

왜 언론은 많은 인명을 앗아간 참사는 제쳐놓고 이렇게 오랜 세월 동안 TMI 사고를 주시해 오고 있는지를 생각해 볼 필요가 있다.

우크라이나(옛 소련)의 Chernobyl 원자력발전소의 사고는 TMI 사고와는 상당한 부분이 다르다. 1986년 4월 26일에 발생된 2회의 증기 폭발은 체르노빌 4호기의 원자로를 뒤흔들어 놓았다. 흑연 연소의 불길은 하늘로 솟아올랐으며, 방사능 낙진을 포함한 방사능 구름이 서유럽 전역을 뒤덮었고, 이는 전세계 곳곳에서 검출이 가능하였다.

이는 분명 인류사상 최악의 원자력발전소 사고로, 원자력 안전 전문가가 생각할 수 있는 최악의 상황과 원자로의 제4단계 방어벽이라 할 수 있는 격납 기능 부재라는 두 가지 상황이 조합되어 발생한 소위 전문가들이 부르는 ‘극히 이례적(end of spectrum)’ 상황이었다.

사고 이전의 옛 소련은 서방의 발전용 원자로와 달리 원자로에 격납 기능이 필요없다는 자세였다. 이 사고로 인하여 29명의 소방관을 포함한 31명이 사망하였다. 이들 대부분은 화재에 의한 화상이 사망의 원인이었으나, 소방관들 대다수는 많은 양의 방사선에 노출되어 사망한 것으로 보인다.

현재까지 체르노빌 사고로 인한 주민의 건강에 관한 연구 중 가장 체계적인 연구가 IAEA에 의해

1991년에 이루어졌다. 이는 18마일 영역 밖에서 소개하지 않고 계속 거주해 오고 있는 주민에 대한 연구로, 사고 후 발전소 주변에 거주하고 있는 주민들의 건강을 보호하기 위하여 국제적인 전문가들의 판단을 구하고자 한 우크라이나 정부의 요청에 응한 것이다.

IAEA의 조사 보고서에 의하면, 향후 통계상 갑상선 종양의 발생률 증가 가능성은 있으나, “암이나 유전적인 영향이 자연적인 발생 비율에 비해 증가하는 정도가 미소하여 이를 확인하기에 대규모의 장기 역학 연구로도 쉽지 않았다”라고 결론을 내렸다. 이는 그간 매스미디어를 통해 들어온 이야기들과는 판이한 결과인 것이다.

물론 발전소 부근에서의 암 발생률은 높아질 것으로 예측된다. 또한 발전소 인접 마을인 프리피처의 약 45,000명의 주민이 사고 발생 후 36시간이 경과된 뒤에도 소개하지 못하였으며, 이 마을 30km 범위의 주민들은 사고 발생 후 10일까지도 소개를 완료하지 못했다는 사실은 암 발병의 추가적 요인으로 작용되었을 것으로 짐작된다.

체르노빌 남쪽 80km에 위치한 대도시 키예프에서는 초기의 보고와는 달리, 실제 이 도시의 시민이 받은 방사선량은 미국의 방사선 종사자의 연간 허용 선량인 5,000mrem에 미달한 양이었다.

유럽 여러 나라에서 기록된 가장 높은 피폭 선량은 프랑스의 알프스에서 2~3개월 동안 휴가시 받는 방사선 피폭 선량보다도 낮았다.

한편 스웨덴 정부는 토나카이의 고기가 식용으로 부적합할 정도로 세슘-137에 의한 오염이 되었다는 이유로 대량의 토나카이를 처분하였다.

그러나 실내의 고농도 라돈 가스로 고통을 받고 있는 수천의 스웨덴 가정으로서의 라돈 가스에서 받는 방사선량과 동일한 양의 방사선량을 토나카이의 고기에서 받으려면, 91년간 매일 60마리의 오염된 340g의 토나카이 스테이크를 먹어야 한다는 계산이 나와 결국 스웨덴 정부도 세슘-137로 오염된 토나카이 고기의 최대 섭취량을 1인당 660kg으로 인상하기도 하였다.

## 2. Irrational Fear(불합리한 공포심)

미·소 냉전의 붕괴에 따라 밝혀진 미국과 옛 소련의 군사 핵시설에서의 임계 사고로 인한 사망자 수는 옛 소련이 5명, 미국이 2명으로 확인되었다. 군사 핵시설 외에서의 임계 사고는 20년전 아르헨티나에서 1명, 1999년 일본의 도카이무라 임계 사고로 2명의 사망자가 있었다. 그밖에 전술한 바와 같이, 체르노빌 사고의 결과 원자로 운전원과 소방사 31명이 사망하였다. 그러나 서

방 세계에서는 상업 원자력발전소 사고에 의한 방사선 장애로 일반 대중이 사망한 예는 현재까지 전혀 없었다.

그렇다면 이렇게 우수한 안전 기록을 갖는 원자력산업이 왜 아직도 공포의 대상이 되고 있을까?

이 문제를 상세히 조사한 미국의 심리학자인 Robert L. Dupont 박사는 「Irrational Fear」라는 저서에서 사람은 공포심을 갖는 세 가지 기초적인 요소를 갖고 있다고 결론짓고 있다.

이는 ① 제어성의 결여 ② 파멸적 결과 ③ 미지성이다.

우리들은 우리들이 통제할 수 없는 것을 가장 두려워한다. 또한 우리들은 오랜 세월에 걸쳐 일어나는 비극적인 사항은 받아들이면서도 화산의 분출·지진·폭발과 같이 일시에 많은 수의 인명을 앗아가는 참극을 혐오한다.

