

# 에너지와 環境問題에 關한 國內外 情勢

李 炳 暉

〈韓國科學技術院 核工學科 教授〉

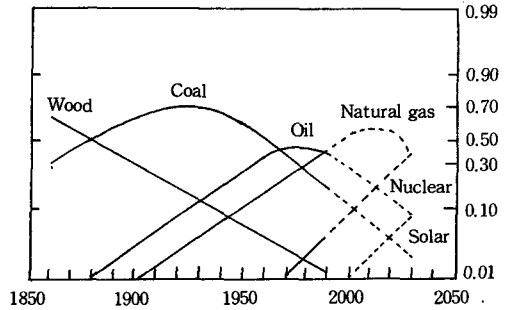
인류가 지구상에서 생존을 시작한 태고때 부터 보다 더 편리한 생활을 영위하기 위하여 불에 의존한 음식과 주거생활을 누려왔다. 불을 피울 수 있는 마른 풀잎이나 나무가 연료의 주종을 이루고 있었고, 지열과 태양열을 자연형태 그대로 이용하는 슬기도 차츰 생겨났다.

중세에 들어서면서 시탄과 아울러 석탄, 석유 등 사용이 편리한 연료를 쓰기 시작하였으며, 17세기 말경 영국의 증기기관 발명과 아울러 풍부한 석탄은 저렴한 에너지공급을 대량으로 할 수 있게 됨에 따라 산업혁명을 유도하여 고도공업화 근대 선진국가 구축을 가능케 하였다. 19세기 말의 미국의 Edison에 의한 전구 발명을 계기로 근세에 들어서면서 전기, 석탄, 천연가스, 제3의 불인 원자력시대로 접어들게 되었으며, 21세기에는 재래식 화석연료의 자원한계와 환경보전 때문에 석탄-원자력-석탄변환 또는 수소에너지 등 합성연료-태양열 등 천연에너지 이외의 2차에너지 사용이 폭넓게 늘어날 전망이다.

2차에너지로 전환과정에서 필연적으로 파생 유발되는 것이 바로 자연환경오염이다(그림1).

## 1. 地球規模化하는 環境問題

경제성장의 필수요인이며 인류의 문명생활에



〈그림 1〉 에너지 사용추세 변천

다른 에너지의 사용에는 환경의 오염이 수반되는데, 환경은 일단 파괴되어 버리면 원상태로의 회복이 불가능하거나 몇 배의 노력과 비용이 들어간다.

최근 염화불화탄소에 의한 오존층의 파괴, 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도 증가로 인해 발생되는 온실효과와 기상이변, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 등의 배출에 의한 산성비 등이 국제문제로 등장, 환경문제의 심각성과 함께 범세계적인 환경보호를 위한 협력의 필요성이 강조되고 있다. 또한 세계적으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 제한하자는 움직임까지 일고 있어 환경문제는 21세기 초까지 계속 각국의 에너지정책 수립에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

환경의 산성화에 대해서는 1979년 스톡홀름회

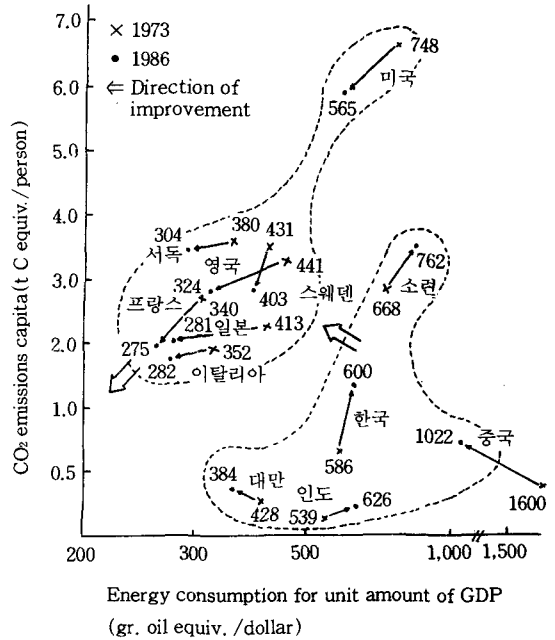
의에서 SOx, NOx 등 국제적으로 이동 가능성이 있는 오염물질을 억제하기 위해 유럽 주요 국가간에 조약(Long-Distance Border Transgression Air-Pollution Treaty, 1979년 체결, 1988년 발효)이 체결되는 등 탈황, 탈질설비 및 그 배출기준의 강화로 해결대책을 세워 수행하고 있지만 가장 다루기 어려운 문제는 지구의 온실효과를 가져오는 CO<sub>2</sub>에 관한 문제이다.

