

고온초전도 선재의 극저온 열전도도 측정 및 특성평가

김정호, 장석현, 김규태, 주진호, 나완수*, 강형구**, 고태국**
성균관대학교 금속재료공학부, 전기전자컴퓨터공학부*, 연세대학교 전기전자공학과**

Evaluation of thermal conductivity for High temperature superconductor tape at low temperature

Jung Ho Kim, Seok Hern Jang, Kyu Tae Kim, Jinho Joo, Wansoo Nah*,
Hyoungku Kang**, and Tae Kuk Ko**
School of Metallurgical and Materials Engineering,
School of Electrical and Computer Engineering**, SungKyunKwan University.
Department of Electrical and Electronic Engineering**, Yonsei University.

dune7414@mail.skku.ac.kr, Jinho@skku.ac.kr

Abstract - The thermal conductivity of Ag and Ag alloys at low temperature (10~110 K) were evaluated by direct measurement technique. It was observed that thermal conductivity decreased with increasing the content of alloying elements such as Mg and Cu. Thermal conductivity of pure Ag tape at 20 K was measured to be 2794 W/m·K. On the other hand, the corresponding values of Ag/Al tape and Ag/Al/sus315L tape were 1235 and 352 W/m·K, respectively, indicating 2 to 8 times lower than that of pure Ag tape.

다양한 형태와 길이로 제조 할 수 있는 장점이 있다. 또한 임계전류값이 적층한 선재의 수에 의해 용이하게 조절할 수 있어 고온초전도 전류도입선으로 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 피복 재료로 사용되는 Ag의 열전도도가 높아 냉매제 소모를 촉진하므로 최근에는 Ag 합금을 이용하여 만든 선재를 전류도입선에 적용시키고 있다.

본 연구에서는 한류기에 요구되는 안전성을 확보하기 위해 이 시스템에 사용될 ASC 사의 Ag 합금 선재의 열전도도 특성을 평가하였으며 신뢰성 확보를 위해 Ag 선재와 Ag sheet의 열전도도 특성도 함께 평가하였다.

1. 서 론

초전도 재료는 완전전도성(zero resistance), 완전반자성(meissner effect), 조셉슨 효과(josephon effect) 등의 우수한 성질 때문에 에너지 손실이 낮은 고효율의 다양한 전력기기에 응용될 수 있다. 이러한 초전도 응용기기들을 가동하기 위해서는 종류 및 용도에 따라 수백에서 수만 암페어의 전류를 공급하여 주어야 한다. 특히, 한류기 같은 초전도 응용 기기에 사용되는 전류도입선은 상온의 전원 발생 장치로부터 극저온부에 위치하는 초전도 마그네트로 전원을 공급하는데 사용된다. 이때 전류도입선은 저온조로 열 침입을 유도하여 냉매제 소모의 중요한 원인이 되었다. 따라서 낮은 열전도도와 높은 전기전도도를 갖는 고온 초전도 재료를 적층형태의 전류도입선으로 사용하면 금속계 전류도입선에 비해 열손실을 줄일 수 있는 것으로 보고되고 있다.

적층형태의 전류도입선은 벌크 형태와 달리 기계적 특성과 퀀치에 대한 안전성이 우수하고

2. 본 론

2.1 실험방법

일반적으로 열전도도 측정은 전도 냉각을 이용한 직접 측정방식과 밀도, 비열, 열확산도를 이용하여 계산하는 간접 측정방식이 사용된다. 본 연구에서는 정밀도가 상대적으로 더 우수한 thermal integral 방법을 이용한 직접 측정법으로 Ag 및 Ag 합금 선재의 열전도도를 측정하였다[1]. 이 측정방법은 냉동기 또는 극저온 용기 내 샘플홀더에 시편을 부착시킨 후 히터를 이용하여 온도를 가변 시키면서 정상상태에서 열전도도를 측정하는 방법이다.

