

현대문명의 빛과 그늘 「원자력」

V. 원자력 사고

한국원자력문화재단 제공

한국 표준형원전의 효시이며 단위기 용량으로는 국내 최대인 100만kW급 영광원전 3,4호기의 성공적인 완성으로 우리나라는 모두 11기의 원자력발전소를 보유하게 되었고 지난 해는 3752만kW의 총발전설비 용량 중 27%를 원전 설비가 점유하기에 이르렀다.

이제 원자력은 분명히 우리곁에 와 있고 우리는 그 혜택을 누리면서 문명을 구가하고 있다. 그러나 원자력에 대한 국민적 합의는 여전히 어려운 가운데 사회적 낭비가 계속되고 있다.

지난해말 한국원자력문화재단에서는 “현대문명의 빛과 그늘 「원자력」 (동아일보 편집위원 이용수 박사 지음)”이라는 제호의 책자를 발간한 바, 원자력에너지의 이용에서부터 안전성 및 방사성폐기물 처리문제, 그리고 원자력이 국제적인 위상에서 차지하는 비중과 원자력에 대한 국민이해에 대한 내용까지 원자력시대에 살고 있는 우리에게 ‘에너지로서의 원자력’ 관한 모든 것을 이야기해 주고 있어 내용을 연재로 게재한다.

〈편집자 주〉

- I 물질과 에너지
- II 원자력시대에 산다
- III 방사선과 인간생활
- IV 방사선 이용
- V 원자력 사고**
- VI 꿈의 핵융합로
- VII 원자력과 국제정치
- VIII 아쉬운 정책지원
- IX 원자력과 국민이해

1. 차이나 신드롬

1979년에 나온 ‘차이나 신드롬’이란 영화가 있다. 제임스 브리지가 감독했고 제인 폰다, 잭 레먼, 마이클 더글러스, 스카트 브래디가 캐스팅됐던 핵공포의 위험을 경고하기 위한 영화였다.

핵물질이 얼마나 지독했으면 미국에서 일어난 원전사고에서 나온 핵물질이 지구 속을 꿰뚫고 반대편인 중국으로 나올까. 핵물질의 수명이 길고 강력하다는 것을 상징적으로 나타낸 것이긴 하지만 과학적으로 보면 그 내용은 전연 터무니없는 오라클에 불과한 것이었다.

1970년 3월 미국 ‘드리마일’ 원자력발전소 사고에 이어 ‘86년 4월 구소련의 ‘체르노빌’ 원전사고는 전세계에 원자력의 안전이 얼마나 중요한 것인가를 다시 한번 일깨워 준 원자력발전사상 최대의 사고였다. 이를 계기로 원자력 사용률에서 세계 3위의 원자력발전국으로 부상하고 있는

우리나라에서도 '국내 원전은 과연 안전한가'라는 문제가 심각하게 제기되고 있다.

일반 산업장에서의 안전은 주로 현장 종사자들의 안전에 초점을 맞추고 있다. 그러나 원자력분야에서의 안전은 종사자들 뿐만 아니라 일반 대중의 생명, 건강, 재산을 고려하는 국가 총체로서의 안전에 초점을 맞추고 있다는 것이 특징이다. 원자력사고에 대해 온 세계가 관심을 가지는 것은 한번 사고가 발생했다 하면 그 피해의 폭이 한 나라에만 국한되는 것이 아니라 이웃에도 영향을 주기 때문이다. 이미 인류는 2차대전중 일본에 떨어진 원자폭탄에서 그 피해의 심각성을 뼈저리게 경험한 적이 있다.

현대의 과학은 생활을 편리하게 하면서도 한편으로는 잠재적인 위험성을 갖고 있어 인류를 불안하게 하고 있다. 그 대표적인 것이 원자력이다. 공해가 없는 깨끗한 에너지를 제공하는 반면 방사능에 의한 피해를 가져다 주는 양날을 가진 칼과 같다. 인류의 생활이 원자로 되 돌아갈 수 없는 한 원전이나 정유공장, 화학공장 등 현대과학의 거대한 시스템들에서 비롯되고 있는 사고의 가능성은 숙명적일 수밖에 없다. 이는 현대의 공용인 과학기술에 대해 국민이 감시의 눈초리를 늦추지 말아야 하는 이유가 된다.

오늘날 이러한 거대시스템에서의 안전문제는 사고를 완전히 없애려고 한다기보다 그 잠재적인 사고의 가능성을 어떻게 없애고, 사고가 났을 경우 그 피해를 어떻게 최소화 하느냐에 초점을 맞추고 있다. 완벽한 무사고의 개념은 있을 수 없다. 그것은 마치 비행기가 없으면 비행기 사고가 있을 수 없는 것과 같다. 그러나 오늘날 비행기가 없다면 생활이 얼마나 불편한 것인가. 세계 30여개 국이 원자력 발전소를 운영하고 있는 것도 그 나름대로 '안전을 확보할 수 있다'는 결론 아래 원자력발전소의 건설을 허가하고 있는 것이다.

원자력발전소의 안전문제는 발전중이거나 사용한 후의 핵연료 및 거기서 생성된 다른 핵물질을 어떻게 안

전하게 관리하여 자연계에 영향을 주지 않느냐는 데 초점이 모아진다.

그것은 원자력발전소의 운전에서 생기는 방사성물질을 발전소이외의 다른 곳으로 나가는 것을 막는 것이 핵심이다. 이것은 안전 운전과 함께 설계 등 원전의 구조적인 문제와 관련이 있다.

