

미래의 에너지—핵융합과 초전도

김 동 략

한국기초과학지원연구원 핵융합연구개발사업단 책임연구원

1. 인간생활과 에너지

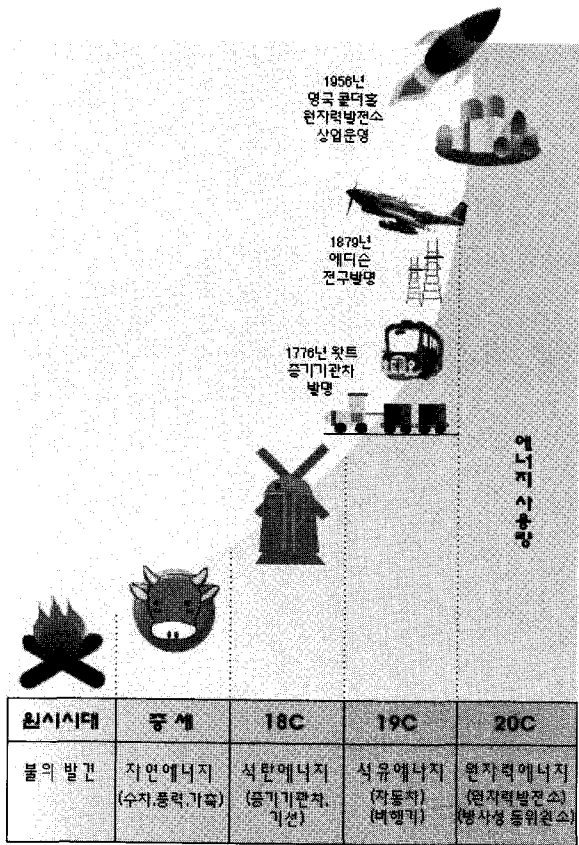
해저 2만리라는 영화가 있었다. 이 영화는 프랑스의 공상과학소설가 쥘 베르네의 소설을 원전으로 하여 제작되었다. 이 영화에서 수수께끼의 인물 네모선장은 바닷물에서 에너지를 얻어 거대한 잠수함 노틸러스호의 동력으로 이용하고 모든 것을 바다 속에서 해결해 가며 끝없는 항해와 깊은 바닷속 탐험을 계속한다. 그리고 그는 아주 예술적인 면이 있어서 파이프 오르간을 멋지게 연주하기도 한다.

에너지란 '일을 할 수 있는 능력'으로서 모든 생물의 생명을 유지시켜 주는 원천인 동시에 인류 문명의 원동력이다. 세상의 모든 현상이 일어나기 위해서는 반드시 에너지가 필요하다. 공을 던질 때에도 무언가 힘이 일정시간 작용해야 한다. 자동차, 기차, 비행기, 배 등을 움직이는 힘이 에너지이다. 인류는 불을 사용할 줄 알면서부터 에너지의 혜택을 받으면서 기계 문명의 찬란한 꽃을 피웠으며 풍요로운 삶을 누리게 되었다. 에너지원의 변천은 그

시대의 인간생활과 경제, 사회 발전에 커다란 영향을 주어 왔다(그림 1 참조).

에너지원에는 여러 가지가 있으며, 특징 또한 제각기 다르다. 석유는 다른 에너지원에 비해 용도가 다양하고 취급이 용이하다는 등의 많은 장점을 지니고 있지만 전세계적으로 매장량이 한계를 보이고 있고, 지역적으로 편중되어 있다는 단점이 있다. 석탄은 비교적 매장량이 풍부하고 가격도 저렴하지만, 채탄, 수송 등의 어려움과 환경오염원이라는 오명을 쓰고 있으며, 천연가스는 석유와 비슷한 특징을 갖고 있지만 가격이 비싸고 지역적으로 편중된 유한한 자원이며, LNG 기지 건설 등에 따른 거액의 투자가 필요하다는 단점이 있다.

태양은 지구 위의 모든 생명체가 살아가는데 필요한 에너지를 끊임없이 공급하여 주는 에너지 공급원이다. 이 에너지 공급의 비밀은 핵융합이며, 태양은 핵융합반응에 의해 막대한 에너지를 끊임없이 방출하고 있다. 핵융합 에너지는 소량의 연료로서 큰 에너지를 발생하며 발전원가에 큰 영향을 받지 않아 가장 경제적이다. 화석에너지



〈그림 1〉 인류문명의 발달과 에너지 이용

의 고갈문제 해결과 폐기물 등 환경문제를 유발하지 않는 깨끗한 에너지이다. 또 핵폐기물과 대형 방사능 유출사고가 없는 안전하면서도 다른 대체 에너지원과는 달리 고밀도·대용량의 에너지원으로서의 개발 가능성을 가지고 있다. 다만 핵융합 에너지를 상용화하기 위해서는 해결해야 할 어려운 과학적, 기술적 문제가 아직 남아 있다.

