

石棺問題解결에 국제협력 필요

급히 설치한 체르노빌의 石棺은 교체돼야 할 것으로 보인다. 이것은 틀림없는 일이다. 그러면 어떻게 교체할 것인가. 작년에 헬싱키에서 열린 「Mat-Tech '91 심포지움」에서는 이틀간의 특별세미나를 통해 이 문제를 다루고 그 해결책을 모색했다.

Bill Thomson

5년 전 사고를 일으킨 체르노빌 4호기의 방사성잔해의 먹구름은 사라졌지만 이에 못지 않게 의구심과 불안의 먹구름이 아직도 사고현장을 뒤덮고 있다.

방사성잔해를 밀폐하기 위해 원자로를 덮고 있는 콘크리트철골구조물인 석관은 당초 내구년한을 30년으로 잡았으나 건설한지 6년째를 맞이하는 지금에 와서 소련과학자들은 이 석관이 앞으로 더 이상 지탱할 수 있을지 의문을 제기하고 있다. 체르노빌합동조사단의 Borovoy 단장은 아무런 조치도 취하지 않는다면 5~7년 이내에 대규모의 방사성먼지가 방출될 것이라고 보고 있다.

이 석관은 원래 완전히 밀폐하도록 설계돼 있는 것은 아니다. 그 외벽에는 많은 구멍이 있는데 그 수는 대충 140개가 될 것으로 추정된다. 그 중에서 가장 큰 것은 단면적이 $10m^2$ 나 되는 것도 있다. 이 구멍들은 사고원인, 핵연료의 위치 및 그 물리적, 화학적 상태, 원자로의 전체적인 위험성 등을 조사하기 위해 마련된 것이다. 로봇장비들이 이같은 일을 하는

데 적합치 않은 것으로 판명돼 조사원들이 석관 안으로 들어가 작업을 해야만 했다. 따라서 더욱 많은 자료를 수집하기 위해서는 필요한 경우 언제나 구멍을 냈는데 그 중에는 가장 방사능이 강한 곳의 중심부와 통하는 것도 있다.

석관재료문제

대규모의 소련대표단이 Mat-Tech '91 심포지움에서 그들의 의견을 발표하기 위해 작년 5월말 헬싱키로 왔다. 이 Mat-Tech '91 심포지움은 동서간에 석관재료와 그 시공법을 논의하기 위해 모인 행사였다. 소련대표단은 그들이 사용한 방법과 원자로 안팎에서 수집한 재료들에 관한 그들의 연구결과를 설명하고 나머지 문제를 해결하기 위해서는 국제협력이 필요하다고 호소했다.

지금까지의 연구활동에 대해서는 쿠르차토프 연구소의 Belayev 부소장이 설명했다. 1986년 4월26일 사고가 난 후, 동년 6월과 10월 사이에 서둘러 석관을 설치했기 때문에 파괴된 원

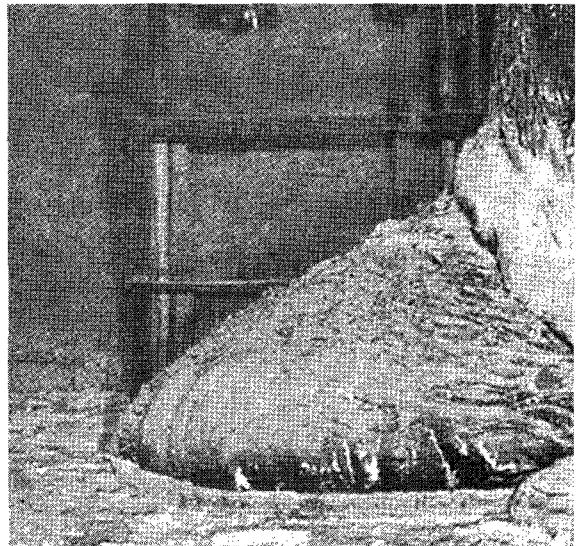
자로 잔해 속에 파묻힌 연료를 조사할 기회가 없었다. 그 후 쿠르차토프연구소의 합동조사단은 연료를 찾아내 그 상태를 파악해야 했을 뿐만 아니라 완전한 진상파악을 위해 4호기 구내의 모든 구역을 조사하지 않으면 안되었다.

