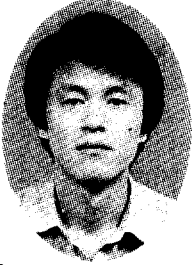


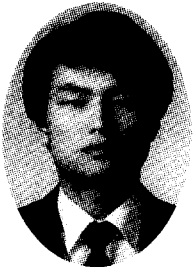
신소재 옥외 절연물의 성능평가 및 진단기술



조한구
한국전기연구소
절연피뢰기기술연구팀장



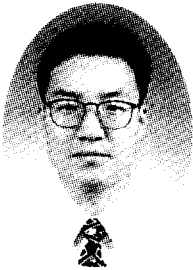
한재홍
전력연구원 전력계통연구실
배전자동화그룹 선임연구원



김인성
한국전기연구소 절연피뢰기
기술연구팀 선임연구원



김상준
전력연구원 전력계통연구실
배전자동화그룹장



한세원
한국전기연구소 절연피뢰기
기술연구팀 선임연구원

80%정도, 송전급은 20%정도가 신소재 절연물로 적용되기 시작함에 따라, 이들의 기계적 특성, 내트래킹성 및 신뢰성을 예측하기 위한 열화평가기술에 대한 연구가 진행되고 있으며, 최근 이와 같은 절연물의 용도 확대에 따라 국내에서도 이에 대한 연구도 가속화되고 있는 실정이다. 이와 같은 절연물의 용도 확대는 경량성, 가공성 및 기계적 강도가 우수할 뿐 아니라 우수한 내오손성능을 가지고 있으며, 송전선로의 신뢰성과 건설경비의 저감효과 등 많은 이점을 가지고 있다고 할 수 있다. 그리고, 이와 같은 절연물은 자기에 비해 발수성(hydrophobicity)이 우수하므로 오손 및 습윤시에도 누설전류(leakage current)가 작다. 또한 표면 특성인 발수성이 옥외에서 장기간 유지 및 회복될 뿐 아니라 내트래킹성이 우수하므로 누설거리가 단축되어 소형화가 가능하며 내오손성능을 개선할 수 있다.

1. 서론

초기에 고분자 재료는 옥내용 애자, 부상 및 계기용 변성기(PT, CT)로 이용되어 왔으나 최근 자기(porcelain)류의 절연물을 대체할 수 있는 옥외용의 애자류, 부상, 피뢰기 등의 절연물이 송.배전선로, 변전기기 및 전철선로에 이용되고 있다. 특히 구미에서는 전력계통 절연물의 경우 배전급은

옥외용 절연재료는 에폭시수지와 EPDM(ethylene propylene diene monomer), 실리콘 고무, 열수축(heat shrinkable)방식에 사용되는 EVA(ethylene vinyl acetate), 테프론(PTFE)등이 전기적 특성과 더불어 각종 환경인자를 고려하여 사용되고 있다.

그러나, 이와 같은 고분자 절연물의 소재는 내열성, 내후성 및 내트래킹성 측면에서 고려되어야 할 뿐 아니라, 옥외용으로서의 절연

물은 태양광, 각종 오손물질(염분, 매연, 분진 등)에 노출되어 있으며 전기적 스트레스가 항상 가해지고

있다. 전기적 스트레스는 절연물의 형상설계 등에 영향을 받지만 태양광에 의한 광열화로 표면 거칠기(surface roughness)의 변화, 오손 물질의 누적, 강우 및 농무 등의 복합적인 영향에 따라 열화되어 절연성능은 급격하게 저하된다.

이와 같이 옥외의 계통에 사용하기 위해서 열화평가기술은 신소재 절연물 개발 및 사용에 있어서 대단히 중요하며 큰 관심을 끌고 있는 분야이다. 따라서 최근 국외에서는 옥외용 절연물의 개발에 대한 평가기술에 있어서도 여러가지 방법이 논의되고 있으며, 특히 옥외용에 있어서 장기 신뢰성을 확보하기 위한 진단기술과 환경에 따른 실증실험도 여러 형태의 평가방법으로 연구되고 있다. 그중에서 대표적인 것으로 열화와 직접적으로 관련있는 표면누설전류를 분석하므로써 열화를 간접적으로 관측하여 절연과피를 예측하고 있으며, 그밖에도 등가염분부착밀도(ESDD)에 따른 열화 정도, 표면의 발수성, 물리·화학적 변화와 같은 다양한 접근 방법으로 열화를 진단하여 한층 신뢰도를 높이고 있는 것이 오늘의 현실이다.

