

美, 현실성문제로 예산 대폭삭감 우리능력 바탕 신중히 접근해야

정부는 오는 2001년까지 총 1천2백 억원을 들여 꿈의 핵융합로(核融合爐) 건설에 필요한 기초기술을 확보할 계획이다. 이같은 내용은 지난 7월 23일 김영삼(金泳三)대통령이 클린턴대통령의 초청으로 미국을 방문하는 길에 샌프란시스코에 들려 재미한국인 과학기술자 2백여명을 초청, 다과를 베풀며 가진 간담회에서 밝혀진 것으로 국내 주요 언론이 일제히 이를 톱뉴스로 대서 특필했다.

뉴스초점면 대통령 訪美 담화

김대통령은 이 자리에서 “최근 설치된 「방사광 가속기」나 「플라즈마 연구장치」는 기초과학 활성화의 기반이 될 것이며 이를 토대로 꿈의 에너지로 불리고 있는 핵융합 기술개발에 착수할 계획”임을 밝혔다.

김대통령의 핵융합 기술개발에 대한 언급은 21세기 한국과학기술 발전에 관한 정부의 비전을 제시하는 가운데 이루어졌다. 김대통령은 21세기 한국 과학기술비전에 대해 (1)핵융합 기술개발 착수 (2)2015년까지 20여개의 인공위성을 우리기술로 발사 (3)한국과학기술원의 세계 10위권 교육기관 육성 (4)우리나라 주도의 국제공동연구사업 착수



李 光 榮

〈한국일보 부국장/과학평론가〉

등을 언급했다. 김대통령은 이중 핵융합 기술개발에 대해 정부는 이 분야에 대해 연구개발 인력을 이미 확보하고 있는 일부 대학과 정부출연연구기관, 장치제작과 건설을 실질적으로 담당할 산업체들로 범국가적 핵융합 연구개발 체제를 구축하고 각 주체별로 역할분담을 추진할 계획임을 밝혔다.

올해부터 1997년까지의 제1단계 추진기간중에는 장치설계와 기반기술투자를, 97년부터 2001년까지의 제2단계 기간중에는 장치건설에 나설 계획이다. 「21세기 꿈의 에너지」로 불리우는 핵융합 연구투자는 2단계로 이루어진다. 1997년까지 1단계로 핵융합장치 설계와 기초기술을 개발하고 이후 2001년까지 제2단계로 플라즈마 핵융합로를 건설한다. 과학기술처는 이에

대해 모두 1천2백억원의 예산을 투입한다. 그리고 적절한 기초기술이 닦아지면 「중간 진입전략」으로 곧 바로 선진국 수준으로 진입한다는 것이다.

정부는 국제적 수준의 핵융합 건설과 운영기술을 터득, 2010년부터 시작되는 「국제열핵융합실험로」(ITER = International Thermonuclear Experimental Reactor) 프로젝트에 선진국들과 당당하게 어깨를 겨루며 참여하겠다는 계획이다. 정부가 핵융합연구에 적극 참여하겠다고 천명한 것은 핵융합발전연구아말로 21세기 국가 과학기술을 세계화하기 위한 선도 과제로 본때문이다.

핵융합연구는 미래 에너지자원의 개발을 위한 투자일 뿐 아니라 우리나라의 첨단과학과 기초연구 수준을 세계화하고 수행과정에서 극한기술과 첨단신기술의 선진화와 이를 통한 국내 생산기술의 혁신을 달성할 수 있다고 본 것이다. 실제로 차세대 초전도 토카막 핵융합장치 개발엔 △거대 초전도자석 기술 △대출력 고주파가열기술 △초고온 신소재기술 △전자동화 제어기술 △대형장치 정밀측정기술과 같은 첨단기술이 동원되며 △초고진공기술 △초고온기술 △고자장기술 △극저온기술

△정밀자장기술 △극초정밀 가공기술 등 극한기술이 총동원되는 그야말로 종합과학기술의 꽃이다.

선진국의 핵융합로 연구개발 현황은 상당히 진척된 상태이다. 프린스턴대학 플라즈마 물리연구소(PPPL)는 토카막실험로(TFTR)를 이용해서 3억도 초고온 플라즈마에서 10메가와트에 달하는 핵융합에너지를 뽑아내 보는데 성공했다.

ITER은 미국·일본·유럽연합·러시아 등 선진 4개국이 공동으로 개념설계를 완료하고 공학적 설계단계(EDA)에 들어가 있다. ITER이 완성되면 1백만kw의 핵융합에너지를 뽑아낼 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이외는 별도로 일본과 유럽연합이 초전도 기술을 이용해서 차세대 핵융합장치개발에 뛰어 들었고 중국도 이에 질세라 제9차 5개년계획의 중요과학기술 프로젝트로 초전도 토카막핵융합장치(HT-7U) 건설을 2001년까지 완공목표로 추진하고 있다.

