

JASTEC의 초전도 제품

히로세 료이치(廣瀨 量一)

Japan Superconductor Technology, Inc.(JASTEC)

1. 서 론

당사의 모회사가 되는 코베(神戸)제강소의 초전도 기술 개발의 역사는 40년전으로 거슬러 올라간다. 1964년 아사다(淺田) 기초연구소가 설립되어 초전도, 초고압, 초고순도 철 등 “초”자로 시작하는 키워드 분야의 연구 개발이 시작되었다.

1978년에는 NbTi계 선재의 제작에 성공하고 처음으로 제품 판매를 시작하였다. 또한, 1979년에는 당사의 모지(門司) 공장에 선재 생산 체제를 정비하고, 현재의 선재 사업의 기초를 확립하였다. 1980년에는 주로 10T이상의 높은 자기장에서 사용되는 Nb₃Sn선재를 개발하기 시작하였다.

1989년에 마그넷 전문 메이커로서 (주)일본 마그넷 기술 (JMT)을 설립하고, 마그넷 제조 기술을 영국 MAGNEX사로부터 도입하여 사업을 시작하였다. 1995년에는 (주)일본전자에 납품하기 위한 NMR 마그넷의 대량생산을 시작하여, 현재의 사업 기틀이 형성되었다. 또한 당시 세계 최고 자장인 600MHz (14.1T)를 상회하는 750MHz (17.6T)의 초전도 마그넷 개발에 MIT와 공동 협력하여 1993년에 750MHz 초전도 마그넷 개발에 성공했다.

2002년에 초전도 선재를 제조하고 있던 전자 재료 부문과 JMT를 일체화하여 일본 유일의 초전도 전문 메이커인 (주)Japan Superconductor Technology (JASTEC)를 설립했다. 이하 당사의 초전도 기술을 소개하고, 최근 개발 성과인 제품에 대해서 소개하고자 한다.

2. 실용 초전도선재의 개발

(1) 고임계전류밀도 Nb₃Sn선재

당사가 제공하는 Nb₃Sn선재 제품은 Bronze법으로 제조되고 있다. Bronze법은

Cu-Sn 합금 (Bronze) 모재 안에 Nb 봉을 다수 배치한 복합체를 얇은 선으로 가공한 후 열처리하여, Nb필라멘트의 표면층에 Nb₃Sn을 생성시키는 방법이다. Bronze법에 의한 Nb₃Sn선재는 Bronze의 Sn농도를 높일수록 Nb₃Sn의 생성량이 증가하며 생성된 Nb₃Sn 결정 입자의 미세화와 Nb₃Sn입자조성의 화학양론 (化學量論) 값의 개선도 이루어지므로, 그 결과 Jc가 향상되는 것으로 알려져 있다. 당사는 10년 동안 고Sn농도 Bronze합금의 이용 기술 확립에 도전하여, 제품으로 제공할 수 있는 Nb₃Sn선재의 Bronze안의 Sn농도를 13mass%에서 16mass%까지 높이는 데 성공했다. 고Sn농도화로 인해 특성이 개선된 Nb₃Sn선재는 후술하는 930MHz(21.9T) NMR 마그넷 개발 등 초전도 마그넷의 고자장화에 크게 기여했다.

2.1 고향복강도 Nb₃Sn선재

한편, 마그넷의 고자장화에 따라 선재에 걸리게 되는 전자기 응력도 대단히 커지게 된다. 일반적인 Nb₃Sn선재의 0.2% 변형에 대한 항복강도는 150 ~ 170MPa정도이며, 이대로는 고자장 마그넷의 구현은 곤란하였다. 당사는 보강재로 Ta이 「냉간 가공성 (冷間加工性)이 뛰어나다」, 「bcc 구조를 가져서 극저온에서 강도가 높다」, 「녹는점 (3263K)이 높아서



그림 1. Ta보강재를 적용한 Nb₃Sn선재의 단면.

Nb₃Sn를 생성하기 위한 열처리를 해도 강도를 유지할 수 있다」 등의 특징을 갖는 것에 주목하여, 선재의 보강재로 Ta를 적용한 고강도 Nb₃Sn선재 (그림 1)를 개발하였다. 이 선재에서는, 11 %의 체적분율의 Ta를 도입하여 4.2K에서 0.2% 변형에 대한 항복강도는 기존 선재의 약 2 배가 되는 305MPa로 향상되었다. 이 선재는 초고자장 NMR 마그넷에 있어서 필수적인 선재가 되었다.

