

가속열화시험을 이용한 배전용 폴리머피뢰기의 장기신뢰성 평가기법 개발

(Development of Longtime Reliability Assessment Method of Polymer Housed Distribution Surge Arresters using Accelerated Aging Test)

김주용* · 송일근 · 문재덕

(Ju-Yong Kim · Il-Keun Song · Jae-Duk Moon)

요 약

본 논문에서는 폴리머피뢰기의 현장 열화인자를 인가할 수 있는 가속열화 시험장치를 제작하고 국내 환경조건을 모의할 수 있는 시험주기를 개발하여 폴리머피뢰기 완제품에 대한 장기신뢰성 평가법을 제안하였다. 그리고 가속열화시험 및 현장설치에 의한 전기적, 화학적 특성변화를 분석하여 폴리머피뢰기의 열화정도를 평가함으로써 본 연구에서 제안한 평가기법의 실효성을 검증하고 국산 폴리머피뢰기의 유지보수에 필요한 특성 데이터를 제시하였다.

Abstract

In this study we developed accelerated aging test cycle and equipment which can simulate domestic weather condition. And we proposed long term reliability assessment method for polymer housed distribution surge arresters. We carried out electrical and chemical analysis of the arresters which are used for accelerated aging test and outdoor exposure test. Through the analysis we verified the capability of the proposed method and we presented characteristic data for maintenance of domestic arresters.

Key Words : Polymer, Surge Arrester, Leakage Current, Accelerated Aging, Reliability

1. 서 론

현재 폴리머피뢰기의 애관으로는 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer)과 실리콘 재질이 주로 사용되고 있으며, 이들은 세라믹 재질과는 달

리 자연환경 조건에 의해 열화되는 특성이 있어[1] 피뢰기 소자뿐만 아니라 애관의 장기신뢰성에 대한 관심이 높은 상태이나 현장 사용기간이 짧아 장기성능 파악이 불가능하다. 이에 따라 단기간에 폴리머 피뢰기의 장기신뢰성을 평가 할 수 있는 방법의 개발이 요구되게 되었다. 폴리머 피뢰기의 장기신뢰성 또는 열화특성 평가는 크게 두 가지 측면에서 접근 가능하다. 우선 피뢰기의 핵심요소인 ZnO 소자의 열화를 생각할 수 있다. 피뢰기 소자의 열화특성에 대한 연구는 배전선로에 피뢰기가 적용된 후 많은 연

* 주저자 : 전력연구원 선임연구원
Tel : 042-865-5913, Fax : 042-865-5904
E-mail : kimjy@kepri.re.kr
접수일자 : 2006년 10월 10일
1차심사 : 2006년 10월 16일
심사완료 : 2006년 10월 24일

구를 통해 검증되어 IEC, ANSI 등의 국제규격에서는 온도 가속시험을 통한 수명 평가방법을 제시하고 있다.

또 피뢰기 고장의 주요원인이 수분침투로 인한 소자의 흡습에 의한 것이므로 수분침투 특성을 평가하기 위한 다양한 방법의 기밀시험을 통해 장기신뢰성을 평가하고 있다[2-5].

두 번째 폴리머피뢰기의 열화 요인은 폴리머 애관 재료의 열화이다. 폴리머재료는 자연환경에 의해 열화되고 이로 인해 피뢰기의 표면 누설전류가 증가하여 외부섬락이 발생하거나 애관이 침식되어 내부로 수분유입을 초래할 수 있다. 그러나 폴리머재료에 대한 열화평가는 폴리머 재료 자체를 대상으로 하거나 폴리머애자에 대해서는 많은 연구가 있었으나 폴리머피뢰기 완제품을 대상으로 한 연구는 국내에서 이루어진 바가 없고 적절한 시험법도 없는 상태이며, 국외에서도 폴리머피뢰기 장기신뢰성 평가를 폴리머 애자에서 사용되는 시험방법과 동일하게 수행하고 있다[6].

이에 따라 본 연구에서는 국내에서 사용중인 폴리머피뢰기의 운전환경을 고려하여 가속열화 시험조건을 결정하고 이를 모의할 수 있는 시험장치를 개발하였다. 또 이 장치를 활용하여 국산 폴리머피뢰기의 장기 열화 특성을 평가함으로써 폴리머피뢰기 유지보수에 필수적인 전기적, 화학적 특성데이터를 확보하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 가속열화 인자 및 시험주기

현재 국내에서는 배전용 폴리머애자의 장기신뢰성 평가를 위해 3,000시간 복합열화시험방법을 사용하고 있다. 이는 IEC 61109의 5,000시간 가속열화시험법과 EPRI/FPL의 5,000시간 시험법[7] 및 국내 자연환경조건을 고려한 시험주기 사용하고 있다.

