



아시아의 원자력 현황

— 경험과 앞으로의 계획 —

이 창 건

원자력위원회 위원

아시아 국가들은 급격히 확장하는 경제 수요에 대처하기 위하여 에너지 공급 시스템을 확대할 야심적인 에너지 공급 프로그램을 개발해 왔다.

그들의 신규 전력 수요 대부분은 석유·석탄 및 가스에 의해 충당될 것이지만, 증가하는 에너지 수요, 에너지 안보, 환경 보전 및 기술 제고의 고려는 더 많은 아시아 국가들이 원자력 개발을 추구하게끔 유도하고 있다.

현재 원자력은 일본 및 대만에서 약 30%, 한국에서 약 40%의 전력을 공급하고 있다.

한국·일본·대만과 기타 아시아 국가들은 앞으로도 원자력 발전 용량을 대폭 늘릴 것으로 예상된다.

한국의 원자력 발전 설비는 98년의 12GW에서 2004년에는 16.7GW로 늘어날 것이다.

한편 중국 및 인도는 각각 현재 약

2GW의 원자력 설비를 보유하고 있지만 2004년에는 2배 이상으로 증가할 것이다.

아시아 지역의 원자력 발전 설비는 97년 말 현재 총 67GW로서 세계 전체 369GW의 약 16%를 점유하고 있으며, 2010년에는 신규 원전 설비의 대부분이 아시아 지역에서 개발될 것으로 예상된다.

더욱이 아시아 국가들은 21세기도 원자력 설비를 계속 확대할 것으로 예상되며, 특히 중국은 2010년까지 18GW의 원자력 설비를 추가로 개발할 계획이다.

원자력은 또한 환경 보존 및 온실가스 방출 저감 측면에서 많은 아시아 국가들에게 특별한 관심을 주며, 그 고도 기술 때문에 일부 국가에 매력을 준다.

원자력 관련 기술과 같은 강력한 선진 기술은 엔지니어링 기반 구축, 기반 산업의 제고 및 잘 훈련된 기술 인력의 확대에 기여한다.

그러나 아시아 지역에서 원자력의 급격한 개발은 개별 국가 및 타 지역에 많은 도전을 야기할 것이다.

이 글을 이들 문제의 특성과 극복

방안에 대하여 설명할 것이며, 원자력 안전, 경제성, 사용후 연료를 포함하는 폐기물 취급, 핵비확산 및 국민 수용 문제를 포함할 것이다.

머 리 말

인간은 태어나 반드시 더욱 잘 그리고 우아하게 살기를 원한다.

결국 우리가 우리의 촛불을 밝게 비추고, 현대 문명의 복잡한 수레바퀴를 잘 윤활하고 계속적으로 운동하게 하며, 또한 지속적인 개발을 통하여 우리의 생활 수준을 높이는 것이 필수적이다.

그러나 한편 그러한 물질 수요의 충족이 우리의 보금자리, 이웃 및 이 지구를 둘러싼 생태계를 더럽혀서는 안된다.

달리 말하자면, 우리는 하늘과 바다를 파랗게 유지하고, 산과 들을 푸르게 유지하며, 우리의 물을 깨끗하고 먹을 수 있도록 하면서 오염에 찌든 공기를 자연 상태로 복원하기 위하여 할 수 있는 모든 것을 다해야 한다.

이런 의미에서 마하트마 간디의

“자연은 우리의 모든 필요를 충족할 수 있지만, 우리의 욕망을 충족할 능력은 갖지 못한다”는 말을 기억해야만 한다.

왜냐하면 우리의 욕망은 자연 속에서 무한하지만, 하늘은 유한하기 때문이다.

우리는 우리의 사회·경제적인 체계를 유지하기 위한 에너지 문제가 원자력의 이용없이 해결될 수 없는, 그리고 에너지 문제가 원자력만으로도 해결될 수 없는 인류 역사 시대에 들어서고 있다.

사실을 말하자면, 원자력이 전세계의 에너지 및 기타 필요에 대한 모든 해결책으로서 만병통치약이 될 수는 없지만, 그 문제의 중요하고 필수불가결한 부분을 확실히 유지할 것이다.

냉전 시대를 살아온 사람들의 마음 속에 오래 남아온 섬뜩한 핵구름의 경멸적인 이미지는, 우리가 과거 핵무기의 선입관을 원자로에서의 연료의 형태로 전력 생산하는 모습으로 탈바꿈함으로써, 원자력을 깨끗하고 경쟁력있는 에너지원으로서 긍정적으로 바라보도록 점차 바뀌고 있다.

이러한 방향 선회를 실현하기 위하여 인간의 이성이 탐욕을 지배하고, 인간의 지혜가 종종 인간의 삶과 역사를 왜곡시키는 충동을 지배해야 한다.

어떤 경우이든 우리는 오염된 환경을 우리의 후손에게 물려주어서는 안

된다.

우리의 세대가 공기와 물을 더럽히는 것은 정말 범죄이며, 다가올 세대에겐 큰 영향을 가져온다.

생태계 오염의 영향을 복원하는 것은 정말 어렵고 비싸며, 시간 소비적인 일로서 후세에 대한 그 결과는 정말 비참할 것이다.

