ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 66, No. 11, pp. 1647~1650, 2017
http://doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.11.1647

세라믹 코팅 Al 부스바의 전기적 특성 연구

Study on Electrical Properties of Ceramic Coated Al Bus Bar

백 승 명* · 곽 민 환† · 곽 동 순**
(Seung-Myeong Baek · Min-Hwan Kwak · Dong-Soon Kwag)

Abstract - Bus bars are used in place of cables because they can carry more electrical energy with the same volume of conductors. This paper deals with the electrical properties of ceramic coating material for busbars. A ceramic coated samples were prepared for the electrical properties test. There are two types of samples. One is a sample without degradation, and the other is a sample degraded for 30 days. Four electrical properties tests were carried out in accordance with domestic standards. Four electrical characteristics tests are AC dielectric breakdown, V-t, lighting impulse dielectric breakdown, and discharge arc. Both samples showed excellent electrical properties, and the ceramic coating material is very good insulating materials for bus bar.

Key Words : Bus bar, Ceramic coating material, AC breakdown, V-t, Lighting impulse breakdown, Discharge arc

1. 서 론

건축물의 대형화에 따라 전기시스템은 커지고 큰 용량의 전기에너지를 필요로 하고 있으며, 향후 전기에너지의 증가와 함께 안전하고 에너지 손실이 적은 부스바(Bus bar)의 장점이 인식되면서 사용이 급속하게 증가되고 있다. 버스바는 다양한 분야에 다각도로 공급되어 사용되고 있으며, 통상적으로 대전류가 흐르기 때문에 소정의 크기인 부스덕트 안에 구비된다. 부스덕트 안에 구비되는 도체인 부스바에 전류를 통전시킬 경우 주울열이 발생하고, 이 열로 인해 온도가 상승하며, 전류의 통전용량과 도체인 부스바의 사이즈는 부스바를 감싸고 있는 절연체의 허용온도 영역 내에서 제한을 받아 결정되어 진다. 부스바의 절연 방식에는 사출커버 방식, 테이핑 방식, 열수축 튜브 방식 등이 있지만 표면에 에폭시 절연용 분체도료로 정전 스프레이 방식 또는 디핑 방식으로 코팅막을 형성함으로써 친환경적이고 장기간 사용에도 코팅막이 손상되지 않는 분체절연 방법이 보편화되고 있다.

부스바 절연에 사용되는 에폭시는 산업 전분야 범용수지로 사용되고 있으며, 에폭시를 활용하여 절연하는 방법은 최근 에폭시 분체도장 방식이 일반적으로 사용되고 있다. 이 방법을 사용하는 경우 도장부위의 강도가 강하고 접촉이 강해 도장이 잘 벗겨지지 않으며, 전기절연성이 우수한 장점이 있다. 이러한 장점으로 자동차 부품, 전기부품, 공업용수도관, 가스 파이프 코팅 등에 널리 사용되고 있다. 특히, 에폭시와 함께 폴리아미드계와 복합 재료를 결합하여 기계적 성능이 보장된 전기적 절연재료에 대한 연구가 진행 중에 있다[1]. 또한 부스바의 신뢰도 향상을 위해 절연재료인 에폭시 복합 절연체의 전기적, 기계적, 열적 특성 향상이 필수적이며, 이를 위해 세라믹을 이용한 연구도 진행되고 있다[2-3]. 상용 에폭시 분체도료를 사용하여 유동침지법으로 절연코팅된 실험시편을 제작하여 열화조건에 따른 전기적, 열적 및 기계적 특성을 비교 분석하여 상용 에폭시 도료의 특성을 연구보고하기도 하였다[4]. 연구결과에서 보듯이 기존의 부스덕트 재품의 전기절연 성능은 재료별 큰 차이가 없이 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다.

따라서 부스덕트나 부스바 등의 절연에 사용되는 절연물의 전기 절연 성능 향상을 위해서 보다 나은 절연체의 개발이 요구되며, 본 논문에서는 세라믹을 포함한 새로운 성분으로 구성된 에폭시 복합 절연재료를 개발하여 국내표준 규격에 맞춰 전기적 특성을 비교분석하였다. 또한 본 연구에서는 부스바의 재료로 사용되는 구리가 아니라 가볍고 저렴하면서 가공성과 기계적 강도가 탁월한 알루미늄 부스바를 모의한 시편을 제작하여 교류 절연파괴, V-t 특성, 뇌 임펄스 절연파괴, 내아크 특성 등 전기적 특성에 대하여 연구하였다.

