

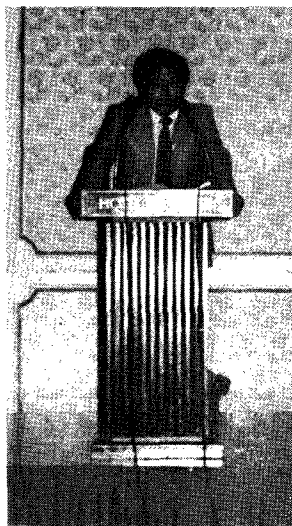
未 來 의 原 子 力

제가 오늘 말씀드리고자 하는 미래는 그렇게 먼 훗날이 아니라 앞으로 30~40년간에 원자력이 어떻게 개발, 이용될 것인가에 대해서이니 서기 2020년 정도까지를 내다보고자 한다.

한 세대 정도의 기간이지만 제가 예언하기에는 너무나 벅찬 과제임에 틀림이 없다. 미래에 대해 얘기하는 자에게 항상 허용되는 무책임성을 전제로 할 때 가벼운 기분일 수도 있으니 여러분은 황당무제한 얘기정도로 받아 들이고, 제 얘기가 끝날 때쯤 고속 증식로가 어떤 동물이며 용합로가 어떤 짐승인가에 대해 남에게 아는 체 할 수 있을 정도이기를 빈다.

지금으로부터 약 400년 전에 살았던 프랑스의 예언가 노스트 라다무스가 쓴 「諸世紀」라는 책이 근년에 우리 말로 「대예언」이라고 번역되었다. 케네디가 달라스에서 암살 당하고 아이젠하워가 노르만디에 상륙할 때 탈 군함의 이름이 네프룬이라고까지 예언하였다고 찬탄받는 예언가의 입에서 인류의 멸망을 예고한 연대가 서기 1999년 7월이다. 이 예언이 적중할 것인지에 대해 우리는 지금 왈가왈부 할 것 없이 30년쯤 기다려 보면 될 것이지만, 그가 얘기한 인류의 종말은 어쩌면 원자력과 관련되어 일어날 것이 아닌가 하는 생각을 떨쳐 버릴 수 없다면 많은 사람들은 웃을 것인가?

노스트라다무스의 예언과는 상관 없이도 금세기 말이나 더 이후에 인류가 겪게 될 가장 파멸적인 위기는 아무래도 원자력이라는 탈을 쓰고 나타날 것이고 그 가장 유력한 후보가 아무래도 원자핵전쟁이 될 것이라는 데는 많은 미래학자들이 동의하고 있다. 승자도 패자도 없이 단지 인류의 종말만이 있을 뿐이라는 원자핵전쟁의 위험은 인류를 순식간에 멸망의 길로 인도할 수 있는 성질의 위기라면, 공해는 인류를 서서히 이 지구상에서 생존할 수 없는 파국의 상태로 이끌어갈 것이다. 이 공해의 주동도 원자력에서 비롯될 조짐이 큰 것은 작년(1979년)에 미국에서 일어난 원자핵발전소(스리·마일·아일랜



鄭 昌 鉉

서울大 工大
副教 · 原子核工學科

드 발전소)의 사고와 금년에 일어난 미국의 미사일 저장소의 사고에서 엿볼 수 있다면 너무 비관적인 견해일까?

그러나 우리 인간에게는 다행히 멸망의 위기 앞에서도 낙관적일 수 있는, 어쩌면 위선적일 정도로 위기상황에서 호연할 수 있는 재주가 있다. 이 재주는 선천적인 기질일 뿐만 아니라 위기를 극복할 수 있는 기술의 개발에도 게으르지 않음으로써 인류를 구할 수 있을런지 모른다. 원자력의 입장에서 얘기한다면 원자력은 인류를 멸종으로 인도할 능력을 갖고 있지만 그 위기로부터 구할 방도도 원자력에서 찾을 수 있을 것 같다. 이와 같은 원자력의 양면성이야말로 원자력의 딜레마이면서도 인류 구원의 수호자여야 하는 숙명적인 면모를 갖고 있음은 어쩌면 인간만이 이 우주에서 신도 아니고 동물도 아니면서 理性과 感性을 동시에 가지고 태어난 숙명과 깊은 관련이 있는 것 같다.

