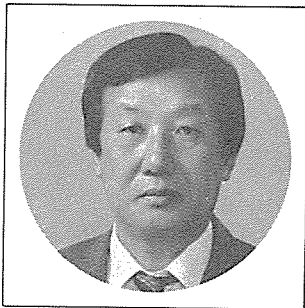


2001년 과학기술의 세계 ⑦

본질적으로 안전한
原子爐의 登場



玄源福
(과학저널리스트)

최근 국내의 한 연구소가 발표한 '2천년대 원자력전망 및 대처방안 연구'에 따르면 우리나라는 늘어나는 전력수요를 공급하기 위해 2031년까지 전체발전량의 40%를 원자력발전으로 공급해야 할 것이며 90만 kw 시설용량을 가진 원자력발전소 55기를 더 건설해야 한다고 내다 보았다.

1979년의 미국 트리마일 아일랜드의 원전사고와 1986년 소련의 체르노빌원전폭발사고를 계기로 하여 원자력발전에 대한 일반의 여론은 악화일로를 걸어 온 것은 사실이지만 최근에 와서 화석연료가 빚어낸 지구의 '온실효과'가 더 무서운 결과를 가져올 수 있다는 인식이 번지기 시작하면서 세계 여러나라는 다시 원자력 발전에 관심을 돌리게 되었다.

이런 호기를 놓칠세라 세계 원자력발전업계는 종래 가장 문제가 되었던 안전성에 대한 공포를 원천적으로 제거하기 위해 '본질적으로 안전한 원자로' 개발에 온갖 힘을 기울이기 시작했다. 그런데 종래의 원자로에서는 높은 안전기준에 맞추려면 복잡한 안전시스템이 필요하고 따라서 원자로의 코스트는 더욱 치솟을 수 밖에 없었고 자연히 원자로에 대한 신규의 수요는 줄어 들었다.

1970년대에는 연간 25기 안팎이었던 원자로 발주고가 오늘날은 보잘 것 없는 수준으로 떨어져 버렸다. 그래서 오늘날 원자력발전업계가 당면한 과제

는 위험도와 코스트를 함께 내릴 수 있는 새로운 형의 원자로 개발이다. 21세기초에 가동할 목표로 현재 연구개발중인 몇가지 새로운 모델의 핵로를 알아 본다.

첨단 수동형 원자로

현재 웨스팅하우스, GE, 컴버선 엔지니어링 및 배브록 월콕스에서 설계중인 새로운 형의 원자로의 특징은 우선 규모가 작다는 점이다. 원자로는 1960년대와 1970년대를 거치면서 차츰차츰 규모가 커져 마침내는 70만명의 인구를 가진 도시에 대한 전력을 충분히 공급할 수 있는 최대용량 1,400 메가와트급의 것까지 나오게 되었다. 그러나 웨스팅하우스가 설계중인 모델 AP600 (AP는 첨단 수동형이라는 뜻의 머리글자)은 600메가와트 급이며 전력수요가 조금씩 늘어나는 지역에서는 적당한 규모의 핵로라고 평가되고 있다.

AP600은 오늘날의 원자로보다는 훨씬 안전한 설계양식이다. 연료와 냉각수의 온도를 종래보다 내릴 수 있고 만약에 사고가 발생하면 제거해야 할 열의 집중도도 줄일 수 있다. 종래의 핵로는 냉각수가 없어지면 비상용 디젤발전기로 발동하는 펌프가 외부탱크에서 물을 끌어 올려 로심을 덮게 되어 있다. 그런데 AP600은 디젤발전기가 고장나도 안전하다. 핵로가 40만 갤론의 물을 담은 탱크속으로 직접 내려 앉

게 되기 때문이다. 매우 큰 사고가 발생하면 밸브가 압력의 변화만으로도 자동적으로 열려서 중력을 받은 비상용 냉각수가 폭포처럼 쏟아져 내리게 되어 있다.