따라서 본 보고에서는 옥외용 절연재료를 이용한 절연물의 적용 및 특징과 이에 따른 절연재료의 평가기술에 대하여 설명하고, 최근 검토되고 있는 신소재 절연물의 진단기술에 대하여 간략하게 서술하였다.

2. 신소재 절연물의 적용

신소재를 이용한 절연물은 최초로 유럽에서 옥내용으로 애자, 부

싱, 소형 몰드 변압기로 사용되기 시작하여 '60년대에 후반으로 접어들면서 송배전선로용으로 기존에 사용되던 자기애자를 대체하기 위하여 가볍고, 전기적, 기계적 특성이 개선된 신소재 애자의 개발을 고려하기 시작하였다. 최초의 옥외용 고분자 절연물은 에폭시(epoxy) 소재로 미국에서 '70년에 개발되었는데, 이 고분자 애자는 69kV 및 115kV급으로 에폭시 갓(shed) 부분에서의 트래킹과 침식(erosion)으로 실용화되지는 못하였다. 그 후 유럽 및 미국에서 현재의 신소재 절연물의 1세대인 신소재 애자가 개발되었는데, 외피 소재로는 실리콘 고무, EPR, 에폭시수지, 테프론 등으로 다양한 외피 재질을 이용하였다. 이와 같이 고분자 애자는 15년 이상 일부 선로에서 실험적으로 사용되었지만 여러가지 문제점으로 인하여 활용되지는 못했는데 그 이유는 외피 소재의 트래킹(tracking)과 침식, 초킹(chalking), 크레이징(crazing)이 발생하여 섬락이 일어났으며, 이와 같은 외피소재의 열화로 오손 물질이 축적되었고, 또한 FRP 봉과 갓사이 계면에서의 기밀성이 저하되어 수분 침투를 가져올뿐 아니라 기계적 강도의 저하로 선로 하중의 설계의 부족으로 금구 부분이 탈리되는 등 여러 가지 문제점을 가져왔다.

그 후부터 이와 같은 문제점을 개선하기 위한 신소재 절연물의 개발이 활발히 전개되어 내트래킹성이 우수한 소재와 금구 부착방법이 개발되어 내하중 설계가 이루어졌다. 또한 트래킹 파괴기구와 기계적 강도의 경시열화에 대한 평가기술의 진보로 20~30년의 수명을 기대할 수 있는 절연물의 상품화가 이루어지기 시작하였으며, 최근에는 이와 같은 축적된 제조기술과 평가기술에 의해 절연

물이 상품화되고 있는 실정이지만, 아직까지도 옥외용 신소재 절연물에 대한 장기 신뢰성 진단기술이나 열화평가기술에 대해서는 계속적으로 연구되고 있다. 신소재 절연물의 사용 현황을 보면 가장 많이 사용하고 있는 나라인 미국의 경우 송전용에서 20% 정도를 대체 사용하고 있다. 신소재 애자의 사용을 전압별로 보면 115~138kV 및 230kV급이 대부분을 차지하고 있으며, 115kV, 138kV급에서는 LP 애자가 230kV에서는 현수애자가 많이 사용됨을 알 수 있다. 캐나다에서는 '74년부터 송배전급에 사용하기 시작하여 현재 735kV급까지 사용하고 있으며, 영국, 프랑스, 이탈리아에서도 66kV, 132kV, 225kV급 송전선로에 적용하여 사용하고 있으며, 헝가리에서는 '70년대 중반부터 주로 120kV급에 사용하기 시작하였다. 아시아에서도 중국에서 1992년 이래로 132kV, 220kV, 500kV 송전선에 신소재 애자를 활용하고 있다. 일본의 경우 '90년대 초부터 소형 철탑 개발에 적용한 상간 스페이스(phase spacer)를 일부 적용하기 시작하였으며 최근 현수애자 대응으로 154kV 애자에 대하여 시험을 완료한 상태에 있으며 국내에 제공한 적도 있다.