이 숙명 또는 딜레마는 인류가 1940년 대 초에 처음으로 원자력의 신비에 접하기 시작할 때부터 잉태하고 있는 셈이다. 원자핵이 서로 반응하여 생기는 에너지를 간단히 원자력이라고 부르자. 원자력은 두 가지 서로 다른 경로로부터 얻어진다. 무거운 핵이 분열하면서 분열이전의 질량 보다 분열된 두 핵의 질량을 합친 것이 적어지고 이때의 질량결손이 핵분열에너지로 나타나는게 한 경로이다. 다른 한 경로는 가벼운 핵 둘이 한 핵으로 융합할 때 질량결손에 의한 핵융합에너지로 나타남을 모두 잘 알려진 사실이다. 원자력의 양면성이 이 분열과 융합의 형태로 나타난 사실을 주목하고 싶다. 원자탄과 수소탄이 각각 핵분열과 핵융합의 원리에 입각한 핵폭탄들임도 흥미롭다.

1945년 제 2차 세계대전을 종막으로 이끈 원자탄은 플루토늄-239로 만들어진 것이다. 이 원자탄이 막대한 핵분열에너지를 순식간

에 터트리는 장치라면 현재 고리 원자력발전소는 이 에너지를 천천히 그리고 제어되는 상태로 나오게 하여 물을 끓여 만든 증기가 터빈을 돌려 전기에너지로 바꾸는 장치인 셈이다. 핵분열에 의거한 원자력 발전소가 상용화된 시기는 대략 1950년대말이니 원자탄이라는 전쟁무기를 평화적인 발전소로 탈바꿈 시키는데 인류는 십 수년이 걸렸을 뿐이다.

우리나라 최초의 고리 원자력 발전소가 1978년에 준공되었으니 원자력발전 기술의 도입에 거의 20년이 걸린 셈이다.

핵융합의 원리에 따른 전쟁무기인 수소탄을 개발하는데 히로시마에 원자탄이 투하된 후로부터 7년 밖에 걸리지 않았으니 인류의 재주가 범죄적으로 사용될 때 얼마나 가공할 결과를 가져올 수 있는나를 극적으로 보여준 사례에 틀림없다. 수소탄을 원자탄과 똑 같은 원자력이라는 나무가지에 달린 두개의 과일에 비유할 수 있겠지만 수소탄의 악성은 원자탄 보다 더 큰 파괴력을 가진 것 이상으로 크다할 것이니, 그것은 다름 아닌 현재의 인류의 재주로서는 원자탄을 먼저 터트려 생기는 고온과 고압의 상태에서만 수소탄을 폭발시킬 수 있다는 사실에서 찾을 수 있다.

원자탄의 가공성은 그 이전의 폭탄들보다 훨씬 큰 파괴력에서가 아니라 핵분열에 수반되는 방사능의 해독에 있음은 주지의 사실이다. 수소탄의 가공성도 같은 입장에서 이해되었던 덕택에 핵무기를 보유한 소위 초강대국들간의 대기권핵실험금지조약이 탄생되었음은 인류를 위해 다행한 일이다. 그러나 그들이 보유한 핵무기들을 하나씩 해체해 나가는 진정한 의미의 전략무기제한 조약이 체결되고 지켜지는 국제관계가 조성되지 않는 한, 핵전쟁에 의한 인류 멸망의 위협은 상존할 것이다.

1952년에 수소탄이 성공적으로(?) 실험

된 이후 거의 30년이 흐른 지금 수소탄이라는 괴력을 평화적 목적으로 사용하는 방도를 아직 찾아 내지 못한 상태에 있다. 다시 말해 원자탄이라는 괴물의 성질을 잘 달래는데 성공하여 핵분열에 의한 원자력발전이 인류의 절증하는 에너지 수요를 감당해 줄 유력한, 아니 어쩌면 석유자원의 고갈이 눈앞에 보이는 현재 상황에서는 이를 대체할 유일한 에너지원으로서의 역할이 강조되고 있지만, 핵융합의 원리에 따른 천천히 그리고 제어할 수 있도록 하는 수소탄이라할 핵융합원자로는 아무리 낙관적으로 전망하더라도 앞으로 30년은 더 기다려야 할 것이다.

