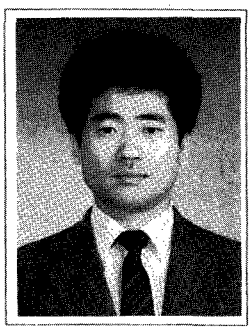
동아시아의 안보 환경과 원자력의 역할

정 환 삼
한국원자력연구소 정책연구팀 책임연구원



동아시아의 안보 환경 요약

1. 에너지 수요의 신장과 대응 능력

최근 동아시아 지역은 1997년 이래 경험한 최악의 경제 위기에서 벗어나 〈표 1〉에서 보이는 바와 같이 다시 높은 수준의 산업 생산 증가율을 기록하고 있다. 이에 따라 이 지역의 에너지 소비는 경제 위기 이전의 예측에서 대두되었던 바와 같이 다시 급증할 수 있을 것으로 보고 있다.

이와 같이 동아시아의 에너지 소비가 급증할 것으로 판단하는 데는 다음과 같은 요인이 근거가 되고 있다.

① 이 지역의 국가들은 선진 제국에 비해 아직 경제 수준이 낮으며, 다시 예전과 같은 수준의 높은 산업 성장률을 기록하고 있다.

② 자동차 신규 보급이 급속히 진행되고 있다.

③ 전력 보급률이 선진 제국에 비해 매우 낮고, 에너지의 사용 효율이 낙후되어 있다.

동아시아 국가 에너지 안보상의 문제점은 우선 수요 측면에서 산업의 발달과 소득의 증대에 따른 신규 수요와 에너지원의 전환에서 오는 대체 수요의 급증에 따른 위기 의식이 부족하다는 것이다.

더욱이 기존의 소비 효율에 개선이 없을 경우 에너지 소비는 엄청난 속도로 늘어날 것이므로, 이에 대한 개선 노력이 시급히 이루어져야 하나 비산업 분야에서는 아직 의식이 부족한 실정이다.

다음으로 공급 분야에서는 우선 신규 에너지원의 발굴과 대체 에너지원의 개발을 포함한 다양한 노력이 경주되어야 하나 이 지역에서는 부족하다. 이 노력에는 부존 자원의 개발뿐만 아니라 에너지 도입 전문가의 양성, 에너지 생산국 상대 외교적 수단의 개발, 수송 안전성 보장을 위한 국가간 협력 체제 구축 등이 포함될 수 있다. 이어서 대체 자원의 개발 노력이 부족하다는 것이다.

이 지역에서 대규모의 대체 자원 개발 노력은 기껏해야 중국과 한국에서의 가스전 개발-운송 계획 정도에 그치고 있다.

2. 환경 오염의 가속화와 에너지 수급

동아시아 환경 문제는 다음과 같은 특징을 가진다.

① 이 지역에는 삼림 파괴, 토양 침식, 어장 감소, 도심에서의 대기와 수질 오염, 토양 오염 등 다양한 환경 문제가 동시에 존재한다.

② 동아시아 각국은 지리적으로

〈표 1〉 동아시아 주요국의 에너지 경제 활동 비교

비교항 / 국가	GDP(1999 추정)			전력(1998)	인구 통계 (2000 추정)	
	일인당 (US$)	실질 성장률(%)	산업 생산 증가율(%)	생산량 (B-kWh)	(천명)	증가율(%)
대만	16,100	5.5	7.5	133.6	22,191	0.8
말레이시아	10,700	5.0	8.5	57.4	21,793	2.0
베트남	1,850	4.8	10.3	20.6	78,774	1.5
브루나이	17,400	2.5	4.0	2.6	336	2.2
싱가포르	27,800	5.5	14.0	26.6	4,151	3.5
인도네시아	2,800	0.0	1.5	73.1	224,784	1.6
중 국	3,800	7.0	8.8	1,160.0	1,261,832	0.9
필리핀	3,600	2.9	1.7	39.6	81,160	2.1
한 국	13,300	10.0	22.0	221.3	47,471	0.9

※ 자료원 : CIA, The World Factbook 2000 참조

〈표 2〉 동아시아 주요국의 수자원 수급 현황

국 가	공급 능력(m^3/년)	수요량(m^3/년)	수요율(%)
말레이시아	556	12	2
몽골	25	〈1	4
베트남	318	65	20
솔로몬군도	45	〈1	2
인도네시아	2,986	49	2
중 국	2,812	500	18
파푸아뉴기니	801	〈1	〈1
필리핀	356	105	30
한 국	70	30	42

※ 자료원 : ESCAP 1996과 1999 발췌

밀집해 있기 때문에 한 나라의 환경 문제가 동일한 국경을 사용하는 주변국으로 확장될 가능성이 높다.

③ 이 지역은 선진국의 직접 투자에 의한 생산 거점화로 현지 경제 성장에 크게 기여했으나, 반대로 생활 환경은 악화되고 있다.

④ 동아시아에서는 전근대적인 요소가 남아있는 상태에서 공업화가 급속하게 진행되었기 때문에 많은 전근대적인 요소가 극복되지 않은 채로 남아 있어 환경 문제를 보다 심각하게 만들고 있다.

이 중에서 특히 에너지 소비에 따른 환경 오염이 대단히 심각한 문제로 대두되고 있다. 이 지역에서의 환경 오염은 지난 20여 년간 산업화의 진전과 자동차 보급의 확대에 따른 에너지 소비의 증가로 매우 급속하게 악화되었다.

특히 신탄이나 고유황 석탄과 같은 저질의 연료 사용, 비효율적인 에너지 생산과 사용법, 급증하는 교통 수요를 수용할 사회 기반 시설의 부족 등은 이 기간 동안의 대기 오염을 더욱 악화시켰다.

