

TMI 원전을 다녀와서



이 희 영

포항고등학교 교사

지난 여름 펜실바니아주립대학교에서 실시하는 교사재교육을 위한 하계연수에 참석했다. 연수중에 TMI 원자력발전소를 견학하는 프로그램이 있어서 10여명의 교사들이 보너 교수를 모시고 밴이라 부르는 작은 승합차와 승용차에 분승했는데 나는 많은 사람이 탈 수 있는 승합차에 올랐다. 이 발전소는 여기서 비교적 가까운 거리인 헤리스버그시 근교에 있었다. 계속 캠퍼스에서 수업과 실험만 하다가 견학을 간다니 복습할 학습량도 적고 또 관광도 할 수 있어 마음이 무척 경쾌했다.

신문지면 위에 나열된 각종 사고내용들을 몇 일 또는 몇달 뒤에는 대부분 망각하듯이 나도 TMI 원전에 대해서 잊고 있었다. 그것은 TMI 원전사고가 직접적 원인이 되어 방사성병에 걸린 사람은 없었다는 보도내용 때문인지도 모른다. 1986년 4월26일 안전성시험을 수행하는 과정에서 사고가 나서 많은 인적, 물적 피해를 낸 체르노빌원전에 대한 기억뿐이다. 체르노빌원전은 우리나라나 미국 등의 국가에서 운전되고 있는 원자로와 설계상에 유사한 점은 있으나 일반적으로 그 설계와 안전성개념에서 판이하게 다르다. 이때까지 나는 TMI 원전에 대하여

아는 것이 거의 없었다. 그래서 함께 기거하고 있는 조셉이라는 선생님에게 질문을 했는데 그도 특별히 아는 것이 없었다. 그러나 연수중에 「TMI」라는 말을 몇번 들어서 관심은 많았다. 비록 신문에서는 방사선에 의한 피해가 조금도 없다고 했으나, 나의 생각으로는 이것은 미국원전의 최대사고이므로 상당한 인적, 환경에 대한 오염이 있었을 것이라는 부정적인 생각을 가지고, 견학하는 시간도 여유가 있어서 세심하게 관찰하기로 결심했다.

TMI 원전에 도착하니 크고 제법 높은 두개의 냉각탑이 강 저편에 있었다. 두탑 중에 하나는 흰색의 연기를 계속 하늘로 내뿜고, 다른 것은 호흡을 멈추고 있었는데 이것이 바로 TMI 2호기였다. 입구에는 방문객을 위한 전시실이 있었다. 그곳에 TMI 원전의 개요와 원전사고에 관한 각종 화보와 선전물이 전시되어 있고 간단한 기념품도 판매하고 있었다. 이 전시실 앞에는 방사능을 측정하는 장비들이 소리를 내면서 작동되고 있었다.

TMI 사무실에 들어가니 여성안내자가 우리를 기다리고 있었다. 우리는 방문록에 등록하고 안내도와 무선수신기가 부착된 보호모를 지

급받았다. 그리고 점심준비를 위하여 대학교에서 준비해 준 햄버그와 음료수를 강당 안에 있는 탁자 위에 놓았다. 그런데 이상한 것은 연수생들의 식사만 준비해 왔다는 사실이다. 우리와 동행한 보너 교수, 운전기사 그리고 몇명의 대학생들을 위한 빵은 없었다. 미국교사들은 이들에게 같이 식사하자는 인사도 없이 소담을 나누면서 먹기시작했다. 나는 우리들만 먹을 수 없다는 생각에 주위를 돌아보았다. 그러나 강당 내에는 연수생을 제외한 다른 사람들은 없었다. 벌써 그들은 다른 곳에서 매식을 들고 있었다. 처음에는 이해하기 힘들었다. 역시 이곳과 우리의 생활양식은 상당한 차이가 있었다. 우리는 서양문화를 무조건 받아들일 필요는 없으나 이들의 실용주의가 보다 합리적인 경우도 있다는 생각을 했다.

식사후 안내자로부터 원자력발전의 개요와 TMI 2호기사고에 대해서 설명을 듣고 많은 질문을 했다. 질문이 깊고 학술적이라 안내자의 답변이 충분하지 못할 경우에는 동행한 보너 교수가 보충설명을 하기도 했다. 그러나 질문을 가장 많이 한 사람은 보너 교수였다. 질문은 TMI 2호기사고에 관한 것이 많았다. 다양하고 난처한 질문을 진솔하게 답변하는 안내자의 모습이 무척이나 인상적이었다. 안내하는 사람이외는 주위를 서성대는 사람이 거의 없었고 전시관의 크기에 비하여 근무하는 사람의 수도 적었다. 외형상으로 볼 때 이들은 경영의 합리화를 기하고 있는 것 같았다.

우리는 사진기 등 불필요한 사유물들을 모두 강당에 두고 안내자가 운전하는 버스로 원자력 발전소에 들어갔다. 원전내부로 들어가는 절차는 우리나라처럼 무척 엄격했는데 그 과정이 마치 국제공항에서 출입국하는 것과 비슷했다. 심지어 발전소에서 제공한 보호모까지 X-선 투시기를 사용하여 조사했다. 방문객만 이러한 검문검색을 받는 것이 아니라 이곳에 근무하는 기사들도 우리와 같은 과정을 거쳐 들어가는 것을 보았다. 이곳을 방문할 때는 굵 높은 구두와 반바지를 착용할 수 없다고 한다. 우리는 사전에 교육을 받아서 모두 준비해 왔으나 동행



한 대학생들은 그 사실을 모르고 반바지 차림으로 왔다. 이들은 이제 발전소견학을 할 수 없겠구나 하고 걱정했는데 잠시후에 안내자가 종이로 된 일회용 긴바지를 가지고 와서 나를 놀라게 했다.