선진국 진입목표가 바탕

정부가 핵융합연구에 관심을 갖는 것은 우리나라가 2천년대 진정 선진국 대열에 뛰어 들려면 이같은 빅 프로젝트를 통해 전반적인 과학기술 수준을 끌어 올리지 않으면 안된다는 당위성이 바탕에 깔린 것으로 보인다.

세계가 핵융합연구에 큰 관심을 쏟고 있는 것은 두말할 필요없이 핵융합이 갖는 여러가지 매력때문이다. 핵융합에 쓰이는 연료는 중수소(D=Deuterium)와 삼중수소(T=Tritium)이다. 중수소와 삼중수소는 핵융합이 실현될때 1g이 석유 6천리터 또는 우라늄(U) 3백g과 맞먹는 에너지를 내

게 되는데 중수소는 바닷물 1천리터 속에 30g이 들어있을 정도로 풍부하고 삼중수소는 리튬(Li = Lithium)에 중성자를 충돌시켜 인공으로 만들어 낼 수 있다. 핵융합로가 실용화될 때 인류의 에너지문제가 해결될 수 있다고 보는 것은 여기에 있다. 핵융합로는 지금의 원자로와 같이 사용후 핵연료 등 강력한 방사성물질이 생성되지 않는다. 운전중에 만들어지는 방사능도 지금의 핵분열 방식의 원자로에 비해 0.04% 수준에 지나지 않는다.

인류가 핵융합에 관심을 갖기 시작한 것은 아인슈타인의 유명한 에너지와 물질과의 관계를 설명하는 $E=mc^2$ 가 발표된 1905년부터이다. 인류는 이로부터 핵분열과 핵융합방법으로 물질로부터 막대한 에너지를 얻어 낼 수 있다는 사실을 알게 됐다.

이로부터 핵분열을 이용하는 핵탄이 먼저 탄생됐다. 핵분열은 우라늄235와 같이 질량이 큰 물질은 핵이 실온에서 중성자와 단순히 만나는 것 만으로도 일어날 수 있었기 때문이었다. 하지만 핵융합은 수소와 같이 질량이 작은 물질의 두 핵(核)이 갖는 막대한 척력(斥力)을 무력화시켜 합쳐지도록 해야한다. 이렇게 하려면 밖으로부터 엄청난 에너지를 공급해 주지 않으면 안된다. 핵융합연구의 어려움은 여기에 있다.

핵융합연구가 본격적으로 시작된 것은 1930년대부터였다. 베테(Bethe) 등이 태양과 같은 항성에서 생성되는 에너지에 대해 관심을 갖게 되면서부터 핵융합반응주기(週期)가 밝혀지기 시작했다. 그래서 핵융합반응은 많은 과학자들의 관심을 끌었고 러더포드(Rutherford)는 1934년 중수소-중수소 핵반응실험에 성공하기에 이르렀

다. 이때 삼중수소가 핵융합반응의 부산물로 발견되었다.

이로 해서 핵융합에 대한 관심이 높아졌지만 1950년대까지는 별다른 진전이 없이 답보상태에 있었다. 핵융합이 다시 인류의 관심을 끌게된 것은 1949년 소련이 원폭제조에 성공을 거두면서이다. 미국이 이에 대항해서 핵융합을 이용한 수소폭탄개발에 나선 것이다.

마침내 수소폭탄이 1951년 첫 폭발 시험에 성공함으로써 세상을 깜짝 놀라게했다. 핵융합은 핵분열과 마찬가지로 전쟁을 위한 핵탄으로 그 모습을 드러낸 것이다. 이를 계기로 핵융합을 핵분열과 같이 평화적으로 이용해 보려는 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행됐다.

2차 세계대전이 끝나자 미국과 영국은 핵융합을 평화적으로 이용해 보려는 연구에 착수했다. 뒤이어 소련이 이에 가세했다. 핵융합연구에 큰 자금을 가져다 준 것은 1951년 봄 아르헨티나의 독재자 페론(Peron)이 핵융합을 제어하는데 성공했다고 발표하면서이다. 그래서 1952년부터 핵융합연구는 본격화됐다. 그러나 핵융합은 생각밖의 많은 장애에 부딪혔다.

핵융합연구는 자장밀폐(磁場密閉 =magnetic confinement)방식과 관성밀폐(慣性密閉=inertial confinement)방식 등 크게 두가지로 나뉘어져 이루어지고 있다. 자장밀폐는 고온의 플라즈마를 강력한 자장을 이용해서 핵융합반응이 일어나도록 가둬두는 방식이고 관성밀폐는 중수소와 삼중수소를 얼려서 작은 고체의 알갱이로 만든 다음 여기에 강력한 에너지를 이용해서 집중포격해 핵융합반응을 이끌어내는

방식이다. 그러나 이들 방식 모두가 아직은 커다란 기술 장벽에 부딪혀 있다.

