

스미토모 전공(住友電工)의 초전도연구개발 소개

야마다 유이치(山田 雄一)
 (주)스미토모전공 초전도제품개발부

1. 서 론

Bi계 초전도선재는 실용적인 초전도선재로 상품화된 최초의 고온초전도 선재가 되었다. 특히, 스미토모전기공업주식회사(住友電氣工業株式會社, 이하 스미토모 전공)가 가압 소성 프로세스 (CT-OP®) 를 사용하여 종합적으로 최적화한 **DI-BSCCO** 를 상품화 함으로써 최근 10년간 다양한 형태의 응용제품 개발이 이루어져 왔다.

2. CT-OP와 **DI-BSCCO**

Bi계 초전도 재료는 ab면 방향으로 초전도 전류가 흐르고 c 축에 수직인 면으로 결정이 깨지기 쉬운 벽개성(劈開性, Cleavage)을 가지고 있으므로, Powder-In-Tube법으로 만든 다심 선재를 압연하여 배향하는 방식으로 비교적 쉽게 선재화가 가능하였다. 그러나, 응용 제품의 개발에 있어서는, 성능대비 비용, 장척균일성, 그리고 가압질소 조건에서 Ballooning에 의한 성능 저하 등이 문제점으로 대두되었다. 스미토모 전공은 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위한 제조 공정으로 가압소성법 (Controlled Over-Pressure : CT-OP)을 세계 최초로 양산 선재에 적용하는데 성공하였다.

3. **DI-BSCCO** 초전도선의 현황

가압소성법의 개발에 성공한 이후에도 재료 및 프로세스의 실시함으로써, 임계전류값은 지속적으로 개선되고 있다. Short sample에서는 270A 이상, 장선 제품으로는 200A 이상을 라인업하고 있다. 그 제품 현황을 표 1에 소개한다.

3.1 **DI-BSCCO** Type HT

Type HT는 강도를 갖게 하기 위해, 금속 시스(sheath)를 납땜으로 접합한 선재이다. 이 타입의 경우, 라미네이트 재료는 스테인레스 스틸(Type HT-SS)과 구리 합금 (Type HT-CA) 등 2 종류가 있다.

Type HT-SS의 용도로는 주로 높은 전류 밀도와 높은 강도가 필요한 고자장 마그넷용으로 상정하고 있으며, Type HT-CA의 용도로는 낮은 접합 저항이 필요한 케이블용으로 상정하고 있다. Type HT-CA는 스미토모 전공이 제조한 초전도 케이블과 독일과 러시아의 초전도 케이블 프로젝트에도 사용되고 있다.

또한 초고자장 또는 대형 마그넷 등에서는 Type HT-SS보다 높은 강도를 지닌 선재에 대한 needs가 높아지고 있으므로, 스미토모 전공은 Type HT-XX(가칭)의 개발을 수행하고 있다. 이 선재의 인장응력은 Type HT-SS의 약 2배인 500MPa를 목표로 하고 있으며,

	Type H	Type HT-SS	Type HT-CA	Type ACT-CA	Type G
용도	고임계전류	고강도 (SUS)	고강도 (구리합금)	교류용고강도 (구리합금)	전류리드용 (금은합금)
폭(mm)×두께(mm)	4.3 × 0.23	4.5 × 0.30	4.5 × 0.36	2.8 × 0.31	4.3 × 0.23
임계전류(A)	~200	~200	~200	~70	~200
상온허용인장력*(N)	80	230	280	150	50
77K허용인장력*(MPa)	130	270	250	270	90
상온허용곡률직경*(mm)	70	60	60	40	110

* 임계전류가 95%로 저하되는 레벨

표 1. **DI-BSCCO** 의 제품 현황

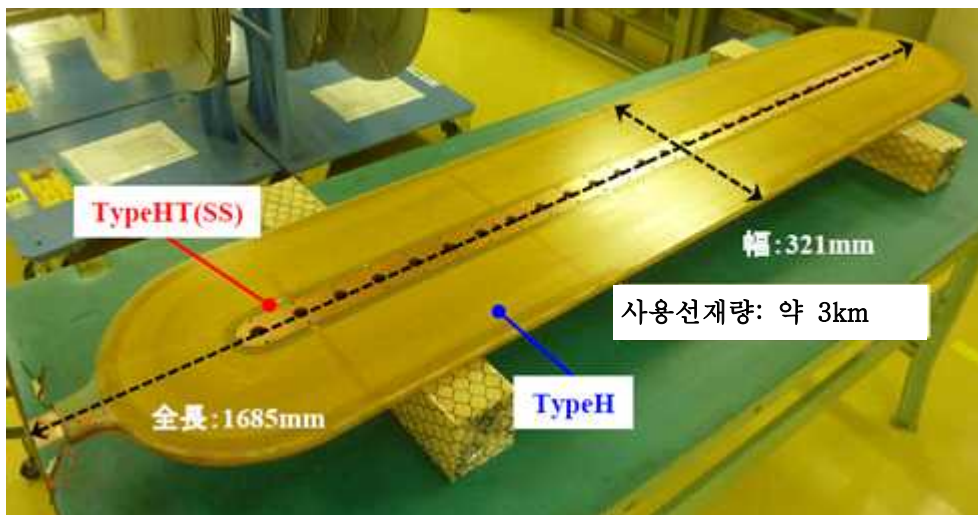


그림 1. 카와사키 중공업의 선박용 초전도코일.

2014년에 상용화를 목표로 하고 있다. 프로토타입 선재에서는 허용 인장력 430MPa, 허용 굽힘직경 40mm(양면) 이상의 성능이 구현되었다.

4. DI-BSCCO 초전도선의 응용기기 현황

4.1 초전도 마그넷

DI-BSCCO는 임계온도가 110K로 높으므로, 액체질소 냉각으로도 안정적인 마그넷 응용이 가능하다.