고도화된 산업사회와 21세기의 첨단 정보사회에서 많이 사용되는 전기는 경제활동을 뒷받침하는 동력원이다. 우리 나라의 전력 소비증가율은 최근 10년간 연평균 10% 이상씩 계속 증가해 왔으며, 앞으로도 제조업설비 투자 증가, 지하철 추가개통 및 철도의 전철화, 여름철 냉

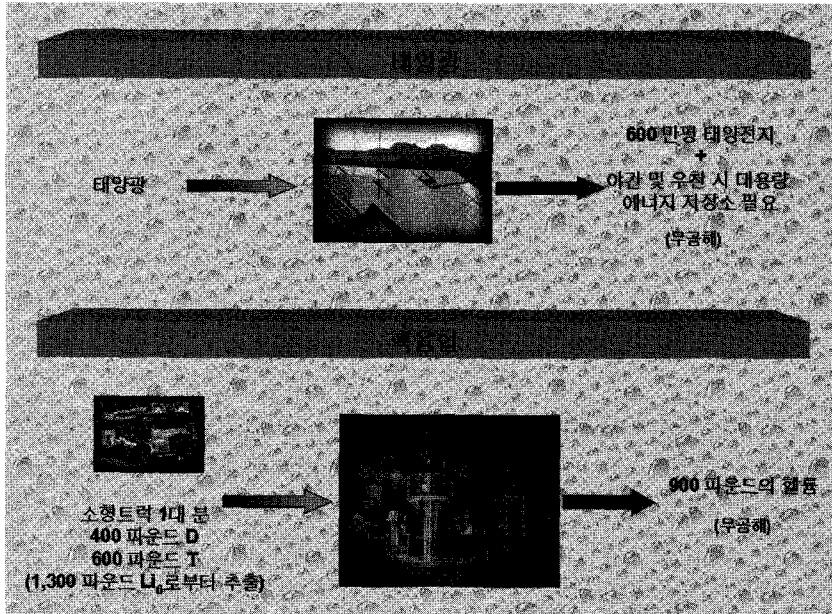
방기 사용 증가 등으로 매년 약 400~500만kW의 발전 설비 증설이 필요한 것으로 전망된다. 우리 나라는 1970년 이후 에너지 소비형 중화학공업 육성과 공급위주의 저에너지 가격 정책으로 매년 에너지소비량이 10% 가까이 증가해 왔다. 그 결과 석유 한 방울 나지 않는 나라에서 1997년에는 242억달러어치의 에너지를 수입하였으며, 석탄수입 세계 2위, 석유수입 세계 4위라는 자랑스럽지 못한 기록을 가지고 있다. 최근 경제위기로 인한 사업체 부도, 경기침체 등이 계속되면서 에너지수요 성장이 둔화되고 있으나 경제회복과 함께 앞으로 성장세가 회복될 것으로 보인다. 이렇게 되면, 선진국대열에 들어서기 위해 경제와 산업전반이 활성화되면서 에너지 수요는 다시 늘어날 것이다.

계속 늘어나는 전력수요에 맞추어 안정적으로 전력을 공급하는 일은 매우 중요하며 화력·수력·원자력 등 여러 가지 에너지원의 기술적·경제적 특성을 살린 최적 운용으로 안정적인 전력 공급원을 확보하는 것이 에너지 정책의 주요 과제가 되고 있다.

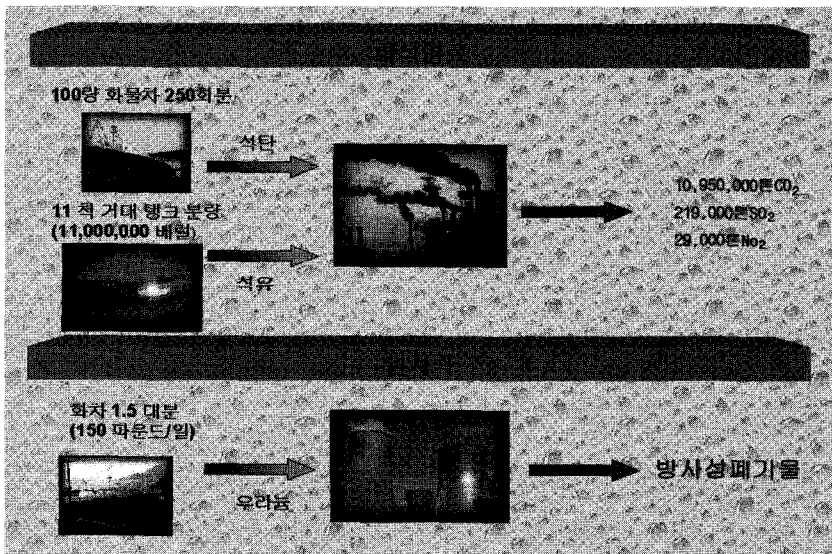
우리 나라 전원개발계획을 보면 1995년부터 2010년까지 유연탄 발전소 29기, 원자력발전소 19기를 비롯하여 천연가스, 석유발전소 등 총 122기 5700만kW의 발전 설비를 새로 건설하고 36기 650만kW의 노후 발전소는 문을 닫아, 2010년의 총 발전 설비는 7955만kW로서 1995년 설비용량 3219만kW의 2.5배가 되는 것으로 계획되어 있다.

2. 핵융합에너지의 필요성

최근 환경문제가 전 세계적인 문제로 떠오르면서 태양력이나 풍력 같은 자연에너지 개발에 관심이 모아지고 있다. 지금까지 개발된 대체 에너지로는 태양광 발전, 석탄 이용 기술, 파력발전, 연료전지, 풍력 등이 있다. 그러나



(a) 100MW급 발전소의 연간 연료량 비교



(b) 100MW급 발전소의 연간 연료량 및 폐기물 발생량 비교

〈그림 2〉 100MW급 발전소의 연간 연료량 및 폐기물 발생량 비교

이것들은 잠재적 활용 가능성은 크지만 대량의 에너지 수요에 대응할 수 없으며, 간헐적으로 밖에 이용할 수 없다는 등의 단점을 가지고 있어 실용화하는 데는 많은 어려움이 따른다.