원전에 관심이 있는 사람이라면 대부분 TMI 원전사고의 내용을 잘 알고 있을 것이다. 그리고 이 사고에 대한 기사들도 많다. 그러나 나는 처음 경험하는 일이었고 TMI 원전사고에 대한 지식은 거의 없었지만, 사고후 오염물의 처리과정과 방사선유출여부 등에 관심을 가지고 있어서, 사고후 모습을 나름대로의 생각으로 추측하고 있었다. 그러나 나의 생각과는 달리 세상을 떠들썩하게 했던 사고치고는 사람이나 주위환경이 거의 방사선에 오염되지 않았다는 사실에 놀라서, 미숙하지만 그곳에서 보고 들은 것들을 나름대로 열거해 보기로 하겠다.

1979년 3월28일 가압경수형(PWR)인 TMI 2호기는 거의 100%의 출력으로 운전되고 있었다. 그런데 고장으로 순환펌프가 작동하지 않았고 이로 인해 원자로는 자동으로 정지되었다. 재생밸브는 원자로내에 온도와 압력이 증가하면 열리게 된다. 설계에 의하면 밸브가 열리고 원자로에 있는 물과 증기는 원자로건물지하에 있는 탱크 속으로 들어가고 온도와 압력이 정상으로 돌아왔을 때 밸브는 닫히게 되었다. 그러나 오만한 운전자는 밸브를 열고 고정시켰으며 2시간이 넘도록 열어 두어 노심주위에 있던 냉각수는 원자로계통을 빠져 나갔다. 결국 방사성물은 원자로와 보조건물의 지하탱크에 모였고 냉각수가 없어서 원자로내의 온도는 상승했으며 결국 몇개의 우라늄연료가 녹았

다. 밸브를 닫은 뒤에 운전자는 냉각수가 없다는 사실을 발견하고 냉각수를 원자로에 다시 넣었다. 그러나 이 냉각수가 극도로 고온인 연료봉을 몇 개 파괴시켰다. 그러나 발전소에 다른 큰 물리적인 손상은 없었다. 원전은 다중안전장치가 설치되어 있는데 운전자 4명의 실수로 사고가 났다.

우리나라에 있는 원전조정실에 가보면 많은 운전자들이 각종 계기를 확인하고 문제가 있으면 절차를 거쳐서 대처하는 모습들을 볼 수 있다. 이처럼 사명감, 책임감 그리고 전문적 지식을 가진 운전자들이 조직적이고 치밀한 절차에 의해서 처리하는 것을 볼 때 우리의 경우라면 사고를 피할 수 있었을 것이라고 생각된다. 다행히 대부분 방사성물은 발전소안에 있었고 원자로건물, 보조건물과 연료취급건물의 중요한 부분에는 사람의 접근은 없었다. 방사능에 오염된 약 100만갤런의 물은 원자로건물의 지하와 보조건물 내에 있는 탱크안에 있었다.

방사능제거계획을 세우기 위해서는 사고현장의 정보가 필요하므로 기술자들은 이 지역에 접근해야만 했고 정화작업이 진행됨에 따라 발전소의 상황을 많이 파악할 수 있어서 작업을 해야할 범위가 보다 분명해졌다. TMI 2호기의 방사능제거작업은 지금까지 한번도 경험하지 못한 일이라 큰 기술적인 도전이 필요했다. 이 정화작업을 위하여 1,000명이 넘는 전문가들로 작업조를 편성했다. 이들은 기술자, 건강물리학 전문가, 화학자, 원자력연료분해기술자, 보선 및 설비기술자 그리고 산업건강전문가들로 구성되었다. 정화작업의 목적은 시민, 근로자 그리고 자연환경에 해가 없는 안전하고 안정된 시설로 전환하는 것이다. 이제 관심이 방사능 모니터 쪽으로 집중됐다. 모든 정화작업은 방사능을 모니터하면서 진행해야 한다. TMI 2호기 속으로 들어가기 전에 선행되어야 할 일은 일반적인 발전소설비, 특히 원자로건물과 원자로계통을 정화하는 것이다. 지금까지 방사능을 제거하기 위한 정화작업으로 이처럼 길고 값비싼 경우는 없었다. 정화비용은 당시 미화로 10억달러가 소요될 것으로 예상했는데 1989년말

에 9.67억달러가 집행되었다. 계획보다 더 많은 돈이 요구되었으며 이 정화작업은 기술적 도전뿐만 아니라 거액의 돈이 필요하므로 예산 확보라는 면에서도 큰 도전이 된 것이다.

안내자의 설명에서 내가 놀란 것은 이 작업에 일본인이 참여하고 있다는 사실이었다. 그리고 일본원자력산업회의에서 6년동안 정화작업과 관련이 있는 조사 및 개발활동을 위하여 1,800만불을 사용했다고 한다. 일본은 원자력에 대하여 상당한 수준에 도달해 있고 앞으로 상업적인 진출도 예상되었으며 또 방사능제거 작업에 대해서도 많은 기술적 축적이 있을 것으로 생각되었다. 우리도 원자력에 대한 많은 연구와 투자가 있어야 하겠다는 생각이 들었다.