그 뿐만 아니라 우리와 친숙하지 않고 또한 자세히 알지 못하는 상황에 대해 우리들은 공포심을 갖게 된다는 이야기이다.

Dupont 박사는 원자력은 적어도 어느 정도는 위의 세 가지 요소를 모두 갖추고 있기 때문에 일반 대중의 신뢰를 얻는 데 고심할 수밖에 없다고 피력하고 있다.

즉 대부분의 사람들은 원자력발전소에서 사고가 발생하게 되면 전혀 손을 쓸 수 없다고 느끼고 있으

며, 원자력발전소의 사고로 인해 많은 사람들의 건강이 크게 해를 입을 것이라 걱정하고, 또한 원자력발전소는 도대체 어떻게 작동을 하는지 잘 모르겠다고 생각하고 있는 것 같다.

여기서 우리가 명확히 집고 넘어가야 할 점이 있다. 일반 대중이 원자력발전소를 혐오하는 제일 큰 이유는 원자로가 원자 폭탄처럼 폭발할 것이라는 개연성을 두려워하고 있다는 점이다.

그러나 원자력발전소는 원자 폭탄처럼 폭발할 수 없다. 이는 물리적으로 불가능하기 때문이다. 즉 핵폭발을 일으키기 위해서는 특별한 핵연료로 주의 깊게 가공해야 하며, 또한 정확한 위치에서 초고속으로 안쪽으로 폭축(爆縮)시켜야 하기 때문이다.

그러나 정상적인 열 생산과 핵연료 재장전을 하도록 상업용 발전로 설계된 노심을 갖는 원자력발전소는 원자 폭탄과는 전혀 다른 장치인 셈이다.

체르노빌 4호기 원자로의 경우 출력의 급상승은 발생하였으나 핵폭발은 없었다. 다만 원자로 건물이 붕괴된 것은 사고로 인하여 용융된 핵연료가 물과 반응하여 발생한 수증기의 폭발이 그 원인인 것이며, 인접한 1·3호기 원자로는 전혀 손상을 입지 않았다.

### 3. 원자력발전소의 다중 보호 방법과 다중 보호 조치

서방의 상업용 원자력발전소에서 는 운전중 또는 사고시 원자로 노심으로부터 고 방사능 물질이 주변 대기로 방출되지 않도록 완전하게 방지하기 위해서 다중 보호 방법(multiple barriers)과 다중 보호 조치(multiple levels of protection) 개념을 도입하고 있다.

다중 보호 방법은 기본적으로 4개의 보호 방법으로 다음과 같다.

① 제1 보호 방법은 핵연료 자체이다. 핵분열 생성 물질은 생성 장소에서 몇분의 1cm 내의 연료 중에 잔류하게 된다.

② 제2 보호 방법은 연료를 둘러싼 금속관인 피복관이다.

③ 제3 보호 방법은 1차 냉각재 경계이다. 이 경계는 15cm 이상의 두께의 강재 압력 용기와 냉각재를 열교환기로 운반하기 위한 강재 배관으로 구성되어 있다.

④ 제4 보호 방법은 서방 제국에서 인가된 모든 상업용 원자력발전소에 설치되어 있는 격납 용기이다. 이의 전형적인 설비는 4cm 두께의 기밀성 강관을 포함한 1.2m 두께의 강재 콘크리트 구조물이다.

미국의 대표적인 격납 용기는 미국 공군의 FB-111A 폭격기에 의한 격돌, 시속 600km의 토네이도, 그리고 리히터 스케일로 6.5의 지진에도 견딜 수 있도록 설계되어 있



다.

TMI 사고에서는 원자로에서 다량의 방사성 물질이 방출되었으나 격납 용기로 완벽하게 차단되어 환경으로의 누출은 없었다. 이 사고는 우리에게 격납 용기의 중요성을 재확인시켜 주었다. 체르노빌 사고 역시 중대 사고 완화 장치로서 격납 용기의 중요성을 다시 한번 깨닫게 하는 계기를 마련한 셈이다.

원자력발전소의 다중 보호 조치는 3단계로 나누어 생각할 수 있다. 즉 안전 보호 조치의 1단계는 설계 자체에 대한 배리어다.

안전 보호 조치의 2단계는 사고 상황에 대한 대처이다. 정전시 안전 시스템에 비상용 전력을 공급하는 전원 설비라든지, 통상 사용하는 펌프가 적절히 작동하지 않을 때는 비상 노심 냉각 계통의 일부로서 고압 펌프가 작동하도록 설계되어 있는 점등을 그 예로 들 수 있다.

그밖에 원자력산업이나 항공 회사에게는 운전원이나 조종사의 엄격한 교육 훈련이 요구되고 있다. 최근 한국이 미국 연방항공청으로부터 항공 안전 위험국(2등급) 판정을 받은 것은 우리 정부가 안전의 보호 조치 2단계가 항공 종사자에게 심도 있는 교육 훈련을 요구하고 있다는 사실을 올바르게 인식하지 못한 데서 연유한 것으로 보인다.

안전 보호 조치의 3단계로는 '냉각재 상실 사고(Loss of Coolant

Accident)', 즉 원자로 시스템에서 가장 큰 배관(두께 2.5cm, 직경 60~90cm의 스테인리스강관)의 완전 파단으로 원자로 냉각재를 대량으로 상실하는 사고로 이에 대비하여 '비상 노심 냉각 계통(Emergency Core Cooling System)'이 유사시 가동하도록 되어 있다. 이는 격납 시스템이 외기로의 방사능 오염 물질의 누출을 방지하는 기능에 추가적 보호 장벽 역할도 하게 된다.

