

특 집

원자력 국민이해 증진을 위한 세미나
IAEA, 과기처 주최/한국원자력문화재단 주관
10월 26, 27일/쉐라톤워커히호텔

에너지원별 環境保健影響

Friedrich Niehaus

Head, Section of safety Assessment, IAEA

원자력발전소는 안전성과 경제성 뿐만아니라 환경적인 측면에서도 유일가능한 청정에너지라고 할 수 있다. 그러나 환경문제 전문가들 중 일부에서 이러한 사실을 무시함으로 인해 원자력에 의한 지속적인 인류의 번영과 발전을 가로막고 있다.

여기에는 정보의 부족으로 인해 최첨단 과학기술의 산물인 원자력발전소에 대한 안전적인 면의 통제가 부족하다는 그릇된 인식과 방사선에 대한 공포, 정책적 이익 등과 같은 요인들이 있다.

사실, 대국민홍보의 부족은 원자력기술에만 해당되는 것이 아니라 다른 일반기술에도 적용된다. 작은 인구를 가진 부유한 국가에 살고 있고, 고소득을 올리며 그들의 풍부한 여가시간을 누리며 선진국가들의 새로운 세대들은 이러한 기술적 개발이 왜 필요할지를 이해하기 어렵다.

따라서 새로운 공항이나 철도, 공단, 발전소(그것이 수력이건, 석탄이나 석유를 사용한 화력이건, 원자력이건 간에)를 건설하는 것은 어렵고 불가능하게 되었다. 이

러한 기간시설에 대한 투자의 부족은 경기침체와 실업을 몰고왔다. 반면에 동아시아지역의 각국에서는 경제적부흥을 위하여 기간산업에 대한 과감한 투자와 계획을 실현해 나가고 있다.

경제적 성장의 초석은 에너지(특히 전기)의 공급의 안전한 확보에 있다. 다양한 에너지원이 환경과 보건에 미치는 영향에 관한 정보는 낡은 발전소를 대체하는 필요성과 함께 미래의 전력수요를 어떻게 만족시켜야 할지를 결정하는 데 주요역할을 할 것이다.

영향평가를 하는 데 있어서 모든 영향을 종합하여 판단하기에 앞서 각 분야별로 분류하여 이를 깊이있게 분석해 보는 일이 매우 중요하다. 따라서 본 글은 개인에 대한 위험과 일반에 대한 위험, 중대사고시의 위험, 그리고 폐기물관리에 관해 차례로 서술하기로 한다.

개인에 대한 위험

개인에게 닥치는 우려는 그 자신과 그의 가족이 위험에 노출되는 것이다. <그림 1>은 에너지분야에서의 높은 위험도를 가진 직업에 상응하는 산업 여러 분야의 직업별 위험도가 나타나 있다. 무역과 같은 비교적 안전한 산업의 직업적 위험도는 연간 10,000명 중 1명(10^{-4} /년)이 사망하는 것이다. 에너지분야에서 위험한 직

종으로 분류되고 있는 석유시추 작업과 채광작업, 건설과 전기송전선의 보수 등의 종사자는 안전한 산업으로 분류된 직종의 종사자 보다 10배 이상 위험도가 높다.

영국의 안전보건성은 모든 노동자들에게 허용하는 최대한도치로서 10⁻³/년의 위험도를 제안한다. <그림 2>는 방사선작업종사자들의 평균 위험도를 나타냈는데 이는 또한 정상적으로 가동되는 원전 주변주민의 개인위험도가 연당 10⁻⁵~10⁻⁶이라는 것을 보여주고, 잠재적 사고가 미치는 위험이 연간 10⁻⁶이라는 것을 보여준다.

10⁻⁶이란 위험도는 유럽에서 100km를 차로 운전하는 것과 하루에 담배를 한갑피우는 사람이 한가치를 피우는 것과 같다고 볼 수 있다. 따라서 에너지분야의 활동이 개인에 미치는 위험도는 그 수위가 높은 채광과 석유시추 같은 것과 함께 다른 모든 직업의 위험도와 같은 범위 내에 있다고 볼 수 있다.

