043 다층 고온초전도 선재

초전도연구센터 | 하홍수

○ 본 기술은 연속 접합기술을 이용하여 2층 이상의 다층 고온초전도선재를 제조하는 기술이다. 단위면적당 통전전류를 크게 할 수 있기 때문에 대전류 통전 및 고자기장 발생용 대형 가속기, 고자기장 MRI, 차세대 핵융합장치 등에 활용될 수 있다.
또한 값싼 액체질소로 냉각이 가능한 고성능 초전도전자석을 제작할 수 있어서 경제성을 높일 수 있다.

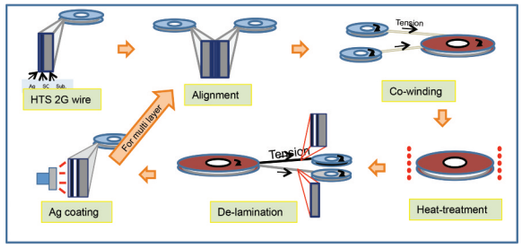
기술개념 및 구성

▣ 기술개념

▶ 본 기술은 단일 초전도층으로 이루어진 고온초전도박막선재를 이용하여 초전도층만 벗겨내어 2층 이상의 초전도층을 가진 다층 고온초전도선재를 제조하여 높은 단위면적당 통전전류 특성을 가진다.

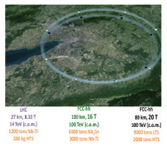
▣ 기술의 구성도

▶ 단일 고온초전도선재를 이용하여 적층 및 확산접합을 통해 다층 고온초전도 박막선재를 제조하는 기술임.

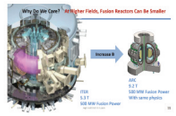


[다층 선재 제조 공정 순서도]

[대형 가속기]



[핵융합 장치]



[다층 고온초전도 선재의 응용분야]

1. 기술 개요

▣ 기술개발의 필요성

▶ 고성능 응용기기 개발을 위해 고온초전도 박막선재는 높은 자기장하 통전특성이 우수하여야 하며 이를 위해 자속고정점 도입, 초전도층 후막화 기술 등을 전세계적으로 개발하고 있으나 아직 상용화가 더딘 상태이다.

▶ 현재 상용화된 고온초전도박막선재는 가격이 고가이면서 냉각비용 또한 저렴하지 않아 상용화의 걸림돌로 작용하고 있다. 액체질소 온도 운전이 가능하면 공기 중에 무한한 질소를 냉매로 사용하므로 인해 냉각비용을 획기적으로 낮추고 장시간 안정적인 운전이 가능해진다.

▶ 현재 고온초전도박막선재 임계전류 특성에 비해 10 배 정도 향상된다면 액체질소온도에서 응용이 가능한 초전도기기 개발이 가능할 것으로 판단된다.

2. 기술 내용

▣ 기술의 특징

▶ 기술의 특장점

- 단면적 증가가 거의 없이 높은 선재전류밀도(Je)를 가진 선재 제조가능
- 값싼 액체질소로 냉각하는 경제적인 초전도전자석 운전이 실현
- 기존 기술로는 제작이 불가능한 초고자기장 MRI/NMR, 가속기, 핵융합 장치의 제작 및 소형 경량화를 이룰 수 있다.

▶ 기술의 상세 규격

- 12mmw. 2층 고온초전도 선재 제조 기술
- 12mmw. 4층 고온초전도 선재 제조 기술

▣ 경쟁기술과 차별성

▶ 국내외 유사 · 경쟁 기술 현황

- 다층 고온초전도선재 기술

국 내	기술명	케이블용 고온초전도선재 기술
	기술 내용	초전도케이블용 저자기장하 높은 임계전류를 가진 고온초전도 선재 제조 기술
국 외	기술명	CORC(conductor on round core)도체 기술
	기술 내용	케이블 타입의 초전도도체 적층 기술로서 느슨한 적층 구조로 인해 굽힘은 용이하나 자기장하에서 선재 변형으로 파손문제가 있음.
	기술명	Roebel 도체 제조 기술
	기술 내용	패터닝을 통해 선재를 지그재그로 만든 후 서로 꼬아서 만드는 집합도체임. 제조시 원소재의 손실이 크고 기계적 강도가 낮다.

▶ 경쟁 기술 대비 우수성

경쟁기술	본 기술의 우수성
대용량 도체 (CORC, Roebel, TSTC) 제조 기술	• 초전도층간 밀착력이 매우 높아서 하나의 도체로 구성된 것과 같아서 기계적 특성이 우수하고 매우 높은 통전전류밀도를 가진다. • 액체질소온도에서도 유효한 고자기장(3~5T)를 발생시킬 수 있는 고온초전도 마그넷 개발에 사용될 수 있다.

