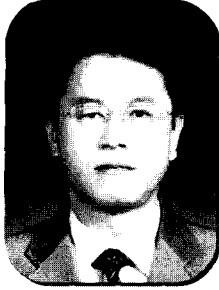
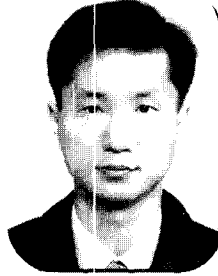


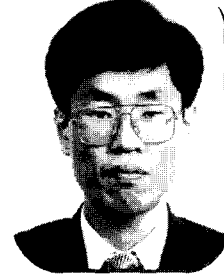
초고압 절연물 “송전용 애자”의 열화 및 진단기술



조한구
한국전기연구원
재료응용연구단 책임연구원



한동희
한국전기연구원
재료응용연구단 선임연구원



최인혁
한전 전력연구원
송변전기술그룹 선임연구원

1. 서론

오늘날 산업의 발전과 문화생활의 발달에 따라 전기에너지의 수요가 지속적으로 증가하고 있으므로, 원격지에 위치한 발전소로부터 도시 및 산업현장까지 대용량 에너지의 장거리 송전이 필요하게 되었다. 송전선로는 철탑, 철주 등의 지지물과 전선, 그리고 전선을 지지물에 부착하기 위한 애자 및 부속 금구류 등으로 구성되어 있다. 전선을 전기적으로 절연시켜 지지물에 취부하기 위하여 애자는 다음과 같은 요건을 갖추어야 한다. 선로의 정상전압 및 지락사고나 선로의 개폐시에 생기는 이상전압에 대하여 충분한 전기적 절연내력을 가져야 하며, 비, 눈, 안개 등의 이상기후조건에도 필요한 전기적 표면저항을 갖고 누설전류가 작아야 한다. 또한 기계적 강도가 우수하여 전선의 자중이나 바람, 눈 등에 의한 외력이 가해져도 충분히 견뎌야 하고, 장기간 사용에도 전기적 및 기계적 특성의 열화가 적어야 하며, 온도의 급변과 같은 기후변화에도 내구성을 갖고 습기를 흡수하지 않아야 하며, 경량이어서 취급이 용이해야 한다.

외국의 전력회사는 고령토를 주 소재로 한 자기 애자(porcelain insulator)와 석영을 주 소재로 한 유리 애자(glass insulator)를 사용하여 왔으나, 1960년대에 이

르러 에폭시 수지를 절연체 외피로 사용하는 연구에 착수한 이래 1970년대에 EPDM, 1980년대에 실리콘 고무를 사용한 폴리머 애자가 개발되어 기존의 세라믹 계열의 현수 애자에 비하여 가볍고 저렴하며 내손 특성이 우수한 장점이 있어 해외의 전력회사의 경우 배전급 뿐만 아니라 69 kV에서 345 kV 등의 송전급 선로에서 상용화가 이루어지고 있으며 캐나다의 Hydro Quebec사의 경우 765 kV급 선로에 1977년 이후 시험 설치하여 운전 중에 있는 등 세계적으로 폴리머 애자의 사용이 증가하는 추세에 있다.

2. 종류 및 구조

애자의 분류는 절연재료에 따른 분류, 형상·구조에 따른 분류, 용도에 따른 분류 등으로 구분할 수 있으며, 절연재료에 따라 자기 애자, 유리 애자, 폴리머 애자로 분류할 수 있으며 이들 재료의 주요 특성을 표 1에 나타내었다.

2.1 자기 애자(porcelain insulator)

애자라고 하면 일단 자기 애자라고 해도 좋을 정도로 애자류는 절연부에 자기를 사용하고 있다. 자기는 이것을 구성하는 재질에 따라 성질을 다르지만 애자



표 1. 송전용 애자 재료의 주요 특성 비교.

