

# 핵융합 에너지 기술

공 영 경  
(국방과학연구소 선임연구원)

## 1. 핵융합 연구의 국내 계획

1995년 7월 23일 김영삼 대통령이 클린턴 대통령 초청으로 미국 방문길에 샌프란시스코에 들러 재미 한국인 과학 기술자 초청, 나라를 배품하며 가진 간담회에서 밝혀진 것으로 국내 주요 언론이 일제히 대서 특필 하였다. 김대통령은 21세기 한국 과학기술비전에 대해 (1)핵융합 기술개발 착수 (2) 2015년까지 20여개의 인공위성을 우리 기술로 발사 (3)한국과학기술원의 세계 10위권 교육 기관 육성 (4) 우리나라 주도의 국제 공동 연구 사업 착수 등을 언급했다.

김대통령은 이 중 핵융합 기술개발에 대해 정부는 범국가적 핵융합 연구개발 체제를 구축하고 각 주제별로 역할 분담을 추진할 계획임을 밝혔다. 지난해부터 1997년까지의 제1단계 추진기간 중에는 장치설계와 기반기술 투자를, '97년부터 2001년까지의 제2단계 기간 중에는 장치건설에 나설 계획이다. 21세기 꿈의 에너지로 불리우는 핵융합 연구투자는 2단계로 이루어진다. 1997년까지 1단계로 핵융합 장치설계와 기초기술을 개발하고 이후 2001년까지 제2단계로 플라즈마 핵융합로를 건설한다. 그리고 적절한 기초 기술이 닦아지면 중간 진입 전략으로 곧 바로 선진국 수준으로 진입한다는 것이다. 정부는 국제적 수준의 핵융합 건설과 운영기술을 터득, 2010년부터 시작되는 국제 열핵융합 실험로 프로젝트에 선진국들과 당당하게 어깨를 겨루며 참여하겠다고 천명한 것은 핵융합 발전 연구야말로 21세기 국가 과학기술을 세계화하기 위한 선도와제로 본 때문이다.

## 2. 핵융합 반응

핵융합 반응은 분자 그대로 두 개의 원자핵이 융합하여 원자번호가 다른 원자핵을 새로 만드는 반응이다. 무거운 방사성 동위 원소들이 핵 분열 반응에 의해 가벼운 원소들의 핵과 중성자로 분리되는 현상을 이용하는데, 이 핵분열 과정에서 발생하는 질량 결손은 아인슈타인에 의해 잘 알려진 질량

의 에너지 변환공식에 따라 방출되는 입자들이 운동에너지로 나오게 되고, 이 연쇄적인 핵분열반응을 제어된 방법에 의해 에너지화 하는 것이다. 핵융합 반응은 핵분열 반응과 상반되는 물리현상으로 수소의 동위 원소들과 같은 가벼운 원소들이 핵이 초고온 상태에서 서로 결합하여 헬륨과 같은 좀 더 무거운 원소의 핵을 형성하는 반응을 말하며, 이 때에도 질량 결손에 의해 생겨나는 에너지는 방출되는 입자들의 운동에너지로 나타나게 되는데 이를 제어된 방법에 의해 에너지화 하려는 것이 핵융합 에너지 개발에 목표이다. 원자번호가 작은 쪽의 좌에서 우로의 반응, 즉 핵융합반응이 원자번호가 큰 쪽의 우에서 좌로의 핵분열 반응에서 나오는 에너지보다 크다. 연료 중량당 방출에너지는 핵융합 반응이 크다. 실제 핵분열 반응에서는 우리늄 1g에서 석유 1톤에 해당하는 에너지가 얻어지는데 반해, 핵융합 반응에서는 중수소와 삼중수소의 혼합 연료 1g당 석유 약 8톤에 상당하는 에너지가 얻어진다. 그림 1은 가벼운 원자핵의 핵융합 반응을 몇 가지 표시하고 있다. 태양 등의 광성, 항성에서는 핵융합 반응에 의해 거대한 에너지를 수십억년 방출이 계속되고 있다. 태양에서는 네 개의 수소 원자핵이 융합하는 반응이 주로 일어나고 있다. 핵융합로의 연구개발은 지상에 태양을 만드는 것과 같다. 인류는 산업 혁명 이래 약 200년간에 급속한 진보를 해 오고 있으나, 그것을 받쳐 주는 것은 에너지다. 고래로의 석탄, 석유, 근년에는 천연가스, 원자로(핵분열로)가 있다. 그러나 우주 에너지원인 핵융합에는 아직 인류가 닿지 않고 있다. 핵융합 에너지 이용하기 위해서 여러 가지를 생각할 수 있다.

