

신소재 절연물의 장기 열화진단을 위한 복합열화 시험기술

조한구*, 한세원*, 윤문수**, 임기조***

*한국전기연구소 전력기술연구단 선임연구원, **한국전기연구소 전력기술연구단 연구원, ***한국전기연구소 전력기술연구단 연구원

1. 서론

고분자 절연물은 절연성, 가공성 및 기계적 강도가 우수할 뿐만 아니라 대량생산과 경량화가 가능하여 전기재료로서 용도와 수요는 날로 증가하고 있으며, 최근 옥외용으로 고분자 절연물의 용도 확대에 따라 연구개발이 가속화되고 있다. 또한, 고분자 절연물은 표면 발수성이 우수하기 때문에 오손 및 습윤시에도 누설전류가 작으며, 오손내전압도 크다^[1]. 그리고, 표면 특성인 발수성이 옥외의 오손조건에서 장기간 유지 및 회복될 뿐 아니라 내트래킹성이 우수하므로 절연물의 누설거리가 단축되어 소형화가 가능하다^[2].

그러나, 옥외의 고분자 절연물의 열화 및 수명은 여러 가지 요인에 의존하므로 그에 따른 열화평가기술은 대단히 중요하다. 그리고, 이들 중 많은 것들이 자연적 열화(weathering)와 관련되어 있고 그 이외의 것들은 운용조건과 관계되어 있다^[3, 4]. 또한, 이와 같은 열화요인은 단일열화보다는 복합열화에 의해 발생하기 때문에 복합열화시험이 요구된다. 고분자 절연물에 대한 열화시험은 주로 IEC 61109에 따라 1000시간 복합열화시험을 실시하고 있다^[5]. 보고에 따르면 이 실험은 순수한 오손시험(pollution test)으로 적합하지만 열화평가를 목적으로 하는 시험으로는 적당하지 않은 것으로 검토되고 있다.

따라서, 모든 종류의 고분자 절연물에 대해 적용이 가능한 열화시험을 위한 공통된 규격 검토가 요구되고 있다. 여기서는 이와 관련하여 복합열화시험의 근간이 되는 IEC 61109에 대한 기술적 내용과 최근 시험 결과를 토대로 보다 개선된 복합열화시험과 열화 평가방법을 기술하고자 한다.

2. 복합열화시험기술 및 운영안

2.1 IEC 61109 규격 검토

최근까지 오직 고분자 절연물에 대한 열화시험 규격으로

는 주로 IEC만이 사용되어 왔다. 여기서는 두 가지 열화시험인 1000시간 복합열화(class 5.3) 및 5000시간 사이클 시험(annex C)으로 분류할 수 있다.

단순한 열화시험보다는 주변 환경조건 특성과 열화(deterioration)와의 관계를 고려한 사이클 시험이, 절연물의 열화를 모의하기에 더 적합한 것은 이미 잘 알려진 사실이며, 새로운 형태의 고분자 절연물등을 개발할 때 열화시험으로 중요한 위치를 차지하고 있다.

복합열화시험을 위한 챔버에 대한 IEC 61109(class 5.3)의 기준 요구사항을 요약하면 표 1과 같다. 이 규정에서 제시된 시험 평가는 섭락 횟수("각 시료에 대해서 3회 이상 트립(trip)이 발생하지 않아야"), 그리고, 열화에 의한 외관검사("트래킹이 없고 코어(core)까지 침식이나 갖의 관통이 없고 코어가 보이지 않아야")로 이루어져 있다.

