

절연용 PAI-MCS-A 나노하이브리드 에나멜의 제조와 전기적특성

한세원, 한동희, 김석준, 장해미, 강동필
한국전기연구원 나노하이브리드연구그룹

Deterioration and Contamination of Insulators by Forest Fire

Se-Won Han, In-Hyuk Choi*, Dong-Il Lee*, and Bung-Uk Min
KERI, KEPRI*, KEPCO

Abstract : 에너지절약에 대한 중요성과 관심으로 효율을 높이고 인버터 구동에 대한 서지내구성이 강화된 전동기용 절연소재의 개발에 관심이 커지고 있다. 최근 나노기술의 발달로 전동기용 에나멜 절연재에 나노입자를 강화하여 성능과 효율의 향상이 크게 개선되고 있다. 본 연구에서는 졸겔 제조법으로 PAI-MCS-A계 나노 하이브리드형 에나멜을 제조하여 기존 수지와의 전기적 특성을 비교 분석하였다. 강화입자로 선택한 나노 MCS의 조성을 최대30wt% 범위에서 매트릭스 수지와의 상안정성이 확인되었다. 특히 내아크성, 트래킹 시험에서 우수한 내구성이 나타났으며 이는 전동기용 에나멜 및 전력용 절연코팅용으로 사용이 기대된다. 전기적 절연, 성락, 누설전류 등에 영향을 미치는 K, Na 값이 기존 다른 연구보고와 유사한 값을 가지고 있는 것을 확인하였다.

Key Words : 에나멜코팅, 나노하이브리드, PAI-MCS, 졸겔, 전기적특성

1. 서론

산불에 자기애자가 노출되면 크게 1)열에 의한 열화(열 충격, 화염, 냉열)와 2)연무에 의한 분진오손으로 나눌 수 있다. 산불열화에 의해 영향을 받는 자기애자의 요소는 절연부인 자기, 접합부인 시멘트, 지지부인 금구 그리고 표면부인 유약으로 서로 다른 재료의 복합구성으로 이루어져 있기 때문에 무엇보다도 열충격에 의한 이종물질 간의 스트레스 작용이 고장으로 이어지는 열화 메카니즘이 작용한다. 산불이 발생하면 다양한 형태의 연료가 작용하지만 송전 절연물에 영향을 미칠 수 있는 주 나무연료는 어느정도 높이를 가지는 나무에 의한 것이 대부분이다. 여기서는 나무(장작)를 자연 연료로 하여 화염을 유도하는 경우 송전용 절연물에 미치는 온도분포와 오손특성을 시험 검토하였다. 시험설비 설계구축과 화염특성에 따른 열화조건은 앞에서 언급한 확인한 송전용 절연물의 열충격 열화가 발생하는 노출 온도범위를 참고하여 시험하였다.

2. 실험

그림 1은 나무연료의 화염 및 분진열화 시험을 위해 구축한 설비와 시료의 사진을 나타낸 것이다. 장작형태의 연료를 하단부에 넣고 상단에 시험용 절연물을 취부할 수 있도록 설계하였다. 온도의 분포와 크기를 정확히 측정하기 위해 뒷면에 총24개의 채널을 이용한 온도를 측정하면서 실험하였다. 한편 필요에 따라 하부에서 바람을 조절할 수 있는 모터 벤트를 장착하여 화염의 가속과 높이를 제어 할 수 있는 구조로 설계 제작하였다. 시험에 사용된 시료인 송전용 절연물은 국내에서 제작된 자기재 현수애자(36,000lb)로 표면과 기본 절연성능(절연, 고주파 내전압)이 확인된 건전 제품을 대상으로 하였다.