화석연료의 연소에 의해 생기는 CO<sub>2</sub>의 대기중 농도 증가가 지구온도를 상승시키는 온실효과는 현재와 같은 에너지소비현상이 계속된다면 21세기 중엽까지 지구대기온도가 1.5~4.5°C, 해면은 30~150cm 정도 상승하여 지구 전체에 최대의 위기를 줄 것이라고 보고 있다 (표1, 표2, 표3, 그림2). 이에 대응하기 위해 1988년 캐나다 토론토 정상회담 및 학술회의에서 2005년까지 선진국이 중심이 되어 CO<sub>2</sub> 발생량의 20% 감축을 위해 에너지소비의 감축, CO<sub>2</sub> 발생량이 적은 연료 사용, 에너지효율의 향상, 신재생에너지기술 개발, 원자력의 확대 이용 등을 권고하기로 결의하였으며, 화석연료 사용에 비례하는 조림사업도 추진하기로 하였다(그림 3).

1989년 3월 네덜란드 헤이그 환경서밋에서 유럽, 아프리카, 남미 등 세계 24개국의 지도자들은 지구의 환경피해가 날로 심각해지고 있다는데 인식을 같이 하고, 이를 막기 위한 환경감시기구



〈그림 2〉 하와이 Mauna Loa에서 측정된 CO<sub>2</sub> 농도



〈그림 3〉 Energy Consumption Per Unit Amount of GDP And CO<sub>2</sub> Emissions Per Capita

〈표 1〉 세계 CO<sub>2</sub> 배출량 (연간 51억톤 탄소)

북미	27%	소련, 공산국	24%
서구	17%	일본, 호주	6%
개도국	12%	아시아 공산권	9%
기타	6%		

〈표 2〉 과거 100년간 (1880-1980) 대기중의 미량성 분가스 (온실효과가스) 농도증가에 따른 지표 기온의 상승

미량성분 가스	농도변화	지구기온의 상승(°C)	(%)
CO <sub>2</sub>	275-339ppm	0.52	66
CH <sub>4</sub>	1.15-1.65ppm	0.12	15
N <sub>2</sub> O	0.285-0.3ppm	0.02	2.5
대류권	12.5%	0.04	5
CCL <sub>3</sub> F	0-0.18ppb	0.025	3
CCL <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0-0.28ppb	0.04	5
기타가스	0-1980년의 값	0.02	2.5

(積算值 0.79)

〈표 3〉 CO<sub>2</sub> 가 현재의 2배가 되는 경우의 지표면의 기온상승량

研究者名 (論文發表年)	地表氣溫上昇量
Manabe and Wetherald (1967)	2.3 °C
Manabe (1971)	1.9 °C
Ramanathan (1976)	1.5 °C
Wang 기타 (1976)	1.6 °C*
Augustsson and Ramanathan (1977)	2.0 °C
Augustsson and Ramanathan (1977)	3.2 °C**
Lindzen 기타 (1982)	1.3 °C***
Manabe and Wetherald (1967)	1.3 °C****

\*CO<sub>2</sub>량을 1.25배로 한 결과로 부터 추산  
 \*\*설정온도를 불변으로 한 경우  
 \*\*\*대류평형층의 기온감률을 변화한 경우  
 \*\*\*\*수증기량의 증가를 고려한 경우

를 유엔에 신설한다는데 합의했다. 또한 1989년 5월 케냐의 나이로비에서 WHO, UNEP 주최로 열린 기후변동에 관한 정부간 회의에서는 CO<sub>2</sub>분배에 대하여 선진국 뿐만 아니라 후진국에서도 공동노력이 필요함에 그 인식을 같이 하는 등 환경문제가 국제정치는 물론 국제경제에서도 큰 영향을 주는 주요변수로 등장하고 있다.