미국에서만 1백억달러 싸

강력한 자장을 이용해서 고온의 플라즈마를 가둬두는 자장밀폐방식은 서두에서 밝혔듯이 최첨단 극한 기술이 총동원되는 종합과학기술이다. 따라서 지금 세계가 자장밀폐방식의 실용 핵융합로를 2025년까지 개발할 목표로 잡고 있지만 이는 어디까지나 희망사항이지 확실한 보장이 없다.

지금까지 자장밀폐방식 핵융합연구에 쏟아부은 연구비는 미국에서만 1백억달러에 이른다. 그러나 지금껏 이뤄놓은 핵융합연구는 핵융합로개발까지 가는 멀고 먼 여정에 기초를 닦아놓은 일에 불과하다.

관성밀폐방식은 아이디어 자체가 간단한 장점을 갖고 있기는 하나 극히 짧은시간(10^{-11} 초)안에 작은 고체 알갱이로 만든 중수소와 삼중수소를 핵융합이 일어날 수 있도록 강력한 에너지를 쏘아 줄 수 있는 탄환(driver)을 개발하는 일이 큰 장벽으로 되어 있다.

수소폭탄의 원리가 바로 관성밀폐방식의 핵융합을 이용한 것이다. 수소폭탄이 가능했던 것은 이미 개발된 핵탄을 드라이버로 이용할 수 있었기 때문이다. 하지만 핵융합을 서서히 지속적으로 일어나게 하는데 핵탄은 아무짝에도 쓸모가 없다.

여기에서 등장한 것이 레이저이다. 현재 루비(ruby)레이저를 비롯해서 네오디뮴(Nd=neodymium)레이저 등이 드라이버로 실험중에 있다. 프랑스는 1969년 10억와트 Nd레이저로 중수소 화합물(LiNd) 표적을 쏘아(照射) D-D 중성자를 발생시키는데 성공함으로써

레이저 핵융합의 가능성을 보여주었으나 지금까지의 연구결과로는 자기밀폐의 토카막(tokamak)방식이 가장 실용성이 있을 것으로 평가돼 있다.

토카막이란 러시아말인 toroid kamera(chamber) magnit(magnet) katushka(coil)의 첫자를 따 만든 합성어이다. 구소련의 아치모비치가 1965년 발표한 토카막방식은 그 후 세계적으로 그 효과를 인정받아 현재 작동중이거나 새로 짓는 실험용 핵융합로는 대부분 이방식을 택하고 있다. ITER이 바로 이에 속한다.

ITER계획은 냉전체제를 완화해 보려는 노력의 일환으로 1985년 11월 미국 레이건대통령과 소련 고르바초프서기장간에 이루어진 제네바정상회담의 산물이었다. ITER계획이 정식출범한 것은 1987년의 일로 일본과 유럽연합이 이에 가세함으로써 이루어졌다. 애초 ITER은 1997년부터 건설을 시작해서 2004년에 마치고 2005년부터 운영에 들어가는 것으로 계획이 잡혀 있었다.

비용은 설계와 연구개발에 10억달러, 건설에 58억달러, 부대비용 5억달러 등 13년동안 75억달러를 계산했다. 그러나 구 소련이 붕괴되고 경제적 어려움이 겹쳐 ITER연구에 차질이 빚어진데다 최근에는 미국의 클린턴정부가 핵융합연구예산을 대폭 삭감함으로써 국제협력사업인 ITER마저 심각한 타격을 받게 됐다.

세계 핵융합연구를 이끌고 있는 미국은 이 분야에 대한 자체예산을 최근 크게 줄였다. 미국은 현재 한해 3억7천3백만달러를 쓰고 있는 핵융합연구를 10년 후 3배로 끌어 올릴 계획이었다. 그러나 클린턴정부는 에너지부(DOE)의 연간예산을 1백80억달러에

서 1백억달러로 끌어 내림으로써 시급하지 않은 핵융합연구계획이 무엇보다 큰 타격을 받게 된 것이다.

이에 따라 미국은 현재 진행중인 프린스턴대학에 짓기로 되어 있는 토카막물리실험(TPX=Tokamak Physics Experiment)시설과 국제협력사업인 ITER은 물론 핵융합로 개발을 뒷받침할 기초과학연구에도 큰 타격을 받게 되었다.

미국 에너지부는 TPX와 ITER사업을 위해 2001년까지 예산을 지금의 배수준으로 늘릴 계획이었으나 이번 예산삭감으로 핵융합연구자체를 근본적으로 재검토하지 않으면 안되게 되었다. 미국이 핵융합연구예산을 대폭 삭감하게 된 것은 미국의 재정적자폭을 줄이기 위한 노력의 일환이기도 하지만 핵융합연구 자체에 대한 비판의 소리도 큰 몫을 하고 있다.