AP600은 또 비상상태가 발생했을 때 숨을 돌릴 수 있는 여유를 제공한다. 제어실의 요원들이 모두 사망하고 모든 전력이 끊길 경우에도 로심은 72 시간동안 아무 탈없이 그대로 남는다. 그런데 이것은 최소한 3일간 견딘다는 뜻이지만 일부 엔지니어들은 영원히 이 상태를 유지할 수도 있다고 생각하고 있다. 실상 로를 수용한 건물은 벽주변을 도는 자연공기 순환으로 과열을 막을 수 있게 설계될 것이다. 몇주일이 지난 뒤 고장난 로의 온도는 걱정을 놓아도 좋을 수준으로 내려간다.

AP600과 같은 형의 핵로는 규모의 경제를 극대화하려는 지난 날의 노력에서 한발짝 물러섰다. 지난 날 웨스팅하우스사와 GE는 하나의 핵로에서 얼마나 많은 전력을 빼낼 수 있을까는 경쟁을 치열하게 벌려 온 것도 사실이다. 그러나 실상 따지고 보면 이들은 경제라는 것을 진정 이해하지 못하고 이런 일을 추진했다고 보는 전문가들도 있다. 규모가 작은 핵로는 비용을 절감하는 구실을 하는데 이것은 규모의 한계를 보완한다. 핵로가 작으면 번덕도 줄어들기 때문에 뜻밖에 운전중을 중단하는 일이 덜

생긴다.

AP600은 종래의 같은 용량의 핵로에 비해 펌프와 열교환 장치의 수는 50% 줄어들고 밸브와 파이프는 60%나 감소되며 컨트롤 케이블은 80%나 적어진다. AP600 모델은 1992년에 발주를 받을 수 있을 것으로 보아 1990년대 말에는 전력을 공급할 수 있을 것이다. 킬로와트당 건설단가는 오늘날의 화폐가치로 2천달러로 보고 있으며 석탄발전과도 충분히 경쟁할 수 있을 것으로 추정하고 있다.

그러나 절대적인 안전이라는 관점에서 볼 때 이런 로의 설계에도 한계가 없는 것은 아니다. 예컨대, 수동식 밸브가 마땅히 열려야 할 때 열리지 않는 경우도 있는 것이다.

**기체 냉각로는
각광받는
가스냉각로**

기체 냉각로는 형에 따라 냉각재가 없이도 몇시간에서 영원히 로심은 아무 탈 없이 보존할 수 있다. 이것은 매우 주목할만한 사실이다. 그러나 회교에서 시트파와 수니파의 대립처럼 원자력 산업과 전력업계도 전력생산에서 기체냉각로가 과연 얼마나 큰 역할을 할 수 있을까는 문제를 놓고 심각한 의견의 대립을 보이고 있다.

미국 MIT에서 기체냉각로 연구를 하고 있는 핵공학자 로렌스 리드시키는 이 싸움은 이미 끝난 것이나 다름없다고 주장하고 있다. 그는 수냉식 원



서독 근로자들이 헬륨냉각 원자로의 '당구공' 모양의 핵연료를 채우고 있다.

자로는 선천적으로 지나치게 복잡하고 도저히 용서받지 못할 장치라고 말하고 있다. 미국전력연구소의 스탈 코핀도기체냉각로가 21세기초에는 제 자리를 잡게 될 것으로 내다보고 있다.

현재 가스냉각로를 개발하고 있는 기업중에는 한때 세브론이 장악했으나 1986년 이래 개인이 운영하고 있는 제네럴 아토믹스사가 있다. 이 기업은 20년 이상의 가스냉각로의 경험을 갖고 있다. 이밖에도 수냉식로도 제작하고 있는 서독의 시멘츠사와 가스냉각형을 설계하는 독일기업인 HRB사가 있다. 소련도 가스냉각기술에 관심을 갖고 있는가 하면 일본 정부는 6억9천만달러의 연구용

가스냉각로의 제작신청을 심의 중이다.

