



로젠 박사와 안전문화

노 윤 래

전 한전원자력연료(주) 사장



서울대 전기공학과 졸업

한국원자력연구소 연구관
한국전력공사 근무(1966~1994,
최종 직위: 영광원자력본부장)
한전원자력연료(주) 근무
(1994~2000, 최종 직위 : 사장)
서울대, 한양대 강사 역임

1 편 자 란 산 기 1

19 86년 4월 하순의 끝자락에 유럽은 심상치 않은 사건으로 여론이 들끓기 시작했다. 대기 중의 방사선 준위가 평상시보다 몇 배 상승한 것이 계측기상에 나타났기 때문이다. 이런 현상을 제일 먼저 인지한 것은 스웨덴 당국이었다. 대기 중의 방사선 준위가 급상승한 것에 놀란 스웨덴 원자력 연구 기관은 대기 중의 샘플을 채취해 핵종 분석을 한 결과 놀랍게도 자연 상태에는 존재하지 않는 세슘, 스트론튬, 등의 방사성 핵종을 검출했다.

마침 미국의 레이건 정부와 소련의 고르바초프 정부는 핵무기를 포함한 전략 무기의 감축협상에서 일부 합의했으며 또한 오래전부터 대기 중에서의 핵실험 중지에도 합의한 바 있으므로 스웨덴 당국은 틀림없이 어느 원자력발전소(원전)에서 중대한 사고가 일어났을 것으로 생각해 프랑스, 독일, 스위스, 영국, 스페인 등 인접 원전 보유국과의 정보 교환을 통해 확인한 결과 이들 국가의 원전은 정상적으로 가동되고 있음을 알았다.

스웨덴 당국은 지난 2~3일간의 기상 관측 기록을 세밀히 분석한 결과 풍향이 주로 동남풍임을 알게 되었고, 이는 소련 내의 원전에서 핵사고가 발생한 것으로 판단해 이를 유럽 여러 나라에 알렸다. 진실을 밝히려는 유럽의 압력과 비난으로 궁지에 몰린 소련 정부는 마침내 4월 26일 체르노빌 원전 4호기에서 노심 용융이란 중대사고가 발생했다고 발표했다. 개방(glasnost)과 개혁(perestroica)을 표방한 고르바초프 정부는 소련 단독으로 참사의 수습이 어렵다고 판단, 과거의 폐쇄 정책을 탈피해 과감하게 서방 세계의 도움을 요청했다. 고르바초프의 용단이었다. 이에 국제원자력기구(IAEA)는 원자력 전문가로 구성된 조사팀을 우선 소련에 파견하여 사고 내용을 파악하기로 결정하고 IAEA의



KINS 안전 점검. 규제 기관은 안전 심사(safety review)와 안전 강제 조치(safety enforcement)가 제일 중요한 임무일 것이다. 미국의 안전 심사는 처음에는 냉각재 loop(cold leg측)의 100% 파손으로 인한 냉각재 상실 사고(LOCA)를 최악의 가상 사고로 생각해 원전의 안전 심사를 했으나 이런 LOCA는 현실성이 없다는 지적에 위험 발생의 확률을 상정한 PRA(PSA) 기법을 활용했고 최근에는 RIR(risk informed regulation)을 채택하고 있는데 우리나라도 이를 따르고 있다.

원자력안전국장인 로젠(Morris Rosen) 박사를 팀장으로 선임했다.

체르노빌 조사팀장 로젠 박사의 사고 진단

그 해 5월 중순 로젠 조사팀은 체르노빌 참사와 관련된 사항을 구체적으로 조사하고 돌아와 이를 정리한 다음, 7월 말 세계 각국의 원전을 운영하는 전력 회사와 규제 기관 및 정부의 원전 관련 책임자들을 초청하여 체르노빌 참사의 원인, 사고 수습 과정, 문제점 등을 설명하고 체르노빌 참사를 교훈으로 삼아 각국 원전 책임자들에게 경각심을 환기시켰다.

로젠 박사는 체르노빌 원전 설비의 취약성을 먼저 설명했다. 체르노빌은 안전의 핵심 설비인 격납용기(containment)가 없고, 원자로가 저출력에서 핵 반응도가 플러스(+)로 되어 노심의 고유 안전성에 심각한 문제점이 지적되었고, 또한 사고 발생시 제어봉의 낙하 시간이 10초로 매우 장시간 소요되는 등 원전의 설계 및 엔지니어링이 서방 세계의 원자로와는 비교가 되지 않게 취약하다고 설명했다.

