

에너지와 환경 및 원자력교육

李炳暉 (한국과학기술원 명예교수)

I. 서론

에너지의 사용은 인류의 문명생활을 향상시키고 유지하는데 필수적인 요소이다. 인류 역사의 초기에는 거의 대부분의 에너지원이 인간의 근육과 동물이었으며, 그 다음 단계에서는 바람과 물을 이용하여 에너지를 얻다가 증기기관의 발명으로 석탄, 석유 등을 연소하여 필요한 에너지를 얻었다. 그후 원자력을 이용하여 전기를 생산하게 되었으며, 미래에는 재래식 화석연료의 자원한계와 환경보전의 필요성때문에 원자력의 비중이 커지고 재생에너지의 사용이 늘어날 것이며, 새로운 에너지원으로 핵융합이 등장하게 될 것이다.

효율적인 에너지 이용이 진전되고 있기는 하지만 이것만으로는 늘어나는 에너지수요를 충족하기에는 어렵다. 세계의 저소득국가의 평균소득과 경제활동이 현재의 고소득국가에 버금가는 수준에 이르게 되기 위해서는 저소득국가의 에너지 소비량이 현재의 5배, 즉 1인당 약 100GJ¹⁾까지 늘어나야 할 것이다. 이 수치는 현재 저소득국을 제외한 전세계 평균 에너지 소비량의 절반 수준이 되는 것이다. 이것이 실현되면 인구 100억명의

세계 에너지 수요량은 1조GJ에 달하게 된다(한국 원자력학회, 1996).

이를 가능하게 하는 이용 가능한 에너지원은 존재하는가? 세계의 에너지 자원 중에 석유, 천연가스 및 석탄의 매장량 및 생산량은 <표 1>과 같다. 조만간 고갈될 것 같이 보이지만 실은 앞으로 반세기동안 그 신장분만큼의 화석연료 자원 정도는 매장되어 있는 것은 확실하다. 어느 광물질을 막론하고 만일 수요가 발생하면 더 많은 매장량을 발견해 냈던 것이 지금까지의 역사적 경험이다. 그러나 이제부터는 필요한 자원을 계속해서 발견해 낼 수 있을지가 의문이고, 화석연료가 연소할 때 배출되는 가스가 환경에 악영향을 미치기 때문에 이에 대해 우려하는 소리가 높아 그 소비증가는 제약을 받을 가능성이 높다. 따라서 미래의 에너지 공급의 원활을 기하기 위해서는 다른 에너지원을 계속해서 개발하지 않으면 안된다.

부존자원이 없어 에너지의 97% 이상을 해외에서 수입하고 있는 우리나라에서도 인구와 소득증가로 인해 에너지 수요는 계속해서 늘어날 전망이다. 더욱이 그동안 경제성장을 위해 소홀히 했던 환경오염의 문제에도 관심을 쏟아야 한다. 따

1) 1GJ=278kWh, 혹은 28liter의 석유가 탈 때 나오는 열에너지에 해당

〈표 1〉 세계 에너지 자원의 매장량 및 생산량

| | 석유(1990) | 천연가스(1990) | 석탄(1989) |
|---------|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 최종 자원량 | 1.8 ~ 3.2조 배럴 | 195 ~ 340조 m ³ | 10조 톤 |
| 전세계 매장량 | 10,092억 배럴 (1,365억 TOE) | 119조 m ³ (1,018억 TOE) | 1.083조 톤 (7,573억 TOE) |
| 전세계 생산량 | 6,486만 배럴/일 (31.5억 TOE) | 1.91조 m ³ (17.6억 TOE) | 47.2억 톤 (33.0억 TOE) |
| 가채년수 | 32년(1983년) 43.4년(1990년) | 58년 (1983년) 58.2년 (1990) | 170년 (1983년) 230년 (1989년) |

TOE(Ton of Oil Equivalent)

자료 : BP Statistical Review of World Energy 1990, 1991

라서 본 고에서는 차후 우리나라에서 전력에너지 원으로서 기능할 석탄화력과 원자력의 환경영향을 살펴보고 재생에너지의 활용과 그 한계에 대해 지적한 후 원자력에너지의 역할과 중요성을 강조하고자 한다. 그리고 원자력의 중요성을 국민들에게 인식시키기 위한 에너지문제와 환경에 관한 교육이 매우 중요함을 거론하고자 한다.

II. 에너지사용에 의한 환경영향

1. 지구규모화하는 환경문제

경제성장의 필수요인이며 인류의 문명생활에 따른 에너지 사용에는 환경의 오염이 수반되는데, 환경은 일단 파괴되어 버리면 원상태로의 회복이 불가능하거나 엄청난 노력과 비용이 들어간다.

최근 프레온가스에 의한 오존층의 파괴, 대기 중 CO₂ 농도증가로 인해 발생하는 온실효과와 기상이변, SO_x, NO_x 등의 배출에 의한 산성비 등이 국제문제로 등장, 환경문제의 심각성과 함께

범세계적인 환경보호를 위한 협력의 필요성이 강조되고 있다. 또한 세계적으로 CO₂ 배출량을 제한하려고 하고 있어 환경문제는 21세기초까지 계속 각국의 에너지 정책 수립에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

환경의 산성화에 대해서는 1979년 스톡홀름회의에서 SO_x, NO_x 등 국제적으로 이동가능성이 있는 오염물질을 억제하기 위해 유럽 주요 국가 간에 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 CO₂에 관한 문제이다.

