

Al/Cu 복합도체 제조 및 전기적 특성 평가

심기덕, 조전욱, 배준한, 정원모*, 신덕수*
한국전기연구원, 영일특수금속*

Fabrication and Electrical Evaluation of Al/Cu Composite Conductor

Ki-Deok Sim, Jeon-Wook Cho, Jun-Han Bae Won-Mo Jung* and Deok-Su Sin*
KERI, Young Il Special Metal Co.*

Abstract : Copper is widely used in electric wire, cable, conductor in electric devices. As the demand for electric power is increasing rapidly, electric power devices are getting amazingly bigger and complicated. The using of light-weight conductor can reduce the size and making cost of the electric devices. In high-frequency application, Electric current the current in a conductor tends to shift to the surface of the conductor, resulting in an uneven current distribution in the inner conductor. In the extreme case the current may essentially concentrate in the "skin" of the inner conductor as a surface current. In high frequency application, therefore, inner area of copper conductor may replace with aluminum conductor, which reduces the weight of conductor. This paper describes the manufacture and evaluation of composite conductors made of copper and aluminum.

Key Words : composite conductor, skin-depth, electrical conductivity

1. 서 론

국내의 부스바 수요는 월 1,000톤 이상이며 대부분 구리 또는 구리합금을 사용되고 있으나 그 자체무게가 무거워 취급하기에 매우 불편하고 가격 또한 고가이며 원자재 공급도 불안정하다. 그래서 최근 이러한 문제를 해결하고자 경량금속을 복합화하여 가격을 낮추고 경량화하려는 연구가 많이 이루어지고 있으며, 특히, 부스바의 저가, 경량화, 복합화에 있어서 금속/금속간의 재료로써 Al/Cu 복합 부스바 개발이 절실히 필요한 실정이다. 주파수의 증가에 따라 표면의 전류밀도가 증가하므로 이를 이용한 복합도체의 개발이 가능하다 [1]. Al/Cu 복합 부스바가 일부 선진국에서 개발되어 사용되고 있으며, 그 수요 또한 매년 증가하고 있는 실정이다. Al/Cu 복합 부스바는 순동의 의해 제조된 부스바에 비하여 가격면에서 30~40%정도 낮고, 무게는 최대 약 50~60%까지 경량화 할 수 있으며, 공급가격을 안정화할 수 있고, 작업 시 취급이 용이하여 작은 힘으로 큰 성과를 거둘 수 있어 작업성이 매우 높다. 이러한 우수한 특성을 지닌 복합 부스바 개발이 변압기용, 배전반용 등이 수요가 증가되고 있는 추세이다. 이러한 소재를 국산화함으로써 경쟁력있는 제품생산과 수입 의존도를 낮추고, 국가경쟁력을 높이며 무역수지 개선효과를 볼 수 있다. 본 연구에서는 간접압출법을 이용한 Al/Cu 경량 복합 부스바를 국내의 기술로써 설계, 제작하고자 한다.

2. 복합 도체의 제작

2.1 간접압출 시스템

Al/Cu 복합재 압출에 미치는 압출조건에 영향을 관찰하기 위해 압출온도는 300~500℃로 변화시켰으며 이때의 압출온도는 빌렛의 예열온도로 하였다. 또한, 압출비(R)를

6.98~38.03까지 변화시켜 실험하였다. 빌렛은 압출온도로 유지된 box로에 1시간동안 예열하였으며, 컨테이너의 온도는 300℃로 컨테이너 상부에 장착된 K-type thermocouple을 이용하여 측정하였다. 이 때, 컨테이너의 상부와 하부의 온도편차는 ±5℃ 이내로 제어하였다.

컨테이너와 빌렛의 마찰을 줄이기 위한 윤활제로는 carbon oil을 사용하였으며, 빌렛과 다이스와의 마찰을 억제하기 위해서도 carbon oil을 사용하였다.

2.2 간접압출조건 선정

본 연구에서는 이중재료의 유동특성에 가장 큰 영향을 미치는 온도 즉 압출온도의 적절한 범위를 선정하기 위하여 피복재인 Copper(TPC)와 심재인 순알루미늄에 대하여 유동특성을 관찰하였다. 유동특성을 평가하기 위한 방법으로는 압축시험을 선택하였다. 이는 인장시험에서 재료의 파단이 일어나는 시점이 비교적 낮은 변형률에서 일어나기 때문이다. 압축시험에서의 변형속도는 압출의 경우 상당히 빠른 변형속도를 가지는 것을 감안하여 10-1sec-1로 선정하였으며, 실험온도는 300℃~500℃사이의 범위를 선정하였다. 유동응력의 결정은 압출공정과 같은 소성변형에서는 높은 변형율을 가지기 때문에 약 50%의 변형율을 기준으로 하였다.

그림 1은 피복재인 Copper(TPC)의 유동특성을 나타낸 것으로 300~350℃에서 약 220MPa의 유동응력을 나타내었다. 그림 2는 심재인 순알루미늄의 유동특성을 나타낸 것으로 심재인 순알루미늄은 동일한 조건에서 40~50MPa사이의 유동응력을 나타내고 온도가 증가할수록 두 재료의 유동응력은 감소하지만 오히려 유동응력의 차이는 커짐을 알 수 있었다. 따라서 Al/Cu 복합압출재의 압출온도는 300~350℃가 적정함을 알 수 있었다.

