

## Study on Salt-Proof Characteristics of Copper Clad Aluminum

김진사\* · 배덕권†  
(Jin-Sa Kim · Duck-Kweon Bae)

**Abstract** - As the demand of electric power is increasing rapidly, the need of the compact and light electric power device is also increased. Copper clad aluminum (CCA) is newly proposed electrical conductor, because of its light-weight and low-cost characteristics, to replace the existing conductor made of copper. This paper presents the salt-proof characteristics of the copper clad aluminum (CCA) to certificate long time safe operation of the newly proposed electrical conductor. The two types of the CCA conductor were tested in the neutral salt spray tester. The experimental results of two types of the CCA with salt spray were presented in this paper. The results comprise resistance measured data, micro picture of the selected surface, and component measured data according to the elapsed time. The period of the experiment was 1,000 hours. There was no evidence to show the corrosion of CCA during the whole period of the experiments.

**Key Words** : Copper clad aluminum, Conductor, Light weight, Corrosion

### 1. 서론

산업사회의 발전 및 편의성 추구에 의한 인류 삶의 질의 상승과 비례하여 전력의 사용은 급증하고 있다. 이러한 전력수요를 충족시키기 위하여 보다 많은 발전소가 건설되고, 전력 시스템은 복잡하면서 대형화되고 있다. 이렇듯 급변하고 있는 전력시장에서 전력 시스템 및 기기는 대용량화되는 추세에 있는데 유한한 수용용지의 제한 등으로 경량화된 전력기기의 필요성이 지속적으로 증대되고 있다. 특히 최근 도체의 주원료가 되고 있는 동 자재값의 불안정 및 상승으로 동을 대체할 수 있는 새로운 도체의 요구도 증대되고 있다[1-2].

새로운 경량화 도체의 요구에 부응하여 국내에서 새로이 개발된 도체가 바로 동복알루미늄이다. 도체의 내부의 대부분을 알루미늄으로 구성하여 도전율은 구리에 비해 조금 떨어지지만 도체 중량을 획기적으로 감소시킨 것이 동복알루미늄의 큰 특징으로 동복알루미늄을 전기 도체로 사용하면 경량화된 전기 기기를 개발할 수 있다. 동복알루미늄이 적용될 수 있는 전기 기기의 구성요소는 전력용 부스바, 변압기, 발전기, 전동기 등 권선의 대부분이 전기기기의 도체이므로 동복알루미늄은 경량화된 기기라는 사회의 요구에 최적으로 부응할 수 있는 신개념의 도체라 할 수 있다[3]. 그런데 새로운 도선이 개발되어 현장에 적용하기 위해서는

도체의 성능에 대한 검증이 있어야 한다. 특히 옥내 및 옥외 환경에 노출되는 도체는 도전성, 기계적 특성 뿐만 아니라 내식성능도 보장되어야 한다. 특히 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 환경에서는 내염에 대한 내식 특성이 충분히 보장되어야 한다.

따라서 본 논문은 신 경량 도체인 동복알루미늄의 전력기기 적용에 대한 기본 연구로써 도체의 내식 특성을 염수분무 시험을 통하여 연구하였다.

### 2. 동복알루미늄의 구조 및 특성

그림 1에 동복알루미늄(CCA; Copper Clad Aluminum)의 구조를 나타내었다. 가공 방법에 따라 원형, 사각형, 공심형 등의 여러 형상으로 제작할 수 있는데, 기본 구조는 그림 1과 같이 도체의 내부는 알루미늄이고 외부를 구리가 감싸도체의 내구조이다. 동복알루미늄은 알루미늄 위에 구리를 클래딩(cladding)하여 만들어 지므로 알루미늄과 구리의 계면은 이종 금속의 접착이 아닌 금속결합의 클래드 층이 형성되어 있다[3]. 동복알루미늄은 알루미늄이 70~90% 정도를 차지하기 때문에 경량성 도체이며 알루미늄 외부는 내식성이 강하면서도 전도성이 뛰어난 구리로 맞붙이는 클래드 공법으로 제작되었기 때문에 부식에 약한 알루미늄의 단점을 강화하면서 도체의 도전성루미늄겐시켰다. 그런데 구리와 알루미늄이 접해있을 경우에는 갈바닉 현상에 의한 부식이 있을 수 있다. 갈바닉 부식은 가장 일반적이며 가장 심한 형태의 부식이기 때문에 동복알루미늄에서 갈바닉 부식이 일어나지 않는 것을 입증하여야 한다. 알루미늄과 동이 쌍을 이루는