대기중의 CO₂ 농도는 산업혁명 전까지 약 280ppmv²⁾로 알려져 있으며 그후 인류 산업활동의 증가, 삼림면적의 축소 등으로 최근의 전지구적 농도는 약 356ppmv에 이르고 있다. 증가율은 매년 약 0.5% 정도이다. 대기중 온실기체가 증가하면 온실효과와 증대로 기온이 상승할 것이라는 데에는 대체로 의견이 일치하지만 어느 정도 상승할 것인가에는 과학적 불확실성이 많이 개입되

2) 1ppmv = 1 part per million by volume

〈표 2〉 기후변화 협약의 주요 내용

| | | |
|---------|---|---|
| 목적 (2조) | 기후체계의 위험한 변화를 방지할 수 있는 수준으로 온실가스 농도 안정화 | |
| 원칙 (3조) | <ul style="list-style-type: none"> - 형평성 : 공통의 그러나 차별화된 책임, 개도국의 특수사정 고려 - 효율성 : 예방의 원칙, 정책·조치·대상온실가스의 포괄성, 공동이행 - 경제발전 : 지속가능한 개발의 촉진, 개방적 국제경제체제의 촉진 | |
| 의무 사항 | 일반 | 온실가스 배출통계 작성 발표, 정책 및 조치의 이행, 연구 및 체계적 관측, 교육 훈련 및 공공인식, 정보교환 |
| | 특정 | <ul style="list-style-type: none"> - 배출원 흡수원에 관한 특정의무사항: 온실가스 배출을 2000년에 1990년 수준으로 안정화할 것을 목표로 노력 (4조 2항) - 재정지원 및 기술이전에 관한 특정공약 (4조 3-5항) - 개도국의 특수상황 고려 (4조 8항 - 10항) |

어 있다. Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC, 1992)에서는 세계의 주요 연구결과들을 종합하여 CO₂ 2배 증가시 예상되는 기후변화를 제시하고 있는데 여기에 따르면 온도는 대류권 하층의 지표면 부근에서 1.5~4.5°C 상승할 것이며 강수량은 전지구적으로 3~15% 증가하고 해수면은 40~160cm 정도 상승하여 기상변화는 물론 지구전체에 최대의 위기를 가져올 것이라고 보고 있다(에너지경제연구원, 1994).

이에 대응하기 위해 1992년 6월 브라질의 리우데 자네이루에서 개최된 유엔환경개발회의에서는 기후변화협약이 채택되었고 1994년 3월 정식 발효되어 현재까지 약 160여개국이 비준하여 세계의 주요한 국제환경협약이 되었다. <표 2>는 기후변화협약의 주요내용이다.

온실가스의 배출을 최소화하여 지구기후의 안정성을 회복하는 것을 목표로 하는 기후변화협약은 각국의 경제성장 방식 및 개발방식에 커다란 변화를 예고하고 있다. 에너지세/탄소세나 배출권 거래제도 등 경제수단의 도입에 의한 온실가스의 저감책이 국제적으로 이행될 경우 각국은 에너지, 경제, 산업, 환경 및 과학부문에 커다란 영향을 받을 것이므로 이에 대한 경제적 영향을 최소화함과 동시에 상호보완적인 에너지-경제-환경정책의 수립이 요구된다.

우리 나라의 이산화탄소 배출량은 1990년 현재 세계 16위에서 2000년에 9위가 된 후, 2010년 6위를 기록할 것으로 예상되어 세계적 주목의 대상이 될 가능성이 있다. 국민 1인당 배출량도 계속 증가하여 1990년 1.52 탄소톤으로 미국, 일본 등에 비하여 낮은 수준이나 2000년 이전에 일본수준, 2000년에 3.2탄소톤으로 유럽국가 수준을 넘어서며 2020년 이후엔 가장 높은 수준인 미국과 비슷하게 될 전망이다.

2. 전력생산과 환경영향

전력생산과 관련된 환경영향은 전체 환경오염의 8분의 1 이상을 차지하고 있고 대규모이므로 효과적인 저감이 이루어질 수 있다는 점에서 국가 전체의 환경보존정책에서 차지하는 비중이 크다. 여기서는 미래의 주 전력원인 유연탄화력과 원자력발전이 인체 및 환경에 미치는 영향을 비교, 평가해 봄으로써 전력생산에 있어서의 환경비용을 비교해 보고자 한다.

화력발전을 위한 연료의 수송과정에는 대규모의 항만시설과 막대한 수송능력이 뒤따라야 하고 비산분진 등의 대기환경오염과 사고에 의한 해양오염의 가능성이 많다. 화석연료의 대기오염물질은 주로 SO_x, NO_x, CO, 분진 및 CO₂이며 소량

〈표 3〉 국내의 대기오염물질 배출량

(단위 : 톤/년)

| | | 계 | SO ₂ (아황산가스) | NO ₂ (이산화질소) | 먼지 | CO (일산화탄소) | HC (탄화수소) |
|-------------|------|-----------|----------------------------|----------------------------|---------|---------------|--------------|
| 전체 발생량 | 1993 | 4,583,839 | 1,571,700 | 1,186,697 | 389,750 | 1,290,527 | 145,165 |
| | 1994 | 4,526,250 | 1,602,764 | 1,191,533 | 429,398 | 1,156,464 | 146,091 |
| 전력부분발 생량 | 1993 | 677,904 | 339,161 | 190,975 | 132,941 | 13,688 | 1,139 |
| | 1994 | 643,203 | 329,945 | 129,086 | 165,251 | 17,569 | 1,352 |

오염물질로는 염소, 불소, HC(탄화수소) 등이 있다. 또한 연소시 연료에 포함되어 있던 라돈이나 우라늄 등의 방사능물질을 배출한다. 국내의 전력부분에서 발생하는 대기오염물질 배출량이 <표 3>에 나와 있다(환경부, 1995).