에너지원별 사회적 위험도

다른 에너지원과 비교할 수 있는 중요한 요소는 생산되는 에너지단위당 사회에 미치는 보건영향이다. 편의를 위해서 큰 원자로나 2개의 화력발전소에서 생산되는 전기량인 1GWa(e)를 예로 들겠다. 정상적인 가동상태에서의

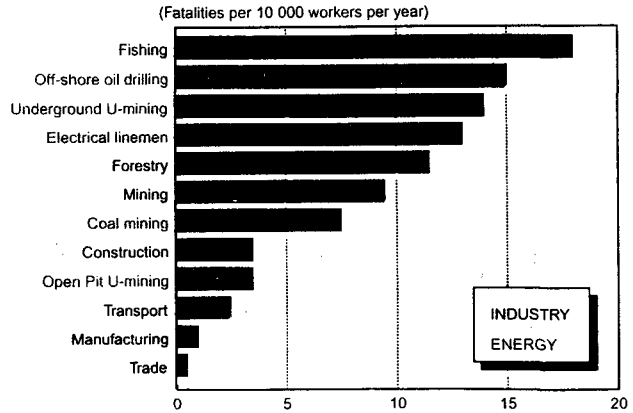


그림 1. 일반산업과 에너지분야에서의 직업위험도

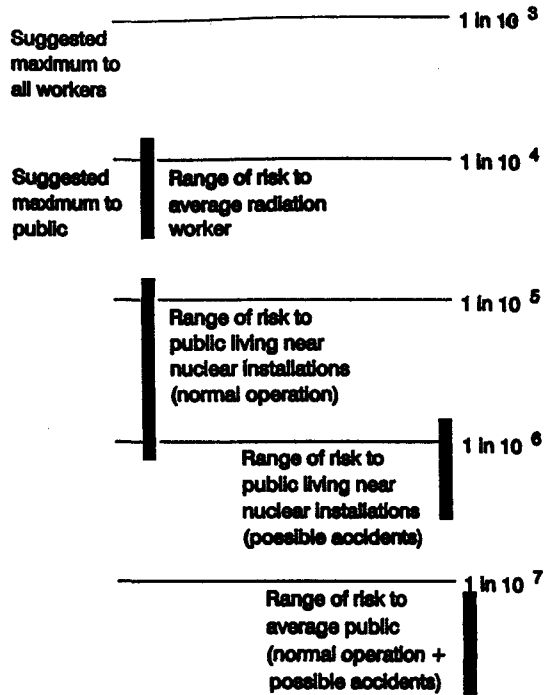


그림 2. 방사선작업종사자들의 위험도

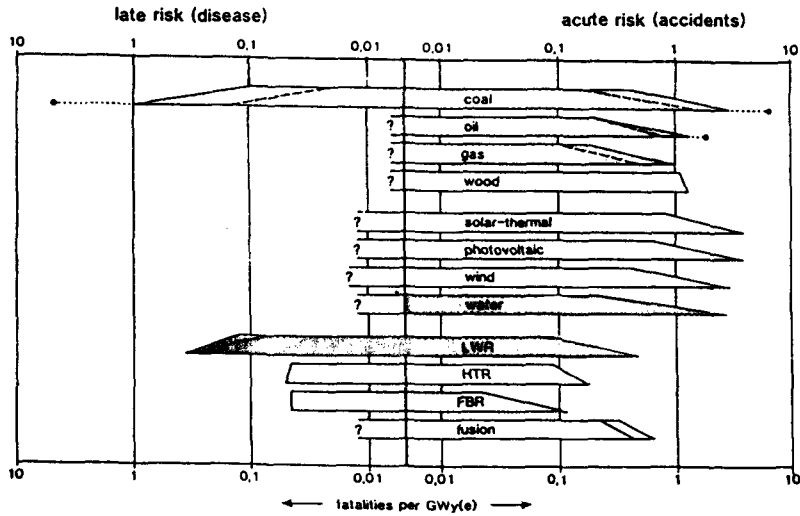


그림 3. 전력생산에 따른 직업적 사망 위험도(연료주기의 모든 단계: 중대사고 없다고 가정)