3. 성능평가 기술

3.1. 열화요인 및 평가방법

옥외 고전압 신소재는 여러가지 열화요인으로 성능이 저하하므로 열화평가기술은 대단히 중요하다. 이와 같은 열화요인에 의한 외피소재의 기본적인 평가방법을 그림 1에 나타내었다. 그러나, 이와 같은 열화요인은 단일열화 보다는 복합열화 양상으로 발생하기 때문에 복합가속열화 평가방법이 요구된다. 그러므로 최근에는 옥외환

경과 동일한 조건의 가속열화를 통하여 외피 소재의 장기 신뢰성을 평가하기 위한 방법이 논의되고 있으며 그중에서 salt-fog 실험이 있다. 이 방법은 외피 소재에 복합적인 열화 요인을 주어 내후성, 열적 및 기계적 특성과 흡습 특성등을 종합적으로 평가하기 위한 것으로 열화요소를 반복적으로 가해 복합적인 열화를 준다. 태양광에 유사한 파장을 갖는 자외선, 강우, 습도에서의 염무를 24시간 사이클로 5000시간 실험한다. 열적·기계적 및 흡습실험은 고분자 절연물에 대해서 장기적으로 흡습과 열·기계적스트레스를 가해서 실험한다.

	0.1% NH ₄ Cl	
IEC Publ. 112	0.1% NH ₄ Cl	0.5% alkylnaphthalene sulfonate
IEC Publ. 587	0.1% NH ₄ Cl	0.02% isooctylphenoxy polyethoxy ethanol
ASTM D 2303	0.1% NH ₄ Cl	0.02% isooctylphenoxy polyethoxy ethanol

표 2. 규정된 트래킹 실험방법의 오손액 특성

음이온계의 계면활성제를 첨가하면 첨가하지 않은 오손액에 비하여 내트래킹성을 저하시키는 경향을 나타낸다.

그리고, 오손액 경사평면실험에서 경사평판법 (liquid-inclined plane method, IEC Publ. 587), 회전윤법(rotating wheel dip test, merry-go-round)이 있다. 습윤조

오손액을 사용하며 주로 옥내용 절연재료의 평가에는 비이온계 계면활성제를 첨가하여 오손액으로 사용한다. 표 2에 오손액에 계면활성제를 첨가한 습윤조건에서의 트래킹실험에 대한 각각의 규정과 오손액을 나타내었다.

비교실험과 경사평판실험에서의 평균 전계는 각각 25~150V/mm, 20~120V/mm로 거의 같지만 건조대에서 전압의 분담이 커지므로 인가전압이 높은 오손액 경사평판 실험이 더욱 가혹한 조건이다. 오손액으로는 표준액보다는 오손액 경사평판실험의 비이온계 계면활성제를 첨가한 오손액이 시료와의 젖음성이 좋기 때문에 가혹한 오손 조건이라고 볼 수 있다. 한편 비교실험의 음이온계 계면활성제는 젖음성을 좋게할 뿐만 아니라 저항률을 낮게하므로 오손액 경사평판실험보다 더 가혹한 조건이다.

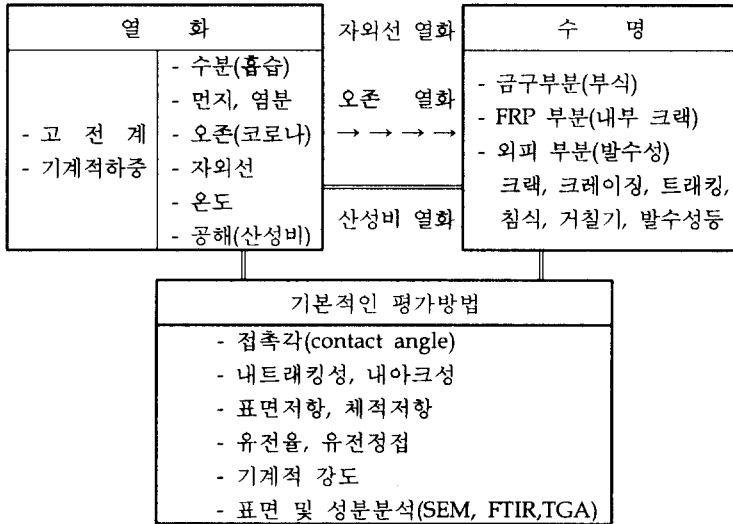


그림 2. 옥외 고분자 절연물의 열화요인과 수명 및 평가방법

3.2. 소재 특성 평가방법

옥외용 절연물 외피소재의 내트래킹성과 내침식성을 측정하는 방법으로 비교실험법(comparative test method, IEC Publ. 112)과 오손액 경사평판법 (liquid-inclined plane method, IEC Publ. 587), 회전윤법(rotating wheel dip test, merry-go-round)이 있다. 습윤조건에서 내 이용된다. 일반적으로

