

# 플라즈마 기술의 연구개발 동향 R&D Trends in Plasma Technologies

박중호 · 윤소남 · 함영복  
J. H. Park, S. N. Yun and Y. B. Ham

## 1. 서론

플라즈마란, 미국의 물리학자 'Langmuir'(랭뮤어)에 의해서 1928년에 처음으로 사용된 말로써 전기적인 방전으로 인해 생기는 전하를 띤 양이온과 전자들의 집단을 의미하며 고체, 액체, 기체에 이은 물질의 4번째 상태를 나타낸다. "이온화된 기체" 상태인 플라즈마는 열적으로는 매우 뜨거우며, 전기적으로는 도체이고, 대전류를 흘릴 수 있으며, 큰 힘을 전자력에 의해 발생시킬 수 있고, 그 자체가 빛을 내며, 내부에 화학적으로 활성이 매우 강한 라디칼이나 이온을 많이 포함하고 있어 최근에 이를 이용해서 기존의 방법으로는 얻을 수 없는 에너지 창출, 신소재의 합성 및 가공, 폐기물처리, 정보, 통신소자의 제작 등에 폭넓게 이용이 되고 있다. 이러한 특성을 가지는 플라즈마는 최근 기능성 유체의 한 종류로서도 주목 받고 있는데, 기능성 유체란 외부에서 가해지는 물리량(전기장, 자기장, 열 등)을 제어함으로써 유체가 가지는 특성을 변화시켜서 공학적으로 응용 가능한 기능성을 발현시키는 유체를 총칭하므로 광의적으로는 플라즈마도 기능성 유체의 범위에 포함된다고 할 수 있다.

따라서, 본고에서는 플라즈마의 일반적 개념과, 생성 방식, 대표적 응용 분야에 대해서 언급한다.

## 2. 플라즈마의 생성

### 2.1 플라즈마의 개념

물질은 온도가 상승하면 고체에서 액체로, 액체로부터 기체로 변화한다. 기체에 직류 고전압, 혹은 고

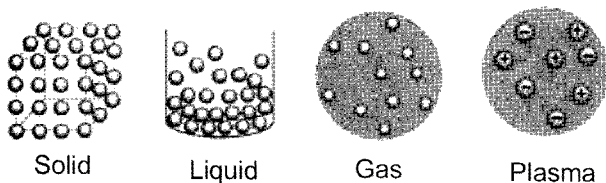
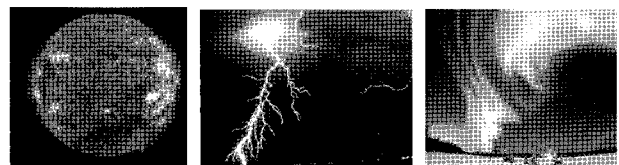


그림 1 물질의 상태도

주파 전기장을 가해서 여기시키면 기체는 가스 분자 스 분자의 상태로부터 플러스의 전기를 띤 입자와 마이너스 전기를 띤 전자가 혼재된 상태로 된다. 이와 같이 하전입자를 포함한 상태에서 전기적으로 거의 중성을 유지하는 입자집단을 플라즈마라고 한다(그림 1참조). 그림 2와 그림 3에 자연계에 존재하는 플라즈마와 인공적으로 생성된 플라즈마의 대표적 예를 나타낸다. 인공 플라즈마의 간단한 예로는 형광등을 들 수 있다. 방전을 일으키면 자외선이 발생하고, 이 자외선에 의해서 형광물질이 자극되어 백색으로 발광한다. 이 형광등을 미소화해서 색을 RGB의 순으로 수십만개를 배열한 것이 플라즈마 디스플레이이다.

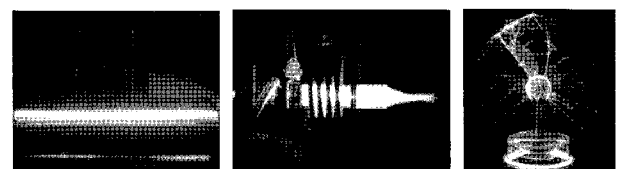
플라즈마는 압력이 높은 대기압에 가까운 영역에서는 입자와 전자의 온도가 거의 같고, 열적으로 평행하기 때문에 (열)평형플라즈마라고 하며, 압력이 낮은 영역에서는 전자만 온도가 높은 상태가 되고, 비평형플라즈마라고 한다.

평형플라즈마는, 고온(열)플라즈마라고도 하며, 대기압의 아크방전이나 핵융합 플라즈마가 대표적이고, 온도는 10,000~15,000°C에 달하기 때문에 주로 고온의 열원에 이용된다. 또한, 비평형플라즈마는 저온플라즈마라고도 하며, 글로방전이나 ECR방전 등에서 반도체 제조 프로세스 등에 폭넓게 이용되고 있다.