표 1. IEC 61109(class 5.3)의 기준 요구사항

Water flow rate	0.4 ± 0.1 l / m ² h
Salinity	10 kg/m ³ (16000 μ S/cm)
Duration	1000 hours
Test objects	two line insulators
Maximum chamber volume	10 m ³
Specific creepage	20 mm/kV
Test voltage	14~20 kV
Maximum voltage drop	5 % for 250 mA _{res}
Protection current level	1 A
Nozzle type	Turbo sprayer or room humidifier
Size of droplets	5~10 μm

이와 같은 열화시험에 의하면 절연물 표면은 방전에 의해 반드시 영향을 받지 않으며, 제조시 발생한 결함 외에는 심각한 손상은 발생하지 않았다. 고분자 절연물의 직경과 갖에 대한 누설거리의 비, 그리고, 갖의 간격은 이 실험 과정에서 섭락의 발생 횟수에 매우 중대한 영향을 미치는

것으로 나타났다. 이것은 오손시험의 전형적인 결과와 일치하는 것으로 결국 이러한 시험은 열화시험으로 적당치 않다. 따라서, 결과를 개선하기 위해서는 시험 요소들을 보다 면밀히 분석하는 것이 필요하며 “트래킹과 침식시험”의 연관성을 고려해야 한다.

2.2 열화시험 요인과 범위

이 시험은 시험요소들을 규정하고 표준화할 필요가 있으며, 평가의 중요한 요소인 침락 발생 횟수는 다음과 같은 인자에 의해 영향을 받는다.

2.2.1 염도(salinity)와 염무관련 요소

표준 염도는 10 kg/m³으로 이 실험에서 20 mm/kV의 규정된 전압을 인가한 상태에서 이 염도 수준은 열화시험을 오손시험으로 바꿔놓았다. 연구 결과에 의하면 표면 특성의 저하는 주로 국부적이고 일시적인 낮은 방전전류(낮은 염도와 관계)에 의한 것으로 나타났다.

염무 관련 요소로는 염무 밀도와 염무 발생 속도(drift velocity)로 실험 결과에 영향을 미치게 되므로 염무 강도를 균일한 정도를 표준화하는 것이 복합열화시험에서 재현성과 신뢰도를 향상시키는 최선의 방법이다.

표 2. 용기(45 m³)를 이용한 염무 측정

평균 염무 밀도 (mg/m ³)			염무 밀도 (%)
100 cm	150 cm	200 cm	
1.1	1.1	0.9	21
1.2	1.1	1.0	37

IEC 68-2-11에서는 규정된 시간동안 용기를 사용하여 분무강도를 측정하여 시료의 폭로영역에서 1~1.2 ml/h의 균일 강도 이상을 갖도록 하였다. 분무의 균일도는 표 2와 같이 10 m³(2 × 2 × 2.5 m)의 표준 챔버에서 얻어지며, 또한 45 m³(3 × 3 × 5 m)의 큰 챔버도 가능하다. IEC 61109는 분무 입자의 크기를 규정하고 있지만, 이를 측정하는 과정에 대해서는 규정되어 있지 않다.

2.2.2 수질(water quality)

물의 화학적 분석은 재현성과 신뢰성 측면에서 중요하며, 특히 칼슘과 마그네슘에 주목할 필요가 있다. 또한, 미세 유기물질(micro-organisms)의 성장이 실험 결과에 영향을 미칠 가능성이 있다. 염무시험 초기에 전류치는 높지 않아 절연물 표면에서 유기물질은 축적 않으므로 그들의 수는 빠르게 증가하고 마쳐 젤(gel)과 같이 되어 절연물 표면이 높은 전도성을 갖는 친수층(hydrophilic layer)을 갖게 한다. 50~70시간 이상되면 누설거리나 절연물의 형상에 관계없이 전류치가 높아지게 되어 연쇄 침락이 발생하게 된다.

미세 유기물질은 Cu⁺² 이온을 일정량 첨가하면 제거가 가능하며, CuCl₂(12 g/m³)가 첨가된 물을 분석한 결과 미생물은

나타나지 않았다. 침락의 발생 횟수에서 이 첨가물의 필요성이 잘 나타난다(표 3).

표 3. 절연물에서 침락에 미치는 미생물의 영향

미생물 억제제 첨가 구분	발생 횟수	침락 발생 시간(h)
무	6	55
CuCl ₂	0	-

2.2.3 발수성 회복(recovery of hydrophobicity)

절연물 누설전류와 표면 특성인 발수성과 밀접한 관련성으로 인해 트래킹과 침식 특성에 매우 중요한 역할을 한다.