폴리머피뢰기는 애관 재료의 성능평가뿐만 아니라 소자와 기밀성능의 평가가 추가로 이루어져야 한다는 점에서 폴리머애자 시험방법을 그대로 적용할 수 없다.

이에 따라 본 연구에서는 시험 온도를 애관과 내부도플 사이의 계면에 기계적인 스트레스를 가할 수 있도록 -20~80[°C]의 조건을 구현하였다. 여름주기의 최고온도는 애관재료의 변형을 초래하지 않고 피뢰기 소자의 온도상승 효과를 확인할 수 있도록 설정하고 겨울주기는 우리나라 겨울철 최저온도를 기준으로 하였다.

습도는 고온 다습한 환경을 제공하여 불량한 피뢰기의 계면으로 수분 유입이 가능하도록 하였다. 자외선은 연간 일조시간을 고려하여 조사시간을 결정하였으며, 태양광 파장을 모의하기 위해 UV-B 램프를 사용하였다. 염무조건은 가속효과를 위해 국내보다 염무의 영향이 큰 플로리다 지역의 환경조건을 참고하였다.

그리고 주수는 실제 빗물의 전도도와 강우량을 고려하여 스트레스 기준을 설정하였으며 시험전압은 통상적으로 피뢰기 소자의 가속열화시험에 사용되는 전압인 MCOV(Maximum Continuous Operating Voltage)를 사용하였다. 아래는 이러한 시험조건을 요약한 내용이다.

표 1. 가속열화시험인자
Table 1. Accelerated aging factors

열화 인자	스트레스 수준
온도/ 습도	· 여름주기 : 온도(15~80[°C]), 습도(40~95[%] r.h. 이상) · 겨울주기 : 온도(-20~15[°C]), 습도(30~60[%] r.h. 이상)
자외선	· ASTM G53의 UV-B lamp(파장280~315[nm])
주수	· 주수량(2~3[mm/min]), 주수각도 45[°] · 전도도(50[μs/cm] 이하)
염무	· 공기압(80[psi], ± 10[%]), · 염수량(7~9[cc/min · m ²]) · 전도도(4,000[μs/cm] ± 5[%] 이내)
전압	· 15.3[kV] ± 10[%]

한편 가속열화 시험주기는 그림 1 및 그림 2와 같이 여름주기와 겨울주기가 각각 8시간으로 구성되며, 여름주기를 10일간 반복한 후 겨울주기를 11일간 반복하여 3,000시간 동안 계속된다. 여름에는 비

가 많고 고온이며 자외선 조사량이 많으며, 겨울에는 저온이며 염무가 많은 특징이 있다.

시간 (hour)	1	2	3	4	5	6	7	8
Seal Test (4,000h)								
습수 (30~70%RH)								
온습도 (15℃~40℃, 40%~80%RH)	15℃ 40%	30℃ 60%	15℃ 40%	30℃ 60%	15℃ 40%	30℃ 60%	15℃ 40%	30℃ 60%
자외선 (10 W/m ²)								
전압 (15.3 kV)								
온도조절 주기								

그림 1. 가속열화시험주기(여름주기)
Fig. 1. Accelerated aging cycle(summer cycle)

시간 (hour)	1	2	3	4	5	6	7	8
Seal Test (4,000h)								
습수 (30~70%RH)								
온습도 (15℃~15℃, 30%~80%RH)	15℃ 80%	10℃ 50%	4℃ 30%	3℃ 30%	-18℃ 30%	-14℃ 30%		
자외선 (10 W/m ²)								
전압 (15.3 kV)								
온도조절 주기								

그림 2. 가속열화시험주기(겨울주기)
Fig. 2. Accelerated aging cycle(winter cycle)

2.2 시험장치 구성

시험용 챔버는 그림 3과 같이 한쪽면에 8개의 시료를 설치하여 총 16개의 폴리머피복기 완성품 설치가 가능하도록 내부용적을 8[m³](1,500×1,800×3,000 [mm])로 제작하였으며, 내부 벽면은 주수 및 염무에 의한 내부 부식 방지를 위해 스테인레스 스틸을 사용하였다.

시험에 사용되는 전원은 40[kVA] 변압기에서 인출되어 챔버 상단의 부싱을 통해 공급되며, 자외선 램프는 챔버 하부의 밀폐 공간에 설치한 후 모터 구동방법으로 챔버내로 이동하여 시료의 측면 5[cm] 거리에서 자외선을 조사할 수 있도록 제작하였다.