태양열이나 풍력은 햇빛이 비치거나 바람이 부는 시간이 아니면 발전이 되지 않으므로 반드시 보조설비를 갖추어야 하며, 집열판이나 풍차를 설치하려면 넓은 공간이 필요한데 국토가 좁고 산이 많은 우리나라에서는 그만큼 땅을 확보하기가 쉽지 않다. 조수간만의 차를 이용하는 조력발전은 서해안에 일부 개발 가능한 지역이 있으나 현재로서는 경제성이 없는 것으로 나타났다. 이 때문에 몇몇 나라에서는 새로운 대체 에너지원으로 핵융합을 심각하게 고려하고 있다.

지구상 모든 생명체의 에너지 공급원인 태양은 매초 4조 와트의 100조 배(4×10의 26배)에 이르는 에너지를 핵융합 반응에 의해 방출하고 있다. 이 에너지량은 현재 지구상에서 생산되고

있는 총 전력량의 1조 배 이상 되는 막대한 양의 에너지이다.

이와 같이 항성들 내부에서 가벼운 원소들의 핵융합 반응에 의해 막대한에너지가 발생되고 있다는 과학적 사실이 1930년대에 이르러서야 알려지기 시작하였다. 또한 핵융합 에너지는 화석연료의 유한성과 원자력이 갖는 환경오염의 문제를 극복할 수 있다는 점에서 미래의 에너지로 불리는 것이다(그림 2 참조).

3. 핵융합의 기본원리

세상의 모든 물질은 원자라는 아주 작은 알갱이들이 모여서 이루어져 있다. 공기 중에 있는 산소나 질소도 모두 작은 원자로 구성되어 있다. 원자는 중심부에 원자핵이 있으며 그 주위를 돌고 있는 전자들로 구성되어 있다. 또한 원자핵은 양전기를 띠는 양성자와 전기적으로 중성인 중성자로 구성되어 있다.

기존의 화석연료는 분자 구조적인 레벨에서의 화학적 발열반응을 통하거나 산화반응을 통하여 에너지를 얻을 수 있는 반면, 핵분열 및 핵융합 에너지를 통칭하는 핵에너지의 경우는 원자핵이 합쳐지거나(핵융합) 붕괴되는(핵분열) 물리적인 반응에 의해 반응 전후의 질량 차이만큼 에너지로 변환되는 것이다. 이러한 물리적 반응 과정을 핵분열과 핵융합으로 나누어 좀더 과학적으로 살펴보면 다음과 같다.

우라늄(U-235)과 같은 무거운 원자핵이 외부에서 중성자가 와서 부딪치면 두 개 이상으로 쪼개지는 성질이 있는데 이를 핵분열이라고 하며 이 반응과정에서 반응전과 후에 질량의 차이(질량결손)가 생기게 되고 이때 없어진 질량은 아인슈타인의 질량-에너지 변환공식($E=mc^2$)에 따라 엄청난 에너지로 변화된다. 한 개의 원자에서 핵분열이 일어날 때에는

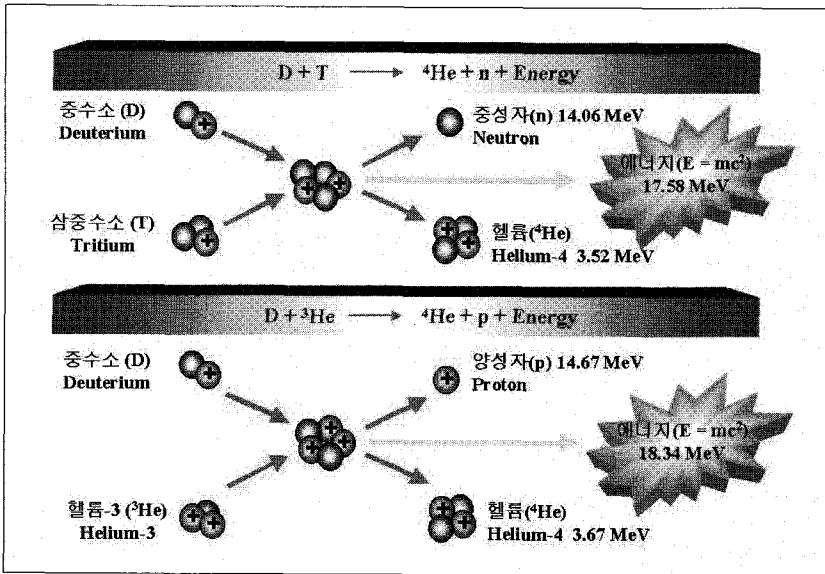
많은 에너지와 함께 2~3개의 중성자도 함께 나온다. 그 중성자가 다른 원자핵에 흡수되어 또 다시 핵분열을 일으키고 이런 방법으로 연속적으로 핵분열이 일어나는 현상을 핵분열 연쇄반응이라고 한다. 이 핵분열 반응을 연쇄적으로 일으키는 것이 잘 알려진 원자폭탄이고, 폭발에 이르지 못하게 핵분열반응이 천천히 이루어지도록 제어해서 발전에 응용하는 것이 바로 원자력 발전이다.

