

原子力의 環境影響

W. D. Guthrie

〈國際原子力機構(IAEA)〉

序 論

지난 수년간 세계적인 논란의 대상중에서 “환경”은 가장 지배적인 것 중에 하나였다. 지금까지 핵에너지와 원자력발전에 대한 대중의 견해는 환경문제의 완화라기 보다는 환경문제와 직접적으로 연관되어 있었다.

만약 현재의 기후변화와 대기온도 상승이 이산화탄소(CO₂)와 기타 개스의 방출량 증가에 기인한다면, 미래의 에너지 수요와 공급의 패턴에 대한 보다 엄밀한 분석이 요구된다. 本稿에서는 상업용 에너지생산에 사용되는 화석연료로부터 발생하는 CO₂의 방출량과 원자력발전이 CO₂의 방출을 억제하는데 기여할 수 있는 잠재력, 특히 기대되는 결과의 예측 보다는 2010년에 원자력발전의 기술적 잠재력에 대해서 논하고자 한다.

에너지消費와 環境影響

1988년 1년간 전세계의 총 1차에너지 소비량은 약 341.3EJ이며, 이 중에서 원자력에너지의 비율은 5.1%에 해당한다. 총 1차에너지중 29.7%는 전력으로 생산되었고, 그중 17.1%가 원자력발전

에 의한 것이었다. OECD회원국에서 총 에너지 수요의 47.5%를 소모했으며, CMEA국가에서 24%를, 그리고 그외 국가에서 30.3%를 소모했다. 표1에 1988년의 총 에너지 소비량을 에너지원과 지역별로 나누어 나타냈다.

미래의 에너지 소비량과 이에 따른 CO₂ 방출량에 대한 분석은 본질적으로 불확실할 수 밖에 없으며, 그 실례를 표2에 나타내었다. 표2는 4개기관 (IIASA, CEC, WEC, Goldemberg)이 제시한 세계 에너지 소비 평가자료이다.

총 1차에너지 수요와 그에 따른 CO₂ 방출량을 비교적 낮게 평가한 자료에는 다음의 2가지 가정이 내포되어 있다.

①에너지의 변환과 사용에서 괄목할만한 효율 개선.

②국민총생산(GNP)과 에너지 소비의 관계구조 변화.

한편 IIASA의 평가자료에서는 앞의 두가지 가정을 상대적으로 낮게 추정하고 있다.

이와 같은 맥락에서 전세계적으로, 그리고 선진공업국가에서 원자력의 시장판도를 예측하기 위해서는 미래 에너지공급체계에 관한 심도있는 논의가 필요하다.

〈표1〉 연료별 총 에너지소비량(1988년)

지역별	고 체	액 체	가 스	수 력	원자력	지 열	합 계
북아메리카	15.4 (18.8)	35.2 (43.1)	19.7 (24.1)	5.4 (6.6)	5.8 (7.1)	0.1 (0.2)	81.6 (100.0)
서 유 럽	11.2 (20.5)	23.2 (42.4)	9.6 (17.5)	4.5 (8.2)	6.3 (11.4)	0.03 (0.1)	54.7 (100.0)
동 유 럽	26.0 (31.4)	23.4 (28.3)	27.9 (33.7)	2.7 (3.3)	2.7 (3.2)	0.04 (0.0)	82.8 (100.0)
기 타	50.5 (41.4)	42.4 (34.7)	19.2 (15.7)	7.4 (6.1)	2.4 (2.0)	0.23 (0.2)	122.1 (100.0)
합 계	103.1 (30.2)	124.2 (36.4)	76.4 (22.3)	20.0 (5.9)	17.2 (5.1)	0.4 (0.1)	341.3 (100.0)

(주) ()내 수자는 백분율

〈표2〉 에너지시나리오와 CO₂ 방출량 비교

	연 도	에너지 소비		CO ₂ 방출량	
		Primary Energy TWyr	Energy Per Caput kWyr	Total emiss. Gt C	Emissions per Caput t C/cap
Actual	1988	10.74	2.12	5.84	1.17
IIASA low	2030	22.39	2.80	9.39	1.17
CEC	2030	16.00	2.00	5.18	0.65
WEC low	2020	15.37	1.96	7.11	0.91
Goldemberg	2020	11.20	1.60	4.79	0.60

CO₂ 방출량을 감소시키기 위해서는 에너지 및 전력과 관련하여 다음의 두가지 대안이 있다.

① 에너지 및 전기의 사용에서 효율을 증가시킨다(에너지 보존).

② 석탄 등과 같이 CO₂를 많이 방출하는 화석 연료의 사용을 피하고, 상대적으로 CO₂ 방출량이 적거나 전혀없는 천연가스, 수력, 원자력에너지 등으로 에너지 소비체제를 전환한다.

