

세라믹 계통의 고온 초전도체

韓 秉 誠

全北大學校 工大 電氣工學科

I. 역사적 배경

최근들어 세라믹 계통의 초전도체가 우리에게 크게 관심을 끌게 된 것은 87년 Muller연구팀 (스웨덴의 IBM 주리히 연구소)이 이분야 연구 성과로 노벨 물리학상을 받으면서 더욱 가속화 되게 된 때 부터다.

그러나 실제 초전도(super conductivity)현상은 어제 오늘에 발견한 새로운 기술이 아니다. 1911년 홀란드의 물리학자 Kammerlingh Onnes가 수은이 4.3K (-269℃)이하에서부터 전기적 저항이 영에 가깝다 ($\rho=0$)는 특성을 발견하면서부터 알려지게 되었다. 이외에도 초전도체는 반자성적인 성질을 띠며(즉, 자장내에 초전도체를 두었을때 초전도체 내부의 자계 세기는 지수 함수적으로 감소하여 자속 밀도가 영이 된다.), 비열이 비연속적으로 변한다는 성질등을 갖고 있다(일반적으로 금속은 비열이 온도 증가에 따라 연속적으로 증가 한다.).

1973년 게르마늄과 니오븀의 합금이 23.3K에서 초전도체가 되는 것을 발견하게 되면서부터 높은 온

도에서의 초전도 현상의 가능성을 찾게 되었다. 초전도 발전을 크게 뒷받침한 천이 금속의 擬二成分 合金 초전도체는 표 1 과 같다.

표 1. 천이금속의 擬二成分 合金 초전도체

V Ru	Zr Co Ni
V Ru Os	Zr Rh Pd
V Ru Fe	Zr Ir Pt
Ti Ni	Zr Os Ir
Ti Ni Fe	Zr Os Pt
Ti Ni Ru	Zr Co Rh
Ti Ni Os	Zr Ru Pd
Ti Ni Os	Zr Ru Ph
Ti Ni Co	

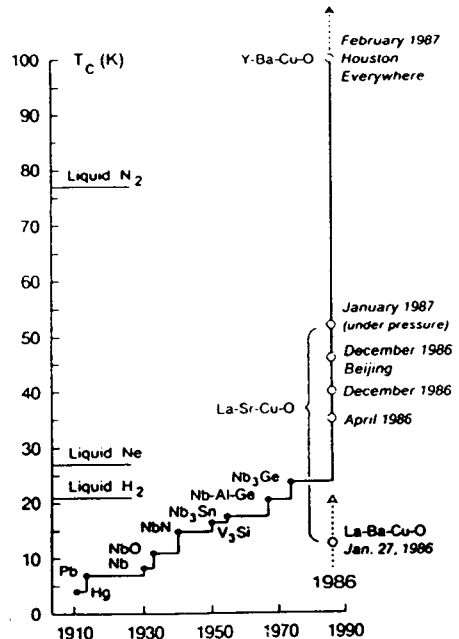


그림 1. 임계온도 측면에서 살펴본 초전도체의 발달사¹⁾

1986年 Ba-La-Cu-O의 세라믹 계통의 물질이 높은 온도에서 초전도 현상을 갖게 됨이 입증되면서 부터 본격적인 연구가 시작되어 임계 온도가 48K까

지 오르게 되었으며 1987년 2월 Chu에 의해 90K에서 가능한 Ba-Y-Cu-O가 발견되었다. 그림 1의 초전도체의 연구 역사와 임계 온도의 증가 상황에서 보아 주듯 86년에 들어서면서부터 임계온도가 높은 세라믹 계통의 초전도체 연구가 급속도로 이루어지고 있다. 연구된 초전도체는 임계전류 및 임계 자계값에 따라 표 2와 표 3처럼 두가지로 분류되어 진다.

표 2. 임계온도에 따른 초전도체의 분류

	Old	New
Ic (theory)	$\leq 10^4$ A/cm ²	$\leq 10^9$ A/cm ²
Ic (real)	$10^4 - 10^7$ A/cm ²	10^8 A/cm ² $1 - 10^2$ A/cm ² (세라믹계통)

표 3. 임계자계(Hc)와 1종 및 2종 초전도체의 임계자계(Hc1, Hc2)

	Hc	Hc1	Hc2
Old	100G/deg.	1-1000	$\leq 6 * 10^5$ Gauss
New	100G/deg.	100-3000	$\leq 2 * 10^6$ Gauss

II. 세라믹계 초전도체

이처럼 고온에서 초전도 현상의 가능성을 갖게된 세라믹계 초전도체는 산화구리와 란타늄, 바륨의 분말을 분말 합성법이나 졸겔법(sol-gel method)에 의해서 합성한 후 산소 분위기 속에서 열처리하여 (LaBaCu₃O₇) 만들어 지거나 이트륨, 바륨, 산화 구리로 합성하거나(Y-Ba-CuO) 또는 BaTiO₃, La(2-x)Sr(x)CuO₄-(x/2)+8 등 다양하게 연구되고 있다.⁽¹⁻⁵⁾ 주로 연구되고 있는 세라믹계 고온 초전도체인 La-Ba-Cu-O와 Y-Ba-CuO, BaTiO₃ 등은 3층으로 된 Perovskite의 결정 구조로 되어 있다(그림2).