원자력발전의 경우 정상가동시 기체 및 액체 방사능물질이 환경에 배출되고 있지만 그 영향은 무시할 수 있는 정도이다. 원자력발전소에서 배출되는 방사성폐기물중 특히 중요한 것은 고체폐기물이다. 중저준위 고체폐기물은 고형화하여 콘크리트에 포장한 후 일정기간 동안 발전소 내에 밀봉 저장한다. 고준위 고체폐기물은 지층처분 또는 동굴처분의 방식으로 최종 처리될 수 있다.

화력발전소의 오염물질에 관한 기준으로는 대기오염기준 및 발전소굴뚝에서 나오는 배출기체의 농도규제가 있다. 우리나라의 경우 현재 대기 기준은 연평균 SOx 0.03ppm, NOx 0.05ppm, 분진 0.15mg/m³로 규제되고 있다.

정상운전중 원자력발전소의 방사능유출에 의한 주변지역 주민의 연간최대 허용피폭량은 0.5렘으로 규정되어 있다. 특히 원자력발전소의 기체폐기물은 주민에 대한 연간 최대허용 피폭선량을 5밀리렘 미만으로 낮추도록 설계상으로 요구되고 있으며 비용편익분석에 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 위

험도가 원자력에 비해 400배 정도 큰 것으로 발표되었으며(<표 4>참조), 동일 발전량 기준으로 종합적인 대중의 인체영향에 관한 위험도 비교에서 석탄화력이 수백 배 정도 원자력보다 큰 것으로 발표되었다(<표 5> 참조).

〈표 4〉 발전원별 방출원 규제치에 의한 주민 개인별 사망률

| 구분 | 위험원 | 규제치 | 연간사망위험도 |
|-----|-------|------------------------|---------|
| 원자력 | 전신피폭 | 0.005렘/년 | 5.0e-7 |
| | 갑상선피폭 | 0.015렘/년 | 7.5e-8 |
| 화력 | SOx | 20e-6g/m ³ | 7.8e-5 |
| | 분진 | 1.0e-6g/m ³ | 1.6e-4 |

물론 원전의 중대사고시에는 상황이 다르다. 1986년 4월 소련의 체르노빌 원전사고로 원자로심이 녹아내려 많은 핵분열 생성가스와 방사능오염물질이 원자로 외부로 방출되어 작업자 31명이 사망하고 방사능이 원전을 중심으로 300km까지 오염시켰으며, 이로 인한 경제적 손실은 280억 \$로 추정되었다. 이 사고 이후 세계 각국에서 원전의 안전성에 대한 심각한 회의가 개진되고 사회적·국제적 문제로 대두되어 원전의 안전성에 대한 인식이 크게 바뀐 것이 사실이다.

그러나 소련의 체르노빌 원전의 설계개념과 구미의 원전 설계개념은 차이가 있다. 중대사고였던

<표 5> 100만 kW년 발전을 위한 작업인과 주민 인체영향 비교

| 구 분 | | 석 탄 | 원 자 력 |
|-----|----|------------------------------|-------------------------------|
| 작업인 | 사망 | 0.03~0.45 | 0.15 |
| | 질병 | 4~6 | 1.9 |
| 주민 | 사망 | 대기오염 최량값 : 15 (최소 0 ~ 최대 77) | 방사능에 의한 암 : 0.02 파국적인 암 : 0.1 |
| | 질병 | 대기오염 최량값 : 77(최소 0 ~ 최대 385) | 방사능에 의한 암 : 0.02 |

Three Mile Island(TMI)의 경우 똑같이 원자로심이 녹아내린 사고였으나 다중심층방호개념 및 그에 따른 공학적 안전장치 덕분에 인명피해는 전혀 없었고, 방사성 기체가 원자로 밖으로 유출되

었으나 인체나 주변 생태계에는 전혀 영향이 없었음이 확인되었다.

현재 우리 나라는 발전소 건설 전에 환경영향 평가를 실시하도록 규정되어 있다. 국내 전력생산

<표 6> 국내 전원별 환경영향 평가내용의 요약

| 비교호기 | 서산화력 1, 2호기 | 일도LNG복합화력 | 영광원자력 3, 4호기 |
|--------------------|---|---|--|
| 용량 및 노형 | 500MWe 2기, 유연탄 | 300MWe 4기, 가스터빈 | 1,000MWe 2기, PWR |
| 연간 연료 사용량 | 유연탄 2,453,367톤 경유 8,310, 103리터(2기) | LNG 627,600톤 (4기) | 핵연료 25톤(1기) |
| 연간 폐기물 발생량 | (연간 2기 가동시) SO ₂ : 42,008톤 NO ₂ : 19,895xhs 분진 : 279,097톤 회 : 366,825m ³ | (연간 4기 가동) NO ₂ : 497,664톤 | (연간 1기 가동) 기체 : 4,625Ci 액체 : 880Ci 고체 : 1,268드럼 사용후핵연료 : 25톤 |
| 대기오염원에 의한 환경영향 | (8기 가동시 연평균 최대농도) SOx : 2.53ppb NO ₂ : 1.70ppb 분진 : 1.53μg/m ³ | (12기 가동시 최대농도) NO ₂ 연평균 : 13.9ppb 시간당 : 128.0ppb | (4기 가동시 연평균 개인 피폭선량) 기체 : 5.7밀리렘 액체 : 0.0548밀리렘 (Loss-Of-Coolant Accident(LOCA)사고시 개인 피폭선량 : 2.34밀리렘) |
| 운전으로 인한 소음 (dB) | 2기운전시 : 43-52 8기운전시 : 49-58 | 군산화력 375MWe: 50 | - |
| 온배수영향 (온도 1℃ 상승지역) | (8기 운전시) 만조 : 2.5km 간조 : 4.5km | (12기 운전시) 만조 : 1.5km 간조 : 2.0km | (4기 운전시) 만조 : 0.9km 간조 : 1.1km |