항 목	자기	유리	폴리머	
			외피	코아
비중[g/cm ³]	2.3 - 2.5	2.5	0.9 - 2.5	2.1 - 2.2
인장강도[kgf/cm ²]	600 - 1,000	950(150*)	200 - 350	13,000 - 16,000
압축강도[kgf/cm ²]	6,000 - 8,600	3,000	800 - 1,700	7,000 - 7,500
탄성계수[×10 ⁶ kgf/cm ²]	0.64 - 0.96	0.72	0.006 - 0.16	0.43 - 0.6
열전도율[kcal/h · m · °C]	2.2 - 2.5	1.0	0.17 - 0.9	0.2 - 1.2
열팽창계수, 20~100°C[×10 ⁻⁵ /°C]	3.5 - 9.1	8.0 - 9.5	45 - 200	7.5 - 20
유전율, 50~60 Hz	5.9 - 6.7	7.3	2.3 - 5.5	2.5 - 6.5
유전손실, 50~60Hz, 20°C [×10 ³]	20 - 56	15 - 50	0.1 - 5.0	0.5 - 2.0
절연파괴강도[kV/mm]	36 - 45	> 25	> 25	3.0 - 20
체적저항율, 20°C[Ω · cm]	10 ¹² - 10 ¹⁴	10 ¹²	10 ¹² - 10 ¹⁴	10 ¹² - 10 ¹⁴

주) * 강화전의 값

에 사용되는 자기는 경석, 장석, 점토를 원료로 하는 장석질 자기가 주류를 이루고 있다. 한편 초고압 송전에 부응한 33,000 kgf 이상의 강도를 가진 현수 애자, 내진용의 초강도 애자, 높은 내압력에 견디는 애관 등 기계적 특성이 우수한 애자의 필요성 때문에 알루미늄

를 함유한 고강도 자기가 실용화되었으며, 그림 1은 송전선로에 적용된 자기 애자의 전경을 나타낸 것이다.

2.2 유리 애자(glass insulator)

고주파 절연용으로 주로 사용되고 있으며, 붕규산 유리는 아주 오래 전에 제조되었고 영국 및 프랑스 등에서 송전선로용으로 쓰이는 현수 애자와 핀 애자의 절연부에 유리를 사용하였다. 유리 애자는 70% 이상의 규토(silica, SiO₂)로 구성되어 있고 저온으로 용해하기 위하여 Na₂O를, 내구성 향상을 위하여 CaO를, 제작상의 편리와 특성 유지를 위하여 MgO, Al₂O₃, K₂O 등의 성분을 적당한 비율로 배합하여 높은 온도에서 용융한 후 급랭에 부어 제작한다. 제작 과정에 따라 표면온도를 내부보다 저온으로 급냉하고 다시 내부온도보다 고온으로 가열하는 과정을 수회에 걸쳐 시행하면서 냉각한 고강도 유리 애자(toughened glass insulator)와 서서히 자연 냉각시켜 제작한 보통 유리 애자(annealed glass insulator)가 있다. 고강도 유리 애자는 특고압, 초고압 선로에 많이 사용하고 있고 보통 유리 애자는 배전선로에 사용하고 있다. 그림 2는 송전선로에 설치된 유리 애자를 나타낸 것이다.

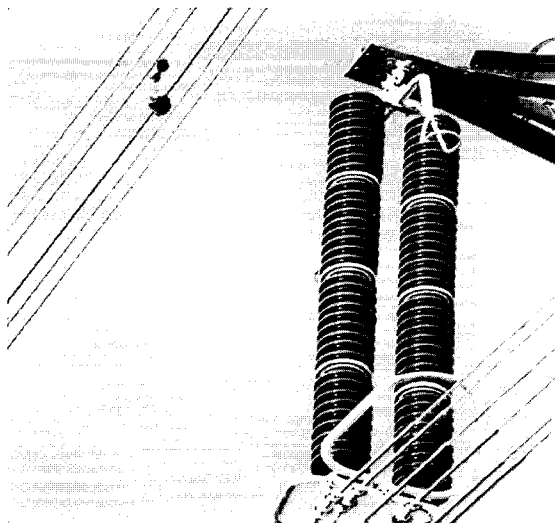


그림 1. 송전선로에 설치된 자기 애자.

2.3 폴리머 애자(polymer, composite insulator)

1950년대 말 기준에 사용되던 자기 애자를 대체하기 위하여 가볍고, 전기적, 기계적 특성이 우수한 신소재 애자의 개발을 계획하기 시작하였다. 최초의 옥외용 폴리머 애자는 1959년 미국 GE사에서 개발한 에폭시 재질의 애자였으나 에폭시 갓 부분에서의 심각한 트래킹과 침식현상으로 인하여 상용화는 실패하였다.