운용 휴지(maintenance pause) 시간이 발수성을 회복되는 과정에 미치는 중요한 영향에 있어서 열화시험 전과 후에 시료의 발수성 등급(hydrophobicity class(HC))을 표 4와 같이 물방울과 접촉각에 의해 단계별로 분류한다. IEC 61109 시험규격으로는 운용 휴지시간 이후에 발수성에 대한 언급은 없다. 그러나, 운용 주기의 최대수(몇 번)와 간격(15분)은 규정되어 있다.

표 4. HC 등급과 접촉각 특성 비교

No.	Description
1	Only discrete droplets, $\theta_r > 80^\circ$
2	Only discrete droplets, $50^\circ > \theta_r > 80^\circ$
3	Only discrete droplets, $20^\circ > \theta_r > 50^\circ$
4	Wetted areas appear with sizes $< 2\text{cm}^2$
5	Wetted areas appear with sizes $> 2\text{cm}^2$, wetted areas cover $< 90\%$ of test area
6	Wetted areas cover $> 90\%$ of test area
7	Continuous water film over whole test area

* θ_r = the receding contact angle

2.2.4 손상의 분류

(classification criteria for damages)

손상을 분류하기 위해서는 실험실에서의 경우와 현장에서의 경우를 비교하면서 보다 세심하게 침식 정도(erosion scale)를 확인해야 한다. 표 5는 각각의 규정을 나타내었으며, 규정마다 다소 차이점을 가지고 있다.

3. 열화시험의 비교 및 개선안

3.1. 복합열화 시험방법 및 항목

고분자 애자의 장기성능 평가방법으로는 전기 절연·환경을 대상으로 한 복합열화시험이나 기계적 성능시험이 제안되고 있다. 전기절연·환경에 대한 복합열화시험으로서 표 6에서와 같은 IEC 규격을 비롯하여 세계 각 기관에서 각종 열화요소를 조합하여 가속배율로서 10~20배정도가 상정되는 시험방법이 제안되고 있다^[6].

표 5. 각각의 규정에 따른 손상의 분류의 정도

IEC 61109	트래킹의 발생이 없고, 침식은 유리 섬유 코어에 이르지 말아야 하며, 갓은 관통되어서는 안 된다. 또는 코어가 보여서도 안된다
IEC 36/118/CD	IEC 61109와 동일하다
IEC 37 104	IEC 61109와 유사하며, "트래킹의 발생이 없고, 균열(cracking)이나 트리잉(treeing)이 발생하지 않아야 한다"
IEC 36/129/NP	IEC 37-104와 같고, "갓의 관통이 없어야 한다"

표 6. 고분자 절연물의 복합열화 시험방법

시험법	인가전압	복합 스트레스	시험시간	휴지시간 (유, 무)
IEC 61109	14~20 kV (34.6 mm/kV)	염무	1000 h	무
IEC 61109 Annex C	50 kV/mm (20.8 mm/kV)	염무, 강우, 습도, 온도, 자외선	5000 h	무
CEA 트래킹 활 시험	35 kV/mm	염수	30000 cycle (192초/cycle)	무 → 유
ENEL 5000 h 시험	공칭대지 전압	염무, 강우, 습도, 온도, 자외선	5000 h	유
EPRI 열화시험	공칭대지 전압	염무, 강우, 무, 자외선, 기계하중	21일 (기후조건 모의)	유

복합열화시험은 열화조건이 실사용 환경에서의 조건과 유사하여야 한다. 그러나, 시험효율 향상을 목적으로 열화 조건 설정을 과도하게 부여하게 되면 시험의 타당성을 잃게 된다. 또한 복합열화시험의 타당성을 검증하기 위해서는 이들 시험과 병행하여 과전폭로시험을 시행하여야 한다.

고분자 애자의 복합열화시험후에는 열화정도를 평가하는데, 현재 열화평가지험은 시료의 외관상태, 중량, 표면 오손물질의 조사, 표면분석, 오손내전압시험, 상용주파수주점락 시험, 뇌임펄스점락시험, 인장파괴하중시험, 굴곡내하중시험 등이 있다. 각각의 시험에 대한 내용을 정리하면 다음과 같다.

