다.

연소배가스 처리 기술로는 배연탈황 및 탈질기술과 분진제어기술 그리고 CO₂ 분리회수 기술 개발 과제가 수행되고 있고, 폐기물의 에너지화 기술로는 소각 및 소각가스의 처리기술, 건류가스화 연소, 폐윤활유의 정제, 페타이어 페플라스틱의 열분해 오일화, Bio Gas, Landfill 가스 이용등 최근에 크게 증가하고 있는 폐기물을 대량 처리하면서 가연성 폐기물로부터 에너지를 회수하기 위한 연구가 중점적으로 수행되어 이미 실용화를 달성한 것도 있다.

<표 6> 청정석탄이용기술

구 분	내 용
석탄의 전처리 기술	- 분쇄, 혼합, 건조 - 원천 탈황 탈회 기술 · 물리적 처리 : 부선, 중액선탄, 오일응집법, 탑형부선법 · 화학적 처리, 생물학적 처리
석탄의 가공이용 기술	- CCS(Coal Cartridge System) · CCS탄 제조, 수송, 공급 방안
석탄의 연소기술	- COM, CWM : 제조, 저장, 수송, 연소 - 스토가, 미분탄 유동층(FBC) : BFBC, CFBC, PFBC
석탄가스화	- Slagging, Cyclone 연소 - 가스화 - IGCC : 고온탈황, 가스화발전
석탄액화 석탄재의 유효이용	- 미연분의 분리 - 혼합시멘트, 도로포장재, 건축재, 비료이용
기타	- 석탄원료 활성탄 제조등

<표 7> 배가스 처리 기술

구분	내 용
배연탈황	- Wet lime, Mg(OH) ₂ Scrubbing (배가스 100N ^m /H 처리 규모 실험장치)
배연탈질	- Duct Injection법 - 고온 건식탈황(IGCC용) - 저 NO _x 연소기술 - SCR, NSCR, 화학흡수법 - 화력발전소 NO _x 저감 대책 · SO _x , NO _x 동시제거 Plasma에 의한 SO _x , NO _x 동시 분해 제거
분진제거	- 고정능 여과포 - 전기집진 - Ceramic Filter
CO ₂ 저감	- 흡수, 흡착분리회수, CO ₂ 고정화 · 화학흡수법 흡수제 개선 및 공정 최적화
기타	- Dioxin, VOC등

<표 8> 폐기물의 에너지화 기술

구분	내 용
소각	- 스톡가, 로타리킬른, 유동층 - 분무소각 - 소각 가스처리(산성가스, Dust, Dioxin) - 소각회재 처리
고형화 연료(RDF) 건류가스화 및 건류가스의연소 열분해 및 오일화	- 제조, 연소 - 보일러, 공정가열용 - 유동층 열분해 - 페타이어, 폐플라스틱/폐유의 복합 열분해 오일화
Bio Gas 기타	- Land Fill Gas 이용 - 폐유(폐윤활유)의 정제 - 혼합 폐플라스틱의 분리 등

6. 결 언

'70년대 석유파동은 석유의 공급부족과 유가 상승으로 에너지 위기를 가져온 반면 최근의 에너지 상황은 에너지 수입이 수입총액의 20% 이상을 점할 정도로 소비증가 현상을 보임에 따라 위기 의식을 느끼지 않을 수 없다. 에너지사용 증가에 따른 환경오염은 가중되어 환경비용 부담이 크게 늘어날 수밖에 없는 상황으로서 에너지 사용을 원천적으로 감소시킬 수 있는 절약기술의 개발과 실용화 및 보급이 시급한 실정이다.

환경오염중 대기오염은 연료 정책이 곧 대기오염

정책이라 할 만큼 화석연료의 사용과 직접적인 관련성이 있다. 따라서 에너지 환경대책을 위해서는 환경 피해의 최소화과 환경비용의 최소화를 위한 에너지(Energy)-경제(Economy)-환경(Envir-onment)의 조화로운 대책이 수립되어야 하며, 에너지관련 환경기술의 기반 구축을 위한 연구개발과 함께 실용화를 위한 대단위 기술개발이 따라야 한다.

에너지 환경기술(청정 에너지기술)과 더불어 에너지 절약기술과 대체 에너지 기술개발은 환경개선을 위한 수단으로서도 중요하고 이산화탄소 감축등 국제환경 규제에 대응을 위한 방책으로서도 중요할 것이다.