그러나, 1960년대 후반부터 1970년대에 걸쳐서 전기절연용 폴리머 재료의 개발이 진행되어 옥외용으로 PTFE(polytetrafluoroethylene), EPR(ethylene propylene rubber) 등이 사용되었으며, 유리섬유강화플라스틱(GFRP, glass fiber reinforced plastics)을 기계적 강도 분담의 내부 코아(core)로서 사용하여 복합재료로 구성된 그림 3과 같은 현재의 구조가 고안되었다.

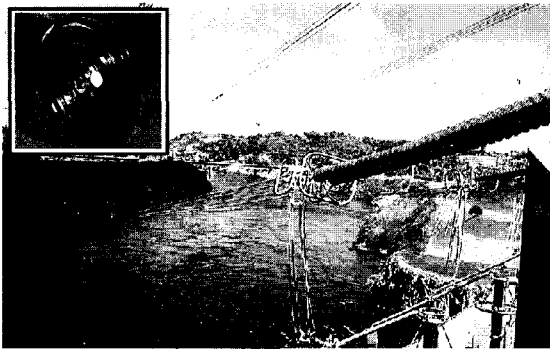


그림 2. 송전선로에 설치된 유리 애자.

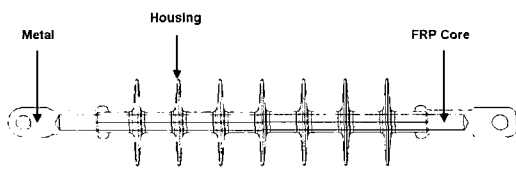


그림 3. 폴리머 애자의 구성도.

미국에서는 장래 전력수요의 증가에 대한 대책으로 1,000 ~ 1,500 kV 급의 UHV 송전에 대한 연구가 1970년대부터 시작되었다. 그러나, 당시의 북미지역에서는 인장강도 300 kN이상의 고강도 현수 애자를

공급할 수 있는 애자 제조회사는 존재하지 않았다. 이러한 필요를 배경으로 높은 인장강도를 비교적 용이하게 실현이 가능한 FRP 코아를 사용한 폴리머 애자의 개발에 주력해왔다. 그러나 그 후, UHV 송전을 목표로 개발에 주력한 폴리머 애자는 미국의 경제 불황으로 인하여 전력수요가 제대로 성장하지 않아 크게 보급되지는 않았으나, 북미지역에서의 반달리즘(vandalism)에 대한 해결책으로서 주목을 받았다. 반달리즘이란 불특정 소수의 사람들이 가공선로상의 애자 등을 크레이 사격의 과격으로 삼아 충격을 가하는 행위로서 북미의 전력회사에서 심각한 문제로 인식되고 있었다. 이로 인하여 폴리머 애자의 개발 및 적용확대에 박차를 가하는 계기가 되었다.

1970년대 중기에는 EPDM 애자에서 환경적 스트레스에 대해서 안정하고 오존 환경 하에서 우수한 전기적 특성, 내오존 특성을 가지는 실리콘 고무 애자로의 적용이 시작되었다. 또한, 1970년대 후반에는 스위스, 중국, 1980년대 후반에는 일본 등에서도 본격적인 연구가 진행되어, 최근에는 그 사용이 전 세계적으로 확산되고 있으며, 성능에 있어서도 95% 이상의 신뢰성을 갖고 있다.

폴리머 애자는 내부 절연과 기계적 응력을 감당하는 FRP 코아, 코아를 보호하고 외부 절연누설거리를 확보하는 기능을 가진 외피부의 최소 2부분으로 이루어진 절연부의 양단에 연결용 금구를 접속한 형태의 애자이다. 그림 4에 송전선로에 설치된 폴리머 애자를 나타내었다.

국내외 애자 적용현황을 보면 크게 자기, 유리 및 폴리머 애자로 분류할 수 있으며, 자기 애자는 일본,

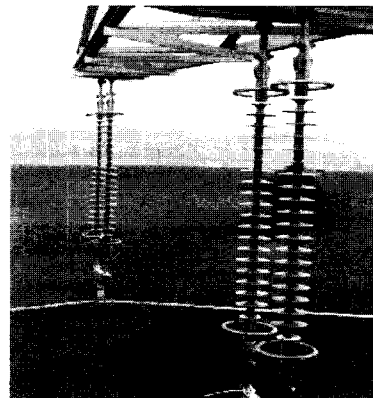


그림 4. 송전선로에 설치된 폴리머 애자.