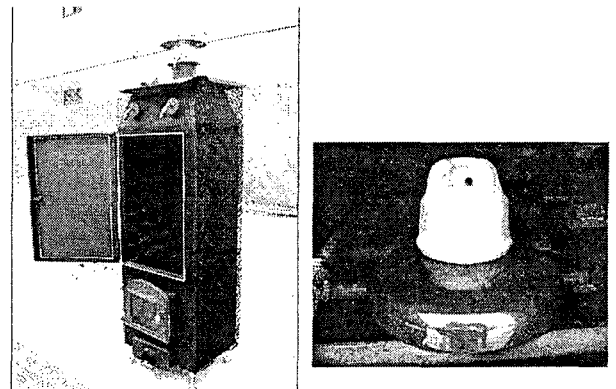


그림 1. 화염 및 분진열화 시험설비와 시료

시료의 수는 각 패턴별 성능시험에 요구되는 적정 개수를 사용하였으며 나무연료 화염열화 후 표면의 오손과 성락특성을 확인한 후 성능시험을 실시하였다.

나무연료 내열충격 조건:

- 내열충격온도 : <math>< 300^{\circ}\text{C}</math>
- 유지시간 : 10-30min.
- 냉각조건 : 로냉, 공냉, 수냉

3. 결과 및 검토

표 1은 나무연료의 기초물성을 정리한 것이다. 환경과 종류에 따라 화력과 가스의 종류가 달라지는 것으로 알려져 있다. 나무연료가 중요한 이유는 산림의 낙엽, 잡목, 풀류에 비해 화염의 세기와 열량이 크게 지속되기 때문에 송전설비에 영향을 미치는 직접적인 연료는 나무형태가 우선된다. 표 2에서 알 수 있듯이 소나무와 참나무과의 연소피크 온도는 대략 450-490 $^{\circ}\text{C}$ 로 나타나고 있다. 여러 가지 나무연료에 대한 TGA 열분석 실험에서 종류별로 연소특성 특히 잔존 특성에서 차이가 큰 것을 알 수 있다.

10여 미터 짜리 소나무 10그루가 연소될 경우 화염의 최대높이가 28미터까지 올라갈 수 있다. 현재 송전설비의 지상고는 154, 345kV 송전선로의 경우 20에서 26미터를 유지한다. 하단에 직접적인 나무연료의 영향은 없지만 산불이 대규모로 번지는 경우 주변 나무에 의한 화염노출은 불가피하다.

표 1. 나무연료의 기초 화염 물성

수종	환경조건	환경조건		Peak Temp (°C)	Peak Time (min)	Calorie (cal/g)
		온도(°C)	생물무게 (mg)			
소나무	외피	500	3.2	459.1	23.23	3764.23
	나뭇잎	500	4.2	474.9	32.41	3348.57
굴참나무	외피	500	8	491.2	34.82	2896.64
	나뭇잎	500	5	485.5	32.73	2550.5
줄참나무	외피	500	5.7	473.4	30.75	2848.64
	나뭇잎	500	4	489.4	34.18	3112.67

그림 3은 본 실험에 사용된 소나무 연료의 열분해 특성을 실험한 결과이다. 200°C 부근에서 급한 열분해가 시작되고 500°C 부근에서 산화가 거의 마무리되면서 80wt% 정도의 loss를 보이는 전형적인 열분해 특성을 갖는 것으로 나타났다.