자외선 조사주기 완료 후에는 다시 챔버 하부의 보관실로 이동시키고 덮개를 덮어 수분의 유입을 차단하였으며, 자외선 램프 보관실내의 수분제거를 위해 환기팬을 설치하였다. 자외선 램프는 4개의 설치대에 각각 4개의 램프를 설치하여 하나의 설치대가

4개의 시료에 자외선을 조사하는 구조로 제작하였으며 모든 시료의 표면에 자외선이 일정하게 조사될 수 있도록 하였다. 주수노즐은 챔버 상부에 각 시료마다 1개씩 설치되며 시료와의 각도를 45[°]로 유지하면서 시료가 골고루 젖을 수 있도록 IEC 60507에 따라 제작하였으며 열선을 설치하여 겨울주기에 노즐이 동결되는 것을 방지하였다.

또 각 시료의 단로기 하부와 애관 하단부에 누설전류 측정용을 위한 전극을 설치하여 내부와 표면 누설전류를 측정하였으며, 내부 누설전류로부터 저항분 누설전류를 추출하였다. 또 챔버의 운전상태와 각 시료의 누설전류를 모니터링하고 일별로 저장할 수 있도록 제어 및 계측을 위한 HMI를 구성하였다.

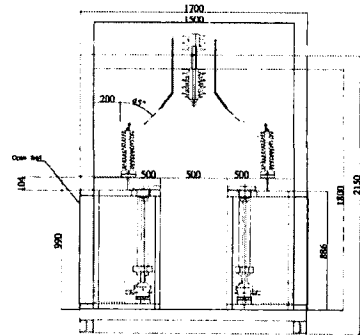


그림 3. 가속열화 시험장치
Fig. 3. Accelerated aging test chamber

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시 료

가속열화시험을 위해 표 2와 같이 한전 납품실적이 많은 두 업체의 신제품시료(V사 : 시료 #1~시료 #6, B사 : 시료 #7~시료 #12) 2그룹과 현장 운전경험이 있는 경년품 시료(S사 : 시료 #13, #14, V사 : 시료 #15, #16) 2그룹을 준비하였다.

그룹 C는 1999년부터 2001년 사이에 계면불량에 의한 고장이 다수 발생한 제조사의 제품으로써 가속열화 시험장치의 결함검출 성능을 확인하기 위해 선정하였으며, 그룹 D는 가속열화시험에 사용되는 그룹 A(V사 제품)와 동일한 제조사 제품으로서 현장

열화품과 신품과의 특성변화 비교 및 현장 열화품의 장기성능 평가를 위해 발취하였다.

또 가속열화 후 시료와의 비교를 위해 해안가 옥외실증시험장에 3년간 설치된 시료를 발취하였다. 시험전 이들 시료에 대한 특성을 평가한 결과 표 2와 같이 기준전압이 모두 규격에서 정의하는 22.9[kV_{dc}] 이상으로 나타났으며, 누설전류값도 제작사별로 약간의 차이는 있으나 성능에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

표 2. 각 시료별 초기특성

Table 2. Initial condition of each specimen

시료 구분	시료 번호	제조사	기준전압 (V _{ImA dc})	누설전류 (at 13.2[kV])	
				전체	저항분
그룹 A	#1~#6	V사(신품)	29	140	10
그룹 B	#7~#12	B사(신품)	29	140	15
그룹 C	#13~#14	S사(2002)	29	180	10
그룹 D	#15~#16	V사(2003)	30	140	14

3.2 누설전류 특성분석

가속열화시험은 10일 동안의 여름주기, 11일의 겨울주기를 2회 반복함으로써 1,000시간 가속시험을 완성하고 이를 총 3회 반복하여 3,000시간 가속열화 시험을 완료하게 된다. 이는 현장에서 6년 이상 운전되는 효과를 가지는 것이다. 실제 가속열화시험주기의 운전상태는 그림 4, 그림 5와 같이 입력된 최고온도 80[°C]와 최저온도 -20[°C]가 정확히 구현되고 있는 것으로 나타났다.

이러한 운전주기에서 피리기의 내부 누설전류는 그림 6과 같이 온도의 변화에 의존적으로 나타나며 내부 누설전류에서 추출한 저항분 누설전류도 그림 7과 같이 50[μA] 정도에서 온도에 따라 변하는 것으로 나타났다.

이처럼 3,000시간의 시험 중 모든 시료의 내부 누설전류와 저항분 누설전류는 온도변화와 함께 일정폭의 변화를 나타냄으로써 가속열화로 인한 소자의 열화나 수분침투 등은 발생하지 않은 것으로 나타났다.