† 교신저자, 정희원 : 충주대 공대 안전공학과 조교수 · 공박  
E-mail : dkbae@cjnu.ac.kr

\* 정희원 : 조선이공대학 메카트로닉스과 교수 · 공박  
접수일자 : 2009년 7월 6일  
최종완료 : 2009년 8월 17일

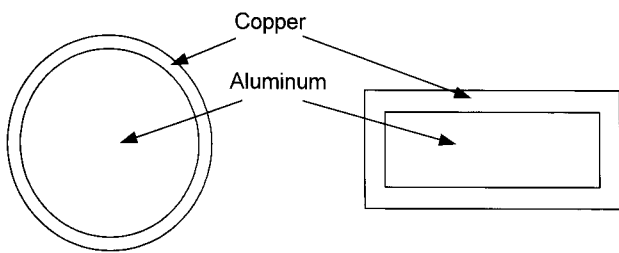


그림 1 동복알루미늄의 구조  
Fig. 1 Structure of copper clad aluminum

경우 알루미늄이 상대적인 활성전위를 가지므로 갈바닉 현상이 발생하기 쉬운 조건이 된다. 그러나 이 경우 갈바닉 현상은 구리에서 발생하는  $Cu^{+2}$  이온이 알루미늄에 반응하는 것이므로  $Cu^{+2}$  이온이 알루미늄에 영향을 미치지 않도록 알루미늄과 구리가 완전한 금속결합을 이루어야 한다[4].

### 3. 염수 분무 시험

#### 3.1 시험 방법

본 연구에서는 동복알루미늄의 내식성을 확인하기 위한 가속시험의 방법으로 염수분무 시험을 선택하였다. 시험방법은 KS D 9502 염수 분무 시험 방법, ES 5935-0011 Al 접속금구류의 Heatcycle 시험방법 및 ES-5935-0005 알루미늄전용 압축슬리브 등을 참조하여 시험 방법을 아래와 같이 정하였다 [5~7]. 시험시간은 기준규격을 참조하여 1,000시간 동안 동복알루미늄을 염수에 노출시켰으며 매 100시간마다 도체의 저항을 측정하였다. 그리고 동일조건인 시편 5개를 염수분무에 노출시키면서 200시간마다 시편 하나씩을 꺼내어 세척한 후 단면을 절단하여 구리와 알루미늄의 표면을 전자현미경사진으로 관찰하면서 도체의 물질조성도 분석하여 도체 내부에 부식이 일어나고 있는지를 관찰하였다. 동일한 조건인 6개 시편 중 3개는 염수에 노출시켰고 또 다른 3개는 실내에 두고 각각의 저항을 측정하여 그 차이를 비교하였다. 도체의 저항측정은 아래의 순서를 따랐다.

- i) 분무시간 100시간마다 시편을 분무실에서 꺼내어 맑은 물로 씻은 후 실내에서 충분히 건조한다.
- ii) 단자에 피막을 제거하고 저항을 측정한다.
- iii) 실내에 배치한 시편도 염수분무 시편과 같은 시간에 저항을 측정한다.

#### 3.2 시편 제작

1,000시간 연속 염수분무 실험을 위한 도체는 직경 2.6mm의 원형선과 2×4.2mm 각선 두 가지다. 본 시험에 사용된 도체는 외부의 힘에 의해 변형을 받을 수 있을 정도로 얇은 도체이므로 10회 반복되는 염수분무, 세척, 건조 및 저항측정 과정 중 시편이 외부의 힘에 의해 변형되는 것을 방지하기 위하여 도체를 고정할 필요가 있었고 여러 번의 저항 측정에서 측정값의 변화가 없도록 저항측정용 접속단자 또한 굽어야 했다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 외경 22mm의 PVC 파이프를 도체를 지지하였으며, 5×30mm의 구리바를 도체 양단에 접속하였다. 또한 저항 측정의 편리