우리나라도 민주화과정에서 원자력에 대한 정보가 부분적으로 공개되고 또 원자폭탄과 체르노빌사고에 자극받아 국민들의 관심이 원전에 집중되고 있다. 우리는 눈에 보이지 않는 방사선에 지나치게 민감하여 정신적으로 많은 갈등을 느끼고 있는 것 같다. 현재로는 매장된 화석연료가 극히 제한적이고 많은 공해를 발생시킨다. 그리고 산업화할 수 있는 다른 대체에너지원은 말처럼 쉽게 나타나지 않는다. 따라서 반핵주의자들의 강한 반대에도 불구하고 일정한 과학기술수준에 있는 국가들은 점차 에너지를 원자력 쪽으로 전환하고 있는 것이 현실이다. 우리도 안전하고 안정적인 원전의 건설, 운전, 재처리, 통제 및 평화적 이용을 위해서도 이 방면에 적극적인 활동이 있어야 하겠다.

TMI 2호기 정화작업에서 첫째로 해야할 중요한 작업은 오염된 물을 제거하는 것이다. 그리고 원자로보조건물에 접근해서 중요한 보조계통을 복구시키는 일이다. 1979년 8월에 처음으로 사고에 의해서 발생된 저준위폐기물을 워싱턴의 리치랜드로 운송했다. 1979년 10월에서 1980년말까지 보조건물지하실에 있는 50만갤런의 물을 펌프로 퍼올려 처리했다. 이러한 원자로건물내부에서의 작업은 많은 어려움이 있었다. TMI 2호기 사고 동안에 원자로건물은 방사능을 외부로 나가지 못하도록 차단하는 아주

효과적인 장애물임이 입증됐다.

1979년 11월에 원자로건물내부의 상황과 오염정도를 알아 보기 위하여 처음으로 TV 조사와 방사능측정을 했는데 내부는 극도로 오염되어 있었으며 많은 양의 Kr 85 가스가 원자로건물내에 축적되어 있었다. 기술자들이 안전하게 건물안으로 진입할 수 있으려면 화학적으로 비활성인 이 기체를 먼저 제거해야만 했다. 1980년 7월 NRC(Nuclear Regulatory Commission)와 PDT(Pennsylvania Governor Dick Thornburgh and the scientific community)의 감시 하에서 43,000퀴리의 방사성기체를 안전하게 대기중으로 환기시켰다.

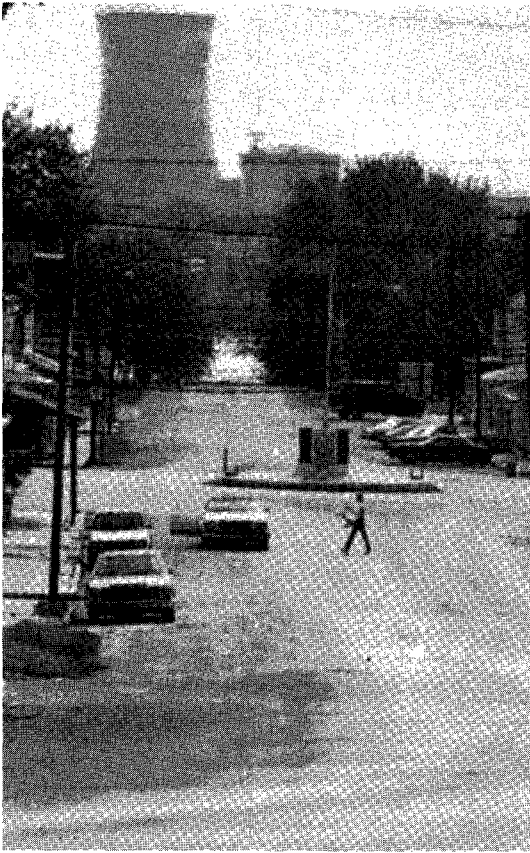
사람이 원자로건물 속에 처음 들어간 것은 1980년 7월23일이다. 이곳 지하에 있는 극도로 오염된 물을 정화하는 일은 작업자와 주위환경에 큰 위험이 수반된다. GUP 핵기술자들은 SDS(Submerged Demineralizer System)라고 하는 새로운 물처리공정을 개발했다. 이 공정은 우리들 가정에 있는 정수기와 비슷한 원리로 오염된 물에서 대부분의 방사성물질을 제거할 수 있는 것이었다. 1981년 9월부터 이 작업을 시작하였고, 오염된 물을 처리하는 공정과정에서 생성된 고체폐기물을 TMI에서 에너지연구실험점 방사성폐기물처리장으로 운송했다. 이 고체폐기물을 처음 운송한 것이 1982년 5월 21일이었다. 특별히 고안된 두개의 탱크를 제작하고 이곳에 처리된 물을 저장하여 TMI에 두었다. 물론 이 작업은 핵조정위원회(NRC)의 철저한 확인과 감시하에서 진행되었다고 한다.