#### 4. 원자력은 Fail-safe?

이렇게 원자력발전소에 대해서는 다중의 안전 설계, 즉 '심층 방어(Defence in Depth)' 전략이 채택되어 있다. 그러나 여기서 우리가 유념해야 할 것은 비상 노심 냉각 계통의 신뢰도에 최대의 관심을 나타내다 보면, 압력 용기 건전성의 보증은 비교적 소홀히 다루어지고 있지 않나 하는 점이다.

이미 널리 알려져 있는 바와 같이, 높은 에너지의 중성자에 장시간 조사된 압력 용기는 경년 변화를 일으키게 되며, 일정 조건이 갖추어지면 취성(脆性) 파괴가 일어나게 된다.

비록 비상 노심 냉각 계통이 설계대로 작동한다 하더라도 압력 용기 자체에 큰 결함이 있게 되면 결국 원자로 냉각재의 손실로 노심은 붕괴열로 인하여 용융될 가능성이 있기 때문이다.

1979년 TMI 원자력발전소 2호기는 냉각재 상실로 약 60%의 노심이 용융되어, 사고 발생 226분 후에는 19톤의 용융물이 압력 용기의 바닥까지 도달하였다.

만에 하나, 압력 용기의 바닥이 빠지면서 노심 용융물이 격납 용기의 저장 냉각수와 접촉하게 되었다면 격심한 수증기의 폭발과 함께 격납 용기는 파괴되고 방사능이 누출되는 최악의 시나리오가 전개되었을 것이다. 다행히 압력 용기는 파괴되지 않았으며, 이 과정에서 압력 용기가 파괴되지 않은 데 대한 필연성은 전혀 찾아볼 수 없었다.

우리는 원자력이 결코 'Fail-safe'가 아니라는 점을 깊이 인식할 필요가 있다.

체르노빌 사고는 비극이었으나 산업 재해 중 원자력만이 치명적인 상해를 입히는 산업이 아니라는 점도 짚고 넘어갈 필요가 있다.

지금까지 공표된 가장 규모가 큰 산업 재해는 1984년 인도의 보팔에서 발생한 화학 사고로서 2,000명의 사망자와 20만 명이 넘는 중상자가 발생하였다.

TMI 사고 발생 후 8년 동안 화석 연료(석유·석탄·천연가스) 산업에서는 15건의 대형 사고가 발생하였으며, 이들 사고로 인하여 무려 3,405명 이상의 사망자가 발생하였다. 일반 대중의 느낌과는 달리, 에너지 분야에는 위험을 수반하지

않는 산업은 없다.

**방사능의 연령은 45억세이다**

**1. 모든 방사선은 유해한가?**

우리는 미지의 것에 대해서는 공포심을 갖게 마련이나 그 내용을 잘 이해하고 있는 비극은 비교적 자연스럽게 받아들일 수 있는 것 같다. 우리 나라에서 매년 교통 사고로 사망하는 사람은 1만명이 넘고 있으나, 그럼에도 불구하고 매년 자동차 운전 면허의 등록 수는 증가 일로에 있다.

우리가 어떤 사업에 대해 미지성을 감지하게 되면 우리들의 자연스러운 반응은 그 사업을 반대하는 것이다. 바로 이 점이 원자력산업의 어려운 점이다.

그 근본 원인은 '방사능'이다. 일반 대중은 방사능은 원자력산업이 도입한 20세기의 산물로 오인하고 있다. 그러나 지구는 45억년의 태양계의 역사와 더불어 방사선과 함께 살아 왔다는 사실을 아는 사람은 그리 많지 않다.

즉 방사능은 자연의 일부이며 방사선이 없는 환경은 존재하지 않는다. 특히 천연의 방사성 물질은 우리들 자신의 신체를 포함해서, 모든 음식과 물, 그리고 지구와 우주 구석구석에 존재하고 있다. <표 1>은 Alan E. Walter가 그의 저서 「America the Powerless」에 제

<표 1> 평균적인 미국인의 연간 방사선 피폭 선량

자연 방사선	mrem/년	인공 방사선	mrem/년	선택 가능한 방사선	mrem/년
라돈 가스	200	의료 조치	53	비행기로 북미 대륙 횡단	2
우주선	27	소비 잡화	10	컬라 TV를 본다	1
토양(암석·흙)	28	핵실험 낙진	1 이하	천연 가스로 냉난방	6
인체(자기 자신의 내부에서)	40	원자력산업	1 이하	누구와 동침한다	1
				연간 총 피폭 선량	370 mrem

시한 평균적인 미국인의 연간 방사선 피폭 선량이다.

<표 1>을 보면, 평균적인 미국인이 받는 연간 방사선 피폭 선량의 반 이상이 라돈 가스에서 오는 것을 알 수 있다. 라돈 가스는 우라늄의 붕괴로 생성되는 자연계에 존재하는 방사성 기체이다.

이 기체는 땅·벽·건축 자재 등에서 방출되며 지역적인 편차가 크다. 대기권 밖에서는 우주선이 계속해서 우리들 신체를 관통하고 있으며, 우주선에 의한 방사선 피폭량은 고도가 30m 높아질 때마다 1mrem 증가한다. 1개월에 평균 60시간 비행하는 비행기 승무원은 연간 120mrem의 방사선의 피폭이 추가된다.

'자연의 방사선 background' 다음으로 우리에게 많은 방사선을 방출하는 방사선원은 의료 기기이다. 흉부 X선은 10~50mrem의 선량을, CT 스캐너는 1,000 mrem 수준의 선량을 방출한다. 평균적인 미국인이 원자력산업을 통해 연간 1 mrem의 방사선을 쬐이는 반면, 의료 기기를 통해서도 연간

53mrem의 방사선을 받고 있다는 사실은 매우 흥미롭다.