많은 광물성 산화물은 하나의 금속 원소를 6개의 산소가 둘러싸고 있는 8면체(octahedra)인 MO₆나 4개의 산소가 둘러싸고 있는 4면체(tetrahedra)MO₄의 형태를 가지며 하나의 결정을 형성하기 위하여 격자점, 결정면 또는 격자변을 서로 공유한다. 실제로 연구되고 있는 산화물 초전도체인 BaTiO₃ (그림 3의 a)은 금속 원소인 Ti(티탄)주위를 여섯개의 산소가 둘러싸고 있으며, 이 구조내에서 Perovskite 덩이

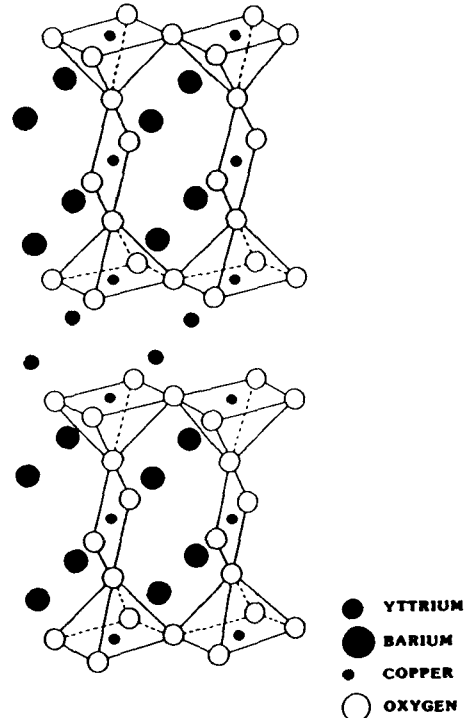


그림 2. YBaCu₃O₇ 세라믹 초전도체의 Perovskite 결정 구조⁽⁷⁾

라고 부르는 큰 구멍을 Ba이 점유하고 있는 형태를 이루고 있다. 이러한 Perovskite 구조를 형성하기 위한 금속 원소는 전위 금속이어야 한다. 전위 금속이란 원자 구조 상태를 볼때 d가에 전자가 있고 f가에 전자가 비어 있는 상태의 금속을 말하며 산소 원소와 이 전위 금속원소가 결합하는 경우 서로 전자를 공유하게 되고 그로 인해 전위금속은 이온화하게 된다. 예로 구리의 경우 산소와 결합하여 두개의 전자를 잃고 Cu²⁺ 또는 하나를 잃고 Cu⁺의 이온화 상태로 된다.

그러면 왜 이러한 산화물들이 초전도체로서 작용하며 또 과연 상온에서도 초전도 현상이 가능할 것인가 하는 중요한 두가지 큰 의문점에 우리는 달하게 되었다. 산화물 안에서 전류를 이동시킬 수 있는 전하의 형성은 전위 금속을 둘러싸고 있는 산소 원소를 제거하여 산소원소가 빈 상태(vacancy)를 만들어 줌으로써 가능하게 되는데, 그림 3의 b처럼 8면체의 결정 구조에서 1개의 산소를 제거하여 피라미드형 또는 두개를 제거하여 4면체 또는 평평한 사각

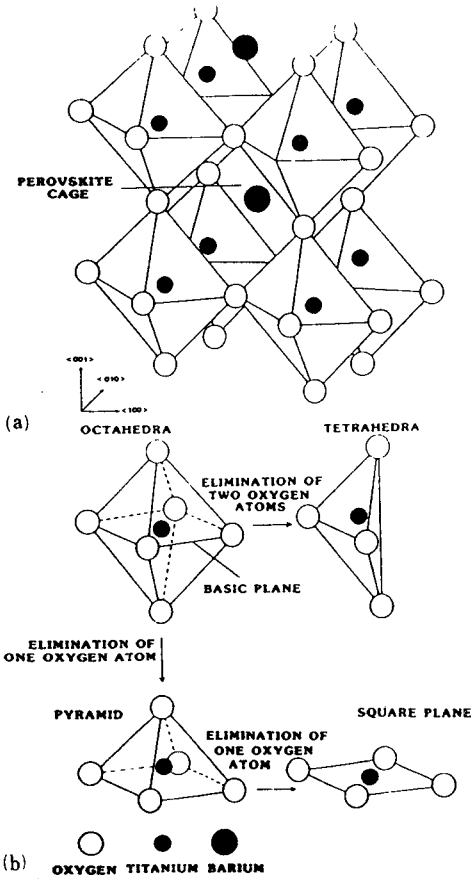


그림 3. Perovskite 결정 구조(a)와 8면체 결정 구조내에서 산소 원소를 제거한 상태(b)⁽⁷⁾

형으로 만들어 주기도 한다. 이러한 산소원소의 변화는 앞에서 말한 분말법이나 졸겔법에 의하여 합성된 절연체를 적당한 산소 분위기 속에서 적정한 열처리를 통하여 이루어지며 절연체가 되는가 초전도체가 되는가 하는 성패의 지름길이 이 섬세한 열처리 과정에 달려 있다 해도 과언이 아니라 생각한다.