에너지공급측면에서 보면 CO₂를 방출하지 않는 에너지생산기술로는 원자력과 수력발전 두가지가 있다. 이 두 방법은 온실효과를 초래하는 가스방출을 감소시키는데 아주 중요한 역할을 한다. 이외에도 지열, 태양열, 풍력 등도 부분적인 기여를 할 수 있으나, 전체적으로 용량이 아주 적다.

原子力發電

본 분석에 사용된 가장 기본적이고 필수적인 전제는 원자력발전을 억제하는 모든 정치적, 대중적

인 요인이 배제된 상태라는 것이다. 그렇지만 이러한 전제에도 불구하고 향후 10년간(즉, 2000년까지) 원자력발전용량은 긴 리드타임 때문에 크게 증가하지 않을 것이다. 2000년도 이후의 원자력발전의 성장잠재력은 원전설비의 제작 및 원자력발전소 건설에 요구되는 산업계의 능력과 여러 발전설비중 경제적 측면에서 원자력이 점유할 수 있는 최대비중에 의해서 좌우된다.

보다 가속화된 원자력발전 확대이용계획의 이론적인 근거는 다음의 가정을 기초로 하고 있다.

- 원자력발전은 화력발전과 경제적 경쟁관계에 있다.

- 일반대중이 원자력에너지를 화석연료 연소를 감소시키기 위한 대체수단으로 인정한다.

- 정책결정자는 CO₂ 방출을 줄이기 위한 총체적 전략의 견지에서 원자력발전의 진흥을 촉진한다.

- 행정당국은 보다 단순한 인허가절차 및 노형의 표준화 등을 포함해서 규제조치를 간소화함으

로써 원자력산업의 성장을 도모한다.

핵중기공급계통의 제작 및 설치 능력은 현재 연간 40~60GWe 정도로 추산되는데, 최근의 발전소 건설량은 이에 훨씬 밀들고 있다. 지금까지 가장 많이 원자력발전설비를 제작·생산한 해는 1984년과 1985년으로 그 당시에는 연간 약 31GWe 용량의 원전이 계통에 병입되었다. 그러나 원자력산업계에서는 그 당시의 용량이 원자력산업계 최대의 능력을 의미하는 것은 아니며, 정부당국의 의사결정에 따라서는 더 많은 설비의 건설이 가능했을 것이라고 한다.

따라서 本稿에서는 분석을 하기 위한 기초로서 2000년도 초기의 신규원전 건설용량을 연간 40~60GWe 정도로 예측하였다.

본 분석은 기대되는 결과의 예측이 아니라, 정책결정자가 CO₂ 방출의 감소 및 억제를 위한 총체적 수단중의 하나로 원자력발전을 이용한다고 가정하였을때의 기술적 잠재력을 평이한 시각으로 분석한 것이다.

2000년까지의 短期展望

표3에 나타낸 바와 같이 1988년말에 전세계에

는 총 429기의 원전이 운전되고 있으며, 그 시설용량은 311GWe였다. 또한 105기의 원전이 건설중에 있으며, 그 시설용량은 85GWe였다.

1988년의 총 발전량에서 원자력발전은 17.1%에 해당하는 1,795TWh를 생산했다. 2000년도의 세계의 총 발전량은 1.8~2.0 TWyr(15,739~17,689THh)로 예상되며, 이때 원전에 의한 발전량은 0.31~0.34 TWyr 정도가 될 것이다. 따라서 이에 상응하는 발전설비의 용량은 낮게 평가할 경우와 높게 평가할 경우에 따라 각각 3.81TWe와 4.28TWe에 해당하며, 이 중에서 원자력발전의 용량은 각각 0.43TWe와 0.46TWe이다. 이것은 1989년부터 2000년까지 매년 10GWe 내지 13GWe용량의 원전을 추가건설해야 함을 의미한다. 2000년도의 에너지 소비와 발전량 및 발전용량은 표4와 같다.

中期展望

통상적인 전망

표4에 나타난 바와 같이 2000년도까지 전세계의 원자력발전용량은 현재의 원자력계획에 의하면 430~470GWe에 이를 것으로 예측된다. 2010

〈표3〉 1988년말 원자력발전 현황

• 운전중과 건설중

지역별	운전중		건설중	
	(기수)	(GWe)	(기수)	(GWe)
북아메리카	126	107.5	11	11.2
서 유 럽	160	115.6	13	15.6
동 유 럽	79	43.6	49	35.9
기 타	64	44.1	32	22.1
합 계	429	310.8	105	84.8