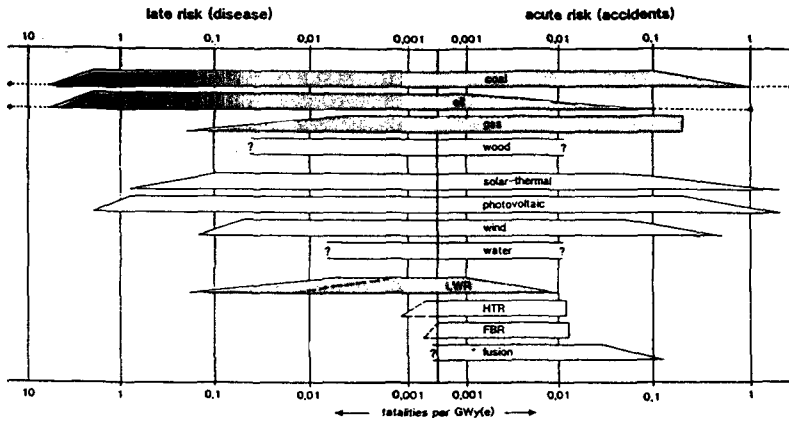


그림 4. 전력생산에 따른 일반대중의 사망 위험도(연료주기의 모든 단계: 중대사고가 없다고 가정)

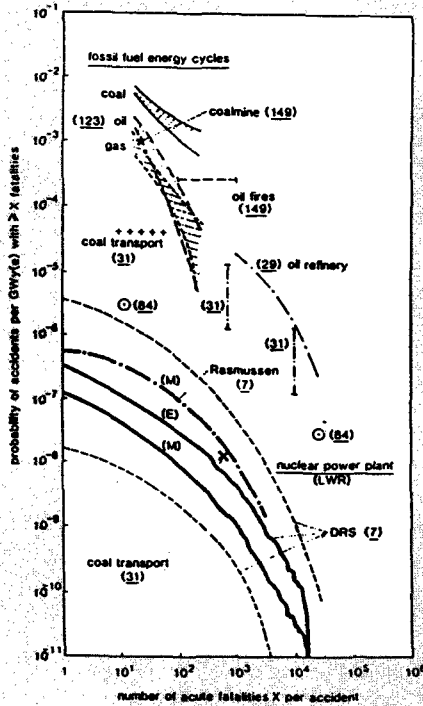


그림 5. GWy전력생산시 중대사고로 인한 급성사망의 빈도: 원자력과 화석연료

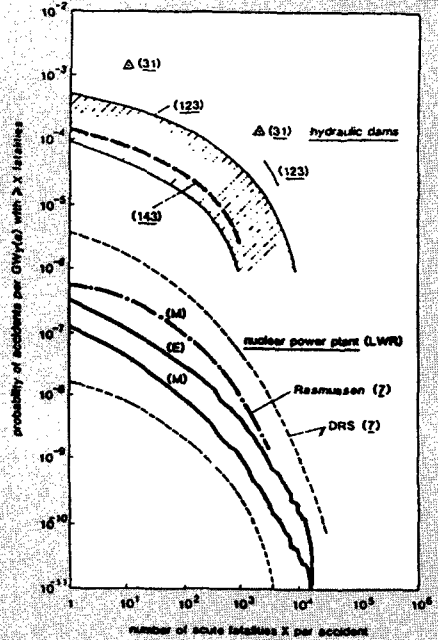


그림 6. GWy전력생산시 중대사고로 인한 급성사망의 빈도: 원자력과 수력

사소한 사고에 대한 영향의 비교이다. 중대사고가 일어날 가능성은 매우 낮기 때문에 중대사고는 이러한 비교에서 크게 다루어지지 않았다. 중대사고에 대한 취급은 적절하지 않기 때문에 별도의 고려가 이루어질 것이다.