방사선으로 유발되는 암인 백혈병의 발생률에 대한 가장 믿을 만한 자료는 일본의 원자 폭탄 생존자의 조사에서 확보되었다.

짧은 시간 내에 50만mrem 수준의 방사선에 노출되었을 경우 약 20%가 백혈병을 앓게 되며, 건강에 관측 가능한 악영향을 미칠 수 있는 가장 낮은 방사선은 10만 mrem 정도로 판명되었으며, 이 수준에서의 백혈병 발병률은 약 2%이다. 1만mrem 미만의 방사선이 건강에 악영향을 미친다는 과학적인 근거를 제시한 사례는 아직 보고되고 있지 않다.

1989년 옛 소련의 해체 이후 밝혀진 소련의 핵무기 군사 시설에서의 새로운 자료에서, 연간 5만에서 10만mrem의 선량에 피폭된 사람들에서 '선량률 효과'가 있었다는 새로운 사실이 확인되었다.

즉 핵폭탄의 경우와 같이 순간적인 방사선 조사가 아니라, 장시간에 걸쳐 방사선에 조사될 때, 인체는 상당히 높은 선량을 감당할 수 있다

는 이야기이다.

이러한 사실은 이미 암의 방사선 치료 전문가들에 의해 임상에 응용되고 있는 사실로서, 그들은 1회의 치료에 사용되는 선량은 낮추면서 치료 회수를 증가, 건강한 세포의 파괴는 최소화하면서 유해한 종양에 보다 많은 방사선을 조사하는 방법을 사용하고 있다.

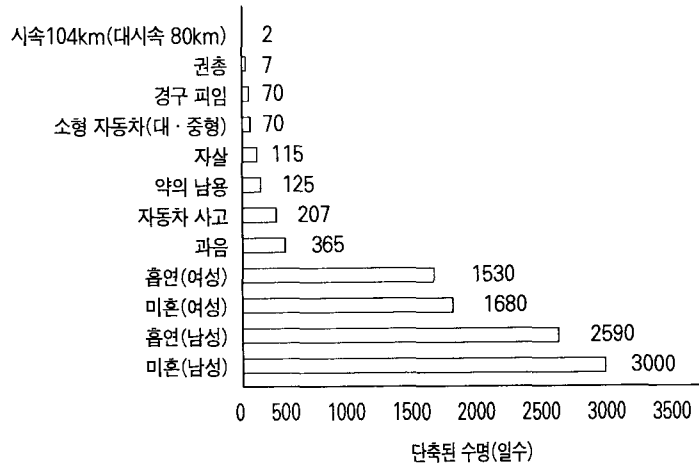
여기서 흥미로운 것은 일정 수준의 저준위 방사선은 인체에 좋은 영향을 미치고 있다는 증거가 축적되고 있다는 사실이다. 이 원리는 'Hormesis' 라고 불리우며, 외부의 힘에 의한 인간 세포에의 자극이 인체 전체의 건강상태나 활력을 개선하는 상황을 뜻한다.

Hormesis의 전형은 「아스피린」이다. 아스피린의 과용은 치명적이거나, 소량의 장기 복용은 심장 발작을 방지하는 데 유용한 '현대의 기적의 약'으로 인정되고 있다.

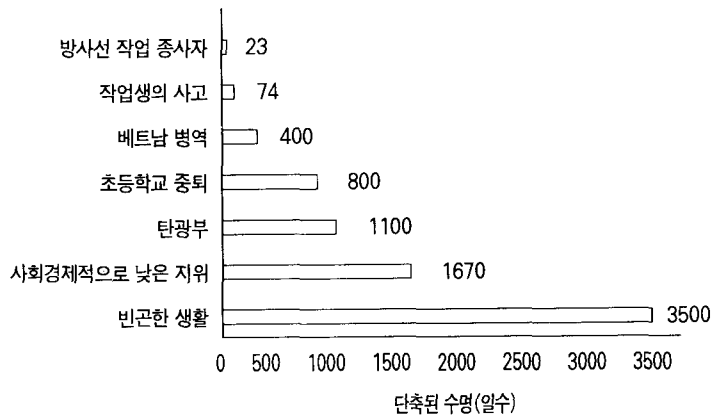
물론 Hormesis에 대한 과학적 견해의 완전한 합의가 이루어진 것은 아니다. 그러나 인간의 신체는 우리가 그간 추정해왔던 것보다 전리 방사선의 영향에 대해 월등한 회복력이 있을 가능성이 크다.

저준위 방사선의 영향에 대해 10년간에 걸쳐 7만명 이상을 대상으로 한 John Cameron의 연구는 Hormesis 효과를 분명하게 보이고 있는 연구 결과이다.

이 연구 결과를 보면 원자력 관련



〈그림 1〉 인생의 선택지에 대한 손실 수명



〈그림 2〉 여러 직업에 대한 손실 수명

노무자는 비원자력 관련 노무자에 비해 백혈병이나 임파선 암으로 인한 사망률이 낮다. 실제로 높은 방사선을 쬐인 사람의 사망률은 background 이상의 방사선에 노출되지 않은 사람보다 24% 낮게 나타났다.

우리는 위의 짙막한 논의에서도 보는 바와 같이 방사선의 잠재적인 위험성을 간과해서는 안되나, 그렇다고 저준위 방사선은 인체에 무해라는 사실에도 지나치게 현혹되어서는 안 된다.

인류는 방사선과 더불어 살아 왔

으며, 우리의 목표는 방사선이 우리 신체에 정확히 어떠한 영향을 미치는가를 확인하는 일이다.