탱크의 물들을 처분하는 방법은 두가지로 생각할 수 있다. 하나는 그냥 강에 방류하는 것이고 다른 하나는 증발시켜서 대기중으로 방출하는 것이다. 이 두가지 방법을 두고 주의깊게 측정하여 평가한 결과 회사측에서는 비싼 방법을 선택하여 약 2년동안 이들 물을 조금씩 증발시킬 것을 제안했다. 이것은 시민의 건강을 보호하기 위하여 활동하는 단체들의 요구와 공통점이 있어 큰 대립은 없을 것으로 예상됐다. 이 작업에 의해 평균적으로 시민이 받는 전체 방사선피폭량은 헤리스버그지역에서 사람이 1시

간에서 2시간 정도 받는 자연방사선량 만큼만 추가된다. 이 양을 계산해보니 우리가 X-선촬영을 할 때 받는 방사선량의 약 1,300분의 1정도가 되고 그것도 X-선처럼 짧은 시간에 받는 것이 아니라 2년동안 나누어서 받는 양이므로 이로 인한 자연방사능의 증가는 무시된다. 즉 자연방사능의 증가는 거의 없다고 볼 수 있다. 그리고 여기서 제시되는 각종 방사능측정값은 전력회사와 공익단체들에 의해서 측정된 것이므로 신뢰성이 높다. 탱크에 있는 물을 증발시키는 작업은 공청회를 거친 다음 NRC에 의해 승인을 받았다. 그 당시 물의 증류작업은 1990년에 시작할 계획이었다고 한다. 그러나 이 작업이 현재 어느 정도 진행되었는지 알아보지 못했다.

원자로건물내에 있는 많은 시설물들의 정화작업이 시작되었다. 압축된 물을 분산하여 마루, 벽, 배관 그리고 다른 시설에 부착된 오염물을 세척했다. 오염된 콘크리트는 압축된 공기로 작동하는 끌과 고압의 물로 콘크리트의 위층을 파괴시킨 뒤에 방사능을 제거했다. 방사능오염이 극심하여 작업자가 직접 정화작업을 하기 어려운 지역은 특별하게 고안된 로봇트를 투입하여 이것으로 작업을 했다. 그리고 이 로봇트로 오염이 심해서 접근이 힘든 곳에 있는 시설들의 물리적 상황과 방사능에 대한 각종 정보를 획득하는데 이용했다.

1982년부터 방사능정화작업에 원격조정을 할 수 있는 소형 이동기구를 사용했다. 이것은 정상적으로 운전되는 원자력발전소에 근무하는 운전자들이 일정한 양의 방사선에 피폭되는데 TMI 2호기에서 정화작업을 하는 기술자들도 이 양을 초과하지 않도록 하기 위하여 기계를 활용했다. 이동기구는 작고 단순한 장치들을 개량한 것으로 정화작업을 수행할 수 있도록 로봇트팔을 장착하여 오염된 현장에서 기초적인 답사를 할 수 있도록 고안되었다. 로봇트들을 오염된 장소에 사용하기 전에 오염되지 않은 곳에서 성능실험을 하고난 뒤에, 원자로건물지하와 보조건물의 가장 오염이 심한 지점에 이것을 투입했다. 여기서 이들 기계를 이동기



구 또는 로봇이라고 표현하기도 했다. 엄격한 정의를 내리자면 로봇이라는 표현은 적당하지 못하다. 왜냐하면 이들은 인공지능이 결여된 장치들이기 때문이다. 인간의 손에 의해서 직접 조정되는 전기적 제어로 기계가 움직이도록 설계되어 있다. 다음에 소개가 될 로벌 1호라는 기계에 1986년 12월경에 로봇팔을 부착했는데 이 팔은 운동을 반복할 수 있도록 프로그래밍했다. 로벌 3호 역시 팔을 사용할 수 있는 능력을 구비하고 있어 로봇이라고 할 수 있다.

SISI(System In-Service Inspection)는 작고 구동이 가능한 탱크와 같은 기계로 1982년 8월에 처음 사용했는데 주로 보조건물내에 오염된 지역의 사진촬영과 방사능을 조사할 목적으로 제작되었다. 이것의 질량은 약 10kg이 넘고 전선에 의해서 전력을 공급받아서 작동된다. 프레드(Fred)는 보조건물구역의 정화작업

을 돕기 위하여 고압의 물을 분사하는 기계로 1983년 5월에 처음 사용했다. 질량은 약 180kg이고 6개의 차륜이 있고 충전기로 작동을 한다. 6피트까지 높이를 가변시킬 수 있는 기계적 팔을 장착했는데 미시간회사에서 처음 고안하여 제작한 것을 TMI 2호기의 기술진이 이것을 개선했다고 한다. 이 기계는 전등과 흑백 TV카메라가 부착되어서 운전자가 멀리서 현장을 보면서 기계를 조정할 수 있는 장점을 갖고 있다.

로벌 1호(Rover 1)는 사고후 처음으로 TMI 2호기를 전체적으로 조사하기 위하여 만들었다. 이 기계는 1984년 11월에 제작되었는데 질량이 약 450kg에 달한다. 로벌 1호에 장착된 3개의 TV카메라와 2개의 방사능측정기들이 지하의 정화작업을 계획하기 위하여 데이터를 수집한다. 로벌 1호가 1985년에 지하실에 들어가서 마루바닥의 침전물과 콘크리트벽의 시료를 채취해왔다. 1986년 9월에 로벌 1호가 원자로 건물 지하실을 정화하기 위하여 처음으로 로봇팔을 사용했는데, $2,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 에 달하는 고압의 물로 표면에 완전히 부착되지 않은 오염물을 세척하고 또 지하실벽들로부터 오염된 콘크리트의 표면을 4분의 1인치 이상 제거했으며, 1987년 3월부터는 이것으로 지하실바닥에 있는 침전물들을 끌어내기 시작했다. 이와 같은 작업은 방사능에 오염되지 않은 터빈건물에서 작업광경을 TV로 보면서 조정판으로 로벌 1호의 작업을 통제할 수 있었다.