3. 기술의 시장성

▣ 기술 응용분야 및 제품

- 고자기장용 대형 마그넷 : 가속기, MRI, NMR, 핵융합 장치, 고자기장 자석
- 액체질소온도 운전 고온초전도 마그넷 : 모터, 발전기, 자기분리기, 유도가열기 등
- 대전류 통전 도체 : 도금용 버스바, 테이터센터 버스바, 디가우싱 케이블

[NMR]

[산업용 모터]

▣ 시장이슈

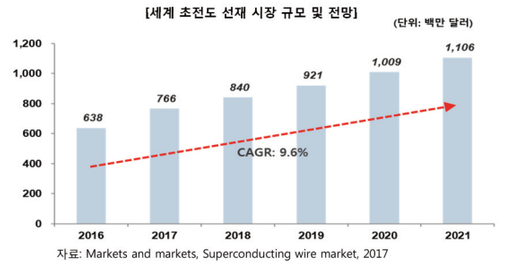
- 초전도 선재는 기존 구리선으로 대체할 수 없는 바이오 분야, 초전도 에너지 저장 시스템, 거대 과학 분야, 우주 수송기기 등 적용 분야가 다양함에 따라 향후 관련 시장의 성장이 예측됨
- 초전도 선재 업체는 American Superconductor Corporation (미국), Bruker Corporation (미국), Furukawa Electric Co., Ltd. (일본), Fujikura Ltd. (일본) 및 Superconductor Technologies Inc. (미국) 등이 시장을 선도하고 있음

▣ Supply chain

- 본 기술은 다층 고온 초전도 선재 기술로, △가속기, MRI, 핵융합 장치 등 고자기장용 대형 마그넷 △모터, 발전기 등 고온초전도 마그넷 △도금용 버스바, 디가우싱 케이블 등 대전류 통전 도체에 적용이 가능함

▣ 수요전망

- 세계 초전도 선재 시장은 초전도체 기반 MRI, NMR 시스템에 대한 수요 증가, 컴퓨터 칩 설계 기술 발전 등이 시장을 이끄는 주요 요인임
- 세계 초전도 선재 시장은 2016년에 6.3억 달러의 시장규모에서 연평균 9.6%로 성장하여, 2021년에 11억 달러의 시장이 형성될 것으로 전망됨



자료: Markets and markets, Superconducting wire market, 2017

4. 주요 연구성과

▣ 특허 출원 및 등록 현황

구분	특허명	국가	번호	년도
출원	초전도층이 적층된 고온초전도선재 및 그 제조 방법	한국	10-2018-0041360	2018
출원	초전도층이 적층된 고온초전도선재 및 그 제조 방법	국외	PCT/KR2019/003127	2019

▣ 기술의 완성도

▶ TRL 4 수준의 기술완성도 단계 : 실험실규모의 소재/부품/시스템 핵심성능 평가

▶ 개발 기술 범위 : 통전전류밀도 3kA/mm²인 100m급 다층 고온초전도 선재 개발

- 연속초전도층 분리 및 적층기술 개발
- 선재전류밀도 3,000A/mm2(@77K, sf.)인 다층(6층 이상) 고온초전도박막선재 개발
- 다층 고온초전도박막선재를 이용한 질소 냉각 고온초전도 코일(3T@65K) 제작 및 특성 평가

▶ 기술개발 완료 시기

- 2021년 12월 : 선재전류밀도 3,000A/mm²(@77K, sf.)인 다층(6층 이상) 고온초전도박막선재 개발

5. 기대 효과

▣ 기술 도입 효과

▶ 경제적인 효과

- 현재 상용화 또는 상용화가 기대되는 고온초전도 코일은 모두 냉동기 냉각(20~40K) 또는 액체 헬륨(4.2K)에서 운전되므로 인해 본 기술 적용(액체질소 냉각시) 냉각비용을 1/5~1/10 로 낮춤.
- 현재 상용화된 초전도선재기술로는 개발이 어려워 미래 기술로 예측하고 있는 핵융합 및 거대 가속기 등에 적용가능하여 개발 시기를 앞당길 수 있다.

▣ 기술 · 산업적 파급 효과

▶ 기술적 파급 효과

- 본 기술은 액체질소 온도에서 운전 가능한 고온초전도 코일 개발이 가능해지므로 고온초전도 코일 응용기기 개발 가능
- 현재 MRI, NMR 등 대형 고자장 분야에 적용되고 있는 저온초전도선재를 대체할 수 있음.
- 액체질소 온도에서 대전류 통전이 가능하게 되어 고밀도 초경량 초전도 케이블, 선박용 디가우싱 케이블 적용이 가능하고 인터넷데이터센터나 대형 도금장치 등에 사용되는 대용량부스바의 도체로 사용이 가능하다.

[R&R : 2-2-2]