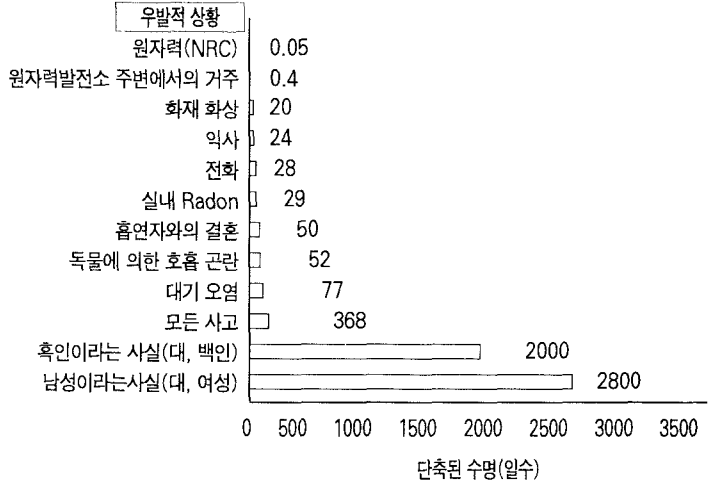
## 2. 원자력의 손실 수명 (Loss of Life Expectancy : LLE)

Bernare L. Cohen은 '손실 수명'이라는 새로운 개념을 도입, 이를 통해 미래의 위험 부담을 예상하는 방법을 개발하였다. 손실 수명(LLE)은 한 인간의 수명이 '어느 특정 위험 부담' 때문에 단축되는 평균 수명을 말한다.

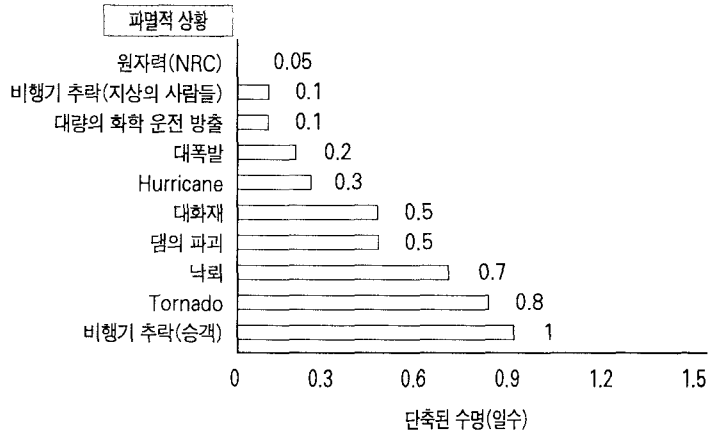
<그림 1>에서 <그림 5>까지는 Bernard L. Cohen이 여러 상황 속에서의 손실 수명의 데이터를 America the Powerless의 저자인 Alan E. Walter가 그래프화한 자료이다.

<그림 1>의 특이한 상황은 독신인 남성은 3,000일(8년), 독신 여성은 1,600일(4.5년) 수명이 단축된다는 사실이다. <그림 2>에서는 빈곤한 생활이 결과적으로 수명을 단축한다는 사실을 알 수 있었다. 통계에 따르면 1년간의 실업은 500일의 LLE에 해당한다. 즉 1일의 실업은 우리의 수명을 1일 이상 단축한다.

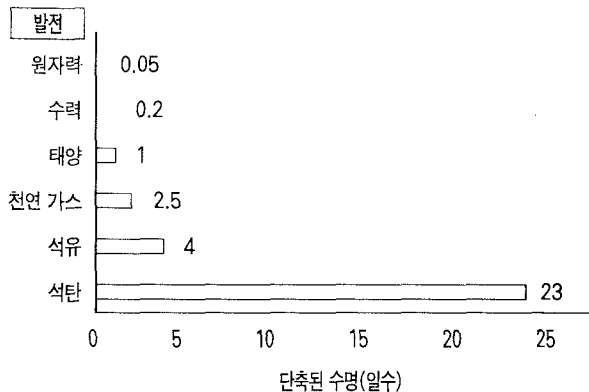
방사선 작업 종사자는 허용 선량을 전량 받았다는 가정하에 23일의 수명 단축을 예상하고 있으나, 앞에서 지적한 Cameron의 결과를 활



<그림 3> 우발적 상황에 대한 손실수명



<그림 4> 파멸적 상황에 대한 손실 수명



<그림 5> 발전에 의한 손실 수명

용한다면 0 혹은 마이너스가 될 공산이 크다.

〈그림 3〉의 우발적 상황에 대한 손실 수명에서는 우리에게 선택의 여지는 없으나, 남성으로 혹은 흑인으로 태어나게 되면 상대적으로 짧은 인생을 살게 된다는 사실이 이색적이다.

원자력의 위험 부담은 미국의 NRC가 최악의 상황을 가정하여 계산한 결과, 원자력산업은 평균적 미국인의 수명을 0.05일(약 1시간) 단축시키는 것으로 나타났다.

〈그림 4〉의 스케일은 〈그림 1~3〉의 1/1,000이다. 여기서 비행기 사고는 평균 미국인의 평균 수명을 1일 단축시키고 있을 뿐이다. 그러나 비행기 사고를 전하는 매스미디어의 보도에 따라 많은 사람들은 이·착륙시에 불안에 떨고 있는 것도 사실이다. 원자력에 의한 0.05일의 LLE는 기타의 천재나 인재에 비해 극히 낮은 숫자이다.

〈그림 5〉에서는 여러 종류의 전력 생산 기술의 위험 부담을 비교한 표이다. 원자력의 주요한 경쟁 상대인 석탄은 적어도 원자력보다 400배 큰 LLE를 나타내고 있으며, 미국 NRC의 계산에 의하면, 원자력은 태양 에너지보다도 25배 안전하다는 계산이 나왔다.