2000년대에는 이 지역에서 석탄 연소에 따른 SO_2 배출은 북미와 유럽을 합친 것 보다 많아지고, 현재의 연소 방법에 대한 개선이 이루어지지 않은 상태에서 경제 성장이 계속될 경우는 향후 12년 내에 현재의 3배로 늘어날 것으로 추정되고 있다. 이 경우 산성화에 따른 피해가 더욱 심해질 것이다.

3. 담수 부족과 해결 방안

미국의 제35대 케네디 대통령은 '물 문제를 해결하는 지도자는 두 개의 노벨상, 즉 노벨 평화상과 과학상을 동시에 수상할 수 있을 것'이라고 선언한 바 있다. 오늘날 전 세계적인 국가간 물 분쟁 위기와 물 부족의 심각성을 이처럼 함축적으로 잘 표현하고 있는 말도 없을 것이다.

동아시아의 물 부족 상황은 어느 정도인가? 이 지역은 우기 동안 홍수의 정도와 빈도를 판단해 보면 적도 부근의 동남아시아 지역은 물이 없는 것보다는 지나치게 많아서 오히려 어려움을 겪는다.

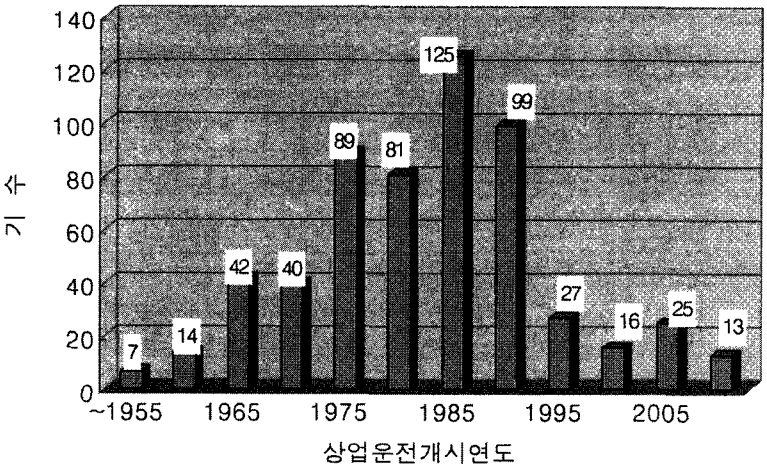
〈표 2〉에서 보이는 바와 같이 이 지역의 담수 수급 비율은 산술적으로 일부 국가를 제외하고는 부족하다고 보기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 동아시아는 중동과 같은 건조 지역에서 수십 년 동안 겪어온 바와 같이 양이나 질에서 심각한 물 부족 사태에 직면하고 있다.

동아시아의 여러 나라에서 수자원의 그릇된 사용과 무분별한 개발로 침투성 지층의 감소, 지하수위의 저하, 내륙 호수와 하천의 고갈을 일으킬 뿐 아니라 생태계의 안전까지도 위협받고 있다.

아시아개발은행의 1997년도 보고서[1]에 따르면 아시아인들의 1/3은 이미 그들의 거주지 반경 200m 안에서 안전한 식수의 공급이 어려운 실정이라 보고하고 있다.

이 지역에서 물 부족은 두 가지 면에서 지역의 안보 환경에 영향을 미칠 것이다. 국내적으로 물 부족은 지역 내 개발 도상국이 직면한 내부 요인을 더욱 복잡하게 함으로써 사회적 정치적 긴장을 심화시킬 것이다. 국제적으로도 물은 국가간 갈등을 증가시키는 하나의 중요한 요소로서 작용할 것이다.

이 지역의 국가들은 경제적 · 정치적으로 상호 의존적인 성장이 이루어지기 때문에 한 국가의 물 문제는 전체의 문제로 쉽게 발전한다. 이것이 이 지역의 특이한 경우이다.



〈그림 1〉 세계 원전의 상업 운전 개시 연도 분포 현황

원자력의 잠재력

세계 에너지 시장에서 원전의 도입은 신규 수요와 대체 수요로 구분하여 일어날 것이다. 〈그림 1〉에서 보이는 바와 같이 많은 원자력발전소들이 1970년대 및 1980년대에 상업 운전을 시작했다. 이들 원전의 40년의 설계 수명을 가정할 때, 2030년경에는 이들 발전소들이 교체되어야 하는 대체 수요가 발생한다.

따라서 이러한 대체 수요는 선진국에서 일어날 것임에 비해, 원자력의 신규 보급은 전력의 보급률이 한계 수준에 이른 유럽과 북미에서보다 아시아의 일부 국가에서 중요한 전력 공급원으로 대두될 것으로 보인다.

이들 국가에서 대체 에너지원으로 원자력을 선택하는 주된 이유는 경제성, 안정적인 에너지 공급, 환경적 이점에 대한 인식을 들 수 있다. 이들 세 가지 인자는 미래의 지속 가능한 에너지 체계에서 원자력의 장기적인 역할을 결정하게 될 것이다.

1. 에너지 안정 공급에 있어 원자력의 역할

동아시아 지역의 에너지 문제를 해결하기 위해서는 정부나 정책 수립자들은 최근 나타나고 있는 국가간의 상호 신뢰 구축이나 다자간 안보 논의 등을 통한 지역 협력 강화 활동들이 에너지 안정 공급에 중요

1) ADB, 'Emerging Asia : Changes and Challenges', Asian Development Bank, 1997

〈표 3〉 주요국의 전원별 발전 원가 추정치 비교 (2005~2010)

국가 \ 발전원	원자력	석탄 화력	가스 화력	원자력 발전 점유율(%)
러시아	2.69	4.63	3.54	15
미 국	3.33	2.48	2.33-2.71	20
스페인	4.10	4.22	4.79	28
일 본	5.75	5.58	7.91	34
중 국	2.54-3.08	3.18	—	1.2
캐나다	2.47-2.96	2.92	3.00	14
프랑스	3.22	4.64	4.74	76
한 국	3.07	3.44	4.25	41

주) · 단위 : cents/kWh 1997 불변가
· 원자력과 석탄 : 할인율 5%, 수명 기간 30, 부하율 75% 가정
자료원 : OECD/IEA NEA 1998 참조
(http://www.world-nuclear.org/info/inf02.htm)

한 기능을 할 수 있다는 점을 인식하고 적극 노력해야 한다.