• 총발전량과 원자력발전량

지역별	발 전 량		총 에너지 소모량		
	전 체 TWh(e)	원자력 TWh(e)	EJ	발전에 사용량(%)	원자력에 의한 공급(%)
북아메리카	3,190	605	81.6	37.7	7.1
서 유 럽	2,077	652	54.7	36.6	11.5
동 유 럽	2,284	281	82.8	26.6	3.3
기 타	2,962	257	122.2	23.4	2.0
합 계	10,513	1,795	341.3	29.7	5.1

〈표4〉 2000년 에너지소비, 발전량 및 설비용량

• 낮은 경우

지역별	Energy Consum. TWyr	Electricity Generation			Generating Capacity		
		Total TWh	Nuclear Contrib. TWh	%	Total GW(e)	Nuclear Contrib. GW(e)	%
북아메리카	2.98	4243	711	16.8	1082	119	11.0
서유럽	2.00	2683	816	30.4	675	133	19.7
동유럽	3.27	3355	621	18.5	698	95	13.6
기타	5.03	5458	562	10.3	1357	84	6.2
합계	13.3	15739	2710	17.2	3812	431	11.3

• 높은 경우

지역별	Energy Consum. TWyr	Electricity Generation			Generating Capacity		
		Total TWh	Nuclear Contrib. TWh	%	Total GW(e)	Nuclear Contrib. GW(e)	%
북아메리카	3.20	4745	748	15.8	1210	122	10.1
서유럽	2.16	2907	879	29.4	732	143	10.5
동유럽	3.49	3706	711	19.2	771	108	14.0
기타	5.63	6331	644	10.3	1572	94	5.9
합계	14.5	17689	2982	16.9	4285	467	10.9

년도까지의 통상적인 예측은 2000년도까지의 예측에 이용된 자료중에서 낮게 평가한 것을 확대이용한다. 즉, 이 예측은 2010년까지 원자력개발에 보다 긍정적이거나 부정적인 요인이 등장하지 않을 것으로 간주한 것이다.

가속화된 확대전망

만약 원자력에 대한 인식이 더 나빠진다면 원자력발전의 비중은 기존의 계획에 입각한 상기의 전망, 즉 통상적인 전망 보다 훨씬 하향 조정될 것이다. 또 이와는 반대로 원자력에 대한 일반대중의 인식이 온실효과를 초래하는 가스방출 억제를 위해 화석연료의 사용을 감소시켜야 한다는 자각과 더불어 더욱 개선되고, 동시에 이를 위한 거시적 수단으로서 원자력이 정책적인 지원까지 받게 된다면 원자력발전의 성장은 더욱 가속화될 것이다. 여기에서는 후자의 가정을 CO₂ 방출 억제를 위한 수단으로서 원자력의 기술적 잠재력을 분석하기 위한 기본적인 가정으로 도입한다.

2000~2010년의 기간에 원자력발전용량 증설

에 대한 두 가지 시나리오, 즉 매년 40GWe와 60GWe의 발전설비를 증설할 경우를 검토해 보았다.

표5에는 이 두가지의 시나리오에 입각한 원자력발전용량과 통상적인 전망에 의한 용량이 나와 있다. 그리고 표6은 이러한 시나리오의 결과로 총 전력생산에서 원자력이 차지하는 비중을 요약하여 보여준다.

표7과 표8에는 전세계와 지역에 따라서 2010년

〈표5〉 2010년 원자력발전시설용량

	1988 Actual	2000	2005	2010	2000-2010 Growth in %/a
(GWe)					
"Business-as-Usual"					
IAEA-Low	310.8	431	488	533	2.5
Accelerated Expansion					
Case 1	310.8	431	631	831	6.8
Case 2	310.8	431	731	1,031	9.1

도의 총 에너지, 발전량, 원자력발전용량 등을 평가하여 제시하였다.

原子力發電에 의한 CO₂ 放出 억제

화석연료의 구성비가 변화하고, 이들을 이용하는 발전설비의 효율이 점진적으로 개선되기 때문에 2010년에 방출되는 CO₂의 양을 정확히 예측하기란 어렵다. 本稿에서는 문제를 보다 간단하게 하기 위해서 다음과 같이 가정을 하였다.

- 석탄화력발전소를 원전으로 대체한다.
 - 화력발전소의 효율이 2000~2010년 사이에 일정수준으로 유지된다.
 - 화석연료의 구성비가 2000~2010년 사이에 변화하지 않고 일정한 상태를 유지한다.
- 앞의 가정에 의거하여 원자력발전에 의한 CO₂ 방출 억제량을 분석하였다. 표9에 분석결과를 탄소의 중량을 단위로 하여 나타냈으며, 표10에서는 이 값을 원전을 화력발전으로 충당하였을 경우에 예상되는 총 탄소 방출량에 대하여 백분율로 나타냈다.