그러나 로젠 박사는 비록 원전의 설비가 안전상 미비한 점이 많이 노출되었지만 원전의 운전 및 보수와 관련된 수칙(절차서)을 철저히 이행했다면 참사는 결코 일어나지 않았을 것이라고 했다. 체르노빌 원전은 저출력에서 핵 반응도가 플러스이기 때문에 출력이 낮은 상태에서는 원자로가 오랫동안 지체하지 않도록 원자로 조종사들은 세심한 교육을 받았고 또한 이는 운전 절차서에도 반영되어 있었다는 것이다.

그러나 사고 당일 원자로 조종사들은 안전 요원의 입회도 없이 원자로의 저출력 상태에서 비상 전원인 디젤 발전기의 성능 시험을 강행했으며 시험 시간이 늘어남에 따라 원자로의 출력이 급상상하는 사고(핵 폭주 현상)가 일어났다는 것이다.

따라서 로젠 박사는 원전 설비의 안전성을 보완하는 것도 중요하지만 그보다 더욱 중요한 것은 설비를 운영하는 사람과 조직 문화의 선진화라고 말하면서 “소련 사회에는 안전문화가 없다”라고 결론을 내렸다.

안전문화(safety culture)란 원전처럼 잠재적 위험성을 내포하고 있는 중요한 시설은 각종 안전 설비를 다중으로 다원화하며 이 설비들이 독립적으로 분리되어 있어 안전과 신뢰도를 높이는 설계상의 보완도 중요하지만, 이보다도 이런 설비를 운영하고 관리하는 종사자들의 자질을 높이고 교육과 훈련을 강화하며 절차서의 이행을 철저히 이행하고 결코 위반하지 않는 인성(human behavior) 함양에 노력하고, 조직은 최고경영자(CEO)가 발전소의 가동률 향상에 따른 경제적 이득보다는 인명과 환경 보전을 우선하는 경영 철학을 숭상해 보이는 등 일련의 활동의 미한다. 체르노빌 참사 이후 안전문화의 중요성이 인식됨에 따라 IAEA는 INSAG-4(safety series No. 75)를 발간했다.

고리 1호기 심사를 지원한 ‘안전문화’ 용어 창시자 로젠 박사

1986년 4월 26일 발생한 체르노빌 참사의 원인을



안전문화의 결여로 파악한 로젠 박사의 진단은 세계 각국의 원전 종사자들에게 원자력 안전의 중요성을 되풀이하는 계기가 되었다. 또한 로젠 박사가 발언한 ‘안전문화’란 용어는 마치 2차 세계대전 이후 미국을 방문하던 영국의 처칠 수상이 1946년 3월 5일 웨스트민스터 대학에서 행한 연설 중에서 당시 스탈린의 소련 정부가 발틱해의 스테틴에서 아드리아해의 트리에스테에 이르기까지 ‘철의 장막(iron curtain)’을 펼치고 있다면서 소련과 동구권의 위성국들이 폐쇄된 사회에 놓여 있음을 비난한 이후 ‘철의 장막’이란 용어가 냉전 체제를 뜻하는 국제 정치/외교상의 학술 용어가 된 것처럼 원자력 산업계에 유명해졌다.

로젠 박사의 안전문화 발언 뒤에는 다음과 같은 재미있는 일화가 있다. 체르노빌 참사 현장을 돌아보고 IAEA가 위치한 빈으로 가기 위해 로젠 일행이 공항에서 출국 수속을 끝내고 공항 내의 라운지에서 창밖을 통해 항공기의 이착륙 현장을 바라보고 있었다. 마침 비행기가 도착해 승객이 내리고 있는 동안 기내 화장실의 오물(분뇨)을 제거하기 위해 청소차가 현장에 도착했다. 청소원들은 차에서 호스를 꺼내 비행기와 연결하여 분뇨를 제거하려고 했으나 호스가 잘못 연결되어 틈이 생기는 바람에 뜻하지 않게 분뇨가 땅바닥에 흘러졌다. 당황한 청소원들이 어떻게 분뇨를 처리하는지가 로젠 일행에게는 흥미로운 일로서 관찰을 게을리 하지 않았다.