핵융합 반응은 핵분열 반응과 상반되는 물리현상으로 수소의 동위 원소들과 같은 가벼운 원소들의 핵이 초고온 상태에서 서로 결합하여 헬륨과 같은 좀 더 무거운 원소의 핵을 형성하는 반응을 말하며, 이때에도 질량결손에 의해 생겨나는 에너지는 방출되는 입자들의 운동에너지로 나타나게 되는데 이 핵융합 반응을 연쇄적으로 일으켜 폭발에 이르게 하는 것이 잘 알려진 수소 폭탄이고, 이를 제어된 방법에 의해 에너지화하려는 것이 핵융합 에너지 개발의 목표이다(그림 3, 4 참조).

가장 적합한 핵융합 반응의 연료는 물 속에 존재하는



〈그림 3〉 핵융합의 특징



〈그림 4〉 핵융합 반응

‘중수소’인데 이는 ‘수소’에 ‘중성자’가 1개 더 결합된 원소이다. 물 1리터에는 약 0.03그램의 ‘중수소’가 존재하는데 이 양만 가지고도 서울, 부산 간을 세 번 정도 왕복할 수 있는 300리터의 휘발유와 동일한 에너지를 낼 수 있다. 지구상에 존재하는 물의 양을 감안할 때 이 ‘중수소’의 양은 거의 무한하다.

예를 들어 지구상의 1미터 깊이의 바닷물을 모두 사용하면 인류가 2천만년을 쓸 수 있는 에너지를 얻을 수 있다. 특히 주목할 점은 바닷물 1리터 속에 있는 ‘중수소’를 추출하는데 드는 비용은 약 10원 정도에 불과하고 이 추출 과정은 주위환경에 아무런 해를 끼치지 않는다는 것이다. ‘중수소’와 ‘삼중수소’ 1그램을 융합할 경우 10,000 리터의 증류를 태운 것과 같은 열량을 낼 수 있다. 이는 곧 300그램의 삼중수소와 200그램의 중수소만 갖고도 고리 원자력 발전소보다 약 2배 큰 1,000,000kW급 핵융합 발전소를 하루 동안 가동시킬 수 있음을 의미한다.

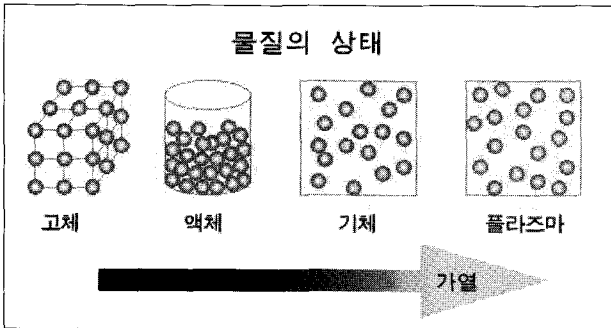
태양 중심에서와 같이 매우 특수한 환경 하에서 핵융합

반응이 일어나는데 이러한 반응이 일어나는 환경 하에서의 물질 상태를 플라즈마 상태라고 한다.

우리는 지구상의 생활에서 고체, 액체, 기체의 3상의 물질상태에 익숙해져 있다. 그러나 규모를 우주로 넓혀보면 물질의 3가지 상태는 극히 예외적인 존재이다. 실제로 우주 전체를 지배하고 있는 99.99% 이상을 구성하는 최다 물질의 상태는 플라즈마 상태라고 할 수 있다. 과학기술 용어로서 ‘플라즈마’(Plasma)라는 단어의 의미는 “원자핵과 전자가 분리된 전리기체”라는 물리학적 정의로 말할 수 있다.

물질내부에 지닌 에너지의 양에 따라 구분하여 물질의 상태를 설명해 보면, 실생활에서 친근한 상태인 물질의 세 가지 상태, 즉 가장 에너지가 낮은 상태인 고체가 제1의 상태이고, 이 고체에 외부의 에너지가 가해지면 제2의 상태인 액체로 상태가 변하며, 이에 다시 에너지를 가하면 제3의 상태인 기체로 변한다. 그런데 기체에 다시 에너지를 가하면 기체를 구성하고 있는 분자가 원자로 갈라지는데, 이때 가해진 에너지가 많으면 그 원자는 다시 원자핵과 전자로 분해되며 이를 전리현상이라고 말한다. 이 상태에서는 원자핵과 전자가 각각 에너지를 얻어 공간을 떠돌아다니게 되는데, 19세기 말 영국의 물리학자인 쿨루크스가 이를 ‘제4의 물질상태’라고 표현하였다. 그 후 1920년대에 제4의 물질상태를 전자기 물리학자인 랑뮤어가 ‘플라즈마’라고 처음 이름지었다(그림 5 참조).

따라서 플라즈마는 한 개의 양전하를 띤 원자핵과 한 개의 전자가 어떤 공간에 존재할 때와 같은 개개 입자를 말하는 것은 아니고, 물질상태가 플라즈마라고 불리기 위



〈그림 5〉 물질의 상태변화

해서는 많은 입자가 서로 영향을 끼치면서 존재하는 하전 입자들의 집단을 말한다. 이 상태에서는 분자나 원자의 대부분이 전자, 이온이나 원자핵으로 쪼개어져서 활발하게 날아다닌다. 핵융합은 플라즈마 상태에서 일어나며 핵융합 반응의 조건은 플라즈마의 온도, 밀도, 플라즈마 밀폐시간이다.