연료주기의 각 단계에서 GW-a(e)당의 조건영향에 관한 요약은 <그림 3>과 <그림 4>에 종사자

와 공중 미치는 영향으로 각각 분류되어 있다. 음영된 막대는 비교적 신뢰할 만한 정보를 나타낸다. 불확실한 범위는 각 막대의 끝에 표시되어 있다. <그림 3>에 점선이 그어진 줄은 지하 채광이나 해안시추같은 작업에 비해 노천채광이나 지상에서의 석유나 가스시추 같은 덜 위험한 조건영향에 관한 것이다. <그림 3>에는

순환되는 사고로부터의 영향이 화석을 비롯한 다른 에너지들이 원자력보다 한단계 높은 것으로 나타나 있다. 공중에 미치는 조건영향은 <그림 4>에 비슷한 방법으로 나타나 있다. <그림 4>는 원자력이 물질의 수송에 대한 낮은 필요성과 적은 환경공해로 인해 비교적 낮은 영향을 미치고 있다는 것을 보여준다.

중대사고영향

통계적으로 보면 중대사고는 사회의 보건영향에 크게 작용하지 않음에도 불구하고 잠재적으로 가지고 있는 사회적 혼란 때문에 이것은 특별한 고려가 필요하다. 따라서 <표 1>은 1969년부터 1986년까지의 각기 다른 에너지원으로부터의 중대사고에 대한 기록이다. 통계적 증거와 확률론적 안전분석연구에 근거해 <그림 5>와 <그림 6>은 log-log scale의 확률에 대한 급성영향의 spectrum을 보여준다. 이러한 그림을 통해서 원자력의 중대사고를 통한 위험도는 급성영향만을 고려한다면 다른 에너지기술에 의한 비슷한 영향보다 규모면에서 몇 단계 더 낮다는 것이 확실해진다.

그러나 현재 잠재적 영향에 대해서는 비교된 것이 없다. 체르노빌사고의 경험은 비록 실제적인 건강영향이 있었고 비교적 작다고 평가되었지만 대규모의 토지 오염과 방사선에 대한 공포(비록 그것이 과학적으로는 안전하다는 결론이 도출되었다 해도 공중이 실제적으로 느끼게 되는), 그리고 이주와 통제조치에 따른 사회적 심리적인 영향은 심각하다는 것을 보여준다. 따라서 실제적으로 발생할 수 있는 모든 사고에도 심각하게 외부에 방사성 피해를 주지않는 안전한 새로운 형태의

표 1. 1969-1986년까지 세계의 중대사고

Energy option	Severe accidents			Number of fatalities	
	No.	Cause	Installation	Per event	Average per year
Coal	62	mine disaster	coal mines	10...434	over 200
Oil	6	capsizing	oil platforms	6...123	ca. 25
	15	fire/ explosion	refineries, tank farms	5...145	
Natural gas	42	fire/ explosion, transport accident	during transport	5...500	over 90
	24	fire/ explosion	various	6...425	over 80
Water	>8	over topping	dams	11...2500	over 200
Nuclear			Chernobyl	1 (+130,000 evacuated) + latent contamination (latent effects?)	

원자로 개발이 필요하다는 국제적인 여론이 대두되고 있다.

폐기물관리

원자력발전에는 소규모의 원전 연료가 필요하기 때문에 방사성 폐기물의 양도 또한 적을 수 밖에 없다. GWh(e)의 전력을 생산할 때 원자력발전은 35톤의 사용 후연료와 10톤의 고준위폐기물이 발생된다. 재처리후에 고준위폐

기물은 고화되어 밀폐된 후 화감암과 같은 안정된 지층에 안전하게 관리된다. 폐기물관리 기술의 향상으로 안전성에 대한 과학적인 검증이 전문가들에 의해 이루어졌으나 실제 관리시설의 건설과 운영에는 큰 진전을 볼 수 없었다.