중수소(D)와 삼중수소(T) 핵융합 반응을 D-T 반응으로 부르고 다른 핵융합 반응에 비해 D-T반응에 필요한 온도 등의 조건이 최고로 좋다. 이 D-T 반응에는 천연의 연료에서는 약간 밖에 없는 삼중수소 사용, 또 반응 결과의 높은 에너지를 가진 중성자를 발생하는 두 가지 단점이 있다, 이것을 해결하기 위해 제2세대 핵융합로는 삼중수소를 사용하지 않고 중수소만으로 하는 D-D 반응 사용을 생각하고 있다. 이것에도 연료 입자밀도 등의 점에서는 D-T반응보다도 어려운 조건이 필요하나, 반응 핵융합로가 실현되면 그 100년 후에는 D-D로도 실현이 될 것으로 예상된다. 또 한편 가벼운 헬륨과

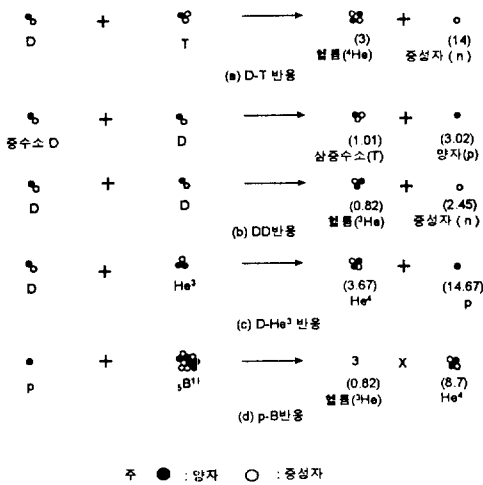


그림 1. 각종 핵융합 반응

중수소를 사용한 반응도 생각하고 있다. 이 반응은 중성자를 전혀 방출하지 않으므로 방사능이 극히 적은 깨끗한 핵융합로가 된다.

반응에 필요한 조건도 D-D반응보다도 대단히 좋으나 연료가 천연에 조금밖에 존재하지 않으므로 달에서 채취할 것을 제안하고 있다. 다음 그림 1은 각종 핵융합 반응이다. 이것은 방사성이 없는 반응이다.

### 3. 핵융합로의 종류 및 특징

핵융합 반응에는 극한조건이 필요한 것으로 알려져 있다. 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 물질로는 우리와 친숙한 고체, 액체, 기체 등과 같은 물질 상태로는 이러한 조건들을 만족시킬 수 없고, 다만 플라즈마라 부르는 제4의 물질 상태, 즉, 고온의 이온화된 하전기체 상태만이 조건들을 만족시킬 수 있고, 저장방법에 있어서도 현재까지 알려진 최고온 내열재로는 수천도 이상이 되면 모두 타버리므로 관성 밀폐방식과 자기 밀폐방식의 두 가지 방법 이외에는 다른 방법이 없다는 결론에 이르게 되었다.

관성 밀폐방식이란 조그마한 구슬형태의 핵융합 연료를 레이저와 같이 강력한 빛으로 그 압력에 의해 내부밀도가 보통 액체상태의 밀도보다 수천배 더 높은 상태로 압축되고, 이 수축시 발생하는 충격파에 의해 연료가 가열되어 핵융합 반응이 일어나게 하는 것을 말하는데, 이 방식은 핵융합 반응상태를 지속적으로 유지시킬 수 없기 때문에 상용화될 수 있는 에너지원으로는 부적합하게 보이지만, 기술적으로는 수소폭탄의 폭발구조와 흡사해서 수소탄 개발을 위한 시뮬레이션등 군사적 목적을 가진 연구로 계속 진행되고 있다.

자기 밀폐방식은 전기를 띤 입자들은 자기장에 의해 운동의 구속을 받는다는 전자기학적 원리를 응용해서 진공 용기 속에 초고온 상태의 플라즈마를 가두고, 초고주파 등을 이용

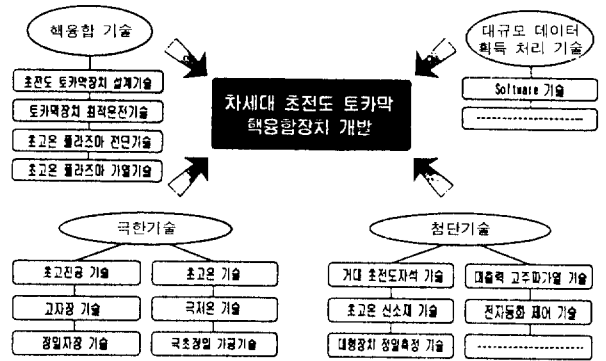


그림 2. 차세대 토카막에 관련된 기술

해 핵융합 반응물질을 더 높은 온도로 가열해서 핵융합 반응이 일어나게 유도하는 방식이다.

