

## 초전도모터 적용을 위한 벌크개발

이상현

선문대학교 전자공학과

## Development of Superconducting Bulk for Superconductor Motor

Sang Heon Lee

Department of Electronic Engineering Sunmoon University

**Abstract** - In this article, current state of development of energy storage system using superconductor was summarized. As a result of continuous efforts, high critical current density exceeding  $10^4$  A/cm<sup>2</sup> at 77K and strong levitation capacity have been achieved in Y-Ba-Cu-O superconductor which is fabricated by melting technique. Various applications using the levitation properties of high-Tc superconductor is expected to come true in near future.

## 1. 서 론

1987년에 발견된 산화물 고온 초전도체는 전이온도가 77K 이상으로, 저가인 액체질소를 사용하여 초전도 현상을 유지할 수 있는 특성으로 인해 많은 연구가 진행 되어오고 있다. 고온 초전도체는 높은 외부자장에서 큰 전류를 저항없이 흘릴수있는 전류 통전능력은 산업적으로 큰 비중을 차지하게될 대용량 장치, 예를들어 에너지 저장장치, 초전도를 이용한 송전, 모터 및 발전기등에 응용될수 있다. 최근에는 이들예의 실용화에 필수적인 통전 전류의 증가를 위한 연구가 진행되고 있으며 그 결과 몇몇 분야에서는 벌써 실용화 초기단계에 도달하고 있거나 수 년내에 실용화가 가능해질것으로 예상된다. 그러나, 고온 초전도체를 본격적으로 사용하기 위해서는 휨성, 유연성등의 기계적 특성과, 고 자장에서 높은 임계 전류밀도를 유지할수 있는 초전도성을 동시에 만족시킬 수 있어야 한다. 최근에 개발된 벌크형 고온 초전도체의 경우 액체질소 온도에서 실용화에 필요한  $10^4$  A/cm<sup>2</sup> 이상의 임계전류밀도를 보이고 있다. 응용공정으로 제작된 벌크형 고온 초전도체의 대표적인 응용분야로는 자기 부상 특성을 이용한 무접점 베어링과 에너지 저장을 위한 플라이휠 장치를 들 수 있다. 최근 보고된 바에 의하면 전기전력은 12시간 단위를 기준으로 수요차이가 발생하고 있으며 수요 절정기에는 더욱 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 전력수급의 효율을 가하기 위해서는 저장효율이 우수한 전력저장장치의 개발이 필요함을 의미한다. 이런 관점에서 고온 초전도체를 이용한 플라이휠 장치는 저장에너지의 용량을 자유자재로 조절할 수 있고, 저장에너지 자체가 환경을 파괴하지 않는 깨끗한 에너지라는 점에서 대단히 매력적이다. 또한 최근 산업발달에 의한 전력수요 급증은 대용량, 고효율의 에너지 저장장치의 개발을 더욱 절실히 요구하고 있다. 그러므로 고온초전도체를 이용한 에너지 저장장치의 개발은 기술적인 측면 뿐만아니라 경제적으로도 상당한 잠재력을 지니고 있다. 고온초전도체를 이용한 플라이휠 장치가 가까운 미래에 실용화될 것으로 전망된다. 본 연구에서는 YBCO계 벌크 고온 초전도체의 제조공정에 대하여 설명한다.

## 2. 본 론

고전적인 고상반응법으로 제조된 다결정 초전도체는 여러개의 고각입계를 형성하고 있으며 입계사이에 불순물과 균열등으로 인해 높은 전류를 흘릴수 없는 단점을 지니고 있다. 반면에 Bulk 형의 Y-계 초전도체를 부분 용융시킨 후 서서히 냉각할 경우 초전도 입자들이 일방향으로 배열될뿐 아니라 Y<sub>2</sub> BaCuO<sub>5</sub>와 같은 미세한 결함을 포함하는 큰 결정

으로 성장할 수 있기 때문에 임계 전류밀도를 향상시킬수 있는 장점이 있다. 이러한 용융 방법은 Jim등에 의해 처음 개발되었다. Melt texture growth 공정은 초전도 분말을 포징 반응온도 ( 약 1000 ℃) 이상으로 가열하여 고상의 211과 Ba-Cu-O의 액상으로 부분 용융시킨 후 다시 초전도상이 생성되는 온도로 서서히 냉각시킴으로서 초전도분말을 일방향으로 성장시키는 방법이다. 이 경우 수 mm-cm 크기의 커다란 초전도결정이 성장되며 결정내부에는 211 입자들이 포획된다. 211이여 조성으로 제조된 초전도체는 임계전류밀도가 1T의 자장에서  $10^4$  A/cm<sup>2</sup>이상으로 211이 첨가되지 않은 경우보다 상대적으로 높다. 임계전류의 향상에 대한 211의 역할은 아직 명확하지 않으나, 계면의 자력속박 자리로 작용, 잔류 액상의 제거, 상 전이나 열충격에 의한 미세 균열의 생성 및 전파를 억제하는등 유익한 효과를 준다.