1985년 5월에 원자로의 지하실벽에서부터 콘크리트의 시료를 얻기 위하여 시굴공을 장착한 로벌 2호를 만들어서 로벌 1호와 함께 사용했는데 로벌 2호는 주로 방사능에 오염되지 않은 지역에서 운전자들을 훈련시키기 위한 훈련용으로 사용했다. 로벌 1, 2호의 높이는 4피트인데 키가 큰 로벌 1, 2는 위쪽에 있는 배관에 닿아서 마음대로 이동할 수 없었다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 2피트 높이의 로벌 3호를 제작하였으며 이것을 1987년 6월에 원자로건물에 처음 투입했다. 로벌 3호는 3개의 카메라, 2개의 방사능측정장비, 로봇팔, 고압분사구

그리고 진공흡착기와 같은 것들을 갖고 있다. 로벌 1, 2호의 진공흡착기로 원자로건물의 바닥에 있는 침전물을 80%나 제거했으며 그리고 고압분사구는 정화작업과정에서 바닥에 있는 침전물을 한장소에 모으는데 사용됐다.

루이 1호(Louie 1)는 1985년에 TMI 2호기 보조건물의 지하실내에 있는 작은 설비실에서 방사선기록을 얻었다. 루이 1호의 무게는 약 350kg이고 고무궤도로 이동한다. 이것은 3개의 TV카메라를 가지고 있는데 이동식 조정판위에 있는 감시용 TV의 도움으로 작동된다. 루이 1호를 개량하여 루이 2호를 만들었으며 1987년에 이것을 보조건물의 작은방에 집어넣어 마루바닥위에 있는 오염물을 제거했다. 마루바닥표면을 파괴할 수 있는 도구와 바닥에서 이완된 오염물질을 용기속으로 흡입하기 위한 진공펌프를 사용하여 정화작업을 했다. 이것은 역시 3개의 TV카메라와 모니터가 있는 이동식 조정판을 갖고 있으나 루이 1호보다 크기가 작고 고무궤도 대신에 6개의 차륜으로 이동한다.

방사능정화작업에서 가장 큰 일은 TMI 2호기 원자로로부터 손상된 연료를 제거하는 것이었다. 1982년 여름에 카메라로 원자로를 조사했더니 연료의 일부가 붕괴되어 연료봉의 상부 5피트가 빈 상태로 있었다. 이 녹은 연료가 원자로용기의 중간바닥에 떨어져 자갈덩어리의 층을 이루고 있었다. 이후 다시 카메라로 조사했더니 원자로의 최하단바닥에 연료가 녹은 다른 자갈덩어리형태의 층이 확인되었다. 채집한 견본과 비디오의 조사로 과학자들이 사고 초기에 연료의 일부가 녹았다는 결론을 얻었다. 이러한 조사에서 얻은 정보는 연료붕해제기술자의 훈련과 연료봉의 해체작업을 위한 새로운 도구와 장비를 개발하는데 활용한다. 기술자들은 원자로건물 바깥에 건설한 모형에서 전면적인 연료붕해훈련을 여러달 동안 했다.

1985년 5월까지 이 위험한 연료봉에 직접적인 접근은 없었다. 특별히 고안된 붕해장비가 도입되자 기술자들은 직접 손으로 조정하는 35피트의 도구를 사용하여 연료를 끌어내는 훈련을 했다. 이러한 훈련과 정화작업으로 정상적

인 발전소에서 연료를 재주입할 때 방사선에 노출되는 정도의 수준으로 감소시킬 수 있다. 연료봉의 파편을 제거하는 작업은 1985년 10월에 시작했다. 다른 정화작업처럼 손상된 연료봉을 제거하는 것은 가장 위험스러운 도전이었다. 긴 수동도구를 사용하여 기술자들은 TV감시계통의 도움을 받아가며 멀리서 연료부스러기를 깡통에 넣었다.

1986년에 한동안 원자로내부에 있는 물이 혼탁해서 해체작업을 연기했다. 때로는 작업자들의 가시거리가 1인치 이하인 경우도 있었다. 전면적인 연구로 기술자들은 원자로계통의 성분에 손상을 주지 않는 필터방법과 화학적인 처리로 물의 혼탁도를 감소시키는 방법을 개발했다. 약 293,000파운드에 달하는 붕괴된 연료부스러기들 중에 147,000파운드를 해체하여 저장을 위해 제작된 통에 봉입한 것이 1987년 9월이었다. 그러나 원자로용기 아래 바닥에 있는 부스러기를 제거하기 위해서는 기술자가 이곳에 접근해야만 했다. 따라서 1989년 3월에 원자로용기의 밑바닥에 부착된 스테인레스강철을 해체했다. 같은해 10월부터 약하게 오염된 물을 대기중으로 방출하기 위하여 방사능에 오염되지 않은 청결한 물을 사용하여 증류기의 시운전을 시작했다. 연료의 분해작업은 1990년 1월에 거의 99% 완료하여 같은해 4월에 위험한 연료와 연료의 부스러기를 선적한 마지막 기차가 저장과 연구를 위하여 에너지성의 이다호(Idaho)국립기술실험실을 향하여 출발했다.