또한 지역의 에너지 정책 전문가들은 에너지 공급 안정 확보의 중요성과 대체 에너지 개발과 같은 다양화 정책의 유용성을 국민과 국가 지도자들에게 납득시킬 수 있어야 한다.

일본과 중국의 정치 지도자들은 자국의 에너지 장기 계획에 깊은 관심을 갖고 적극 지원할 뿐 아니라 중동의 산유국을 직접 방문하여 산유국들과의 관계를 강화하는 등의 활동이 좋은 예이다.

이러한 국제 협력 활동보다 더욱 중요한 것은 기존의 에너지 공급 방법을 보완할 새로운 에너지원의 도입 방안을 서둘러 모색해야 할 시점이라는 것이다.

새로운 에너지원은 장기 공급의 안정성과 대규모 공급 능력을 보유하고 있는 입증된 기술이어야 한다. 이러한 조건을 감안하면 원자력이 현실적으로 가장 확실한 대안이 될 수 있다.

거대 과학 기술인 원자력 기술은 자원 고갈과 에너지 밀도가 높아 에너지 자원 빈국의 안정 공급 수단으로 각광받아 왔다. 현재 원자력은 〈표 3〉에서 보이는 바와 같이 각국의 전력 공급에서 경제성을 바탕으로 상당한 점유율을 기록하고 있다.

최근에는 선진 여러 나라에서 안전성과 경제성을 개선한 원자로 개발이 진행되고 있을 뿐 아니라, 활용 분야도 범위를 넓혀 비발전 에너지 분야인 산업 공정열이나 지역 난방과 장기적으로는 수소 생산과 같은 분야의 응용도 예견되고 있다.

가. 자원 고갈에 대비 안정성

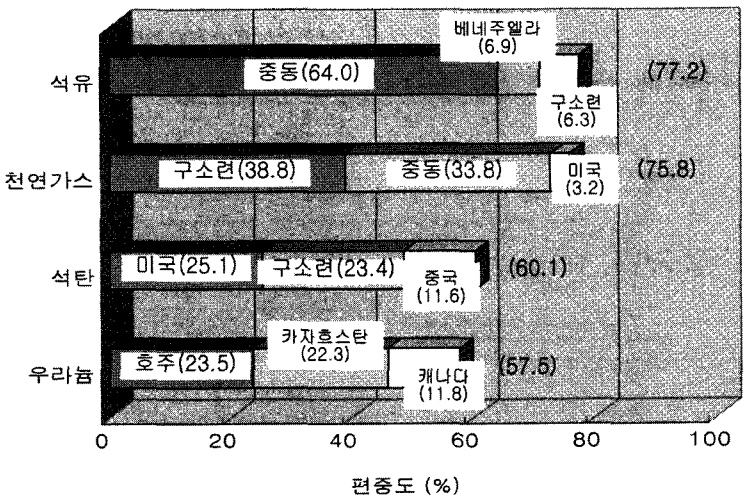
현재의 기술 수준에서 동일한 소비가 지속된다면 석탄은 200년 이상, 천연 가스는 60년 동안, 석유는 40년 동안 사용 가능한 양이 지구상에 매장되어 있는 것으로 추정된다.

가채 연수는 자원 회수 기술의 진보와 유모혈암 및 타르모래의 처리 과정 등을 통해 석유 및 가스 자원의 매장량 기준을 적어도 2배 이상 증가시킬 수 있을 것으로 예상되며 이러한 노력이 진행중에 있다.

원자력도 세계의 원자력발전소는 매년 60,000톤 정도의 천연 우라늄을 소비하고 있다. 현재 밝혀진 우라늄 매장량은 지금의 추세로 평가하면 약 70년 정도 사용이 가능할 것으로 예상되나, 경제적 타당성이 입증된 우라늄 매장량을 기준으로 보면 석유와 비슷하게 약 40년 정도 사용 가능할 것으로 추정되고 있다.

그러나 원자력은 장기적으로 사용후 핵연료의 재처리로 생성된 플루토늄을 MOX 핵연료로 재순환하거나 비핵분열성 우라늄을 플루토늄으로 전환시키기 위해 고속증식로를 도입할 경우 현재의 우라늄 자원 잠재력을 70배까지 증가시킬 수 있을 것이다.

이러한 양은 오늘날의 사용 수준으로 볼 때 3,000년 이상 동안 충분히 사용 가능한 것이다. 즉 우라



주) : ( ) 수치는 지역의 매장 비중을 의미

〈그림 2〉 에너지원의 지역별 편중 현황

늄에 완전한 연료 주기를 적용할 경우 자원의 지속 연수는 현저히 증가한다.

더욱이 원전 연료는 새로 채광되는 우라늄 이외에 재순환 가능 핵물질이나 토륨 등과 같은 다양한 자원으로도 제조가 가능하다.

원전 연료의 재순환은 일회 연소 후 기체나 분진의 형태로 대부분 사라져버리는 화석 연료와는 다른 독특한 특징이다.

비순환 주기에서 발생한 사용후 핵연료는 적절히 설계된 원자로에서 핵분열성 플루토늄으로 전환이 가능한 원료 물질을 포함하고 있다. 현재의 비순환 핵연료 주기는 천연 우라늄에는 1%도 되지 않는 핵분열성 물질인 U-235를 주로 사용한다.

