

μ SMES용 초전도도체의 회복전류 특성

김해중, 성기철, 조전욱, 이언용, 권영길, 류강식, 류경우*
한국전기연구소, 전남대학교*

Recovery Current Characteristics of the SC conductor for a μ SMES

H.J. Kim, K.C. Seong, J.W. Cho, E.Y. Lee, Y.K. Kwon, K.S. Ryu, K. Ryu*
KERI, Chunnam National Univ.*

Abstract - We are developing a small-sized superconducting magnetic energy storage (μ SMES) magnet with the storage capacity of a few megajoules, which provides electric power with high quality to sensitive electric loads. As the earlier step of the fabrication of the μ SMES magnet, this paper describes recovery current experimental results of a kA class superconductor. Recovery current of a superconductor was tested in two points of copper ratio and cooling effect.

터용 선트로써는 10 A/50 mV를 각각 사용하였다.

1. 서 론

민감한 부하에 고품질의 전력을 공급하기 위한 목적으로 저장용량이 수 MJ인 초전도자기에너지저장(이하 μ SMES) System을 개발하고 있다[1][2]. 따라서 본 논문에서는 안정성 및 신뢰성이 우수한 마그네트 제작을 위한 전 단계로써 μ SMES용 마그네트의 후보 도체로 선정된 kA급 초전도도체에 대한 회복전류[3] 시험결과에 대해 나타내고 있다.

따라서 본 논문에서는 외부자장의 변화에 따라 동비와 냉각조건을 달리 했을 때의 회복전류 특성 및 동비에 따른 회복전류밀도의 특성실험 결과에 대해 검토를 하였다.

2. 실 험

초전도도체의 안정성 실험을 위해서 Alstom-9본 도체 및 Alstom-30본 도체의 초전도선 즉 직경 1 mm, 조성이 NbTi/CuNi/Cu = 1/1/5로써 안정성에 매우 영향을 미치는 동비가 큰 초전도선과 직경 0.65 mm, 조성이 NbTi/Cu = 1/1.8로써 동비가 작은 2 종류의 초전도선을 선정하여 이들 각각의 동비가 상이한 초전도선에 대해 동비와 마찬가지로 안정성에 중요하게 영향을 미치는 냉각의 효과를 실험적으로 평가하기 위해 다음과 같은 3 종류의 냉각이 상이한 샘플을 준비하였다. 첫째 절연 샘플의 경우는 폭 5 mm, 두께 25 μm인 Kapton 테이프를 50% 이상 겹치도록 초전도선 주위에 권선하였고, 부분절연 샘플의 경우는 폭 10 mm, 두께 25 μm인 Kapton테이프를 사용하여 초전도선의 축 방향으로 약 13 mm를 절연한 다음 약 13 mm는 액체헬륨과 잘 접촉되도록 나선(bare wire)의 상태 그대로 두었고, 비절연 샘플의 경우는 Kapton테이프를 전혀 입하지 않고 나선의 상태 그대로 실험용 보빈(bobbin)에 권선하여 실험샘플을 준비하였다.

그림 1은 실험장치의 개략도로써 샘플용 전원으로서는 EMS1000 A를, 샘플용 선트로써는 300 A/50 mV를, 배경자석용 전원으로서는 EMSII 500A를 각각 사용하였으며 배경자석의 상수는 0.031 T/A이었다. 그리고 히터용 전원으로서는 DW-050 A로써 펄스 폭의 최소 값은 1 ms, 출력전류의 분해능이 0.1 A이었으며 히