하지만 원하는 특성을 가지는 플라즈마를 특정 공간 내에 발생시켜 장기간 밀폐·가열하고, 이 물질의 특성을 제어, 조정하기 위한 과학적 이해는 아직도 충분치 못하며, 지금까지 알려진 연구결과가 반도체산업, 물질의 표면처리, 폐기물소각 등 산업기술에 활용되는 것은 플라즈마 응용의 극히 초기단계라 할 수 있다.

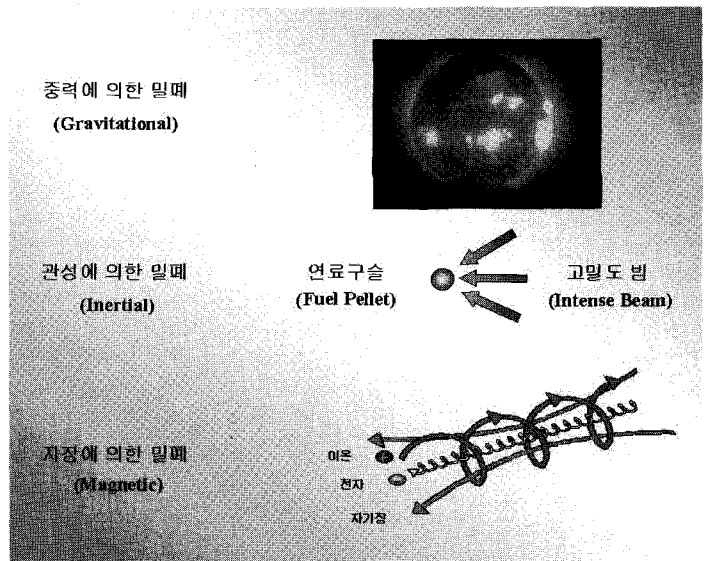
핵융합반응은 이온들이 서로의 척력을 이기고 충돌할 때 일어나게 되는데, 지구상에서는 중수소와 삼중수소의 융합반응은 섭씨 1억도 이상으로 가열되었을 때 발생한다. 그런데 이와 같은 높은 온도에서의 지속적인 핵융합반응은 플라즈마를 고온으로 유지시키는 동시에 발생한 열을 충분히 방출시킬 수 있는 특수용기가 없이는 불가능하다.

1억도가 넘는 프라즈마를 어디에 가둘 수 있을까? 이 문제를 해결하는 방법으로서 플라즈마가

가지고 있는 전기적인 특성을 살린 자기장을 이용한 플라즈마 밀폐방법이 있다. 플라즈마 밀폐장치에 자기장을 걸어주면 플라즈마를 구성하고 있는 이온과 전자들이 자기장주위를 나선형으로 돌면서 움직인다. 따라서 적절한 자기장 안에서는 고온의 플라즈마를 용기 벽에 접촉시키지 않으면서 가두는 것이 가능하다.

핵융합을 일으키는 방식 중에는 자기장밀폐법(Magnetic confinement)과 관성밀폐법(Inertial confinement)이 있다. 자기장밀폐는 고온의 플라즈마를 강력한 자장을 이용해서 가두어 놓으면서 가열하여 핵융합반응이 일어나도록 하는 방식이고, 관성밀폐는 중수소와 삼중수소를 얼려서 작은 고체의 알갱이로 만든 다음 여기에 강력한 레이저 광선을 쬐어 필요한 고온플라즈마를 형성시켜 핵융합반응을 이끌어내는 방식이다(그림 6 참조).

자기장 밀폐법(Magnetic confinement)으로 1억도에 이르는 고온의 플라즈마를 용기 벽에 접촉시키지 않고 가



〈그림 6〉 초고온 플라즈마 밀폐방식

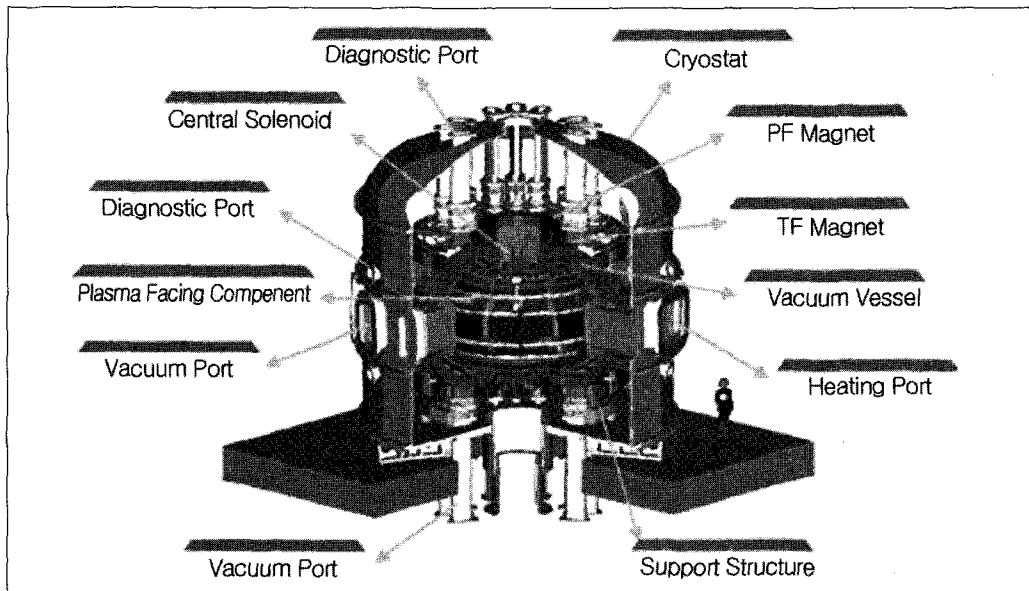
두기 위해서는 강력한 자기장을 발생시키는 자석이 필요하다. 초기의 핵융합연구에서는 전자석을 사용하여 자기장을 가두었다. 그러나 전자석은 자기장을 발생시키기 위하여 전류를 흘릴 때 전선에서 전기저항에 의하여 막대한 열이 발생하기 때문에 여기에는 냉각시스템이 필요하다. 또한 전기저항으로 인하여 발생시킬 수 있는 자기장의 세기가 제한되며 자기장을 아주 짧은 시간밖에 발생할 수 없으므로 실질적인 핵융합을 연구하기에는 적절하지 못하다. 이에 대하여 초전도상태가 되면 전기저항이 0이 되며 열이 발생하지 않는 초전도선으로 제작된 전자석인 초전도자석을 사용하게 되면 강력한 자기장을 연속적으로 발생시킬 수 있게 되어 핵융합이 지속적으로 이루어지게 할 수 있다. 그러나 물질이 초전도상태가 되게 하려면, 초전도자석을 영하 269도로 냉각시켜야 한다.