가스냉각로는 종래와는 근본적으로 다른 연료요소를 사용한다. 제네럴 아토믹스사와 HRB는 자동공정을 이용하여 모래알갱이보다 크지 않은 우라늄 연료를 여러층의 세라믹물질로 코팅한다. 그런데 열에 가장 잘 견디고 방사선에 견디는 물질은 탄화세라믹이다. 이 코팅은 TMI의 거대한 콘크리트구조와 꼭 같은 용기역할을 한다. 이 세라믹층은 결국 증발은 하지만 결코 녹지는 않는다.

핵료가 불안간 모든 냉각제를 상실했을 때 부딪치는 온도의 수준보다는 훨씬 높은 화씨 3천3백도에 이르기 전에는 이 입자는 방사능을 방출하지 않

는다. 미국에너지성이 선택한 설계에서는 이 연료입자가 흑연과 함께 막대기 모양으로 성형되어 6각형의 연료상자에 수용하게 되어 있으나 서독의 설계는 연료 알갱이가 흑연과 함께 당구공 크기의 연료덩어리로 성형하게 된다.

안전성 가스냉각로의 '선천적인' 안전성에 대해 **만 점** 서는 더 이상 논의할 여지가 없다. 이런 수백개의 연료상자를 모아 주위를 흑연으로 굳히면 노심이 완성된다.

냉각제인 헬륨은 이 연료요소에 뚫은 구멍을 통과하여 열교환기로 보내지면 증기를 발생시켜 발전기를 돌리게 된다.

헬륨가스는 종래의 원자로에 사용하는 물과는 달리 불활성이기 때문에 열교환기의 금속과 반응하여 부식이 생길 위험이 없다. 또 금속으로 피복된 종래의 연료봉과는 달리 연료를 둘러싼 흑연은 맹렬한 고온에도 잘 견딘다. 우라늄연료도 실리콘과 탄소에 둘러싸여 있어 열에 강하다. 이 원자로는 제어봉이 삽입되지 않아도 또 냉각시스템이 작동하지 않아도 고온이 되지 않게 설계되어 있다. 종래의 원자로와 비교하여 소형이기 때문에 같은 연료단위에서 생산하는 전력은 훨씬 적다. 따라서 큰 사고가 일어나도 열을 축적하기 어렵게 되어 있다.

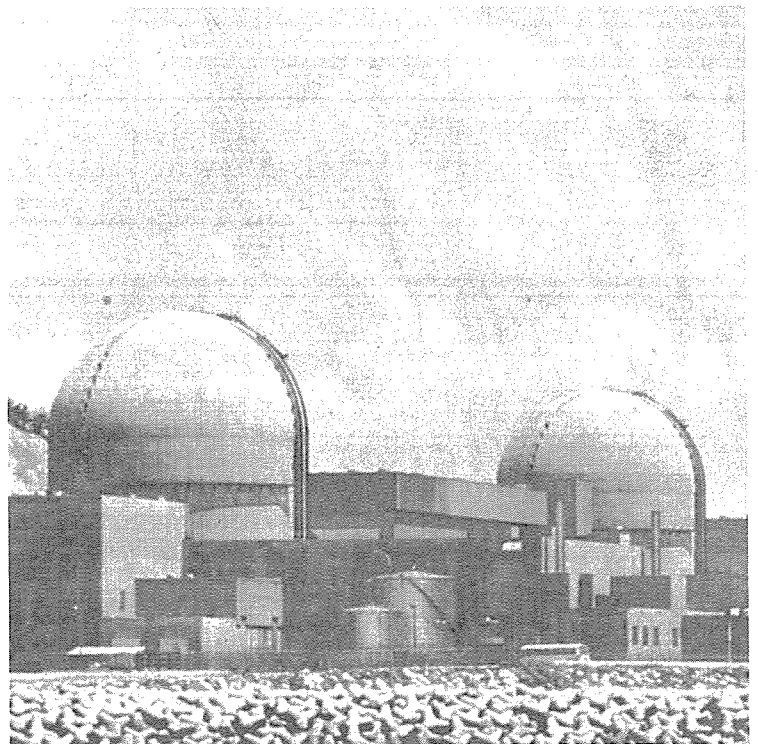
오늘날 가스냉각로에서 문제가 되고 있는 것은 신뢰성과 경쟁력이다. 영국과 프랑스는 함께 1950년대와 1960년대에 이런 로를 수십개나 제작했는데 모두 훌륭하게 가동했다. 다만 이산화탄소로 냉각시켰기 때문에 효율이 낮다는 것이 큰 문제였다. 이런 발전소는 연쇄반응에서 오는 열의 28%만을 전기로 전환했다. 그래서 프랑스는 벌써 오래전부터 34%의 효율을 올리는 수냉식로로 전환했으며 영국도 그 뒤를 따랐다.