잠시 후에 현장에 나타난 것은 분뇨를 흡입할 수 있는 대형 진공 청소차가 아니라 의외로 소방차였다. 그리고 놀라운 광경을 보게 되었다. 소방원들은 물대포를 쏘아 땅바닥에 흘러진 분뇨를 사방으로 날려 보낸 다음 아무 일도 아닌 듯이 그냥 현장을 떠난 것이다. 이 장면을 목격한 로젠 박사는 “소련 사회의 문화란 바로 이런 것인가?”하고 어이없어했다는 것이다. 이런 일화를 통해 오늘날 러시아 사회의 안전문화를 엿볼 수 있어 매우 흥미 있다고 하겠다.

참고로 로젠 박사는 우리나라 원전과도 매우 깊은 인연이 있는 인물이다. 국내 최초의 원전인 고리 1호기의 건설 허가를 전력회사인 한국전력이 1971년 정부에 신청했다. 한국전력은 건설 허가 신청에 필요한 예비안전분석보고서(PSAR)를 제출했는데 그 분량

이 무려 3000페이지가 넘는 방대한 분량이었다. 대부분은 주계약자인 미국 웨스팅하우스가 작성한 것으로 그 내용이 매우 전문성을 띄고 있어 정부는 이를 심사할 전문 인력이 부족해 IAEA에 기술 지원을 요청해 4명의 전문가가 내한하게 되었다. 그 4명의 전문가 대표가 바로 로젠 박사였다.

당시 필자는 한국전력의 원전 안전 담당 부장으로 자연스럽게 로젠 팀과 긴밀한 업무 협의를 하게 되었고 그 과정에서 로젠 박사가 해박한 원전 전문가임을 알게 되었다. 업무상 개인적으로도 친밀한 관계가 되었음은 물론이다. 그 후 필자는 출장으로 IAEA에 갈 때마다 그를 찾았고, 한번은 그가 자기 집으로 팔자를 초대해 저녁을 함께하면서 장시간 담소하기도 했다.

그 때 다시 놀란 것은 로젠 박사가 응접실에 하나의 작은 한국박물관을 차린 것은 아닌지 필자의 눈을 의심하지 않을 수 없었다. 간단한 부채, 한 쌍의 목제 원앙새, 장죽, 짚신, 남녀 한 쌍의 인형으로부터 사찰에서 사용되던 큼직한 동종이나 절구통, 맷돌 등 한국 냄새가 짙은 물건들을 응접실에 진열해 놓은 것을 보고 한국을 매우 사랑하는 인물임도 알게 되었다. 그런 한국을 이해하고 초기 한국 원전에 기여한 로젠 박사가 몇 년 전 타계했다는 소식을 듣고 안타까운 마음을 금할 수 없었다. 로젠 박사의 명복을 빈다.

세계 각국의 경험 공유 위해 WANO 발족

우리 인간이 살아가는 삶의 주변에는 항상 위험이 존재한다. 18세기 중엽 이전까지는 위험의 대부분이 자연 재해였다. 지진, 태풍, 홍수, 해일 등 인간이 통제할 수 없는 자연 현상으로 인간은 항상 위험에 노출되었다.

그러나 과학기술의 발달이 산업화와 연결되면서 위험은 자연 재해보다는 인간이 만든 각종 기계와 구조물에 의한 것으로 대체되었다. 과학기술이 인간에 끼친 엄청난 이득의 이면에는 크나 큰 재앙이란 역기능으로 위험이 가중하고 있는 것이다.

하나의 예를 든다면 자동차, 비행기, 기차 등 편리한 교통 수단에는 사고에 따른 위험이 항상 존재하기 때문에 안전은 상대적일 수밖에 없다. 그러므로 상대



한전KPS의 발전기 부스 작업. 안전문화는 원전과 관련된 모든 기관이 일체가 되어 통합된 안전 관리를 함으로써 이루어질 수 있다. 원전을 운전하고 보수하는 사업체는 물론 설계와 엔지니어링을 담당하는 사업체, 규제 기관과 연구 개발을 담당하는 기관, 그리고 이 모든 기관을 관리하고 지원하는 정부 등 모두가 일체가 된 통합 안전 관리(integrated safety management)에 매진해야만 안전문화라는 꽃이 필 수 있을 것이다.

적인 안전성을 극대화하고 위험을 최소화하는 노력이 항상 따르게 되는데, 이것이 바로 설계 개선이다.