〈표6〉 2010년 전체 발전량중 원자력발전 비율

	1988 Actual	2000	2005	2010
"Business - as - Usual"				
IAEA - Low	17.1	17.2	17.2	17.2
Accelerated Expansion				
Case 1	17.1	17.2	22.1	25.1
Case 2	17.1	17.2	25.6	31.4

우리남資源의 充分性

앞의 두 시나리오 중에서 원자력의 가속화된 확대전망은 2000년도 이후에는 원전설비의 제작과 설치가 단지 원자력산업계의 생산능력에 의해서만 좌우된다는 가정에서 이루어졌다. 그렇다면 그 정도의 원자력발전용량을 뒷받침해 주는 핵연료 자원이 충분한가를 고찰해 볼 필요가 있다.

〈표7〉 2010년 에너지소비량, 발전량 및 설비용량(경우1)

	Energy Consumption TWhr	Electricity Generation			Generating Capacity		
		Total TWh	Nuclear Contrib. TWh	%	Total GW(e)	Nuclear Contrib. GW(e)	%
북 아 메 리 카	3.05	5284	1356	25.7	1296	229	17.7
서 유 럽	2.04	3244	1516	46.7	805	257	31.9
동 유 럽	3.61	4255	1202	28.2	878	183	20.8
기 타	6.18	7964	1123	14.1	1914	162	8.5
합 계	14.9	20750	5200	25.1	4890	831	17.0

〈표8〉 2010년 에너지소비량, 발전량 및 설비용량(경우2)

	Energy Consumption TWhr	Electricity Generation			Generating Capacity		
		Total TWh	Nuclear Contrib. TWh	%	Total GW(e)	Nuclear Contrib. GW(e)	%
북 아 메 리 카	3.05	5284	1688	31.9	1296	285	22.0
서 유 럽	2.04	3244	1956	60.3	805	319	39.6
동 유 럽	3.61	4255	1419	35.0	878	227	25.8
기 타	6.18	7964	1385	17.4	1914	200	10.4
합 계	14.9	20750	6500	31.4	4890	1031	21.1

〈표9〉 2010년까지 원자력발전에 의한 CO₂ 방출억제효과 (탄소 백만톤)

	1988	2000	2005	2010
"Business - as Usual"				
IAEA - Low	438	660	765	870
Accelerated Expansion				
Case 1	438	660	965	1,270
Case 2	438	660	1,125	1,590

〈표10〉 원자력을 화력발전으로 대체할 경우 총 이산화탄소 방출량에 대한 원자력발전에 의한 CO₂ 방출억제량 백분율 (탄소 백만톤)

	1988	2000	2005	2010
"Business - as Usual"				
IAEA - Low	21	21	21	21
Accelerated Expansion				
Case 1	21	21	26	30
Case 2	21	21	30	38

표11에 WOCA의 우라늄자원현황을 나타냈다. 이미 확인된 우라늄자원과 미발견된 우라늄자원의 가격은 kg당 각각 US \$ 80과 US \$ 80~130이다.

이 같은 자원의 산정은 장래의 생산능력을 고려하지 않고 추론한 것이다. 장래 우라늄의 유포량에 대한 불확실성은 생산기관의 발전과 광산개발 및 정치적인 제약 등에 의존할 것이다.

매장되어 있는 우라늄자원 뿐만 아니라 이미 생산되어 재고로 있는 우라늄의 양도 계산에 포함해야 한다. 1988년 현재 WOCA국가의 우라늄 재고량은 약 50,000톤 정도이며, 그외의 국가에 대한 자료는 알려지지 않고 있다.

앞에서 언급한 원자력계획이 자원에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 누적된 우라늄수요를 유포자원량과 비교해 보아야 한다. 표12는 2000년도와 2010년도에 지역별 연간 우라늄수요를 보여 준다.

〈표11〉우라늄자원현황('89.1.1현재)

	Known Resources		Undiscovered Resources up to \$ 130 per kg U
	up to \$ 80 per kg U	\$ 80 - \$ 130 per kg U	
Reasonable Assured Resources	1,550	655	
Estimated Additional Resources (Cat. 1)	775	390	
Estimated Additional Resources (Cat. 2)			1,685
Speculative Resources - National data			4,615
- International Uranium Resources Evaluation Project Estimates			9,600-12,100

〈표12〉 연간 우라늄수요

	2000	2010	
	low est.	Case 1	Case 2
북아메리카	16.7	32.1	39.9
서 유럽	18.6	36.0	44.7
동 유럽	19.0	36.6	45.4
기 타	12.0	23.0	28.5
World	66.3	127.7	158.5

2010년에 이르러서 모든 원전이 향후 30년간, 즉 2040년까지 운전된다고 가정하고 앞에서 언급한 두가지 원자력계획에 대하여 누적우라늄소요량을 추정하면 표13과 같다.