이는 부분적으로 대중의 반대와 정책적 고려, 그리고 폐기물량이 비교적 작기 때문에 즉각적인 필요성의 부족에 기인한다. 대안

표 2. 핵연료주기에서 생성되는 폐기물[m³/GWael]

	Decommissioning	Operation
Conversion	0.5 - 1	20
Enrichment	5	10
Fuel Fabrication	1 - 2	50
Reprocessing	5	100 (30)
NPP (LWR)	375	210 (50)
Total	390	390 (160)

() = new methods for compacting

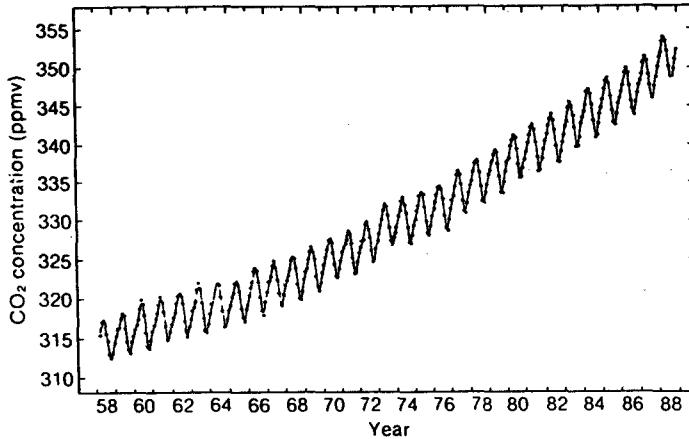


그림 7. 하와이 마우나 로아에서 계속적으로 관측한 건조공기속에 매달 이산화탄소평균. 계절에 따른 평균은 지역적 식물에 의한 이산화탄소량 증감에 기인한다.

으로서 원자연료저장소에서 5년에서 7년을 저장한 사용후연료는 몇십년간 임시저장설비내에 건식 저장되어진다. 이렇게 함으로써 방사성동위원소가 붕괴되는 이점을 가지기도 하는데, 이는 후에 재처리를 쉽게 하거나 또는 사용후연료를 적절한 밀봉을 통해 최종적으로 처분하는 것을 가능하

도록 하였다.

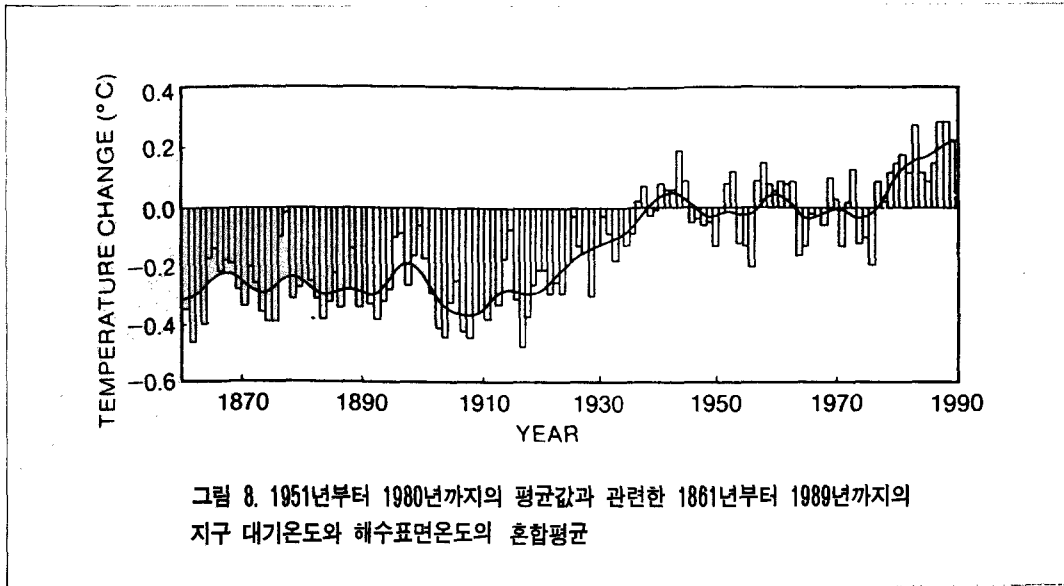
폐기물관리기술에는 큰 발전이 있었는데 그중에서도 스칸디나비아반도내의 국가들의 중준위폐기물처분의 경우는 특별하다. <표 2>에서는 핵연료주기에서 생성되는 폐기물의 양을 정리하였는데 그중에서도 고준위폐기물의 양은 낮은 비율을 차지하고 있다.