를 위하여 구리바에 단자대를 설치하였다. 그림 2는 본 연구를 위해 제작한 시편의 모습을 보여준다. 제작된 시편은 초기저항을 측정한 후, 시편을 염수분무에 노출시킨 상태에서 매 100시간마다 저항의 변화를 측정하였다. 저항의 측정에는 영국 TINSLEY사의 Micro Ohmmeter 5893을 사용하였다. 5개의 시편을 염수분무에 노출시킨 상태에서 매 200시간마다 시편을 염수분무 시험기에서 꺼내어 그 단면적을 전자현미경으로 촬영하고 조성물을 측정하였다. 시편의 표면을 촬영하기 위한 전자현미경은 GELO사의 JSM-6700이었으며, 성분분석을 위한 장비로는 Oxford Instrument사의 INCAx-sight EDS Detector를 사용하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 저항변화 측정

그림 3과 그림 5는 각각 직경 2.6mm 원형 CCA 도체와 2×4.2mm 각선을 염수분무에 노출시킨 상태에서 저항의 변화를 측정한 결과를 나타낸다. 그림 4와 그림 6은 염수분무에 노출시킨 도체의 저항과 비교하기 위하여 동일한 시간동안 실내에 보관한 도체의 저항 변화를 나타낸다. 그래프의 기호 S는 염수분무에 노출시킨 시편을 나타내고 있으며 기호 A는 실내에 보관한 시편을 의미한다. 아라비아 숫자 1, 2, 3은 시편의 번호를 나타내고 기호 M은 3개 시편의 평균값을 나타낸다.

그림 3에 나타난 바와 같이 원형선의 경우 염수분무 시편의 저항 측정값 평균은 초기치가 가장 작은 4.74mΩ이었으며 가장 큰 값은 300시간 경과 후의 4.85mΩ로 그 차이는

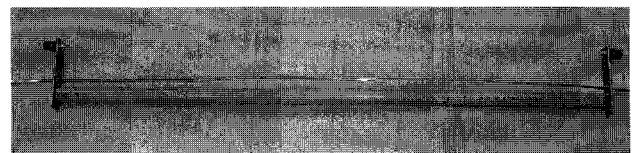


그림 2 염수분무시험을 위한 시편  
Fig. 2 Specimen for salt spray test

초기치의 2.3%였다. 이 값은 이후 감소하여 최종 저항 평균은 4.77mΩ이었다. 반면 그림 4에 나타난 실내에 보관한 시편의 저항은 시험 600시간 경과 후에 측정된 값이 최소값인 4.75mΩ이었고 최대값은 300시간 경과후의 측정값인 4.88mΩ이었다.

그림 5와 그림 6은 각선의 시험결과를 나타내고 있는데 염수분무 시편의 경우 시험 300시간 경과후가 최대값 3.21mΩ을 나타내고 있으며, 초기 저항이 최저값 3.11mΩ을 나타내고 있다. 두 값의 차이는 초기치의 3.2%였다. 실내보관 시편은 300시간 경과 후 시편이 가장 높은 저항값을 나타내고, 시험 800시간 경과후의 시편이 가장 작은 값을 나타내고 있는데 두 값의 차이는 0.06mΩ으로 초기치 저항값의 1.9%였다.

본 논문의 시험에서 참조한 한진 구매시방서 ES-5935-0005에서는 염수분무 시편과 실내보관 시편의 저항의 차이가 105% 이하가 되어야 한다고 제시하고 있다. 시간경과에 따른 저항차이의 최대값은 각선의 3.2% 변화였지만 시간 경