과 관련된 환경오염 현황은 타 환경오염과 비교하여 심각한 정도는 아니지만 2000년대 대용량 화력 및 원자력발전소의 집중 건설에 있어서 좁은 국토 및 높은 인구밀도를 고려할 때, 부지선정 및 종합 환경영향은 장기 전력공급계획에 매우 중요한 제약요인이 될 것이므로 사전에 이에 대한 충분한 검토가 필요하다. 서산 유연탄 화력발전소와 영광 원자력발전소의 환경영향평가보고서에 의하면 단위 부지당 4,000MWe 용량을 기준으로 한 주요 환경영향을 비교해 보면 <표 6>와 같다.

Ⅲ. 신재생에너지의 개발과 한계

1 개발현황

지금까지 국제적으로 통용되고 있는 신재생에너지를 구분하면 크게 자연에너지, 신에너지, 재활용에너지 분야로 나눌 수 있다. 자연에너지는 태양열, 태양광 등의 태양에너지와 조력, 파력, 온도차발전 등의 해양에너지, 풍력에너지, 지열, 소수력 그리고 바이오에너지로 대별된다. 신에너지는 연료전지, Magneto-Hydro-Dynamics(MHD) 발전, 수소에너지와 바이오일렉트릭 등 신기술 분야를 말하며, 재활용에너지는 석탄 청정화 기술로 Coal-Oil Mixture(COM), Coal-Water Mixture(CWM), 액화, 가스화 등이 있으며, 산업 폐열, 도시폐기물, 고온배기가스 이용, LNG 냉열 등의 재활용기술과 신탄 등 대체연료를 포함한다.

일반적으로 대체에너지의 전략적 가치로서 환경부하가 적고, 재생가능한 특성때문에 고갈의 우려가 없다는 점이 강조된다. 또 연소과정이 불필요한 에너지원이 많기 때문에 직접 열을 이용하거나 온수공급, 전력생산 등으로 청결한 최종에너지를 편리하게 이용할 수 있다는 점이 강조되고 있다. 그러나 이와 같은 일반론으로 대체에너지

전반을 이해하는 것은 오해의 소지가 많다. 각 에너지원별로 그 특성을 알아야만 그 실용성과 한계를 파악할 수 있다(동력자원부, 1991).

신재생에너지원은 그 잠재적 가용량 자체는 엄청나지만, 에너지 밀도가 매우 낮거나 간헐적으로 지니고 있기 때문에 이를 개발하여 실용화하기까지는 많은 노력과 제약된 환경을 극복해야만 한다. 특히 다양한 첨단기술과 막대한 자금 그리고 오랜 시일이 투입되어야 하기 때문에 사업성취에 대한 현실적 보장 또한 불가능한 것이 특징이다. 또한 에너지원의 존재형태가 다양한 만큼 각각 특징과 형태 그리고 개발수준이 다르다. <표 7>는 미국의 주요 에너지 신기술의 상업화 도입시기를 나타낸 것이다.

2 국내의 실정과 적용의 한계

1987년말 정부가 제정, 공포한 바 있는 대체에너지 개발촉진법(법률 제 39990호)의 입법취지에서 정부는 국내 대체에너지 자원을 적극적으로 발굴하는 한편, 그 활용을 위한 기술개발사업을 국가적 차원으로 중점 지원하며, 궁극적으로는 이를 핵심자원화하여 국가발전의 지속성을 유지하는데 일익을 담당케 한다는 요지를 밝혔다. 이를 뒷받침하기 위하여 국내의 연간 총 에너지수요에서 차지하는 신재생 에너지자원의 비중을 오는 2001년까지 약 3% 수준으로 끌어올린다는 가시적인 목표도 세워놓고 있다(한국에너지협의회, 1996).

앞에서 살펴본 대체에너지 중에서 태양에너지는 저밀도에너지라는 점과 이용할 때 양과 낮의 사이클이 다르다는 점, 날씨에 따라 변동이 있다는 점, 계절에 따라 일사량이 변화가 있다는 점 등 지금까지의 에너지 형태와는 많은 차이가 있다. 또한 풍력을 이용한 에너지도 바람의 방향이 일정량 이상 계속 불어야 하며 많은 부지가 필요하다. 바이오에너지의 경우는 우리나라처럼 4계가 있는 지역에서는 실용화되기 어려운 점이 많다. 더군다나 최근의 비용편익분석 연구에 따르면 우