이러한 관점에서, 한국원자력환경기술원 장인순 원장의 “기술 개선을 통한 원자력 사업의 성공적인 수행은 자연에 대한 사랑을 표현하는 우리의 방법이다”라는 원자력 기술과 자연과의 관계에 대한 말은 옳은 것이다.

원자력이 특히 에너지가 부족한 인구의 함께 급속한 경제 개발로 세계 에너지 시장과 기후 변화 전망에서 긴박하고 중요한 문제를 줄 아시아 지역에서 새롭고 깨끗한 에너지라는 것이 우리의 확신이다.

아시아 경제는 지금 노동 집약적 경공업에서 에너지 및 자본 집약적 중공업으로 그들의 산업 기반을 변환하는 단계에 있다.

결과적으로 아시아 국가들의 과거 10년간 평균 GNP 성장률이 선진국의 성장률을 꾸준히 능가해 왔으며, 이러한 GNP 증가는 자연히 높은 에너지 수요와 전력 소비의 훨씬 더 빠른 성장을 야기해왔다.

이러한 개발 특성과 함께, 아시아의 에너지 자원은 적으며, 지정학적인 이유로 국가간 에너지 자원의 이전이 꽤 제한되어 왔다.

그러므로 일부 국가들은 해외 에너지 자원에 대한 매우 높은 의존을 나타낸다.

예를 들면, 한국은 에너지 수요의 97% 이상을 수입 에너지에 의존한다.

70년대에 두 차례의 석유 파동과 페르시아 걸프 전쟁으로부터 얻은 교훈으로부터 우리는 국가 정책에 있어서 에너지 자원의 다양화를 채택하도록 하였다.

에너지 및 전기는 특히 장기 계획 및 기술 수출 추진에 있어서 정부 정책의 중요 항목이 되었다.

일본을 제외하고 아시아 지역의 전력 개발 계획 수립의 공통적인 특징은 낮은 초기 투자비, 짧은 건설 공기와 기술 노하우의 부족으로 인한 화석 에너지 자원을 통해 긴박한 수요를 충족하는 것이다.

그러나 장기적으로 전력의 안정적 공급을 보장하기 위하여 원자력은 오랫동안 최적의 선택으로서 고려되어 왔다.

이 논문은 석유 지배 배제, 환경 보전 기여, 온실 가스 배출 억제 및 높은 기술의 파급 효과 이득같은 많은 사항을 고려한 원자력의 미래를 다룬다.

또한 21세기에 아시아의 에너지 수요를 충족할 원자력의 적절한 역할과 관련한 수많은 문제를 다루고 있다.

아시아지역의 에너지 수요

아시아의 에너지 수요는 93년에서 2010년 사이에 배가될 것으로 예상되며, 전세계 에너지 소비 점유율도 4분의 1 이하에서 30% 이상으로 증가할 것이다(표 1).

그러한 증가는 인구 증가와 급격한 경제 성장에 기인한다.

에너지 소비 증가는 특히 전기 부문에서 두드러질 것이다.

향후 15년에 걸쳐 아시아 지역의 전력 생산은 130%까지 증가할 것으로 예상된다(표 2).

그렇다 하더라도 아시아 지역 인구 대부분의 1인당 전기 사용량은 여전히 낮을 것이다.

임박한 수요 증가를 고려하여 가장 중요하고 신뢰성있는 전력 생산 수단으로서 원자력을 갖는 것이 중요하다.

전원 구성은 각 나라의 국내 에너지 자원에 따라 크게 다르다.

국내 부존 에너지 자원이 거의 없는 일본·대만 및 한국같은 나라들은 원자력에 크게 의존할 수밖에 없으며, 현재 전체 전력 공급의 33%에서 40%를 차지하고 있다.

97년에서 2010년까지 아시아 원자력 설비는 배가할 것으로 예상된다.

아시아의 많은 국가들이 가까운 장래에 그들의 원자력 발전 설비를 대

폭 확대할 것으로 보인다(표 3).

한편 중국과 인도는 현재 각각 약

예를 들면, 한국의 원자력 설비는 98년의 12GW에서 2004년에 16GW 이상으로 증가할 것이다.

2GW의 원전 설비를 보유하고 있으나, 2004년까지 2배 이상으로 증가할 것이다.

(표 1) Asia and Global Energy Consumption(M TOE)

Region	1971	1993	2010
1. Asia, of which:	679	1,874	3,696
China	236	731	1,460
Japan	270	461	651
East Asia	101	431	927
South Asia	72	251	658
2. Other regions	4,319	6,206	8,097
Total(1+2)	4,998	8,080	11,793

(표 2) Asia and Global Electricity Output(Terawatt-hours)

Region	1971	1993	2010
1. Asia, of which:	677	2,727	6,393
China	138	839	2,210
Japan	385	905	1,523
East Asia	78	564	1,419
South Asia	76	419	1,241
2. Other regions	4,604	9,771	14,514
Total(1+2)	5,281	12,498	20,907

(표 3) An Overview of Nuclear Power in Asia

Country	Nuclear share out of the total electricity in 1996(%)	Installed units and capacity in 1996(%)	Forthcoming units and capacity(net GWe)	Capacity projected for 2004(GWe)	Capacity projected for 2010(GWe)
Japan	36.1	54(46.5)	4(4.0)	52.3	70.5
Korea	36.1	12(9.6)	8(7.0)	16.7	24.7
Taiwan	28.8	6(5.1)	2(2.6)	7.1	7.8
China	1.2	3(2.3)	8(6.57)	2.0	20.0
India	1.9	10(1.8)	6(1.75)	4.0	7.6
Pakistan	0.9	1(0.1)	1(0.3)	0.4	1.9
North Korea	0	0	2(1.9)	0.3	2.0
Total		86(65.4)	32(24.1)	82.8	134.5

아시아 지역의 총원자력 발전 설비는 97년말 현재 87기 67GW에 달했으며 전세계의 약 16%를 차지했다.