정화작업이 끝나면 TMI 2호기는 아주 장기간에 걸쳐 방사능을 감시하며 원자로건물은 잠궤지고 일반인의 출입이 통제된다. 방사능을 모니터링하기 위하여 담당자만이 접근할 수 있다. 이제는 시민, TMI 근무자와 주변환경에 대한 방사능위험은 사라졌다. 약 100메가톤의 손상된 연료와 50메가톤의 손상된 원자로내부 물질들을 모아서 연구와 보관을 위하여 방사성폐기물저장소로 운송되었다. 방사성폐기물은 포장되어 저준위방사성폐기물저장소로 운송되었거나 선적을 기다리고 있었다. 현존하는 연료와 방사성물질들도 완벽한 용기에 밀폐되어 있

고 다시 완벽한 보호구조물 안에 있어 외부와는 완전히 격리되어 있다. 즉 폐기물이 들어있는 건물을 안에서 바깥으로 분해하면 가장 안 쪽에는 밀폐된 관이 있고 다시 밀폐된 작은 방이 있으며 지진과 폭풍에 견딜 수 있는 구조물이 있고 마지막으로 밀폐되어 안전한 봉쇄건물이 있다. 따라서 방사선이 노출될 확률은 아주 희박하다고 볼 수 있다.

미국은 많은 방사성폐기물저장소가 있다. 연수받던 대학에서 멀지 않은 지역에도 저준위폐기물저장소가 있고 그곳에 근무하는 분이 특강을 하기도 했는데 이들은 매일 방사성폐기물과 함께 지내고 있다. 그곳에서 각종 조사, 연구, 감시가 이루어지는데 지금까지 방사선의 노출은 없었다고 한다. 정보가 공개되는 이곳에서 방사성폐기물처분장에서 방사능의 유출에 대한 보도는 없었던 것으로 기억된다. 한편으로는 이들이 핵에 대한 전문가들인데 위험하다면 그곳에서 연구, 감시활동을 하고 있겠는가 하는 생각이 들었다. 사진이나 지면을 통해서 완벽에 가까운 공정과 구조물은 보고 강의를 들었으나 직접 방사성폐기물처분장을 견학하지 못해서 섭섭했다. 방사성폐기물처분장이 원자력 발전보다 어떤 면에서는 안전성이 높다. 처음 나의 무지한 생각으로 방사성폐기물처분장 주위의 환경방사능(Backgrounding Radiation)은 상당히 높을 것으로 생각했다. 그러나 각종 논문, 기사와 참고문헌을 보니 자연방사선량과 거의 같다는 사실에 놀랐다. 아마 독자들도 이 내용을 읽고 쉽게 인정하지 않으려 할 것이다. 나도 학부에서 핵물리에 대한 강의를 들었으나 이곳에서 직접 방사성물질을 만지고 실험하기 전에는 방사성동위원소라면 무조건 위험하고 무섭기만 했다. 방사성물질은 주의해서 취급만 하면 안전하고 유용한 점이 많다는 사실들을 막연한 공포로 인해서 망각하고 있었다.

TMI 2호기의 사고를 통하여 우리는 많은 것을 배웠다. 이러한 교훈은 산업전체에 적용되어야 한다. 가장 중요한 교훈은 인간과 관계되는 것으로 훈련의 개선과 강화, 안전하고 효율적인 기계운전을 위한 인적요인의 중요성인

식과 개선 그리고 지위체계강화 등이 있다. 다행히 우리나라의 경우는 절제있고 계통적인 인사구조를 가지고 있고 국민성이 대부분 섬세하고 치밀하여 미국이나 소련과 같이 인간의 연속적인 실수에 의한 원전의 사고는 없을 것으로 기대한다.

TMI 2호기의 사고에 자극을 받아 지금 가동하고 있는 TMI 1호기는 1982년부터 원전운전을 위한 기술자들을 3배로 증원했다고 하는데, 우리의 원전에도 많은 기술자들이 근무하는 것을 볼 수 있다. 운전자의 훈련을 강화하고 개선하여 TMI 1호기 조정실운전자들은 6주제로 교대근무를 하고 있다. 결국은 모든 종업원이 6주마다 1주는 훈련에 참여하게 된다. 훈련의 대부분은 TMI 1호기에 있는 조정실과 전체가 똑 같고 컴퓨터로 제어되는 모의조정실에서 이루어진다. 이 모의조정실의 제작경비가 약 1천8백만달러에 달한다고 한다. 현재 가동 중인 원전에 대하여 많은 시설과 기술의 수정과 보안을 통하여 안전성의 한계를 증가시켰다. TMI 1호기의 경우에는 100건 이상의 시설보완으로 9천5백만달러의 돈이 지출되었다고 한다.