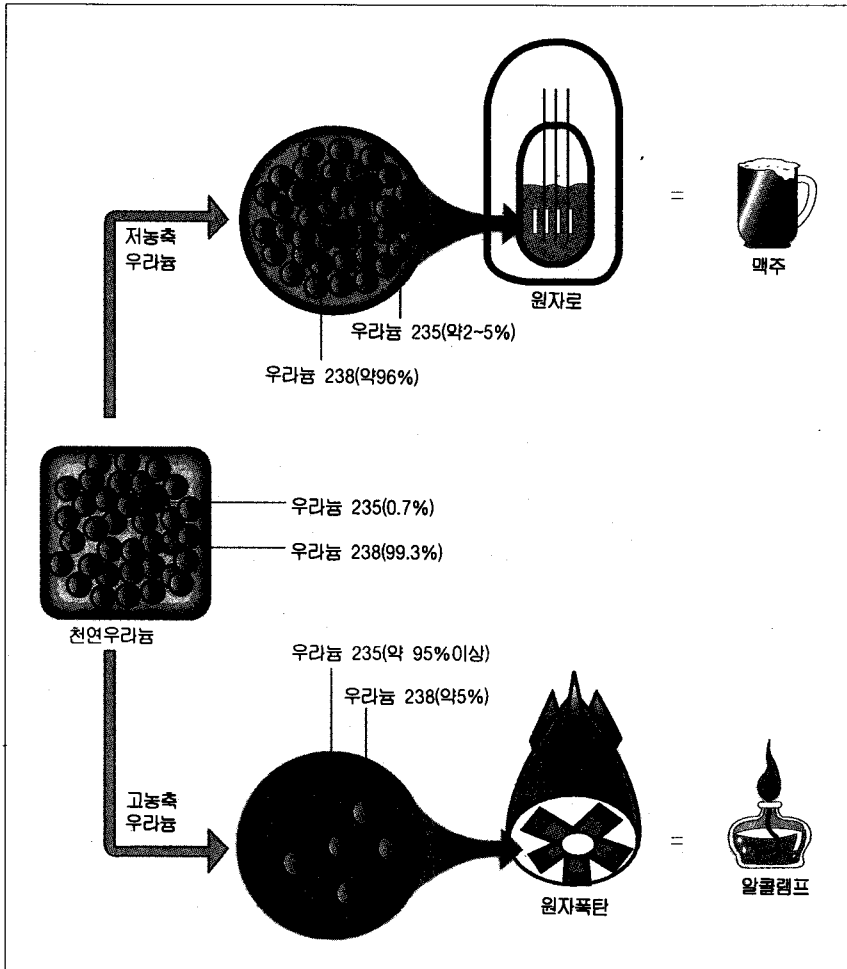
흔히 원자력발전소의 안전문제를 얘기할 때 '원자력 발전소가 폭발한다'는 말을 한다. 그러나 이것은 결코 있을 수 없는 것이다. 핵 폭발을 일으키는 원자폭탄의 경우 그 원료로 사용하는 핵연료는 거의 100% 농축된 것이다. 따라서 핵연료의 양이 많이 모여져 임계량에 이르면 쉽게 폭발이 일어나게 되어 있다. 그러나 원전에서 사용되는 핵연료는 최고로 농축된 것이 고속증식로에서 사용되는 25.6% 정도이고 경수로에서는 3.2% 정도로 농축된 것이기 때문에 원자폭탄에서처럼 일시적인 연쇄반응의 결과인 폭발은 일어나지 않는다.

원자력발전소에서의 안전문제는 발전소부지 선정에서부터 설계, 건설, 운전 단계별로 나뉘어 엄격하게 고려되고 있다. 이 가운데 설계 단계는 원전의 안전성을 확보하기 위한 가장 중요한 단계로 세계 각국이 이 안전설계를 어떻게 하느냐에 가장 신경을 곤두세우고 있다. 그러나 아무리 최선을 다한 설계라 하더라도 운전하는 사람들이 얼마나 중요한 안전의 요소들인가를 미국 및 소련의 원전사고는 잘 말해주고 있다. 이 사고들의 원인은 바로 사람의 운전실수에서 비롯되었다.

또 이 두 사고는 설계내용에 따라 사고피해 결과가 엄청나게 다르다는 것을 마치 본보기처럼 보여 주고 있다. 즉 소련의 체르노빌사고에서는 31명이 사망하고 203명이 급성방사성장애로 진단을 받았으나 미국의 트리마일 사고에서는 80km 이내 거주하는 2백여만 명이 받은 방사선량은 1밀리렘 이하였다고 미 대통령 특별조사위원회가 밝혔다.

이 두 사고는 핵연료봉까지도 녹아내리는 심각한 것이었다. 이런 사고는 과거나 미래를 막론하고 원전에서

원자력발전과 원자폭탄의 차이



켜 반경 40km 이내에 사는 1500만 명 가운데 단 한 명이라고 죽을 지도 모를 확률은 50억분의 1이라고 계산했다. 이것은 별똥에 맞아 죽을 확률과 비슷하다.

미국에서 가장 많이 생기는 사고는 자동차에 의한 사망사고다. 해마다 3천명 중 1명 꼴로 죽어간다. 산이나 다리에서 떨어져 죽을 확률은 1백만 명 중 1명이고 비행기 사고로 죽을 확률은 10만 명 중 1명이며 벼락을 맞아 죽는 사람도 2백만 명 중 1명이 된다.

원자력발전소의 안전성은 그 설계에서 비롯되고 있으며 원자력발전소 건설이 보통 1기당 1조 5천여억원으로 비싸게 먹히는 것도 바로 안전을 최우선으로 하고 있기 때문이다.

원자력의 안전성을 말할 때 가장 중요한 것이 설계문제이다. 현대과학의 꽃이라는 원전의 핵물리에서부터 기계, 전기, 토목, 건축, 수리, 화학 등 첨단 지식들이

일어날 수 있는 최악의 사고였다고 원자력관계자들은 말하고 있다.

현재 국내에서 운전되고 있는 원자력발전소가 월성 것을 제외하고 모두 트리마일 원전과 같은 가압경수로형인 것은 다행한 일이다.

현대의 과학기술이 만들어 내고 있는 장치 가운데 원자력발전소 만큼 안전에 관심을 기울여 설계 건설 운영되는 것도 없다. 미국 MIT의 노만 C라스무센 교수는 1백개의 원전이 운전되다가 그 중 1기라도 사고를 일으

이 끌고루 망라된 수백만 개의 부품들이 한 치의 오차 없이 제 기능을 하도록 설계되어 있다. 만일의 사고를 가상하여 있을 수 있는 방사능을 차단하기 위한 조치가 겹겹으로 되어 있으며 한 방울의 물도 새어나가지 못하게 되어 있다 1차 계통을 돌고 있는 물에는 핵분열에서 생긴 방사성물질이 섞여 있기 때문에 물 한 방울의 누출은 바로 방사능 물질의 누출을 의미한다.

가압경수로형인 미국 트리마일 원전 사고는 원자로 안에 있는 핵연료봉이 녹아내리는 원전사고 가운데 최

악의 것이었는데도 실제로 인근주민에 별다른 피해를 주지 않았기 때문에 이와 같은 노형을 사용하고 있는 원자력발전관계자들은 안도의 한숨을 쉰다. 그러나 이와 비슷한 사고인 체로노빌 사고에서는 수많은 인명피해가 났다는 것은 바로 두 원자로 간의 설계 차이 때문이었다. 물론 설계가 안전하다고 해서 원전운전에서 방심은 금물이며 오히려 인간적인 요소가 사고의 원인이 됐음을 두 사고가 잘 말해 주고 있다.

오늘날 세계 30여개 국에서 운전되고 있는 440여 기의 발전소 가운데 250여 기가 미국의 드리마일원전과 같은 가압경수로형을 택하고 있는 것도 우연은 아니다.

원자력발전소의 설계는 다중심층방호(多重深層防護) 개념을 골자로 하고 있다. 이것은 안전을 위해 여러 겹으로 안전 조치를 취한다는 뜻이다.

가압경수로형발전소에서는 다섯 겹의 방호벽이 세워져 있어 원자로 안에 있는 핵연료에서 어떠한 상황에서도 방사성물질이 밖으로 새어나오지 않게 되어 있다.

