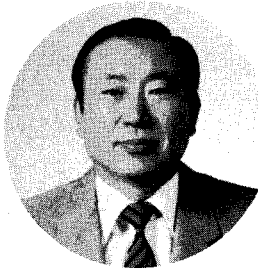


# 에너지開發과 環境影響



李 炳 暉

韓國科學技術院 核工學科 教授  
(韓國에너지協議會 諮問委員)

## 1. 地球規模化하는 環境問題

經濟成長의 필수요인이며 인류의 文明生活에 따른 욕구를 충족시켜 주는 에너지의 사용에는 環境의 汚染이 수반되는데, 環境은 일단 파괴되어버리면 原狀態로의 회복이 불가능하거나 몇 배의 努力과 費用이 들어간다.

최근 燬化불화탄소에 의한 오존층의 파괴, 대기중 CO<sub>2</sub> 농도증가로 인해 發生되는 온실효과와 기상 이변, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 등의 배출에 의한 산성비 등이 國際問題로 등장, 環境문제의 심각성과 함께 범세계적인 環境保護를 위한 협력의 필요성이 강조되고 있다. 또한 세계적으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 제한하자는 움직임까지 일고 있어 環境問題는 21세기 초까지 계속 각국의 에너지정책 수립에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

環境의 산성화에 대해서는 1982년 스톡홀름회의에서 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 등 국제적으로 이동가능성이 있는 汚染物質을 억제하기 위해 유럽 주요 국가간에 條約이 체결되는 등 탈황, 탈진설비 및 그 배출기준의 強化로 해결대책을 세워 수행하고 있지만 (표 1) 가장 다루기 어려운 문제는 지구의 온실효과를 가져오는 CO<sub>2</sub>에 관한 문제이다.

〈표 1〉 각국의 연간 대기오염물질 배출량(만톤)

구분	일본	미국	영국	서독	캐나다	중국	
SO <sub>x</sub>	1970	500	3,300	600	540	600	-
	1979	180	2,900	400	340	500	1,500
	1983	120	2,700	350	300	400	8,800
NO <sub>x</sub>	1975	200	2,000	-	-	-	-
	1983	130	2,200	200	300	-	-

\* 자료 : 일본산업공해, No. 7(1987)  
OECD, Environmental Data(1987)

화석연료의 연소에 의해 생기는 CO<sub>2</sub>의 대기중 농도증가가 地球溫度를 상승시키는 온실효과는, 현재와 같은 에너지 消費現象이 계속된다면(표 2) 21세기 중엽까지 지구대기온도가 1.5~4.5℃, 해면은 30~150cm 정도 상승하여 지구전체에 최대의 危機를 줄 것이라고 보고 있다. 이에 대응하기 위해 1988년 캐나다 토론토 정상회담 및 학술회의에서 2005년까지 先進國이 중심이 되어 CO<sub>2</sub> 발생량의 20% 減縮을 위해 에너지소비의 減縮, CO<sub>2</sub> 발생량이 적은 연료 사용(표 3), 에너지효율의 向上, 新再生 에너지技術 開發, 원자력의 확대이용 등을 권고하기로 결의하였으며 화석연료 使用에 비례하는 조

림사업도 추진하기로 하였다.

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

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

〈표 3〉 화석연료 연소시 CO<sub>2</sub>발생량(1000 kcal 연소당)

구분	석탄	석유	천연가스
발생량(m <sup>3</sup> )	0.18	0.153	0.105
비율	100 %	85 %	58 %

'89년 3월 네덜란드 헤이그 환경서밋에서 유럽, 아프리카, 남미 등 세계 24개국의 指導者들은 지구의 환경피해가 날로 심각해지고 있다는데 인식을 같이하고 이를 막기 위한 환경감시기구를 유엔에 新設한다는데 합의했다. 또한 1989년 5월 케냐의 나이로비에서 WHO, UNEP 주최로 열린 기후변동에 관한 정부간 회의에서는 CO<sub>2</sub> 문제에 대하여 선진국 뿐만 아니라 후진국에서도 共同努力이 필요함에 그 認識을 같이 하는등 환경문제가 국제정치는 물론 國際經濟에도 큰 영향을 주는 주요 變數로 등장하고 있다.