원전사고로 인한 방출된 방사선량과 이것이 인간의 건강과 환경에 어느 정도로 영향을 주었는지를 알기 위하여 적어도 10건의 중요한 연구가 이루어졌다. 결론적으로 모든 연구의 결과는 방사선의 피폭량이 너무 적어서 발전소 근처에 있는 사람과 환경에 영향이 없다는 것이다. 비록 방사선에 피폭되었다고 해도 그 영향은 측정하기 힘들 정도로 미약하다는 결론이다. TMI 2호기의 사고에 의해서 받은 방사선량은 대부분 사람들이 자연환경에서 받는 자연상수방사선량과 인공방사능에 의한 피폭량을 합한 환경방사능에 비교한다면 아주 적어서 무시할 수 있다는 것이다.

실례를 보면 해리스버그에 살고 있는 사람이 1년에 자연방사선의 피폭량이 300mRem이고 인공방사선이 60mRem으로 약 360mRem의 환경방사선을 받고 있다. 이것은 지역에 따라 다소 차는 있으나 미국사람이 평균적으로 받는

환경방사선량과 거의 같다. TMI 2호기의 사고로 주변사람들이 받은 방사선량을 보면 반경 10마일 이내에 있는 사람은 평균 약 8mRem이고, 반경 50마일 이내의 사람은 평균 1.5mRem이다. 이것은 우리가 진찰을 위하여 흉부에 X-선 간접촬영을 하는데 1회에 약 10mRem의 방사선을 받고, 비행기를 타고 미국대륙을 동서로 한번 횡단할 때마다 1mRem이 추가된다. 만약에 X-선(Back X-Ray)을 한번 촬영하면 약 450mRem이 체내에 피폭된다. 우리는 아무도 X선 간접촬영을 하고 백혈병에 감염될 것을 걱정하는 사람은 거의 없을 것이다. 물론 발전소주위의 사람들이 원전사고로 인한 방사선을 받지 않는 것이 최선이나 지나친 걱정을 할 필요는 없다.

어느 책에서 원전에 의한 병은 병원체가 방사선이 아니라 심리적 걱정이라는 내용을 읽은 기억이 난다. 이것은 원전이 정상적인 가동을 할 경우에 해당하고 소련의 체르노빌처럼 구조상의 문제점과 연속적인 실수로 대형사고가 난다면 어떻게 될까 하는 걱정은 대부분 갖고 있다. 그러나 연속적인 인간의 조작실수만 피할 수 있다면 안전운행이 가능하고 또 과오로 사고가 발생한다고 가정해도 구조상으로 원폭과는 크게 다르다는 것을 알 수 있다.

우리는 TMI 2호기의 미래에 대하여 궁금했다. 현재로는 재활용할 계획은 없으며 발전소를 보존하고 다음에 사용하기 위한 예산을 편성하지 않았다고 한다. TMI 2호기는 TMI 1호기가 폐기될 때까지 현상태로 존속될 것이며 발전소 내외에 방사선을 감지하는 장비들이 계속 가동되고 있다. 발전소는 물론이고 방사성 동위원소를 취급하는 대학의 실험실이나 공장에 들어갔을때 항상 GM 계수계가 소리를 내면서 취급의 주의를 촉구하고 있었다. 발전소의 시설 자체와 여기서 방출되는 액체와 기체의 방사능을 항상 감시하고 있으며 만약에 평소보다 방사능이 증가되거나 일정한 허용한계를 초과하면 자동으로 경고음이 울리고 경고상황에 대한 메시지를 방송한다.

방사능을 감시하는 목적은 일정한 지역에서

채취된 샘플로 자연물 또는 인공물에 관계없이 방사성물질의 존재를 감지하고, 환경방사선세기의 변화를 측정하고 변화가 있다면 그 원인이 자연방사선, TMI 또는 다른 인공방사선에 의한 것인지를 확인하며, TMI에서 유출되는 방사선이 있다면 가능한 그 수준을 극소화하는데 있다. 방사선을 조사하기 위한 샘플은 TMI 주위에 있는 지면, 물, 공기 등에서 채집된다. 샘플의 내용물로는 우유, 과일, 채소, 토양, 강물, 음료수, 고기, 강바닥의 침전물, 일반기체, 옥소화합물 및 특수한 기체 등이 있다. 1989년 1년동안 1,800개 이상의 샘플을 모아서 분석했는데 원전사고가 일어나기 이전의 결과치와 비슷하여 특별한 변화는 없었고 이것으로 지출된 경비는 약 100만달러에 달한다.

원전사고 이후에 TMI에서 21마일 이내에 감마선을 직접 측정할 수 있는 장치를 104개 지역에 설치하여 주기적으로 감시한다. 그리고 필요할 때는 측정시간을 마음대로 조절할 수 있다고 한다. 여기서 모니터된 측정치들은 NRC와 CWP(Commonwealth of Pennsylvania)에 통보된다. TMI 주위에 거주하는 사람은 인공적인 방사선으로 연간 56~64mRem의 감마선을 받는데 TMI에서 나오는 감마선은 약 0.073mRem이다. 즉 TMI로 인해서 추가되는 감마선은 약 0.01%에 불과하다.

TMI원전 1호기의 발전시설은 우리나라의 원전과 비슷했다. 특이한 것은 진동이 심한 부분은 건물을 설계할 때 건물의 바닥과 기둥을 같이 연결하지 않고 절단시켜서 진동이 옆에 있는 건물로 전달되는 것을 차단했고 원자력발전소에서 순환계통에는 수도꼭지를 만들어서 순환계통내의 물을 언제나 컵에 받아 방사능의 오염여부를 즉석에서 확인할 수 있도록 설치한 것이다.