2010년에는 아시아 국가들이 전세계 신규 원자력 발전 설비의 대부분을 차지하게 될 것으로 예상된다.

예를 들면, 중국은 2010년까지 18GW의 원전을 추가 개발할 계획이다.

장기적으로 이 추세는 지속될 것이며, 아시아의 전세계 원자력 발전 점유율은 계속 증가할 것이다.

아시아가 원자력 산업의 새로운 중심축이 될 것이며, 향후 20년에 걸친 설비 증가는 전세계의 4분의 3 이상을 차지하게 될 것이다.

아시아의 원자력 현황

당분간 아시아의 원자력 성장은 현재 운영중인 설비와 함께 그들 경제에 크게 제한될 것이다.

원자력은 이미 한국·일본 및 대만에서 전력 공급의 주요 부분을 차지해 왔다.

중국은 국내 시장을 개방함으로써 거대한 원자력 계획을 향한 비약적인 단계를 시작했으며, 비록 현재의 원자력 비중은 미미하지만 장래 세계 원자력 개발 계획의 중심지가 될 것으로 기대된다.

인도에서는 원자력이 97년에 전체 전기 공급의 2% 미만을 차지했지만 추가 확대가 계획되어 있다.

파키스탄은 원자력발전소를 운영한 첫번째 아시아 국가 중의 하나였으며, 98년에 제2호기가 가동에 들어갈 예정이다.

인도네시아·태국 등 기타 국가들은 2010년 이후 그들의 에너지 계통에 원자력 설비를 포함할 것임을 시사해 왔다.

세계 총생산(GDP)의 18%를 공급하는 일본은 이 지역에서 가장 큰 원자력 설비를 보유하고 있다.

현재 45.5GW 설비 용량의 54기가 일본 전력의 약 3분의 1을 공급하고 있다.

97년에 일본의 원전은 일본의 원자력 역사상 최고인 81.3%의 평균 이용률을 기록했다.

특히 23기 가압 경수로(19.36GW)의 평균 이용률은 세계 평균보다 훨씬 높은 83.4%를 기록했다.

원전 건설의 가장 큰 장애물은 입지 문제이며, 원자력의 국민 이해에 관한 님비(NIMBY) 현상에 의해 복잡하게 되어왔다.

일본은 「전원3법」이라 불리는 발전소 입지 및 운영에 대한 우수한 법적 체계를 개발해 왔다.

전원3법의 기본 철학은 전력 공급지와 대응하는 최종 수혜자간 보상의 호혜적인 흐름을 강제적으로 시행하는 것이다.

말하자면, 전력은 송전선에 의해 상대적으로 풍부한 지역인 수혜자에게 공급되며, 반면에 법적 매개 수단

에 의해 발전소 인근 지역 주민에게 보상이 주어진다.

일본은 원자로 설계·제작·건설 및 정비에 있어서 거의 기술 자립을 하고 있다.

일본 및 미국의 제작사들은 개량형 가압 경수로(APWR) 및 개량형 비등수로(ABWR)를 포함하는 경수로를 함께 개발하고 있다.

도쿄전력은 1,300MW ABWR을 가시와자카 가리와 단지에 건설했다.

2기로 구성된 첫 번째 호기는 96년 11월 7일 상업 운전을 시작했으며, 두 번째 호기는 97년 7월 2일 가동에 들어갔다.

일본은 핵연료 농축 및 제작을 포함하는 선행 핵주기 설비와 사용후 연료 재처리 및 재순환을 포함하는 후행 핵주기 설비를 잘 개발해 왔다.

그러나 일본은 우라늄 수입에 의존해야 한다.

장기 계획은 경수로에서의 플루토늄 재순환과 개량형 고속 증식로의 개발을 포함하지만, 도카이 재처리 설비 및 몬주 고속 증식 실증로에서 발생한 사고로 좌절되어 왔다.

현재 중국에는 3기의 원자로가 가동중에 있다(자체 설계한 Qinshan Phase 1 및 2기의 대아만 프랑스형 PWR).

이들은 전체 전력 공급의 1%인 2GW의 원자력을 공급한다.

2010년까지 20GW의 원전 설비를 갖는 주요 원자력 산업을 개발할

계획이 있다.

야심적인 원자력 개발 계획이 이미 시행중이며, 2기의 자체 설계 원자로, 2기의 수입 중수로 및 4기의 수입 가압 경수로를 포함하고 있다.