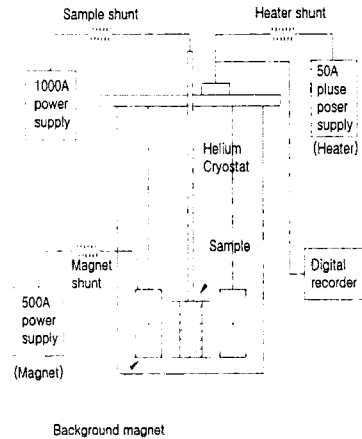


그림 1. 실험장치의 개략도

3. 실험결과 및 검토

그림 2와 3에서는 액체헬륨 온도에서 측정된 저동비의 Alstom-30본 및 고동비의 Alstom-9본 초전도선에 대해 냉각조건을 달리했을 때 측정된 회복전류를 나타내었다. 그림에서 ●는 비절연 샘플에 대한 실험 결과를, ○는 부분절연 샘플에 대한 실험 결과를 그리고 ▼는 절연 샘플에 대한 실험 결과를 각각 나타내었다.

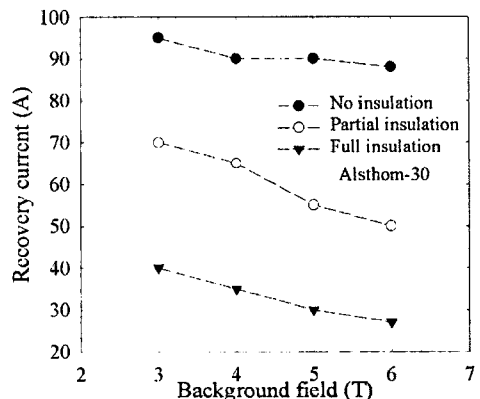


그림 2. Alstom-30본 도체 냉각조건에 따른 회복전류

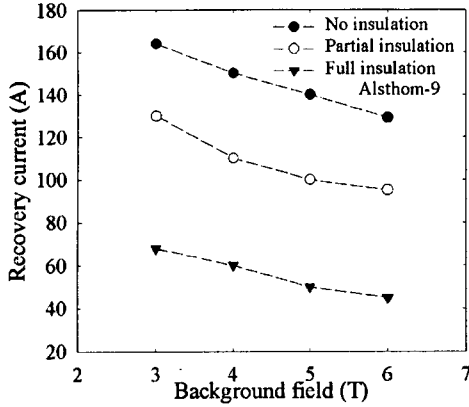


그림 3. Alsthom-9본 도체 냉각조건에 따른 회복전류

그림 2와 3으로부터 초전도도체의 동비 및 냉각조건에 따른 회복전류는 외부자장이 증가함에 따라 감소한다는 사실과 초전도도체의 회복전류는 동비에 관계없이 냉각에 대단히 의존함 즉 동비에 관계없이 비절연 샘플의 경우를 기준으로 했을 때 냉각이 나빠짐에 따라 약 40% 정도까지 회복전류가 감소됨을 알 수 있다. 따라서 초전도도체를 응용한 시스템에서는 도체의 냉각을 얼마만큼 잘 하느냐에 따라서 동일한 도체를 사용한다 할지라도 시스템의 성능은 대단히 상이함을 의미한다.

그림 4와 5에서는 액체헬륨 온도에서 측정된 Alsthom-30본 및 Alsthom-9본 초전도선에 대해 동일한 냉각상태 즉 비절연 또는 절연 상태에서 회복전류를 각각의 외부자장에 대응하는 임계전류로 정규화시킨 회복전류를 나타내었다. 그림에서 ●는 고동비인 Alsthom-9본 도체의 초전도선에 대한 실험 결과를, ○는 저동비인 Alsthom-30본 도체의 초전도선에 대한 실험 결과를 각각 나타내었다.

