

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

지원이라 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

(D : Deuterium)와 삼중수소(T : Tritium)가 융합하여 헬륨과 중성자로 변환하는 핵반응이나 헬륨(^4He)에 비해 중성자의 수가 하나 적은 동위원소(^3He)와 중수소를 융합시키는 핵반응(D- ^3He)을 이용하는 것이다. 핵융합에너지는 연료의 고갈이 염려되지 않으며, 방사성동위원소가 포함된 폐기물을 만들어내지 않는다는 장점과 함께 적은 양의 연료로 많은 에너지를 생산할 수 있다는 장점이 있다. 화석 연료와 핵분열, 핵융합 연료를 비교해 보면 20톤의 석탄이 탈때 발생하는 에너지를 1.5kg의 핵분열 연료로 생성할 수 있는데, 핵융합인 경우는 60g의 핵융합 연료로 가능하게 된다.

이러한 핵융합반응을 지구상에서 일으키기란 결코 쉬운 일이 아니다. 플러스 전기를 띤 원자핵들 사이에는 강한 전기적 척력이 작용되고 있기 때문에 이를 극복할 만큼 초고온·초고압 상태로 만들어 주어야 하기 때문이다. 물질의 온도를 높이면 물질을 구성하는 기본 입자들의 운동에너지가 증가한다.

고체인 경우에는 구성입자들이 높은 온도에서 더 활발한 진동운동을 하는데 온도를 계속 증가시키면 액체와 기체로 변환된다. 개개의 입자가 독립적으로 존재하는 기체의 온도를 더 높이면 원자 속에 갇혀 있던 전자가 분리될 정도의 에너지를 갖게 되어 전자와 이온으로 분리되어 존재하게 된다. 핵융합반응은 이와 같이 온도가 높아서 물질의 제4상태라고 하는 '플라즈마' 상태에서 일어나게 된다.

비교적 반응이 일어날 확률이 높은 D-T반응도 약 1억도 이상으로 온도를 높여야만 핵융합에 의한 에너지를 발생

시킬 수 있는데 이런 고온의 플라즈마를 한정된 공간 안에 가두어 놓을 수 있는 방법으로 강한 자기장의 형성을 제안하게 되었다. 플라즈마는 전기를 띤 입자들로 구성되어 있기 때문에 자기장을 따라 움직인다는 특성을 이용한 것이다. D-T반응은 결과적으로 방사성 물질을 만들 수 있는 중성자를 생성하지만, D- ^3He 반응은 안정된 원소인 수소와 헬륨을 만들어 내므로 깨끗한 핵융합원으로 관심이 모아지고 있는데 D-T반응에 비해 8배 정도의 고온이 요구되므로 여기서는 앞서 기술한 자기밀폐방식과 함께 플라즈마의 경계면에서 견뎌낼 수 있는 새로운 재료의 개발이 요구된다고 할 수 있다. 현재 가장 적극적으로 핵융합연구를 진행중인 일본은 이와 같은 핵융합반응의 연료인 ^3He 의 확보를 위해 달에 탐사로켓을 보낼 준비를 하고 있다고 한다.

전세계의 과학자들이 핵융합연구를 해온지 반세기가 되어가지만 아직 완성의 단계에 도달하지 못했다. 소립자를 발견하고 우주개척을 내다볼 정도로 발달한 현대 과학기술을 생각해 볼 때 핵융합에 대해 부정적 관점을 가진 과학자가 생기는 것도 당연한 일이다. 그러나 이러한 관점은 단기적인 견해라고 할 수 있다.