이러한 조사를 통해 중요한 사실이 많이 발견되어 새로운 연구가 필요했다. 예를 들어 사고기간중에 새로운 결정체가 형성되었는데 이 중에는 나중에 Chernobylite라는 이름이 붙여진 결정체도 있었다. 재료전문가들은 이러한 잔해조각을 면밀히 조사해 그 형성과정을 추적했다. 이러한 조사는 사고기간중에 일어난 일에 대한 결정적인 정보를 제공해주기 때문이다.

석관의 안전성

Belayev씨는 소련전문가들이 작년(1991년)에 3가지의 큰 문제에 봉착했다고 말했다. 첫째는 가장 중요한 문제로 석관내부의 원자력안전성을 확보하는 문제다. 이 점에 대해서는 다른 사람들이 모두 동의하고 있는 것은 아니지만 Belayev씨는 현재 이것이 가장 큰 문제라고 보고 있다. 두번째는 체르노빌발전소 인근 지역의 안전성을 확보하는 문제다. Belayev씨에 의하면 석관에서 방출된 오염물질을 계속 측정해본 결과 그 방출량은 현재 가동중인 발전소의 방출량(0.3Ci /년 정도)보다 적은 것으로 밝혀졌다. 세번째는 석관 자체에 관한 문제다. 석관은 당초 잠정적인 조치로 설치된 것이지만 현재까지 제기능을 다하고 있다고 Belayev씨는 말했다. 석관은 이 지역에서 일어났던 소규모의 지진도 능히 견디냈지만 장기적인 대책이 마련돼야 한다고 모든 사람들이 생각하고 있다. 이번 세미나에서는 서로 엇갈리는 많은 요구사항과 제안이 나왔다. Belayev씨는 이번 세미나에서 논의된 사항들이 체르노빌 4호기의 장래문제를 결정하는데 큰 도움이 되기를 기대하고 있다.

이번 세미나에서 Borovoy씨는 『사고당시 4호기에는 180톤이 넘는 연료가 들어 있었고 그



「코끼리 발」이란 별명이 붙여진 용해된 연료가 모래와 결합하면서 형성된 직경이 2m나 되는 용암모양의 덩어리잔해. 너무 방사능이 강해서 재래식 방법으로는 샘플을 채취할 수 없어 기관단총으로 쏘아 샘플조각을 채취할 수 밖에 없었다(사진은 모두 쿠르차토프연구소에서 제공한 것이다).

가운데 97%는 매우 휘발성이 강한 핵종을 포함하고 있었다』고 말했다. 이러한 상황에서는 3가지 위험성을 상정할 수 있었다. 그 첫째는 원자력위험성이었다. 즉 연료의 *變位*(displacement)로 임계미만상태를 벗어나 연쇄반응을 일으킬지도 모른다는 것이었다. 두번째는 열로 인한 위험성이었다. 즉 연료변위로 연료냉각이 부족해 연료의 온도상승을 가져올지도 모른다는 것이었다. 세번째는 방사능의 위험성이었다. 즉 대기로 방출되는 먼지와 지하수를 통한 방사능오염이 그것이었다.

熔岩모양의 잔해 발견

1986년말에 아주 놀랄만한 발견을 했는데 지하실 깊숙한 곳에서 무게가 수톤이나 되고 직경이 2m가 넘는 용암모양의 큰 덩어리잔해를 발견한 것이다. 이 덩어리잔해는 그 모양 때문에 「코끼리 발」이라는 별명이 붙여졌다. 이 용암모양의 덩어리잔해가 특히 관심을 끈 것은

시간당 10,000톤트랜을 넘는 그 높은 방사선량 때문이었다. 로봇장치가 돼있는 drilling machine으로 샘플을 채취하려고 했으나 여의치 않았다. 그래서 기관단총으로 「코끼리 발」을 쏘이아 이 덩어리잔해의 여러 부분에서 샘플조각을 채취했다. 엄청난 방사선량 때문에 조사팀은 안으로 들어가 정밀조사를 할 수 없었다.

1987년중반에 조사팀은 큰 연료잔해덩어리의 위치를 확인하는 한편 원자로 내에서 연료가 최소한 3가지로 변형돼있다는 것도 알아냈다. 노심 깊숙히 뚫은 120개가 넘는 구멍을 통해 내부사진을 찍고 열과 중성자반응도를 측정했다. 가장 중요한 발견 중의 하나는 폭발 당시 원자로뚜껑이 떨어져 나간 것 뿐만 아니고(지금은 원자로본체 위에 거의 수직으로 얹혀 있다) 원자로밑바닥도 4m 아래로 내려앉았다는 사실이었다.