건에서 내 이용된다. 일반적으로 음이온계의 계면활성제를 첨가하면 첨가하지 않은 오손액에 비하여 내트래킹성을 저하시키는 경향을 나타낸다. 그리고, 오손액 경사평면실험에서 내트래킹성을 평가하는 실험인 비교실험에서는 0.1% NH₄Cl을 오손액으로 사용하며, 가혹한 오손조건에는 음이온계 계면활성제를 전해액에 첨가한

가. 오손액 경사평판실험

오손액 경사평판실험은 상용주파수로 1.0~6kV까지 각각의 전압에서 일정한 경사각으로 취부한 재료의 상부에 일정시간 간격으로 오손액을 흘려 내리면서 전압을 인가하여 내트래킹성을 평가하는 방법이다. 상부 및 하부전극을 재료에 부착하고, 상부전극과 재료 사이에 오손액이 균일하게 흐르도록 8매의 여과지(filter paper)를 겹쳐 상부전극과 재료사이에 끼워 정량펌프로 오손액을 공급한다.

상부와 하부전극의 거리는 $50 \pm 0.5\text{mm}$ 이며, 수평으로부터 45° 로 유지한다. 트랙킹파괴를 판정하는 방법으로는 고압회로에 전류가 60mA 이상 2초간 연속적으로 흐를 때의 시간 (time-to-track method) 과 저압측전극에서 25mm 고압측 전극으로 트랙(track) 이 이루기까지의 시간으로 평가하

과 비이온계의 계면활성제를 첨가한 오손액의 조성과 표면장력을 나타내었다. 이 실험은 설비가 비교적 소형이며 내트래킹성이 우수한 옥외용 절연용 절연재료의 평가에 적당하지만, 실험의 오차가 크기 때문에 반복적인 실험이 요구된다.

표 3. 오손액 경사평면실험을 위한 실험조건

Items	Standards	Specifications
Specimen configuration		50×120 (mm)
Electrode material		SUS 316 stainless steel
Specimen thick		6 (mm)
Electrode spacing and inclination		50 ± 0.5 (mm), 45°
Temperature		23 ± 2 ($^\circ\text{C}$)
Applied voltage		4.5 (kV)
Resistivity of contaminants		370~400 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

표 4. 각각의 인가전압에 따른 오손액의 유량과 직렬저항

Applied voltage (kV)	Flow of contaminants (ml/min)	Series resistivity (k Ω)
1.00~1.75 (1.5)	0.075	1
2.00~2.75 (2.5)	0.15	10
3.00~3.75 (3.5)	0.30	22
4.00~4.50 (4.5)	0.60	33
5.00~6.00 (5.5)	0.90	33

표 5. 각각의 오손액의 저항률과 표면장력

Contaminants	Compositions	Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Surface tension (dynes/cm)
A solution	0.1% NH_4Cl solution	395 ± 5	76.2
B solution	0.1% NH_4Cl + 0.5% nonionic surfactant	395 ± 5	32.2

는데 일반적으로 전자가 많이 사용되며, 표 3은 실험조건을 나타내었다. 오손액의 유량과 직렬저항을 표 4에 나타내었으며 오손액의 유량은 인가전압의 상승에 따라 증가시킨다. 오손액은 0.1% NH_4Cl 외에 비이온계 계면활성제를 첨가한다. 표 5에 0.1% NH_4Cl

나. Rotating wheel dip test 실험 CIGRE에서 논의되어 IEC D170으로 규격화되어 있는 실험방법으로 그림 2는 실험장치를 나타내었다. 실험조건으로는 인가전압, 전극간 거리, 원판(wheel)의 회전속도 및 오손액의 저항률 등을 고려할 수 있지만, 표 10과 같은 최근

IEC에서 검토되고 있는 실험조건 의 표준화에 일치시키기 위한 조건을 나타내었다. 실험은 봉(rod)형상의 재료를 오손액에 의한 염수오손과 고전압파전을 반복하므로서 인공적으로 가혹한 조건하에서 표면방전 등에 의해 재료 표면의 트랙킹에 의한 경시적인 변화를 평가하는 것이다. 직경 약 1m의 원판(wheel)의 바깥부분에 여러개의 재료를 설치하고, 수직에 대해 15° 기울인 상태에서 원판을 1 rpm의 속도로 회전시킨다. 재료

- ① Wheel plate : 봉 시료를 취부하고 회전
- ② Under electrode : 시료의 holder이며 접지전극 역할
- ③ Wheel : 시료에 전압을 인가(AC 10kV)
- ④ Insulator : 전압을 인가하는 wheel의 절연 유지
- ⑤ Rotating DC motor : 1 rpm
- ⑥ Contaminant vessel : $750 \Omega \cdot \text{cm}$
- ⑦ Rod specimen : $\phi = 23\text{mm}$, $L = 260\text{mm}$