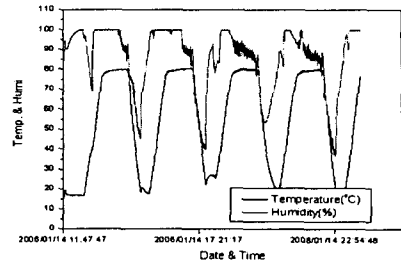


그림 4. 여름주기 운전상태
Fig. 4. Summer cycle

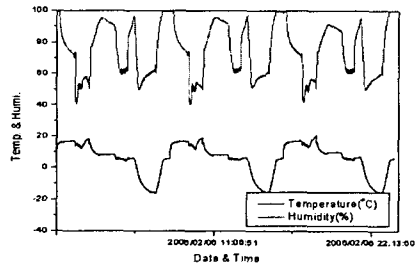


그림 5. 겨울주기 운전상태
Fig. 5. Winter cycle

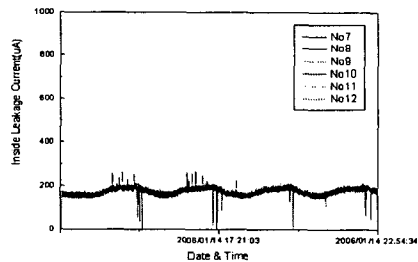


그림 6. 그룹 B의 내부누설전류
Fig. 6. Inside leakage current of group B

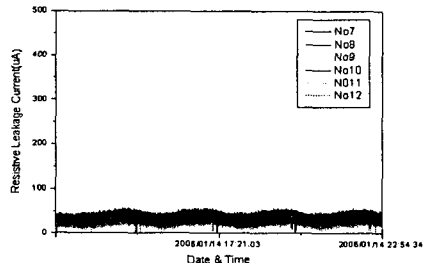


그림 7. 그룹 B의 저항분누설전류
Fig. 7. Resistive leakage current of group B

하지만 표면 누설전류는 1,000시간이 경과하면서 그룹 C와 그룹 D에서 그림 8과 그림 9와 같이 크게 증가하였다. 이와 같이 누설전류가 증가하는 구간은 겨울주기의 주수구간으로써 자연상태에서 겨울철에 나타나는 높은 누설전류와 동일한 양상이며, 이들 시료가 가속시험 이전에 2년간의 현장 운전으로 표면에 다량의 오손물이 부착된 상태이기 때문으로 생각된다.

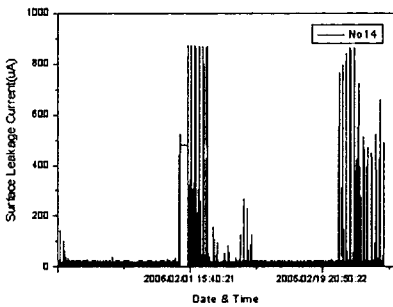


그림 8. 그룹 C 시료 표면누설전류(0~1,000시간)
Fig. 8. Surface leakage current of group C

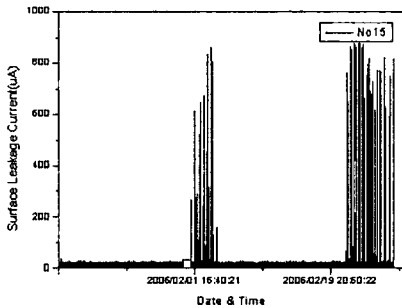


그림 9. 그룹 D 시료 표면누설전류(0~1,000시간)
Fig. 9. Surface leakage current of group D

한편 2,000시간부터 3,000시간까지의 표면누설전류를 분석해 보면 그림 10과 같이 현재까지 표면 누설전류의 변화가 없었던 그룹 B 시료에서 크게 증가하였다. 이러한 현상은 그룹 A시료 일부에서도 관찰되었다.

반면에 현재까지 많은 표면누설전류를 나타내었던 그룹 C와 그룹 D 시료들은 그림 11과 같이 3,000시간 열화 후에는 표면 누설전류가 현저히 줄어들었다.

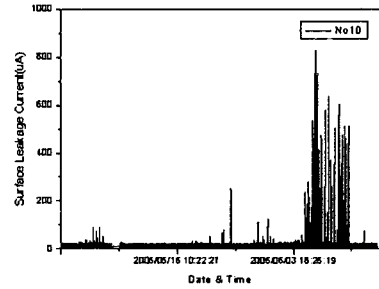


그림 10. 그룹 B시료의 표면누설전류 (2,000~3,000시간)
Fig. 10. Surface leakage current of group B

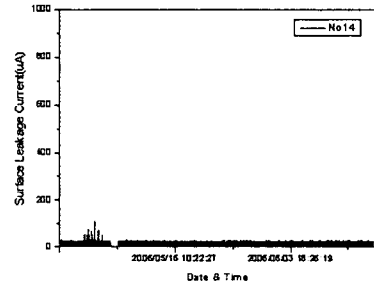


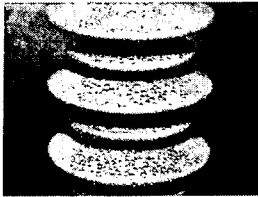
그림 11. 그룹 C시료의 표면누설전류 (2,000~3,000시간)
Fig. 11. Surface leakage current of group C

이와 같은 표면 누설전류의 변화는 피뢰기의 표면이 어느 정도 오손된 후 자연 세정되는 특성때문이다. 이처럼 3,000시간의 가속열화 시험 중 전체누설전류와 저항분 누설전류는 온도와 함께 일정한 변화를 나타내어 기밀피손 등의 열화는 발생하지 않았으며 모든 시료의 가속열화 후 전기적 특성은 양호할 것으로 예상된다. 또 본 시험방법이 현장에서의 표면 특성변화를 잘 모의하는 것으로 나타났다.