쿠르차토프연구소의 전문가들은 연료의 위치를 찾아내고 발견된 물질을 분석하는데 사용한 방법에 관해 설명했다. Borovoy씨는 「코끼리 발」에서 채취한 샘플이 0.2~18%의 연료를 함유하고 있었다고 말했다. 분석결과 용암모양의 덩어리잔해의 용해온도는 1200°C 정도였고 중성자측정을 통해 이 덩어리잔해가 완전한 임계미달상태에 있다는 것을 알아냈다.

소련의 재료과학연구소와 원자력연구소의 Denissenko씨는 세미나 석상에서 이 용암모양의 덩어리잔해가 지르코늄, 硅酸鹽과 소량의 흑연 및 용해된 금속을 포함하고 있다고 밝혔다. 가장 특이한 것은 인공적으로 결정화된 규소성분이었는데 이 물질에 대해서는 결정형성 과정에서의 정확한 온도를 알아내기 위해 지금도 연구가 계속되고 있다.

합동조사단의 Buzulokov씨는 조사과정에서 로보트가 중요한 역할을 했다고 설명했다. 그러나 로봇을 사용하는데는 문제도 많았다. 예를 들어 석관을 설치하기 전에 원자로건물 지붕에서 방사성흑연블럭을 파괴된 원자로 pit에 밀어넣는 작업에 로봇을 사용하려고 했지만 실패했다. 수입한 로봇도 사용해 보았지만 소련의 것보다 나을 것이 없었다. 제어계통이 높은

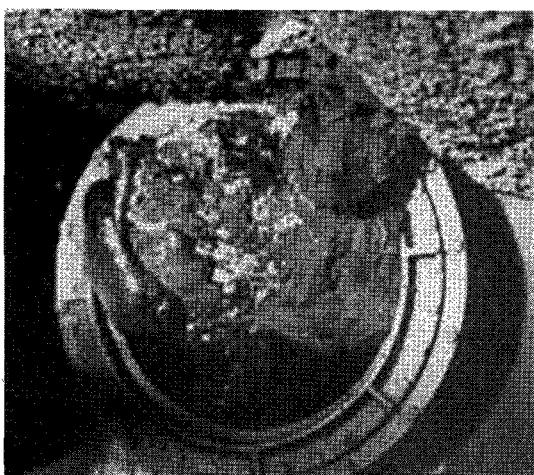
선량을 이겨내지 못하고 결국 잔해 속에 엉겨버리고 말았다. 그래서 최후수단으로 「인간로봇」을 사용하기로 했다. 육군에서 파견한 3,000명이 넘는 지원자가 동원돼 해체작업에 들어갔다. 이 사람들은 1분간에 평생허용피폭선량을 받은 셈이다. 고장난 로봇을 수리하는 일도 이것이 오염돼있어 어려웠다. 그러나 지금은 5대의 로봇이 이미 완성돼 시운전도 성공적으로 마쳤다. 개별부품을 사용한 구식 전자회로가 집적회로보다 더 신뢰성이 있다는 것도 알아냈다.

쿠르차토프연구소의 Checherov씨는 노심에서 비산된 흑연에 관한 연구결과를 발표했다. 그는 『원자로뚜껑이 세차게 떨어져 나가고 원자로는 주저앉고 원자로주변의 방들이 파괴되었다는 것과 흐트러진 잔해의 모양, 용암모양의 덩어리잔해에 연료가 포함돼있다는 점 등으로 미루어 보아 원자로의 파괴가 10초 이내에 급격하게 진행된 것으로 본다』고 말했다.

원격카메라가 찍은 사진을 보면 용암모양의 덩어리잔해가 증기밸브에서 나와있는 것을 볼 수 있는데 Checherov씨는 이것이 급속한 용해와 냉각이 일어난 증거라고 말함으로써 Denissenko씨의 생각을 뒷받침했다. Checherov씨와 그의 동료들은 이 용암모양의 덩어리잔해의 형성과정을 다음과 같이 추정했다. 즉 노심내의 연료와 흑연이 원자로밖으로 쏟아져 나와 원자로주변의 모래와 결합하면서 새로운 결정체를 만들었다. Checherov씨는 원자로증기배관에서 관찰된 용암모양의 덩어리잔해는 마치 화산의 용암이 바닷물에 직접 닿아 냉각된 것 같은 모양을 하고 있었다고 말했다.