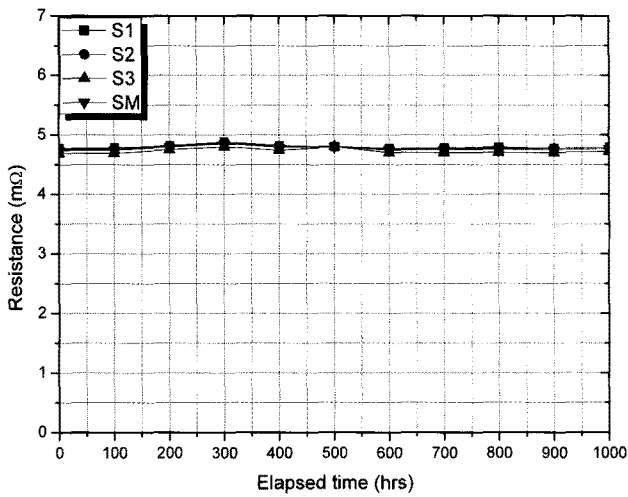


그림 3 염수분무 시험한 원형 도체의 저항  
Fig. 3 Resistance of round wire after salt spray test

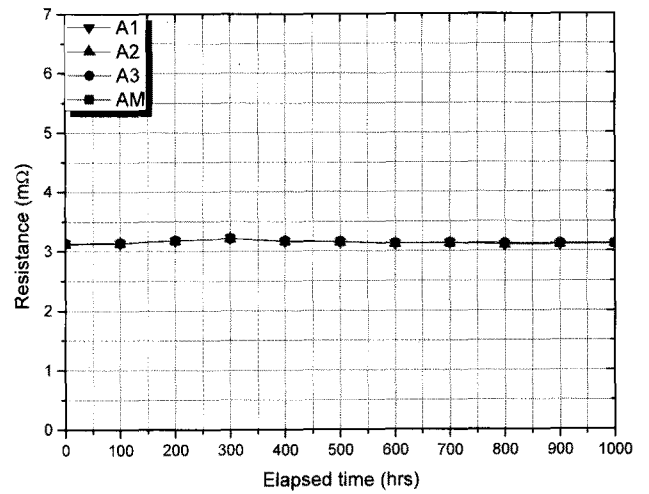


그림 6 공기 중에 방치한 각형 도체의 저항측정 결과  
Fig. 6 Resistance of plat wire after air test

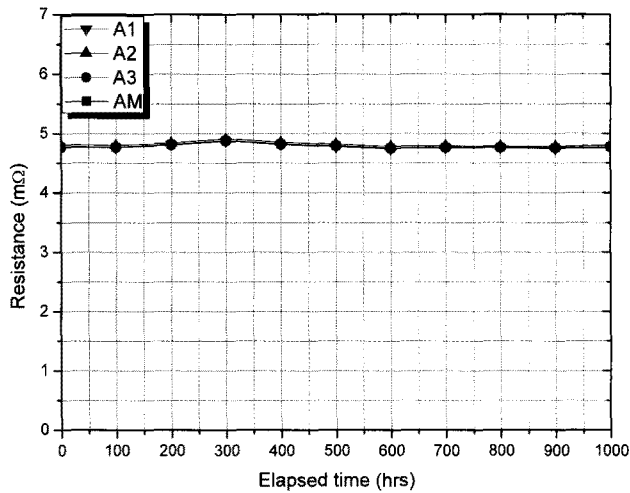


그림 4 공기 중에 방치한 원형 도체의 저항측정 결과  
Fig. 4 Resistance of round wire after air test

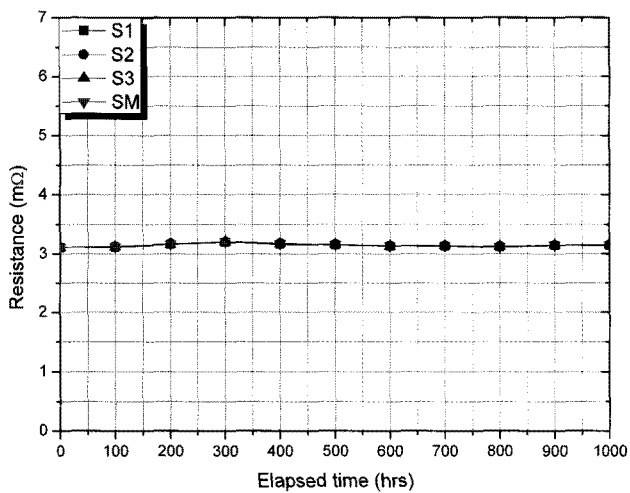


그림 5 염수분무 시험한 각형 도체의 저항측정 결과  
Fig. 5 Resistance of plat wire after salt spray test

과에 따른 각 측정에서 염수분무 시험과 실내보관 시험의 저항 차이는 1% 미만이었다. 따라서 본 시험 결과 동복알루미늄선은 장시간 사용에 적합한 내염특성을 가지고 있다고 할 수 있다.