미래의 에너지원인 핵융합을 위한 연구로는 세계 여러 나라가 연구를 진행하고 있다. 가장 실용화 가능성이 높

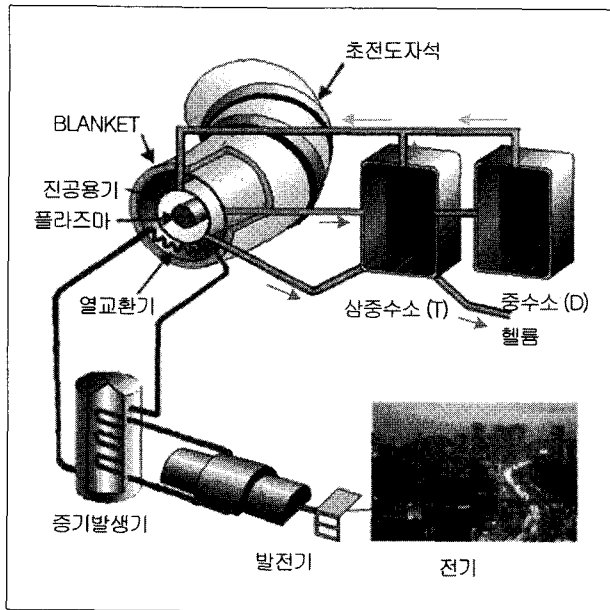
다고 여겨지는 토카막(TOKAMAK)형 핵융합방식으로서 초전도자석을 이용한 연구로 유럽연합(EU), 러시아 일본 등이 ITER계획을 세워서 핵융합 발전을 위한 연구가 진행되고 있으며, 우리나라에서도 핵융합반응의 연구를 위하여 대전의 한국기초과학지원연구원을 중심으로 초전도자석을 이용한 자기장밀폐법인 토카막(TOKAMAK)형의 연구용 핵융합장치인 KSTAR 초전도토카막시스템을 2005년에 완성을 목표로 건설중에 있다(그림 7 참조).

4. 핵융합발전

핵융합발전은 원자력발전이나 화력발전과 크게 다르지 않다. 핵융합발전도 원자력 발전이나 화력 발전과 마찬가지로 증기의 힘으로 터빈을 돌려 전기를 만든다. 다만 차이가 있다면 화력발전은 석탄이나 석유를 태워 증기를 만



〈그림 7〉 KSTAR 초전도 토카막의 3차원 구조



〈그림 8〉 초전도토카막 핵융합발전의 원리

들고 원자력발전은 우라늄 연료가 핵분열될 때 나오는 에너지로 증기를 만들 듯이 핵융합발전은 수소와 같이 가벼운 원소들의 핵들이 서로 결합할 때 나오는 에너지를 이용한 것이다(그림 8 참조).

핵융합이 상용화되면 바닷물에 들어있는 중수소나 삼중수소를 이용한 연료 1그램으로 석유 8톤에 해당하는 막대한 에너지를 얻을 수 있다. 즉, 500리터의 중수소와 30그램의 리튬을 넣어 핵융합로에 넣어 생성시킨 15그램의 삼중수소만 있으면 한 사람이 평생 사용할 에너지를 얻을 수 있다.

5. 초전도란 무엇인가?

금속으로 된 전선 양쪽에 전압을 걸면 전류가 흐른다. 전류와 전압과 전기저항 사이에는 옴(Ohm:Ω)의 법칙이 성립한다. 금속 내부에서는 움직이기 쉬운 자유전자가

있다. 금속 전선에 전압을 걸면 일정한 방향으로 자유전자가 흘러갈 수 있게 되며 이것이 전류이다. 그러나 이 자유전자의 흐름은 열운동을 하고 있는 금속 내의 원자와 충돌하여 전기저항이 생긴다. 원자의 열운동은 일정한 위치를 중심으로 진동하고 있으며 온도가 높아지면 운동이 더욱 활발해져서 자유전자와의 충돌도 커지며 따라서 전기저항도 증가한다. 예를 들면 상온에서 전기저항이 1Ω 인 동선을 600도로 가열하면 전기저항은 3Ω 정도로 커진다. 거꾸로 액체질소로 냉각하면 영하 190도로 되어 전기저항은 0.2Ω까지 감소한다. 금속의 전기저항이 저온에서 이 정도로 줄어드는 것은 금속 원자의 열운동이 줄어들어 자유전자가 금속 내부를 통과하기 쉬워졌기 때문에 전기저항이 작아진 것이다.