계속적인 연구노력

세미나 첫날에 발표된 모든 논문은 체르노빌에서 이루어지고 있는 연구활동에 관한 것이었고 그 가운데에는 많은 애로사항과 연구자들에게 상당한 위험부담을 주었던 연구내용도 있었다. 이 자료들은 사고결과를 이해하는데 도움이 되었는데 앞으로 사고를 예방하고 이로 인



체르노빌 4호기 지하실에서 발견된 파이프에서 흘러나온 「용암」모양의 잔해.

한 피해를 최소화하는데도 유용하게 사용될 것이다. 이러한 연구는 앞으로도 계속될 것인데 이번 세미나에 참석했던 모든 사람들도 이러한 연구가 앞으로 석관에 대해 어떠한 조치가 내려지든 계속돼야 한다는데 인식을 같이 했다.

세미나 이튿날에는 사고, 보건, 환경에의 영향, 석관 등 체르노빌에 관한 일반적인 문제가 다루어졌다. 석관의 위험성은 이것이 손상을 입은 건물 위에 직접 설치돼 석관이 손상을 입은 기존의 구조물에 의해 지지되고 있다는데 있다. 이것이 위험하다는 것은 의심의 여지가 없다. 또 하나의 문제점은 사고 때 떨어져 나간

원자로 뚜껑이다(소련전문가들은 이 뚜껑에 「Elena」라는 별명을 붙였다). 일부 사람들은 2,000톤이나 되는 이 콘크리트 뚜껑이 잘 지지되고 있어 완전히 고정된 상태를 유지할 것이라고 말하고 있지만 한편에서는 Elena가 붕괴돼 원자로 잔해 위로 떨어질 위험성이 있다고 보고 있다.

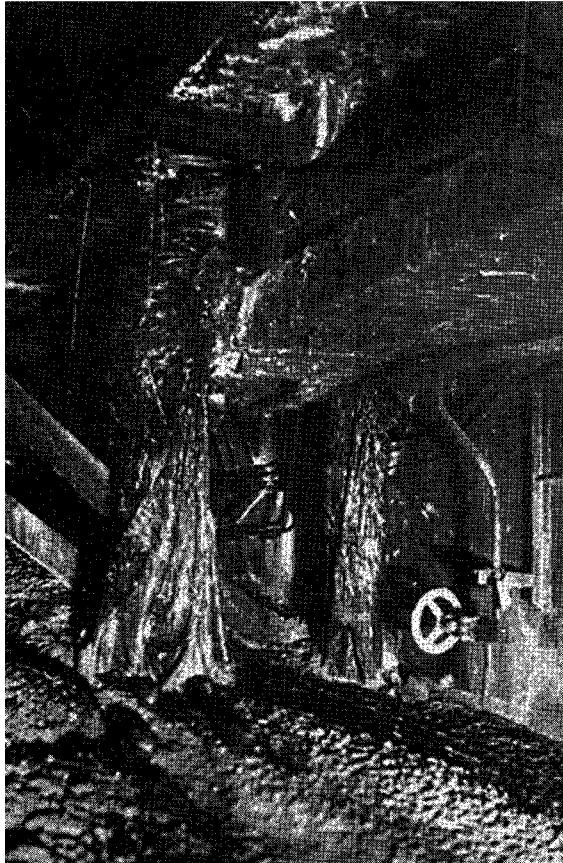
그러나 정말 위험한 것은 Elena가 됐든 다른 구조물의 부품이 됐든 이것들이 붕괴하는 경우에 그 충격으로 석관안의 먼지가 일어나 이 방사성먼지가 방출되는 경우이다. 이렇게 되는 경우 결과는 매우 심각한 것이다. 이 방사성먼지가 반경 30km의 소개지역을 넘어 퍼져나갈 가능성이 있기 때문이다. 사람들이 살지 않는다고 하는 소개지역만 해도 그 속에서 아직도 수천명의 주민들이 살면서 생업을 유지하고 있는 것이다.

이번 세미나에서 일반적인 토론을 벌이는 가운데 최근의 소련의 개방적인 움직임이 아직도 소극적인 면이 있다는 것이 드러났다.

체르노빌문제는 해방된 언론매체에게는 특종감이다. 언론의 과장된 보도 때문에 소련과학자들이 해직당하는 경우도 있었다. 소련의 과학계는 새로운 원리를 발견해 이를 발표하기도 하지만 외부세계에 대해서는 아직도 이를 숨기려는 과거와 같은 인상을 주고 있다. 체르노빌과 같은 문제에서도 소련당국은 공식적으로는 보다 많은 국제협력을 호소하고 있다. 소련과학자들도 국제적인 참여에 성의가 없다고 정부를 비난하고 있지만 그들 자신도 외부세계의 조언이나 제안에 대해 한결같이 『그런 것은 우리도 해보았다』든지 『그런 것은 우리도 잘 알고 있다』는 식으로 대꾸하고 있는 것이다.