스미토모 전공에서는 간편한 실험에 사용할 수 있는 최대 1T의 마그넷(액체질소 냉각형)을 제조하고 있다. 예를 들어, NIMS사에 납품한 마그넷은 마그넷 안에 자성체를 배치하여 자성체로 자속이 집중하도록 하여 초전도 선재에 인가되는 수직 자장을 줄임으로써 액체질소 온도에서 1 T를 실현할 수 있었다.

또한, 냉동기를 사용하여 냉매 없이 사용할 수 있는 초전도 마그넷도 개발하였다. 온도 마진이 크기 때문에 빠른 여자(勵磁)와 감자(減磁)가 가능하며, 일본전자계측기사(日本電磁測器)에서 자화특성(B-H curve) 측정장치 용도로 사용되었다. 이 초전도 마그넷은 상온 보어가 100mm로 ±5 Tesla를 1.5 사이클(삼각파 3분+정지 1분)의 교류 여자 패턴을 실현하고 있다.

최근에는 자화특성 측정장치, VSM, 자장중 열처리 등의 용도로 실온 보어 60mm, ± 7 tesla

에서 여자속도 0.2T/초인 마그넷 시스템을 제품화를 하고 있으며, 또한 실온 보어 50mm, ±5 T에서 최고 여자속도 2T/초인 고속 마그넷도 제작 가능하다.

4.2 초전도 마그넷 응용기기-모터

2005년에는 선박용 초전도 모터(액체질소 냉각형)가 스미토모 전공을 포함한 산학 그룹에 의해서 개발되었다. 또한 이 초전도 모터 2 대를 직렬로 연결한 이중 반전 추진 시스템도 시험 제작되었다. 액체질소 냉각형 모터로는 현재까지 400kW의 용량을 가지는 모터가 개발되었다.

이어서, 가스냉각으로는 2013년에 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)의 절전형 에너지혁신기술개발 사업의 지원을 받아 카와사키 중공업이 약 20%의 연비 개선이 가능한 3MW의 초전도 모터를 개발하였다. 여기서는 DI-BSCCO를 레이스트랙형으로 권선한 스미토모 전공의 코일이 사용되었다.

선박용 모터는 해외에서도 개발이 진행되고 있으며, 중국, 인도 등에서도 DI-BSCCO의 채택이 늘어나고 있는 추세이다.

초전도 모터는 대형 선박용뿐만 아니라 전기 자동차용으로도 효율 개선을 목표로 개발 중에 있다. 스미토모 전공은 2008년에 세계 최초로 전기자동차용 proto-type 초전도 모터 제작에 성공하였다. 이 자동차에는 DI-BSCCO 초전도 선을 사용한 계자 코일과 액체 질소 냉각형 초전도 모터를 탑재하고



그림 2. 고온초전도 케이블 실증시험 프로젝트의 케이블(왼쪽)과 단말부(오른쪽).

있다. 2012년에는 냉동기를 탑재한 초전도 전기자동차도 개발되었고, 향후 전기버스용 100kW급 초전도 모터도 실용화를 목표로 하고 있다.

그 외, 자기 분리, NMR, MRI, 입자 편향용 마그넷, 초전도 환류기 등의 응용 기기 개발이 전세계적으로 진행되고 있으며 다양한 분야에서 **DI-BSCCO**가 사용되고 있다.

4.3 초전도 케이블

스미토모 전공은, Bi계 초전도체의 발명 직후부터 전력 케이블에 적용하기 위해 개발을 진행해 왔다. 2007년부터 신에너지·산업기술 종합개발기구 (NEDO)의 지원 아래, 동경전력, 마에카와 제작소와 스미토모 전공의 세 회사가 초전도 케이블의 실용화 개발을 진행해 왔다. 이 프로젝트는 고온초전도케이블/냉각 시스템/운전/보수/감시방법 등을 검토/개발하고, 일본에서는 최초로 동경 전력 관할 내의 실계통에 연계하여, 선로 설계/부설/운영/유지보수 등의 초전도케이블 시스템 전체의 안전성/신뢰성을 평가하는 것이 목적이다.

그림 2 고온초전도 케이블 실증시험 프로젝트의 케이블(왼쪽)과 단말부(오른쪽) 이 초전도케이블은 2012년 10월 29일에 계통 연결 운전을 개시하여 2013년 12월 25일까지 통전이 이루어졌다. 통전 상황은 스미토모 전공의 홈페이지에서 공개되었고, 1년 이상의 운전을 큰 문제없이 성공적으로 종료하였다.

2013년에는 직류 데이터센터의 전원공급용으로 직류 초전도케이블의 실용화 개발이 경제산업성의 지원으로 시작되었다. 이것은 실제 데이터센터를 보유한 사쿠라 인터넷 (주), 츄부대학, 치요다 화공 및 스미토모 전공이 참여하여, 2015년에 케이블 준공을 목표로 개발되고 있다.

5. 결 론

Bi계 초전도 재료가 발견된 것이 벌써 26년, 스미토모 전공은 Bi계 초전도선재인 **DI-BSCCO**를 중심으로, 응용기기의 개발, 그리고 희토류계인 차세대 초전도선재 등의 연구를 진행하여 사회에 공헌 할 수 있는 초전도 기술의 상용화를 목표로 하고 있다.

참고문헌

- [1] 山田雄一 「DI-BSCCO超電導線とその応用」,關西支部40年記念特集
- [2] 住友電工 超電導製品カタログ
- [3] 増田孝人 「超電導ケーブルの實系統實証試験」,關西支部40年記念特集
- [4] 山田雄一 低溫工學・超電導學會 2013年度第4回超電導応用研究會資料