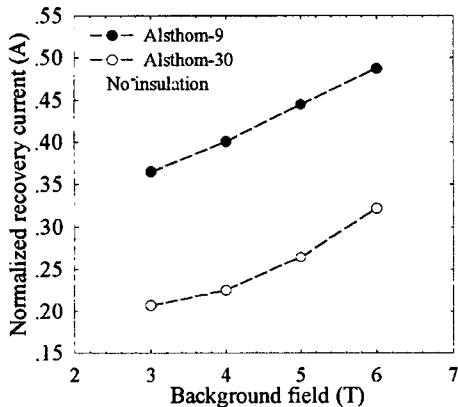


그림 4. 동비 및 비냉각에 따른 회복전류

그림 4와 5로부터 정규화된 초전도도체의 회복전류는 냉각상태에 관계없이 동비가 증가함에 따라 증가 즉 동비가 증가함에 따라서 회복전류는 점점 증가하여 임계전류에 가까워짐을 알 수 있으며 이는 동비가 커질수록 초전도도체의 성능을 충분히 활용할 수 있음을 의미한다. 그러나 그림 3과 4의 결과에서 모두가 동비가 5로 대단히 큰 초전도도체의 경우라 할지라도 초전도도체의 성능이라 할 수 있는 임계전류의 약 50%에도 회복전류가 미치지 못함을 알 수 있다.

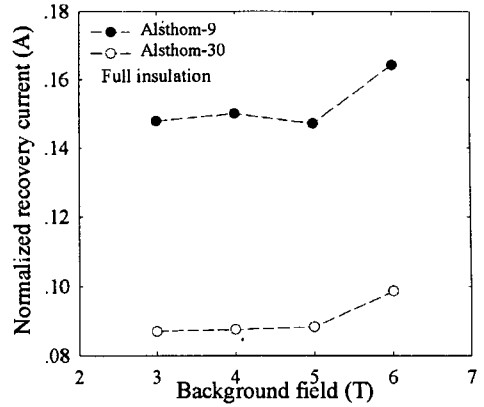


그림 5. 동비 및 냉각에 따른 회복전류

따라서 과도한 동비의 초전도도체를 선정하여 초전도 응용시스템을 제작할 경우 초전도도체의 성능향상 효과보다 시스템의 크기가 과도하게 커지고 따라서 응용시스템을 냉각시키는데 불리한 것 만 초래할 수도 있기 때문에 최적의 초전도도체 선정에 특히 주의를 해야한다.

그림 6과 7에는 액체헬륨 온도에서 측정된 Alsthom-30본 및 Alsthom-9본 초전도선에 대해 동일한 냉각상태 즉 비절연 또는 절연 상태에서 회복전류 밀도를 나타내었다. 그림에서 ●는 저동비인 Alsthom-30본 도체의 초전도선에 대한 실험 결과를, ○는 고동비인 Alsthom-9본 도체의 초전도선에 대한 실험 결과를 각각 나타내었다. 그림으로부터 초전도선의 회복전류 밀도는 동비가 작을수록 증가 즉 동비가 작아짐에 따라 응용시스템의 사이즈도 점점 작아짐을 알 수 있다. 또한 외부자장이 커질수록 초전도도체의 회복전류 밀도는 감소하며 이는 외부자장이 커짐에 따라 응용시스템의 사이즈는 역으로 커짐을 의미한다.