3. 초전도 마그넷에 관한 최근성과

3.1 고자장NMR마그넷

1995년에 독립행정법인 물질·재료 연구기구 (이하 NIMS)의 위탁을 받아 1GHz급 NMR 마그넷을 개발하기 시작하였다. 마그넷에 저장되는 에너지는 약 33MJ이며, 지금까지 개발된 NMR용 마그넷의 최대 에너지보다 4 배 이상이었다. 마그넷의 초전도 상태가 깨져서 저장 에너지를 단시간에 방출할 때에도 마그넷의 안전성을 보장할 수 있는 보호 회로를 설계하기 위한 시뮬레이션 기술을 확립하였다. 또한 초전도 선재의 잠재력을 최대화하기 위해 초전도 마그넷의 운전 온도를 4.2K에서 1.6K 이하로 만들 필요가 있었기 때문에, 극저온 생성 및 제어 기술 개발에도 종사하였다. 이러한 성과가 집약되어 2001년 4월에는 920MHz (21.6T)의 자장 발생에 성공하였고, 그 후 NIMS에 설치하여 단백질 구조 분석을 위한 용액용 NMR 측정장치로 활약하고 있다. 2004년 3월에는 16mass%의 Sn Bronze선재를 사용하여 930MHz (21.9T)의 자장 발생에 성공하였다. 이것은 당시 NMR 마그넷으로는 최고 자장일 뿐만 아니라, 실온 보어를 갖는 영구전류모드 초전도 마그넷에서 발생시킬 수 있는 최대 자장이었다. 그림 2에서는 NIMS에 설치된 초전도 마그넷의 외관을 보여준다.

이러한 고자장화에 따른 마그넷 주변의 누설 자장 증가에 대한 대책이 필요하였다. 따라서, 누설 자장의 감소에 주력하였고 2003년에는 자기 차폐형으로 내경 89mm의 700MHz 마그넷을, 2004년에는 자기 차폐형으로 내경 54mm의 800MHz 마그넷을 개발하였다. 둘 다 실드가 없는 경우에 비해 5 가우스 영역의 체적이 약 70 % 감소되었고, 이로 인해 설치 조건이 크게 완화되고 있다.



그림 2. 930MHz NMR용 초전도 마그넷의 외관.

3.2 무냉매 마그넷

무냉매 마그넷은 냉매를 사용하지 않기 때문에 「핸들링이 쉽다」, 「자유롭게 자장 축을 회전 시킬 수 있다」, 「클린 룸에서의 운전도 쉽다」, 「자장 중심으로의 이동이 용이하다」 등의 특징을 살려, 광(光)물성 측정, 전기화학 반응, 반도체 소자 개발, 배향 제어, 물성측정, 자기공명 자이로트론, 자기 분리, 구조 분석 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 무냉매 마그넷 구성의 개요를 그림 3에서 보여주고 있다.

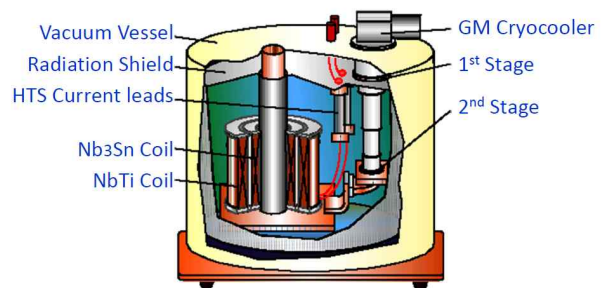


그림 3. Schematic View of a Cryogen-free Superconducting Magnet.

냉동기의 cold head는 2단이며, 1st stage는 외부로부터의 열 복사를 차단하는 열 shield를 냉각하고, 2nd stage는 초전도 마그넷과 연결되어 약 4K까지 마그넷을 냉각하는 구조이다. 고자장화도 진행되어, 2005년에는 무냉매 마그넷의 자장 발생 기록을 경신하여 16.1T 발생에 성공하였고, 15T 170mm 보어 자석도 완성했다. 산업용으로는 2-5T 400-600 mm 보어의 대형 마그넷도 실용화하고 있다.

4. 결 론

초전도 관련 기술은 대체할 기술이 없고, 타 기술에 비해 특색이 풍부한 기술 분야에 속한다. 또한 향후 기술의 확산도 매우 기대된다. 극복해야 할 기술 과제도 많이 있을 것이라 생각되지만, 앞으로도 당사는 고객 제일을 목표로 개발을 진행하여 초전도 분야의 발전에 공헌해 나갈 생각이다.