제1방호벽은 펠릿이다. 이것은 이산화우라늄분말을 고온으로 구워 굳힌 직경 9mm 높이 15mm의 원통형 핵연료이다. 이것은 핵분열 순간에 튕겨 나오는 스트론튬, 세슘 등 고체 방사성물질을 일차적으로 그 속에 가두어 둔다. 그러나 크립톤, 크세논 등 기체방사성물질과 요드와 같은 휘발성이 강한 물질의 일부는 펠릿 밖으로 달아난다. 펠릿은 섭씨 2800도에도 녹지 않는다.

제2방호벽은 연료피복관이다. 이것은 지르코늄의 합금으로 만든 원통형의 긴 대롱이다. 펠릿을 그 속에 넣고 양쪽을 밀봉하면 핵연료봉이 된다. 핵연료봉은 외부와 철저히 차단된다. 펠릿밖으로 나온 소량의 기체방사성물질까지도 핵연료봉 안에 갇히게 되어 있다.

제3방호벽은 원자로 압력용기다. 펠릿을 속에 담고 있는 연료 피복관은 289개를 한 덩어리로 묶은 4각형의 다발을 이룬다. 이 핵연료다발은 25cm두께의 철제 압력용기에 담겨져 있다. 따라서 설사 연료피복관에 구멍이 생겼다 해도 방사성물질은 압력용기 안에 갇히게

되어 있다. 이 압력용기는 방사성물질의 방어뿐만 아니라 원자력 발전소의 핵심부분인 원자로 내의 높은 압력과 온도에도 견딜 수 있게 되어 있다.

제4방호벽은 원자로격납용기다. 원자로압력용기 안에서 핵연료가 핵분열을 일으키면 물이 뜨겁게 되어 이것이 굵은 파이프를 통해 증기발생기로 옮겨가 증기를 발생시킨다. 따라서 고온 고압의 물이나 그 속에 함유된 방사성물질이 원자로 압력용기 배관계통, 증기발생기, 가압장치 등을 지날 때 혹 새어나갈 경우가 있더라도 그런 것이 외부로 빠져나갈 수 없도록 3~4cm 두께의 철판제 격납용기가 설치되어 있다. 격납용기는 하루에 공기가 1천분의 1 이상 새어나오지 못하도록 설계되어 있기 때문에 물도 새지 않는다. 공기나 물이 새어나오는지의 여부를 정기적으로 검사하고 있다.

제5의 방호벽은 원자로건물이다. 원자로계통 전체를 보호하기 위해 격납용기 외부에 두꺼운 철근 콘크리트를 설치한다. 원자력발전소에서 흔히 볼 수 있는 원형돔이 바로 사고에 대비한 마지막 안전장치 부분이다. 우리나라의 것은 두께가 75cm지만 독일에서는 1백 50cm로 하는 등 나라마다 형편에 따라 그 두께를 달리 하고 있다. 이것은 4백여 명을 태운 보잉 747이나 F15 및 F16 전폭기의 추락에 의한 충돌에도 견딜 수 있고 근처를 지나던 LPG운반선이 폭발되어도 원자로 계통이 손상되지 않도록 설계되어 있다. 또 원자로내의 압력은 외부의 대기압보다 약간 낮게 설계되어 있어 건물내의 공기가 밖으로 나가는 것을 막고 있다.

아무리 안전을 고려한 완벽한 설계로 건설된 원전이라고 해도 사고는 있을 수 있다. 이런 사고에 대비한 갖가지 비상조치가 마련되어 있는 것도 원자력발전소의 특징이다.

가압경수로의 비상조치 가운데 가장 중요한 것이 비상노심(爐心)냉각장치다. 비상노심냉각장치라는 것은 원자로에서 핵분열로 생긴열을 흡수하며 1차 계통을 돌고 있는 물이 파이프의 파열이나 기기의 고장으로 새어

나갈 경우 이 물을 보충시켜 주어 항상 일정한 양의 물을 유지시켜 주기 위한 비상장치이다.

그런데 만일 1차계통을 돌고 있는 물이 기계장치 고장으로 없어졌다고 가정하자. 물에 의해 속도가 통제되어 알맞게 핵분열을 하던 중성자는 속도가 제어되지 못해 핵분열은 차차 줄어들면서 원자의 불은 꺼지게 된다. 그리고 냉각제의 역할을 하던 물이 없어지면서 핵연료봉 속에서 1,800℃나 되는 열이 그대로 남아 있게 되고 그속에 있던 방사성물질은 강한 방사선을 계속 낸다. 물이 즉시 공급되지 않는다면 핵연료인 펠릿을 둘러싸고 있는 금속관인 핵연료봉은 결국 녹게 되고 그 속에 있던 방사성물질들이 방출되게 된다. 그래서 연료집합체가 망가지면서 원자로내에 있던 모든 장치들이 파괴된다.

이런 상황이 한 시간쯤 계속되면 두꺼운 철판으로 된 압력용기의 밑바닥도 녹아내려 원자의 불덩이는 땅속으로 스며들게 된다. 혹시 미국에 있는 원전에서 이런 사고가 일어난다면 원자불덩이는 지구의 반대편에 있는 중국에까지 뚫고 들어간다고 생각할 수 있는데 '차이나 신드롬'이란 이름의 영화는 바로 이런 상황을 가정한 것이다. 물론 이것은 농담이다. 만일 이러한 사고가 일어났다 해도 핵물질은 지하 몇m도 스며들지 못한다. 그러나 이와같은 사고가 난다면 방사성물질이 대기중으로 나와 지구상의 생명체를 위협할 가능성은 있는 것이다. 그것이 바로 체르노빌사고이다.

비상노심냉각장치란 이런 사고를 가상해서 마련된 장치다. 그 원리는 간단하다. 만약 1차계통의 파이프가 파열되어 물이 줄어들게 되면 일정한 압력을 유지하던 이 장치에서의 압력이 급격히 떨어지게 되고 이 압력에 따라 저수탱크에 채워져 있던 물이 1차 계통으로 자동적으로 들어가게 되어 있다.

또 최근에는 원전사고를 원천적으로 막기 위해 설계에서부터 완전한 안전개념을 도입하려는 연구가 활발하다. 즉 피동형원자로가 그것이다. 이 원자로는 만약 사

고가 나면 모든 시스템이 자동적으로 원전의 운전을 멈추도록 하자는 것이다. 그것은 바로 제어봉으로 하여금 원자불씨인 중성자를 자동적으로 제거시키기 위한 것이다. 그리고 원자로에는 중력에 의해 비상냉각수가 공급되게 하자는 것이다.

물론 원전의 안전은 설계만으로 끝나는 것은 아니다. 즉 기자재의 제작, 시공건설, 운전, 부지선정 등이 모두 엄격한 안전요건에 맞아야 한다. 원자력발전소에 납품되는 기기들이 일반기계보다 3~4배 가량 비싼 것도 그 엄격한 규격성과 깊은 관계가 있는 것이다.