(a)태양내부 (b)번개 (c)오로라

그림 2 자연계에 존재하는 플라즈마



(a)형광등 (b)플라즈마토치 (c)플라즈마볼

그림 3 인공 플라즈마의 대표 예

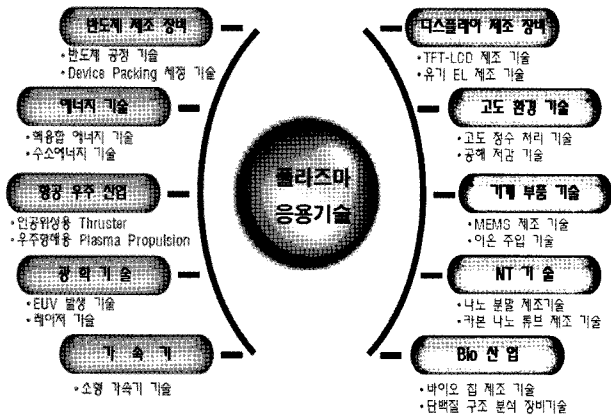


그림 4 플라즈마 기술을 활용한 산업 및 연구분야

이중에서 공업적으로 이용이 활발한 플라즈마는 저온 글로방전 플라즈마로서 반도체 공정에서 플라즈마 식각 및 증착, 금속이나 고분자의 표면처리, 신물질의 합성 등에 이용되고 있으며, 공정의 미세화, 저온화의 필요성 때문에 플라즈마 공정이 종래의 공정을 대체하고 있으며, 경우에 따라서는 플라즈마만이 제공할 수 있는 물질이나 환경을 이용하기 위한 응용분야가 점점 더 확대되고 있다. 그림 4는 플라즈마를 응용하는 각 산업분야 및 대표적 연구 예를 나타내고 있다.

플라즈마는 전리하고 있지 않은 보통의 기체와 달리 여러 가지 특징을 갖고 있다. 그 첫째는 하전입자의 존재이다. 이온이나 전자 등의 하전입자는 전하를 갖고 있기 때문에 전장이나 자장의 영향을 받으며, 전기적 전도성을 갖고 있어서 전류를 흐르게 하는 것도 가능하다. 플라즈마 사용측면에서 말하면 이 특징을 이용해서 플라즈마장을 제어하기도 하고, 플라즈마를 더욱 고온으로 가열하는 것이 가능하다. 마찬가지로 플라즈마 전열도 전자장에 크게 좌우된다.

둘째로 높은 에너지, 고온을 가지고 있는 것이다. 1~10억℃의 플라즈마는 핵융합 반응을 일으키는 것이 가능하고, 1만도의 플라즈마에 의하여 물질을 급속히 고온 가열하는 것이 가능하며, 플라즈마용접, 절단, 플라즈마용사 등에 사용되고 있다.

셋째로 화학적으로 고활성인 것이다. 반응물질을 플라즈마 중에 넣으면 용이하게 라디칼화하며, 플라즈마의 고에너지와 더불어 매우 반응성이 풍부한 상태를 얻을 수 있다. 플라즈마화학이나 플라즈마프로세싱 분야는 이 특징을 활용한 것으로써, 실용면에서 가장 많이 응용되고 있다.

넷째로 전자파의 방출이 있다는 것이다. 고온에서 전리하고 있기 때문에 여러 가지의 강한 전자파가

나온다. 이러한 특성을 이용해서 광원이나 광분석용으로써 사용되기도 한다.

## 2.2 플라즈마의 생성

플라즈마를 생성하기 위해서는 자연상태의 원자나 분자를 이온화시켜야 한다. 즉, 중성입자로부터 전자를 제거할 필요가 있고, 이를 위한 에너지가 요구된다. 수십만도에서 수백만도의 높은 열에너지를 가하면 이온화가 가능하나, 현실적으로는 매우 어렵기 때문에, 이러한 에너지를 공급하는 방법으로써 대부분의 경우 전기 방전이 이용되고 있으며, 주로 아크방전, 글로방전, 마이크로파방전 등이 있다. 또한, 전기 방전 이외에 급격압축의 충격파, 화학에너지의 연소, 레이저 등의 고에너지 빔에 의해서도 발생시킬 수가 있다.