- ① 외관상태 : 부식·트래킹의 유무, 초킹·크랙의 유무, 갓관통의 유무, 변색 등의 특이현상
- ② 중량 : 중량의 변화
- ③ 표면 오손물질의 조사 : 부착물의 조성 및 부착량
- ④ 표면분석 : 발수성 및 표면거칠기의 변화, 표면의 화학구조 변화, 원소분석에 따른 표면층의 열화상태(표면의 Si/Al비)
- ⑤ 오손내전압 : 오손내전압의 변화
- ⑥ 상용주파수주점락전압 : 점락전압의 변화
- ⑦ 뇌임펄스점락전압 : 점락전압의 변화
- ⑧ 인장파괴하중 : 파괴하중의 변화
- ⑨ 굴곡내하중 : 계면의 변형, 내하중의 저하

3.2 IEC 61109와 IEC 61109 Annex C

표 7, 8에 IEC 61109와 IEC 61109 Annex C의 차이점을 비교하여 나타내었다.

표 7. IEC 61109와 IEC 61109 Annex C와의 비교

구분	IEC 61109	IEC 61109 Annex C
약칭	염수분무시험법	복합열화시험법
샘플	모델애자	모델애자
시험 방법	염수분무 챔버(용적 10m ³ 이내, 높이 2.5m 이하)내에 시료를 수직 및 수평으로 배치하고, 항상 전압을 인가한다. 이 챔버내에 염수를 발생시킨 염수유량 : 0.4± 0.1 l/m ² /h 염무입자크기 : 5~10µm 온도 : 20± 5°C	모의 태양광 인공강우 건조기열 : 50°C 습윤기열 : 50°C : 98% rh 고습윤 : 96% rh 24h을 1사이클로 함

적용방법에 따라 여러 가지 열화시험이 존재하지만 그들의 대부분은 다음과 같은 동일한 목적을 가지고 있다. 즉, 절연물의 열화 특성을 측정하는 것으로 열화시험에서 가장 많이 언급되는 주요 항목은 표 9와 같다.

표 8. IEC 61109와 IEC 61109 Annex C와의 비교

시험조건	IEC 61109	IEC 61109 Annex C
오손액 성분	NaCl 10 kg/m ³	NaCl 7 kg/m ³
오손액 도전을	1.6 S/m	1.15 S/m
전계	34.6 mm/kV	20.8 mm/kV
규정기준	3회 이상 트립되지 않고, 트래킹, 갓의 관통, FFP가 노출할 정도의 침식 여부	없음

열화시험으로서의 트래킹과 침식시험의 목적은 주로 트래킹, 침식, 관통 그리고, 또 다른 형태의 손상에 대한 절연물의 저항성을 평가하기 위한 것이다. 그러나, IEC 61109에서는 최대 점락 횟수를 손상의 평가보다 더욱 더 중요한 요소로 다루고 있다. 이 시험은 실제로 열화를 다루는 것이 아니라 규정된 조건에서의 오손 점락으로 다루어지는 것이다. 점락 횟수는 열화시험에서는 보다 가변적이고 부적절하다고 생각된다. 따라서, 트래킹, 침식, 관통 및 또 다른 형태의 손상에 대해서 절연물의 소재가 아닌 형상 설계를 평가하기 위해서는 트래킹과 침식시험 자체만 가지고 판단하는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 점락 특성은 시험 결과에서 평가된 한정된 발생 횟수만으로 제한되어서는 안된다.

표 9. 열화시험을 위한 요인들

측정 요인	IEC 61109		IEC 36	IEC 37	IEC 38
	class 5.3	annex C			
점락 횟수	3	3	3/NS	3/NS	3
트립아웃 전류	1 A	NS	NS	1 A	1 A
염분도 (kg/m ³)	10	7	10	10	10
유량비 (l/m ² h)	0.4	NS	0.4	0.4	0.4
물방울 크기(µm)	5~10	NS	5~10	5~10	5~10
시료 크기	NS	NS	직경 >10 mm	NS	NS
시료의 수	2	NS	2	1	2
공칭누설거리 (mm/kV)	20	NS	20	NS	2
챔버 (cm ³)	최대 10	NS	최대 10	NS	NS
전원 (AU,%)	250 mA (r.m.s)	NS	250 mA (r.m.s)	250 mA (r.m.s)	250 mA (r.m.s)