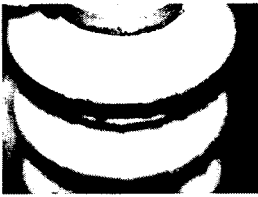
3.3 발수성 및 표면 미세구조

가속열화시험에 사용된 시료와 옥외 실증시험장에서 3년간 설치된 시료에 대한 표면 미세구조 분석을 실시하였다.

가속열화시험에 사용된 그룹 A와 그룹 B 시료는 그림 12와 같이 3,000시간 이후 발수성은 약간 저하되었으나 표면 미세구조는 거의 변화가 없었다.

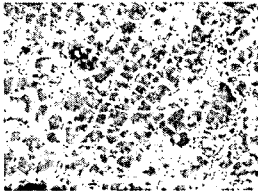


(a) 초기시료
(a) Initial

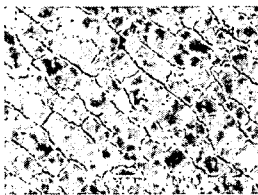


(b) 3,000시간 열화 후
(b) After 3,000 hours aging

그림 12. 그룹 B(시료 #9)의 발수성
Fig. 12. Hydrophobicity of group B



(a) 초기시료
(a) Initial



(b) 3,000시간 열화 후
(b) After 3,000 hours aging

그림 13. 그룹 C(시료 #14)의 표면미세구조
Fig. 13. Hydrophobicity of group C

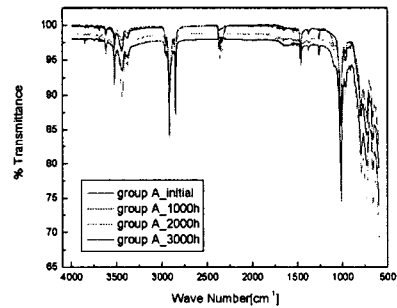
한편 그룹 C와 그룹 D 시료는 2년간의 현장운전에 의해 미세균열이 발생한 상태였으며, 발수성도 현저히 저하된 시료였다. 이 시료는 3,000시간 열화 후 그림 13과 같이 표면의 미세균열이 더욱 확대된 것으로 나타났으며, 발수성도 회복되지 않았다. 이로 부터 발수성은 부착성 오손물과 관련이 있으며, 본

가속열화 시험방법이 시료에 비정상적인 열화를 촉진하지 않음을 확인할 수 있다.

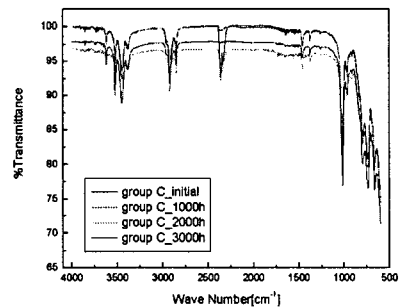
3.4 화학구조결함분석

FTIR 분석은 열화에 따른 재료의 물성 변화를 측정하기 위해 사용되었다. 초기 시료의 표면 측정 결과를 기준으로 1,000시간, 2,000시간, 3,000시간 경과에 따른 특정 작용기(functional group)에서 반사율의 크기 변화를 측정하여 비교 분석하였다.

또한 옥외실증시험장에 설치되었던 피뢰기의 애관 시료를 채취하여 FTIR을 분석을 실시하였다. 가속열화 시료를 각각 초기, 1,000시간, 2,000시간, 3,000시간 간격으로 FTIR로 분석한 결과 그림 14와 같은 피크를 얻을 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 주요 피크값의 반사율을 계산하였다.



(a) 그룹 A 시료
(a) Group A specimen



(b) 그룹 C 시료
(b) Group C specimen

그림 14. 애관표면의 FTIR 결과
Fig. 14. FTIR results of housing surface

이 중에서 열화 평가 요소로 주로 활용되는 CH₂ 비대칭 결합(2916 cm⁻¹)에 대한 피크를 비교한 결과 경년품을 사용한 그룹 C와 그룹 D 시료는 표면 오손물로 인해 해당피크의 측정이 불가능한 상태임에 따라 그룹 A와 그룹 B 시료 및 동일 제작사 옥외 설치 시료에 대해 비교하였다.