## 2. 國內環境問題

국내의 환경문제는 선진 각국에 비하여 심각한 편이나 그간 경제성장의 그늘에 가려져 오염방지 설비투자가 저조하였다. 좁은 국토면적과 인구증가 및 경제성장으로 인한 도시화 현상 등으로 이미 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, 분진 등에 대한 전국 주요 도시의 오염현황은 선진국에 비하여도 상당히 느슨한 대기오염 설정치를 훨씬 초과하고 있으며, 한편으로 경제성장을 계속해야 하는 개발도상국으로서 에너지의 사용을 피할 수 없어 환경오염원의 증가요인을 안고 있다. 추후 한국의 에너지수급에 있어서 국내상황의 특수성이나 세계적 환경보호압력 증가 등의 추세로 보아 환경문제는 가장 중요

한 제약 요인으로 등장할 것이다.

## 3. 電力生産과 環境影響

전력생산과 관련된 환경영향은 전체 환경오염의 4분의 1 이상을 차지하고 있고 대규모이므로 효과적인 저감이 이루어질 수 있다는 점에서 국가 전체의 환경보존정책에 지대한 영향을 미친다.

여기서는 미래의 주전력원인 유연탄화력과 원자력발전이 인체 및 환경에 미치는 영향을 비교·평가해 봄으로써 전력생산에 있어서의 환경오염 대처방안을 살펴보고자 한다.

화력발전을 위한 연료의 수송과정에는 대규모의 항만시설과 막대한 수송능력이 뒤따라야 하고 비산분진 등의 대기환경오염과 사고에 의한 해양오염의 가능성이 있다. 화석연료의 대기오염물질은 주로 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, 분진 및 CO<sub>2</sub>이며, 소량 오염물질로는 염소, 불소, 일산화탄소, HC 등이 있다. 또한 연소시 연료에 포함되어 있던 라돈이나 우라늄 등의 방사성물질을 배출한다. NAPA('70)의 연구에 따르면 대기환경 오염물질의 발생원 대부분이 화석연료의 연소에 의해 생성되며, 문제가 되는 SO<sub>x</sub>의 경우는 전체 발생량의 73%, NO<sub>x</sub>는 50%, 분진은 31%를 차지한다. 액체폐기물로는 황산, 염소, 유기물 등을 배출하고 있으며, 고체폐기물인 연소에 의한 재의 생성은 처리부지, 비산분진, 수질오염 등의 2차 환경문제를 야기한다.

원자력발전소의 경우 정상가동시 기체 및 액체 방사성물질이 환경에 배출되고 있지만 그 영향은 무시할 수 있는 정도이다. 그러나 사고에 의해 방사성물질이 다량 대기중으로 누출될 경우 주변지역 환경 및 주민에 대한 영향은 매우 심각할 것으로 예상되므로 사고의 예방에 만전을 기하여야 한다. 원자력발전소에서 배출되는 방사성폐기물중 특히 중요한 것은 고체폐기물이다. 중저준위 고체폐기물은 고형화하여 콘크리트에 포장한후 일정기간 동안 발전소내에 밀봉저장한다. 그 후 해양