〈표 7〉 미국의 주요 에너지 기술의 도입시기

| 년 도 | 기 술 |
|---------|---|
| ~1995 | 지열: Binary Cycle 및 기타 고급지열기술 폐기물 : 도시고형폐기물 유동상연소 |
| ~2000 | 산업공정 : Black liquor 연소시스템/제지건조시스템/유리정제 신기술 자동차 가스 터빈, 신배터리 전기자동차, 고도석유회수기술 청정석탄기술 : 대기유동상연소, 압축유동상연소, Integrated Coal Gasification Combined Cycle(IGCC) |
| ~2005 | 바이오매스 : 효소변환, 열화학적 변환 산업공정 : 강철주조신기술, 알루미늄 전기분해 생산 신기술 건물기술 : 효율적 냉방, 조명, 단열 재생발전기술 : 신풍차, 분산형태양광, 바이오매스유동상 고효율 가스터빈 원자력기술 : 신형경수로 신형디젤엔진 |
| ~2010 | 연료전지 : 자동차용, 전력계통이용 전력저장기술 : 고성능 배터리 산업공정 : 신형 직접 제철기술 청정석탄기술 : 압축유동상연소 신기술, 고성능 IGCC |
| ~2020 | 태양광 발전 : 대규모 전력계통수준 이용 초전도 기술 : 수송 및 산업용 고온 초전도체 개발 산업공정 : 바이오매스 물질에 의한 탄화수소 대체 자기부상 : 수송이용 |
| 2020 이후 | 핵융합 시범 플랜트 고성능 연료전지, 열기관을 위한 고온 재료, 열공정의 생물공정으로 전환 수소자동차 |

리 나라에서는 바이오에너지, 태양광, 풍력, 태양 열 등과 같은 몇몇 에너지원은 수요의 보장 이전에 비용이 편익보다 크다고 한다(에너지경제연구원, 1996).

IV. 원자력의 역할과 국민수용성

1. 환경규제 대응을 위한 원자력의 역할

주 온실가스인 이산화탄소의 대부분이 석탄, 석유, 가스 등 화석연료의 연소과정에서 생기므로 이의 배출을 줄이기 위해서는 화석연료의 사용을 줄여야 한다. 기후변화협약의 규제내용이 구체화 되어 전세계적으로 화석연료의 사용에 대한 규제가 본격화된다면 OECD에 가입한 우리나라가 받을 영향은 굉장히 클 것이다. 예컨대 우리나라가 10년간의 유예기간을 확보하여 2010년까지 2000년 수준으로 이산화탄소 배출을 동결하는 의무가 주어지면 에너지 소비증가율이 경제성장률을 상회하는 현 추세를 감안할 때 이의 달성을 위해서는 엄청난 노력이 요구된다.

현재 이러한 규제를 위한 수단으로 거론되고 있는 탄소세 부과에 의해 우리 경제가 받게될 영향을 계량화해 볼 수 있다. EU에서 주장하고 있는 대로 모든 화석연료에 대해 석유기준 배럴당 10달러씩 탄소세가 부과된다면 산업별 생산원가는 3~39% 상승하게 되는 것으로 분석되었다. 이로써 우리 나의 대 선진국 수출은 감소하게 되는데 미국, 일본, EU 등 3개 지역에 대한 우리의 주요 15개 품목 수출은 9.1%(1992년 기준, 27억불) 감소하게 되는 것으로 나타났다(김준하, 1997).

이러한 이산화탄소의 배출규제를 고려한 전원 계획 도출에 대한 연구에 따르면 규제수준, 규제가 도입되는 시기, 전력수요 등을 변화시킨 가상적인 10가지의 시나리오하에서 원자력은 어떠한 경우든지 2010년까지 모두 20기 이상, 최고 30기까지 도입되어야 함을 지적하고 있다. 이때의 원자력의 전원구성비는 50% 이상이 된다(김지환(1992). 또한 최근의 원자력의 역할에 대한 연구에 따르면 탄소톤당 100불의 규제, 2010년 수준으로의 동결, 2015년 수준으로의 동결의 시나리오하에서 어떤 경우든지 전원구성비에서 원자력이 2040년까지 40% 이상 70%까지 도입되어야 함을 보여주고 있다(채규남, 1995).

2. 원자력의 국민수용성과 교육의 중요성

에너지문제는 정치, 경제, 기술 등 여러 분야의 전문성이 혼재되어 있는 다기준 의사결정(Multi-criteria Decision Making)의 문제이기에 이의 해결에는 여러 전문가의 의견이 반영되어야 한다. 그러나 현대에 들어서 이보다 더 중요해진 것은 여기에서 설정된 에너지정책은 국민들에게 승인을 받아야 한다는 것이다. 앞서 살펴본 바와 같이 원자력은 환경문제를 해결할 수 있는 대규모 에너지원으로 특히 부존자원이 없는 우리나라의 경우 이의 적극적인 추진을 계획하고 있다. 하지만 국민들이 원자력발전소의 건설과 이에 필요한 방사성폐기물처분장의 건설을 반대한다면 아

무리 잘 설정된 국가정책이라도 시행될 수 없다. 따라서 국민수용의 문제를 간과한 정책은 잘 설정되었다고 말 할 수 없다.

'96년도의 일반국민을 상대로 한 원자력발전의 필요성에 관한 의식조사에서 34.6%가 매우 필요하다, 51.2%가 약간 필요하다고 응답함으로써 국민 대다수는 원자력발전의 필요성을 인정하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 지역주위에 원자력발전소를 건설할 때 반대하겠다는 비율은 적극 반대 18.4%, 다소 반대 26.2%로 찬성 25.5%보다 높게 나타나고 있다(한국원자력문화재단, 1996).

이는 일반국민들이 원자력에너지의 필요성에는 인정을 하지만 그 시설과 관련된 위험성을 받고 싶지는 않다는 것이다(발전소 반대 이유: 46.2% 주위환경의 오염, 27.8% 암발생 가능성, 폭발가능성 11.3%). 하지만 앞서의 인체영향을 비교해 본 것과 같이 원자력시설의 주위는 방사선적 영향을 무시할 수 있을 정도의 양이라는 사실은 일반인들의 인식과 객관적인 자료와의 사이에 큰 차이가 있다.