그리고 설계 개선이나 설계 보완이란 작업을 통해 상대적으로 안전해진 각종 교통 수단은 이를 운영하는 인간의 전문성, 자질, 조직 문화의 선진화 등의 개선을 통해 총체적인 안전(total safety)을 기할 수 있게 된다. 안전문화가 중요한 것은 이 때문이다.

1986년 4월에 일어난 체르노빌 참사로 원전 설비 보다는 이를 운영하는 사람, 즉 인적 요인(종사자의 자질과 설비를 운영하는 조직)이 더욱 중요하다는 인식이 세계적으로 확산됨에 따라 원전 운영 업체인 전력 회사들은 세계 각국의 경험을 공유하기 위해 정보의 교환은 물론, 특히 인적 교류를 통해 원전의 모범적인 안전 사례를 전수할 수 있도록 하기 위해 1989년 WANO를 조직하게 되었다.

당시 한국전력의 원자력 안전 실무 책임자였던 필자는 사장과 함께 모스크바에서 창설된 WANO 발족 행사에 참석했는데 모스크바에서 행사를 갖게 된 것은 체르노빌 참사 당사국인 소련으로 하여금 원전의 안전성을 고취하려는 국제 원자력계의 배려가 작용한 것이었다. 즉, WANO가 발족된 것은 원전의 안전 문화를 정착시키겠다는 국제 사회의 염원에서 이루어진 것이다.

원전의 안전문화를 국내에 최초로 도입한 필자로서 국내외에서 일어나고 있는 각종 크고 작은 원전

사고/사건을 접하면서 안전문화의 미숙으로 인해 일어난 세계 원전 사고/사건의 대표적 사례를 다음과 같이 간단히 정리함으로써 후배들에게 유익한 참고 자료가 되고자 한다.

안전문화의 미숙으로 일어난 세계 원전 사고/사건

1. TMI 핵사고

1979년 3월 28일에 발생한 TMI 사고는 인류가 최초로 경험한 발전용 원자로의 노심 용융이었다. PWR 원전인 TMI는 이날 가압기의 압력 조절 밸브(relief valve)가 개방 고착(stock open)되어 1차 계통의 냉각재가 방출되는 냉각재 상실로 노심이 노출된 결과 핵연료가 용융된 사고였다.

다행히 원자로 건물의 격납용기 건전성이 유지되었기에 방사능의 외부 누출은 발생하지 않아 원전 주변의 환경 재해는 일어나지 않은 것이 다행이었다. 제어실의 운전원이 밸브의 개방 고착을 인지했다면 수동으로 밸브를 닫을 수 있었을 것이지만 불행하게도 이를 알지 못한 것이 사고의 1차 원인이었다.

그런데 밸브의 개방 고착 현상이 TMI 사고 1년 전인 1978년에 Davis Besse 원전에서도 발생했는데 다행히 원자로 운전원이 이를 발견하고 수동으로 relief valve를 닫아 대형 사고를 방지할 수 있었다.



Davis Besse의 운영 회사인 Toledo Edison은 이를 사고/사건 보고서(event report)로 즉시 원자력안전 규제위원회(US-NRC)에 보고했다.

문제는 US-NRC가 이 보고서를 받고도 모든 원전 전력 회사에 통보하지 않은 실수를 저지른 것이었다. 사고/사건 보고서의 주목적은 유사한 사고의 재발을 방지하기 위해 이런 중요한 정보를 모든 전력 회사에 알려주는 것인데 이를 어긴 것은 US-NRC의 큰 실책이었고, 이는 TMI 운영 회사인 GPU Nuclear가 미국 연방법원에 US-NRC를 제소하게 된 배경이 되었다.

한편 원전을 운영하는 미국의 모든 전력 회사는 정부를 믿을 수 없다면서 전력 회사 상호간의 정보를 교환하고 기술 협력을 강화할 목적으로 1979년 말 INPO를 조직하게 되었다. 체르노빌 참사 이후에 발족된 WANO가 전력 회사 간의 인적 교류를 주목적으로 한다면 INPO는 정보 교환을 최우선으로 한다는 것이 특징이다.

TMI 사고는 원전 설비의 취약성이라기보다는 이를 운영 관리하는 요원의 실수가 빚은 안전문화의 미숙이 중요한 원인이었다. TMI 사고를 통해 원전의 안전은 전력 회사뿐만 아니라 원전을 감시하고 규제하는 정부에도 책임이 있다는 점에서, 또한 정보의 흐름이 얼마나 중요한 역할을 하는지를 우리에게 알려주는 좋은 사례라고 생각된다.