그런데 헬륨냉각로는 이보다 효율이 훨씬 좋다. 미국, 영국, 서독은 1960년대에 시험용 헬륨로를 제작했다. 당시에는 안전성보다는 고온에 초점을 모았는데 이것은 전력생산과 화

학제조 및 석탄기화에 쓸모가 있기 때문이었다. 3개국에서 제작한 로는 모두 잘 가동했으며 특히 서독의 가스냉각로는 아직도 훌륭하게 가동하고 있다. 당시 제네럴 아토믹스사는 10개의 상용규모로의 발주를 받았었다. 그러나 그 뒤 일련의 사건으로 헬륨로는 거의 전멸되다시피 했다. 에너지절약 문제가 절박해지면서 10개의 발주중 9개가 취소되었다. 현재 미국에서 유일하게 남은 가스냉각로인 콜로라도주 포트센트 브레인의 330메가와트 발전소는 1974년 이래 훌륭하게 가동하고 있으며 발전소내의 방사선수준이 매우 낮아서 최근 이곳을 찾은 방문객은 안전복같은 것을 입지 않고도 콘크

리트로 덮은 로 꼭대기를 걸어 다닐 수 있다.

한편, 서독 루르지방 동북부 함시 근처의 오토반을 달리는 사람들은 세계 유일인 또 다른 하나의 헬륨로의 높은 냉각탑을 목격한다. 토륨고온로(THTR)로 알려진 300메가와트의 이 시설은 만족하게 가동하고 있다. ASEA 브라운 보바리사와 서독의 HRB사를 포함한 콘소시엄이 일단의 전력회사를 위해 이 발전소를 세웠는데 1972년에 시작된 이 공사는 서독정부가 여러 번에 걸친 추가 안전대책 때문에 공기가 늦어졌을 뿐 아니라 건설비용도 20억 달러로 치솟아 올랐다. 그중 서독정부가 반을 지불했다. 이 발전소는 1986년 9월 처음으로



100% 용량의 전기를 생산했다.

지난 19개월간 41%의 효율로 열을 전기로 전환하는 획기적인 성적을 기록했다. HRB는 대형의 수냉로와 경쟁할 수 있는 발전코스트를 가질 550메가와트 모델을 건립할 준비를 갖추고 있다고 알려졌다.

한편, 합시 원자력발전소의 이웃 주민들은 언제나 편안하게 잠을 잘 수 있다. 가상할 수 있는 최악의 사고가 발생하는 경우를 생각할 때 로심으로 부터 열을 제거하는 모든 장비가 멎는다고 해도 연료가 화씨 3,600도까지 도달하자면 8시간이나 걸린다. 이 결과 발생하는 방사능은 너무 적어서 당국은 주민들의 대피를 요구할 필요가 없다는 것이다.