최근의 연구에 따르면 주변지역의 건설 찬반 성향에 큰 영향을 미치는 인자는 주관적 위험인식(Subjective Risk Perception)이나 그 시설의 안전성에 대한 만족도(Safety Satisfaction)라는 것이 밝혀져 객관적인 안전성을 강조해도 그 시설의 찬반 성향에는 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 주관적 위험인식은 대부분 선정적, 감각적 사건이나 정보(Sensational Event or Information)에 의해 형성되며 안전성에 대한 만족도는 자신이 직접 그 위험의 수준을 확인할 때 향상될 수 있다. 따라서 위험인식의 개선을 위해 홍보가 활발히 이루어지고 있으며 안전성에 대한 만족도의 향상을 위해서 시설과 관련한 정보의 공개, 환경감시 시스템의 가동 등이 추진되고 있다. 하지만 가장 큰 영향을 주는 것으로 확인된 위험인식과 관련해서 홍보의 효과가 얼마나 되는지는 미지수이다(Choi Y. S., et al).

심리학의 연구결과를 보면 일단 형성된 견해는 새로운 증거에 대응하는 변화가 매우 느리다는

것을 보여준다. 증거의 허구성이 드러난 후에도 한번 형성된 위험인식에 집착하는 현상의 기저에는 행위상의 확인적 편향이라는 메커니즘이 작용하기 때문에 정보의 진위보다는 정보의 가용성이 더 중요한 역할을 하게 된다(R. Nisbett & L. Ross, 1982). 더군다나 에너지와 환경 그리고 원자력과 관련된 문제에는 많은 과학적 지식을 요구하므로 이의 적시 가용성은 떨어지고 선정적·감각적인 정보에의 의존현상이 두드러지게 된다. 따라서 위험인식의 개선을 위해서는 홍보보다 교육의 효과가 더 크리라 생각되며 여기에 에너지와 환경문제에 대한 교육의 중요성이 있다.

3. 에너지와 환경문제에 대한 각국의 교육 현황 (産業研究所, 1997)

1) 미국

미국에서는 '세계지리', '미국사', '미국의 정치', '자연과학', '지구과학', '환경과학실습', '현대자연과학', '물리학', '화학', '현대생물학' 등 자연과학, 사회과학을 막론하고 에너지와 환경문제를 다루고 있다. 에너지문제의 다면적인 인식 및 역사적인 견해를 중시하고 있다는 점에서 각 과목에서 다루는 방식은 서로 비슷하고 할 수 있다. 특히 원자력에너지에 대해서는 꽤 많은 지면을 많이 할애하고 있는데, 장점과 위험성을 동시에 언급하면서 여러 에너지원 가운데 해결해야 할 과제가 많은 에너지원으로 간주하고 있다.

'미국사'와 '미국의 정치' 과목에서 미국은 에너지 다소비국임을 전제로 원자력은 다방면에서 유망시되고 있지만, 오염·안전성·코스트 등의 문제가 있으며, 에너지와 환경의 상관관계를 어떻게 해결할 것인지에 대한 문제도 함께 제기하고 있다.

그리고 '자연과학', '지구과학', '현대자연과학', '물리', '화학', '현대생물학' 등의 과목에서는 현대사회와 에너지, 전기와 에너지원, 화석연료의 유한성, 재생가능자원과 재생불가능한 자원의 정의,

각 에너지원별 장단점, 원자력에너지, 에너지절약, 에너지의 효율적 이용, 대체에너지 등 에너지에 관한 전반적인 문제를 다루고 있다. 특히 환경과학실습 과목에서는 원자력발전만큼 환경보호론자를 양분시키는 문제는 없다고 원자력을 평가하고 있다.

2) 영국

영국에서는 '석유탐사', '육상의 석유', '정제', '사회에 있어서 과학기술 1·2·3·5·6·7·8·9', '원자력에 관한 사실', '자원, 에너지 및 개발' 등의 과목에서 에너지와 환경문제를 다루고 있다. 교과서 구성은 개설 중심, 실습 중심, 구체적인 사실을 제시하고 생애에 걸쳐 사고, 판단을 내리도록 하는 것 등으로 나눌 수 있다. 특히 원자력 발전에 대해서는 많은 교과서에서 원자력발전의 평가에 대하여 입장별 의견을 함께 기술하고 있다. 예를 들면 중앙관청, 주 의회, 반원전단체, 환경보호단체, 입지주민, 전력노동자조합, 전력회사 등이 실제로 내놓고 있는 주장을 제시하고 있으며, 특이한 것은 결론은 내리지 않고 있다는 점이다.

3) 독일

'정치학', '물리', '지리' 등에서 다루고 있다. 원자력에너지에 대한 찬성의견과 반대의견을 정치, 경제성, 환경보호, 원자로의 안전성이라는 4가지 점에서 실제로 명확하고 다면적으로 고찰하고 있고, 학생들이 어떤 입장에 서서 토의를 전개하도록 구성되어 있다. 특히 물리과목에서도 에너지문제를 정치적 측면에서 분석하고 있는 점이 특징이라고 할 수 있다. 그리고 원자력에너지 및 에너지문제에 대한 체계적인 학습을 위하여 전문적인 잡지, 정보센터 목록을 소개하고 있다.

4) 프랑스

프랑스는 '지리학'에서 에너지와 환경문제를 다루고 있다. 불충분한 에너지자원→소비량의 안정→원자력발전이라는 모식 아래, 풍부한 기본자료

를 수록하여 설명하고 있다. 학습에 있어서 조사, 연구, 실험 등의 활동적 특성을 중시하기 때문에 교과서에는 사실만을 보여주고, 학생이 스스로 생각할 수 있도록 유도하기 위하여 개론적인 설명이 많은 부분을 차지하고 있다. 또한 프랑스 교과서는 다른 나라에 비해 '에너지'에 관한 기술량이 아주 많은 것도 특징이다.