이 방식을 이용한 실험장치 중에는 미국에서 개발된 Stellarator, Magnetic Mirror, 영국에서 Pinch, 1968년 구 소련에서 사하로프와 텀에 의해 발명되어 현재 가장 진보된 방식인 Tokamak(러시아 말인 Toroid Kamera(chamber) Magnit(magnet) Katushka(coil)의 첫자를 따 만든 합성어) 등 여러 가지가 있는데 현재 핵융합 임계조건에 도달한 장치는 모두 토카막형 핵융합 실험로이다.

이와 같이 전자기 원리를 이용하여 진공에 가까운 낮은 밀도(지구 대기밀도의 1천분의 1 이하)하에서 핵융합 점화에 필요한 조건들을 만족시키기 위해서는 적어도 플라즈마를 태양 내부온도 보다 수십배 이상 뜨거운 3억도 가까이 가열하여 수초 이상 밀폐하여야 하는데 이 목표를 달성하기 위해 모든 최첨단의 과학기술들이 총동원되어야 된다.

핵융합로는 많은 기술을 필요로 하는 기술집약형 시스템이다.

플라즈마 제1벽, 블랭킷(Blanket), 차폐물, 토리치움, 초전도 마그네트, 여러 가지 부분별 기능의 종류, 안전관리하는 운전 기술 및 방대한 데이터 활용기술과 이에 따른 소프트웨어 등이 어우러진 기술집약성이다. 핵융합로 공학은 종래의 다른 학문분야의 융합요청으로 끝나지 않는다. 초전도 코일은 초전도 현상 물리, 강자장 발생 전기공학, 극저온 냉각하고 강력한 전자기력에 견디는 기계공학, 우수한 선재 개발 재료공학 등이 융합 진전하여 현재에 이르고 있다. 초전도 공학의 경우 여러 가지 분야가 결합하여 융합되어 좋은 예이다. 그림 2는 차세대 토카막에 관련된 기술이다.

### 4. 핵융합로 연구개발 현황

1955년 제네바에서 열린 제1회 원자력 평화 이용 국제회의에서 의장인 바바 박사가 20년 이내에 제어 핵융합에너지 실현방법이 나타날 것이라는 발언에 세계의 이목이 집중된 이래, 구 소련에서 1968년에 발표된 토카막 장치를 이용하여 천

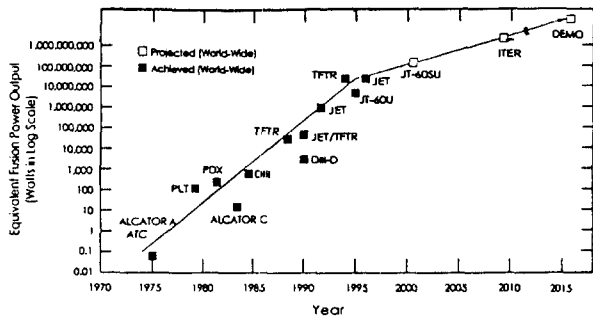


그림 3. 핵융합 기술발전

만도 고온의 안정된 플라즈마 밀폐 결과는 핵융합 연구 활성화에 크게 기여하였다.

이에 따라 70년대에 들어와서는 토카막 장치에 의한 핵융합 결과들은 광목할 만큼 발전하기 시작하였고 70년대 중반에 있었던 오일쇼크 발생으로 핵융합 연구가 본격적으로 시작되었다. 이에 따라 현재 세계 3대 핵융합 실험장치로 불리는 미국의 토카막 핵융합 실험로, 유럽 연합의 유럽 공동연구 토러스와 일본의 JT-60토카막 장치 등과 같은 대형 토카막형 핵융합 실험시설이 건설되고 80년대 초반에 실험이 시작되어 핵융합 연구의 획기적인 발전을 가져오게 되었다.

핵융합 연구의 발전을 좀더 정량적으로 살펴보면 1975년부터 1995년까지 20년간 연구의 결과 플라즈마의 온도는 1백배 이상, 핵융합 에너지 발생은 일억배 이상의 진척을 보이고 있으며, 1991년 말에는 유럽 연합의 JET장치가 D-T연료를 최초로 사용하여 2천kw의 핵융합에너지를 얻는데 성공하였고, 그 2년 후에는 미국의 TFTR장치에서 3억도의 초고온하에서 1만kw의 핵융합에너지 창출에 성공하였다. 또한 세계 3대장치 모두는 핵융합 연구의 과학적 측면에서 중요한 의미를 가지는 임계조건에 거의 도달하여 있는데, 이는 핵융합 반응을 지속시켜 이때 방출되는 에너지가 이 반응을 일어날 수 있게 하기 위해 소모된 에너지량과 같아지는 상태에 도달하였다는 것을 의미한다. 그림 3은 핵융합 기술발전을 나타내고 있다.