유럽의 국가들이 연합하여 건설한 핵융합장치 JET(Joint European Torus)는 1991년에 최초로 2초동안이지만 2천kw의 핵융합에너지를 발생시켰고, 1994년 미국 프린스턴대학의 TFTR(Tokamak Fusion Test Reactor)에서는 3초동안 1만kw의 출력을 발생시키는데 성공했다. 이런 에너지의 발생은 핵융합로의 과학적 실증을 보여준 것이다. 이러한 핵융합로

가 더욱 발전하여 태양에서 일어나는 핵융합반응처럼 스스로 지속적으로 플라즈마를 만들어야만 한다. 이를 위하여 초전도 자석과 초고온 재료의 개발이 절실히 요구된다. 이렇게 기술적 난관이 있을 뿐 아니라 대형 핵융합장치의 건설 비용이 막대하기 때문에 국제원자력기구의 주관으로 전세계가 공동으로 개발하는 국제핵융합실험로 계획인 ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor) 프로젝트가 수립되어 설계와 제작에 착수하게 되었다.

이러한 장기적인 계획이 예상하는 기술의 발전을 참고로 하여 앞으로의 핵융합개발계획을 살펴보면 핵융합에 투자될 과학적 연구개발자금은 점차 감소하는 반면, 공학적 연구개발자금의 투자는 급속히 증가할 추세여서 오는 2천년대 초에는 두 연구자금의 비율이 같아지고 상업용 원자료가 실현될 2025년에는 공학적 연구개발자금이 전체를 차지할 것으로 예상된다. 이렇듯 핵융합은 단기적이고 소규모적인 연구로는 실현이 불가능한 것처럼 느껴지지만 장기적으로 바라보면 필연적으로 다가올 현실인 것이다.

기대 큰 자기밀폐식 토카막

토카막(Tokamak)이라 부르는 핵융합장치에서 고온·고밀도의 플라즈마를 발생시키기 위해 초기의 플라즈마를 강한 유도전기를 이용하여 가열하는 방법과 강력한 전자기파를 공급하여 가열하는 방법, 그리고 외부에서 가속하여 에너지를 높인 중성입자빔을 주입시켜 가열하는 방법들이 개발되어 왔다. 이러한 기술의 개발은 플라즈마의 자기밀폐를 위한 초전도전자석과

플라스마의 진단에서 사용하는 각종 기술의 개발과 함께 관련산업분야에도 상당한 파급효과를 가져오게 한다.

관련기술중에 대표적인 몇가지의 예를 들면 우선 ITER를 비롯한 차세대 핵융합로의 플라스마 밀폐용 전자석으로 사용하는 초전도 자석과 관련된 산업으로 자기부상열차, 초전도 전력저장기, 초전도 모터, 초전도 발전기, 초전도 변압기, 초전도 MHD 발전, 초전도 선박추진기 등에서 핵자기 공명장치나 하전입자가속기에 이르기까지 방대하다.

두번째로는 높은 주파수의 강력한 전자기와 발생장치가 있는데 하전입자가속기, 무선통신, 레이더, 전력이송, 원격조정 등에서 이용되어진다. 세번째로는 초강력 펄스 발생장치와 관련된 산업으로서 우주화물수송, 전자기 레일, 물플라스마가속기, 바위 파쇄·터널 굴착 등이 있다.

이외에 고온·고밀도 플라스마를 이용하는 산업으로는 반도체 제조공정 중 하나인 플라스마 식각장치에서 박막형성, 분말 제조, 폐기물 처리에 이르기까지 일일이 다 열거할 수 없을 정도로 다양하다. 핵융합에너지개발에는 필수적인 주요 기술의 개발이 요구되고 이러한 기술개발은 관련산업에 영향을 주어 서로 도움을 주는 역학관계로 발전하게 된다.

핵융합장치가 궁극적으로 달성해야 할 목표는 경제적이고 안전한 에너지를 생산하는 것이다. 현재까지의 개발결과는 1차적 목표인 임계조건에 가까이 다가가 있음을 보여준다. 임계조건이란 핵융합을 일으키도록 투입된 에너지가 핵융합의 결과로 발생하는 에너지와 같아지게 되는 핵융합플라스마의 조건으

로 1억도 정도의 온도에서 플라스마 밀도와 플라스마가 유지된 시간의 곱이 $10^{20}m^3sec$ 정도에 이르러야 한다는 것이다. 핵융합발전을 실용화하려면 임계조건을 넘어서 핵융합의 결과로 발생된 에너지가 스스로 핵융합을 지속시키는 점화조건에 도달하여야 한다. 이는 임계조건에의 약 10배에 해당한다.