5) 스위스

'대륙지리', '스위스지리', '현대 스위스의 성장' 등의 과목에서 다루고 있다. 자원 개설부분과 해설부분을 통하여 에너지자원의 유한성과 이에 관한 문제, 지구규모의 에너지자원 이용문제를 고찰하여 '성장의 한계'라는 관점에서 미래상을 도출하려는 입장 중심이다. 그리고 스위스 에너지공급과 에너지수지, 전기수급계획, 원자력발전, 그리고 에너지의 최종소비량 및 에너지 매체의 비율, 총 에너지소비량의 분배, 에너지와 식량, 스위스의 원자력발전 등을 통하여 현대생활과 에너지자원을 풍부한 자료를 제시하여 풍요로운 생활을 지속하기 위해서는 소비를 확대시키는 인간의 욕구를 간접적으로 비판하고 있다.

6) 스웨덴

'사회'와 '지리' 과목에서 다루고 있다. 스웨덴의 교과서에서는 다른 나라에 비해 '에너지'에 관하여 상세하고 전문적인 내용이 기술되어 있다. 예를 들면, 중학교 종합교과 교과서에서 '원자력 발전소의 사고'에 관하여 TMI사고와 체르노빌 발전소 사고 사례를 다루면서 자국의 원자력발전소와 비교하여 그 안전성의 문제를 언급하고 있고, '원자로', '감속재', '지르코늄', '크세논133', '크립톤85' 등의 용어를 사용하여 사고의 자국에의 영향을 설명하고 있는 점이 주목된다. 또한 개별 에너지자원에 대하여 그 경제성과 에너지효율, 환경에의 영향 등의 관점에서 각각 장점과 단점을 제시하면서 넓은 시야에서 종합적인 사고형성을 추구하고 있다.

7) 일본(日本電氣新聞, 1997)

가) 소학교 과정

소학교 교과서에서는 '에너지문제'에 관한 기술은 단편적이고, 그것도 직접 이에 대하여 기술하고 있는 것은 드물며, 취급하는 내용이 광범위한 에너지의 개념을 포함하고 있다. 원자력에 관한 기술은 '에너지' 그 자체가 주제가 아니고 부차적으로 취급되고 있다. 에너지와 원자력에 관한 기술도 부분적이다.

나) 중학교 과정

중학교 '사회' 교과서에는 에너지와 환경에 관하여 많은 용어와 개념이 나오고 있다. 그러나 소학교에서처럼 한 단원에서 집중적으로 취급하는 것이 아니라, 여러 단원에서 산발적으로 다루고 있다. '이과' 교과서에서는 이과 제1분야의 운동과 에너지 단원에서 에너지에 대해서 기술하고 있다. 또한 이과 제2분야의 지구와 인간 단원에서도 '환경'에 관계된 기술이 많이 있다. 이과에서는 특히 역학적 에너지의 개념획득이 중심이고, 이와 관련하여 보조적으로 에너지문제를 취급하고 있다. '기술'·'가정' 교과서에서는 전기에너지를 중심으로 생활과의 관계와 이용형태, 전기에너지의 발생과 발전소의 구조, 그리고 에너지문제 등에 대한 기술이 있다.

다) 등학교 과정

'현대사회', '지리A', '물리A', '생활기술' 과목에서 다루고 있다. 현대사회 교과서에서는 에너지 이용의 변천, 현대생활에 있어서 에너지소비의 실태, 그리고 자원의 고갈 등의 문제를 취급하고 있다. 화석연료에 관한 내용은 다루고 있지만, 신에너지나 원자력에 대한 기술은 적다. 지리A 교과서에서는 지구적 규모의 환경문제를 크게 다루면서 에너지와 환경관련 기술이 많다. 물리A 교과서에서는 일상생활과의 관계를 중시한 내용으로 되어 있다. 구체적으로 보면, 역학적에너지, 에너지와 문명, 에너지와 생활, 태양에너지, 원자력 등

의 내용이 기술되어 있다. 생활기술 교과서에서는 에너지이용과 전기에너지 등에 관한 기술이 있지만, 수력, 화력, 원자력 등의 발전원 구분과 화석연료, 신에너지 등 에너지 용어에 관한 설명은 거의 없다.

4. 우리나라에서의 원자력교육 현황

1) 초등학교 과정

초등학교 과정에서는 원자력을 폭넓게 상세히 다루고 있지는 않다. '사회' 과목의 광·공업중 동력에너지 단원에서 발전시설의 하나로 원자력발전소를 소개하고 있으며, 사회과 탐구에서는 발전방식에 따른 장·단점 및 발전량의 연도별 변화를 도표로 제시하고 있을 뿐이다.

2) 중학교 과정

중학교 과정에서는 원자력 및 발전에 대한 기본지식이 '과학', '기술', '산업', '환경' 등의 과목에서 다루어지고 있다. 특히 환경과목에서는 원자력에너지 단원에서 화력발전과 원자력 발전을 비교하면서 대기오염을 일으킬 가능성이 적고, 원전연료의 재처리 사용가능성 등 원자력발전의 장점을 설명하고 있으나, 원자력발전으로 생기는 방사성폐기물의 처리 및 처분문제를 미국의 예를 들어 영구처분의 중요성을 역설하고 있다. 그러나 미국 TMI 원전사고 등 사고사례를 설명하면서 체르노빌 원전 사고의 경우를 다소 과장되게 표현하고 있는 부분이 나타나고 있다.