지금까지의 핵융합 연구결과와 다양한 관련 기술개발을 바

탕으로 하여, 핵융합기술의 종합적인 실증을 목표로한 국제열 핵융합 실험로(ITER)장치의 건설을 국제 원자력 기구(IAEA)의 지원하에 미국, 유럽 연합, 일본,러시아의 공동협력과제로 1988년 개념설계를 시작, 1998년 설계완성하고 2010년경에는 1백만kw 이상의 핵융합 에너지가 1천초이상 지속되는 핵융합 연구의 최종 실험장치로 추진하고 있다. D-T 연료를 이용하여 접화된 지속적인 자기 핵융합의 실험이 눈앞의 현실로 다가오고 있으며 이들 장치로부터 나오는 연구결과와 초고온 재료, 저방사화 재료등의 개발 결과를 활용하면 2020~2030년경에는 DEMO(Demonstration Power Plant)라 불리는 상업적 핵융합 발전소 모델의 개발운영이 가능할 것으로 기대된다. 그림 4는 토카막 핵융합 발전소 개념도를 나타내고 있다.

### 5. 결 론

21세기 꿈의 에너지로 불리는 핵융합 에너지는 지구상의 무한한 에너지를 토대로 지구환경적 측면에서도 매력적인 에너지임에 틀림없다. 1960년대 후반 토카막 출현 이래 급속한 발전을 거듭하여 2030년에 처음 가동이 예상되는 DEMO에서 그 첫발을 디딜 예정이다. 국내에서는 이러한 기술력에 동참할 수 있도록 국내 기초기술을 다진 후 ITER 계획 등 국제 공동개발 계획에 참여하여 곧바로 선진국 수준에 진입한다는 목표를 세우고 있다.

종합적인 기술력이 요구되는 이 분야에 대해 전기공학 분야에서도 초전도 전자석, 전력전자, 계측제어 기술분야를 중심으로 큰 기여가 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 과학과 기술, “기획특집 꿈의 에너지 핵융합 발전 가능한가”, pp.48~62, 1995.11
- [2] 栗原 研一, “核融合研究開発の現状と近未来”, 原子力工業, 제41권, 제1호, pp.49~56, 1995.

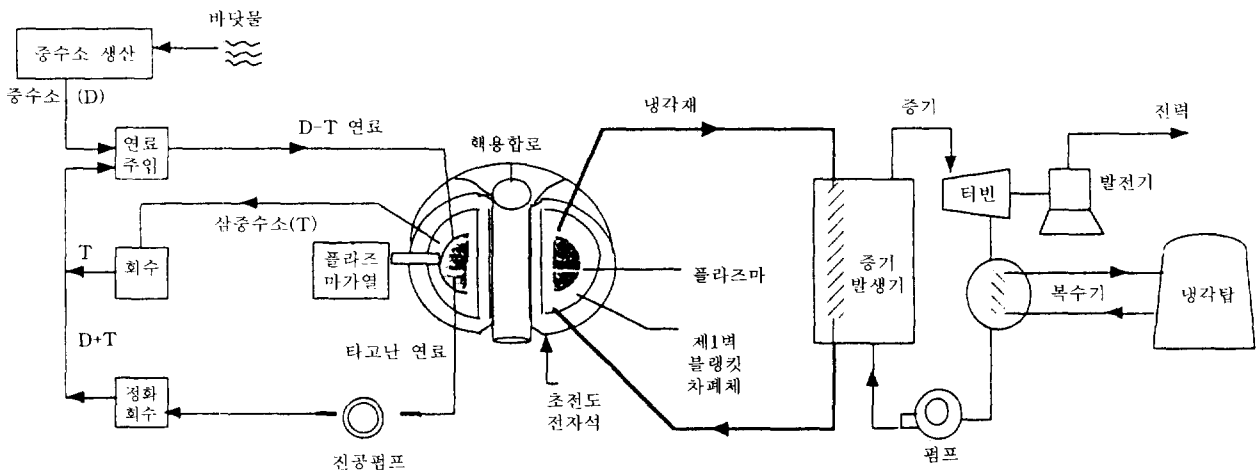


그림 4. 토카막 핵융합 발전소 개념도

- [3] 宮健三, “核融合と文明”, 機械の研究, 제47권, 제1호, pp. 63~67, 1995.
- [4] 狐崎 昌雄, “핵융합とエネルギー”, 機械の研究, 제47권, 제1호, pp.68~73, 1995

## 저 자 소 개



**공영경(孔泳卿)**

1956년 5월 1일생. 1979년 홍익대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 한국해양대 대학원 졸업(공학). 현재 국방과학연구소 선임연구원.