표 3. 석탄연료에서 생성되는 폐기물[tone/GWa(ell)]

Coal Consumption	3500000 t
SO2	11000 t
NOx	6000 t
Gypsum	150000 t
Ash	310000 t
Heavy metals	400 t
Arsenic	13 t
Cadmium	2.5t
Cobalt	15 t
Mercury	0.8t
Nickel	36 t
Lead	13 t
Vanadium	63 t
CO2	8000000 t

<표 3>은 석탄화력발전소에서 나오는 폐기물의 양을 보여주고 있다. 많은 양의 석탄이 소모되기 때문에 폐기물의 양도 역시 많다. 특별히 독성중금속의 양을 주목할 필요가 있다. 이러한 폐기물은 방사성을 띠고 있지 않기 때문에 붕괴되지 않고 이것이 도로건설을 위한 재료로 쓰이는 것을 제외하고는 쓰레기처분장에 버려질 것이다. 독일의 경우 사용된 석탄과 시멘트를 혼합한 폐기물처분 방식은 환경론자들에 의해 반대되고 있다.

대기 내에 SO₂와 NO_x를 방출할 뿐만 아니라 화석연료의 사용은 많은 양의 CO₂를 방출한다. CO₂가 현재의 수준이나 심지어 2배가 된다할지라도 독성은 아니다, 오히려 식물성장의 촉진제 역할을 할 수 있다. 그러나 염려되



는 것은 지구에너지수급에 대한 화석연료의 역할과 기후변화에 대한 잠재성이다. 대기중 CO₂농도의 증가는 <그림 7>에 나타나 있고 또한 지구표면온도의 증가는 <그림 8>에 나타나 있다. 비록 원인과 결과에 대한 관계가 확실히 수립되지는 않았지만 관측을 통해 온실효과에 대한 이론적 예상을 가능하게 한다.

그러나 다른 인자들에 의한 불확실성이 아직까지 관측된 영향보다 더욱 크다. 그러나 IPCC(기후변화에 관한 국가간 패널)가 예상하는대로 십년간 0.3°C(0.2-0.5)의 온도증가가 일어난다면 해양의 물의 증가로 인해 수위가 6cm(3-10) 높아지는 것을 포함해 다음 세기 중반에는 큰 재난이 일어날 것으로 예측된다.

결론

현재 좋은 상태로 유지, 가동되는 원자력발전소는 비교적 안전하고 환경면에서 깨끗한 에너지원이다. 원자력안전성 뿐만 아니라 모든 에너지기술의 보건과 환경에 미치는 영향은 계속해서 개선되고 있다.

미래의 원자력발전소가 필수적으로 밟아야 할 단계는 대규모 토지오염의 위험가능성을 없애는 것이다. 모든 에너지원의 기술이 향상된다해도 원자력은 한가지 주요한 장점을 가지고 있다. 이는 화석이나 다른 대체자원을 사용하는 발전에 비해 훨씬 적은 양의 연료를 사용한다는 것이다. 게다가 원자력은 현재 CO₂방출을

저지하는 데 큰 역할을 할 수 있는 에너지이다.

미래의 에너지정책을 세우는데 있어 환경과 보건에 미치는 영향에 관한 정보를 고려하는 것이 중요하다. 이러한 정보는 부족할 뿐 아니라 가끔 잘못 이해되어 지기도 한다. 이는 1989년 유럽에서 있었던 여론조사에서 알 수 있는데 단지 20%의 사람만이 화석연료가 온실효과를 일으킨다는 것을 알고 있었고 10%의 사람이 원자력이 산성비와 온실효과를 발생시킨다고 알고 있었다는 것이다.

이는 대중매체가 환경과 건강에 미치는 에너지원별 영향에 관한 정보를 알려줘야 하는 대중매체의 주요한 역할을 말해준다.