여기서 발생한 사용후 핵연료는 재처리를 통해 MOX 핵연료로 경수로에서의 사용이 가능하며, 이 경우 천연 우라늄의 이용률은 약 30% 정도 증가한다. 이러한 기술은 이미 개발 완료되어 유럽의 원전에서 상당히 사용되고 있으며 일본에서도 사용하고 있다.

나. 에너지 자원의 편중 극복

전략적 관점에서 에너지 수입 의존도와 에너지 가격의 불확실 변동 요인을 감소시키기 위해 확실하고 다양한 에너지 공급원을 확보하기 위해서는 국가적 차원의 노력이 경주되어야만 한다.

확인된 석유 부존량의 65%는 중동 지역에 있으며 천연 가스 파이프라인은 운송 거리만 수천㎞에 달하며 동시에 여러 국가들을 통과해야 한다. 수력 발전을 위한 하천 또한 대부분 여러 국가를 통과하고 있다.

연료 공급의 다양성과 에너지 안보에 큰 도움이 되는 우라늄 자원은 세계의 여러 지역에 비교적 균등하게 분포되어 있다. 우라늄은 화석 연료와는 달리 암석 형태이기 때문에 지역적으로 비교적 고르게 분포되어 있다.

에너지가 고농축 되어 있다는 연료의 특성상 효율적인 비용으로 핵연료를 원전 부지에 전략적으로 비축하는 것이 가능하다. 원자력은 돌발적인 사태가 발생해 공급이 중단되었을 때, 이를 해결할 수 있는 충분한 시간을 제공함으로써 에너지 안보 신뢰도를 높일 수 있다.

화석 연료 자원이 부족한 국가에서 원자력은 핀란드 · 프랑스 · 스웨덴 · 한국 · 일본에서 중요한 역할을 수행했던 것처럼 에너지원 다변화와 공급의 안정성 측면에서 중요한 역할을 담당할 것이다.

다. 에너지 비축 용이성

자원의 효율적 이용은 에너지 부문에서 지속 가능한 개발의 핵심 지표 중 하나이다. 비순환 주기를 채택하는 가동중인 원전의 경우에도, 우라늄으로부터 얻을 수 있는 질량당 에너지는 화석 혹은 재생 연료로부터 얻을 수 있는 질량당 에너지보다 10,000배 이상이다.

이와 같이 높은 에너지 밀도는 자원 효율성의 주요 척도이다. 다른

에너지 자원보다 단위당 전력을 생산하는 데에 필요한 채광 · 처리 · 저장 및 운송 등에 사용되는 자원을 적게 쓰면 이에 따라서 발생하는 폐기물의 양도 비례적으로 작아질 것이다.

현재의 기술에서 1,000MWe 발전소를 1년간 운전하는 데는 다음과 같은 양의 연료가 필요하다.

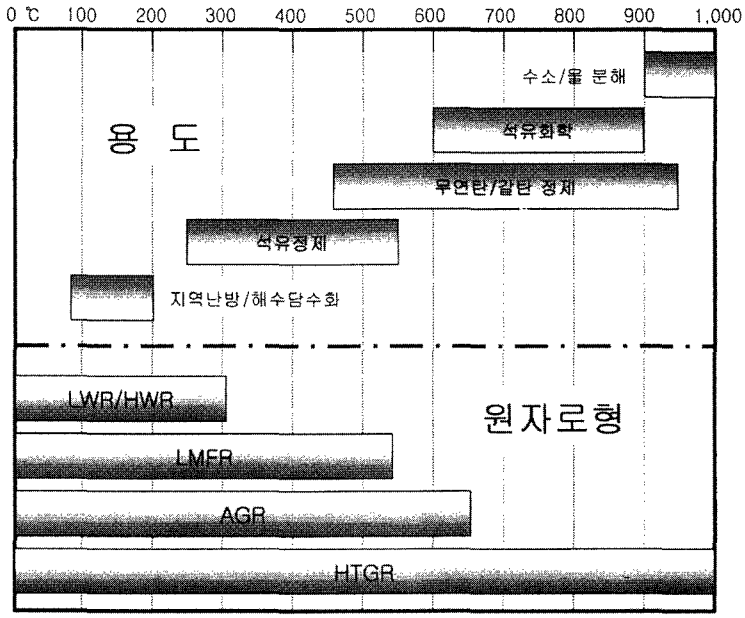
- 석탄 : 2,600,000 톤 (기차 2,000대분)
- 석유 : 2,000,000 톤 (유조선 10척분)
- 우라늄 : 30 톤 원자로심 (10㎥)

원자력과 화석 에너지의 에너지 밀도는 오히려 높은 편이다. 재생 에너지는 이들보다 낮은 에너지 밀도(재생 에너지의 경우 단위 에너지 생산에 필요한 부지 면적)를 갖기 때문에 1,000MWe의 발전소를 가정할 때 매우 넓은 부지가 필요하다. 필요한 부지 면적은 지역이나 기후 조건에 따라 달라진다(태양력과 풍력의 이용률은 20 ~ 40%임).

- 화석 연료 및 원자력 발전 부지 : 1~4㎢
- 태양열 혹은 태양광 발전 : 20~50㎢
- 풍력 : 50~150㎢
- 바이오매스를 위한 경작 면적 : 4,000~6,000㎢

라. 다양한 응용 가능성

세계의 원자력발전소는 근본적으로 기저 부하의 전력 공급원으로 사용되어 세계 여러 나라에서 매우 유용한 발전원의 기능을 다하고 있다. 이러한 역할은 전력 수요가 에너지 수요보다 훨씬 빨리 증가할 것으로 예상되는 21세기에도 계속될 것이다.



〈그림 3〉 원자력의 분야별 열 이용

최근 원자력은 비전력 부문에 있어서도 다양한 온도로 열에너지를 공급하여 여러 산업에 이용하려는 노력이 시도되고 있다.