2. 본 론

2.1 시료 제작 및 실험방법

본 연구에 사용된 세라믹 코팅재의 성분 및 비율을 표 1에 나타낸다. 전기적 특성을 향상시키기 위하여 새로운 세라믹 물질을 첨가한 세라믹 코팅재료를 개발하였으며, 세라믹 코팅재의 분석

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Changwon Moonsung University, Korea.
E-mail : mhkwak@cmu.ac.kr
* Dept. of Electrical Engineering, Changwon Moonsung University, Korea.
** Dept. of Fire Safety Engineering, KyungIl University, Korea.
Received : October 18, 2017; Accepted : October 30, 2017

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

은 국제공인시험기관인 한국고분자시험연구소에서 실시하였다. 평균입자의 크기는 약 0.5~0.6㎛로 성분구성은 주성분이 약 30%, 용매성분이 약 55%, Cabon black 약 4%, 무기성분이 약 11%이다. 시편은 알루미늄 시편(100mm×100mm×12mm)을 이용하였고, 분 연구에서 시편 제작에 사용된 분체 고팅은 유동침지법을 이용한 코팅기술과 이를 응용하여 적층절연기술이 가능한 것이다. 분체 코팅 방법으로는 1차 코팅을 마치고 나면 도체가 냉각되기 전 재가열하여 동일 과정을 반복하여 절연두께를 조절하였다. 그림 1에 제작된 시료와 절연체의 두께를 측정한 부위를 나타낸다. 제작된 시편은 도막측정기(Model: QuaNix 4500) 앞면 8곳, 뒷면 8곳의 두께를 측정하였다. 두께 측정은 총 320회 하였고, 최저 두께는 54㎛, 최대 두께는 134㎛, 평균 두께는 90.03㎛이다. 시료의 중심부 절연 두께는 70~100㎛ 정도로 비교적 균일한 절연 두께를 나타내었다. 시료의 열화는 제작된 시료를 전기오븐을 이용하여 120℃분위기에서 30일 동안 가속열화를 하였고, 열화된 시료와 열화되지 않은 시료의 전기적 특성을 비교·분석하였다.

표 1 세라믹 코팅재의 성분
Table 1 Composition of ceramic coating material

분석항목	분석결과	함량	측정법
주 성분	Dimethyl succinate, dimethyl glutarate, dimethyl adipate 등과 같은 Ester 계열 고분자 및 단량체	약 30%	Koptri Method
용매성분	Triethylamine, 1-butanol, toluene, xylene 등	약 55%	
Cabon black	Cabon black	약 4%	
입자크기	약 0.5~0.6㎛	-	
무기성분	Si(실리콘), Al(알루미늄), Cr(크롬), Cu(구리), Mg(마그네슘), Zr(지르코늄), Ca(칼슘) 등	약 11%	

그림 1 전기적 실험 시편
Fig. 1 Electrical test specimen for electrical experiment

본 연구는 한국산업규격을 인용하여 전원과 전극계를 구성하여 실험하였으며, 표 2에 전기적 특성분석을 위하여 인용한 규격을 나타내고 그림 2에 교류 절연파괴 실험을 위한 전원, 전극 및 전극 배치를 나타낸다. 실험은 동일 조건에서 10회 이상을 실시하였다. 교류 절연파괴(KS C IEC60243-1), V-t특성(RS-6145-0032), 뇌임펄스 절연파괴 실험(KS C IEC60243-3)은 실리콘 오일 내에서 실행하였으며, 내아크 특성 실험(KS C2130)은 공기

표 2 전기적 실험 항목별 한국산업규격
Table 2 Korean industrial standard by electrical experiment item

구분	실험 항목	인용규격
전기적 실험	교류 절연파괴	KS C IEC60243-1
	V-t 특성	RS-6145-0032
	뇌임펄스 절연파괴	KS C IEC60243-3
	내아크 특성	KS C2130

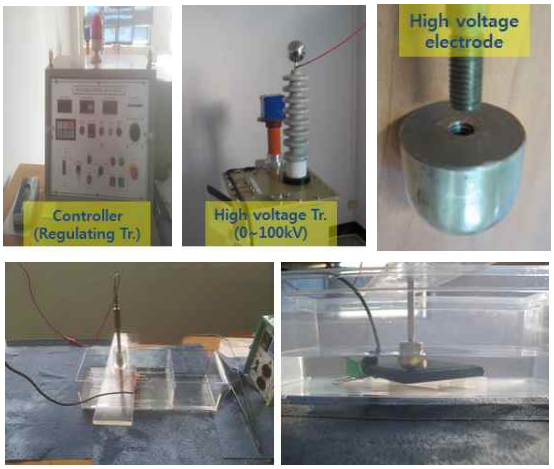

그림 2 교류 전원, 고전압 전극 및 전극 배치
Fig. 2 AC power source, high voltage electrode and electrode arrangement