III. 문제점과 전망

현재 임계온도가 액체질소 온도(77K)를 넘는 120K(1888)까지 상승하여 산업분야의 응용이 부분적으로 이루어 지려고 하고 있으나 상온에서 사용가능 하도록 임계온도를 높이는 문제가 가장 시급한 연구과제로 되어 있으며 응집력과 신축성이 약한 세라믹을 직경이 가는 전선의 형태로 제작하는 문제점, bobbin의 형태구성 또는 컴퓨터의 IC 회로에 이용하기 위한 수

μ 두께의 얇은 막으로 전자 회로를 구성해야 하는등의 해결해야 할 난문제들이 있다.

이러한 초전도 현상이 상온에서도 실현 가능한 물질이 개발되어 실생활에 응용이 된다면 반도체가 일으킨 혁명에 버금가는 엄청난 변화를 가져오게 될 것이다.


초전도체가 갖는 무손실, 고자성(高磁性), 고감도, 고속, 무접점의 특성은 에너지 운송 및 저장분야, 정보통신, 의료, 우주 및 해양 개발에 응용될 것이다. 에너지 운송면에서 예를 들면, 현재 전력 손실을 줄이기 위하여 저전압 고전류방식을 채택하여 수십만 볼트의 고압으로 발전소에서 가정에 수송하고 있는 시스템에서 초전도체 송전선로를 사용하는 경우 저압송전이 가능하여 위험을 감소시킬 뿐 아니라 최근 크게 대처되고 있는 원자력 발전 시스템에서 최대효율 가동으로 비수요기에 남는 잉여 전력을 초전도체를 사용하여 손실없이 저장하여 수요기에 사용이 가능하게 될 것이다.

집적도가 향상되고 열에 의한 고장이 없는 새로운 IC회로의 개발과 컴퓨터 분야에서 초전도 조셉슨 소자를 이용하는 경우 현재의 컴퓨터보다 100~1,000배 빠른 속도로 계산 가능한 컴퓨터가 개발될 것이고 초전도 코일을 이용한 강력하고 부피가 적으며 전력손실에 의한 열발생이 없는 전자석을 개발 활용함으로써 현재 400km/h의 속도를 능가하는 자기 부상 열차, 자기 구동 선박등의 새로운 운송 수단의 탄생과 고가의 핵자기 공명장치(NMR-CT), 자기 공명장치(MRI-CT)등의 의료가 간편하고 값싸게 대중화 되리라 본다.

SQUID(superconducting quantum interface devices) 등의 감지기 생산으로 해저 석유탐사, 분화구에서 방출되는 파장 검출로 우주 탐색이 더욱더 용이하게 된다.

이처럼 엄청난 파급 효과를 가져오게 될 상온에서의 초전도체 물질의 개발에 대한 연구가 세계적으로 불태 시작 단계에 있고 또한 국내의 축적된 연구 수행 능력이 국제 수준에 버금가는 만큼 좀더 장기적인 안목을 갖고 인력과 경비면에서 많은 투자가 이루어 진다면 반도체 개발에서의 낙후를 만회하고 모방 산업에서 창조 산업으로의 변환과 국제 경쟁력 향상으로 선진 국가로의 부상을 더욱더 가속화 시키리라 기대된다.

參 考 文 獻

- [1] R. Combescot, La Recherche, vol. 18, no. 190 (1987) 954
- [2] H. Takagi, S. Uchida, K. Kitazawa and S. Tanaka, Preprint.
- [3] R. Beyers, G. Lim, E.M. Engler, R.J. Savory, T.M. Shaw, T.R. Dinger, W.J. Gallagher and R.L. Sandstrom, submitted to Appl. Phys. Lett.
- [4] T.G. Frass, E.G. Liniger and D.R. Clarks, submitted to Communication of The American Ceramic Society.
- [5] T. Siergrist, S. Sunshine, D.W. Murphy, R.J. Cava and S.M. Zahurak, Submitted.
- [6] Xie Sishen et al, Submitted to Chinese Phys. Lett.
- [7] C. Michel and B. Raveau, Pour la Science, Nov. (1987) 102
- [8] W.I.F. David et al, Nature, vol. 327 no. 6120 (1987) 310
- [9] Time cover story (1987, 5) 39 

筆 者 紹 介



韓 秉 誠

1951年 12月 22日生

1975年 전북대학교 전기공학과 학사학위 취득

1981年 전북대학교 대학원 전기공학과 석사학위 취득

1985年 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정수료

1988年 프랑스 Louis Pasteur대학 박사학위 취득

1982年 전북대학교 전기공학과 조교

1985年~현재 전북대학교 전기공학과 조교수

1988年 프랑스 CNRS (국립과학연구소) 연구원

주관심분야: 반도체 및 초전도체 등임