20세기의 초기, 극저온에서 금속의 저항이 절대 0도(절대온도를 K로 표시, 0K = -273.15°C) 부근에서 0Ω이 되는지, 일정한 값을 가지게 되는지 또는 증가하는지 이론적으로 결정되지 못했다. 1908년에 헬륨의 액화에 성공한 네덜란드 라이덴대학의 온네스(K. Onnes) 교수는 즉시 이 과제의 연구에 착수하였다. 처음에는 백금과 금에 대해서 조사하여 저항치는 불순물의 양에 의해 정해진 값에 접근하는 것을 알았다. 그 뒤 그는 순도가 높은 금속이면 온도가 0K에 가까이 가면 전기저항이 0에 접근할 것으로 생각하여 그 당시 순도가 높은 물질인 수은(Hg)으로 실험하였다. 그러나 그는 온도가 4K 부근에서 저항이 급격히 0으로 떨어지는 것을 발견하였고 초전도(Super-conductivity)라고 이름 붙여 1911년 4월에 발표하였다. 계속하여 납(Pb), 주석(SN)이 7.2K, 3.7K에서 각각 전기저항이 없어지는 것을 찾아내었다. 초전도 현상이 출현하는 온도를 임계온도라고 부르며 일반적으로 Tc로 표현한다. 이 공로로 온네스는 1913년에 노벨 물리학상을 수상하였다.

그 뒤 계속된 연구로 온네스 교수는 초전도현상이 자기

장에 의해서 파괴되는 것을 알았다. 그 때의 자기장을 임계자기장이라고 하며 절대 0도에서 초전도가 파괴되는 자기장을 B_0 라고 한다. B_0 와 T_c 는 초전도가 되는 물질에 따라 각각 다른 값을 가진다.

1933년 옥센펠트(R. Ochsenfeld)와 협력하여서 초전도상태로 될 때 납과 주석 주위의 자기장이 어떻게 변화하는가를 조사하던 마이스너(W. Meissner)는 초전도가 되기 전의 상전도 상태에서는 내부에 자기장이 들어가 있으나 초전도 상태가 되는 순간 금속 내부에서 자기장이 외부로 밀려나 내부의 자기장이 없어지는 것을 발견하였다. 이와 같이 초전도체는 단순히 전기저항이 없어지는 것 뿐 아니라, 내부를 자기장에서 차폐하는 성질(반자성이라고 함)을 가지고 있다는 것을 알게 되었으며 이를 발견자의 이름을 따서 마이스너효과라고 한다.

그 뒤 초전도현상에 관한 많은 연구가 이루어졌으며 초전도로 되는 임계온도(T_c)가 더욱 높은 물질을 찾아내게 되었다. 1986년에 스위스 IBM 연구소의 베드놀츠박사와 뮐러박사는 당시는 초전도로서는 매우 높은 온도인 30K 부근에서 초전도가 되는 물질을 발견하였고 이것이 계기가 되어 1987년 1월에는 액체질소 온도(77K, -196°C)보다 높은 93K에서 초전도가 되는 이트륨계(Y-Ba-Cu-O) 고온초전도체가 발견된 이후 연구는 활발히 이루어져서 120K 부근에서 초전도가 되는 물질이 발견되었다. 이전의 초전도체는 액체헬륨(4.2K, -269°C) 온도로 냉각하여 사용되었으나, 고온초전도체는 공기 중에 무한히 있는 기체인 질소를 액화하여 만드는 액체질소(77K, -196°C)로서 냉각하여서 사용 가능하다. 가격 면에서도 액체질소는 대량으로 구입하면 1리터에 300원 정도로서, 액체헬륨에 비해 1/50 정도밖에 되지 않는다. 이것은 저온을 유지하는 장치의 제작경비나 유지비 등에서 매우 경제적이라 할 수 있다. 이와 같이 초전도의 실용화가 활발히 연구되고 있어 21세기에는 에너지 문제에 큰

변화가 올 것으로 기대된다.

6. 초전도의 응용

텔레비전, 세탁기, 전등, 기타 전기제품은 우리들의 생활에 떼려야 뗄 수 없는 물건들이다. 이들 전기제품에 전기를 공급하기 위하여 발전소에서 각 가정까지 송전선이 연결되어 있다. 또 전기기기는 복잡한 전기회로로 구성되어 있다. 여기에 쓰여지는 전선으로는 동이나 알루미늄 등의 전기저항이 매우 작은 재료가 사용된다. 그러나 경우에 따라서는 이 전기저항이 문제가 된다. 예를 들면 우리나라의 발전전력의 약 6%가 송전되는 도중에 없어진다. 또 모터 등 우리들의 주위에는 전자석이 많이 사용된다. 이러한 자석에는 자기장을 유효하게 발생시키기 위해 철심을 사용하는데 철심으로는 약 1테슬라의 자기장 이상을 발생시키기 어렵다. 이 이상의 자기장을 발생시키기 위해서는 대량의 물로 냉각하는 특수한 동 코일이 사용된다.