를 1/3 회전만큼 오손액에 잠기게(dipping)한 후, 1/2 회전하는 동안 상용주파수의 10kV 전압이 인가된다. 이 실험에 있어서 오손액의 저항률은 일정하게 되도록 100~200시간마다 $750 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 보정하고, 전극과 오손액은 500시간마다 교환해야 한다. 이 실험은 재료가 오손액속을 이동함에 따른 세정효과(cleaning effect)와 30초마다 파전과 습윤을 주기적으로 반복함에 따른 옥외의 경우 상황을 모의할 수 있다.

3.2.4. Salt-fog 실험

여러 가지 방법이 있으며, 크게 시료실험과 제품실험으로 나눌 수 있으며, 이것은 단기실험과 장기실험으로 분류해도 된다. 시료실험은 제품에 들어가기 전에 그 시

료의 특성평가를 위해 가속조건으로 비교적 짧은 시간에 그 소재의 특성을 파악하고자 하는 실험이며, 제품실험은 제품을 가지고 실제 자연적 환경 상태를 모의하여 비교적 오랜시간 동안 특성 평가를 하는 실험이다. 표 7은 이들 실험의 종류를 나타내었다.

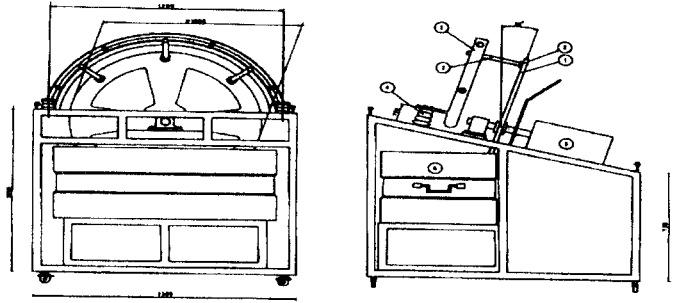


그림 2. Rotating wheel dip test의 실험조건

3.3. 옥외 절연물의 평가방법 (한전 구매시방서 중심)

최근 전력수요의 증가에 따라 전력기기를 설치하기 위한 부지확보가 어려운 실정이며, 또한 신속한 유지·보수를 위해서 기기의 소형화, 경량화가 요구되고 있다. 따라서 기존 전력기기의 절연재료로 100년 이상 사용되어 왔던 자기재료들이 점차 고분자재료로 전환되는 추세이며, 그 중에서도 신소재 옥외절연물을 사용한 송배전용 애자가 주요 관심대상으로 부상하고 있다.

국내에서도 한국전력이 신소재를 사용한 배전용 고분자 애자를 시사용중에 있으며, 고분자애자의 장기적인 신뢰성을 평가하고자 하는 연구도 진행되고 있다. 국내에서 신소재를 사용한 고분자 애자에 대한 규격 및 시험에는 한국전력의 구매시방서인 “배전선로용 폴리머 현수애자”와 구매사양인 “22.9kV dead-end type 고분자 복합애자” 등이 제정되어 있다. 구매시방서에서는 애자의 외피 재질을 EPDM(ethylene propylene diene monomer)으로 규정하였고, 구매사양에서는 실리콘 고무(silicone rubber) 또는 실리콘 알로이(silicone alloy)로 규정하였다.

신소재 옥외절연물을 사용한 고분자 애자의 규격 및 시험을 자기재 애자와 비교하여 표 8에 나타내었다. 여기에서 고분자재료와 자기재료를 사용하는 애자의 규격

표 6. Rotating wheel dip test의 실험조건

Test conditions	Contents
Applied voltage	AC 10 kV
Specimen	∅ 23~26 × 260 mm
Electrode material	0.2 mm SUS 304, 316
Distance between electrode	120 mm
Electrical stress	83.3 V/mm
Resistivity of contaminant	NaCl solution (750 ± 30 Ω · cm, 23℃)
Rotating speed	1.0 rpm
Setting angle of specimen	15°
Exchange of contaminant	500 hr
Breakdown checking	300~500 mA

표 7. 각각의 실험방법

Items	Methods
Material test	Inclined plane (ASTM D2303)
	Dust and fog (ASTM D2132)
	IEC tracking wheel (First draft)
	Salt-fog (Proposed-CIGRE)
	Sediver
Component test	Salt fog 1 (First IEEE-IEC)
	Salt fog 2 (CIGRE)
	Salt fog 3 (VDE 0278)
	Solid contaminant (First draft-IEEE-IEC)
	Drizzle test (IEEE-IEC)
	Rotating wheel (IEEE)