이때 1,000시간은 여름주기 10일 겨울주기 11일을 2회 반복한 것으로써 현장에서 2년에 해당되는 것으로 가정하였다. 그리고 실제 옥외에 3년간 설치된 시료의 결과를 표기하면 그림 15와 같이 열화로 인한 CH₂ 비대칭 결합이 감소함을 알 수 있다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$y = 12.57 + 2.475x - 0.1875x^2 \quad (1)$$

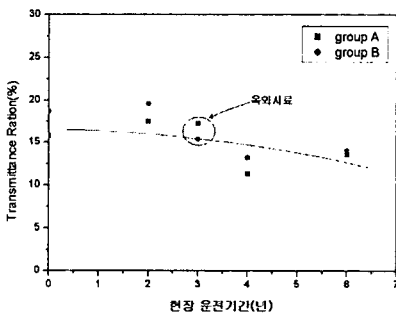


그림 15. CH₂ 비대칭 결합의 변화
Fig. 15. Variation of CH₂ asymmetric stretch

3.5 유전특성 분석

애관 재료의 유전특성을 비교 분석하기 위해 가속 열화시험 이전 시료(초기시료)와 3,000시간 열화 후 시료 및 옥외실증시험 시료의 애관 일부를 발취하였다.

발취된 애관을 마이크로톰(Microtome)을 사용하여 0.2~0.4[mm] 두께의 시험용 시편으로 가공한 후 Novocontrol사의 DETA(Dielectric Thermal Analyzer)로 온도와 주파수에 따른 유전손실을 측정하였다.

온도범위 -20~80[°C]에서 시료 #1(V사)의 주파수별 유전손실을 측정하였다. 그림 16은 가속열화 이전 시료의 결과이고, 그림 17은 3,000시간의 가속열화 시험을 종료한 시료의 특성곡선이다. 한편 그림

18은 옥외실증시험장에 설치된 동일 제작사 시료의 특성곡선이다. 가속열화시험 이전의 시료 #1은 신품 상태이며, 옥외시험장 설치시료는 신품을 설치하여 현재 3년이 경과된 것이다.

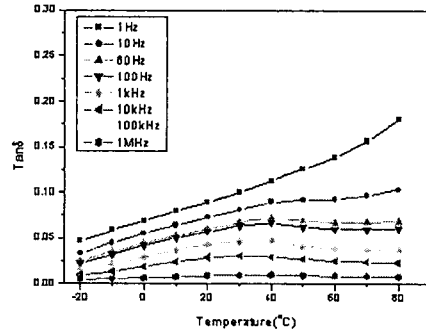


그림 16. 그룹 A(시료#1) 초기 유전손실
Fig. 16. Initial dielectric loss of group A

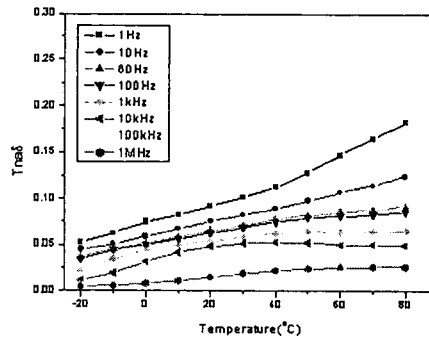


그림 17. 그룹 A(시료#1) 3,000시간 열화 후 유전손실
Fig. 17. Dielectric loss after aging of group A

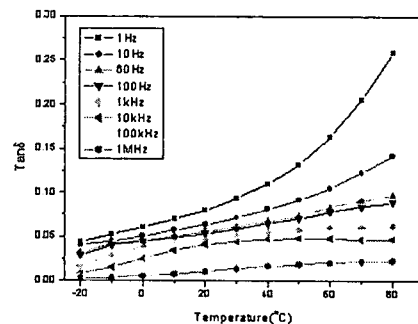


그림 18. 그룹 A와 동일 제작사 옥외설치시료
Fig. 18. Dielectric loss of outdoor installed specimen

가속열화시험을 이용한 배전용 폴리머피뢰기의 장기신뢰성 평가기법 개발

이와 같이 얻은 결과를 분석한 결과 그룹 C와 그룹 D 시료는 그룹 A 및 그룹 B 시료와 재료의 물성 차이로 인해 직접적인 데이터 비교가 불가능하였다. 이에 동일한 제작사의 애관을 사용하는 그룹 A와 그룹 B 시료 그리고 이들과 동일시기에 제작되어 옥외 시험장에 설치된 시료의 결과를 비교한 결과 60[Hz]와 1[MHz]에서 각각 그림 19 및 그림 20과 같이 초기 시료는 온도증가와 함께 증가하다가 감소하는 경향을 나타내지만 열화된 시료는 온도와 함께 계속 증가하였다. 또, 가속열화시험 시료가 옥외시료보다 더 큰 손실값을 나타냄으로써 본 시험방법의 가속효과를 확인할 수 있었다.