군사 및 민간 핵연료 주기 설비를 운영하고 있는 중국핵공업총공사(CNNC)는 국제 시장에 원자로 및 핵주기 역무를 공급할 계획이다.

그들의 기체 확산 설비 및 신규 원심 분리 설비에서의 생산이 핵주기 역무에 포함된다.

한국은 현재 전력 공급의 40%를 차지하는 12기의 원전(PWR 10기 및 PHWR 2기)을 갖고 있다.

6기의 원자로가 건설중이며, 2010년까지 추가로 10기의 원자로가 건설될 계획이다.

실제 모든 전력 생산은 부분적으로 민영화되고 있는 국영 기업인 한국전력공사가 맡고 있다.

한국의 개량형 표준 원자로가 미국 및 유럽의 개량형 경수로 설계의 일부 특성을 반영한 차세대 원자로의 모델로서 개발되어 왔다.

한국은 우라늄 자원이 없으며, 농축 및 재처리 설비도 갖추고 있지 않다.

한국은 PWR 및 CANDU 연료를 자체 제작하고 있지만, 유럽·러시아 및 미국으로부터 농축 우라늄을 수입하고 있다.

북한에서는 2기의 1,000MW급 경수로의 건설이 한반도에너지개발기구(KEEDO)의 후원하에 시작되었다.

이는 북한이 흑연 감속 원자로의 운영을 중단하고, 화학 재처리 설비 및 2기의 흑연 감속 원자로의 건설을 중단시키는 협정의 일환이다.

대만에서는 현재 전력의 29%를 3개 부지의 6기의 원자로에서 공급하고 있다.

제4의 부지에 건설될 1,350MW의 개량형 비등수로(ABWR)인 2기가 2004년 및 2005년 각각 상업 운전에 들어갈 예정이다.

핵연료 제작 및 공급은 주로 외국 회사와의 장기 계약을 통하여 이루어질 것이다.

인도에서는 현재 10기의 원전이 운영중에 있다(2기의 비등수로 및 8기의 중수로).

97년에 원자력은 전체 전력 공급의 약 2%를 차지했다.

모든 원자로는 200MW급 용량이다.

2기의 500MW 원전을 포함하는 6기의 중수로가 추가로 건설되고 있다.

장기적 목표는 상업용 고속 증식로 용 플루토늄을 생산할 PHWR의 이용 및 국내 토륨자원을 활용할 기술 개발을 포함한다.

인도는 원자력 기술 자립 정책을 꾸준히 추구해 왔다.

파키스탄은 1기의 PHWR을 가동중이며, 1기의 PWR이 거의 준공 단계에 있다.

파키스탄은 우라늄 생산, 농축, 연료 제작 등 선행 핵주기의 자립을 이루었지만, 상업용 재처리는 수행하지

못하고 있다.

아시아지역의 원자력 확대 이유

아시아의 원자력 확대 노력은 급격히 증가하는 전력 수요 충족, 에너지 안보, 온실 가스 방출 저감 및 고급 기술의 파급 효과 이득같은 수많은 이유에 토대된다.

많은 이유가 공통적이지만, 아시아 지역의 다양함을 반영하여 중심적인 동기는 국가마다 다르다.

총에너지 공급중에 해외 에너지 자원의 의존률은 다른 OECD 국가에 비교하여 극동 지역 국가에서 매우 높다(표 4).

97년에 일본 및 한국에서의 에너지 수입은 85% 및 97.5%인 반면, 영국·미국·프랑스 및 독일에서는 각각 3, 18, 54 및 55%이다.

아시아 태평양 지역에서 인도네시아, 브루나이 및 말레이시아는 순에너지 수출국이다.

인도네시아는 21세기 초부터 석유 수입 국가가 될 것으로 보인다.

사실 인도네시아는 77년에 연간 8천3백만톤의 최고 석유 생산을 기록한 이후 매년 생산률이 감소하고 있다.

90년 인도네시아의 석유 생산은 77년의 85%에 불과했다.

반대로 석유 소비는 과거 15년에 걸쳐 65%의 거대한 증가를 기록해 왔다.

세계 에너지 시장은 석유 수출국으

(표 4) Nuclear Power Program in Asia(as of December 31, 1997)

	In Operation		Under Construction		Reasonably Firmly Planned		Total	
	GWe	Units	GWe	Units	GWe	Units	GWe	Units
Japan	45.5	54	0.8	1	6.0	5	52.3	60
Korea	12	14	5.7	6	11.2	10	28.9	30
Taiwan	5.1	6	2.7	2	0	0	7.8	8
China	2.3	3	3.3	4	5.4	6	11.0	13
India	1.8	10	0.9	4	2.9	8	5.6	22
Pakistan	0.1	1	0.3	1	1.5	3	1.9	5
Indonesia	0	0	0	0	1.8	2	1.8	2
North Korea	0	0	2.0	2	0	0	2.0	2
Total	66.8	88	15.7	20	28.8	34	111.3	142

(표 5) The Rate of Dependence on Foreign Energy Resources of the Total Energy Supply

Country	%	Remarks
U.K.	3	North Sea oil
U.S.A	18	Abundant domestic reserves
France	54	Nuclear energy
Germany	55	Domestic coal
Japan	85	Mostly from the Middle East
Korea	97.5	Mostly from the Middle East

로부터 93년 10월에 석유 수입국이 된 중국의 에너지 소비 형태에 크게 좌우될 것이다.