그림 1은 열전도도를 측정하기 위한 샘플홀더의 개략도 이다. 그림에서와 같이 측정 샘플을 구리홀더에 먼저 부착시킨 후 다른 한쪽 끝에 히터를 부착시켜 온도 구배를 유도하였다. 온도측정은 정확도가 ± 0.05 인 실리콘다이오드(Cu-type, Lake Shore)를 사용하였으며, 정상상태가 되도록 온도구배는 일정시간 유지된 후에 10-100 K의 영역에서 약 20개의 온도범위로 나누어 측정하였다.

시편의 부착은 스타이캐스트를 사용하여 부착

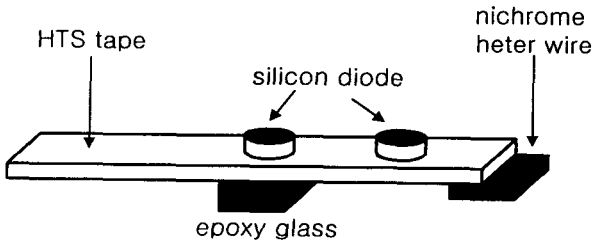


Fig. 1. Schematic diagram of HTS tape, diodes, heater and epoxy glass

하였으며, 히터에서 발생된 열이 전량 시편으로 전달되도록 챔버를 10^{-6} torr의 진공도로 유지시켰다. 또한 히터와 샘플홀더 사이에 에폭시 글라스를 사용하여 샘플 홀더 쪽으로 열전달을 차단하고자 하였다. 온도 측정에 사용된 2 개의 실리콘 다이오드는 정확한 온도를 측정하기 위해 보정하여 사용하였다.

열전도도 계산은 아래의 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$Q = \frac{A}{L} \int_{T_0}^{T_1} k dT \quad (1)$$

식 (1)에서 Q 는 시편에 가해진 열량(W), A 는 시편의 단면적(m^2), L 은 시편의 길이(m), k 는 시편의 열전도도($W/m \cdot K$)를 나타낸다. 히터에 가해진 열량은 히터에 사용된 전류값과 전압값을 평균적으로 측정하여 계산하였다.

2.2 결과 및 고찰

그림 2는 순수한 Ag와 Ag 선재(37심)의 열전도도를 thermal integral 방법으로 측정하여 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 순수한 Ag sheet의 열전도도 값은 77 K에서 $532 W/m \cdot K$ 로 측정되었으며 극저온 영역으로 온도가 낮아짐에 따라 열전도도는 서서히 증가하여 20 K 부근에서는 $4376 W/m \cdot K$ 로 최대값을 보였으며, 이후 다시 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 일반적인 순수한 금속에서 관찰되는 거동과 일치하며, 이와 같이 극저온 온도에서 포물선형으로 열전도도가 높아지는 현상은 phonon 효과에 기인하는 것으로 판단된다[3]. 또한 Ag와 Ag 선재의 열전도도값이 거의 유사하게 나타남을 알 수 있는데 이는 세라믹 재료인 BSCCO 보다 Ag 금속의 열전도도가 상대적으로 매우 높기 때문인 것으로 사료된다.

표 1은 ASC tape 표면의 EDX 분석을 보여주고 있다. 분석결과 이 선재의 합금조성은 87.9 Wt.%의 Ag, 6.64 Wt.%의 Mg, 5.46 Wt.%의 Cu로 구성되어 있으며 또한 열처리시 사용된 Al_2O_3 가 표면에서 관찰되었다. 선재 표면에서 관찰된 Al_2O_3 는 장선의 열처리시 선재 간의 접합현상을 없애기 위해 사용된 것으로 사료된다.

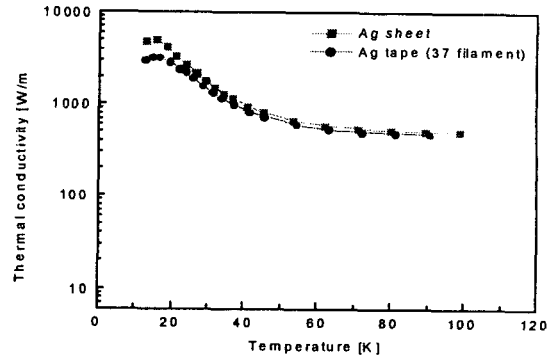


Fig. 2. Thermal conductivity of Ag sheet and Ag tape from 10 to 110 K measured by direct method

Table 1. The EDX analyses of the ASC tape surface.