에는 유사점과 차이점이 있다. 규격 및 시험방법에서 유사점은 주로 재료의 종류에 관계없이 애자로써 가져야 할 기본 특성을 평가하는 항목으로 외관 및 구조검사, 전기적 특성중 인장내하중시험, 전과장해전압시험, 상용주과건조

섬락전압시험, 상용주과주수섬락 전압시험, 뇌충격 섬락전압시험, 내아크시험 등이 있고, 도금시험, 경년변화시험이 있다. 한편 차이점은 사용한 재료가 갖고 있는 본래의 특성 때문에 발생하며, 주로 재료의 종류에 관계되는 시험항목

이다. 고분자재료의 경우에는 경년 및 운전환경에 따라 여러가지 성질이 변하는 특성을 가지고 있으므로 고분자 애자의 운전환경에 따른 특성변화를 평가하기 위한 내후성시험, 표면의 트래킹 저항성을 평가하기 위한 내트래킹시험, 코어와 하우징의 접착력을 평가하기 위한 접착력시험, 보이드 및 이물질 검출을 위한 X-선 투과시험, 수분침투 및 확산시험 등이 있다. 자기재 애자의 경우에는 경년 및 운전환경보다는 충격, 온도, 흡습, 오손 등에 의한 특성변화가 크기 때문에 충격 저항성을 평가하기 위한 타격내하중시험, 과전과과하중시험 등과 냉열시험, 흡습시험, 시멘트 팽창시험, 인공 오손시험 등을 실시하고 있다.

4. 신소재 절연물의 진단기술

신소재 절연물의 열화시험기술을 실험실이나 옥외 모의 선로 조건에서 체계적으로 연구한 것은 오래되지 않았다. 더욱이 전세계적으로 가속열화 스트레스를 연구할 수 있는 기관은 선진 미주, 유럽을 중심으로 연구소나 대학, 전력회사들이며 시험 장비와 부수적인 시스템에 있어서도 자기류 애자(현수애자, 부상, 지지애자)를 대상으로 하는 것이 대부분이다. 그러나 최근 스웨덴의 STRI에서는 신소재 절연물을 전문으로 연구하고 있으며, 고분자 절연물의 열화와 절연파괴에 대한 상당한 이론과 결과들이 언급되고 있다. 그것들 중 대표적인 것으로 열화나 시험방법에 직접적으로 관련있는 표면누설전류의 분석은 신소재 절연물의 열화를 간접적으로 평가하고 절연파괴를 예측할 수 있는 좋은 방법으로 알려지고 있으며, 그밖에도 등가염분 부착 밀도

표 8. 배전용 애자의 규격 비교

시험항목	규격	고분자 애자 구매시방서	고분자 애자 구매사양	자기재 애자 구매시방서
외관검사		ES 131의 5	-	ES 131의 5
구조검사		ES 131의 4	-	ES 131의 4
인장내하중시험		ES 131의 8.1.1	-	ES 131의 8.1.1
기계적 하중-시간시험		IEC 1109의 6.4	-	-
비틀림 내하중시험		ANSI C29.11의 5.1.1	CEA LWIWG-01의 5.8	-
인장파괴하중시험		ES 131의 8.2.1	ANSI C29.11의 9.4	-
전과장해전압시험		ES 131의 6.13	IEEE 1024의 8.2.4	IEEE 1024의 8.2.4
상용주파전조성락전압시험		ES 131의 6.1	IEEE 1024의 8.2.1	IEEE 1024의 8.2.1
상용주파주수성락전압시험		ES 131의 6.2	IEEE 1024의 8.2.2	IEEE 1024의 8.2.2
뇌충격 성락전압시험		ES 131의 6.6	IEEE 1024의 8.2.3	IEEE 1024의 8.2.3
X선투과시험		자체규정	-	-
접착력시험		자체규정	-	-
수분침투시험		CEA LWIWG-01의 5.1	CEA LWIWG-01의 5.1	-
염색용액침투시험		ANSI C29.11의 7.4.1	ANSI C29.11의 7.4.1	-
수분확산시험		ANSI C29.11의 7.4.2	-	-
내아크시험		CEA LWIWG-01의 5.5	CEA LWIWG-01의 5.5	자체규정
내트래킹시험		CEA LWIWG-01의 5.6	CEA LWIWG-01의 5.6	-
난연성시험		IEC 707의 FV법	-	-
내후성시험		CEA LWIWG-01의 5.2	CEA LWIWG-01의 5.2	-
도금시험		ES 131의 12.1	-	ES 131의 12.1
경년변화시험		CEA LWIWG-01의 5.9	CEA LWIWG-01의 5.9	ES 131의 13
장류장도시험		-	-	ANSI C29.2의 8.2.7
성락시험		-	-	ES 131의 6.5
상용주파유중과과전압시험		-	-	ES 131의 6.4
과전과과하중시험		-	-	ES 131의 9
타격내하중시험		-	-	ES 131의 8.1.4
장시간 내하중시험		-	-	ES 131의 8.1.5
냉열시험		-	-	ANSI C29.2의 8.2.6
흡습시험		-	-	ANSI C29.2의 8.3.2
오토클레이브시험		-	-	자체규정
시멘트 팽창도시험		-	-	ANSI C29.2의 8.2.10
급준파전압시험		-	IEEE 1024의 8.2.5	IEC Pub. 60-2
애자련의 인공오손시험		-	-	ES 131의 7