수소탄을 길들이는데 성공할 동안에 인류가 직면한 소위 에너지 위기를 극복할 가장 현명한 방법은 어디에 있는가를 모색하는데, 온 인류의 노력이 집중되고 있는 이 시점에서 양식있는 사람들은 환경보호론자들의 얘기에 귀기울여야 한다. 과도한 경제 성장을 추구하면서 인간의 특히 선진국들의 생활수준은 올라갔지만 고도산업 발전의 찌꺼기라 할 자연의 훼손, 환경의 오염은 이제부터 에너지의 소비를 자제해서 零의 성장을 추구하지 않으면 안된다면 이 지구는 오래지 않아 인간서식처로서 더 이상 적합하지 않게 될 것이라는 비판적인 환경보호론자들의 얘기는 경청의 가치가 충분히 있다. 사실 선진국들의 과도한 석유소비 때문에 에너지위기라는 새로운 용어가 탄생되었다고 해도 과언이 아니다. 미국과 소련을 정점으로 하는 東西진영이 아니고 경제적으로는 제3세계에 속하는 인구가 전세계 인구의 태반을 차지하고 있는 상태에서 미국을 위시한 자유진영의 선진국에서 맹렬한 환경보호운동이 전개되고 있음은 인류의 장래를 위해 다행한 일이다.

석유자원의 제한성과 관련해서, 현재 기술적으로 그 안전성과 경제성이 입증된 열중성자로의 연료인 우라늄자원은 과연 얼마

나 충분히 매장되어 있느냐에 따라 새로운 발전기술의 개발 속도가 정해진다해도 아주 틀린 말은 아니다. 여기에서 또 핵무기 문제가 끼어드는 것은 기이하면서도 피할 수 없는 원자력의 속성일는지 모른다.

핵폭탄의 원료인 플루토늄이 새로운 다음 세대의 發電爐인 高速增殖爐의 연료가 되기 때문에 소위 핵확산방지정책이란 초강대국들의 기묘하면서도 거의 신경질적인 간섭이 해결해야 할 골치거리로 등장한다.

자연에 존재하는 우라늄은 현재 상업가동 중인 熱中性子爐의 연료가 되는 우라늄-235를 0.7%밖에 함유하지 않고 나머지 99.3%가 우라늄-238의 형태로 존재한다. 열중성자로의 연료가 되기 위해서는 우라늄-235의 비율을 약 3% 정도로 높이는 농축이라는 과정이 필요한 데 이 농축시설에는 엄청난 돈이 들기 때문에 미국, 소련, 그리고 유럽공동체에만 상업가동이 가능한 형편이다.

우리나라는 미국으로부터 농축우라늄을 수입하고 있다. 이 농축시설을 보유한 나라들이 핵무기 보유국임을 주목한다.

신은 인류에게 99%가 넘는 우라늄-238을 유용하게 쓸 수 있는 길을 마련해 주셨으니, 우라늄-238이 원자로 내에서 중성자 하나를 잡아 먹으면 네프튬-239가 되고 이것이 β -붕괴를 하면 플루토늄-239가 되어 핵연료가 될 수 있다. 아이젠하워가 탄 군함이 네프튬이었는데 로마신화에 나오는 海神의 이름에서 따온 것이고 네프튬도 그 어원은 같은 것이지만 천문학에서 말하는해왕성에 따른 것이다. 네프튬은 자연에 존재하지 않고 처음으로 실험실에서 만든 것이므로 별 이름에 따라 명명한 것이고, 플루토늄도 명왕성에서 따온 것으로, 맥아더가 일본제국을 항복시키는 데 사용한 원자탄이 플루토늄으로 만든 것이 흥미롭다.

현재 성공적으로 가동 중인 열중성자로서 타고 남은 연료에는 플루토늄이 상당히

들어 있다. 우라늄-235 100개가 타면 약 0.6개의 플루토늄이 생성되는 계 열중성자로의 경우의 대표적인 증식비의 값이다. 이 플루토늄을 회수해서 핵연료로 다시 써야한다는 주장은 당연한 것이고 경제적으로 이익인 것은 아무도 이의를 제기하지 않는다. 그러나 이 플루토늄이 핵폭탄의 원료이며 이의 회수를 위한 재처리기술과 이 시설 원자로급의 플루토늄을 핵무기급으로 만드는 데 전용될 수 있는 사실에서 핵저항 문제와 연결이 되고 초강대국들의 소위 핵확산 방지정책과의 갈등이 일어나게 되는 소지가 된다.