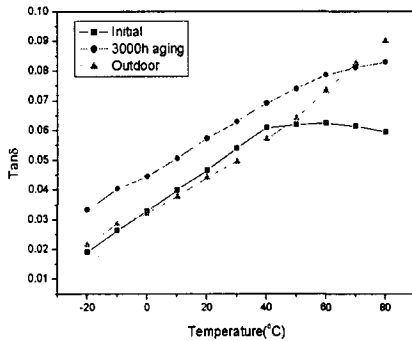


그림 19. 60[Hz]에서의 유전손실
Fig. 19. Dielectric loss at 60[Hz]

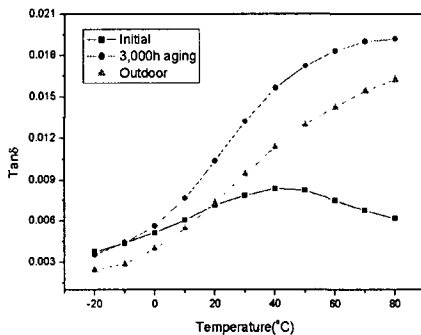


그림 20. 1[MHz]에서의 유전손실
Fig. 20. Dielectric loss at 1[MHz]

3.6 전기적성능 평가

3,000시간 동안의 가속열화시험을 종료한 후 시료를 육안으로 관찰한 결과 일부 시료에서는 심각한

손상 현상이 나타났다. 대부분 시료의 브라켓은 변색되고 금속캡이 부식되었으며, 특히 그룹 C 시료의 경우에는 금속 너트가 심하게 부식되고 브라켓에서 트래킹 흔적도 발견되었으며, 그림 21과 같이 날개 끝부분과 시스에서에서 침식현상이 관찰되었다. 이는 표면누설전류의 급증으로 인한 것이며, 애관 재질의 설계불량 때문으로 생각된다.

육안검사 후 이들 가속열화시료에 대해 기준전압 시험, 누설전류시험, 부분방전시험, 제한전압시험, 단로기동작시험, 브라켓시험을 실시하여 가속열화로 인한 성능변화를 측정된 후 마지막으로 기밀시험을 실시하여 가속열화 후 기밀성능을 확인하였다.

시험결과 일부 시료의 브라켓 굽힘강도가 불량한 것으로 나타났으나 이는 가속열화 때문이 아니라 제조상의 결함에 의한 것으로 생각된다. 그리고 그룹 C 시료의 브라켓이 현장 사용과 가속열화로 인해 트래킹 성능이 저하된 것으로 나타난 것을 제외하고 모든 시료의 전기적 성능은 가속열화 후에도 양호한 특성을 나타내었다. 이로부터 3,000시간 가속열화방법이 시료에 비정상적인 열화를 초래하지 않으면서 국산 폴리머피뢰기를 열화시킬 수 있는 방법임을 알 수 있다.

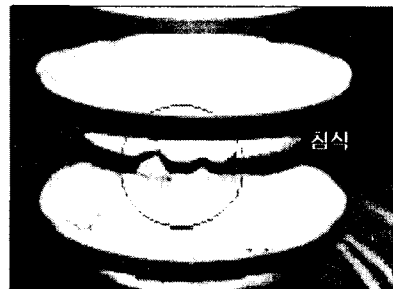


그림 21. 애관의 침식
Fig. 21. Erosion of housing

한편 3,000시간 가속열화 시험 후 단로기에 대해 20[A]에서의 동작시험을 실시한 결과 2개의 단로기를 제외하고 대부분이 동작하지 않았다. 이는 단로기의 기밀 파손에 의한 것으로서 국내에서 사용중인 단로기의 기밀성능이 취약함을 나타내는 것이며, 기밀성능 개선이 필요한 것으로 판단된다. 단로기 규격시험 전류 중 200[A]와 800[A]에서의 시험은 단로

기 내에 결함이 존재여부를 구분이 어렵기 때문에 제외하였다.

표 3. 기밀시험조건
Table 3. Sealing performance test condition

시 험 조 건						
예열시험		침 수 시 험				
시험 온도	시험 시간	온수조		냉수조		시험 Cycle
		시험 온도	시험 시간	시험 온도	시험 시간	
70±3[°C]	14일	60±3[°C]	1시간	4±3[°C]	2시간	10 Cycle

이상의 모든 시험을 종료한 후 가속열화로 인한 기밀성능 저하를 확인하기 위해 기밀시험을 표 3과 같은 조건으로 실시하였다.

이때 시험전·후의 RIV 측정치가 20[μW] 이상 증가해서는 안되며, 시험전·후의 저항분전류 또는 전력손실의 측정치가 50[%] 이상 증가해서는 않된다.