원자력에 관련된 위험 부담이 존재하고 있는 것은 부인할 수 없는 사실이나, 원자력을 배제할 경우

위험 부담은 몇 배로 증대한다는 사실을 우리는 여러 종류의 객관적인 평가를 통해 확인할 수 있다.

### 인재(人災)를 최소화할 수 있는 원자로 시설의 설계와 안전 관리

#### 1. 왜 운전중 휴대폰의 사용을 단속해야 하나?

일본 항공자위대의 발표에 따르면, 자위대 소속의 항공기가 착륙시 바퀴를 내놓는 것을 잊고 착륙한 사고가 9년간 15건이나 발생한 적이 있다고 한다. 그중 12건은 일단 항공기 바퀴를 바깥쪽으로 내놓았으나 착륙에 실패해서 다시 바퀴를 기내로 올렸다가 재차 착륙할 때 바퀴가 나와 있는 것으로 착각하고 착륙한 경우이다. 여기서 놀라운 사실은 비행 시간 1천시간 이상되는 조종사의 사고가 5건, 7백시간 이상자의 사고가 나머지 10건이었다는 점이다.

미국 공군에서도 유사한 사고가 빈번히 일어나게 되어 다음과 같이 주의를 환기시키고 있다. 즉 “철저하게 형성된 습관의 일부를 잊는다는 것은 여러 가지 이유로 말미암아 발생하는 심리학적인 현상이다. 보통, 조종사는 철저히 형성된 습관에 따라 조종석에서의 수순을 자동적으로 집행할 수 있게끔 훈련되어 있다. 그러나 무엇인가 이상한 일이 발생하게 되면, 잠시 주의를

판곳에 쏠리게 해서 망각이 일어나게 된다. 완전히 습관화하고 자동화 되어 있는 조종석에서의 기계적인 수순도 그다지 중요하지 않은 자극으로 간단히 무너지고, 경우에 따라서는 조심해서 조종하려는 노력 자체가 차후의 조작을 혼란으로 빠뜨리게 하는 원인이 될 수도 있다.”

보통 항공기의 착륙시 바퀴의 위치를 알리는 표시등이 있어 조종사는 바퀴의 위치를 계기를 통해서 확인할 수 있게 되어 있다. 그러나 착륙중에 문제가 생기게 되면, 그곳에 관심을 집중하게 되어 경고등이나 계기에 시선은 가 있어도 실제로는 보지 않고 있는 상태가 된다.

더욱이 첫번째 착륙에 실패하게 되면, 부끄러워 주위 사람들을 볼 낫이 없다는 생각이 강하게 작용하여 재차 착륙할 때 한시라도 빨리 착륙해야 한다는 생각에서 착륙 동작이 빨라지게 되는 공통점을 사고 조종사들은 갖게 된다. 즉 자존심이라는 자아(自我)가 허둥대는 현상으로 연결되어 자동차 사고에서 흔히 볼 수 있듯이 시간축(時間軸)과 연계되게 마련이다.

자존심이라는 자아가 발동한다는 것은 ‘정동적(情動的)인 긴장’ 상태에 도달함을 뜻한다고 보아야 할 것이다. 즉 인간은 어느 일에 열중하게 되면 그 이외의 사물을 보고 듣고 해도 전혀 느낌을 갖지 않는다는

지, 반응을 보이지 않는 현상을 정동적 긴장이라고 부른다.

이 긴장이 발동하게 되면 오직 어느 사항에만 주의력을 집중하게 되며, 주의를 집중시킨 일과 밀접하게 관련된 일이나 이와 병행해서 집행해야 할 일을 망각하든지 늦추게 하는 경향을 나타내게 된다.

바꾸어 말하자면, 우리가 자동차를 운전하면서 휴대폰을 사용하면 정동적인 긴장을 유발하게 되며, 주의력은 자연히 통화에 집중하게 되어 휴대폰 통화와 병행해서 집행해야 할 운전 수순의 일부를 망각하게 되든지 늦추게 하는 경향을 나타내게 될 것이다. 따라서 운전중의 휴대폰 사용은 사고를 유발할 가능성이 매우 크다고 말할 수밖에 없다.

## 2. 이란 항공 655편의 격추

이란-이라크전이 한창이던 1988년 7월 3일에 미국의 최첨단 유도탄 순양함인 빈센스호가 중동의霍尔스 해협 상공을 나르던 이란항공 655편의 에어버스를 격추시켜 무고한 민간인 290명을 희생시킨 사건이 있었다.

이 사건의 조사 결과를 보면, 가장 큰 원인으로 '인간의 실수'를 지목하고 있다. 반경 400km 내의 적을 추적·과포 시킬 수 있는 '이지스(aegis)' 지휘 통제 시스템은 적절히 작동되었으나 승무원들이 이지스 시스템에서 공급되는 엄청

난 양의 자료를 잘못 판독했다는 것이다.

전투라는 극한 상황에서 승무원들은 자기네 함정을 이란 공군의 F-14가 공격해올 것으로 예상했고, 그들은 F-14를 발견하고 이를 격추시킨 셈이다. 그러나 기실 민간 여객기는 민간 항공 항로에 따라 평화스럽게 수평 비행을 하고 있었다.

심리학에서, 사람들은 그들이 기대하는 것을 보게 되고, 그들이 볼 것으로 기대하지 않은 것은 무시해 버리는 현상을 '지각(知覺)의 편향(偏執)' 이라 한다.