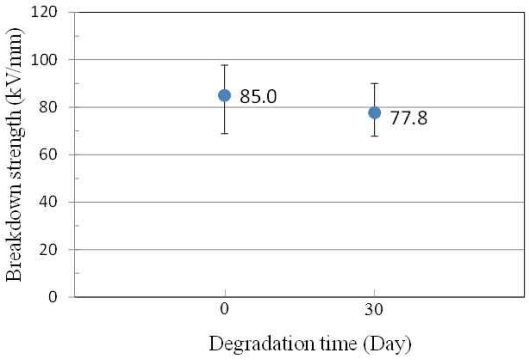

그림 3 열화에 따른 교류 절연파괴 전계
Fig. 3 AC breakdown strength in silicone oil depend on degradation time

중에서 실행하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

그림 3에 미열화 시료와 30일간 열화 시료의 평균 교류절연파괴 전계값을 비교하여 나타낸다. 미열화 시료인 경우 최소

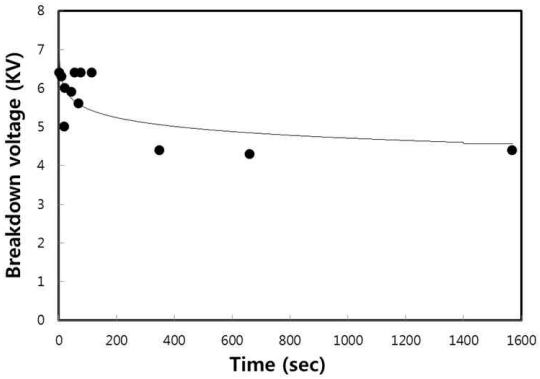

그림 4 V-t 특성
Fig. 4 V-t Characteristics

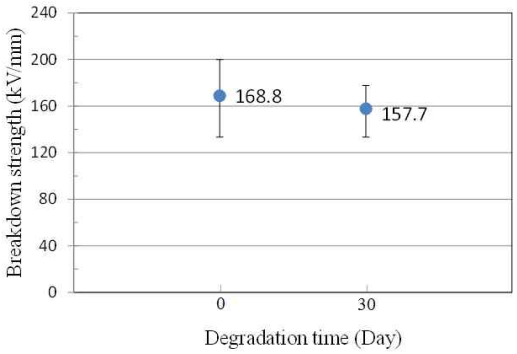

그림 5 열화에 따른 뇌 임펄스 절연파괴 전계
Fig. 5 Lighting impulse breakdown strength in silicone oil depend on degradation time

68.9kV/mm, 최대 97.7kV/mm, 평균 85.0kV/mm의 전계값을 나타내었고, 30일 열화 시료의 경우 최소 67.8kV/mm, 최대 90.0 kV/mm, 평균 77.8kV/mm의 전계값을 나타내어 미열화 시료의 전계값이 전체적으로 높았지만 미열화와 열화 시료의 절연파괴 전계값의 차이는 크게 나타나지 않아 열화되어도 교류 절연파괴 특성은 매우 우수한 것으로 판단할 수 있다.

그림 4에 V-t 특성 실험 결과를 나타낸다. 고전계 영역에서는 단기간의 절연파괴 전압을 나타내고 편차도 크게 나타났고, 낮은 전계 영역에서는 거의 일정한 특성을 나타내었다. 고전계 영역에서 기울기가 다소 큼에 따라 초기 고장형 특성을 나타내었고 이는 절연 두께가 90.03㎛로 얇아 특성의 편차가 심한 것으로 판단되었다.

그림 5에 미열화 시료와 30일간 열화 시료의 평균 뇌임펄스 절연파괴 전계를 비교하여 나타낸다. 미열화 시료인 경우 최소 133.3kV/mm, 최대 199.9kV/mm, 평균 168.8kV/mm의 전계값을 나타내었고, 30일 열화 시료의 경우 최소 133.3kV/mm, 최대 177.7kV/mm, 평균 157.7kV/mm의 전계값을 나타내어 미열화 시료의 전계값이 전체적으로 높았지만 미열화와 열화 시료의 절연파괴 전계값의 차이는 크게 나타나지 않아 열화되어도 뇌 임펄스 절연파괴 특성은 매우 우수한 것으로 판단할 수 있다.

내아크 특성 시험은 아크 발생기를 이용하여 절연재의 내아크 특성을 측정하는 것으로 절연체의 표면에 고전압, 저전류의 아크를 발생하여 국부적인 열과 화학적 분해 부식에 의한 도전경로를 형성하는 것에 대한 저항력을 측정하는 것이다. 절연체 표면에 완전히 도전로가 형성될 때까지의 전체 경과 시간(초)을 측정하는 것으로 표 3에 내아크 특성 실험 조건을 나타내고 그림 6에 내아크 특성 실험결과를 나타낸다.