핵확산문제는 잠시 제쳐 두고 우라늄자원의 활용이라는 관점에서 살펴보면 비록 플루토늄을 재순환시켜도 열중성자로에 의해서는 우라늄원광의 활용도는 핵연료 주기기술의 진보에 의해서도 2~3% 정도로 밖에 기대되지 않는다. 따라서 열중성자로에만 의존한다면 우라늄원광의 매장량 추정 정도에 따라 약간 차이가 있지만 기껏 해서 30~40년 정도로 열중성자로의 연료로 쓰일 우라늄자원이 있을 뿐이다.

이러한 우라늄자원의 활용도를 60~80%까지 높일 수 있는 원자로가 바로 고속증식로이다. 고속이란 핵분열을 유도하는 중성자의 속도가 열중성자로의 경우 보다 빠름을 뜻하며, 속중성자에 의한 핵분열시 나오는 중성자의 수가 열중성자에 비해 상대적으로 커지므로 우라늄-238에 잡아 먹혀 플루토늄을 만드는 데 쓰일 중성자의 수가 늘어나가 된다. 증식로란 탄 연료 보다 다시 생성된 연료의 양이 더 많게 되어 증식비가 1보다 더 커짐을 뜻하며, 바로 이렇게해서 우라늄자원의 활용도가 60% 이상이 되어 고속증식로가 상업화 된다면 우라늄자원은 수백년 간의 핵연료로서 충분하다는 얘기가 성립하게 된다.

열중성자로에만 의존해서 30~40년을 지

탱할 수 있는 우라늄자원의 효율을 고속증식로의 도입으로 30배 이상 높일 수 있다는 얘기이니 앞으로 30~40년 이내에 고속증식로의 상업화가 이룩된다면 에너지위기는 자원면에서는 해결이 난다는 셈이다.

그러면 고속증식의 기술개발은 어느 정도까지 왔느냐를 살펴보자. 연구개발은 이미 1940년대부터 시작되었으니 지금까지 30년 이상의 기술축적이 이루어져 왔다. 현재 10년 이상 고속증식로를 개발하고 있는 나라는 미국, 소련, 프랑스, 서독, 영국 및 일본 등으로 모두 선진국 그룹에 속한다. 이중 아마 가장 정력적으로 고속로 개발에 임하는 나라는 프랑스일 것이다. 실용화를 경제적으로 경쟁이 가능한 상업로에서 찾다면 그 전에 실험로, 原型爐, 대형 實證爐의 길을 밟아야 하는 데 프랑스는 1973년에 장래의 상업용 고속증식로에 대한 기술적 기반이 될 25만kw의 Phenix의 임계에 도달하였고, 이의 운전 결과와 지금까지의 기술경험의 축적에 자신을 얻고 대형 상업 발전용의 실증로로서 120만kw급 Super-Phenix를 1983년 정상 가동 목표로 건설 중에 있다. 서독은 30만kw급 SNR-300이 1984년경 완성될 예정이고 영국은 130kw급의 대형 고속증식 실증로인 CDFR-1의 설계 및 개발 작업을 진행 중이며, 일본에서는 30만kw급 원형로 MONJU가 1985년 임계 목표로 건설이 시작되었으며, 미국에서는 1977년에 카터에 의해 상업용 핵연료 재처리와 플루토늄 증식로의 실증실험을 연기시켰다. 미국의 경우에는 풍부한 에너지자원이 있어, 예컨대 2000년까지 재처리를 하지 않아도 충분한 우라늄 매장이 있을 뿐만 아니라 핵확산의 우려를 내세워 고속증식로의 개발에 제동이 걸린 상태인데 빠르면 2010년 경에 실용화 될 수도 있는 핵융합로는 직접적으로 핵확산의 문제가 없다는 사실을 감안할 때 이의 개발에 더 역점을 두려는 속셈인 지도

모른다.