※ NS: "규정되지 않음"을 의미

IEC 61109의 1000시간 열화시험에서 문제점과 규정되지 않은 시험 요소, 시료의 규정(specification), 그리고 시험 범위 등을 살펴보았으며, 표 10과 같이 개선이 필요한 것과 삭제되어야 할 부분으로 요약할 수 있다. 실제로 연속적으로 섬락이 발생하는 조건에서 시험을 수행하는 것은 매우 복합적인 요소가 작용한다. 연속적인 섬락을 제거하여 실험하기 위한 몇 가지 방안으로는

- ① 가속열화를 유도하는데 높은 염분도가 반드시 필요한 것이 아니므로 염분도를 1 kg/m³까지 낮춘다.
- ② 약간 낮은 염분도(5~7 kg/m³)를 가지고 공칭누설거리(20, 25, 31 mm/kV)에서 절연물을 시험한다.
- ③ 다른 염분도와와의 조합 또는 짧은 회복 휴지시간을 실행한다.

1000시간 열화시험의 대체 안으로 IEC 61109 annex C의 5000시간 시험이 있으며, 이에 대한 논의는 이미 IEC 61109에서 다루어지고 있으며, 자연조건을 모의하도록 되어있다.

- ① 시험 주기가 가능한 자연 환경적 요소(오손, 강우, 높은 습도, 자외선, 그리고 열)를 포함한다.
- ② 시험 주기가 스트레스 주기(주로 업무 주기에 해당)와 다소 휴지 주기의 조합을 이루어 자연적 열화 과정의 전형에 보다 가깝다.
- ③ 업무 주기는 IEC class 5.3과 비교하여 낮은 염분도를 갖는다.
- ④ 고분자 절연물의 설계시의 약점과 제조시의 결함을 검출할 수 있었는데 이는 기존의 단시간 전기적 시험에서는 찾아낼 수 없었던 것이다.

표 10. IEC 61109 1000시간 염수분무 시험의 개선 안

대	상	태		
		개	수	제
섬	락	○	○	○
염	분	○	○	○
염	수	○	○	○
수	분	○	○	○
공	칭	○	○	○
누	설	○	○	○
거	리	○	○	○
시	험	○	○	○
휴	지	○	○	○
시	간	○	○	○

4. IEC 61109의 5000시간 시험기술

다양한 종류의 고분자 절연물의 개발과 적용의 확대로 빠른 시간 내에 특성을 판단하여 선택하기 위한 가속열화 시험에 대한 요구가 늘어나고 있다. 따라서 다양한 형태의 고분자 절연물에 대해 재현성과 신뢰성이 확보된 규격시험의 결과를 도출할 필요가 있다.

IEC 61109 annex C의 5000시간 복합열화시험 사이클을 요약하면 표 11과 같다. 이 실험에서는 실제 자연 환경에서 가능한 업무, 자외선, 습도(98 %) 그리고 온도(50℃) 변화 등을 고려한 복합열화 조건을 가지고 있다.

표 11. 시험 사이클(24시간)

시간	업무	자외선	습도	온도
00:00	○	○	○	○
01:00	○	○	○	○
02:00	○	○	○	○
03:00	○	○	○	○
04:00	○	○	○	○
05:00	○	○	○	○
06:00	○	○	○	○
07:00	○	○	○	○
08:00	○	○	○	○
09:00	○	○	○	○
10:00	○	○	○	○
11:00	○	○	○	○
12:00	○	○	○	○
13:00	○	○	○	○
14:00	○	○	○	○
15:00	○	○	○	○
16:00	○	○	○	○
17:00	○	○	○	○
18:00	○	○	○	○
19:00	○	○	○	○
20:00	○	○	○	○
21:00	○	○	○	○
22:00	○	○	○	○
23:00	○	○	○	○

IEC 61109 annex C 규격의 장점은 기존 1000시간 업무에서 제시된 섬락 발생 횟수와 열화의 육안 검사에 대한 단점을 보완하고 있지만 아직 어려운 측면에서 충분한 검토가 되어있지 않다.