두 자리 수의 경제 성장률과 함께 중국의 에너지 소비 증가는 크게 증가할 것이다.

중국에서의 1인당 에너지 소비가 한국의 평균치에 도달한다면 중국의 총에너지 소비는 미국을 능가하여 세계 에너지 수급을 어렵게 할 것이다.

또한 그러한 상황은 극동 수역을 매우 갈등 상황으로 가져갈 것이다.

석유 생산 중동 지역의 정치적 불

안정과 함께 중동의 석유 수출 항구 및 아시아 항구 사이의 해로가 너무 멀고 공격받기 쉬워서 지역 갈등을 불러일으킬 수 있다.

2010년에 극동 지역은 중동으로부터 매일 1천5백만배럴의 석유를 수입할 것으로 기대되며 전세계 석유 수입의 20%를 차지할 것이다.

수십대의 유조선이 인도·말레이시아·인도네시아 및 싱가포르의 중무장한 해군 및 공군 기지에 인접한 공격받기 쉬운 해로를 매주 통과해야 할지 모른다.

특히 10km 폭의 160km 길이의 얇은 영해인 말라카 해협은 전략적으로 특별한 주목을 받을 만 하다.

전부는 아니더라도 대부분의 아시아-태평양 국가들은 말라카 해협을 통해 수송되는 중동 석유에 의존하고 있다.

더욱이 그 유조선들은 남중국해의 또다른 위험한 지역을 통과해야 하는데, Paracel, Spratly 및 Senkaku 열도같은 많은 섬과 암초들은 많은 인접 국가들에 의해 소유권이 주장되고 있다.

그러므로 이 해로 역시 해상 수송 안보 차원에서 또다른 병목이다.

2010년에 한국의 총에너지 수요는 약 2억5천만TOE에 이를 것이다.

원자력과 LNG의 이용같은 최선의 노력이 이루어진다 하더라도 적어도 1억2천5백만TOE의 석유가 매년 수입되어야 하며, 이는 일본 석유 수입의 50%, 대만 및 홍콩 석유 수입의 200%에 버금갈 것이다.

그러므로 간단히 한국은 민감한 지역의 전쟁 또는 갈등의 희생자가 되지 않도록 석유의 지배로부터 자유로워야 한다.

원자력이 이를 완화하는 역할을 수행하도록 이용될 수 있다는 것이 우리의 확신이다.

한국의 에너지 수입액은 97년에 271억달러에 달했으며, 이는 우리에게 견딜 수 없는 짐이다.

이런 점에서 원자력은 무역수지의 무거운 멍에를 줄일 수 있다.

1. 에너지 안보

일본·한국·대만·싱가폴 등 몇몇 아시아 국가들은 국내 부존 에너지 자원이 거의 없으며, 북미 및 유럽의 다른 OECD 국가보다 훨씬 높은 윌로 에너지 수요의 대부분을 수입에 의존해야 한다.

중국은 93년 10월 이후 석유 및 가스의 순수입국이 되었다.

필리핀 및 태국 역시 수입 에너지에 크게 의존하고 있다.

이 수입 에너지의 대부분이 위에 언급된 대로 길고 잠재적으로 위험한 해로를 통하여 중동으로부터 선적된다.

원자력은 특히 기술 및 토목 작업이 자체 공급될 수 있다면, 에너지 공급을 다양화하고, 수입 에너지 비용을 낮춤으로써 에너지 안보를 향상시킬 것으로 보인다.

대부분의 아시아 국가들이 수입 우라늄 및 해외 농축 우라늄에 의존할 수밖에 없다 하더라도, 핵연료는 화석 연료보다 더 쉽게 저장될 수 있으며, 에너지 공급의 전반적 다양화에 기여할 수 있다.

에너지 자원을 타고난 그 지역의 경제에도 불구하고 원자력을 개발 확대할 장기 계획이 그들의 산업화 진전을 지지하도록 준비되었다.

특히 석탄과 수력의 풍부한 에너지 자원을 갖고 있는 중국 및 인도는 이 범주에 들어간다.

특히 중국의 경우에 이 자원들은 산업화된 해안을 따라 에너지 부하

중심지에서 훨씬 떨어져 있다. 먼 거리의 일정한 연료 공급 흐름에 의존하지 않는 원자력은 이러한 공급 문제를 용이하게 한다.

에너지 자원을 갖고 있음에도 불구하고, 인도의 석유 수입은 총수출액의 4분의1에 달하며, 무역 수지를 어렵게 만든다.

아시아 국가 중 에너지 자원에 있어서 가장 축복받은 인도네시아조차도 석유 및 가스에 대한 수출을 위하여 원자력에 관심을 표명했다.

2. 환경 보전

원자력은 환경 보전 측면 때문에 많은 국가에서 특히 관심이 있다.

도시 공기 오염은 많은 아시아 국가에서 매우 높다.

이는 북미 및 유럽의 대부분의 도시보다 훨씬 높으며, 전형적으로 세계보건기구(WHO)의 지침을 크게 초과한다.

인도 및 중국에서의 석탄에 대한 높은 의존은 특히 시급한 도시 공기 오염 문제로 이끌었다.