정적인 관점에서 보면 앞의 두가지 원자력계획 중 어느 하나를 시행한다해도 2010년까지는 우라늄자원에 여하한 문제도 발생하지 않을 것이다. 그렇지만 그후 30년을 고려하면 현재 미발견된 우라늄자원을 개발하여 사용해야 함을 알 수 있다. 미발견된 우라늄의 양은 대략 11~14백만톤 정도로 추정되는데 (표11 참조), 이를 개발하여 이용하면 2040년까지의 예상소요량인 5.5~6.6

백만톤을 충분히 공급할 수 있게 된다.

결론적으로 우리나라에 적절한 경제적 동기만 부여되면 앞서 언급한 가속화된 확장계획을 수행해도 우리나라 자원 공급에는 아무런 문제점이 없을 것으로 기대된다.

原子力 이외에 CO₂를 放出하지 않는 資源

표14를 보면 CO₂를 방출하지 않는 에너지원으로서 전력생산에 가장 큰 기여를 하는 것은 원자력과 수력으로 1988년의 총 전력생산량에서 각각 17.1%와 19.8%를 차지하고 있다. CO₂를 방출하지 않는 다른 에너지원으로 지열, 풍력, 태양열에너지 등이 있지만, 총 발전량에 대한 이들의 기여도는 극히 미미하다.

보다 진보할 것으로 예상되는 미래의 기술수준에 비추어보면 태양열, 풍력, 조력, 지열 등도 장래에는 어느 정도 기여하게 될 것이다. 그외 재생가능에너지원으로 파도, 해류, 우주공간의 태양열 발전 등이 이론적으로는 무궁한 가능성이 있지만, 가까운 장래에(2030년까지) 실용화될 가능성은 희박하다.

최근에 발표된 연구자료에 의하면 세계 동력회 의에서는 2020년의 총 1차에너지에 대한 “새로운 에너지원”(태양열, 풍력, 지열, biogas, 알콜)에 의한 기여도는 통상적 경우와 극단적인 경우에 각각 1.5~3% 정도라고 한다. WEC가 예측한 총 1차에너지와 새로운 에너지원의 점유율이 표15에 나와있다. 또한 이 표에는 기존의 화석연료를 새로운 에너지원으로 대체함으로써 얻게되는 탄소 방출의 감소량도 나타나 있다.

原子力安全性

원자력발전이 앞에서 언급한 바 처럼 대폭 확대 사용되기 위해서는 무엇보다 안전해야만 한다. 원자력 안전성에 관한 자료를 보면 꾸준히 개선되어

가고 있음을 알 수 있다. 이는 원전의 설계와 운전과정에 기본적인 안전법칙을 충실히 적용함으로써 비롯된 것이다. 가장 기본적인 안전법칙은 다음과 같이 요약해 볼 수 있다.

“잠재적 가능성이 있는 운전원의 오류와 기계적 결함을 극복하기 위해 다중방어개념을 도입한다. 즉, 방사성물질이 환경으로 유출되는 것을 방지하기 위해 다단계의 연속적 방어벽을 설치한다. 이 개념에는 발전소 뿐만 아니라 방어벽 자체가 손상되지 않도록 하기 위한 방어벽의 보호 역시 포함된다. 더 나아가서 방어벽들이 충분히 유용하게 작동되지 않을 경우에도 公衆과 환경에 방사성 물질이 유출되는 것을 억제하도록 한다”

〈표13〉 누적 우리나라수요

(100톤 U)

Time Period	Case 1	Case 2
1988 - 2000 (low)	725	725
2000 - 2010	1,000	1,200
2010 - 2040	3,800	4,750
합 계	5,525	6,675

〈표14〉 1988년 전력계통 현황

	발전량		설비용량
	TWh	%	GW(e)
원자력	1,795	17.1	311
수력	2,078	19.8	585
지열	37	0.3	5
화석연료	6,603	62.8	1,725
합 계	10,513	100.0	2,626

〈표 15〉 새로운 에너지원의 CO₂ 방출억제 잠재 기여도

Year	Scenario	Global Primary Energy Consumption TW. yr	Contribution from New Energy Sources TW. yr	CO ₂ Avoided by New Energy Sources million tons C
2000	M	13.64	0.093	71
	L	12.67	0.057	44
2020	M	17.99	0.485	369
	L	15.37	0.226	172

이 방어벽은 운전원의 단일 오류나 기계의 단일 결함시에 公衆에게 전혀 위해를 끼치지 않게 할 뿐 아니라, 다중사고시에도 극미하거나 해를 주지 않게 한다. 또한 다중방어의 적절한 응용은 원전의 기본적인 안전기능, 즉 반응도 제어, 열제거, 방사성물질의 유출방지 등의 기능을 보장한다.