〈표4〉 전력생산을 위한 환경오염 총량

항목		연도		2030			
		1988	2001	1	2	3	4
설비구성	원자력 (%)	33.7	34.5	40	50	60	80
	석탄 (%)	18.6	42.9	40	0	0	0
	석유 (%)	24.1	10.1	-	-	-	-
	LNG (%)	13.1	10.4	15	45	35	15
	수력 (%)	11.1	10.1	5	5	5	5
	계 (GWe)	19.9	35.7	124	124	124	124
발전량구성	원자력 (%)	49.6	46.6	51.6	63.9	77.3	90.0
	석탄 (%)	23.2	40.0	38.4	0	0	0
	석유 (%)	10.9	10.5	-	-	-	-
	LNG (%)	12.5	1.9	9.2	35.1	21.8	9.0
	수력 (%)	3.8	2.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	계 (TWh)	81.3	178.4	510	510	510	510
연간오염 물질 발생량 (만톤)	CO <sub>2</sub>	3,370	9,750	25,558	8,718	5,406	2,289
	SO <sub>x</sub>	23	68	121	8	5	2
	NO <sub>x</sub>	7	13	43	57	35	15
	방사성	0.71	1.34	4.8	6.0	7.2	8.4
	고체폐기물						

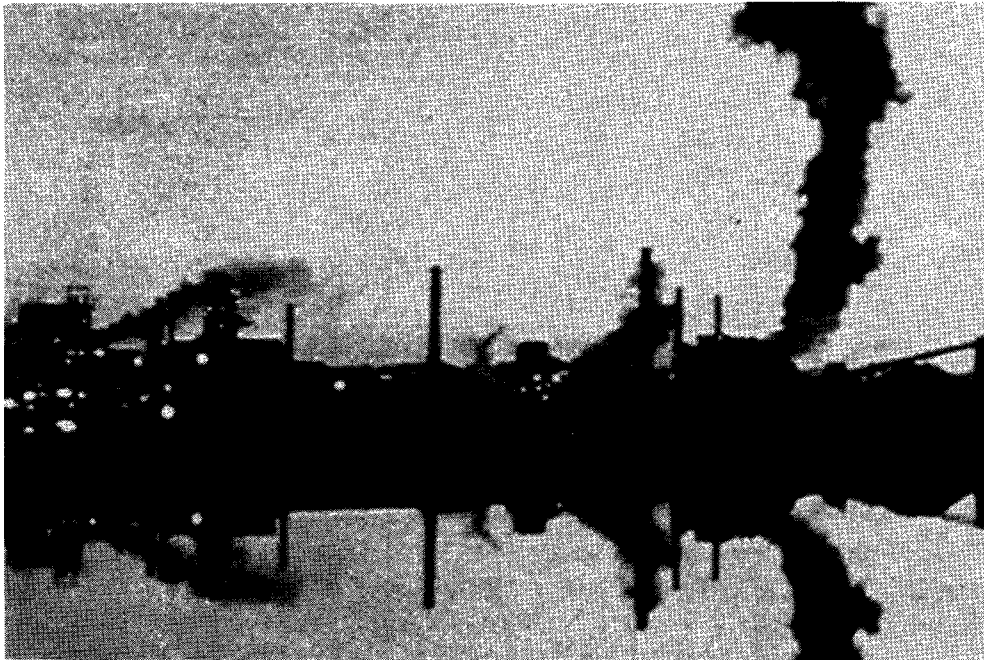
투기, 천층처분 또는 동굴처분을 한다. 고준위 고체폐기물의 처리는 지층처분 또는 동굴처분의 방식으로 최종처리될 수 있다.

화력발전소의 오염물질에 관한 기준으로는 대기오염기준 및 발전소 배출구에서 나오는 배출기체의 농도규제가 있다. 우리나라의 경우 현재 대기기준은 연평균 SO<sub>x</sub> 및 NO<sub>x</sub> 0.05ppm, 분진 0.15mg / m<sup>3</sup>로 규제되고 있고, 석탄화력발전소 배출구에서의 배출허용기준은 SO<sub>x</sub> 1,800ppm, NO<sub>x</sub> 500ppm 및 분진 400mg / m<sup>3</sup> 미만으로 규제되고 있다.

정상운전중 원자력발전소의 방사능 유출에 의한 주변지역 주민의 연간 최대허용피폭량은 0.5 rem으로 규정되어 있다. 특히, 원자력발전소의 기체폐기물은 주민에 대한 연간 최대허용피폭선량을 5mrem 미만으로 낮추도록 설계상으로 요구되고 있으며, 비용편익분석에 의한 최저수준의 방사능 유출을 위한 저감설비의 부착을 유도하고 있다.