'사회' 과목 1학년 교과서에서는 우리나라 원자력발전 현황을 소개하고 '사회' 과목 3학년 교과서에서는 국제분쟁을 피하고 세계평화를 위해서는 핵무기와 핵확산을 방지해야 한다고 언급하고 있다. 기타 '국어' 과목 1학년 교과서에서는 내용의 요약 단원에서 에너지와 관련하여 원자력의 필요성을 수필형식으로 신고 있다.

3) 고등학교 과정

고등학교 과정에서는 여러 과목에서 취급하고

있다. '과학'과 '공업' 관련 과목에서는 원자력의 전반적인 것을 폭넓게 다루고 있다. 원리, 구조, 정책, 방사선의 이용뿐 아니라, '환경보전' 과목에서는 방사성폐기물의 처리문제에 이르기까지 다루고 있다. 한국지리 및 세계지리에서도 에너지자원과 관련하여 각종 통계를 제시하고 있으며, '전력' 과목에서는 별도의 단원으로 원자력관련문제를 총망라하여 체계적으로 취급하고 있다.

그러나 인문사회과목에서는 거의 취급되지 않고 있다. 다만 '윤리' 과목에서는 통일문제와 관련하여 북한의 경수로 원자력발전소 건설문제를 긍정적으로 언급하고 핵무기 및 체르노빌 원전사고를 다루고 있고, '정치' 과목의 탐구활동에서는 방사성폐기물 처리와 관련된 문제를 주제로 하고 있고, '독서', '화법' 등에서는 예문에서 원자력에너지를 부분적으로 다루고 있다.

V. 결 론

지금까지 우리나라에서 전력에너지원으로서 기능할 석탄화력과 원자력의 환경영향을 살펴보고 재생에너지의 활용과 그 한계에 대해 지적한 후 원자력에너지의 역할과 중요성을 살펴보았다. 그리고 원자력의 중요성을 국민들에게 인식시키기 위한 에너지문제와 환경에 관한 교육이 매우 중요하다는 입장에서 주요 국가의 에너지와 환경교육의 현황을 교과서 분석을 통해 살펴보았다.

일반국민의 에너지에 대한 기본적인 욕구 혹은 사고방식은 보다 풍부한 에너지의 사용, 보다 깨끗한 에너지의 사용, 에너지 사용에 따른 영향은 자기가 쓴 만큼만 책임지겠다는 자기부담의 원칙 등으로 요약할 수 있다. 이러한 경향이 국가 전체로 보았을 때 바람직한 일인가 하는 것은 제쳐두더라도 앞으로의 에너지문제는 이러한 국민들의 성향을 올바르게 반영하여 해결하여야 할 것이다.

그러나 이 과정에 앞서 선행되어야 할 것은 국

민이 올바른 판단을 할 수 있게 기본적인 지식을 가지도록 하는 것이다. 에너지정책은 장기적인 관점에서 이루어지는 것이므로 차후에 어떤 에너지 정책이 시행되었을 때 현재의 지식수준으로는 최선의 선택을 했음을 인정할 수 있어야 그 정책의 시행이 원만히 이루어질 것이다.

< 참고 문헌 >

김준한(1997), 향후 국제환경규제 전망과 대응방안, 에너지협의회보

김지환(1992), CO2 배출규제하의 전원계획에 관한 연구 -전원구성을 중심으로-, 한국과학기술원

동력자원부(1991), 대체에너지 장기개발목표 설정에 관한 연구

에너지경제연구원(1994), 기후변화협약 관련 국가 보고서 작성 및 대응방안 연구

에너지경제연구원(1996), 중소규모 대체에너지 이용자를 위한 제도적 개선방안 연구, 김진오

채규남(1995), 한국의 장기에너지 공급 전략에서 원자력의 역할, 한국과학기술원

한국원자력문화재단(1996), 원자력에 대한 국민인식조사 보고서

한국원자력학회(1996), 향후 50년간의 원자력 전망과 추진전략

한국의 에너지 산업과 정책, 최기련, 한국에너지협의회, 1996

환경부(1995), 환경백서

Y.S. Choi, S.H. Lee, N.Z. Cho, & B.W. Lee Development of Public Attitude Model toward Nuclear Energy in Korea, Annals of Nuclear Energy,

R. Nisbett & L. Ross(1982), Human Inference : Strategies and Shortcomings of Social Judgment

産業研究所(1997), '資源, エネルギーに関する教科書の内容についての國際的比較調査研究'

日本電氣新聞 (1997. 8), '今後のエネルギー教育-原子力安全システム研究 所の報告から ②, ③'

〈Abstract〉

Energy, Environment and Education for
Nuclear Energy Applications

Byong-Whi LEE(Professor Emeritus, KAIST)

Review of the global change in various energy usages and resulting environmental impacts were made in terms of population increase, economic development and energy consumption. Greater use of fossil fuels in past couple of centuries give rise to acid rain and gradual climate changes mainly due to Green House inducing gases emissions from fossil fuel combustion. In view of the forthcoming Kyoto conference in December, various alternative options were assessed.

To cope with rapidly developing robust Korean economy, the alternative energy options for the sustainable development in 21st Century would be the wider use of Nuclear Energy in parallel with constrained use of fossil fuel and renewable energy development. However there are many hurdles to overcome. One of the most important element is to improve public acceptability of those alternatives.

Since public acceptance depend heavily upon individual perception on specific energy technology applications, the basic energy technologies education from primary up to high school education and the related curriculum organization is important. The suggested improvement in education for Nuclear Energy Application was made on the basis of advanced industrial countries with substantial Nuclear Energy Application programs.