4.1 업무와 강우 요소의 개선

업무 챔버 내에서 이루어지는 가장 중요한 가속 요인은 분무와 강우 상태에서 발생하여 누설전류의 변화에 기여하게 된다. 따라서 업무중의 오손 과정과 강우중의 세정 과정은 재현성 있는 결과를 얻기 위해 엄격한 규격화가 요구된다.

IEC 61109의 5000시간 복합열화시험에서는 강우와 업무 조건은 IEC 규정에 의한다. IEC 68-2-11은 분무강도의 측정 방법과 업무강도에 대한 결과를 제시하고 있다.

또 다른 방법으로 자가질 표준 애자와의 발수성 비교 방법을 들 수 있다. IEC 507에 따라 실험한 후 표준 애자의 염분도와 최대 누설전류를 비교한다(표 12). 일단 IEC 507에 따른 표준 곡선이 얻어지면 표준 애자를 열화 챔버의 다른 위치로 이동하여 표준 곡선과 동일한 염분도-누설전류 특성이 얻어지도록 유속, 노즐 각도, 그리고 위치를 조절한다.

표 12. 표준 애자 방법에 의한 염분 강도 측정 비교표

표준 애자 조건	염분(kg/m ³)	최대누설전류(mA)
공칭누설거리 : 28.8 mm/kV 평균직경 : 120 mm 갯수 : 6	2.5	70
	7	170
	10	260
	20	430
	40	730

4.2 등급 평가의 개선

최근까지 침식(erosion)등급은 주요 요소로 다루어지지 않았지만, 현재 IEC 61109 시험의 주요한 목적은 절연물의 형상과 제조상의 결함을 검출하는데 있다. IEC 61109에서 5000시간 시험한 경우 섬락 발생 횟수로 판정하는 1000시간 시험과 비교하여 형상과 제조공정상의 결함을 갖는 고분자 절연물에 대해 시각적인 확인이 가능한 형태의 결과를 얻을 수 있다. 여기서는 열화시험에서 절연물의 등급을 판정하는데 도움이 되는 몇 가지 요소를 언급하고자 한다.

4.2.1 손상 평가

0.1mm 이상의 표면이나 깊이의 균열과 트리잉(treeing), 트

래킹(tracking) 및 하우징 두께의 10% 이상 되는 크기의 침식은 허용되지 않는다. 그리고, 백악(chalking), 크레이징(crazing) 및 변색도 허용되지 않는다. 이러한 손상을 보다 정확하게 분류하기 위해서는 침식 정도(표면 거칠기)와 화학적 표면 분석의 검토가 요구된다.

4.2.2 누설전류의 모니터링

누설전류는 절연물의 소재와 형태적 요소(profile parameter)에 민감하다. 누설전류는 이러한 특성을 반영하는데 염무상태의 최대 누설전류 치와 강우 상태에서의 다른 절연물간의 현저한 누설전류 차이(그림 1)의 유형으로 분류할 수 있다.

이러한 현상은 염무 상태 중 절연물의 표면에 형성된 염분층에 의한 것으로 가열 상태에 건조되어 강우시 갑자기 젖으면서 발생하게 된다. 이것은 발수성과 절연물의 형태적 요소에 따라 달라진다.

4.2.3 발수성(hydrophobicity) 측정

절연물의 표면 발수성은 누설전류와 직접적인 관계가 있으며, 트래킹과 침식현상에 중요한 역할을 한다. 그러나 IEC 61109의 5000시간 시험과정에서는 발수성에 대한 언급이 없다. 그림 2에서 보듯이 절연물 종류별로 각각 상당한 값의 차이를 나타낸다.