아시아의 급격히 증가하는 도시 지역의 지속적인 가속된 석탄 사용은 도시 공기질의 심각한 악화를 유발할 것이며, 이미 광범위한 산성비의 침적을 확대시킬 것이다.

온실 가스 방출과 관련하여 대부분의 대기속 이산화탄소 방출은 화석 연료의 연소에서 비롯한다.

가능한 비탄소 방출원으로서 환경

속으로 온실 가스 방출을 제한할 조치 차원에서 원자력이 토의되도록 기대된다.

3. 원자력 기술 제고

원자력은 높은 기술 측면에서 일부 국가에 매력을 준다.

그러한 국가들은 현대화와 경제 개발을 추진할 수 있는 기술에서 뒤떨어지기를 원하지 않을 것이다.

이들 국가들은 또한 원자력을 관리하는 기술적 품질같은 고급 기술의 크기가 그 나라의 기술 기초의 전반적 개발, 산업 기반 및 훈련된 인력의 확대에 기여한다고 주장한다.

97년까지 8,500원자로·년 이상의 운영 경험이 현재의 전세계 원전으로부터 축적되었다.

이러한 경험을 토대로 개량형 원자로 설계의 개발이 현재 진행중이며, 세가지 기본 형태로 구성된다.

- ① 냉각재/감속재로서 경수 또는 중수를 이용하는 수냉 원자로
 - ② 냉각재로서 나트륨같은 액체 금속을 이용하는 고속로
 - ③ 냉각재로서 헬륨 및 감속재로서 흑연을 이용하는 기체 냉각로
- 현재 운영중인 원자로의 약 90%가 가압 경수로(PWR), 비등수로(BWR) 및 중수로(HWR)같은 수냉 원자로이다.

개량형 경수로(ALWR)의 설계가 이전 원자로를 닮고 있지만, 설비 단 순화와 새로운 수동 안전 계통을 받

영하고 있다.

개량형 설계의 첫번째 및 두번째 BWR이 96년 및 97년 각각 일본에서 성공적으로 가동에 들어갔다.

원자력 확대 문제

아시아에서의 원자력의 급속한 개발은 관련 국가들의 전력 개발에 중요하고, 또한 세계적 충격을 미치는 수많은 문제를 야기한다.

이들은 원자로 안전, 사용후 연료를 포함하는 방사성 폐기물 처리, 경제성 및 핵비확산 등이다.

자연히 광범위한 문제의 공유된 관심이 전세계적인 협력을 불가피하게 만든다.

1. 원자로 안전 및 안전 문화

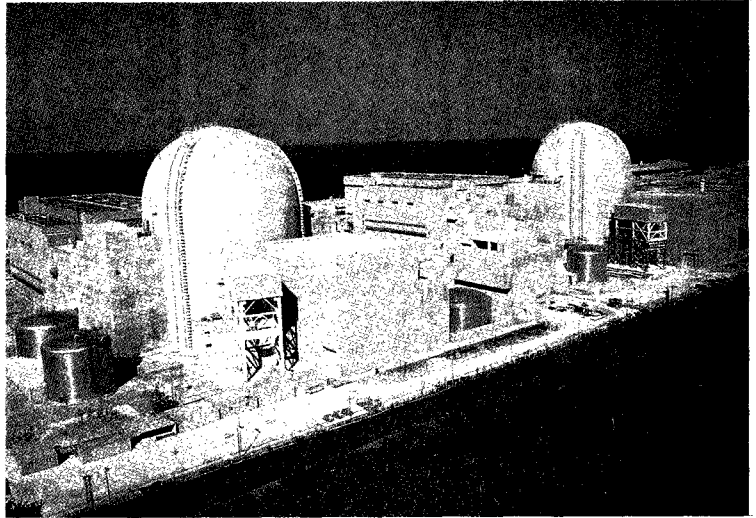
안전 문제는 세계적으로 중요하다. 체르노빌의 영향에서 보았듯이 어디서든지 원자력의 미래는 모든 원전의 안전한 운영에 의존한다.

전 IAEA 사무총장인 한스 블릭스씨는 "어떤 곳에서의 원자력 사고는 모든 곳에서의 원자력 사고이다"라고 말한 적이 있다.

이것은 지역 내외에서의 안전 문제에 대한 상호 협력의 가능성을 암시한다.

몇몇 국제 기구 및 프로그램이 원자력 안전을 촉진하도록 준비되었다.

안전 문제는 운영뿐만 아니라 설계·제작 및 건설 단계의 모든 원자력 부문에 퍼져 있다.



한국 표준형 원전의 올진 3·4호기. 아시아 지역의 원자력 발전 설비는 99년 말 현재 총67GW로 세계 전체 369GW의 약 16%를 점유하고 있으며, 2010년에는 신규 원전 설비의 대부분이 아시아 지역에서 개발될 것으로 예상된다.

설계 및 엔지니어링에서 이것은 건전한 기초 설계 채택, 충분한 안전 여유 및 고장-안전 개념, 적절한 운전 및 정비 수단을 포함한다.

원자로 설계의 표준화는 또한 안전하고 신뢰적인 운전을 촉진한다.