고속증식로의 실용화를 실현하기 위해서는 열성중자로와는 다른 기술적인 제문제들, 즉 더 높은 온도에서 더 높은 축력밀도와 더 오랜 연료의 연소에 따르는 기술적인 해결은 물론, 궁극적으로 공학적인 안전성을 실증하기 위해서 앞으로 더 많은 투자가 이루어져야 할 것이다. 이에 대하여 핵확산방지는 국제정치의 중요요제가 어떤 형태로든

해결되어야 할 것인데 현재 국제원자력기구를 중심으로 제도적인 장치가 연구협의 되고 있으니 희망을 걸어보는 수 밖에 없다. 프랑스의 경우에는 열중성자로 분야에서도 단연 세계에서 가장 야심적인 원자력개발 계획을 갖고 있으며 빠르면 1990년대 중반에는 고속증식로의 상용화에 성공할 것이 예측된다.

고속증식로의 경제성은 어느 새로운 기술과 마찬가지로 처음에는 막대한 시설투자 등에 의해 재래의 기술보다 불리한 것이지만 앞으로 우라늄자원의 희소가치가 증대함에 따라 우라늄원광의 값이 폭등하더라도 열중성자로에 비해 영향을 훨씬 적게 받을 것이 틀림 없다는 사실과 인류의 경험에 의해 가속적인 기술진보는 고속증식로의 상업성을 장차 보장해 줄 전망이다. 특히 열중성자로에 비해 높은 열효율로 인한 열공해의 감소와 폐기물처리에서 유리하다는 점과 아울러 우라늄원광의 매장이 없는 나라에서도 재처리기술에 의해 핵연료의 확보가 비교적 안정될 것등의 유리한 측면이 점점 더 중요한 역할을 하게 될 것이다. 우리나라와 같이 중진국이면서 열중성자로의 기술을 활발히 도입한 국가들에게는 고속증식로의 조기 도입에 대한 사전 준비가 에너지수급 문제의 해결에 결정적인 역할을 하게 될 것이다.

고속증식로의 실용화를 기다리지도 않고 지금 선진국에서는 핵융합로의 연구, 개발에 열을 올리고 있다. 고속증식로 보다 한단계 높은 기술인 핵융합기술의 개발을 위해서

미국에서만 앞으로 수십억불의 연구, 개발비가 투자될 전망이다. 수십억불의 투자에 의해서 원형로의 개발에 성공하더라도 이를 상업화하기까지에는 또한 수십억불의 투자가 필요할 뿐더러 앞으로 30~40년의 세월이 흐른 다음에야 최초의 상업용 핵융합로가 탄생될 전망이다. 아직은 핵융합로의 단계는 환상의 세계에 머물러 있다고 할 정도로 실험로의 단계에 머물러 있다.

핵융합반응을 일으키는 방법 중 현재 가장 유망시 되고 있는것은 중수소와 3중수소끼리의 융합반응이고, 그 다음으로 중수소끼리의 반응이다. 중수소는 바닷물의 약 6000분의 1 비율로 존재하고 있으니 그 자원은 거의 무진장하다고 하겠으나, 중수소끼리의 반응보다 훨씬 유망한 중수소-3중수소 반응에 필요한 3중수소는 자연에 존재하지 않고 Lithium 동위원소와 핵융합 반응에서 나오는 중성자를 충돌시켜 핵융합로 안에서만 들 수 있다.

핵융합반응을 일으키려면 중성자와 3중수소를 혼합 가열하여 원자핵의 운동 에너지를 증가시키고 동시에 체적을 압축시켜 핵끼리 충돌할 확률을 높여야 한다. 또한 핵연료가 짧은 시간이 나마 폭풍으로 발산하지 않도록 밀폐시켜야만 한다. 수소탄의 경우에는 가열, 압축 및 밀폐를 원자탄의 핵분열 반응으로 해주는 데 인류가 성공한 것은 이미 오래 전이다. 이 우주가 생겨난 먼 태고 때부터 타고 있는 태양에서는 중력에 의해 압축과 밀폐가 이루어지고 핵융합에너지에 의해서 가열되고 있으니 지금 지구상의 인류는 태양을 본따려 하지만 중력밀폐는 태양정도의 질량이 필요하므로 지구상에서는 실현 불가능하다는 사실에 직면하여 신으로부터 받은 기술적인 재주를 총동원하고 있는 셈이다. 현재 미국, 소련, 유럽공동체, 일본 등에서 진행되고 있는 핵융합연구에서는 핵융합연구에서는 핵연료의 밀폐방법을 자장밀폐와 관성