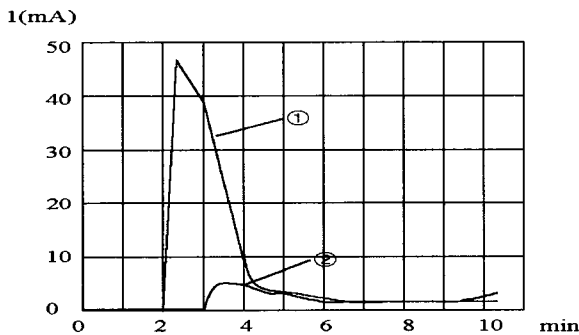


그림 1. 서로 다른 종류 절연물의 누설전류곡선.

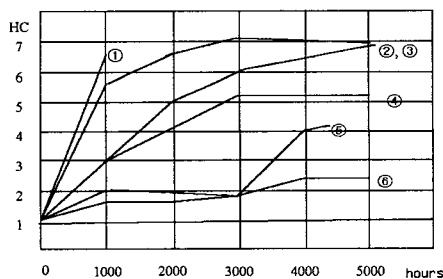


그림 2. 절연물 종류별 열화 시간에 따른 발수성 변화

발수성 측정은 절연물의 형상 설계의 결함을 찾아낼 수 있다. 예를 들어 그림 2에서 1~3 시료는 발수성이 약한 소재이고, 시료 4~6은 발수성이 우수한 소재이다.

표면 발수성(HC)을 평가하기 위해서 최근 복합열화시험에서는 비파괴식 발수성 측정방법으로 초기와 열화시간에 따른 절연물의 발수성을 측정하여 비교한다.

그림 3은 교대 갓을 가진 고분자 애자의 1번 큰 갓과 2번 작은 갓의 표면에서 얻어진 표면 누설 저항비가 ∞ 로 나오지 않은 거름 종이수(이 갓수에 대한 명칭을 Bad Hydrophobicity Num.)와 열화 시간과의 관계를 나타내는 그래프이다. 여기서 Bad Hydrophobicity Num. 는 측정된 12개의 거름종이 중 표면 누설 저항비가 ∞ 로 나오지 않은 데이터의 갓수이다. 앞에서 설명한 바와 같이 초기에 발수성이 좋으면 표면 누설 저항비가 ∞ 로 나오지만 발수성이 나빠지면 표면 누설 저항비의 값이 수~수십 정도의 값을 가진다. 측정 결과에 따르면 열화시간에 따라 Bad Hydrophobicity Num.가 증가하는 것을 알 수 있었다.

그림 4는 열화에 따른 큰 갓과 작은 갓의 바깥쪽 표면의 발수성 특성을 나타낸 것으로 R2/R1(여기서 R2는 거름 종이를 제거한 뒤의 누설저항, R1는 거름 종이를 둔 상태의 누설 저항) 표면 누설 저항비의 변화로 발수성을 측정하였다. 작은 갓의 경우는 모두 ∞ 이지만 큰 갓의 경우 바깥쪽 표면의 표면 누설 저항비 값의 변화가 크다. 즉, 갓의 표면의 열화는 바깥쪽이 더 심하게 일어남을 알 수 있다⁷⁾.

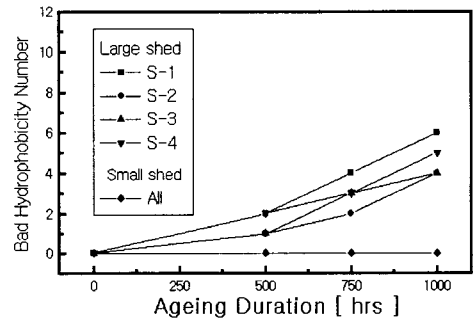


그림 3. 열화 시간에 따른 Bad Hydrophobicity Num. 변화

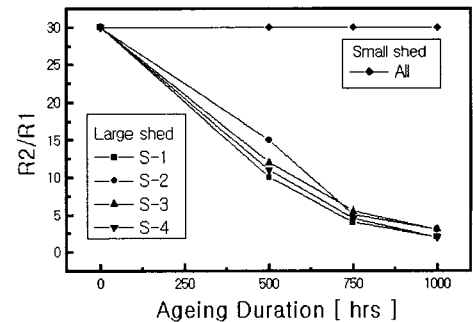


그림 4. 열화 시간에 따른 바깥쪽 표면 누설 저항비 변화

이와 같은 실험 결과로부터 발수성의 회복과 저하는 절연물 특성에 중요한 영향을 미치는 것은 이미 잘 알려진 사실이지만, IEC 61109시험에서는 이러한 현상에 관한 언급