Elem	Net	Wt%	At%	Error%
CuL	10.94	5.46	7.31	7.59
MgK	39.47	6.64	23.28	3.14
AgL	240.21	87.90	69.41	1.11
Total		100.00	100.00	

그림 3은 한류기의 마그네트와 전류도입선에 사용될 ASC사의 Ag/Al(non-reinforced)선재와 Ag/Al/sus315L(reinforced)선재의 열전도도를 측정된 그림이다. 그림에서 보면 한류기 운행온도 영역인 20~77 K에서 대체로 $1000 W/m \cdot K$ 미만의 값을 보이며, 순수한 Ag 선재의 열전도도와 비교하면 상대적으로 약 3-10배 정도 더 낮은 값을 알 수 있다. 이러한 이유는 Ag 합금선재에서 이종원소의 존재로 인해 부분적으로 phonon의 평균자유행로가 감소되는 현상과 연관이 있는 것으로 사료된다.

Ag/Al/sus315L(reinforced)선재의 경우에는 Ag/Al(non-reinforced)선재에 비해 20~77 K 온도영역에서 약 1/2 정도의 더 낮은 열전도도 값을 보이고 있다. 이는 Ag/Al/sus315L 선재의 경우 피복재료 표면에 기계적 강도를 향상시키기 위해 부착한 sus315L 재료가 더 낮은 열전도도 값을 가지고 있기 때문으로 사료된다. 열전도도 측정 특성만을 고려한다면 Ag/Al/sus315L 선재를 사용하였을 경우 저온부의 열침입량이 상대적으로 적을 것으로 사료된다.

3. 결 론

순수한 Ag 선재와 ASC사에서 제조된 2 종류의 선재에 대한 10~110 K 온도영역에서 열

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참고 문헌]

- [1] 박형상, 지봉기, 김중석, 임준형, 주진호, 나완수, 유재무, 이상현, “고온초전도 선재용 피복합금의 열전도도 측정 및 특성평가”, 한국전기전자재료학회, 13권 8호, 711-717, 2000
- [2] H.S.Park, B. J. Ki, J. H. Lim, S. S. Jung, W. Nah, J. Yoo, J. Ko, H. Kim, “Characterization of the thermal conductivity and mechanical propertiew of sheath alloy materials for Bi-2223 superconductor tapes”, 11, 1, 3277-3280, 2001
- [3] M. Matsukawa, K. Iwasaki, K. Noto, T. Sasaki, N. Kobayashi, K. Yoshida, K. Zikihara and M. Ishihara, “Thermal conductivity of the c-axis aligned (Bi,Pb)2Sr2Ca2Cu3Oy in the superconducting and mixed”, Cryogenics, 37, 5, 255-267, 1997

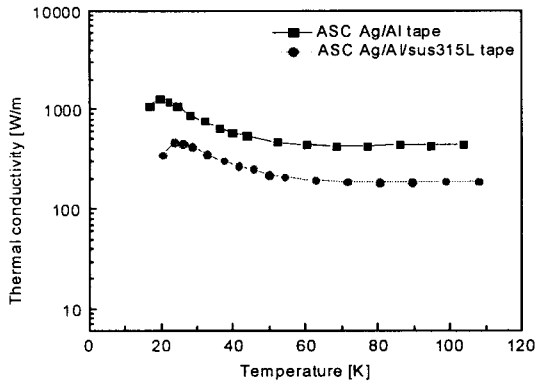


Fig. 3. Thermal conductivity of Ag/Al tape and Ag/Al/sus315L tape made by ASC

전도도를 측정하였다. ASC에서 제조된 2 종류의 합금선재의 경우 열전도도는 20-77 K에서 대체로 1000 W/m·K 미만의 값을 보이며, 순수한 Ag 선재에 비해 약 1/2~1/8 정도로 낮게 측정되었다. Ag 합금의 열전도도는 합금원소가 첨가됨에 따라 급격히 감소하며 이러한 낮은 열전도도 특성을 갖는 선재를 전류도입선으로 사용한다면 저온부의 열침입량이 적을 것으로 사료된다.