#### 4.2 도체 단면적 촬영 및 조성변화 측정

그림 7은 염수분무 시험기에서 200시간 경과한 시편의 전자현미경 사진을 나타내었고, 그림 8은 1,000시간 경과한 시편의 전자현미경 사진을 나타내었다. 사진에서 알 수 있는 것과 같이 부식에 의해 발생하는 현상은 전혀 관찰되지 않았다. 그림 9와 그림 10은 본 촬영시 측정된 물질의 조성을 나타내었다. 그림 9에서는 200시간 경과 시편에서 구리 부분의 조성을 측정하였는데 그 조성은 구리 95.39wt%, 산소 4.61wt%였다. 그림 10은 1,000시간 경과 시편의 알루미늄 부분의 측정결과인데 알루미늄 94.87wt%, 구리 1.91wt% 및 산소 3.22wt%였다. 측정시 소량의 산소가 포함되어 있는데

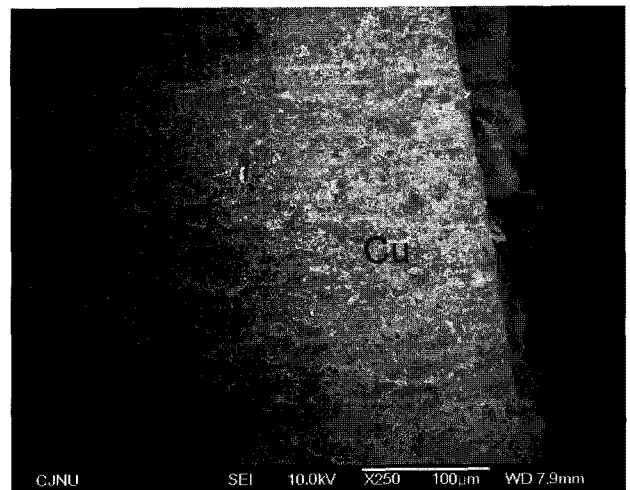


그림 7 200시간 염수분무시험한 시편의 단면  
Fig. 7 Cross section of specimen after 200 hours salt spray test

### 5. 결 론

본 논문은 새로이 개발된 동북알루미늄 도체의 내염 특성을 확인하기 위하여 원형선과 각선의 두 가지 도체를 염수 분무에 1,000시간동안 노출시켜 염에 의한 부식이 발생하는지에 대한 관찰을 하였다. 부식은 도체의 성분 조성을 변화시켜 저항의 변화가 부식의 한 증거가 될 수 있으므로 가속 시험을 진행하면서 저항의 변화가 있는지를 측정하였다. 또한 미세한 변화에 의한 부식은 저항 측정으로 판단되지 않을 수 있기 때문에 시험 시간 경과에 따른 시편의 단면 및 조성성분의 변화도 측정하였다. 도체의 장시간 사용에 의한 염에 대한 내식성을 보장하기 위하여 한전구매시방사에서 규정한 1,000시간의 가속 내식 시험을 바탕으로 한 본 연구에서 동북알루미늄 도체는 본 시험 동안 부식에 의해 발생하는 현상이 관찰되지 않았다. 따라서 본 연구의 결과는 동북알루미늄을 도체로 사용하고자 하는 전기기기의 개발에 기본 자료로 활용될 수 있을 것이다.

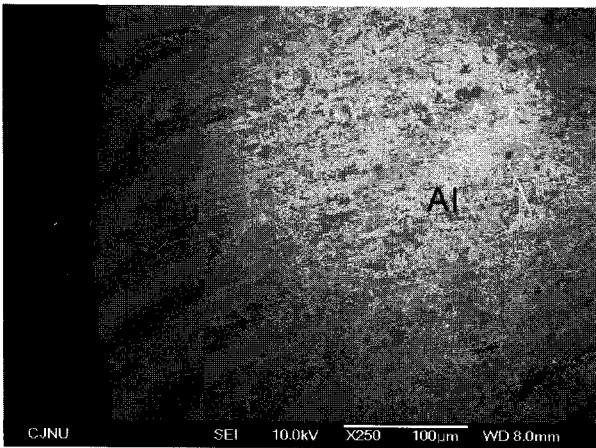


그림 8 1,000시간 염수분무시험한 시편의 단면  
Fig. 8 Cross section of specimen after 1,000 hours salt spray test