이 없으므로 복합열화시험 동안 변화하는 발수상의 회복에 대해서 검토하고 분석할 필요가 있다. 다양한 절연물에 대하여 적절한 회복 주기 관련 요인을 결정하기 위해서 자연 열화와 실험실적 옥외 열화시험을 비교한 연구가 중요하다.

5. 결 론

지금까지 복합열화시험과 관련되어 가장 많이 다루어지는 IEC 61109 규격을 중심으로 열화 평가요소, 이에 미치는 영향에 대한 예를 살펴보았다. 또한 고분자 절연물의 개발과 평가에 있어서 관심의 대상인 장·단기 열화진단의 목적을 이루기 위해서는 재현성과 신뢰성이 확보된 복합열화시험 설비의 설계와 구축 그리고 시험 운영안을 확립하는 것이 대단히 중요하기 때문에 기존 IEC 61109의 1000시간 시험과 5000시간 시험의 장·단점 분석과 개선이 요구되는 기술적 항목을 소개하였다.

열화시험의 궁극적인 목표는 짧은 시간 내에 고분자 절연물의 수명을 판단하는 것이다. 이 문제는 수명에 영향을 미치는 열화 요인을 찾아내고 환경적, 기계적 그리고 전기적 스트레스가 미치는 열화 요인을 다루어야 해결이 가능하다. 따라서 이를 위해서는 관련 연구기관과 현장 그리고 사용자 및 제조자간의 부단한 노력이 요구된다.

참고문헌

- [1] E. M. Sherif, A. E. Vlastos, "Influence of Aging on the Electrical Properties of Composite Insulators", 5th ISH, 51.01, pp. 1-5, 1987.
- [2] G. B. Rackliffe, R. E. Lee, D. E. Fritz, "Performance Evaluation of 15kV Polymeric Insulators for Dead-End Type Applications on Distribution System", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 1223-1231, 1989.
- [4] S. H. Kim, E. A. Cherney, R. Hackam, "Effect of Filler Level in RTV Silicone Rubber Coatings Used in HV Insulators", IEEE Trans. on Electr. Insul. Vol. 27, No. 6, pp. 1065-1072, 1992.
- [5] IEC 61109, "Composite insulator for AC overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V, 1992.
- [6] S. Shihab, "On-Line Pollution Leakage Current Monitoring System", RMIT, Australia, 1994.

[7] 조한구, 한세원, 이문수, "절연물 열화평가를 위한 복합열화시험기술" 대한전기학회 하계학술대회, 1999.

저 자 소 개



조한구(趙漢九)

1959년 4월 14일생. 1984년 성균관대 공대 전기공학과 졸업, 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1992년 전기기기 기술사, 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공학), 현재 한국전기연구소 전략기술 연구단 선임연구원, 동서대 전자기계공학부 겸임교수.



한세원(韓世元)

1961년 1월 16일생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업, 1986년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1999년 동대학원 전기공학과 졸업(공학), 현재 한국전기연구소 전략기술연구단 선임연구원.



윤문수(尹文洙)

1950년 6월 24일생, 1973년 경북대 물리교육과 졸업, 1977년 동대학원 물리학과 졸업(석사), 1981년 동대학원 물리학 박사과정 수료, 1985년 일본 오사카대 전기공학과 졸업(공학), 1992년-1995년 한국전기연구소 선임연구부장, 1996년-1999년 동연구소 소장, 현재 동연구소 전략기술연구단 전문위원. 영남대 전기공학과 겸임교수.



임기조(林基祚)

1952년 5월 20일생. 1973년 한양대 공대 전기공학과 졸업, 1979년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1986년 동대학원 전기공학과 졸업(공학), 1977-1981 국방과학연구소, 현재 충북대 전기전자공학부 교수, 당학회 편집위원장.