미국의 심리학자 마이클 칸다는 "이러한 사고를 전쟁터에서는 거의 피할 수 없으며, 우리는 이를 인간의 과오라고 말하나, 실상 이는 인간의 천성이라고 말할 수 있다." 고 하였다.

다음으로 제기된 문제점으로, 이 사건은 최초로 전투에 참가하게 된 군인들의 심리적 압박에서 오는 과오라는 시각이다. 만일 이것이 원인 중의 하나라 본다면, 실전에서 수많은 적의 전투기·함정·유도탄이 동시에 공격해 왔을 때, 과연 이러한 공격에 어떻게 대처할 것인가에 대해서는 매우 염려스러운 점이 있다.

이지스 시스템은 동시에 90개의 가상적인 적의 목표물에 대한 수많은 정보를 신속하게 함장에게 제공할 수 있다. 인류 전쟁의 역사상,

빈센스호의 경우와 같이 전투시에 고속으로 대량의 정보가 함장에게 제공된 예는 없다.

이번 사건은 인간에게 그 능력 이상의 신속한 판단을 요구한 첨단 기술 자체에 문제가 있었다고 보아야 할 것이다. 즉 인간의 리듬과 첨단 기술의 리듬의 불협화에서 온 비극이다.

여기서 제기할 수 있는 또 하나의 문제점은 초고속 첨단 전자 장치를 갖춘 이지스 시스템의 운영 요원을 어떻게 훈련시킬 것이냐하는 점이다. 당연히 이는 컴퓨터 게임을 통해서 이루어질 것이다. 그러나 컴퓨터 게임을 통해서 '전투의 현장감', 즉 전투에서 오는 심리적인 압박 아래서의 시스템의 운영 훈련은 불가능하다.

## 3. TMI와 체르노빌 원자로 사고는 인재?

인간이 기계 장치를 조작하는 한 어떠한 연구가 이루어지든 간에, 또는 어떠한 공학적인 재해 완화 방책이 마련된다 해도 인재의 완전 배제는 불가능한 것으로 보인다. 단지 우리가 할 수 있는 일은 재해의 가능성을 한없이 영(零)으로 접근시킬 수 있을 뿐이다.

"항공기 사고의 30%는 기술의 결함에 의한 것이며, 나머지 70%는 인재이다." 라고 이야기되고 있는 것은 저변 사정의 적절한 표현



아닌가 싶다.

산업 현장에서의 사고의 분석에서 몇 가지 현저하게 나타나는 경향의 하나는 기기의 신뢰성의 과대 평가에서 오는 사고와, 충분히 문제의 가능성은 인식하면서도 예정된 스케줄에 따라 무리하게 진행시킨 결과에서 오는 인재이다.

TMI 원자력발전소 2호기의 노심 용융 사고는 이 두 가지 요인이 복합적으로 엮인 전형적인 예로 받아들여지고 있다.

인재는 운전중 휴대폰 사용이나, 비행기 착륙시에 나타나는 '정동적인 긴장'에 따라 운전 수준의 일부를 망각하든지 늦추게 하는 상황에서 발생하는 사고와 교차로에서 적신호 상태에서 문제가 있음은 인식하면서도 다분히 문제없이 통과가 가능할 것이라는 어리석은 기대하에 강행 돌파하다가 발생하는 '확신범적(確信犯的) 인재'로 나눌 수 있다.

#### 가. TMI 원자로 사고

TMI 원자로는 시스템 자체에 결함이 있다고 판단된다. 즉 가압기의 압력 방출 밸브의 신뢰도가 낮았으며, 수증기와 냉각수가 혼합된 이상류(二相流, Two-Phase Flow) 상태에서의 가압기 수위계(水位計)의 기능 상실 등이 있었으나, 특히 후자는 치명적인 결함으로 볼 수밖에 없다.

즉 원자로 운전원은 가압기 수위

계가 기능을 상실한 것을 '가압기 만수(滿水)'로 판단하여 생명줄인 비상 노심 냉각 장치의 고압 주입 펌프를 정지시켰다. 이에 따라 물의 공급은 중단되고, 노심의 냉각수는 가압기 압력 방출 밸브를 통해 계속 해서 방출된 것이다.

이 부분은 운전원의 책임으로 치부 되었으나, 실은 1차적으로 기술의 문제에 초점이 맞추어졌으면 했다.

더욱이 원자로의 가동을 정지시켜야 할 상황에도, 가압기 압력 방출 밸브 등의 안전 장치를 적극적으로 작동시켜 정상 상태로 되돌려 안정된 운전을 계속하도록 하는 설계 개념을 TMI 원자로는 설계의 저변에 깔고 있다. 즉 가능한 한 모든 방법을 다해서 운전을 계속하겠다는 것이다.

그러나 사고 직전, 원자로를 가동했을 때 이미 시스템이 정상 상태에서 이탈했음을 나타내는 52개 이상의 경고등이 점멸하고 있었으며, 가압기 압력 방출 밸브에서 대량의 냉각수가 새어 나가고 있었다.

더욱이 치명적인 사실은 주급수 펌프가 정지되었을 때, 증기발생기의 2차쪽에 냉각수를 보내는 3대의 예비 펌프의 출구 밸브가 모두 닫혀 있었다는 점이다.

이 사실에서 TMI 사고는 시스템에 심각한 문제가 있음을 충분히 인식하면서도 원자로의 가동을 강행

한 '확신범적'인 인재였음이 확실하다.

"수위계가 기능을 상실해도 노심에 냉각수가 없다는 사실을 알리는 포화·온도의 정보가 계기판에 표시되었다."는 지적이 있었다.