2. TVA의 총체적 안전문화 상실

미국의 유일한 국영 전력 회사인 TVA가 운영중인 Browns Ferry 원전에서는 화재가, 건설중인 Watts Bar 원전에서는 플랜트 건물의 슬래브가 붕괴되는 사고가 일어났다.

운전 중인 Browns Ferry 원전이 정기 보수 기간 중에 원자로 건물과 보조 건물을 연결하는 각종 도관(duct)의 누설 여부를 점검하는 과정에서 점검 시간을 단축할 생각으로 누설측정 기기를 사용하지 않고 촛불을 사용하는 과정에서 실수로 전선(cable)의 피복에 점화되어 화재가 일어난 어처구니없는 사고였다. 원자로 건물은 약간의 부압(negative pressure)

이기 때문에 도관에 누설이 있을 경우에는 보조 건물의 공기가 압력이 낮은 원자로 건물 안으로 유입되어 촛불의 불꽃이 원자로 건물 쪽으로 휘어지는 현상을 볼 수 있다는 점을 이용한 것이다. 이 화재로 US-NRC는 차후 모든 원전에 사용되는 각종 cable의 피복재는 내화성이 있는 anti-fire sheath로 규제했다.

한편 건설 중에 있던 Watts Bar의 슬래브 붕괴 사고 원인을 조사한 규제 기관은 TVA 건설 팀이 슬래브 공사와 관련된 각종 QA/QC 규정을 위반한 사실을 밝혔고 그 이외에도 허다한 규정과 절차상의 위반을 발견했다. 따라서 US-NRC는 사고의 뿌리(root cause)를 철저히 조사하는 과정에서 TVA 경영층의 안전 불감증(안전문화의 결핍)이 근본적인 요인으로 작용했음을 발견했고 그에 따른 책임을 엄격하게 물어 TVA 회장에게는 경고를, 원전 담당 회사의 사장이 하 모든 책임자는 면직토록 했다.

오늘날 미국의 모든 전력회사는 민영으로 운영하고 있으나 오직 TVA만이 국가가 직접 운영하고 있는데, 이는 1920년대 말에 일어난 대공황으로 많은 실업자들의 생계를 위해 단행한 뉴딜 정책의 일환으로 정부가 테네시 계곡에 수력 발전용 댐을 조성하면서 대부분의 작업을 노동력으로 해결하기 위해 세운 전력 회사가 바로 TVA이다.

따라서 TVA 경영층은 정부의 고급 관리로 규제 기관도 TVA를 민영 회사처럼 엄격하게 관리 감독하지는 않을 것이란 자만심이 작용하지 않았을까 생각된다. 원전의 안전은 실무자보다는 경영자가 먼저 솔선수범을 보여야만 하며 안전문화는 그런 경우에 정착될 수 있을 것이다.

3. Peach Bottom-2 취침 사건

필라델피아 전력회사(PECO)의 원전인 Peach Bottom-2에서 원자로 주체어실의 야간 근무자(원자로 조종사)가 수시로 취침한다는 정보가 US-NRC에 포착되었다. 보통 화력발전소의 근무 형태는 4조 3교대이지만 원전의 근무자는 재교육을 의무적으로 받으며 자격증의 재발급을 규제 기관으로부터 받아야 하는 등 정신적 부담(mental stress) 때문에

5조 3교대 또는 6조 3교대로 근무하기에 원전의 안전을 위해 야간 근무조가 취침한다는 정보를 규제 당국은 처음에는 믿지 않았다.

하지만 계속되는 정보로 인해 US-NRC는 1975년 야간에 Peach Bottom 원전을 급습했고 원자로 운전을 담당하는 책임자가 취침하고 있음을 확인했다. 이에 대해 US-NRC는 매우 엄중한 조치를 취했다. 원전의 운영 허가(operating license)를 2년 동안 정지시키고 100만 달러 이상의 벌과금을 부과했다. 규제 당국은 Peach Bottom 운전원이 원전의 안전을 '고의적'으로 위태롭게 했다고 평가했다.