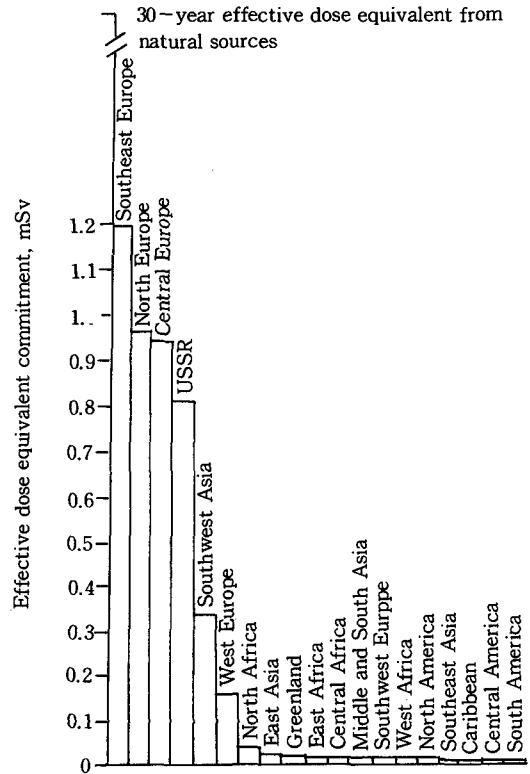
지난 15년간 원자력 안전성평가를 위한 보조수단으로 신뢰도분석이라는 널리알려진 공학법칙을 논리적으로 확장하여 사용했다. “확률론적 안전성분석 (PSA)”으로 알려진 이 방법은 발전소의 안전운전을 위협할 수 있는 모든 초기사고를 분석하고, 그에 따른 발전소의 반응을 모델하는 것이다. 이 모델은 발전소의 설계와 운전에 관련된 상세한 정보를 기초로 한다. 논리모델(고장수목과 사상수목)은 원전운전이 불가능한 상태나 사고상황으로 발전할 수 있는 원인계통의 고장을 규명하는데 이용된다.

여기에서 운전원의 오류는 특히 중요한 항목으로서 이것이 원전안전에 미치는 영향을 PSA방법에서는 고려하고 있다.

최근에 원전의 확률론적 안전성에 관한 목표가 정량적으로 확립되었다. 이 안전기준은 첫째, 원전이 개인이나 사회에 어떤 중요한 위협을 야기하지 않으며 둘째, 균형잡힌 원전의 설계로 특정사고에 취약하지 않도록 하며 셋째, 전세계의 모든 원전이 수명기간동안 운전될때 노심이 손상되는 사고가 단 한번이라도 일어날 가능성을 극히 낮게 하기 위한 목표이다.

어떠한 경우에도 항상 원전 안전성 준위를 평가할 수 있도록 하기 위해 여러가지의 다른 방법과 기술이 사용되고있다. 몇몇 전력회사나 국가기관에서는 안전장치의 성능저하를 감지하는 수치적 장치(지시계)를 개발하여 사용하고 있다.

원전의 종사자나 公衆이 방사선에 피폭되는 것을 막기위한 국제적 기준이 정해져 있다. 이 기준은 여러 국제기관과 국가에서 꾸준히 검토되고 있다. 방사선 피폭은 화학물질 피폭과 비교하여 상대적으로 계측이 용이하다는 장점이 있다. 방사선



〈그림 1〉 체르노빌사고에 의한 지역별 유효선량

피폭의 허용기준이 아주 엄격하기때문에 원자력 발전소에 의한 개인의 피폭선량은 무시해도 될 만큼 적다. 개인의 피폭선량은 자연방사능과 의료장비와 핵실험의 낙진 등에 의한 것이 지배적이다. 그림1은 체르노빌사고후 직접적 영향권 외의 피폭선량을 보여주는데 이 양은 자연방사능에 의한 피폭량 보다 적다.