원전에서 비상사고에 대비한 또 다른 중요한 안전장치 가운데 하나는 제어봉이다. 이것은 핵분열의 씨앗인 중성자를 흡수하는 장치다. 제어봉은 중성자를 잘 흡수하는 물질로 만든다. 국내에서 사용되고 있는 제어봉은 중성자 흡수력이 강한 카드뮴을 주로 한 합금으로 만들어져 있다.

원자로는 바로 무절제한 핵분열을 조절하는 장치로 제어봉이 이 장치의 핵심이다. 가압경수로에서는 이 제어봉이 원자로 상부에 설치되어 있어 이 제어봉을 핵연료다발에 넣었다 뺐다 함으로써 중성자수를 조절한다. 즉 제어봉이 핵연료다발 속으로 들어가면 핵연료에서 마구 튀어나오던 중성자들이 모두 제어봉에 잡히게 된다.

이 제어봉은 지진이나 폭파 등의 사고로 전기가 끊기면 자동적으로 핵연료다발 속으로 떨어져 중성자를 흡수함으로써 핵분열을 막게 되어 있다.

원자의 불은 중성자가 다른 원자를 때려 거기서 나온 중성자가 다시 다른 원자를 때리는 연속적인 핵반응이다. 따라서 중성자가 제어봉에 흡수되어 버리면 핵반응은 일어나지 않는다. 제어봉은 바로 원자의 불씨 자체를 없애버리는 것이다.

그외 비상조치로는 핵연료봉이 파괴되었을 경우 기체 방사성물질이 격납용기 밖으로 못나가게 물을 뿌려주는 분무계통과 원자로 정지 후에도 노심 내에 남아있는 열을 식혀 주는 잔열냉각계통 등의 안전장치들이 있다.

그의 독립된 별개의 전원을 두어 갑작스런 사고에 대비하고 있으며 원자로로부터 700m 이내에는 사람이 살지 못하게 하는 안전구역을 설치해 둔 것도 안전을 고려한 조치들이다.

그러나 아무리 안전을 고려한 설계와 비상장치들이 마련되어 있다 해도 그 장치를 다루는 사람들의 역할이 얼마나 중요한가를 미국의 드리마일이나 구 소련의 체르노빌 원전사고는 잘 말해주고 있다. 이 사고들은 사람의 실수에 의해 일어난 사고들이었다. 그래서 최근에 설계 운전되고 있는 원전 가운데는 사람에 의한 실수를 줄이기 위해 컴퓨터에 의한 전문가 시스템이 크게 보강되고 있으며, 실제로 원전운전실은 자동계기판에 의한 감시로 원전운전의 이상여부를 부단히 감시하고 있다.

앞으로는 보다 발달한 전자감시체제가 운전의 안전운전에 더욱 기여할 것으로 보인다. 1950년대 처음으로 원자력발전소가 선보일때는 안전을 감시하는 컴퓨터도 없었다.

2. 방사선의 첫 희생자

미국의 원자폭탄제조 책임자였던 오펜하이머는 로스 알라모스에 원자력계의 미국 전문가들을 불러 모으기에 바빴다. 그러나 그들은 얼마만큼의 우라늄235의 양이 원자폭탄 하나를 만드는데 적당한지를 가늠할 수 없었다. 연구자 중에는 프리쉬도 끼어 있었다. 그는 핵분열을 처음 일으킨 오토 한의 과거 공동 연구자였던 마이트너 여사의 조카였다.

프리쉬는 농축도가 90%가 넘는 우라늄235의 양이 어느 정도 있어야 저절로 연쇄반응이 일어나는가를 계산하려 했다. 우라늄 등 방사성물질은 계속 붕괴하면서 중성자를 낸다. 평소에는 밀도가 낮기 때문에 문제가 되지 않는다. 그러나 농축도가 높은 우라늄의 양이 어느 일정한 양이 있으면 우라늄 235에서 나오는 중성자의 밀도가 높아지게 되면서 저절로 연쇄반응이 일어난다.

다. 이처럼 연쇄반응이 순식간에 저절로 일어날 수 있는 농축우라늄의 양을 임계(질)량이라고 한다.

프리쉬는 연구 끝에 농축우라늄의 임계질량이 약 10파운드(약 4.5kg)라는 것을 계산해 냈다. 농축된 우라늄235가 10파운드 이상이면 순식간에 폭발이 일어나고 10파운드 이하면 안전하게 관리할 수 있다는 것을 처음으로 밝혔다. 이 사실을 이용해서 맨하탄 프로젝트 팀의 폭발전문가들은 원자폭탄을 만들 수 있는 교묘한 방법을 생각해 냈다. 즉 10파운드가 안되는 농축우라늄을 두 덩어리고 갈라 두었다가 이들을 폭발시키기 위해서는 이 두 덩어리의 농축우라늄을 서로 합치면 임계질량을 넘기면서 순간적으로 폭발이 일어난다는 것이다.

폭발전문가들의 이론대로 이것을 증명하기 위해서는 실험을 할 필요가 있었다. 이 실험의 증명을 위해서 우선 두 덩어리의 우라늄을 서로 가까이 접근시키면 중성자의 숫자가 얼마나 증가하는가를 계산해 보고 또 실제로 두 덩어리의 우라늄을 서로 접근시키면서 중성자의 수를 측정해야 한다. 이 실험은 완전히 목숨을 건 실험이었다. 만약 두 덩어리의 우라늄 간의 거리가 너무 가깝게 되면 그 순간 엄청난 폭발이 일어나기 때문이다.

젊은 청년과학자 슬로틴은 이 실험을 자기가 하겠다고 자청했다. 두 덩어리의 우라늄을 지지대에 고정시키고 한 쪽 덩어리를 드라이버처럼 돌리면 두 우라늄덩어리 사이의 간격이 점차 줄어들도록 실험장치를 만들었다. 두 덩어리의 우라늄의 조금씩 가까워질 때마다 우라늄 235에서 방출되는 중성자의 수를 측정했다. 매우 긴장된 분위기 아래서 실험이 조금씩 조금씩 진행되었다.

그런던 중 슬로틴은 너무 긴장한 나머지 우라늄 한 덩어리를 떨어뜨리고 말았다. 그것은 불행하게도 다른 한 덩어리의 우라늄 부근에 떨어졌다. 폭발의 순간이 다가온 것이다. 그는 재빨리 한 덩어리의 우라늄을 손으로 집어냈다. 이리하여 로스 알라모스 연구소는 잿더미가 될 위기에서 벗어날 수 있었다. 슬로틴의 등줄기에서는 식은 땀이 줄줄 흐르고 있었다.