## 2. 國內環境問題

국내의 환경문제는 선진각국에 비하여 심각한 편이나 그간 經濟成長의 그늘에 가려져 汚染防止 설비투자가 저조하였다. 좁은 국토면적과 인구증가 및 경제성장으로 인한 都市化現象 등으로 이미 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, 분진 등에 대한 전국 주요도시의 오염현황은 선진국에 비하여도 상당히 느슨한 대기오염 설정치를 훨씬 超過하고 있으며(표 4), 한편으론 경제성장을 계속해야 하는 開發途上國으로서 에너지의 사용을 피할 수 없어 환경오염원의 증가요인을 안고 있다. 추후 한국의 에너지수급에 있어서 국내상황의 특수성이나 세계적 환경보호압력 증가 등의 추세로 보아 環境問題는 가장 중요한 제약요인으로 등장할 것이다.

〈표 4〉 서울의 대기오염 현황(1988년)

구분	서울연평균	국내대기 환경기준치	WHO권고치	단위
SO <sub>x</sub>	0.088	0.05	0.014-0.021	ppm
분진	175	150	40-60	10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup>

## 3. 電力生産과 環境影響

전력생산과 관련된 환경영향은 전체 환경오염의 4분의 1 이상을 차지하고 있고 대규모이므로 效果的인 저감이 이루어질 수 있다는 점에서 국가전체의 環境保存政策에 지대한 영향을 미친다.

여기서는 미래의 주전력원인 유연탄화력과 원자력 발전이 人體 및 環境에 미치는 영향을 비교, 평가해 봄으로써 전력생산에 있어서의 環境汚染 대처방안을 살펴보고자 한다.

火力發電을 위한 연료의 수송과정에는 大規模의 항만시설과 막대한 수송능력이 뒤따라야 하고 비산분진등의 대기환경오염과 사고에 의한 海洋汚染의 가능성이 있다. 화석연료의 대기오염물질은 주로 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, 분진 및 CO<sub>2</sub>이며 소량오염물질로는 염소, 불소, 일산화탄소, HC 등이 있다. 또한 연소시 연료에 포함되어 있던 라돈이나 우라늄 등의 방사능 물질을 배출한다. NAPA('70)의 研究에 따르면, 대기환경 오염물질의 발생원 대부분이 화석연료의 燃燒에 의해 생성되며, 문제가 되는 SO<sub>x</sub>의 경우는 전체발생량의 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 環境問題를 야기한다.

원자력발전소의 경우, 정상가동시 기체 및 액체 방사능물질이 環境에 배출되고 있지만 그 영향은 무시할 수 있는 정도이다. 그러나, 사고에 의해 방사성 물질이 다량 대기중으로 누출될 경우 주변지역 環境 및 住民에 대한 영향은 매우 심각할 것으로 예상되므로 사고의 예방에 만전을 기하여야 한다. 원자력 발전소에서 배출되는 방사성폐기물 중 특히 중요한 것은 固體廢棄物이다. 中低準位 고체폐기물은 고형화하여 콘크리트에 포장한 후 일정기간 동안 발전소내에 밀봉저장한다. 그 후 해양투기,

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

火力發電所의 오염물질에 관한 기준으로는 대기오염기준 및 발전소 배출구에서 나오는 배출기체의濃度規制가 있다. 우리나라의 경우 현재 대기기준은 연평균 SO<sub>x</sub> 및 NO<sub>x</sub> 0.05ppm, 분진 0.15 mg/m<sup>3</sup>로 규제되고 있고 석탄화력발전소 배출구에서의 배출허용기준은 SO<sub>x</sub> 1800ppm, NO<sub>x</sub> 500 ppm 및 분진 400mg/m<sup>3</sup> 미만으로 규제되고 있다.

정상운전중 원자력발전소의 방사능유출에 의한 주변지역 주민의 연간 최대허용피폭량은 0.5 rem으로 규정되어 있다. 특히 원자력발전소의 기체폐기물은 주민에 대한 연간 최대허용피폭선량을 5 mrem미만으로 낮추도록 설계상으로 요구되고 있으며 費用便益分析에 의한 최저수준의 방사능유출을 위한 저감설비의 부착을 유도하고 있다.

원자력과 석탄화력 발전의 사고 및 대기오염물질에 대한 개인별 위험도의 비교에 관한 연구에서 법적기준을 근거로 하였을 때 석탄화력의 危險度가 원자력에 비해 400배 정도 큰 것으로 발표되었으며(표 5), 동일발전량 기준으로 종합적인 대중의 인체영향에 관한 위험도 비교에서도 석탄화력이 수백 배 정도 원자력보다 큰 것으로 발표되었다(표 6).