相對的 危險度 評價

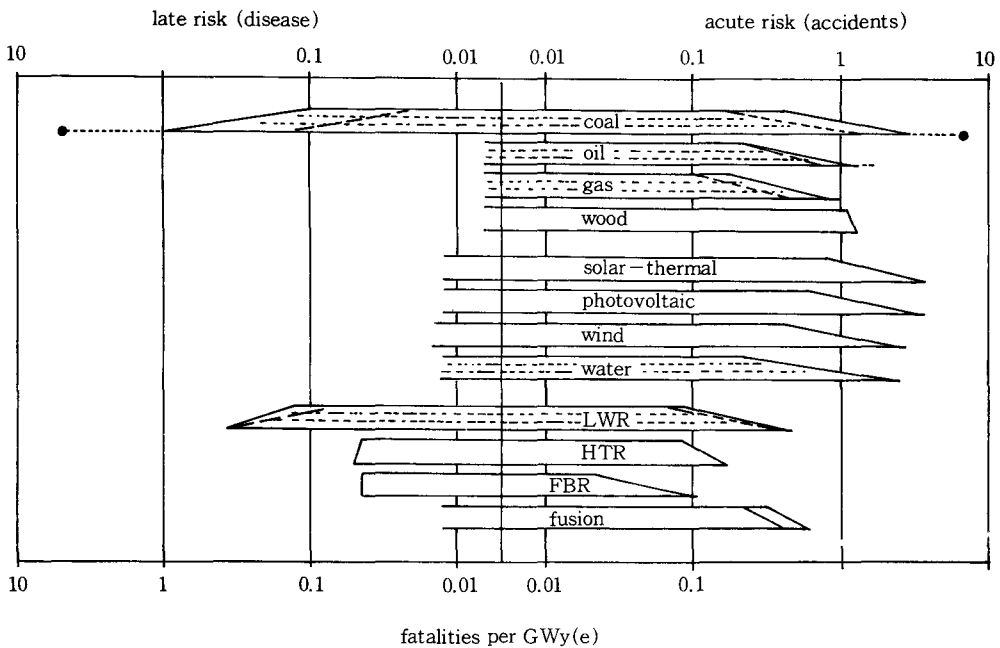
에너지시스템의 상대적 위험도 평가를 위해서는 연료주기에 포함되는 전 단계를 포괄적으로 고려해야 한다. 일반적으로 이에 관한 연구에서는 평균적이거나 대표적인 조건하에서 현대기술이 건강에 미치는 위험도를 평가하고 있다. 그런데 이러한 위험도를 전체적 위험도를 의미하는 하나



의 수치로 나타낼 수는 없다. 그 보다는 여러 차원의 위험을 독립적으로 취급하는 것이 좋을 것이다. 예를 들면 특정직업 종사자와 공중의 위험, 그리고 즉각적 위험과 잠재적 위험 등을 분리하여 고찰하는 방식이 필요하다. 또한 지역과 광역의 위험과 만기적, 중기적, 장기적 위험도를 분리해

야 한다. 그러나 현재의 에너지시스템에서는 이에 관련된 자세한 정보가 없는 실정이다. 중대사고에 의한 위험도 독립적으로 고찰해야 한다.

화석연료가 인체에 미치는 해는 연료 생산과 운반 과정에서 발생하는 직업적인 것이 주종이다. 단, 천연가스는 대기오염을 통해 공중에게도 해를



〈그림 2〉 직업적 사망 위험도 (중대사고 제외, 연료주기 전단계 포함)

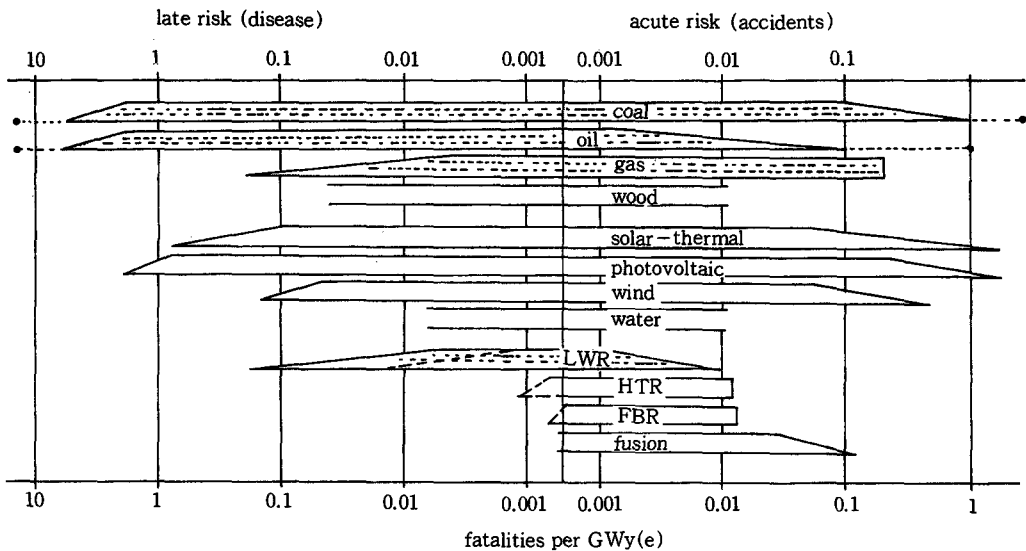
끼칠 수 있다.

원자력의 직업적 위험은 핵연료주기의 전 단계에 고루 분포되어 있다. 공중에 대한 위험은 발전소 운전중 방사성물질 누출에 주로 기인한다.