용융공정된 초전도체는 흔히 여러개의 커다란 초전도 결정들로 구성되어 있으며 결정 내에서의 초전도 입자들은 강하게 초전도 결정들로 구성되어 있으며 결정 내에서의 초전도 입자들은 강하게 연결되어 일방향으로 배열되어 있으나 결정사이의 입계Joans에 전류의 흐름을 방해받는다. 결정 크기를 증가시키는 방법으로는 노내에서의 온도 구배를 이용한 방향성 장법과 종자증식법이 사용되고 있다. 종자를 사용하여 입자를 성장시킬 경우 한 곳에서만 초전도 결정의 핵을 생성, 성장시킬수 있을 뿐만아니라 입자의 성장방향을 선택할 수 있는 장점이 있다. 현재 종자로서는 MgO, Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>, SmBa<sub>2</sub> Cu<sub>3</sub> O<sub>y</sub>등이 사용되고 있다. 고온초전도체에 제 2상 입자들을 첨가하게 되면 초전도체 내에 자력속박 자리가 증가되고, 그 결과 고 자장에서 임계전류밀도가 증가한다. 또한 첨가된 2상 입자들은 초전도체의 기계적 특성을 향상시킨다. 가장 널리 사용되고 있는 백금이나 세륨등의 경우 211 핵 생성자리를 증가시키고 액상의 특성을 변화시킴으로서 211상을 미세화 시킨다. 이러한 공정을 통하여 제조된 초전도체는 고 자장에서  $10^4$  A/cm<sup>2</sup> 이상으로 거의 실용화 단계에 접근하고 있다. 고온초전도체에 중성입자를 조사할 경우 미세결함을 증가시킬수 있고 그 결과 자력속박 자리와 임계전류밀도를 향상시킬 수 있다. 초전도체는 내부에 자장이 침투할수 없을 뿐만아니라 초전도체가 되기전에 내부에 침투되어 있던 자장도 밖으로 밀어내는 반자성 특성(마이너스 효과)을 지니고 있다. 고온 초전도체는 외부자장이 1차 임계자장(Hc<sub>1</sub>)보다 낮은 자장에서는 type I 초전도체와 같이 완전 반자성체로 되며, 외부자장이 Hc<sub>1</sub> 이상일 경우, 침투된 자력은 초전도체 내부의 미세결함에 의한 속박 (pinning)으로 인하여 내부자장의 구배가 형성된다.일반적으로 초전도체의 부상력 (levitation force)은 다음과 같이 표시된다.  $F_x = m \times (dH/dz)$  총 magnetic moment(m)은  $m = VAJ_c d$  로 나타낼수 있다. 여기서 V는 초전도상의 부피비, A는 지형인자, J<sub>c</sub>는 임계전류밀도, 그리고 d는 전류 loops의 길이를 나타낸다. 그러므로 고온 초전도체의 자력속박이나 임계 jsfalf도를 증가시킴으로서 자기 부상력을 향상시킬수있다. 또한 입자간의 결속력과 초전도입자를 크게 성장시킴으로서 d를 증가시킬수 있으며 결국 부상력을 증가시킬수있다. 고온초전도체는 강한 이방성을 지니고 있으므로 입자들을 자장

방향에 대해 알맞게 일방향으로 배열 시킴으로써 자기부상력을 향상시킬수 있다. 최근 개선된 용융공정에 의해 제작된 Y계 벌크형 고온 초전도체는 단결정 또는 몇 개의 큰 결정상으로 이루어져 있을 뿐만 아니라, 각 결정상내에서는 입자들이 강하게 결속되어 일방향으로 배열되므로 강한 자기 부상력을 얻을 수 있다.

### 3. 결 론

고온초전도체 플라이휠은 초전도체위에 영구자석을 내장한 원판형물체를 회전시켜 에너지를 저장한 후 저장된 운동 에너지를 다시 전력으로 바꾸는 장치이다. 플라이휠은 크게 3부분으로 나누어져 있는데, 초전도체와 영구자석을 내장한 디스크로 구성되어 있는 베어링, 회전에 의해 운동 에너지를 발생시키는 회전체, 그리고 동력발생 및 회전 속도를 증가시키고 에너지 전환을 위한 모터와 발전기(generator)이다. 이외에도 진공, 냉각, 그리고 제어장치등이 필요하다. 초전도체를 이용하여 에너지를 저장할 경우에는 마찰에 의한 에너지 손실이 거의 없고 임계온도 이하에서 자체자장을 발생함으로써 외부 자장 침투를 억제하는 마이스너(Meissner) 현상 때문에 자기 부상의 안정성(stiffness)이 향상되는 장점이 있다. 현재 실용화되고 있는 영구자석의 반발력을 이용한 베어링은 외부 자장 하에서 자석, 즉 회전자의 안정화를 위하여 특수한 제어장치가 반드시 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Jin, S. et al, Processing and Properties of High-Tc Superconductors, Ch. 11, World Scientific Publishing Co., 1993.
- [2] Hull, J, et al, Revolutionart Bearing Creates Efficient Energy Storage Device, Logos, Vol. 12, no.1, 1994.
- [3] Chen, Q.Y.et al., Hybrid High T c Superconducting Magnetic Bearings for Flywheel Energy Storage System, submitted to J.Appl.Supercond., 1994