진보된 정비 기술은 작업자의 방사선 피폭 위험을 줄인다.

지역 국가들은 계속적으로 원자력 안전의 중요성을 인식하고, 안전 문화를 강화하며, 설계, 엔지니어링 및 건설, 운전 및 정비 그리고 모든 수준의 직원 훈련을 포함하는 발전소 성능에 있어서 국제적 안전 기준을 채택해야 한다.

안전성은 세계적인 문제이므로 아시아 국가들은 정보 및 데이터의 지역 교류와 원자력 안전에 관한 많은 국제 프로그램 및 규약 준수로부터 이익을 얻을 수 있다.

2. 원자력의 경제성

기본적 문제는 원자력이 타전원에 비해 경제성이 있느냐하는 것이다.

그러나 원자력과 타기저 부하 발전을 경제적으로 비교하는 것은 복잡한 문제이며, 시기에 따라 변화할 수 있고 또한 많은 불확실성을 내포한다.

개별 발전소의 비용은 위치, 설계, 부지 조건 및 용량에 따라 크게 다를 수 있다. 많은 것들이 경제성에 영향을 줄 수 있는 발전소 수명에 따라 일어날 수 있다.

원자력발전소의 운전 유지비는 발전소가 노후되고 규제 요건이 강화될수록 증가된다. 이들 비용 요소의 일부는 화력 발전소와 공유되며, 비교를 더욱 복잡하게 한다.

연료비는 예기치 않게 변할 수 있다. 현재 저가의 석탄은 석탄 발전소의 경제성을 향상시킨다.

원자력 발전비의 매우 작은 부분을



차지하는 우라늄의 낮은 가격은 총비용에 큰 영향을 미치지 않는다.

가스 비용의 급격한 하락, 증가된 이용률 및 고효율 기술(복합 사이클 가스 터빈)은 최근 전력 생산의 새로운 경쟁력있는 요소로 등장했다.

전력 생산을 위한 다른 비원자력 기술(재생, 개량 석탄 연소 기술)의 진전은 또한 전력생산의 경쟁력에 중요한 영향을 미칠 수 있다.

과거 주요 원자력 관련 다른 변화는 비싼 재설계 및 설비 개선을 수반하는 규제 요건과 건설 및 시운전 기간을 증가시키는 인허가 과정이었다.

그러한 지연은 원전의 자본 비용이 예외적으로 총비용의 큰 몫을 차지하므로 원자력 비용을 크게 증가시킨다.

더욱이 자본 집약 원자력발전소는 그들의 평균화된 비용을 계산하기 위해 이용된 할인률에 매우 민감하다.

아시아 국가들은 그들 자신의 환경에 따라 원자력의 비용 및 경제성을 결정하기 위한 수용 가능한 모델을 개발하기 위하여 국제 기구들과 함께 협력해야 한다.

이들 모델들은 각 주요 비용 요소에 대한 불확실성 범위를 추정할 일정한 수단을 제공해야 한다.

3. 방사성 폐기물 및 사용후 연료 관리

방사성 폐기물의 안전한 저장은 원자력 발전의 가장 다루기 힘든 세계적인 문제의 하나이며, 만족스럽게 처

리되지 못한다면 미래에 원자력의 추가 개발을 잠재적으로 막을 수 있는 문제임을 입증해 왔다.

세계 원전의 사용후 연료 발생량은 97년에 약 32,000톤으로 추정되며, 가까운 미래에 연간 약 10,000톤으로 감소할 것으로 기대된다.

‘Once-Through’ 연료 주기 개념의 현행 저장 방식은 사용후 연료를 특별 설계된 수조속에 원자로 부지 내에서 임시로 저장하는 것이다.

이들 저장조는 당초 단기 저장을 위해 계획되었지만, 재처리 대안의 부재시 및 영구 처분장 선택의 어려움을 고려하여 현재 장기 저장소로 쓰여지고 있다.

다른 지역에서처럼, 폐기물 관리는 아시아 국가들에게 주요한 문제를 던진다.

일본에서는 각 전력사가 정부의 감독하에 발생한 폐기물을 저장할 책임이 있다.

저준위 폐기물의 영구 처분 설비는 이미 로카쇼무라에서 운영중에 있다.

유리화 폐기물 설비 또는 심층 지하 처분 시설의 건설같은 장기 해결책이 조사중에 있다.

한국에서 폐기물 관리는 사업자인 한국전력공사의 책임이다.

저준위 폐기물은 사용후 연료와 같이 부지 내에 저장된다.

현재 방사성 폐기물 저장을 위한 어떤 구체적 활동도 없다.

대만에서 대만전력은 폐기물을 관

유도의 저장 시설과 발전소 부지 내에 저장한다.

고준위 폐기물, 즉 사용후 연료는 부지 내에 저장되며, 고준위 폐기물의 심층 지하 처분을 위한 어떤 부지도 선택되지 못했다.

상호 협정에 따라 대만전력은 북한에 방사성 폐기물의 선적을 추진했지만, 이 거래는 지역 내 정치 외교적인 논쟁으로 좌절되었다.

인도에서 각 원전은 자신의 폐기물을 저장한다.

인도는 순환 연료 주기 방식을 따르며, 고준위 폐기물의 유리화 및 고품을 위한 핵연료 재처리 설비 및 관련 시설을 확립했다.