방전에 의한 플라즈마 생성에 대해서 보다 자세히 언급하면, 직류 방전은 양전극간에 직류전압을 인가하여, 가스를 절연 파괴시켜 전리시키는 것으로, 가스는 플라즈마로 되어 도전성 기체가 된다. 방전을 지속시키기 위해 필요한 전자의 공급원으로는 전자가 중성 입자에 충돌되어 일어나는 전리에 의한 것, 이온이 음극에 충돌되어 발생하는 2차 전자의 방출, 음극가열에 의한 열전자 방출, 빛을 음극에 조사하여 방출된 광전자에 의한 것 등이 있다. 직류 방전에서는 가해 주는 전류의 세기에 따라 전류가 작은 쪽으로부터 탄젠트방전, 코로나방전, 글로우 방전, 아크방전이 있다.

또한, 방전시키는데 필요한 전원의 주파수에 따라서도 저주파방전(50Hz~100kHz), 고주파방전(10MHz~100MHz), 마이크로파방전(1GHz이상)으로 세분된다. 저주파방전은 직류방전과 유사한 특성을 보이며 상용주파수에서는 형광등, 아크용접, 수은등에 이용된다. 또한, 방전 전압의 주파수가 매우 크게 되면, 이온 또는 전자는 전극에 도달하기 전에 전장으로 부터 받은 힘의 방향이 변하기 때문에 그들은 전극간에 구속된다. 이 구속된 전자가 가스를 전리시켜 방전을 지속시킨다. 이것을 고주파 방전 또는 RF(Radia Frequeny)방전이라고 한다. 고주파 방전에서 전극은 방전에 의해 발생한 플라즈마와 접촉할 필요가 없다. 중요한 특징은 전극으로부터의 오염이 없기 때문에 깨끗한 플라즈마가 얻어지는 것, 사용가스가 자유롭게 선택될 수 있는 것, 미분체의 혼입이 용이한 것, 플라즈마장의 제어가 가능한 것, 처리물질의 플라즈마내에서의 체류시간을 길게 할 수 있

는 것 등이다. 마이크로파방전에서는 마그네트론(발전기)에 의하여 마이크로파를 만들고, 그것을 도파관으로 유도하여 석영 등으로 만든 용기 내에서 마이크로파 전력을 방사하면 플라즈마가 발생한다. 대표적인 주파수로는 2.45GHz를 사용한다.

### 2.3 플라즈마의 분류

산업적으로 사용되는 플라즈마는 저온플라즈마와 열플라즈마로 나눌 수 있는데 저온플라즈마의 경우 반도체 제조 공정에서 가장 널리 사용되고 있으며, 열플라즈마는 금속의 절단 등에 응용된다.

#### 2.3.1 열플라즈마

열플라즈마(Thermal plasma)는 주로 아크방전에 의해 발생시킨 전자, 이온, 중성입자로 구성된 기체로 구성입자가 1,000~20,000℃와 100~2,000 m/s를 갖는 고속의 제트 불꽃 형태를 이루고 있다. 이렇게 고온, 고열용량, 고속, 다량의 활성입자를 갖는 열플라즈마의 특성을 이용하여, 재래식기술에서는 만들 수 없는 다양하고 효율적인 고온 열원이나 물리/화학용 리액터(reactor)로 사용되어, 여러 산업분야에서 이용되고 있다. 열플라즈마의 대표적인 발생 방식으로는 직류 또는 교류 아크방전을 발생하는 플라즈마 장치와 고주파 방전에 의한 고주파 플라즈마가 주로 이용되고 있다.

아크방전을 이용하여 기체를 플라즈마화하는 방법으로서, 플라즈마를 노즐상의 전극으로부터 고속 고온의 제트로서 분사시키는 플라즈마토치 형식이 다양하게 고안되어 실용화되어 있다. 1950년대 초기에 현재 사용되고 있는 토치의 기본적 구조가 거의 확립되었고, 이후 플라즈마 공정의 발전에 큰 공헌을 하고 있다.

고주파 유도방전에 의한 플라즈마는 무전극형이고, 통상 바깥쪽에 코일을 감은 석영관내에 방전부가 존재한다. 코일에 고주파전류를 흘리면, 같은 주기로 변화하는 유도자계와 함께 유도전류가 방전부에 흘러 저항열(주울 열)이 발생해서 열플라즈마 상태가 정상적으로 유지된다. 이러한 고주파 열플라즈마는 유도결합 플라즈마(inductively coupled plasma)라고 하며, 고주파유도 플라즈마를 발생시키는 석영관 토치의 원형은 1960년대 초기에 발표된 이후로 그 구조에는 기본적인 변화가 없으나 반응물질에 따라 유도결합 플라즈마가 다양하게 개발되어 현재 여러 분야에 적용되고 있다(그림 5참조).