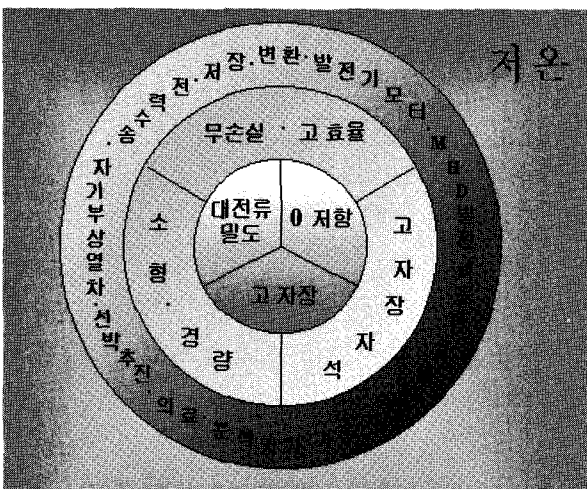
동선이나 알루미늄선 대신에 저항이 없는 전선 즉 초전도선을 사용하면 이러한 문제는 해결된다. 초전도선은 전력손실이 없으며 기기의 효율을 향상시킬 뿐만 아니라 이외의 좋은 점도 있다. 우선 전류밀도가 높다. 동선에서는 저항에 의해 온도가 상승하기 때문에 1평방밀리미터당 수 암페어의 전류밖에 흘릴 수 없다. 초전도선에는 이보다 10~100배의 밀도로 전류를 흘릴 수 있다. 결과적으로 초전도선을 초전도송전선으로 사용하게 된다면 매우 큰 전력을 수송할 수 있으며 경제적으로도 엄청난 절약할 수 있을 것으로 기대된다. 이와 관련된 연구로서는 한전 전력연구원과 차세대 초전도응용기술개발사업단이 중심이 되어 추진중인 고온초전도응용연구사업이 있다.

초전도는 철심을 사용하지 않고 매우 큰 자기장을 발생시킬 수 있다. 예를 들면 앞에서 이야기한 고자기장으로

고온의 플라즈마를 가두어야 하는 핵융합에서는 그 실용화를 위해서 초전도자석이 필요불가결하다. 또 이온이나 전자를 고속으로 가속시키기 위한 대형가속기에서는 초전도자석이 다수 사용되고 있다.

또한 철심이 없으므로 소형, 경량화할 수 있다. 예를 들면 발전기의 회전자를 초전도자석으로 제작하면 크기와 중량을 거의 1/3 정도로 줄일 수 있다. 또 자석의 반발력으로 차체를 뜨게 하는 자기부상열차는 초전도자석으로 할 때 고속자기부상열차의 제작이 가능하다. 실제 일본에서는 자기부상열차로서 시속 550km를 달성하였다.

초전도자석의 전기회로를 폐회로로 할 경우 회로 내에서의 전기저항이 없기 때문에 전원을 공급하지 않더라도 전류가 감쇄하지 않는다. 즉 일종의 영구자석과 같게 되어 매우 안정된 자기장을 발생시킬 수 있다. 이러한 특성이 고감도의 NMR(자기공명)실험장치나 MRI 등에 이용되고 있다. 또한 전류가 감쇄하지 않는다는 것은 전자석에 저장되어 있는 에너지가 줄지 않고 유지된다는 것이며, 이를 이용하여 전력저장장치(SMES)로서도 사용할 수 있다(그림 9 참조).



〈그림 9〉 초전도의 특성과 초전도기기의 응용분야

7. 핵융합, 초전도 그리고 저온

미래의 에너지인 핵융합발전을 위하여 수억 도나 되는 고온상태를 지속적으로 유지하여야 핵융합반응을 일으킬 수 있다는 것을 알았다. 그리고 핵융합반응이 일어나기 위해서는 고온의 플라즈마 상태가 필요하며, 지구상에서 이와 같은 고온을 유지하기 위한 자기장을 얻기 위해서는 극저온상태에서 얻을 수 있는 초전도자석과 저온기술이 필요하다는 것은 무척 흥미로운 것이며, 자연의 오묘한 조화를 보는 것 같다.

저온영역에서 가장 극적인 현상은 초전도(Superconductivity)와 액체헬륨의 초유동(Superfluidity)이다. 그리고 온도가 낮아짐에 따라서 나타나는 여러 현상들과 물질의 특성 변화, 이와 관계되는 응용연구가 저온에서의 연구의 주류를 이룬다고 하겠다.

또한 이와 같은 저온을 얻기 위한 기술, 즉 냉동기술, 저온상태를 보존하기 위한 저장 및 단열기술이 함께 발전하여 왔다. 저온의 응용으로서 앞에서 이야기한 초전도의 응용 뿐 아니라 생물시료의 급속동결이나, 대형가속기의 초전도자석, 우주개발에서 로켓의 연료로서 대량의 액체산소와 액체수소를 사용하며, 우주탐사 및 지상통신에서의 감도를 높이기 위한 소자의 냉각, 적외선센서의 냉각 등 저온공학분야에도 활발히 이용되고 있다.

저온을 활용한 연구를 저온공학(Cryogenics)이라 하며, 일반적으로 영하 150°C 이하에서 일어나는 현상의 연구 및 이의 응용과 극저온을 달성하고 유지하는 기술을 말한다. 극저온을 얻기 위해서는 일반적으로 한제(寒劑, Cryogen)로서 알려진 액화가스를 사용하거나 저온냉동기로서 얻을 수 있다. 저온에서는 일반적으로 우리가 경험하는 상온에서 보지 못하는 다양한 현상들이 있으며 실제로 우리 사회에서 큰 기여를 하고 있다. ❏