현재는 원자력 발전의 단지 0.5% 정도만이 비전력 부문에 이용되고 있다. 지역 난방, 산업 공정열 및 담수화 등 다양한 응용이 캐나다 · 중국 · 카자흐스탄 · 슬로바키아와 러시아 등에서 이루어지고 있다.

원자력은 산소의 공급과 연료의 재장전 없이 오랜 기간 동안 에너지를 공급할 수 있기 때문에 극 · 오지 탐사 장비나 잠수함 등과 같은 군사 목적으로 활발히 이용되고 있다.

산업 분야에서 이용하기 위해 요구되는 온도는 농사 목적을 위한 난방 온도에서부터 화학 산업을 위한 1,000℃에 이르기까지 매우 넓은 범위를 담당하고 있다.

해수 담수화나 난방을 위한 온수 공급에는 80~200℃, 석유 정제 공정에서는 250~550℃, 오일 회수와 오일 쉘 및 타르샌드의 처리를 위한 고압 고온수나 증기 주입 등을 위해서는 300~600℃, 석유 화학 공정열은 600~800℃ 등이 요구된다.

무연탄과 갈탄을 정련하여 수송 연료인 메탄올을 생산하기 위해서

는 950℃까지의 보다 높은 온도가 필요하고, 물을 분해하여 수소를 생산하기 위해 1,000℃의 온도가 필요하다.

오늘날의 물 냉각 방식의 원자로는 300℃까지 열을 공급하고 있고 액체금속로는 540℃, 가스냉각로는 650℃, 고온가스냉각로는 현재의 금속성 원자로 재료의 한계인 1,000℃까지 이르고 있다(〈그림 3〉 참조).

2. 환경 오염 방지에 있어 원자력의 역할

동아시아 국가들의 에너지 소비에 따르는 환경 오염을 개선하기 위해서는, 가장 먼저 에너지 정책의 개선이 필요하다. 여기에는 비화석 에너지원으로의 사용 대체와 에너지 공급과 소비 구조를 개선하기 위한 장기 전략이 반영되어야 한다.

장기 전략 수립시에는 환경 영향을 정확히 분석하고 이를 통해 지역의 환경 개선은 물론 자원의 소모율을 줄이는 효과를 동시에 달성할 수 있다.

본 절에서는 지역의 환경 오염을 국지적 영향, 지구 온난화 영향, 기술의 안전성, 그리고 외부 영향의 측면에서 원자력의 역할을 기술한다.

가. 국지적 환경 오염 방지 능력 평가

원자력에서 발생하는 국지적 환경 오염 요소는 주로 방사능 배출과 방사성 폐기물 문제이다. 이에 비해 원자력 발전 자체로는 산성비 · 도시 스모그 및 오존층 파괴를 야기하는 SOx · NOx, 그리고 분진 등을 방출하지 않기 때문에 결국에 국지적인 대기 오염 방지에 상당히 기여한다.

에너지 생산 단계에서 석탄과 석유 화력 발전소는 환경 오염 물질 배출 방지를 위해 탈황 설비 · NOx 감소기 · 침전기 등이 개발되고 있고, 이들 설비의 가동에 많은 비용이 지출되고 있다. 그럼에도 불구하고 지속적인 환경 오염 물질의 배출에 따른 환경과 보건 영향은 여전히 심각하다. 선진국에서는 NOx와 독성 물질의 배출이 양적으로 줄어들고 있지만, 개발 도상국에서는 에너지 소비의 증가로 인해 오염 배출량이 증가하고 있다.

에너지 생산 후 단계에서도 화석 연료, 특히 석탄 연소 폐기물은 독성 물질을 많이 함유하고 있다. 이로 인해 수질이 악화되고 있으며 먹이 사슬이 장기적으로 심각하게 파괴되고 있다.

1,000MW 용량의 석탄 화력 발전소가 연간 약 32만톤의 분진을 배출하며, 이 분진에는 비소 · 카드뮴 · 코발트 · 납 · 수은 · 니켈 · 바나듐 등과 같은 독성 물질이 400톤 정도 포함되어 있다. 탈황 설비 하나만 고려해도 이로 인해 50만톤의 독성 폐기물이 추가로 배출된다.

최신 공해 방지 설비를 갖춘 발전소는 NOx의 발생을 1/10로 줄일 수 있으나 이 과정에서 상당한 양의 고체 폐기물이 발생하게 된다.

황의 함유율에 따라 달라지지만, 1,000MWe 발전소의 탈황 설비에서 연간 발생하는 고체 폐기물은 석탄 50만톤, 석유 30만톤, 천연 가스 20만톤이 발생한다.

이에 비해 동급의 원자력발전소의 경우 NOx이나 SOx을 배출하지 않고 단지 고준위 방사성 폐기물인 30톤의 사용후 핵연료와 800톤의 중 · 저준위 방사성 폐기물을 발생시킬 뿐이다. 지금도 방사성 폐기물의 양이 적지만 미래에는 원자력 설계 및 핵연료 주기를 향상시킴으로써 생성되는 폐기물을 훨씬 더 감소시킬 수 있을 것이다.

또한 미래에는 악티나이드 연소로(actinide burning reactor)를 통해 반감기가 긴 방사성 핵종을 짧은 핵종으로 변화시키기 위한 노력이 진행되고 있다.

나. 지구 온난화 영향 평가

온실 가스 배출을 감소시키기 위한 기술은 그다지 발전하지 못했다. CO_2 · CH_4, 그리고 NOx 등이 대표적인 온실 가스인데, 이들 물질은 인간의 일상 생활과 화석 연료의 연소, 토지 사용과 농사를 통하여 주로 대기중으로 배출된다.