미국의 원전 역사상 최대의 참사였던 1979년의 TMI 사고 때에도 이렇게 엄중한 문책은 없었다. 이는 TMI는 어느 정도 불가피한 사고로 인정한 반면에 Peach Bottom의 경우에는 비록 사고로 이어지지는 않았으나 원전의 책임이 있는 운전원이 고의로(with intention) 원전의 안전을 위협에 노출시켰다고 규제 당국은 판단한 것이다. 원전 종사자가 저지른 사고 사건은 그 내용이 아무리 사소한 것이라도 종사자의 고의적인 실수로 일어난 것이라면 규제 기관은 엄격한 제재를 가해야 된다는 좋은 사례이다.

4. 미하마(美浜) 원전의 허위 보고

일본은 1990년 후반까지 원전의 안전 관리를 모범적으로 운영하고 있다는 평가를 국제 사회로부터 받고 있었다. 그러나 이와 같은 과찬이 원전 종사자들로 하여금 자만심을 일으켜 업무 수행에 있어서 나쁜 태도(매너리즘)를 보이는 현상이 나타나기 시작했다.

도카이무라(東海村)에 소재한 일본핵연료(주)에서 고농축 우라늄의 임계 초과로 사상자가 발생한 1999년 이후부터 현재까지 미하마 원전에서 일어난 보수 점검시의 고의적인 누락과 이에 따른 허위 보고, 후쿠시마(福島) 원전 참사(2011년) 등이 연이어 일어났기 때문이다.

2001년 일본 간사이(關西) 전력 회사의 미하마 원전이 정기 보수 중에 있었다. 원전의 가장 중요한 설비의 하나인 격납용기의 건전성을 시험하면서 어처구니없는 사건이 발생했다. 격납용기의 건전성 시험

에는 2 종류가 있는데, Type A형인 integrity test는 기술지침서에 명시된 허용치 이내로서 만족했고, Type B형인 각종 도관(duct)의 누설률 시험에는 많은 시간이 소요되기 때문에 일부 도관의 누설률 시험 결과가 모두 정상임을 확인하고는 나머지 도관에 대해서는 시험을 하지 않고 시험을 한 것처럼 서류를 허위로 작성하고 이를 규제 기관에 보고를 한 것이 사후에 밝혀지고 언론에 보도됨으로써 사회적 이슈로 등장하게 되었다. 이는 일본 국내는 물론 IAEA에서도 주목하게 되어 일본은 그때까지 누려온 원전의 안전 관리에 대한 신뢰를 잃게 되었다.

이와 관련하여 지난 해 국내 원전(고리-1)에서 일어난 black-out 사고와 관련하여 사고/사건 보고서의 허위 작성이 언론에 노출됨으로써 정치 사회적 문제로 비화된 사건이 있었다. 이는 일본 후쿠시마 참사로 원전 안전에 대한 불신감이 팽배한 우리 사회에서 일어났기 때문에 그 영향은 매우 충격이었다.

이 허위 보고 사건은 비단 실무자만의 책임은 아니다. 원전의 운전이나 보수 점검 과정에 일어날 수 있는 모든 불만족 사건이 단순한 실수로 불가피하게 발생할 경우에도 이를 문책한다면 실무자들은 차후에 벌을 면하기 위해 허위 보고를 하게 될 수도 있을 것이다. 이는 유사한 사고나 사건을 방지할 목적으로 작성되는 사고/사건 보고서의 성격상 반드시 지양해야 한다.

따라서 기술지침서나 각종 절차서의 위반으로 발생한 '고의적' 사고나 사건이 아니라면 그 사고 사건을 일으킨 종업원에 대한 문책은 있어서는 안 된다는 것이 국제적인 규범인 것이다.

5. 후쿠시마 참사

일본 후쿠시마 원전의 참사가 일어난 지도 벌써 2년이 지났다. 사고의 원인, 경과, 향후의 대책 등은 현재 어느 정도 이루어졌지만 문제는 노심 용융으로 인한 인명과 환경 재해는 과연 막을 수 없었을까?

Richter scale 9.0 이상의 강진으로 송전선로의 붕괴가 일어나 원전의 소외 전원(off-site power)이 상실되었고 이런 비상시를 대비하여 설치된 비상 발



전기도 정상적으로 가동된 점은 정상적이었다.

지진의 여파로 발생한 지진해일(tsunami)로 원전이 침수되면서 비상 발전기마저 기능 상실이 되어 소내 전원(on-site power)도 상실된 것은 불가피한 일이었다고 인정하자. 원자로가 정지되어도 핵연료에서 나오는 붕괴열(decay heat) 때문에 전원 상실에 따른 냉각재 펌프의 가동이 불가능해서 냉각재 순환이 정지된다면 노심을 냉각할 수 없어 노심 용융은 불가피하다는 것을 발전소 직원들은 알고 있었을 것이다.