원자력과 석탄화력발전의 사고 및 대기오염물질에 대한 개인별 위험도의 비교에 관한 연구에서 법적기준을 근거로 하였을때 석탄화력의 위험도가 원자력에 비해 400배 정도 큰 것으로 발표되었으며, 동일발전량 기준으로 종합적인 대중의 인체영향에 관한 위험도 비교에서도 석탄화력이 수백배 정도 원자력 보다 큰 것으로 발표되었다.

현재 우리나라는 발전소 건설전에 환경영향평가를 실시하여 환경청장과 협의하도록 규정하고 있는데, 1980년대 이전에는 원자력발전소에만 적용시켜왔으나 1980년 이후부터는 전 발전설비에 확대적용시키고 있다. 국내 전력생산과 관련된 환경오염현황은 타 환경오염과 비교하여 심각한 정도는 아니지만, 2000년대 대용량 화력 및 원자력발전소의 집중 건설에 있어서 좁은 국토 및 높은 인구밀도를 고려할때 부지선정 및 종합환경영향은 장기 전력공급계획에 매우 중요한 제약 요인이 될 것이므로 사전에 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.



석탄화력의 환경영향 저감기술로서 탈황설비, 탈질설비, 전기집진기 및 연소방법의 개선을 통하여 대기오염물질의 제거가 가능한데, 기술적으로는 실증이 되었으나 설비에 대한 투자비 및 운영비 등으로 인하여 화력발전에 대한 경제성이 감소한다. 막대한 재의 처리를 위한 산업적 이용방법이 개발되고 있고, CO<sub>2</sub> 제거방법으로는 CO<sub>2</sub> 발생량이 적은 천연가스로의 전환이나 비화석연료(원자력, 신재생 에너지 등)로의 전환 정도의 방법이 제시되고 있다.

원자력발전의 방사성폐기물에 관하여서는 중저준위 고체폐기물은 고형화하여 콘크리트에 포장하여 일정 기간 동안 발전소에 밀봉저장한 후 천층처분 또는 동굴처분을 하고 있다. 고준위 고체폐기물의 처리는 안전성 및 기술성은 거의 인정된 상태이고, 최종처리방식이 결정될 때까지 발전소에 저장되거나 중간저장소에서 완전히 격리하여 저장하고 있다.

원자로의 폐로는 현재까지는 소형실험로의 경험 밖에 없으나 현재의 기술로 가능한 상태이다.

다만 방사선피폭량 감소 및 경제성 제고를 위하여 기술이 개발되고 있다.

#### 4. 長期電源開發에 의한 總量的 環境影響評價

국내 에너지소비에 의한 환경오염현황을 살펴보면 1987년 현재 CO<sub>2</sub> 2억톤, SO<sub>x</sub> 220만톤, NO<sub>x</sub> 28만톤 및 분진 550만톤이 발생하고 있고, 그중 석탄의 연소에 의한 것이 CO<sub>2</sub> 55%, SO<sub>x</sub> 25%, NO<sub>x</sub> 48%, 분진은 98%를 차지하고 있다. 한편 전력을 생산하기 위해 발생된 오염물질은 CO<sub>2</sub> 3,300만톤, SO<sub>x</sub> 24만톤, NO<sub>x</sub> 7만톤, 분진 110만톤에 이르고 있다.

2001년까지의 동력자원부의 장기 전원계획에 의하면 2001년의 설비용량이 1988년 대비 19.9 GWe에서 35.7GWe으로 되었으며, 원자력발전 설비용량은 6.7GWe에서 12.3GWe으로 증가한 반면, 유연탄화력은 2.7GWe에서 11.7GWe으로

무려 4배나 증가하여 발전량 구성비에 있어서도 1988년에 전체의 19.6%에서 37.6%로 증가하게 되었다. 현 계획에 의하여 2001년에 전력부문에 서 발생될 대기오염물질은 CO<sub>2</sub> 1억톤, SO<sub>x</sub> 68만톤, NO<sub>x</sub> 13만톤, 분진 406만톤으로 1988년 현재 에너지 전체에 의한 대기오염의 약 50%에 이르는데, 이는 주로 유연탄화력의 집중 건설 및 석유 발전소의 연평균 이용률의 증가에 기인한다.