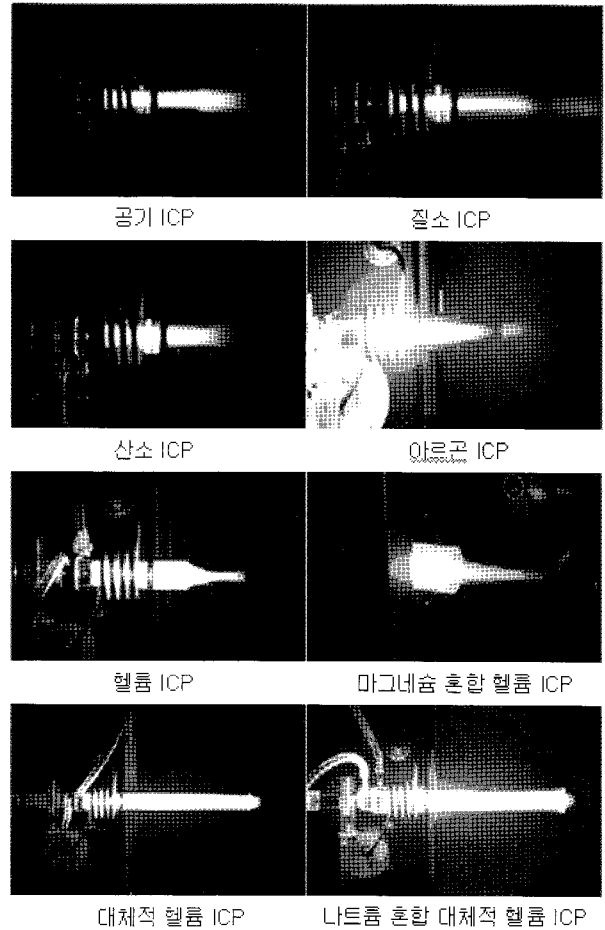


그림 5 유도결합 플라즈마의 다양한 예

#### 2.3.2 저온플라즈마

일반적으로 저온 플라즈마는 반도체 제조, 금속 및 세라믹 박막 제조, 물질합성 등 다양한 활용성을 가지고 있다. 상압 비평형플라즈마는 대기압에서 저온의 플라즈마를 얻음으로써 진공유지 등과 관련된 장치 비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 배기가스 처리 및 공기청정과 같이 활용분야도 더 넓다. 상압 비평형플라즈마는 펄스 코로나 방전과 유전체 장벽 방전으로 주로 발생된다.

상압 비평형플라즈마의 발생은 대기압하에서 다양한 방법의 전기방전을 이용하되, 전자 에너지의 세기가 이온 및 중성입자 등의 에너지보다 높게 유지되도록, 즉, 플라즈마가 비평형 상태를 이루도록 한다. 전체적인 플라즈마의 온도는 상온~1,000°K인데 반해, 전자(electron)의 온도는 10,000°K~100,000°K가 유지됨으로써 다양한 플라즈마 화학반응 및 표면처리의 응용에 적합한 방전이 가능하다. 상압 플라즈마를 구현하는 방법으로는 유전체 장벽 방전, 코로나 방전, 마이크로파방전, 아크방전 등의 기술이 있다. 이 중 수천도의 높은 온도를 수반하여 주로 spray

melting 등에 사용하는 아크방전을 제외한 나머지 기술은 모두 비교적 저온에서 구현이 되므로 폴리머 분야 응용이나 전자/반도체 공정에 사용이 가능하며, 현재 널리 그 가능성이 타진되거나 적용이 이미 되고 있다.

### 3. 플라즈마 응용 사례

#### 3.1 MHD 발전

자기장 속을 기체나 액체에 상관없이 전도성이 좋은 물질이 통과하면 플레밍의 오른손 법칙에 의해서 통과하는 방향과 수직 방향으로 전류가 발생한다. 이것이 MHD 발전의 기본원리이다(그림 6 참조). 이러한 발전법은 패러데이의 초기실험에 의해서 그 원리가 검증된 후 연소 및 자기장 기술력 부족으로 실용적 관심을 끌지 못하였으나, 20세기 후반에 들어서 로켓 연료기술의 급속한 발달로 고속 분출하는 고온의 연소가스를 만들 수 있게 되었고, 초전도 기술의 발달에 의하여 5테슬라나 되는 강력한 자기장을 생성할 수 있게 됨으로써 이 발전법의 연구가 세계에서 급속히 추진되기에 이르렀다.