표 3 아크방전 실험 조건
Table 3 Arc discharge experiment condition

Step	Current, mA	Time Cycle	Total Time, s
1/8 10	10	1/4 s on, 13/4s off	60
1/4 10	10	1/4 s on, 3/4s off	120
1/2 10	10	1/4 s on, 1/4s off	180
10	10	Continuous	240
20	20	Continuous	300
30	30	Continuous	360
40	40	Continuous	420

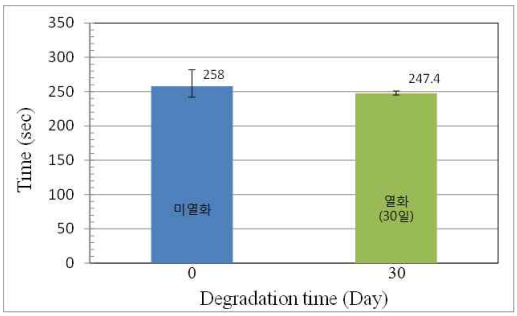

그림 6 건식 아크 저항
Fig. 6 Dry arc resistance

표준시험 사이클에 따라 아크방전에 따른 도전로 형성 시간을 측정한 결과 미열화 시료는 평균시간 258초를 나타내었고, 열화 시료는 247.4초로 나타나 열화 시료가 조금 낮게 나타났지만 차이는 매우 미비한 것으로 판단할 수 있다. 이는 저항력의 차이는 기계적 특성의 차이를 나타낼 수 있는 것으로 내아크 특성의 차이가 없는 것은 전기적 특성이 우수할 뿐 아니라 열적·기계적 특성 또한 우수할 것으로 예상된다.

3. 결 론

본 논문에서는 부스바용 세라믹 코팅제를 개발하여 미열화, 30일 열화된 조건에서 국내표준 시험 규격을 적용하여 교류 절연파괴, V-t 특성, 뇌 임펄스 절연파괴, 내아크 특성 등 전기적 특성에 대하여 고찰하였다.

개발된 세라믹 코팅제는 입자의 평균 크기가 약 0.5~0.6㎛로 주성분이 약 30%, 용매성분이 약 55%, 무기성분이 약 11%, 그

외 구성되어 있다. 평균 교류 절연파괴 전계값은 미열화 시료의 경우 85.085.0kV/mm로 매우 높게 나타났으며, 열화 시료의 경우 77.8kV/mm로 미열화에 비해 91.5%의 수준을 나타내었다. V-t 특성을 고찰한 결과 고전계 영역에서 기울기가 다소 큼에 따라 초기고장형의 특성을 나타내었다. 평균 뇌 임펄스 전계값은 미열화 시료의 경우 168.8kV/mm로 매우 높게 나타났으며, 열화 시료의 경우 157.7kV/mm로 미열화에 비해 93.4%의 수준을 나타내었다. 내아크 특성을 고찰한 장기열화에 따른 내 아크성의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

위의 결과를 통해 본 연구에 사용된 세라믹 코팅재의 전기적 특성은 매우 우수한 것으로 나타났으며 향후 부스바의 전기절연 성능을 향상시킬 것으로 기대된다.

References

[1] Skale S., Dolecek V., and Slemnik M., “Electrochemical impedance studies of corrosion protected surfaces covered by epoxy polyamide coating systems,” Progress in Organic Coatings, Vol. 62, No. 4, p. 387, 2008.

[2] K. Strzelec and P. Pospiech, “Improvement of mechanical properties and electrical coductivity of polythiourethane-modified epoxy coatings filled with aluminium powder”, Progress in Organic Coatings, Vol. 63, Issue 1, p. 133, 2008.

[3] ATD·ASTM, “Standard Test Method for High-voltage, Low-current, Dry Arc Resistance of Solid Electrical Insulation”, American Society for Testing and Matericals, D 495-99, p. 1, 1999.

[4] Sang-Hyun Kim, Jin-Wook Choi, Dong-Wook Kim, and Hyun-Hee Kim, “A Study on the Electrical and Mechanical Properties of a Epoxy Powder for Compact Bus Duct,” Journal of the KIEEME, Vol. 22, No. 3, pp.210-217, March 2009.

저 자 소 개

백 승 명(Seung-Myeong Baek)

1998년 경상대학교 전기공학과 졸업(공학사), 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 2005년~현재 창원문성대학교 전기공학과 교수.

곽 민 환(Min-Hwan Kwak)

1995년 경상대학교 전자재료공학과 졸업(공학사), 1998년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(공학석사), 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 2002~2012년 한국전자통신연구원 선임연구원. 2012~현재 창원문성대학교 전기공학과 교수.

곽 동 순(Dong-Soon Kwag)

2002년 경상대학교 전기전자공학부 졸업(공학사). 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2004년 경상대학교 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2011~2012년 Research Scholar, Center for the Advanced Power Systems. 2008년~현재 경일대학교 소방방재학과 교수.