밀폐의 두 가지로 대별되어 있으며 자장밀폐가 조금 유리한 전망이지만 더 두고 보아야 할 것이다. 자장밀폐는 Tokamak라 불리는 도넛형의 장치로 대표되고, 관성밀폐는 Laser에 의한 핵융합을 일으키는 장치로서 대표된다. 이 모두가 아직은 실험로의 단계에 있으니 원형로, 실증로의 단계를 거쳐 상업용핵융합발전로의 출현은, 예컨대 미국의 경우 최초의 원형로가 2005년 경에 운전될 전망이다이니, 빨라야 2020년이 될 것이고 아마도 2025년 경이라고 잡는 것이 타당한 전망일 것이다.

핵융합이 인류의 에너지문제를 영원히 해결하는 만병통치약이라는 환상에 젖어 온 것이 사실이지만 이를 현실화 하기 위해서는 그 환상의 껍질을 하나씩 벗기면서 극복해 나가야 할 고비가 많다. 핵융합이 아주 값싼 에너지를 공급할 것이라는 꿈도 사실은 막대한 투자를 전질 수 있을 정도로 오래 발전소가 운전되어야만 실현될 것이다.

재래식 열중성자로 보다는 환경의 오염이 없다는 주장은 분명히 방사능물질이 거의 없음에서 비롯되지만, 3중수소가 방사능물질이며 비록 다른 원소와 화합이 잘 되므로 3중수소가 대기 중으로 방출될 위험성을 줄일 수 있겠지만 속중성자의 문제와 함께 기술적인 개발이 남아있다. 그리고 무진장한 에너지원이라는 주장도 그렇게 흔하다고만 얘기할 수 없는 Lithium 원소로부터 3중수소를 증식하지 않아도 되는 다른 방법을 찾아내어야만 진정한 타당한 주장이 될 것이다. 또한 핵융합로가 핵무기 문제와 직접적인 관련이 없다고 하지만, 핵융합 반응에서 생기는 속중성자를 이용해서 플루토늄을 만들 수 있으니 고속증식로가서와 연결되어 이를 평화적으로 이용하는 잇점과 동시에 핵무기제조로 전용될 위험성도 내포하고 있다. 그리고 결국은 핵융합로기술은 성공적인 고속증식로기술에서 얻어질 것이 많다는 사실도 잊어서는 안된다.

현재의 추산으로는 경제적인 규모문제 때문에 핵융합로는 200만kw급의 발전소가 될 전망이니 선진국을 제외하고 이 정도 규모의 발전소를 소화할 국가는 거의 없을지도 모르니 핵융합로의 시장성이 극히 제한될 지도 모른다. 선진국을 제외한 소위 제3 세계는 고속증식로에 의존해야 하며 이 증식로가 실용화되어 아마도 프랑스나 소련에 의해 세계시장에 팔리게 될 때 쯤이면 우리나라 원광이 바다를 들어 내게 될지도 모른다. 이러한 시나리오가 타당하다면 선진국들은 제3 세계를 위해 필요한 우리나라 자원을 남기기 위해서 핵분열기술로 부터 핵융합기술로 하루 빨리 전환해야 한다는 도덕적인 의무를 가지고 있다는 사실을 지적한다. 이 주장은 후진국을 위해 바닥전에 이른 석유를 남기기 위해 선진국은 좀 더 적극적으로 핵분열발전을 추구해야 한다는 제3 세계의 주장과 같은 맥락에서 이해되어야 한다. 이러한 방향의 노력은 이 지구를 핵전쟁과 공해의 공포로부터 살아 남게 하는 데 온 인류의 예지를 모아야 한다는 염원이 실현되는 데에 큰 도움을 주게 될 것예 틀림없다. 이러한 마음가짐이 원자력을 인류 구원의 도구가 되게 하는 밑거름이 될 것이며, 원자력의 악성을 제거할 수 있는 자는 신도 아니고 바로 우리 인간들의 냉정한 이성에 의해서만 가능하다는 사실을 한시라도 잊어서는 안 될 것이다. 신이여 인간에게 원자력이라는 은총을 내리신 이상의 지상에 천국을 건설하는 데 사용할 수 있도록 도와주소서.