2차적인 방어대책

체르노빌의 장래문제만은 정부와 과학자들간에 의견의 일치를 보이고 있는데 이 문제는 너무나 중대해 소련 혼자의 힘만으로는 해결이 어렵고 사고현장의 앞으로의 안전을 위해서는 국제적인 지원이 필요하다는 것이다. 이번 세



파괴된 원자로 아래의 지하실 모습. 「용암」모양의 잔해는 모든 균열부분에서 흘러나와 공기 및 물과 접촉하면서 굳어졌다.

미나에서도 소련과학자들은 「Shelter 2」(2차 방어)란 말로 다음 단계를 표현했다. 이에 대해서는 소련과 서방세계가 다같이 많은 제안을 하고 있다.

지금까지 가장 유력시되고 있는 방안은 「Green Hill(푸른 동산)」과 「Green Lawn(푸른 잔디밭)」의 2가지 안이다. 「Green Hill」안이란 사고현장전역을 콘크리트로 덮고 그 위에 흙을 쌓아올린다는 것이다. 이 방법은 가장 비용이 적게 든다. 한편 「Green Lawn」안은 파괴된 원자로를 완전히 해체해 방사성잔해를 제거해서 다른 안전한 폐기장소로 옮긴 다음 현장 전구역의 땅을 평탄하게 고른다는 것이다. 이 방법은 비용이 많이 드는데 쿠르차토프연구소의 과학자들의 말에 의하면 이 방법으로 하려면 사전에 폐기물의 종류와 수량을 다룰 수 있는 새로운 기술을 개발해야 한다는 것이다.

한편 「Green Hill」안은 과학자들을 불안하게 하는 방법인 것 같다. 소련사람들은 대체적으로 현재 사고현장에는 원자력위험성이 없다

고 생각하고 있는 것 같지만 과학자들은 추가적인 냉각 및 환기대책을 강구하지 않아도 콘크리트슬래브 내부에 변화가 일어나지 않는다는 데 대해서는 이를 회의적으로 보고 있는 것 같다. 즉, 냉각 및 환기대책을 세운다 해도 먼지방출과 지하수오염의 위험성은 여전히 남아 있을 것이라는 것이다. 그들은 기술적인 어려움은 있겠지만 「Green Lawn」안을 좀 더 선호하는 것 같다.

이 방법 중의 어느 것을 택하든 그것은 과학자들에게는 바람직한 일이 아니다. 왜냐하면 체르노빌 4호기가 밀폐되거나 해체된다면 현재 진행중인 연구를 중단할 수 밖에 없기 때문이다. 지금까지 5년동안 계속돼온 연구가 결실을 맺기 시작하는 시점에서 이를 중단한다는 것은 과학자들에게는 매우 실망스러운 일인 것이다.

국제협력

이번 세미나에서 의장을 맡았던 Churavaro 교수는 소련최고회의가 체르노빌 4호기의 장래 문제를 해결하기 위해 이 문제를 국제적인 경쟁에 붙이는데 동의했다고 발표했다. 그는 이러한 경쟁의 결과가 세계적으로도 높이 평가받을 것이라고 했다. 그는 성공적인 해결방안을 제시하는 사람들에게는 사회적 및 경제적으로 상당한 보상을 받을 것이라고 했다. Shelter 2의 방안은 반드시 영구적인 방법이어야 한다는 것은 아니다. Borovoy씨도 『Shelter 2를 하나의 중간과정으로 본다』고 말하고 『이것은 사고 흔적을 영구히 없앨 수 있는 방법을 개발할 때 까지 앞으로 몇십년간의 시간적 여유를 갖기 위한 것』이라고 했다.

서방세계에서 모든 사람들이 만족할만한 해결책을 제시할 수 있을까. 지금 당장에는 좀 어려운 것 같다. 그러나 어찌됐든 현재 설치돼있는 석관은 25~30년이란 당초의 설계수명을 다 할 수 없을 것으로 보인다. 이 문제를 해결하기 위한 최선의 방법이 반드시 있을 것이다. 소련을 비롯한 전세계의 원자력계는 이것을 찾아내야만 한다.(NEI 91年 9月號)