이 중 CO_2는 가장 주된 온실 가스인데 이 가스는 화석 연료의 연소

〈표 4〉 발전원별 외부 영향 평가 비교

영향 평가 / 발전원	외부 비용 (mECU/kWh)	등가 인명 손실 (GW · a당)
석 탄	15.0	37.0
갈 탄	10.0	27.0
석 유	12.0	32.0
가 스	0.6	2.0
풍 력	2.2	0.3
수 력	2.2	0.8
원자력	0.4	1.0

자료원 : Externalities of Energy, ExternE Report, Rep. EUR-16522, EC, 브뤼셀(1995)에서 발췌

과 정에서 대량으로 배출되는 특성을 갖고 있다. 인간에 의해 발생되는 CO_2의 약 75% 정도가 화석 연료에서 발생되고 있다.

연간 250억 톤에 달하는 CO_2가 배출되고 있으나 이 가스를 감소시키거나 분리시키기 위한 상용 기술은 아직 개발되지 못한 실정이다.

지하에 격리 · 저장 등의 방법이 이론적으로는 가능하지만 기술은 아직 연구의 초보 단계에 머물러 있다. 일부 기술은 높은 에너지의 투입을 필요로 할지 모르며 이에 따른 환경 영향 평가는 아직 수행되지 않고 있다.

원자력과 수력에 높은 비중을 두고 있는 국가들은 화석 연료 발전에 치중하고 있는 국가들에 비해 단위 에너지 생산량당 현저히 적은 CO2를 배출시킨다. 이는 원전의 발열 특성에 기인한다.

전체 핵연료 주기에서 발생하는 탄소 화합물은 무시할만 하다. 1,000 MWe의 원전 1기가 생산하는 발전량을 석탄 발전소로 대체하였을 경우 발생하는 탄소는 1.75 백만톤이며, 석유 발전소로 대체하였을 경우 1.2 백만톤, 천연 가스 발전소로 대체할 경우 0.7 백만톤이 발생하므로, 원전의 가동은 이를 상쇄하는 효과를 갖는다.

다. 사고 안전성

원자력 에너지가 지속 가능한 개발 정책에서 중요한 역할을 담당하기 위해서는 원자력 시설과 핵물질 수송에서 발생하는 보건 및 환경 영향들이 정상 운전시에는 물론이고 사고시에도 사회적으로 받아들일만한 수준 이하에 있어야만 한다.

이를 위해서는 외부로 유출될 수 있는 중대한 사고의 확률을 아주 낮추어야 하며, 설령 발생할 경우에도 유출의 결과가 심각하지 않아야 한다.

대부분 원전 보유국들은 원전과 핵주기 시설들은 독립적이고도 유능한 규제 기관들이 강력한 법제 · 규정 · 기준에 따라서 운영하고 있다.

노심 손상에 이르는 사고의 위험 확률은 OECD 회원국에서 가동되는 원자로의 경우 가동 연간 10~4 이하로 알려져 있다.

중대 사고시 외부로의 유출을 억제하는 안전 장치들을 감안하면, 방사능이 외부로 심각하게 유출될 확률은 이보다 적어도 10배 정도 줄어들게 된다. 더욱이 새로운 설계의 목표는 기존 설계와 비교하여 위험도를 10배 낮추는 것이다. 따라서 사고 방지와 사고 완화가 동시에 향상될 것이다.

라. 환경 오염에 따른 손실 가치 평가

환경 외부 효과를 평가하기 위한 방법론은 아직 잘 정립되어 있지 않지만, 범위는 전체 연료 사슬(entire fuel chain)에 대한 영향이 포함되어야 한다.

포괄적인 환경 영향 평가 프로젝트인 ExternE을 1991년부터 1995년까지 유럽연합에서 수행하였는데 여기에서는 전체 연료 계통에 대한 외부 효과를 조사하였다.

환경 영향을 비용화하기 위한 방법론이 개발됨으로써 이들이 발전원가에 미치는 영향이 반영되게 되었다.

생산된 단위 에너지당 외부 비용과 기대 수명 손실을 기초로 평가된 등가 수명 손실은 〈표 4〉에 나타나 있다. 이 표에 의하면 같은 양의 에너지를 생산할 경우 석탄 발전소와 석유 발전소가 다른 발전원에 비해 많은 오염 물질이 배출되고 막대한 연료 소요량과 수송량이 필요하기 때문에 외부 비용과 등가 수명 손실이 훨씬 큰 것으로 분석되었다.

이들 외부 비용은 원자력발전소

〈표 5〉 해수 담수용 원자로 및 담수 공정 특성

원자로형	개발국(위치)	담수 공정 특성	개발 현황
LMFR	카자흐스탄(Aktau)	MED, MSF	1999까지 가동
PWRs	일본(Ohi, Genkai, Takahama, Ikata)	MED, MSF, RO	가동중
	한국 · 아르헨티나 등	MED, RO	설계중
	러시아	MED, RO	설계중(바지선)
BWR	일본(Kashiwazaki)	MSF	시험용으로 가동 후 1998년 해체
PHWR	인도(Kalpakkam)	MSF/RO	가동 준비중
	캐나다	RO(preheat)	설계중
NHR	모로코(Tan-Tan)	MED	계획 중단
	중국	MED	설계중
HTGR	남아공 · 프랑스 · 네덜란드	MED, MSF, RO	건설중

자료원 : IAEA 데이터 참조

의 외부 비용에 비해 10배 정도 높고 또한 외부 비용 자체가 매우 크기 때문에 발전 원가의 상당 부분을 차지할 것으로 판단된다. 따라서 이 표에 나타난 것처럼 등가 수명 손실이 아주 높음을 알 수 있다.

3. 담수 공급에 있어 원자력의 역할

현재 동아시아를 비롯한 여러 지역에서 겪고 있고 또 앞으로 겪을 담수 부족을 극복하기 위해서는 구체적이고 지역에 맞는 다양한 수자원 정책이 수립되어야 한다.