시험결과 대부분의 시료에서 시험 후 저항분 누설 전류가 급증하여 7개의 시료가 시험기준에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 이는 3,000시간의 가속열화시험에서 가해진 온도 스트레스가 피뢰기의 기밀부분에 기계적인 스트레스로 작용함에 따라 모든 시료의 기밀성능이 저하되었음을 의미하며, 가속열화 후 추가적인 기밀시험은 지나치게 가혹하여 장기신뢰성 평가에는 적합하지 않음을 나타내는 것이다.

그러므로 가속열화시험 후의 기밀성능 유지여부의 평가는 가속열화시험 전과 후의 RIV와 저항분전류를 비교하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

3.7 장기신뢰성 평가기법

이와 같이 본 논문에서 제안하는 가속열화 시험은 정상적으로 제작된 피뢰기에 대해서 현장에서와 유사한 열화를 촉진하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 본 시험 주기를 활용한 가속열화시험 및 성능 평가시험 결과를 바탕으로 폴리머피뢰기 장기신뢰성 평가기법 정리하면 표 4와 같다.

표 4. 폴리머피뢰기 장기신뢰성 평가방법
Table 4. Reliability assessment method for polymer arresters

항 목	내 용
시험방법	· 3,000 시간 가속열화 시험 (표1)
평가방법	육안 점검 · 시험중 섬락에 의한 트립이 없을 것 · 침식에 의해 내부모듈이 드러나지 않을 것 · 하우징이나 시스에 트래킹 또는 관통이 발생하지 않을 것
	전기적 성능 · 기준전압 · 누설전류 · 단로기동작(20[A]) · 부분방전 · 절연행거시험(굽힘과괴, 내트래킹성) · 뇌충격제한전압 · 가속열화시험전후 RIV · 가속열화시험전후 저항분 누설전류

4. 결 론

본 논문에서는 국내에서 사용중인 폴리머피뢰기의 장기신뢰성 평가를 위해 국내 자연환경조건을 고려한 가속열화 시험주기를 제안하고 이를 구현하기 위한 가속열화 시험장치를 제작하였다.

그리고 총 16개의 신제품 및 경년제품 시료를 제안한 방법으로 가속열화하고 전기적 성능을 검증한 결과 대부분 시료의 기밀성능이 가속열화로 인해 저하되었고, 설계 및 제조결함을 내재한 애관재질이 침식되었다. 그리고 육안시험장에서 자연열화된 시료와의 비교 할 때 폴리머피뢰기의 장기성능 평가에 적용 가능함을 확인하였다.

이에 따라 본 시험방법은 신 개발 피뢰기의 현장 적용 사전평가 또는 운영중인 피뢰기의 장기신뢰성 평가를 통한 교체여부 결정을 위해 활용가능할 것이다.

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업의 기술개발 결과입니다.

References

- [1] E.A. Cherney, "Non-ceramic Insulators for Contaminated Environments", IEEE Trans. on Power Apparatus and Environments", No. 1, PAS-100, pp131-142, 1981.
- [2] IEC standard 60099-4, "Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems, 2004.
- [3] ANSI standard C29.11, "Composite Suspension Insulators for Overhead Transmission Lines Tests", 1996.
- [4] IEC Standard 61109, "Composite insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000V-definition, test methods and acceptance criteria", 1992.
- [5] IEEE standard C62.11, "Metal-oxide surge arresters for AC power Circuit, 1999.
- [6] Jeffrey J. Kester, "Multistress aging tests of polymer housed surge arresters", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, pp446-451, Apr 1998.
- [7] Raji Sundararajan, "Multistress Accelerated Aging of Polymer Housed Surge Arresters Under Simulated Coastal Florida Conditions", Vol 13, No 1, pp211-226, Feb. 2006.
- [8] 송일근 외, "배전용 폴리머애자의 신뢰성 평가 및 운용 기준 제정," 최종보고서, 전력연구원 2001.
- [9] A송일근 외, "폴리머애자 경년열화 실증연구" 3차년도 중간보고서, 전력연구원, 2005.
- [10] H.M.Schneider et al, "Accelerated Aging and Flashover Tests on 138kV Nonceramic Line Post Insulators, IEEE paper WM264-2 PWRD.
- [11] T. G. Gustansson, "Aging of Silicone Rubber under AC or DC Voltages in a Coastal Environment", IEEE Trans on DEI, Vol. 8, pp1029-1039, 2001.
- [12] Raji Sundararajan, "In-Service Aging and Degradation of 345kV EPDM Transmission Line Insulators in a Coastal Environment", IEEE Trans. on DEI, Vol 11, pp348-361, 2004.

◇ 저자소개 ◇

김주용 (金周勇)

1969년 9월 27일생. 1992년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 박사과정 수료. 현재 전력연구원 배전연구소 선임연구원.

송일근 (宋一根)

1961년 3월 3일생. 1984년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전력연구원 배전연구소 배전설비그룹장.

문재덕 (文在德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대 물리학과 졸업. 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1982년 일본 동경대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경북대 전자전기공학부 교수.