비록 핵폭발에 의한 재앙은 모면했지만 슬로틴은 이때 너무 많은 중성자를 몸에 받았다. 슬로틴은 병원으로 옮겨졌으나 방사선의 영향으로부터 회복할 수 없었다. 이 사건에 있는 지 9일 후 슬로틴은 병원에서 세상을 떠났다. 원자폭탄 때문에 발생한 최초의 희생자가 된 것이다. 그러나 그의 공으로 맨하탄 프로젝트는 성공리에 끝나 세계 2차대전을 마무리짓는 계기를 만들었다.

국내에서 방사선의 첫 희생자는 이항목씨로 기록되고 있다. 이씨의 희생을 가져 온 사고는 1976년 11월 6일 당시 서울 태릉에 있는 한국원자력연구소(현재는 대덕연구단지로 옮김)대단위 방사선조사실에서 일어났다. 이 대단위 조사는 방사선을 이용하여 의약품 살균, 식품저장 등을 실험하기 위해 30만큐리의 강력한 코발트60 방사성동위원소가 들어 있는 곳이었다.

당시 25세인 이항목씨는 한국과학원(현 과기원)석사 2년생이었다. 그는 이날 오전 10시 30분쯤 실험자료를 조사실(照射室)에 배치하기 위해 그 안으로 들어갔다가 눈깜짝할 사이에 엄청난 방사선을 맞았던 것이다. 그는 화합물 조성성분이 방사선에 의해 어떻게 영향을 받는지를 조사하려고 했다. 그는 실험재료를 방사선조사실에 일정한 거리를 두고 배치한 다음 조사실을 나왔던 것이다. 이 조사실에 코발트60 선원(방사성물질)이 들

어 있어 필요한 경우 이 선원이 노출되면서 조사실에 방사선이 나오도록 되어 있는 곳이다. 그가 얼마나 오랫동안 조사실 속에 있었는지는 아무도 모른다.

이 조사실은 안전을 위해 방사선을 내는 물질(線源)이 지상 및 지하로 움직이도록 되어 있는데, 이 선원이 지하로 들어가 감춰져 방사선이 나오지 않을 때만 조사실 안으로 들어가 작업을 하도록 되어 있다. 그는 선원이 노출된 것도 모르고 조사실 안으로 들어가 작업을 했던 것이다. 평소 실험을 하지 않을 때는 이 선원은 납으로 된 지하의 차폐물에 감춰져 있다. 선원이 실험을 할 상태가 되어 지상으로 올라와 있으면 문이 열리지 않도록 6중의 안전장치가 되어 있다. 그리고 실험도중에는 문이 열리지 않게 되어 있다. 비정상적인 상태 즉 선원이 지상으로 올라와 있을 때 문이 열리면 비상벨까지 울리도록 되어 있는데 이 날은 이러한 안전장치들이 전연 작동하지 않은 상태였다.

평소 이러한 안전장치를 알고 있었던 이씨는 문이 열리자 자연스레 그 속으로 들어가 자신이 하려던 실험자료를 다루는 동안 엄청난 방사선을 받은 것이다. 왜 그런 상태가 되었는지 아무도 모른다. 다만 그는 정상적인 상태로 문이 열려 있었기에 조사실 안으로 들어갔고 그때는 선원이 지상에 노출된 상태였다.

이씨는 곧 시름시름 앓기 시작했다. 그가 방사선조사실에서 방사선을 쬐었다는 사실은 곧 당시 윤용구 원자력연구소장에게 보고됐고 이 씨는 당시 서울 정동에 있던 원자력병원에 입원했다. 입원 이틀 후 이씨의 몸에는 원폭피해자와 똑같은 증상이 나타나기 시작했다. 백혈구와 혈소판 수는 하루가 다르게 떨어졌고 고열과 함께 어지럼증 구토증이 뒤따랐다. 당시 이씨의 치료를 전담했던 이진오 한국원자력병원장은 그의 증세는 전형적인 방사선 피폭자의 병증이었다고 말하고, 별다른 치료는 하지 못하고 감염을 막아 주는 정도가 고작이었다고 말했다. 그는, 만약 오늘날처럼 골수이식수술을 할 수 있었다면 좋았을 것이라고 말했다.



국내 첫 방사선 희생자 이항목씨

이씨의 증상은 날로 악화돼 갔다. 머리카락이 빠지고 몸의 군데군데에는 출혈성 붉은 반점들이 나타났다. 이씨는 피폭 3주만인 그해 11월 24일 25살의 한창 나이에 숨졌다.

사고가 나자 정부는 쉬쉬했고 이를 취재하려던 언론기관에는 안보상의 이유로 보도협조가 내려졌다. 당국은 이 사고가 원자력연구와 관련된 것으로 박정희 전 대통령의 원폭제조 의사표명으로 악화될대로 악화됐던 한·미간 원자력협력에 큰 지장을 초래한다는 이유를 내세웠다. 한 원자력관계자는 이 사건은 안보와는 전연 관계가 없는 것인데도 자신들의 책임을 두려워한 나머지 안보를 팔았다고 말한다. 그리고 이러한 사실을 널리 알려 원자력의 위험성을 국민들에게 인식시켰어야 했다고 주장했다.

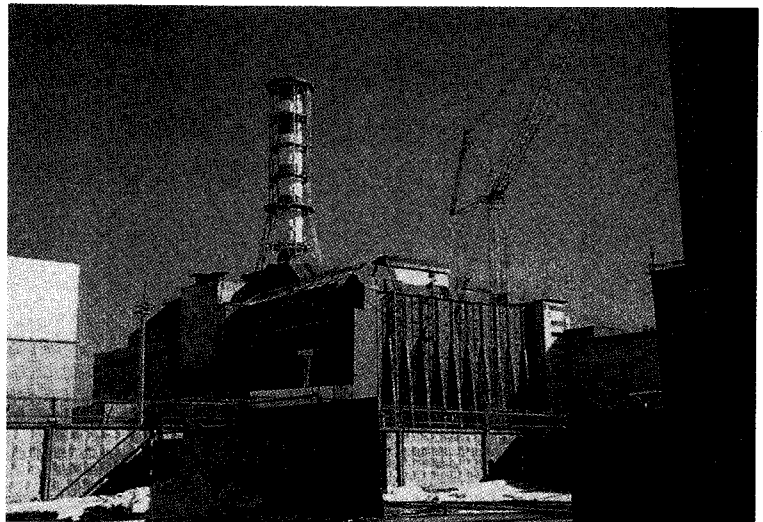
과기처는 이 사고의 원인을 조사한 결과 안전장치에 문제가 있었던 것으로 밝혀내고 당시 이 시설의 안전책임자였던 유영수씨에게 책임을 물어 견책을 내리는 선에서 사건을 은폐했다. 과기처와 에너지연구소는 이 사고를 감추기 위해 사고기록, 조사자료보고서, 이씨의 병상일지 등을 모두 폐기처분한 것으로 알려졌다. 과기처 관계자는 단순사고였기에 일반문서 처리규정에 따라 5년 뒤 관계서류는 없었다고 밝혔다. 당시 이씨의 아버지인 이지환씨에게는 6백만원의 보상금이 주어졌다.