“미국 에너지부의 핵융합로계획은 합리적이고 의욕적이긴 해도 현실성이 없다”는 비평때문이다. 또한 TPX와 ITER의 건설비용이 애초 생각했던 것보다 많아진 데도 불신의 요인이 깔려 있다. 따라서 미국의 핵융합연구 뿐 아니라 국제적인 협력자체도 심각한 타격을 받지 않을 수 없게 됐다.

ITER은 아직 건설부지마저 정해지지 않은 상태에서 미국이 예산을 크게 삭감하고 이에 필요한 돈을 중국과 인도, 한국 등에서 조달할 것을 아이디어로 내놓고 있다. 미국은 약속한 ITER재정을 보다 많은 나라를 이 사업에 끌어 들임으로써 줄여보려는 속셈인 것이다. 미국이 ITER에서 받을 조금씩 빼려는 이유는 무엇일까. 미국의 국익에 ITER이 중요하다면 이같은 결정을 내리지는 않았을 것이다. 우리

는 이같은 미국의 정책에 주목하지 않으면 안된다.

또한 관성밀폐방식이 요즘 강력한 레이저기술 개발로 주목받기 시작했다. 최근엔 상온핵융합이라고 하는 전혀 새로운 개념의 방식이 소개돼 관심을 끈바 있다. 상온핵융합은 이 분야의 많은 과학자들이 한때의 해프닝으로 끝난 것으로 생각하고 있으나 아직도 미련을 버리지 못하고 일본을 비롯해서 여러 나라의 과학자들이 관심을 갖고 연구에 매달려 있다. 이는 무엇을 말하는가.

지금의 자기밀폐방식으로 핵융합로

는 실현시키는 일이 너무 어려워 보다 쉬운 방법을 찾아야 하겠다는 것이고 나아가서는 아직 핵융합로를 실현시키는 일이 방향마저 잡히지 않고 있다는 이야기가 된다. 우리는 이런 상황을 주시해야 한다. 뿐만 아니라 국내 과학기술계에서도 우리나라가 핵융합연구에 본격적으로 뛰어 드는 것에 대한 비판이 만만치 않다는 사실도 겸허하게 경청해야 한다.

핵융합연구는 우리의 연구능력을 먼저 생각해서 결정할 필요가 있다. 연구능력은 연구비와 연구인력·연구시설은 물론 우리가 먼저 시급히 해야

할 일이 무엇인지에 대한 우선순위가지를 생각해 평가돼야 한다. 우리의 연구비는 80% 정도가 산업계로부터 나오고 있다. 핵융합연구는 당장 산업계의 도움을 얻기엔 어려움이 있다. 정부가 연구비를 투자해야 할 것인데 과연 우리의 정부가 이를 담당할 능력이 있는지 생각해야 한다. 따라서 아직은 기초과학연구단계를 넘지 못한 빅프로젝트인 핵융합연구에 우리가 어느 정도 도전을 해야할지는 우리의 현실을 냉정히 판단해서 신중하게 결정해야 한다. ⑤7

기획 특집

꿈의 에너지 ... 핵융합 發電 가능한가

II 핵융합에너지의 개발과 우리의 과제

관련 산업분야 다양 ... 파급효과 커 21세기 과학기술선도국 부상 좋은 기회

연구개발 50년대부터 시작

화석연료의 고갈이 예상되면서 전기 출력이 1백만kw급인 대체에너지원이 많지 않은 가운데 현재까지 새로운 에너지원으로 가능성을 보여준 것은 원자력이라고 할 수 있다. 우리나라 원자핵이 절반 정도의 원자량을 가진 가벼운 원자핵과 중성자로 분열되는 과정에서 발생하는 질량결손을 에너지로 변환하여 막대한 전력을 생산하는 것이다.

지구 온난화의 주범인 이산화탄소를



鄭基亨

(서울대 원자핵공학과 교수)

만들어 내는 화석연료의 사용보다는 원자력발전이 보다 더 바람직한 에너

지원이거나 할 수 있겠지만 핵분열반응은 반감기가 10만년이 넘는 초우라늄 계열의 방사성 동위원소를 만들어 내기 때문에 이들을 안전하게 처리해야 하는 난제를 남기고 있다. 이 문제에 대해 과학자들이 인식하기 시작한 것은 오래전 일이다. 1950년대부터 태양에서 일어나고 있는 수소의 핵융합반응을 인공적으로 발생시켜 에너지를 얻어내자는 핵융합에너지개발이 연구되기 시작한 것이다. 구체적으로 이야기하면 수소의 동위원소들인 중수소