즉 도시 지역은 재활용과 절약, 하천이 많은 곳은 재개발, 그리고 해안 지역은 해수 담수화와 같은 종합적인 방식을 동시에 도입해야만 한다는 것이다.

하천과 지하수원의 개발과 보존 대책을 시급히 수립하는 것이 경제적이고 광범위한 효과를 기대할 수 있다. 그러나 이 정책은 국가의 입지 환경이나 국가 내 지역별 특성에 따라 일관되게 적용할 수는 없다. 따라서 다른 정책과 혼합해 사용할 때 더욱 효과적이다.

예를 들어 동아시아 지역 하천의 상류에서는 대규모 저수지 시설을, 그리고 하류에서는 해수의 침입 방지와 같은 시설을 할 수 있겠다.

남태평양의 도서 국가나 북아프리카 지역과 같이 바다에 인접한 국가로 물 기근을 겪고 있는 국가에서는 해수 담수화와 같은 노력과 병행할 때 보다 높은 효과를 기대할 수 있다.

가. 원자력을 이용한 담수화 이용 현황

지금까지 원자력의 역할은 주로 전력 생산을 통한 에너지의 안정 공급과 화석 연료 발전원의 대체에서 오는 지구 온난화 가스 배출 감소에 있었다. 그러나 미래의 원자력은 여기에 담수 공급의 기능도 확대 할 것으로 보인다.

원자력을 이용한 해수담수화도 〈표 5〉에서 보이는 바와 같이 전세계적으로 활발하게 이용되고 있다. 국제원자력기구(IAEA)에 의하면 카자흐스탄은 1973년부터 고속증식로를 이용하여 해수를 담수화하여 매일 120,000 톤의 각종 용수를 공급하였다.

일본의 경우에도 전력 생산과 해수 담수화를 위해 1977년 이카타 1호기(전력 생산 538MWe, 담수 생산 하루 2,000t)를 운전한 것을 비롯, 현재 총 5기(담수 공급 하루 8,900톤)의 원자로가 운전중에 있다.

이들 국가 외에도 인도네시아 · 파키스탄 · 사우디아라비아 등에서는 연구 개발이 진행되고 있고, 필리핀 · 브라질 · 이란 · 이라크 · 이탈리아 · 요르단 · 레바논 · 리비아 · 시리아에서도 원자력을 이용한 해수 담수화 기술에 깊은 관심을 표명하고 있다. 우리 나라는 1996년부터 국제원자력기구와 협력하여 해수 담수화용 원자로 개발을 주도적으로 추진하고 있다.

나. 원자력을 이용한 담수화의 경제성

세계의 여러 지역에서 해수 담수

화 시설이 가동되고 있으나, 천연 수자원 개발에 비해 비용이 3배 이상이 들기 때문에 아직까지는 대부분의 경우 기술이 아닌 관리 기법을 활용한 담수 확보가 당분간 주류를 이룰 수 있을 것으로 전문가들은 전망하고 있다.

기술을 통한 해수 담수화 방법 중에서 원자력을 이용하는 방법의 경제성은 화석 연료를 이용하는 방법과 거의 비슷한 것으로 평가되고 있다.

IAEA에 의해 수행된 상세 경제성 분석 연구에 따르면 두 종류 기술의 경제성은 연료 가격 · 이자율 · 건설 기간과 같은 기술 도입 시점의 주요 변수에 영향을 받기는 하지만 거의 비슷한 것으로 추정하고 있다. 예를 들어 화석 연료 기술은 연료의 가격에, 그리고 원자력 기술은 이자율에 민감한 것으로 평가되고 있다.

세계적으로 해수 담수화 기술은 청정수 수요에 비해 극히 미미한 이용을 보이고 있다.

그러나 현재와 같이 수자원의 오염과 고갈이 진행된다면 수자원의 소비와 보전은 지금까지 무료로 사용할 수 있는 천연 자원이라는 개념에서 바뀌어 시장 가격을 반영하게 될 것이다.

이 경우 기술을 이용한 담수 공급의 경제성은 지금보다 훨씬 개선될 것이다.

동아시아 지역 원자력계의 과제

동아시아 지역 국가들의 에너지 · 환경 · 담수 환경을 고려할 때 원자력 에너지를 활용할 경우 많은 긍정적인 효과들을 기대할 수 있다.

이 점에서 지역의 여러 국가에서는 원전의 도입 가능성을 검토중이거나 이미 검토를 완료한 상태이며, 이 중 일부 국가들은 도입을 추진하다가 최근의 경제 · 정치적 환경 변화로 중단되어 있는 상태이다.

이 지역의 안보 환경은 국가별로 별개의 문제가 아니라 서로 밀접하게 연계되어 있다는 점을 감안할 때, 지역에서 원전 보유국과 보유 희망국은 각각 자국의 고유한 환경을 반영한 적절한 정책을 수립하여야 함은 물론이나, 이에 더하여 지역 내에서 두 그룹간의 긴밀한 협력이 절실히 요구된다.

1. 원전 보유국의 과제

지역의 원전 보유국들이 가동하고 있는 원전은 1971년 일본에서 그리고 1978년 우리 나라와 대만에서 최초로 상업 운전한 이래 지금까지 경제성과 환경 오염 저감 측면뿐만 아니라 가동률과 사고 정지율 등에서 매우 훌륭한 운전 실적을 기록하고 있다. 이러한 기록들을 통해 국가의 산업 발전과 국민 복지 향상에 매우 중요한 역할을 담당해왔다.

현재 원전을 보유하고 있는 국가들은 공통적으로 방사성 폐기물 처리를 가장 큰 난제로 안고 있다. 많은 나라들이 사용후 핵연료뿐 아니라 유리화된 폐기물을 다룰 수 있는 저장 개념을 개발하고 있다.