이씨는 경북 안강읍 옥산리가 고향으로 그곳 국민학교를 졸업할 때 우수한 재능에 감탄한 담임선생의 지원으로 안강중학교에 들어갔고 다시 우수한 성장으로 경북사대부고를 다니면서 가정교사로 학업을 이었다. 서울공대 원자력공학과를 졸업한 다음 그는 당시 점점 그 중요성이 강조되던 방사성동위원소 이용분야에서 일하겠다는 꿈을 키워왔다는 것이 그를 알고 있는 사람들의 말이다.

3. 체르노빌과 TMI원전사고

1986년 4월 26일 새벽 1시 23분 48초 섬광과 함께 구 소련 체르노빌 원자력발전소 4호기의 육중한 지붕이 날아가고 원전에서 나온 방사성물질이 하늘을 뒤덮기 시작했다. 핵연료 계통이 파괴되면서 잇달아 일어난 폭발은 순식간에 조용한 체르노빌과 그 주변을 죽음의 마을로 만들었다. 이 사고는 인류가 지난 1945년 일본의 히로시마와 나가사키에서 경험한 원자력의 악몽을 다시 씹는 계기를 만들었다.

사고는 사망 31명(1명 실종, 폭발사고 후 진화중 1명 사망), 중상 203명, 경상 237명의 인명피해와 34억달러의 경제적 손실을 가져온 것으로 공식 집계되었다. 이 사고로 인해 앞으로 인근주민의 암발생률이 0.014%(앞으로 70년간 최고 320명 암환자 발생 추정)증가할 것으로 미국 환경보호국은 예측했다. 이 사고에서 비롯된 방사능으로 스웨덴 등 이웃나라에서는 우유나 채소 등 농작물의 이용이 한때 불가능하게 되기도 했다. 같은 지역에 있던 1,2,3호기는 현재 가동 중이다.



사고 후 폐쇄된 체르노빌 4호기

이날 사고는 원전이 갑자기 정전되었을 때 터빈의 관성을 이용하여 전기를 생산할 수 있는지의 여부를 실험하다 일어났다. 전기기사인 실험조작원이 핵분열을 억제하는 제어봉을 원자로에서 아예 뺀 다음 비상노심냉각장치를 차단하고 국부출력 자동제어장치 기능을 제거하는 등 원전운전에서 꼭 지켜야 할 수칙 가운데 여섯가지를 지키지 않고 실험을 강행하다가 원자로의 노심이 녹아내리는 사상최악의 원전사고를 빚은 것이다.

사고를 일으킨 이 발전소의 원자로는 비등경수형원자로(BWR)로 우리나라에서 운전되고 있는 영광이나 울진원전과 비슷한 100만kW(국내원전은 95만kW)짜리지만 중성자의 속도를 늦추어 주는 감속재로 흑연을 사용하고 사고에 대비한 방호건물이 없다는 점 등이 국내 원전과 기본적으로 다르다.

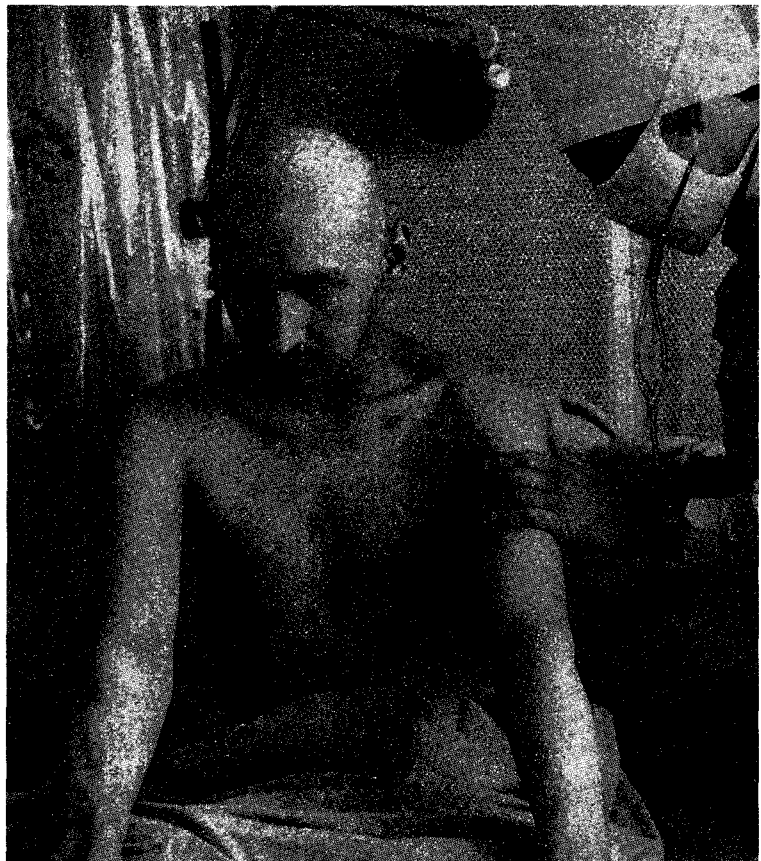
사고시의 폭발은 제어되지 않은 핵분열에 의해 핵연료봉이 급격히 가열되면서 일어났다. 핵연료봉은 곧 파열되었고 이때 핵연료피복관인 지르카로이가 물과 반응하여 산소를 내면서 일어난 것으로 사고원인을 조사한 국제원자력기구(IAEA) 및 소련당국이 밝히고 있다.

그러나 이러한 폭발에도 만약에 방사능 물질이 외부로 퍼져나가는 것을 방지하기 위한 방호건물만 있었다면 방사성물질이 외부로 빠져나가지 않아 인명 및 재산에 피해를 주지는 않았을 것으로 관계자들은 분석하고 있다.

핵연료가 녹아내리는 등 이와 비슷하게 심각한 사고가 지난 1979년 3월 28일 새벽 4시 미국의 드라마일 섬(TMI: Three Mile Island)에 있는 원자력발전소에서 일어났다. 이 섬에는 2기의 90만kW 짜리 원전이 있었는데, 이 중 '79년 1월에 상업운전에 들어간 2호기에서 사고가

난 것이다. 이 사고도 핵연료봉이 완전히 파열되고 핵연료가 녹아내린 체르노빌 사고와 같은 원전 최악의 사고였다.

이 사고는 원자로에서 발생한 열을 받아 터빈을 돌려주는 2차계통의 물이 정상수위를 유지하지 못하고 있는데도 부족한 물을 채워주는 보조급수기가 작동하지 않아 일어났다. 2차계통의 물이 줄어들어 원자로 안의 온도는 계속 치솟기 시작했다. 온도는 계속 올라 핵연료봉이 녹아내리고 급기야는 원자로용기까지도 파괴시킨 것이다. 설계상에는 2차계통의 물이 줄어들면 자동제기가 이를 측정하여 줄어든 만큼의 물을 자동 공급토록 되어 있는데 점검수리원이 보조급수기의 자동공급장치를



체르노빌 원전사고의 현자

를 잠가 버린 것이다. 핵연료가 파괴되면서 나온 방사성물질은 격납용기까지 파괴하기에 이르렀고 마침내는 마지막 보루였던 방호건물 안에 갇혔다.