재생가능 에너지자원은 단위에너지를 얻기 위해 상대적으로 많은 재료와 건설작업이 요구되는 특성이 있다. 따라서 건설과 운영에 높은 직업적 위험도가 수반된다. 구체적 위험도는 특정지역

〈표 16〉 1969~1986년 사이의 전세계 중대사고

에너지원	중대사고		설비	사망자수	
	No.	Cause.		Per event	Average per year
Coal	62	mine disaster	coal mines	10...434	over 200
Oil	6	capsizing	oil platforms	6...123	about 25
	15	fire / explosion	refineries, tank farms	5...145	
Natural gas	42	fire / explosion	transport	5...500	over 90
	24	transport accident	various	6...452	over 80
Water	8	overtopping	dams	11.15000	over 200
Nuclear	1	Transient excursion	Chernobyl	31 + 130,000 evacuated + land contamination	



〈그림 3〉 公衆의 사망 위험도 (중대사고 제외, 연료주기 전단계 포함)

이나 기후조건, 사용기술 등에 의존한다.

여러 전력생산시스템으로 1GWyr의 전력을 생산할때 수반되는 직업종사자와 공중의 위험도를 그림2와 3에 각각 나타내었다. 그림의 막대는 불확실성을 의미하는데, 빗금이 쳐진 막대는 비교적 신뢰성있는 자료를 나타낸다. 이 그림에는 중대사고에 의한 위험도가 제외되었다. 이 그림은 각 에너지시스템의 위험도를 순위별로 명쾌하게 나타내고 있지만, 에너지시스템 선정시에는 지역적 특성과 기타의 상황을 반드시 고려해야 한다. 결론적으로 원전은 건전하게 관리되면 연료주기의 전 단계에 걸쳐 상대적으로 낮은 위험도를 가져온다.

중대사고는 모든 에너지시스템에서 과거에 발생한 적이 있다. 원자력과 수력발전소 뿐만 아니라 석탄, 석유, 천연가스 등에서도 중대사고의 가능성은 상존한다. 역사적 자료에는 댐이 파손되어 수천의 인명이 사상된 극심한 재해도 나와있다.

표16은 이와 같은 중대사고를 에너지원과 설비별로 분류하여 각 사고로 인한 연평균 사망자수와 편차를 보이고 있다.

여러가지 에너지 생산기술로 전기를 생산할때도 잘 관리되고 있는 원전의 중대사고 위험도는 다른 에너지시스템의 위험도 보다 낮다.

結 論

本稿는 전력생산에서 비롯되는 지구의 온난화와 환경파괴에 대한 만병통치약으로 원자력에너지를 더 많이 사용하기를 주장하기 위한 것은 아니다. 그러나 원자력에너지는 기후변화를 초래하는 물질을 방출하지 않으면서 지구의 에너지균형에 중대한 기여를 하고 있다. 따라서 원자력은 에너지보존(절약)과 재생가능 에너지원과 잘 조화를 이루어 온실효과를 야기하는 물질의 방출을 억제할 수 있도록 사용되어야 한다.

科·學·常·識

癌을 치료하는 重粒子線

암은 불치의 병이라 했지만, 지금에 와서는 早期發見과 유효한 치료수단의 개발로 인해 延命효과가 상당히 신장된 것이 사실이다.

치료수단은 외과수술에 의한 조직의 절제, 방사선에 의한 조직에의 照射, 그리고 제압제의 투약이 주된 방법이다.

그중에서 방사선조사에 의한 조직의 제압에는 엑스선과 감마선이 장기간 사용돼 왔으나, 최근에는 보다 치료효과가 큰 速中性子線이 이용되면서 감마선치료로 치유되기 어려웠던 암에 대해 효과가 있다.

그러나 감마선이나 速中性子線을 사용하는 치료에서는 인체의 표면 가까이에서 가장 많은 線량이 높아지고, 深部에서는 線량이 적어지기 때문에 암조직이 신체의 深部에 존재할 경우 방사

선이 患部에 이르기까지는 정상조직이 많은 방사선을 받아서 장애를 일으키기 쉬웠다.

그런데 重粒子線을 照射한 경우에는 표층의 정상조직에는 線량이 적으며, 암조직이 존재하는 深部に 집중적으로 많은 量의 방사선량을 조사시킬 수가 있다. 重粒子線이라는 것은 炭素, 鈾, 鈾, 아르곤 등의 原子에서 주변의 電子를 절제한 粒子를 싱클로트론이라고 하는 가속기로 가속한 것으로서 인체의 深部까지 도달하게 하는 것이다.

이 시설은 중입자선 암치료장치라고 불리우고 巨大한 것으로서 현재 일본 지바市에 있는 방사선의학종합연구소에 건설중인데, 1993년에 완성될 예정이다. 따라서 지금까지의 방사선치료로 치료하기 어려웠던 암치료에도 커다란 기대를 갖게 될 것이다.