방사성 폐기물에 대한 공통적인 관심사는 그것의 반감기가 길다는 것이다. 플루토늄과 같은 장반감기 물질들이 상당 부분 제거된 재처리 시설 발생 폐기물이 천연 우라늄 수준 이하로 붕괴하는데 1,000년 정도의 기간이 필요한 반면, 재처리 과정을 거치지 않았을 때는 10,000년 이상 필요하다.

고준위 폐기물이 안전하게 관리될 수 있다는 가장 확실한 증거는 처분장을 건설 및 운영하는 것이 될 것이지만, 현재 처분 문제는 기술적인 문제라기보다는 사회적 혹은 정치적인 문제로 인해 지연되고 있다.

기존의 원전들은 전력 회사와 정부의 입장에서 매우 유용한 자산이었으나, 신규 원전은 미래의 시장에서도 가장 경쟁력이 높은 발전원이라고 할 수는 없다.

이를 극복하기 위해서는 기존 원자로의 개선이 꾸준히 이루어져야 하고, 이를 통해 원자력발전소의 안전성과 유용성을 개선하여 자본비를 획기적으로 줄일 필요가 있다.

이를 위해 미국에서 주도하고 있는 4세대 원전 연구(Generation IV)를 포함해서 여러 나라에서 수

행하고 있는 개량 혹은 혁신 개념의 원자로 연구 개발 계획에 능동적으로 참여하여야 한다.

한 나라에서 운전하는 원전은 명백히 운영국의 책임이기는 하나, 사안에 따라서는 주변에 이해 당사국이 생길 수 있다. 예를 들어 1993년부터 프랑스에서 운반하기로 계획된 일본의 플루토늄 수송이나, 동년 러시아의 액체 폐기물 동해 투기, 그리고 1997년 대만의 저준위 폐기물 북한 매립 시도와 같은 문제들이다.

이러한 문제들로 지역의 안보를 해치지 않기 위해 이해 당사국의 물리적 피해 방지는 물론이고 이해와 협조를 구하면서 추진되어야 한다.

이를 위해서는 자국의 계획을 투명하게 유지하고 정보 교류를 통한 국제 교류를 활성화해야 할 것이다. 이같은 기술 교류를 통해 얻는 시너지 효과는 지역의 개별 국가들이 기울이는 노력이 더욱 효율적으로 성과를 발휘하도록 할 것이다.

2. 원전 보유 희망 국가의 과제

이 지역에서 원전의 도입을 검토 혹은 계획하고 있는 국가들은 다른 어느 지역보다 동일한 문화권에 속하고 안보상 이해가 결부되어 있는 지역 내 원전 보유국들의 경험을 무엇보다 먼저 활용해야 한다.

원전의 도입을 검토하고 있는 국가들은 대부분 연구용 원자로 정도는 가동하고 있다. 이 때의 인력과 행정 체제는 원전 도입을 준비하는 초기 단계에 매우 중요한 근간이 될 것이다. 그러나 이들 인력과 행정 체제는 본격적인 준비 단계에 접어들어서는 절대적으로 부족할 것이다.

따라서 도입 희망 국가는 이러한 자원의 부족을 보완하기 위해 원전 보유국과의 인적 · 기술적 교류가 필수적이다. 이 때 주요 기술 교류 내용은 보유국들의 도입 타당성 분석, 국제 지원 획득 방안, 입찰 및 인력 양성 계획, 그리고 경우에 따라서는 정부와 국민의 지지 획득 방안과 기술 자립 전략 등이 포함되어야 한다.

다음으로 원전의 실제 도입에 대비하여 국제적 신인도 제고에 노력할 필요가 있다. 국제적 신인도 제고를 위해서는 우선 원자력의 평화적 이용 방법, 안전한 운전 유지 능력, 도입 계획의 확고한 추진 의지, 그리고 국가적 관련 체제의 구축 및 유지 능력 등을 국제적으로 확신시켜야 한다.

이와 같이 투명한 계획을 통해 국제적 신뢰를 획득할 경우 세계 금융 시장에서의 자금 조달이 용이하고 입찰과 건설에 참여하는 업체와의 계약도 용이하고, 확고하게 진행될 수 있을 것이다.

마지막으로 가장 중요한 요소가 정부와 국민의 이해와 지지 기반을 획득하는 것이다. 특히 초기의 도입 계획은 원자력 전문가들이 중심이 되어 행정부의 에너지, 자원, 그리고 경제 기획 분야 등 관련 행정 기관에 포진한 전문가들의 이해와 지원을 획득할 수 있어야 한다.

이러한 이해 과정을 거쳐 완성된 종합 계획은 종국에는 추진국 최고 의사 결정권자의 결심까지 받아야 한다.

다음으로 국민과 환경 단체의 지지를 받는 것이 중요하다. 원전 후보지의 지질 구조 안정성 검증의 불완전성에도 불구하고 12기까지의 원전 건설 계획을 추진하려던 인도네시아에서 1993~1997년에 국민들과 외국의 환경 단체들까지 합세해 원자력 발전에 반대하는 격렬한 캠페인을 가졌다.

이와 같이 저항이 증폭되자 1997년 2월 당시 수하르토 대통령은 이 계획을 보류하고 원자력 발전을 '최후의 대안'으로 선정한다고 발표한 바 있다.

이와 같이 원전 계획을 추진하기 위해서는 정부의 지지(Government Acceptance)만큼이나 국민의 지지(Public Acceptance)가 중요한 성공 요인이다.

이를 위해서는 기술 도입의 경제적 · 기술적 · 환경적 · 사회적 · 심리적 측면에서 유용성과 해결 방안, 그리고 투명성 유지 계획까지 포함하는 상세하고 방대한 계획도 동시에 수립하여야 한다.