방사성물질이 외부로 빠져나가지 않았던 것은 방호건물 안에 이물질들이 모두 갇혀 버렸기 때문이다. 사고 즉시 레이건 대통령의 특명을 받은 사고조사반이 사고 현장 80km 이내의 방사능 농도를 측정한 결과 이 지역 내 주민 한 사람이 받은 방사선 양은 1.65밀리렘인 것으로 밝혀졌다. 이 수준은 법적 기준인 연간 5백 밀리렘의 수준에 훨씬 못미치는 것이다. 따라서 TMI사고에 의한 주변지역의 피해는 없는 것으로 결론지어졌다. 그러나 재산상 손상은 10~18억달러로 추산했다.

체르노빌이나 TMI원전에서의 사고는 다같이 핵연료가 녹아내리는 원전에서 있을 수 있는 최악의 사고였는데도 그 결과는 엄청난 차이를 가져왔다. 이것은 바로 소련원전과 미국원전의 설계차이 때문이었다. 즉 미국의 원자로는 안전을 위해 다중 안전장치를 해 둔 반면 소련의 것은 그런 장치가 없었다. 안전장치 가운데서도 외부건물을 돕으로 하여 최종적으로 원전 안에서 일어난 사고가 외부에 영향을 미치지 않도록 한 것이다.

우리나라에서 운전되고 있는 원전은 미국에서 운전되고 있는 원전과 같은 다중심층방어개념에 따라 지어진 것이기 때문에 체르노빌 원전사고와 같은 사고는 결코 일어나지 않는다는 것이 원자력계의 한결같은 의견이다.

원자력의 평화적인 이용에 먹구름을 던진 이 두 사고는 하나같이 원전 그 자체의 잘못에서 비롯되었다기보다 원전을 운영한 사람들의 실수에 기인하고 있다는 점이 특징이다. 바로 이러한 실수가 완벽한 자동시스템을 갖추었다고 자랑하는 오늘날 거대장치의 문제점으로 부각되고 있으며 과학기술시대를 맞는 현대인의 고민이기도 하다.

1955년 인류가 처음으로 핵잠수함인 노틸러스호를 만들어 원자력을 평화적으로 이용하기 시작한 이후 처음으로 일어난 원자력사고는 1957년 10월 영국의 원

체르노빌과 TMI 사고

항 목	체르노빌	TMI
원자로형	비등 경수형	가압 경수형
연 료	저농축 우라늄(2%)	저농축 우라늄(3%)
감속주재료	흑연	경수(물)
격납용기	없음	있음
용 도	전력생산 및 군사용	전력생산
사고내용	원자로 용융 대화재 발생 수소폭발 대기방출	원자로 일부 용융 격납용기에의해 외부누출 차단
피해내용	사망 31명 중상 203명 50rem(10km)피폭 34억달러 재산손실	사망없음 최대 70mrem 피폭 10~18억달러의 재산손실
※ 인도보팔 사고의 피해	사망 28,000, 중환자 5만명 2주후 사망 예정자 10만명	

드 스케일 원자력 사고였다. 이 원자로는 군사용으로 사용하기 위해 플루토늄을 생산하기 위한 것이었는데 이 원자로에서 나온 방사성물질로 근무자 중 14명이 3렘 정도의 방사선을 받았다.

또 이 사고로 요드 131 방사선 2만5큐리와 세슘137 방사선 6백큐리 정도가 대기중에 나간 것으로 추산하고 있다. 또 다른 사고는 지난 1961년 1월 미국의 아이다호 주에 있던 군사용 실험로인 SL1원자로 사고로 3명이 사망했으며, 5km 떨어진 곳에서도 강력한 방사능이 검출되었다.

거대한 기능장치가 있는 곳에서는 그 기능을 방해하는 크고 작은 일이 있기 마련이다. 국내의 원전도 예외는 아니다. 지난 '78년 고리원전이 가동된 이후 국내에는 크고 작은 사고, 고장이 이어지고 있다.

1984년 11월 25일 오전 10시 45분 경북 월성군 양남면에 있는 월성원자력발전소에서 압력보호밸브를 정기점검중이던 검사원이 기기를 잘못 다뤄 냉각재로 사용되던 중수가 원자로용기로 누출되기 시작했다.

5분 후 터빈은 정지되고 제어봉이 핵연료다발 속으로

세계 원전사고 사례

사 례	윈드스케일(영국)	TMI(미국)	체르노빌(구소련)
일 시	'57.10	'79.3.28	'86.4.26
규 모	250MWt	270MWt	320MWt
원자로형	흑연감속로	가압경수로	흑연감속로
원 인	흑연내 잠열방출 화재	냉각수 유실 핵연료봉 손상	제어기능상실 노심용융, 증기폭발
방사능유출	미상	경미	50~200MCI
방사능유출	최대 4%	경미	5~10%
피해범위	미상	반경 80km	200km 이상
사상자	13명	없음	470여명(사망 31명)

핵문제 100문 100답, 1994, 국방부

꽃히면서 핵분열이 정지되어 이날 오후 3시 40분에 원자로내의 냉각재 온도는 310℃에서 50℃로 낮아졌다. 만약에 냉각재로 사용한 중수가 계속 소실되었다면 1800℃ 되는 원자로내의 열이 계속 누적되면서 노심이 녹아 버린 미국 TMI원전사고와 같은 사고를 유발할 수도 있었으나 곧 제어봉이 작동하는 등의 비상조치가 취해져 발전소는 사고 48일만에 다시 정상운전에 들어갔다.

이 사고는 우리나라 원자력발전사상 처음으로 기록된 사고였다. 이때 누출된 중수는 23.475t이며 이 가운데 22.219t을 회수했다. 손실된 중수 가운데 기체로 방출된 양은 0.884t이며 액체방출량은 0.083t이고 미제측량은 격납용기 안에 잔류한 것이거나 기기 및 장치 등에 묻은 것들이다.

이 발전소에서는 1988년 8월 13일 낮 12시에도 중수가 누출된 사고가 있었다. 방사능감시장치에서 비상상태를 알리는 비상등이 켜지면서 안전조사원이 중수 누출부위를 조사한 결과 시료채취관에 작은 구멍이 생겨 중수가 새고 있음을 발견했다. 터빈은 16일 새벽 1시35분에 정지되었고 이어 보수작업을 벌여 다시 발전에 들어갔다. 이때 누출된 중수는 1.9t으로 이 가운데

900kg가량이 회수되었다. 한국전력은 이를 사고로 분류하지 않고 있는데 그 이유는 시료채취장치는 주기기의 이상 유무를 알아 보는 별도의 보조장치이기 때문이란 것이다.