그렇다면 원전 책임자들은 왜 바닷물을 끌어들이 노심을 냉각시킬 생각을 하지 못했을까? 어차피 원전 시설은 파손된 이상 인명과 환경을 살릴 생각을 왜 못한 것일까? 혹 일본의 원전에는 근무조마다 STA(shift technical adviser)가 상주하지 않은 것일까?

1979년 TMI 사고 원인을 조사하는 과정에서 US-NRC는 비정상적인 상태에서 일어나는 원자로의 과도 현상을 이해할 수 있는 전문 기술자가 없음을 밝혀내고 모든 원전에는 반드시 STA를 확보하도록 규제 요건을 강화했다.

미국 원전의 원자로 조종사는 대개 해군 핵잠수함 출신으로 대부분이 고등학교 학력이기 때문에 원자로 내의 열 수력 현상이나 핵연료의 출력 분포에 대한 지식이 없다. 따라서 원자로가 정상 상태를 벗어나는 경우에는 STA의 도움 없이는 사태를 수습할 수 없는 경우가 발생할 수 있다는 것이 US-NRC의 판단이다.

더구나 후쿠시마 원전은 노형이 BWR이기 때문에 노심에서 냉각재는 항상 2상류(2-phase flow) 상태에 있어서 열 수력 현상은 매우 복잡하다는 특성이 있음도 간과해서는 안 될 일이었다.

**통합 안전 관리에 매진해야
안전문화라는 꽃이 필 수 있을 것**

안전문화는 원전과 관련된 모든 기관이 일체가 되어 통합된 안전 관리를 함으로써 이루어질 수 있다. 원전을 운전하고 보수하는 사업체는 물론 설계와 엔

지니어링을 담당하는 사업체, 규제 기관과 연구 개발을 담당하는 기관, 그리고 이 모든 기관을 관리하고 지원하는 정부 등 모두가 일체가 된 통합 안전 관리(integrated safety management)에 매진해야만 안전문화라는 꽃이 필 수 있을 것이다.

오늘 현재 제일 중요한 국내 이슈는 사업자인 경우 원전과 관련된 정보와 운영상의 투명성 문제를 지적할 수 있다. 정보는 자유롭게 흘러야 하며 모든 일은 사람이 한다는 점을 인식해 위로는 최고위직(CEO)으로부터 말단 직원에 이르는 모든 조직원이 안전문화의 개념을 철저히 이해하고 이를 엄격하게 이행해야 한다. 고의가 아닌 실수에 대한 문책은 피해야 한다.

규제 기관은 안전 심사(safety review)와 안전 강제 조치(safety enforcement)가 제일 중요한 임무일 것이다. 미국의 안전 심사는 처음에는 냉각재 상 실 사고(LOCA)를 최악의 가상 사고로 생각해 원전의 안전 심사를 했으나 이런 LOCA는 현실성이 없다는 지적에 위험 발생의 확률을 상정한 PRA(PSA) 기법을 활용했고 최근에는 RIR(risk informed regulation)을 채택하고 있는데 우리나라도 이를 따르고 있다.

현재 우리나라 안전 규제 기관의 요원은 고학력이 대부분이며 안전 심사의 경험도 풍부한 전문가로 평가되지만 safety enforcement 업무는 다소 미숙하다는 지적이다. 이는 원전의 각종 기기와 시스템(hard-ware)에 관한 현장 경험이 부족하기 때문일 것이다.

한편 연구 개발 분야에 있어서는 사업자와의 긴밀한 업무 협조가 이루어지지 못하고 있는 듯하다. 사업자 측에서 활용할 가치가 없다는 연구 과제가 수행되고 있기 때문이다.

원전의 안전문화는 아무리 강조해도 끝이 없는 듯하다. 일반 산업체인 경우, 제조 공장이나 건설 현장에서 ‘안전 제일’이란 간판을 쉽게 볼 수 있음에도 불구하고 각종 사고가 끊임 없이 발생하고 있는 현실을 볼 때 원전의 안전 관리는 더욱 철저해야 한다. 원전의 안전은 일반 산업체의 안전과는 그 차원이 다르기 때문이다. 