MHD란 Magneto-Hydro-Dynamics의 머리글자로서, 이를 이용한 발전을 전자유체발전이라고도 한다. 연소가스는 고온 때문에 전자가 원자핵에서 떨어지기 쉽고, 일부가 전리된 상태로 되어 있다. 이 상태를 '약전리' 플라즈마라고 한다. 연소 가스의 온도는 2500°C 정도이다. 연료는 석유든 석탄이든 천연가스든 무엇이든 상관없다. 하지만, 이러한 온도의 연소가스만으로는 자유전자가 그다지 생기지 않으므로 칼륨이나 세슘 등을 첨가해줌으로써 전자를 원자핵으로부터 분리시킬 수 있다. 이 자유전자를 지니는 연소가스를 강한 자기장 속에 1000m/s 정도의 고속으로 통과시키면 자기장의 작용으로 전자는 양극 쪽으로 휘어지며 끌려 당겨지고 전류가 발생하게 되고, 양극과 반대쪽에 음극을 펴고 전선으로 이으면 전류가 흐른다.

음극 쪽에는 전자를 빼앗긴 칼륨 이온이 굽어지는데, 전자보다도 몇 천배나 무겁기 때문에 굽어지는 것이 적으며 뒤에서 오는 고속의 입자에 밀려나 버린다. MHD 발전에는 연소가스를 직접 작동 유체로 하는 오픈 사이클 방식과, 일단 열교환기를 통해서 가열한 아르곤이나 헬륨 등의 희박 가스를 작동 유체로서 순환시키는 클로즈드 사이클 방식이 있다.

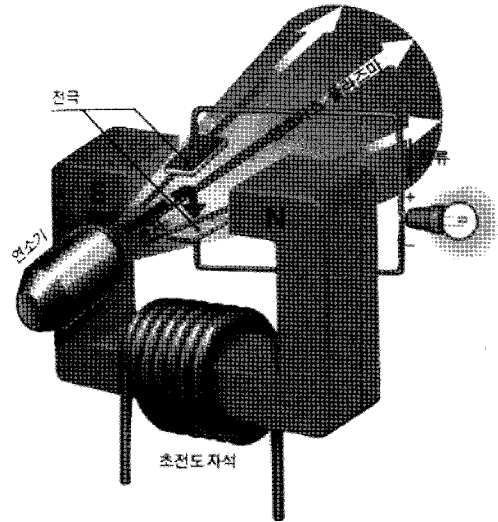


그림 6 MHD 발전의 기본원리

기존 실험에서 MHD발전으로 연료에 의한 열입력 에너지의 11%에 상당하는 발전이 가능하다는 것이 밝혀졌다. 대규모의 발전 설비를 만들면 20% 이상의 발전이 가능할 것으로 생각된다. 이것만으로는 보통의 발전보다도 효율이 떨어진다. MHD 발전은 터빈식 발전과 병용함으로써 비로소 의미를 지니게 된다. MHD 발전을 한 다음, 약 2000°C로 온도가 내려간 가스로 파이프의 물을 가열하여 증기를 분출시키고 터빈을 돌리면 처음 열입력의 35%의 발전을 할 수 있어 총 50% 정도의 발전을 할 수 있게 된다. 해외에서 MHD 발전 연구에 가장 힘을 쏟고 있는 것은 석탄 자원이 풍부한 러시아와 미국이다. 특히 러시아에서는 MHD 출력 270MW, 증기 발전 출력 300MW의 발전장치 연구가 진행되고 있다. 그림 7에는 일본에서 개발 중인 MHD 발전 설비(열입력 6MW급)를 나타낸다.

#### 3.2 핵융합

핵반응은 무거운 원자가 가벼운 원자로 나누어지는 핵분열반응과 가벼운 원자들이 무거운 원자로 합쳐지는 핵융합반응으로 대별할 수 있으며 두 경우 모두 에너지가 방출된다. 핵분열 과정에서 나오는 에너지를 순간적으로 방출시키면 원자폭탄이 되며, 제어된 형태로 서서히 방출시키면 원자력발전과 같이 인류에게 매우 유용한 에너지원이 될 수 있다. 반면, 핵융합반응은 식 (1)에 나타난 것처럼중수소와 삼중수소가 융합반응을 통해서 헬륨과 중성자로 변화하는 반응을 통해서 에너지를 얻을 수 있으며, 태양과 같이 밝게 빛나는 별들의 에너지가 대부분 핵융합에너지라 할 수 있다.