중수로원자력발전소에서 중수의 누출은 흔히 있는 일이다. 월성원전의 경우 냉각재로 185t, 감속재로 254t, 예비로 33t의 중수를 사용하고 있는데 하루 5t 정도의 중수가 누출되는 것으로 설계되어 있다. 원자로용기로 누출된 중수는 자동적으로 회수하도록 되어 있다.

고급 위스키 값과 몇먹는 중수는 원자로에서 누출된다 해도 원자로 격납용기에 갇혀 있기 때문에 이를 회수하여 재사용할 수 있는 것은 물론 외기로 빠져나갈 수 없기 때문에 주요 기계장치의 이상에서 비롯되지 않는 중수누출에 대해서는 원전 운전관리자들은 신경을 쓰지 않고 있다.

원자로에서 누출된 중수를 가두는 원자로 격납용기는 원전사고에 대비한 네번째 방호벽이다. 따라서 중수의 누출이란 대기에로의 누출을 말하는 것이 아니고 원자로 격납용기 안에 갇혀 있는 것을 말한다.

중수의 누출을 두려워 하는 것은 중수 속에 들어 있는 삼중수소 때문이다. 이 삼중수소는 베타선을 내는 방사성물질이다. 베타선이 가진 에너지는 5.6keV로 인체의 피부조차 투과할 수 없는 미미한 것이다. 그러나 이를 마셨을 경우는 연약한 신체조직인 폐에 장애를 가져올 수 있다.

삼중수소는 우라늄의 핵분열이나 중수의 중성자반응에서 생겨나며, 물이나 증기상태로 되어 있어 쉽게 원자로용기를 빠져나가 원자로 건물 안에서 일하는 작업원들에게 영향을 줄 수 있다. 원자로 건물 안에서 일하는 사람들이 항상 마스크를 끼고 일해야 하는 것도 바로 이 때문이다. 삼중수소의 반감기는 12~13년이다.

원전에서 사고와 고장은 그 의미가 크게 다른 용어이다. 그러나 실제로 국내에서는 원전의 고장이 사고로 보도되는 경우가 많아 원전에 대한 불신을 가중시키고

있는 한 요인이 되고 있다.

사고는 기기나 장치의 고장에 의해 나타난 비정상적인 상태가 원자력종사자나 인근주변에 영향을 미치는 경우를 말한다. 원전사고는 통상 방사선에 의한 영향을 수반하는 것을 의미하는 경우가 많기 때문에 아무리 작은 사고라도 그 결과는 대단히 심각하다.

그러나 고장은 사고에 이르는 길잡이 노릇은 하지만 그 영향은 원전운전에 영향을 미칠 뿐 근무자나 그 주변환경에는 영향을 미치지 않는다. 이것은 마치 자동차가 달리다 고장을 일으키는 것과 같다. 자동차의 고장은 자동차의 운전을 불가능하게 만들 뿐 그 자체가 인사사고나 재물파손 등을 가져오지는 않는다.

지난 1979년 4월 고리원자력발전소가 핵연료 교체를 위해 잠시 운전을 멈춘 적이 있다. 이때 국내 일부 신문들은 '고리원전 운전중지'란 제목의 기사를 크게 실은 적이 있다. 원자의 불은 한 번 불기만 하면 꺼지지 않는 것으로 알고 있었던 기자들에게는 원전의 운전중지는 분명 사고로 인식되었을는지 모른다.

원전은 정해진 수리기간이나 핵연료 교체를 위해 운전을 정지한다. 가압경수로의 경우 1년에 한 번씩 전체 핵연료의 3분의 1을 교체하며 전반적인 보수도 이 때 실시한다. 그리고 예기치 못한 기기들의 고장으로 운전이 정지되기도 한다.

고장의 결과로 나타나는 비상정지가 있다. 이것은 사고로 이어질 수 있다. 따라서 비상정지는 사고의 절대적인 방지책이면서도 사고를 유추할 수 있는 자료가 된다. 특히 원자로계통의 이상에 의한 비상정지는 원자력 관계자만이 아니라 일반국민들에게도 비상한 관심의 대상이 된다. 원자로계통은 바로 핵물질이 핵분열을 일으키는 곳이기 때문이다.

1978년 4월 고리 1호기가 상업가동에 들어간 이후 '88년 10월 말까지 국내 원전의 발전정지 건수는 모두 231건이나 된다. 이 가운데는 핵연료를 장전하거나 발전소의 정기보수를 위한 정지 20건과 간이보수를 위한

정지 17건 등 계획정지 37건이 포함되어 있다. 나머지 184건은 원전 운전중 발생한 불시정지다. 가장 많은 불시 정지 건수가 발생한 해는 '86년으로 고리3호기에서 8회, 영광 1호기에서 4회, 월성1호기 및 고리 4호기에서 각각 3회의 비상정지가 있었다.

이 불시정지 건수를 원인별로 보면 기기고장에 의한 불시정지가 118건(64%), 기타요인이 42건(23%)으로 나타났다. 외적인 요인은 태풍이 가장 큰 요인이었다. 원전에는 비상시에 대비하기 위해 외부로부터 들어오는 전원이 있는데, 태풍에 의해 이 비상선의 전원이 연결되지 않으면 원전은 가동을 중지해야 한다.

각 계통별 고장내용을 보면 터빈계통이 49건으로 가장 많고 그 다음이 전기계통 35건, 원자로계통 30건, 계기계통 25건 등이다. 원자력 발전소에서의 고장은 터빈계통이나 발전기계통 등 여러 부문에서 일어날 수 있는데 원자로계통에서의 고장이 큰 문제가 된다.

1995년도에 들어서는 고리 1,2,3호기에서 4번의 비상정지가 있었는데, 원인은 기기고장이었다. 영광 1,2,3호에서는 5번의 비상정지가 있었는데, 터빈계통, 원자로 냉각펌프와 급수밸브가 문제로 지적됐다. 울진1,2호기에서는 제어봉 및 터빈계통의 문제가 원인이 됐다.

외국에서는 원자력발전소의 불시정지가 어느 정도 일어나고 있는가. 원자력발전소 1기당 1년에 생긴 불시정지건수를 보면 지난 '85년 미국에서는 4.3건, 일본은 0.2건, 우리나라는 7.5건으로 나타났으며, '87년도에는 미국이 2.7건, 일본이 0.2건, 우리나라가 3.7건으로 우리나라가 다른 나라에 비해 높은 불시정지현상을 보이고 있다.

또 '93년 국제원자력기구의 조사에 의하면 미국 원전의 평균 불시정지건수는 2.2건, 한국은 1.6건, 일본은 0.2건으로 나타났다. 특히 주목할 것은 일본원전의 불시정지건수가 '85년부터 계속 원전 1기당 연간 0.2건을 보임으로써 세계에서 가장 안정된 상태로 운전되고 있는 원전임을 보여주고 있다. ■