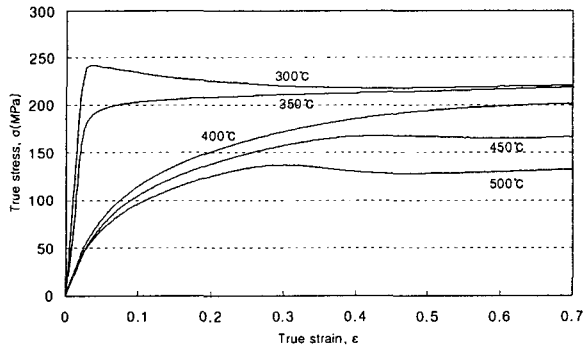


그림 1. 온도에 따른 구리의 변형을 곡선.

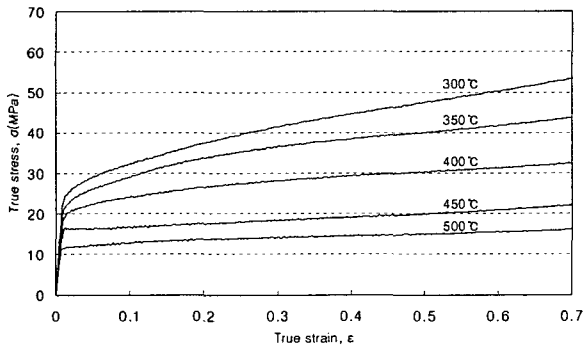


그림 2. 온도에 따른 알루미늄의 변형을 곡선.

3. 복합도체의 평가

Al/Cu 복합압출재(Dia.15 round type)의 인장시험(KS B 8802) 결과 인장강도와 항복강도를 측정하였다. 3회 정도 실시하여 평균값을 나타냈으며, 그 평균값으로는 133.5MPa의 인장강도와 88.26MPa의 항복강도를 나타내었다. 또한 앞서 설명한 접합강도 측정방법에 따라 76.3MPa의 강도를 나타내었다.

그림 3은 원형복합도체의 주파수에 따른 전류밀집현상 즉 표피효과에 대한 해석결과이다. 상용전원을 기준으로 한 제 5고조파까지의 전류밀도 분포 변화는 작음을 알 수 있었다. 그러나 1000Hz의 해석에서는 표면으로의 전류밀도가 높아짐을 알 수 있다. 따라서 고주파 응용에서 표피 효과에 의한 경량화 설계가 효과적이라고 볼 수 있다.

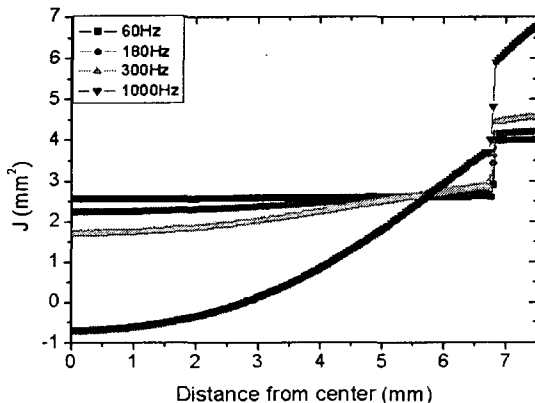


그림 3. 복합도체의 표피효과 해석.

표 1. 복합도체의 교류저항 측정결과.

	전류 (Arms)	전압 (Vrms)	저항 (Ohm)
60Hz	71.72	4.1mv	57.1u
100Hz	72.34	4.07mv	56u
200Hz	75.20	3.96mv	53.6u
300Hz	79.85	3.96mv	49.5u

시제품으로 제작된 원형의 복합도체 샘플에 대한 전기전도도를 측정하였다. 전기전도도는 직류와 교류에 대해 측정하였으며, 교류의 경우 전류의 주파수를 증가시키면서 저항의 변화 추이를 조사하였다. 표 1은 위에서 언급한 Al/Cu 복합도체의 전기저항값을 측정한 데이터이다. 이는 전기저항을 측정함으로써 도체의 도전율을 알아보기 위함이다. 표에서 도전율 값을 보면 알 수 있듯이 60Hz~300Hz의 다양한 조건에서 측정한 결과 도전율이 최소 IACS 76% 이상으로 높은 도전율을 나타내었다.

4. 결론

변압기용 Al/Cu 복합 부스바를 위한 복합도체 개발에 있어서 다음과 같은 결과를 얻었다.

Al/Cu 복합부스바의 최대 장점인 경량화에 부합되고, 최대 압출압력을 받지 않는 적절한 압출온도는 구리 피복재와 심재의 유동응력을 측정하여 차이가 적은 300~350°C 범위에서 적당함을 알 수 있었다. Al/Cu 복합재에 있어서 두 금속간의 접합강도는 압출온도 및 압출비가 증가할수록 증가하였으며, 이는 두 금속간의 확산거동과 관계가 있음을 알 수 있다. 기계적 특성 및 전기적 특성으로는 133.5MPa의 인장강도를 나타냈으며, 도전율은 76% IACS를 나타내었다. 상용전원을 기준으로 한 제 5고조파까지의 전류밀도 분포 변화는 작음을 알 수 있었다. 그래서 1000Hz에서 구리의 침투깊이를 파악한 결과 고주파 응용에서 표피 효과에 의한 경량화 설계가 효과적이라고 볼 수 있다.

감사의 글

본 연구는 전력산업연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] David K. Cheng, Field and Wave Electromagnetics, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 226-234, 266-281, 1989.