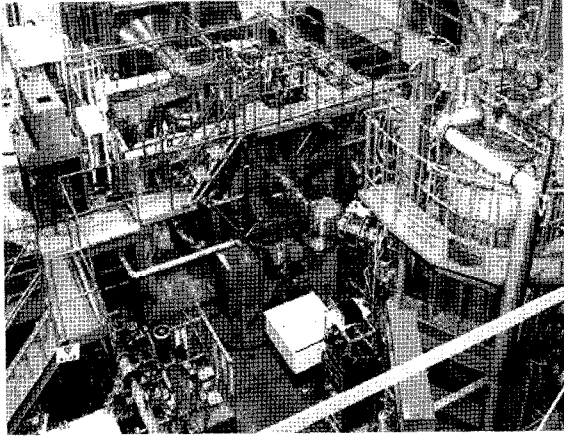


그림 7 MHD 발전설비(일본, 열입력 6MW급)



핵융합에너지는 원료로 이용되는 중수소와 삼중수소가 지구상에 거의 무한적으로 존재하며, 반응과정에서 방사능물질이 생기지 않으며, 원자로의 제어기능이 상실되어도 로가 녹아내리거나, 폭발하는 위험성이 없어서 가장 이상적인 에너지원이라 할 수 있다. 그러나, 지구상에서 핵융합을 하기 위해서는 수억도의 초고온, 고밀도 플라즈마를 생성, 유지해야 하고, 플라즈마를 하나의 장소에 밀폐시켜야 된다는 기술적인 어려움이 있다. 태양은, 체적이 거대하고 자체 중량이 충분하기 때문에 인력에 의해서 핵융합이 가능할 정도로 플라즈마를 어떠한 형태로 붙잡아 둘 수 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위해서 여러 장치가 연구되고 있는데, 핵융합 발전의 상용화를 이루는데 가장 가능성이 있는 장치로 평가받고 있는 것이 구 소련의 아치모비치가 1965년 발표한 후 세계적으로 그 성능의 우수성을 인정받은 자기가둠 방식을 사용하는 토카막(Tokamak) 장치이다(그림 8 참조). 우리나라가 만드는 일명 인공태양 'KSTAR'는 물론 그림 9에 나타난 국제협력으로 추진중인 ITER 역시 토카막 형태의 핵융합 장치를 사용한다.

토카막의 기본원리에 대해서 간단히 언급하면, 플라즈마를 구성하고 있는 이온과 전자는 자기력선 상에서 서로 반대방향으로 나선운동을 하며 진행하는데, 이때 자석의 위치구성을 도너츠 형태로 배열하면 자기력선의 진행경로가 간헐지게 돼 그 주위를 회전 운동 하는 플라즈마를 구성하게 된다. 이때 다양한 가열장치를 통해 플라즈마를 가열하고 불안정성을 제어하게 되면 핵융합 반응이 일어날 수 있는 태양의 중심과 같은 환경이 만들어지게 된다.

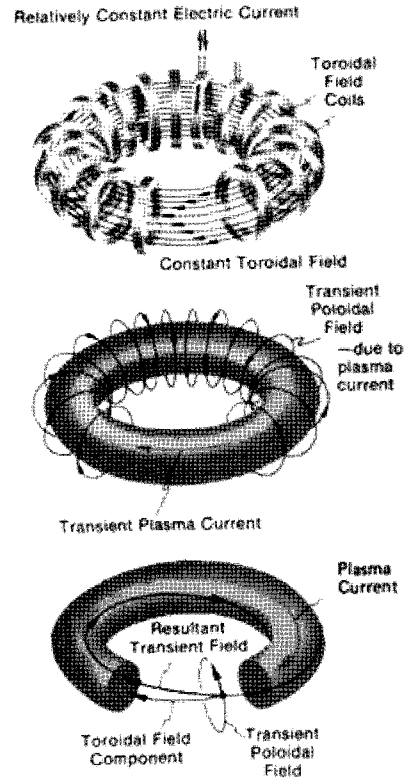


그림 8 토카막 장치의 기본구조

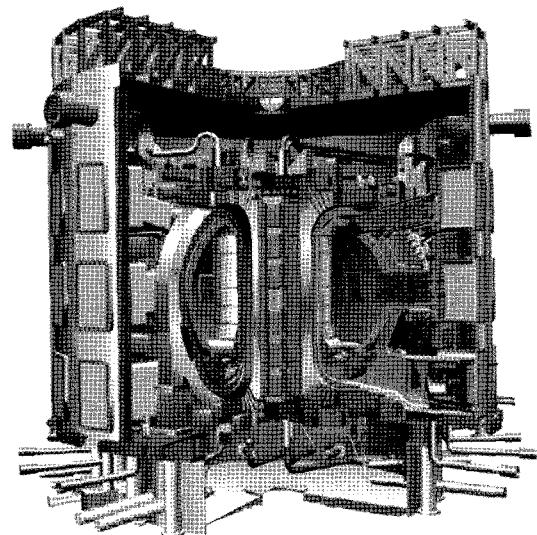


그림 9 프랑스에 건설중인 국제 열핵융합실험로의 초전도자석 코일부 개념도

토카막의 주장치 구조는 플라즈마를 발생시키고 가둬 둘 진공용기, 플라즈마를 구속하는 토로이달(Toroidal) 자석, 플라즈마 진공 용기 내에서 안정적인 상태를 유지하기 위해 제어하기 위한 폴로이달(Poloidal) 자석으로 나누어진다. 또한, 플라즈마 전류를 구동하기 위한 중앙 솔레노이드 코일이 있으며, 진공상태를 유지하기 위한 진공 배기계통과 고온 플