2030년까지의 설비용량은 124GWe으로 추정되는데, 각 발전원별 설비용량 및 발전량 비중에 따라 오염물질의 발생량이 큰 차이를 보이게 된다. 표4에는 4가지의 발전원 구성형태에 의한 환경오염물질 발생량이 추정되어 있다.

## 5. 結論 및 對處方案

### 가. 長期電源開發과 環境問題

현행 에너지정책 및 환경정책에 적절한 대응이 없을 경우에는 2000년대 장기 전원개발과 관련한 국내 환경영향은 심각할 것으로 보인다. 예측되는 주요 문제점을 살펴보면 다음과 같다.

- 에너지의 꾸준한 수요 증가로 환경오염의 총량적인 증가가 불가피
- 에너지를 전적으로 해외에 의존해야 하는 실정으로서 해외 에너지자원의 고갈 및 청정연료의 부족으로 환경오염이 심한 저질연료에의 의존도가 심화
- 산성비 및 기상이변 등에 대응하기 위한 국제적인 화석연료 사용의 제한 가능성
- 좁은 국토 및 높은 인구밀도는 상대적으로 환경문제를 더욱 악화시킬 것이고, 특히 발전소 부지가 제한되어 대응량화가 불가피한 바 이로 인한 대기오염 및 수질오염이 심화
- 유연탄발전에 의한 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, 분진 등의 대기오염, 재 처리, 폐수, 연료 수송 및 저장과 CO<sub>2</sub> 배출량 감축
- 원자력발전의 방사성폐기물의 영구처분

### 나. 中期對處方案

- 우리나라의 대기오염 규제기준은 선진국에 비하여 약 2배 이상 높으며 발전소 배출허용기준도 10배 정도 높은데, 높은 인구밀도와 현재 심각한 대기오염 현황으로 볼때 국내 대기오염물질 배출기준은 상당히 강화되어야 하고 총량적 의미의 환경오염물질 배출량 규제도 고려해야 한다.
- 석탄화력을 LNG로 점진적으로 대체한다.
- 원자력의 고체폐기물 및 사용후핵연료 등 방사성폐기물량을 감소시키기 위해 설계개선, 기술개발 등에 의한 원자력발전소의 효율 제고 및 장주기 고연소도 핵연료의 사용을 추진한다.
- 유연탄발전의 SO<sub>x</sub> 및 NO<sub>x</sub> 등의 폐기물량을 저감시키는 기술을 개발한다.
- 매 5년마다 전원계획에 대한 종합적 환경영향평가를 실시하여야 하며, 발전소 주변의 대기·수질오염 등을 감시할 수 있는 환경감시망의 설치가 요구된다.
- 고속증식로의 타당성을 면밀히 검토하여 조기 전환을 꾀한다.
- CO<sub>2</sub> 배출량 감소를 위해 상기 정책 이외에 신종합에너지체계(NHIES)로의 전환이 가능하도록 장기 에너지정책을 개발하고 보완한다.

### 다. 長期對處方案

- 대규모 환경오염방지와 온실효과 개선을 위한 국제적 노력의 현 추세에 따라 대기오염이 없는 원자력발전의 목표설비비중을 2030년에 69%까지 증대시킨다. 이를 위해 원자력산업의 적정한 수요를 유지하기 위하여 국내 수요 외에 개도국 수요를 경쟁적으로 충족시킬 수 있는 기반을 확보·개발하여 수출전략산업으로 육성한다.
- 재생 에너지자원 및 조력, 태양력 이용을 적극 추진한다.
- 환경영향을 최소로 할 수 있는 에너지공급체제로 전환한다.