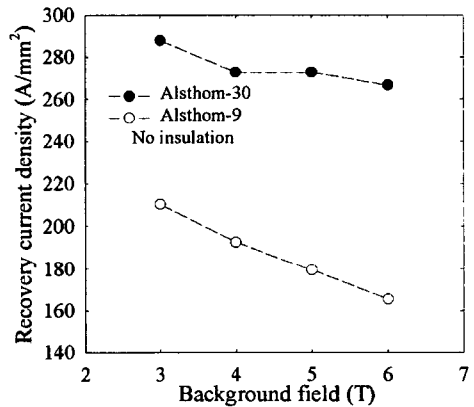


그림 6. 동비 및 비냉각에 따른 회복전류 밀도

이상의 초전도도체에 대한 안정성 실험결과로부터 최적 초전도도체의 선정은 순수 초전도체 즉 NbTi의 가격이 문제되지 않는다면 동비가 낮은 초전도선 쪽을 선정하여 주어진 제약조건을 만족시키는 범위 내에서 가능한 한 운전자장이 작게 되도록 초전도 응용시스템을 설계·제작하고 특히 제작 시 도체의 냉각이 잘 되도록 제작할수록 초전도 응용시스템은 소형·경량화가 가능해져 시스템의 제작비용뿐만 아니라 냉각비용을 포함한 시스템의 유지비용의 저감 효과를 얻을 수 있다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부에서 시행한 민군겸용기술 개발사업으로 수행한 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] A.K.Kalafala et. al., Micro Superconducting Magnetic Energy Storage(SMES) System for Protection of Critical Industrial & Military Load, IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 32, No. 4, July 1996.
- [2] M.Kyoto et. al., Experimental Results of a Modified D Shaped Toroidal Coil for 1kWh/1MW Experimental SMES System, ISS '96, 1996.
- [3] Lawrence Dresner, Stability of Superconductors, New York and London:Plenum Press, pp. 53-82, 1995.

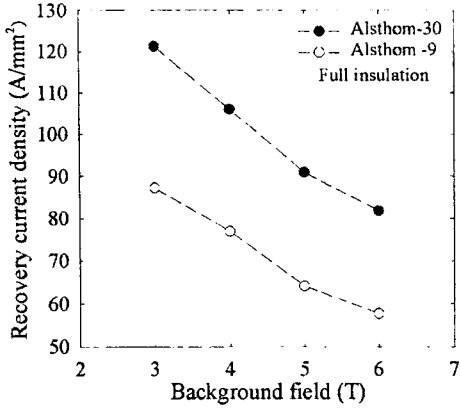


그림 7. 동비 및 냉각에 따른 회복전류 밀도

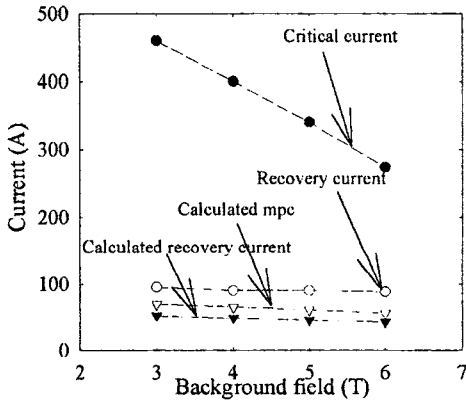


그림 8. Alstom-30본 도체의 임계전류 및 회복전류

그림 8에는 액체헬륨 온도에서 비절연 Alstom-30 본 초전도선에 대해 측정된 회복전류 및 임계전류를 나타내었다. 그림에서 ●는 임계전류를, ○는 측정된 회복전류를, ▽는 계산된 최소전파전류를 그리고 ▼는 계산된 회복전류를 각각 나타내었다. 그림 8로부터 초전도도체의 측정된 회복전류는 계산된 최소전파전류 및 회복전류보다 큼을 알 수 있다.

4. 결 론

수 MJ의 에너지저장 용량을 갖는 μ SMES용 마그네트 개발의 전 단계 연구로서 동비 및 냉각조건에 따른 초전도도체의 회복전류 특성실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 초전도선의 회복전류는 외부자장이 증가함에 따라 감소한다.
- 2) 초전도선의 회복전류는 동비에 관계없이 냉각에 대단히 의존한다. 즉 비절연 초전도선의 경우를 기준으로 했을 때 냉각이 나빠짐에 따라 약 60% 정도까지 회복전류의 열화가 발생된다.
- 3) 임계전류로 정규화된 회복전류는 동비가 증가함에 따라 증가한다. 즉 동비가 증가함에 따라서 회복전류는 점점 증가하여 임계전류에 가까워진다.
- 4) 초전도선의 회복전류밀도는 동비가 증가함에 따라 감소한다. 즉 동비가 증가함에 따라 코일의 사이즈는 점점 증가함을 의미한다.