〈표 5〉 대기가스 규제치에 의한 주민 개인별 사망율

구분	위험원	규제치	연간 사망위험도
원자력	전신피폭	0.005rem/yr	5.0×10 <sup>-7</sup>
	갑상선피폭	0.015 rem/yr	7.5×10 <sup>-6</sup>
화력	SO <sub>x</sub>	20×10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup>	7.8×10 <sup>-5</sup>
	분진	1×10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup>	1.6×10 <sup>-4</sup>

\* 자료 : Nuclear Safety Vol.20 No.5(1979)

현재 우리나라는 발전소 건설전에 環境影響評價를 실시하여 환경청장과 협의하도록 규정하고 있는데, '80년대 이전에는 원자력발전소에만 적용시켜 왔으나 1980년 이후부터는 전 발전설비에 擴大適用시키고 있다. 국내 전력생산과 관련된 환경오염현황은 타 환경오염과 비교하여 심각한 정도는 아니지만, 2000년대 대용량 화력 및 원자력발전소의

〈표 6〉 1GWe-yr 발전을 위한 작업인 인체영향 비교

구분		석탄	원자력
작업인	사망	0.03-0.45	0.15
	질병	4-6	1.9
주민	사망	대기오염 15(0-77)	방사능에 의한 암 : 0.02 파국적인 사고 : 0.1
	질병	대기오염77(0-385)	방사능에 의한 암 : 0.02

집중건설에 있어서 좁은 국토 및 높은 인구밀도를 고려할 때, 부지선정 및 종합환경영향은 장기 전력공급계획에 매우 중요한 제약요인이 될 것이므로 사전에 이에 대한 충분한 檢討가 필요하다. 서산 유연탄화력발전소와 영광 원자력발전소의 환경영향평가보고서에 의하여 단위부지당 4000 MWe 용량을 기준으로 한 주요 환경영향을 比較해 보면 다음 표 7과 같다.

석탄화력의 환경영향 저감기술로서 탈황설비, 탈진설비, 전기집진기 및 연소방법의 개선을 통하여 대기오염물질의 제거가 가능한데 기술적으로는 실증이 되었으나 설비에 대한 투자비 및 운영비 등으로 인하여 화력발전소에 대한 經濟性이 감소한다. 막대한 재의 처리를 위한 산업적 이용방법이 개발되고 있고, CO<sub>2</sub> 제거방법으로는 CO<sub>2</sub> 발생량이 적은

〈표 7〉 유연탄화력과 원자력의 환경영향비교

항목	석탄화력	영광원자력
총용량	500MWe 8기	1000MWe 4기
부지면적	5,965,000 m <sup>2</sup>	2,840,000 m <sup>2</sup>
연간연료사용량	유연탄 1천만톤	핵연료 100톤
연간오염물질발생량	CO <sub>2</sub> : 3천만톤 SO <sub>x</sub> : 17만톤 NO <sub>x</sub> : 8만톤 분진 : 111만톤 유독성가스 : 8천톤 유동성액체 : 4천톤 회 : 147만m <sup>3</sup>	기체방사능물질 : 18,500 Ci 액체방사능물질 : 3,520 Ci 사용후핵연료 : 1백톤 고체폐기물 : 5,072 트럼
대기오염원에 의한 환경영향	SO <sub>x</sub> : 2.53 ppb NO <sub>x</sub> : 1.70ppb 분진 : 1.53×10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup>	* 연평균개인피폭선량 기체 : 5.70 mrem 액체 : 0.055 mrem * LOCA시 개인피폭선량 2.34 mrem
온배수 (온도1℃상승지역)	연간 약240백만GJ 방출 만조시 : 2.5km 간조시 : 4.5km	연간 약290백만 GJ 방출 만조시 : 0.9km 간조시 : 1.1km

천연가스로의 전환이나 비화석연료(원자력, 신재생에너지 등)으로의 전환 정도의 방법이 제시되고 있다.

원자력발전 방사성폐기물에 관하여서는 중저준위 固體廢棄物은 고형화하여 콘크리트에 포장하여 일정기간동안 발전소에 밀봉저장한 후 천층처분 또는 동굴처분을 하고 있다. 고준위 고체폐기물의 처리는 安全性 및 技術性은 거의 인정된 상태이고, 최종처리방식이 결정될 때까지 발전소에 저장되거나 중간저장소에서 완전히 격리하여 저장하고 있다. 원자로의 폐로는 현재까지는 소형실험로의 경험밖에 없으나 현재의 기술로 가능한 상태이다. 다만 방사선피폭량 감소 및 경제성 提高를 위하여 기술이 개발되고 있다.