(ESDD)에 따른 가속열화의 정도, 하우징 표면의 발수성, 물리·화학적 변화와 같은 다양한 접근 방법으로 열화를 진단하고 있다.

오늘날 현장에서 고분자 절연물을 평가, 진단하는데 광범위하게 이용되는 규격화된 기술은 아직 없으나, 많은 연구기관(EDF, ENEL, ESKOM, EZH, HQ/IREQ, REE 등)에서 생산자의 생산 관리 계획을 조직화하고 활선 작업을 하는 작업자의 안전을 확보하기 위해 활선상태에서의 고분자 절연물을 진단하는 여러가지 기술을 연구중에 있다.

4.1. 옥외 절연물의 진단기법

현제 절연물의 진단방법은 사선(off line) 상태의 측정방법과 활선

(live line) 상태의 측정방법으로 구별된다. 일반적으로 알려진 사선(off line) 상태의 측정방법으로는 a) megger, b) hot stick tester, c) leakage current measurement, d) partial discharge measurement, e) RIV measurement, f) heat 등과 같은 측정기술과 활선(live line) 상태의 측정방법으로는 a) visual inspection, b) image intensification equipment, c) infra-Red thermography, d) directional wireless acoustic emission, e) E-field measurement 등이 있다.

표 9는 이러한 옥외 절연물 진단기법의 종류와 기관을 나타낸 것이다. 여기서는 주로 활선상태에서의 절연물의 진단기법을 중시

으로 설명하고자 한다. 고분자 절연물의 육안검사 방법이 이제까지 절연물의 사고를 찾아내는 일반적인 방법이었다. 이 방법은 고성능 망원경(binocular)과 같은 검사 장비를 이용하여 지상 또는 헬기에 서 절연물 표면 손상을 정확하게 검사할 수 있을 뿐 아니라 작은 표면 손상을 보다 심각한 내부 손상 감지해 낼 수 있다.

광증폭 장비(image intensification equipment)는 표면 방전이 나타나는지를 확인하는 유용한 방법으로 주로 밤에 사용할 수 있다. IR 열감지기(infrared thermography)는 실험실에서 좋은 결과를 나타내며 현장에서는 더욱 유용한 결과를 얻을 수 있다. 망원경이 장착된 IR 카메라를 가지고 지상에서 30~40m 높이의 절연물을 검사할 수 있다. 이 방법은 바람이 거의 없고 주변 온도가 5~15°C 사이의 조건에서 측정하는 것이 좋다. 부분방전, 음향방출(acoustic emission) 및 IR 측정방법에서 검출되지 않는 절연물의 손상은 E-전계(E-field) 측정방법으로 검출이 가능하다.

IR 측정기술은 사용이 간단하고 짧은 시간에 측정이 가능하다. 수분이내로 지상에서 첩탑의 절연물을 감시할 수 있다. E-전계를 측정하기 위해서는 첩탑으로 올라가야 한다. 이 장비는 각 절연물 종류에 따른 샷(shed) 직경에 따라 측정부품(carriage)를 달리 준비해야 한다. 이런 종류의 장비는 매우 새로운 기종으로 추후 유용한 절연물의 진단장비가 될 것으로 예상된다. 그러나, 이 방법은 절연물의 단말부(end fitting)에 위치한 결함을 정확하게 측정하기 어려운 문제점이 있다. IR 열감지기나 음향방출 방법에서 측정되는 것과는 달리 측정 순간에 방전이