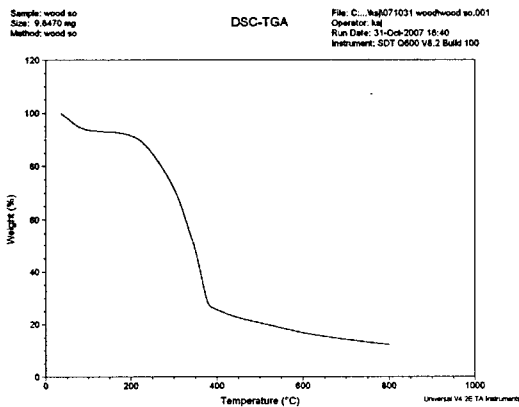


그림 2. 나무연료(소나무)의 TGA

그림 3(건조)와 4(주수)는 오손등급(강, 중, 약)별 인가 전압에 대한 누설전류의 변화를 측정된 결과이다. 건조상태의 시험조건에서 모든 시료에서 인가전압이 증가함에 따라 누설전류는 선형적으로 점차 증가하였다. 이때 오손이 강한 시료에서 고압에서 미세한 누설전류의 증가가 관측되었으나 그것은 거의 무시할 수 있는 정도였다. 주수 환경에서 시험한 경우 누설전류는 크게 증가하였다. 또한 인가전압의 증가에 대한 누설전류의 변화도 건조시의 선형성에서 지수함수적인 증가 패턴을 나타내었다. 특히 오손이 심한 시료에서 누설전류의 증가 추세가 더 크게 나타났다. 이러한 결과는 향후 보다 정량화된 조건과 비교 시험을 통해 오손특성과 나아가 성락특성을 이해하는 데 중요한 데이터로 활용될 예정이다.

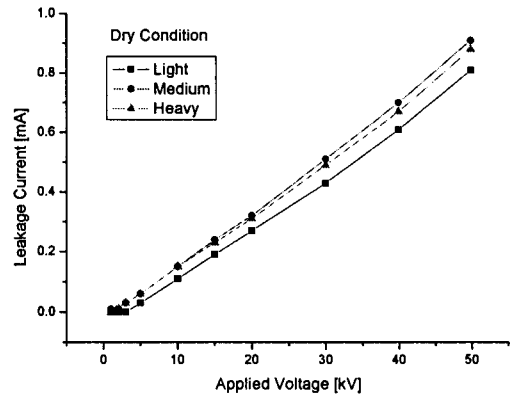


그림 3. 연무오손 조건에 따른 누설전류(건조상태)

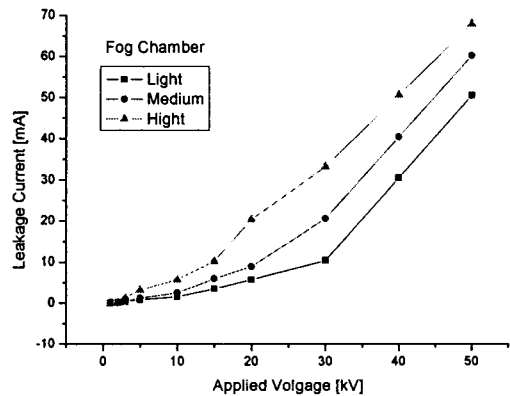


그림 4. 연무오손 조건에 따른 누설전류(주수상태)

4. 결론

산불이 발생하면 다양한 형태의 연료가 작용하면서 송전 절연물의 열화에 영향을 미친다. 본 연구에서는 자연연료의 화염과 연무오손을 유도하여 송전용 절연물에 미치는 온도 분포와 오손특성을 시험 분석하였다. 시험설비 설계구축과 화염특성에 따른 열화조건은 절연물의 열충격 열화가 발생하는 노출 온도범위를 분석하여 실험에 도입하였다. 나무연료에 대한 TGA 열분석에서 연료 종류별로 연소특성, 특히 잔존 특성에서 차이가 큰 것을 알 수 있었다. 나무연료에서 발생하는 연무를 slit glass에 오손시켜 오손의 형태와 조성을 SEM을 사용하여 분석한 결과 섬유질 형태의 재(ash)와 일부 입자가 확인되었고 1µm이하의 미립자가 나타났다. 연무 오손물의 성분을 EDX로 분석한 결과 C와 O성분이 대부분을 차지하고 있으며, 관심이 되는 K, Na, Ca 등의 이온화 금속성분도 측정되었다. 특히 전기적 절연, 성락, 누설전류 등에 영향을 미치는 K, Na 값이 기존 다른 연구보고와 유사한 값을 가지고 있는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 전력기반기금사업의 연구비 지원에 의한 것입니다.