인도는 고준위 폐기물의 감시와 함께 중간 저장 시설을 운영하고 있으며, 궁극적인 심층 지하 처분이 조사중에 있다.

파키스탄에서 중간 및 고준위 폐기물은 현재 관련 원자력 설비에 저장된다.

현재 아시아의 어떤 국가도 고준위 폐기물의 처분을 위한 영구 중앙 시설을 갖추지 못했다.

많은 아시아 국가들이 원자력의 확대를 계획함에 따라 원자력 폐기물 관리 문제는 계속적인 우선적 주목을 받아야만 한다.

일부 국가에서 관계된다면, 지역 저장 시설의 가능성이 조사될 수 있다.

4. 핵비확산

민간 원자력의 활용에 있어서 주요

한 문제의 하나는 핵물질의 전환 및 핵무기의 확산에 관련된 위험 가능성이다.

원자력을 이용하는 아시아 국가들은 개량형 원자로의 개발과 핵주기 설비의 운영에 있어서 지역 협력의 제고를 위한 조치를 취해야만 한다.

그리고 핵비확산 제도의 엄격한 준수 속에 민감한 핵물질 관리에 있어서 완전한 투명성과 함께 모든 노력이 이루어져야 한다.

북한과 그 원자력 시설은 핵비확산 제도의 입장에서 지구촌의 특별한 관심을 준다.

북한은 85년에 NPT 조약의 당사국이 되었지만, 92년 4월 그 핵활동의 IAEA 사찰을 허용하도록 동의하기 전에 6년 이상을 끌었다.

그 기간 동안 1개내지 3개의 핵무기에 충분한 플루토늄을 생산한 것으로 알려져있다.

98년 3월 현재, 북한은 만족스럽게 이 물질을 설명하지 못했고, IAEA의 과거 플루토늄 생산에 관한 정보를 포함하고 있는 것으로 믿어지는 2개의 핵폐기물 부지에 대한 '특별 사찰' 허용을 거부했기 때문에 NPT 협정하의 IAEA 안전조치를 준수하고 있지 않다.

94년 10월 미국과의 상호협정에 따라 북한은 미래에 이들 문제를 해결하는 데에 동의했다.

그동안 북한은 수많은 민감한 설비의 운영 및 건설의 중단을 포함하여

NPT하의 의무를 초과하는 핵활동의 제한을 수용했다.

영변 핵단지의 약 40km 북서 지역에 거대한 지하 설비가 건설되고 있으며, 이 의심스러운 설비는 북한의 비밀 핵무기 생산용 부지로 믿어진다.

인도 및 파키스탄은 원자력발전소를 갖고 있으며, 확대를 계획하고 있다.

그러나 그들은 NPT의 당사국도 아니고, 포괄적 핵실험금지협정(CTBT)도 비준하지 않았으며, 대부분의 공급국에 의해 요구되는 전범위 안전 조치 수용을 거부하고 있다.

그러한 상황하에 인도는 74년 그 첫번째 핵폭탄을 시험했던 라자스탄 사막에서 98년 5월 11일 및 13일에 이들 간격으로 5개의 핵장치를 폭발시켰다.

파키스탄은 인도의 핵실험 2주후인 5월 28일에 5개의 핵무기를 폭발시켰다.

5월 30일에 파키스탄은 같은 장소에서 또다른 핵실험을 실행했다.

인도 및 파키스탄의 핵실험은 이 무서운 기술을 얻는 공개적 초청으로 이들을 바라볼 초기 국가들 사이에 연쇄 반응을 일으킬 지 모른다.

이것은 전세계 및 아시아의 원자력계에 두려운 문제가 아닐 수 없다.

아시아 원자력 산업계와 당국들은 비확산 조약 준수를 재확인하도록 다른 국가들과 협력해야 한다.

협력 분야는 핵물질의 물리적 방호, 그 통제 및 개량, 핵연료 주기 활동의 지역 협력 및 개량형 원자로 개발을 포함할 수 있다.

아시아 정부들은 지역 내외에 핵확산 문제를 최소화하는 데에 기여하도록 투명성을 위한 노력을 증대하고, 체계적인 신뢰 구축 조치를 취해야 한다.

결 론

아시아 지역은 향후 수십년에 걸쳐 총원자력 설비 증가의 주요 부분을 차지할 것이다.

이들 국가들은 에너지 안보를 제공하고, 환경을 보전하며, 기술 파급 효과를 얻을 뿐만 아니라, 생활 수준을 개선하고, 국가적 현대화를 촉진하기 위하여 원자력을 확대할 욕구를 갖고 있다.

비록 이 논문에서 지역 내 협력이 크게 강조되었지만, 아시아 국가와 타 지역 국가들과의 협력 제고도 중요하다.

이들은 상호 호혜적이어야 한다.

아시아 외의 일부 국가들은 아시아의 동반자에게 그들의 과거 경험의 이득을 넘겨줄 수 있으며, 그들은 또한 그들 자신의 국가에 실질적인 새로운 활동이 없는 시기에 진보된 기술 개발을 포함하여 아시아의 급속한 원자력 개발의 경험으로부터 배울 수 있다. ☉