제네럴 아토믹스사의 연구에 따르면 최악의 사고가 발생했을 경우에도 발전소담 바로 밖에 사는 사람이 받는 방사선의 피폭량은 미국 동서 해안간을 여행하는 항공기승객이 대기중에서 받는 방사선량보다 오히려 적다는 결과가 나왔다. 현재 제네럴 아토믹스사는 4기의 135메가와트 모듈로 총 540메가와트의 용량을 가진 발전소 하나를 건립하되 각 모듈은 지하의 콘크리트 사일로에 거치할 계획이다. 원자로를 담은 용기는 직경 22피트밖에 안되므로 중대한 사고가 발생한 경우 주변의 땅이 충분한 열을 흡수할 수 있어 연료의 훼손을 막는다.

그렇다면 경제성은 어떨까?

모듈의 큰 부분은 공장내에서 효율적으로 제작하여 사일로 현장까지 수송할 수 있어 품질관리도 개선될 뿐 아니라 규격생산으로 코스트를 절감할 수 있을 것이다. 4개의 모듈 원형로를 건설하는데 15억~17억달러가 들 것으로 보인다. 그러나 이렇게 돈을 들여 원형로를 건설할 필요가 있을까 의문을 제기하는 사람도 많다. 이미 5기의 헬륨냉각로가 제작되었고 모듈로의 시스템은 모두 검증되었기 때문에 상용로를 바로 생산해도 된다는 주장이다. 그래서 제네럴 아토믹스사와 서독의 시멘츠사는 발주만 해오면 당장이라도 상업용로제작에 응할 수 있다고 말하고 장담하고 있으나 4개모듈의 상용로가 가동할 수 있는 시기를 1997년으로 보는 전문가들이 많다.

작은 것이 아름답다

21세기를 내다보면서 원자로로 어떤 방향으로 발전할 것일까? 오늘날 원자력전략가들은 로형의 선택이 앞으로의 투자성공에 거의 영향을 주지 못할 것이라는 결론을 내리고 있다. 그래서 고속 증식로나 핵융합로와 같은 새로운 형의 로에 주력하는 대신 이들은 기존설계 변경에 주력하여 더 싸고 보다 안전한 로를 만들것을 주장하고 있다. 그렇다면 가장 바람직한 방법은 어떤 것일까?

첫째, 보다 규모가 작은 원

자로를 만드는 것이다. 현재 설계중인 첨단 250메가와트 원자력발전소는 안전을 위해 완봉할 수 있다. 스웨덴의 ASEA-ATOM의 PIUS설계와 같이 일부는 방사능흡수용 봉산염수 관속에 담그게 된다. 규모가 작으면 작을 수록 부품을 현장이 아니라 공장내에서 건조할 수 있다. 그래서 보다 높은 규격생산을 할 수 있고 돈도 절약된다. 또 초기의 투자규모가 적으면 에너지수요 예측이 빗나갈 경우에 이런 예측의 불모로 잡힐 걱정도 줄어 든다.

둘째, 로의 구조를 보다 단순화한다. 대형로는 복잡하고 비싼 안전시스템을 필요로 한다. 미래의 작은 규모의 핵로는 비상시 뜨거워지는 것을 막기 위해 자연의 공기순환을 이용하게 될 것이다. 핵로가 단순하면 수명도 길어 진다. 오늘날의 핵로의 수명이 30년인데 비해 60년을 목표로 하고 있다.

셋째, 자동화한다. 오늘날의 원자력발전소는 노동집약적이다. 각 발전소의 안전모니터링과 보수작업의 3분의 2는 10년 내에 컴퓨터로 조작화될 것이다. 사람에게는 너무 위험한 검사를 수행하는데 이미 로봇을 사용하고 있다. 현재 여러 발전소에서 일상적인 서비스업무를 할 수 있는 로봇을 개발중이다. 미래의 발전소는 연약한 사람이 접근하는 곳을 줄임으로써 보다 단순하고 비용이 덜들며 안전해 질 것이다.