#### 4. 長期電源開發에 의한 총량적 環境影響 評價

國內 에너지소비에 의한 環境汚染 現況을 살펴 보면 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 電力을 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 長期電源計劃에 의하면, 표 8에 나타난 것과 같이 2001년의 설비용량이 1988년 대비 19.9 GWe에서 35.7 GWe으로 되었으며, 원자력발전 설비용량은 6.7 GWe에서 12.3 GWe으로 증가한 반면 유연탄화력은 2.7 GWe에서 11.7 GWe으로 무려 4배나 증가하여 발전량 構成比에 있어서도 1988년에 전체의 19.6%에서 37.6%로 增加하게 되었다. 현계획에 의하여 2001년에 전력부문에 발생할 大氣汚染物質은 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 집중건설 및 석유발전소의 연평균 이용율의 증가에 기인한다.

2030년까지의 설비용량은 124 GWe으로 추정되는데 각 발전원별 設備容量 및 發電量 비중에 따라 오염물질 발생량이 큰 差異를 보이게 된다. 표 8에는 4가지의 발전원 구성형태에 의한 환경오염물질 발생량이 推定되어 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 장기전원개발과 관련한 국내 환경영향은 심각할 것으로 보인다. 예측되는 주요 문제점을 살펴보면,

\* 에너지의 꾸준한 需要增加로 환경오염의 총량적인 증가가 불가피.

\* 에너지를 전적으로 해외에 의존해야 하는 실정으로서 해외 에너지자원의 枯渴 및 청정연료의 부족으로 환경오염이 심한 저질연료에의 依存度가 심화.

\* 산성비 및 기상이변 등에 對應하기 위한 국제적인 화석연료 사용의 제한 가능성.

\* 좁은 국토 및 높은 인구밀도는 상대적으로 환경문제를 더욱 惡化시킬 것이고 특히 발전소 부

〈표 8〉 국내 전력생산을 위한 환경오염 총량

항목	연도	1988	2001	2030			
				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 물질발생량 (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 고체폐기물	0.71	1.34	4.8	6.0	7.2	8.4

지가 제한되어 대용량화가 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 先進國에 비하여 약 2배 이상 높으며 발전소 배출허용기준도 10배 정도 높는데 높은 인구밀도와 현재 심각한 대기오염 현황으로 볼 때 국내 대기오염물질 배출 기준은 상당히 強化되어야 하고 총량적 의미의 환경오염물질 배출량 規制도 고려해야 한다.

\* 석탄화력을 LNG로 점진적으로 대체한다.

\* 원자력의 고체폐기물 및 사용후핵연료 등, 방사성 폐기물량을 減少시키기 위해 설계 개선, 기술 개발 등에 의한 원자력발전소의 效率提高 및 장주기 고연소도 핵연료의 使用를 추진한다.

\* 유연탄발전의 SO<sub>x</sub> 및 NO<sub>x</sub> 등의 폐기물 발생량을 저감시키는 技術을 開發한다.

\* 매 5년마다 전원계획에 대한 종합적 環境影響評價를 실시하여야 하며, 발전소 주변의 대기, 수질오염 등을 감시할 수 있는 환경감시망의 설치가 요구된다.

\* 고속증식로의 타당성을 면밀히 검토하여 조기 轉換을 꾀한다.

\* CO<sub>2</sub> 배출량 감소를 위해 상기 정책 이외에 신중합에너지체계(NHIES)로의 전환이 가능하도록 장기 에너지政策을 開發하고 補完한다.(그림 참조)

다. 長期 對處方案

\* 대규모 환경오염 防止와 온실효과 改善을 위한 국제적 노력의 현 추세에 따라 대기오염이 없는

원자력발전의 목표설비비중을 2030년에 60%까지 증대시킨다. 이를 위해 원자력산업의 적정한 수요를 유지하기 위하여 국내수요외에 開途國 수요를 경쟁적으로 충족시킬 수 있는 기반을 확보, 개발하여 輸出戰略産業으로 육성한다.

\* 재생에너지자원 및 조력, 태양열 이용을 적극 추진한다.

\* 환경영향을 최소로 할 수 있는 에너지공급체제로 轉換한다.

그림. NHIES (Novel Horizontally Integrated Energy System)