라즈마가 직접 맞는 부분인 플라즈마 인접 부품 및 용기보호 장치가 있다. 종래의 상전도자석을 이용한 토카막 장치는 막대한 전력 손실로 인해 장시간 운전이 불가능했기 때문에, 상용의 핵융합로에서는 전력손실이 거의 없는 초전도자석을 사용해야 한다. KSTAR를 비롯해 근래에 건설되고 있는 핵융합 장치는 필요한 자석 모두 초전도자석으로 만들어 지고 있다.

### 3.3 신물질 합성

플라즈마의 고온과 활발한 화학적 성질은 종래의 방법으로 얻기 어려운 극한 환경을 제공하여 신물질의 합성 등에 응용될 수 있다. 대표적인 예로 인공 다이아몬드를 들 수 있는데, 다이아몬드는 고경도, 높은 열전도율, 넓은 광투과 파장대역, 낮은 유전율, 화학적 안정성 등의 뛰어난 물성 때문에 보석으로 뿐 아니라 반도체디바이스, 전자방출디바이스, 바이오센서, 발광소자 등에 응용되는 공업적으로도 매우 중요한 재료이다. 다이아몬드의 인공적인 합성은 1950년대에 미국의 GE에서 개발한 고온(약1500°C), 고압(약 50,000kgf/cm<sup>2</sup>) 방식이 주로 쓰여져 왔으나, 1980년대 초에 소련에서 메탄가스 플라즈마로부터 저압에서 다이아몬드를 박막 형태로 얻을 수 있다는 것이 밝혀져 이를 이용한 반도체소자, 공구/광학 부품 코팅, Heat Sink, 음향기기 등 새로운 응용 분야가 활발히 개발되고 있다. 그림 10은 일본에서 개발된 기상합성법에 의해서 합성한 대형 다이아몬드 단결정을 나타내고 있다. 고온고압합성법으로 합성된 4×4×0.5mm의 단결정을 시드로 하여 마이크로파 플라즈마 CVD법에 의해서 55시간 성장시킨 결과, 7×7×2.8mm로 되어 1캐럿 상당의 인공다이아몬드를 합성하는데 성공하였다.

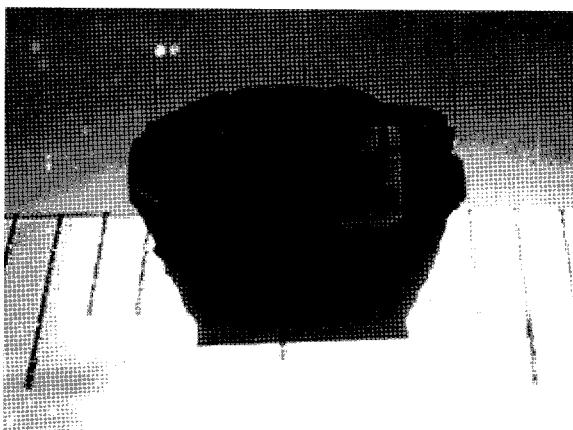


그림 10 인공 다이아몬드 합성

### 3.4 표면처리

플라즈마는 금속이나 고분자의 표면의 성질을 바꾸어 본체와는 다른 물리적, 화학적 성질을 주는데 이용될 수 있다. 또한 공구의 내마모 코팅, 장식용 코팅, 반도체 소자의 제조시 접점에서 확산장벽으로 이용되는 TiN은 Ti의 반응성 이온 플레이팅이나 스퍼터링, PECVD 방법 등을 통해 건식법으로 만들 수 있다. 또한 고분자의 표면을 질소나 산소 플라즈마 등으로 처리하면 고분자의 표면에 친수성이나 소수성을 줄 수 있으며, 금속재료를 질소나 메탄가스 플라즈마와 접촉을 시키며 바이아스를 가하면 표면에 질화나 침탄층이 형성되어 금속의 경도, 내마모성, 내부식성 등을 개선할 수 있다. 플라즈마를 이용한 표면 코팅 및 개질 기술로서 얻을 수 있는 효과 중 일부는 종래의 습식 방법으로도 얻을 수 있으나 환경문제 등을 고려하면 플라즈마를 이용한 건식 방법이 많은 장점을 갖는다 (그림 11, 그림 12 참조)