TMI 1호기는 872MW의 전력을 생산하고 있었는데 이것은 약 50만 가정의 전기를 충분히 공급할 수 있는 전력이다. 이 발전소는 1974년 9월에 상업적인 발전을 시작하여 TMI 2호기의 사고가 발생한 1979년에 연료의 재공급과 보수를 위하여 6년반이나 가동하지 않다.

가 1985년 10월에 점진적으로 원자로를 가동하여 86년 1월 초에 100%의 출력에 도달했다. 미국의 평균 설비가동률이 약 65%인데 74년에서 79년까지 TMI 1호기의 가동률이 77.2%이고 78년 11월에서 현재까지 약 86%에 달한다고 한다. 우리의 경우는 일본보다는 다소 낮으나 미국보다는 높은 것으로 기억이 난다. TMI 1호기는 88년에 시설보완으로 출력을 830~860 MW에서 860~890MW로 증가시켰는데 89년에 가동률 100%로 세계에서 유일한 기록이라고 자랑했다. 발전효율은 외부의 온도와 계절에 따른 여러가지 요인들의 영향을 받기 때문에 완전한 출력으로 가동한다는 것은 쉽지가 않다. 이것은 주변에 있는 작고 단순한 공장을 보아도 쉽게 이해할 수 있다.

TMI 1호기는 3%의 U 235를 함유한 U 238이 90톤이나 필요하다. 100%가동을 할 때 하루에 U 235가 9파운드나 소비된다. 또 TMI 1호기를 포함한 모든 원전은 정상적인 가동을 할 때 방사성기체와 액체를 방출한다. 이때 허용되는 방사능의 한계치는 미연방의 통제를 받는다. 원전에서 방출하는 액체에 대한 방사능 허용치는 연간 3mRem이다. 대부분 비활성 기체의 경우는 연간 5mRem이고 요오드 등 특정한 기체의 허용 한계치는 개인당 연간 15m Rem이다. 그러나 TMI 1호기에서 방출하는 방사선량은 미연방의 허용기준치보다 아주 적다고 한다. 예를 들면 89년의 경우 TMI 1호기에서 방출한 액체는 연방허용기준의 1%로 0.031mRem이고 보통기체는 허용치의 0.64%로 0.032mRem, 요오드 등 특정한 기체는 허용치의 3%로 0.045mRem이다. 우리나라의 원전도 이와 비슷할 것이다.

방사선이란 물질을 관통할 수 있는 과동 또는 입자형태의 에너지이다. 이것에 대한 우리의 공포는 볼 수가 없는데 있다. 방사능은 우리의 체내에 들어갈 수도 있고 호흡기로 흡입되기도 한다. 또는 피부의 상처를 통하여 들어갈 수도 있다. 방사선이 두려워서 이것을 피할 목적으로 방에 누워 있다고 하자. 과연 우리는 방사선을 피할 수 있을까. 우리는 원전과 무관

한 실내에서도 방사선에 피폭된다. 이것이 환경방사능으로 바위, 토양, 우주, 인체, 의료기와 약품, 각종 산업물 등에 방출되어 나도 모르게 우리의 체내로 관통하거나 들어간다. 통풍이 잘 되지 않는 지하실에 있다면 라돈기체를 흡입하여 농도가 크면 암의 원인이 되므로 원자로건물 옆에 있는 것보다 아주 위험하다. 이처럼 우리는 항상 자연방사선을 받고 있다. 이것은 위치마다 다르다. 브라질 가라바리시의 연간방사선은 우리나라의 약 3배에 달한다. 그러나 이들은 건강한 생활을 영위한다. 피폭되는 방사선의 양이 적으면 문제가 되지 않는다. 정상적으로 가동되는 원전 근처에서 방사선을 걱정할 것이 아니라 우리가 라돈이 많은 지하실에 있을 때 우리는 공포를 느끼고 주의해야 한다.

우리가 평균적으로 원전에서 받는 방사선은 전체 환경방사선의 0.1%에 불과하다. 비록 농도는 약하나 농업에 사용되는 약품 등의 방사선이 원전보다 크다. 의학적으로 사용되는 방사선은 환경방사선의 15%나 된다. 우리는 원전 이외의 방사선에 대해서는 대단히 관대하다. 그러나 환경방사선의 0.1%인 원전은 많은 관심을 갖는다. 이것은 원폭에 대한 공포 때문인가. TMI 2호기의 방문을 마치고 기숙사로 돌아왔을 때 나는 원전에 대한 지나친 선입관에서 벗어날 수 있었다.

미래의 사회는 다량의 저공해에너지가 필요하다. 방사선이 있는 원전을 줄이고 대체에너지를 개발해야 한다고 주장하는 사람이 많아진다. 그러나 어느 누구도 원전 대신에 현실성 있는 에너지를 제시하는 사람은 없다. 앞으로 에너지원으로 원전이 차지하는 비중은 점점 크게 증가할 것이다. 우리는 방사선이 위험하다고 피하는 소극적인 자세에서 원자력에너지를 보다 안전하고 유용하게 사용할 수 있도록 적극적인 자세로 임할 필요가 있다. 우리가 운전하고 있는 원전의 안전을 다른 나라에 의존할 것이 아니라 자주적으로 연구개발하여 안전성과 효율을 증가시키는 것이 우리 세대의 당면 과제이다.