표 9. 신소재 절연물의 진단기법

Organization	Diagnostic Test	Performed
IEEE	Megger [®]	in the laboratory + outdoors
	Partial discharge	in the laboratory
	RIV(Radio Influence Voltage)	in the laboratory
	Hot stick tester	in the laboratory + outdoors
	Leakage current	in the laboratory + outdoors
EDF	Heating	in the laboratory
	I-R Thermography	in the laboratory + outdoors
	E-field distribution	in the laboratory + outdoors
	Acoustic detection	in the laboratory + outdoors
ESKOM	Partial discharge	in the laboratory
	I-R Thermography	in outdoor test station
EZH	Night vision equipment	in outdoor test station
	I-R Thermography	on live line
IREQ/HQ	I-R Thermography	on live line + in the laboratory
	E-field distribution	on live line + in the laboratory

EEDF = Electricite de France

NEL = Ente Nazionale per l'Energia Elettrica

ESKOM = Electricity authority of South Africa

EZH = n.v. Electriciteitsbedrijf Zuid-Holland

HQ = Hydro-Quebec

IREQ = Institut de Recherche d'Hydro-Quebec

REE = Red Electrica de Espana, S.A

나 누설전류가 발생하지 않는 결합이 E-전계 곡선에 교란의 원인으로 작용하기도 한다. 그러나 이 검출은 전위분포(potential distribution)를 변조하기에 충분히 큰 도전성 트랙(track)을 갖는 손상에 한하여 가능하다. 한편 실험실적 시험에서는 낮은 도전성을 갖는 결합(예를들어 FRP 코어의 트래킹)의 경우 E-전계 측정은 정확성이 없었으나 IR 열감지에 의한 측정은 손상을 찾는 데 유용한 것으로 나타났다. 또 다른 진단방법으로는 부분방전 측정, 코로나 신호 분석, 그리고 가속기(accelerometry)방법이 검토되고 있다. 하지만 이들 방법은 아직까지 신뢰성을 검증받지 못하고 있다.

5. 결 론

고분자 절연물의 절연진단 및 수명 예측에는 주로 누설전류 측정이 대표적으로 사용되고 있으며, 가속열화조건으로는 염수분무, UV, 수분, 전압이 가장 중요한 변수로 적용된다. 송배전용 절연물의 사고 원인은 오손과 오염물 축적에 의한 표면 방전에서 시작되므로 외피 소재의 표면 특성은 중요하다. 이상과 같이 신소재 절연물의 적용과 재료적인 평가기술 및 진단기술은 개략적으로 기술하였으나 실제 열화평가기술은 너무나 다양하고 최근에도 새로운 평가기술이 연구되고 있어 상세하게는 소개하지 못하였다.

산업의 발달과 전력 사용은 급

격히 증가하고 있고 이에 수반하여 대전력, 고전압화가 전력기기와 이에 따르는 절연물의 고기능화가 필연적으로 요구되는 현실에서 신소재 절연물의 용도 확대는 지속적인 발달이 기대되는 분야의 하나이다. 따라서 이러한 절연물의 상품화를 가속시키기 위해서는 자체적인 설계 및 공정기술의 확립과 더불어 장기적 신뢰성 진단 및 열화평가기술이 제품의 선진화에 기여할 것이라고 본다.

참 고 문 헌

- [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.
- [3] C. D. Tourreil, P. Bourdon, "Aging of Composite Insulators Caused by Service and Simulated Service Conditions", CIGRE 15-01, pp. 1-11, 1986.
- [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] R. V. D., H. C. Karner, "Evaluation of Polymeric Insulating Materials for HV Outdoor Application", 6th ISH, 30.02, pp. 1-4, 1989.
- [6] "On-Line Pollution Leakage Current Monitoring System" Proc. 0-7803-1307-0/94/S3 IEEE. 3-8, 1994.
- [7] S. Shihab, "On-Line Pollution Leakage Current Monitoring System", RMIT, Australia, 1994.
- [8] Chairman H. M. Schneider, "The Measurement of Site Pollution Severity and its Application to Insulator Dimensioning fo A.C. System", Electra, No. 64 Working Group 04 of Study Committee No. 33
- [9] IEC Publication 1109, "Composite Insulators for A.C. Overhead Lines with a Nominal Voltage greater than 1000V Definitions, Test Methods and Acceptance Criteria", 1992.
- [10] Working Group 22.03, "Insulators Review of in Service Diagnostic Testing of Composite Insulators", Electra No. 169, 1996.

< 강 동필 위원 >