그러나 사고 현장에서의 운전원은 수백의 경고등이 점멸하고, 경보 장치가 울리고 있는 긴급 상황에서 과연 냉정한 판단을 내릴 수 있었을까?

이는 마치 이란-이라크전에서 미해군 빈센스호의 승무원들이 전투에서 오는 심리적인 압박, '기대하는 것은 보게 되며, 볼 것으로 기대하지 않은 것은 무시해 버리는' '지각의 편집', 그리고 시시각각 계기판과 컴퓨터에서 쏟아져 나오는 정보의 홍수 속에서 상황의 판단력이 흐려져 결국 민간 항공기를 격추시키고만 상황과 지극히 유사하다고 말할 수 있겠다.

인간은 극한 상황에서 얼마만의 정상적인 판단력은 상실하게 마련이다.

#### 나. 체르노빌 4호 원자로 사고

체르노빌 원자력발전소에서는 원자로가 정지해도 몇 시간 계속해서 회전하는 터빈 발전기의 회전 에너지를 이용해 안전 계통에 전력을 공급하는 실험을 계획하고, 사고 당일이 실험에 들어갔다.

그러나 원자로 운전원의 조작 실수로 실험 조건이 계획에서 엄청난

게 이탈하게 되자, 원자로의 출력을 올려 무리하게 실험 조건에 맞추려고 했다. 이때 반응도 사고가 발생, 전세계를 충격으로 몰아 넣는 사고로 발전한 것이다.

다분히 실험 조건과 피리가 클 때 실험을 중지했었다면 별 문제가 없었을 것으로 보인다. 그러나 예정된 일정에 따라 강행하다 사고를 당한 것이다.

그 배경에는 사회주의 국가 특유의 문제가 있었으며, 이 사고도 확산법적인 인재로 판단된다.

체르노빌 4호 원자로는 200본의 제어봉을 비치하고 있었으며, 그 중 적어도 15본(사고 당시의 기준)은 반응도 조작 여유로서 노심의 일정 깊이까지 항상 삽입하고 있어야 했다. 사고 당일, 원자로 운전원은 실험을 우선한 나머지 결국 절대로 빠서는 안되는 15본의 제어봉을 조작해, '폭발 조작'을 한 셈이다.

서방 제국의 안전 설계에서는 안전 규칙은 물론이거니와 공학적인 안전 대책을 통해서 금지 조작은 절대로 할 수 없게 되어 있다. 그러나 체르노빌에선 금지 조작이 간단히 될 수 있었다.

체르노빌 4호 원자로에는 반응도 제어 이외에 공학적인 안전 대책은 없었으며, 격납 용기가 없었다는 사실, 그리고 목표 달성 평가에 얽힌 사회주의 국가 특유의 사회 시스템에 맞추려는 확산법적인 인재가 얽

친난 재앙의 원인이 된 것이다.

### 맺는말

하인리히 법칙에 의하면, “중대 사고가 1건 발생한 배경에는 작은 사고 25건과 사고라고까지는 말할 수 없지만 잠재적으로 사고에 연계될 수 있는 가능성이 있는 사태가 300건 존재한다.”라고 되어 있다.

여기서 우리가 얻는 교훈은, 어떤 중대 사고의 원인 조사 결과도 같은 종류의 사고의 재발을 방지하는 데 도움이 되는 것은 물론이거니와, 그 배후에 깔려 있는 사고 발생의 잠재적 요인의 규명도 대단히 중요하다라는 사실이다.

산업 혁명 이래 출현 혹은 소멸해 온 인간-기계 연계의 특색은 인간의 기능을 기계의 성능이나 기능을 최대한 발휘시키는 방향으로 집중할 수 있게끔 설계되어 왔다는 점이다. 그러기 위해서는 인간은 그 생명마저도 잃어버리는 경우도 있었으며, 우리 사회는 이를 미덕으로 생각하는 경향마저 있었다.

시스템을 기획하고 설계하는 사람도, 시스템의 성능을 가능한 한 끌어올리기 위해서 인간의 기능에 의지하려는 경향이 많았다.

아직까지의 인간-기계 연계가 지향하는 바는 인간의 의식이나 사회 조직의 변화에 대응하는 것, 즉 미래 사회에서의 생존 가능성이다.

그 가능성 중에서도 가장 중시되어야 할 것은 안전이다. 안전의 추구야말로 인간-기계 연계가 미래 사회에서 살아남기 위한 조건인 것이다.

그러나 안전은 대단히 고가의 비용을 필요로 하며, 현기증을 느낄 정도로 오랜 세월을 걸친 노력을 요구한다.

P. F. 드럭커는 여객기의 승무원에게는 특정 기능의 교육은 필요하지 않고, 안전 운항만을 훈련시키면 된다고 그의 저서에서 기술하고 있다. 이는 단지 항공기의 승무원뿐만 아니라, 모든 인간-기계 연계의 운영자나 기획 설계 담당자에게도 통용되는 점이며, 점차 안전에 중점을 둔 기능으로 그 중심이 이동해 갈 것으로 전망된다.

미래의 인간-기계 연계는 현재 이상으로, 인재를 포함하는 운용상의 안전을 중시한 설계가 요구될 것이라는 것은 재론의 여지가 없다. 그러나 안전 시스템과는 상관없는 사회적인 요청을 어떻게 시스템에 편입시켜 안전을 확보하느냐는 그리 쉬운 문제가 아니다.

안전의 문제는 어느 특정한 현상의 발굴과 해결로써 끝이 나지 않는 경우가 허다하다. 미래의 이상적인 인간-기계 연계 시스템은, 안전 위주만으로는 해결될 수 없는, 무엇인가가 존재한다는 겸허한 인식이 필요한 것이다. ☞