이렇게 미래의 과학기술에서 중요한 위치를 차지하게 될 핵융합에너지개발에 대해 우리는 어떠한 자세를 취해야 하는가? 과거 우리나라는 삼국시대의 첨성대나 고려시대의 금속활자, 조선시대의 측우기 등 과학기술에 많은 업적을 남겼었다. 현대에는 세계의 모든 개발도상국들이 우러러볼만큼 모범적인 경제성장을 이루어내기도 했다. 그러나 눈앞의 경제적 이익만을 추구하느라 장기적 연구개발을 요구하는 기초적인 과학과 산업분야에 대한 투자가 미흡했던 것이 사실이다. 현재까지 핵융합에 관한 연구개발도 그러했다. 국제적으로 공동개발하는 ITER에 투입될 70억달러의 돈을 분담하기로 서약한 나라는 미국, 유럽연합, 일본과 러시아이다.

우리나라는 핵융합개발의 후진국으로 이들 네개의 분극중 하나에 예측되어야 할 처지였던 것이다. 현재 우리나라의 경제적 규모나 과학인력의 수준을 보았을 때 더이상 소극적인 자세로 나아갈 필요가 없다고 본다.

최근 대형 가속기 건설경험이 전혀 없던 우리나라는 선진국의 과학기술을 도입하여 세계에 유래가 드문 가속능력을 갖춘 선형가속기와 저장링이 있는 포항 방사광가속기를 건설하는데 성공했다. 세계가 기술 패권주의의 입장에 서게 되어 수준급의 자격을 갖추

지 않으면 국제적 협동으로 개발하는 R&D 사업에 참여가 불허되므로 연구개발자금의 투자를 증대시켜야 할 것이다. 스포츠에서도 참가자격을 획득해야 우승을 겨루는 경기에 참여할 수 있듯이 미래의 대체에너지원과 산업재산권 확보를 위해서는 국제적 수준의 R&D를 해야 한다.

오는 2005년에는 우리나라의 일인당 국민소득이 현재의 10배인 3만불 수준으로 상승할 것으로 예상된다. 이런 시점에서 첨단기술의 실용화에도 많은 연구투자가 있어야 할 것이다. 앞서 예를 들었던 핵융합개발 관련기술 중 하나인 초전도기술의 개발이 그 대표적인 예라 할 것이다.

핵융합에너지개발은 현재의 의욕을 가진 능력있는 과학인력뿐 아니라 과학기술에 대한 꿈을 키우고 있는 청소년들이 미래에 함께 이끌어 가야 할 과제이다. 핵융합개발계획은 결코 무모한 시도가 되어서는 안될 것이다. 우리의 목표가 얼마나 멀고 높은 곳에 있는지 정확히 파악하고 한걸음부터 신중히 옮겨 놓아야 할 것이다.

결론적으로 이야기하여 핵융합로의 연구개발은 대형·복합기술체로서 결실 단계에 와 있으며 과학기술의 선도적 역할을 하고 있다고 할 수 있다. 그러므로 우리는 소극적 자세에서 벗어나 미래 청정에너지원에 대한 독자적 산업기술력과 재산권을 확보할 수 있도록 국민과 산업계의 지지를 받아 연구개발을 추진하여야 할 것이다. 우리나라가 핵융합로개발과 함께 관련기술의 파급효과에도 중점을 두어 장기적인 계획으로 인내심을 가지고 사업을 추진한다면 21세기 초에는 과학기술선도국의 하나로 부상할 수 있을 것으로 본다. ㉞