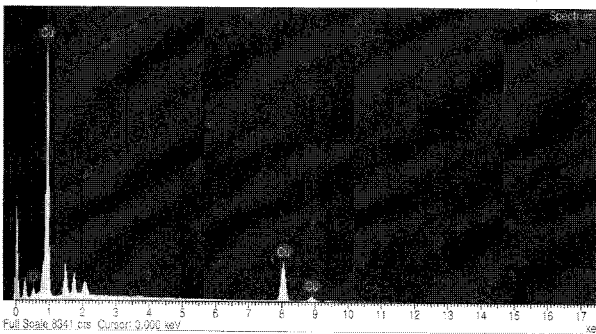


그림 9 200시간 염수분무시험한 시편의 EDS 분석 결과  
Fig. 9 EDS results of specimen after 200 hours salt spray test

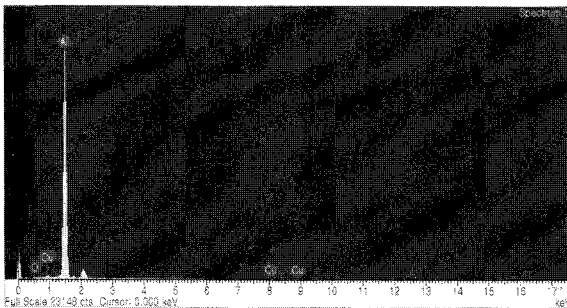


그림 10 1,000시간 염수분무시험한 시편의 EDS 분석 결과  
Fig. 10 EDS results of specimen after 1,000 hours salt spray test

이것은 시편의 단면적을 절단하고 #1200 사포로 표면처리한 후 장비에서 측정하기까지 경과된 시간에서 도체 표면에 산화반응이 일어났기 때문으로 생각된다. 특히 이번 실험에서 염에 의한 산화가 일어났다면  $Al_2O_3$  등의 조성 물질이 발견되어야 하는데 이러한 물질은 발견되지 않았다. 즉 표면 전자현미경사진 촬영과 조성분석 결과 모두에서 염에 대한 산화의 흔적이 발견되지 않았다.

### 감사의 글

본 연구는 중소기업청의 연구지원으로 이루어졌습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] <http://www.bussmann.com/library/docs/Disconnect/1200A-3150Anfds.pdf>
- [2] [http://www.eatonelectric.com.au/brochures/SVS\\_08.pdf](http://www.eatonelectric.com.au/brochures/SVS_08.pdf)
- [3] 배준환, 배덕권, "복합경량 부스바의 설계 및 제작," 대한전기학회 논문지, 55A권, 8호, pp. 334-340, 2006
- [4] 이학렬, "금속부식공학", 연경문화사, pp. 27, 90-95, 263-264, 321-322, 351-363, 2004
- [5] KS D 9502, "염수 분무 시험 방법"
- [6] ES 5935-0011, "Al 접속금구류의 Heatcycle 시험방법"
- [7] ES-5935-0005, "알루미늄선용 압축슬리브"

### 저 자 소 개



#### 김진사 (金鎮士)

1967년 6월 22일생. 1993년 원광대 전기공학과 졸업. 1995 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998 광운대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 조선이공대학 메카트로닉스과 교수

Tel : 062-230-8292

E-mail : kimjs@chosun-c.ac.kr



**배 덕 권 (裵 德 權)**

1971년 8월 16일 생, 1998년 광운대학교  
전기공학과 졸업, 2000년 동 대학원 전기  
공학과 졸업(공학석사), 2005년 연세대학  
교 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박  
사), 2005.9-2006.8 한국기계연구원 기계  
시스템신뢰성연구센터 선임연구원,  
2006.10-현재 국립충주대학교 안전공학과  
조교수

Tel : 043-841-5461

Fax : 053-853-6091

E-mail : dkbae@cjnu.ac.kr