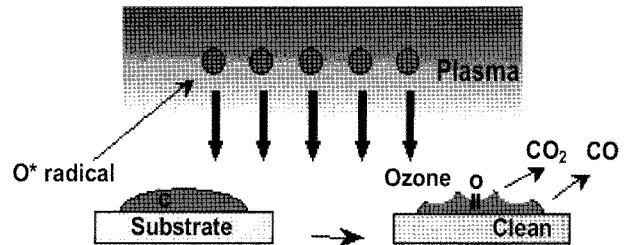
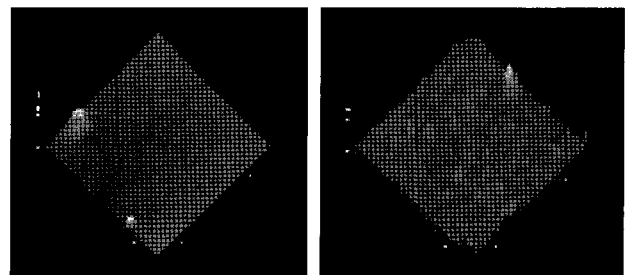


그림 11 플라즈마에 의한 유기물 세정



(a) before

(b) after

그림 12 플라즈마에 의한 수지의 표면개질 효과를 나타내는 AFM 사진

## 4. 결 론

플라즈마의 정의, 원리, 생성방식 및 대표적인 응용사례에 대해서 살펴보았다.

물론, 반도체 프로세스, 바이오산업, 폐기물처리, 공해저감 등 여기서 언급하지 않은 많은 산업분야에 대해서도 플라즈마를 응용한 기술이 활발히 적용되

고 있으며, 기존 기술의 한계를 극복하는데 있어서 플라즈마 기술이 필수불가결하다는 것은 주지의 사실이다. 플라즈마는 또한, 핵융합에 의한 전기에너지 발전이나 오염 억제, 위험한 화학제품의 제거 등 장래에 가능한 응용제품의 기초가 되는 핵심기술이다.

이와 같이 차세대 성장동력 산업기술에서도 플라즈마 기술 수요는 새롭게 창출될 것이며 기술의 응용 분야는 점차 확산될 것이다.

### 참고 문헌

- 1) 연세대학교 나노생산기술 연구센터, "플라즈마", 기술보고서, 2003.
- 2) 배영순, "플라즈마 가열 및 전류구동 기술", 물리학과 첨단기술, pp. 15~20, March, 2008.
- 3) 노태협, "차세대 산업 기술과 플라즈마", 물리학과 첨단기술, pp. 38~41, March, 2008.
- 4) 윤영호, 유경호, "대기압 플라즈마 표면처리 장치", News & Information for Chemical Engineers (NICE), Vol. 25, No. 3, pp. 268~271, 2007.
- 5) H. Itoh et al., "Effect of Surface Modification of Polyester Fabrics", 동경도립산업기술연구소연구보고, No. 5, pp. 105~108, 2002.
- 6) ITER Homepage <http://www.iter.org>
- 7) 엄환섭, "저온 상압 플라즈마와 그 응용", 물리학과 첨단기술, pp. 42~46, May, 2008.

### [저자 소개]

윤소남



E-mail: ysn688@kimm.re.kr

Tel: 042-868-7155

1963년 7월 29일생

1994년 부경대학교 기계공학부 박사 과정 졸업, 1994년 한국기계연구원 입사, 2007년 한국기계연구원 나노기계연구본부 책임연구원/스마트디바이스응용연구팀장, 압전벨브 및 스마트디바이스응용연구에 종사, 유공압시스템학회, 대한기계학회 등의 회원, 공학박사

### [저자 소개]

함영복



E-mail: hyb665@kimm.re.kr

Tel: 042-868-7157

1965년 10월 23일생

1987년 금오공과대학교 기계공학과 학사, 1990년 동 대학원 석사, 2003년 동 대학원 박사, 2004년 동경공업대학 정밀공학연구소, 1990년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 관심 연구분야는 유압 피스톤 펌프 및 모터, 수압 피스톤 펌프, 압전소자 응용 펌프 및 노즐, 대한기계학회, 한국정밀공학회, 유공압시스템학회 회원, 공학박사

### [저자 소개]

박중호(책임저자)



E-mail: jhpark@kimm.re.kr

Tel: 042-868-7607

1968년 6월 19일생

1999년 동경공업대학(Tokyo Institute of Technology) 정밀기계시스템 전공 박사과정 졸업, 1999년 동경공업대학 정밀공학연구소 Assistant Prof., 2004년 한국기계연구원 입사, 2008년 현재 한국기계연구원 나노기계연구본부 선임연구원, 마이크로유체제어시스템, 스마트 액추에이터 및 센서 응용연구에 종사, 한국정밀공학회, 대한기계학회 등의 회원, 공학박사