폴리머 애자는 구미, 유리 애자는 구주를 중심으로 광범위하게 적용되고 있다. 또한 절연물의 세계시장은 자기, 유리 애자가 각각 55%, 41%, 폴리머 애자가 4% 정도를 점유하고 있는 것으로 분석되고 있다.

3. 열화기구

열화는 전기 재료나 절연 시스템에서 비가역적으로 발생하는 유해한 변화를 의미한다. 열화의 영향을 받는 절연 시스템의 특성은 인가되는 스트레스와 사용되는 절연물의 종류에 따라 다르며, 열화를 생성하는 스트레스를 열화 인자라고 한다. 이러한 열화 인자는 전기적, 열적, 기계적 및 환경적 인자의 네 가지 형태로 나눌 수 있다. 열화는 단일 인자 및 다중 인자에 의해 시간이 경과함에 따라 증가하여 절연물의 절연 파괴, 즉 사고로 진전한다.

3.1 자기 및 유리 애자

자기 및 유리 애자는 구조상 절연을 담당하는 자기 또는 유리 것과 기계적 강도를 유지하는 금구와 이를 접합하는 시멘트의 3부분으로 구성된다. 애자는 기본

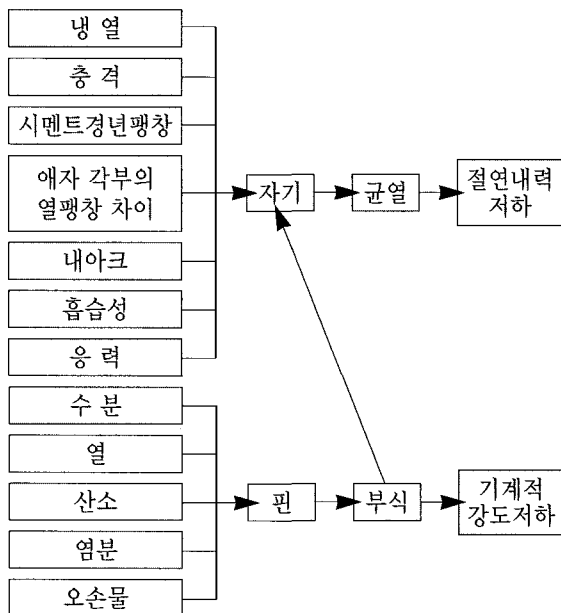


그림 5. 세라믹 애자의 열화 요인 및 열화 모드.

적 적용환경이 상시 과전상태에서 기계적 인장 및 진동하중을 받는다. 따라서 전기적 과전 스트레스와 열-기계적 피로진동이 애자에 작용하게 되며 이러한 열화조건에 대한 내구성이 확인된 애자를 사용하는 것이 중요하다. 그림 5는 세라믹 애자의 열화요인 및 열화모드를 정리한 것이며 그림 6은 여러 가지 원인에 의하여 파괴된 애자를 나타낸 것이다.



그림 6. 세라믹 애자의 손상.

3.2 폴리머 애자

대부분의 폴리머 애자는 옥외의 사용 환경에 노출되면 자외선, 산성비, 오존 등에 의해 표면이 열화 되고, 오손물질의 부착으로 표면의 습윤성이 증가하여 절연성능이 점점 저하한다. 애자의 절연성능에 영향을 주는 인자로는 오손물질의 종류와 오손도, 애자의 형상, 하우징 재질의 내구성과 절연성, 애자 표면의 소수성 등 다양하다. 이들 중 표면의 소수성은 옥외용 폴리머 애자의 가장 중요한 특성으로서 장기적인 신뢰성과 밀접한 관련이 있다. 폴리머 애자 하우징 소재의 열화 과정을 그림 7에 나타내었으며 그 예를 그림 8에 나타내었다. 또한 내부 코어가 파손된 폴리머 애자를 그림 9에 나타내었다. 폴리머 애자에 있어서 상기와

같은 열화나 파괴는 초기에 제작된 폴리머 애자에 주로 나타나며 현재는 소재 및 제조기술의 향상으로 폴리머 애자의 장기 신뢰성이 상당히 확보된 상태이다.

4. 열화시험 및 진단 방법

전체적인 전기적 절연 성능을 표시하는 지표로는 섬락과 열화의 두 가지가 있다. 첫 번째 지표는 오염된 환경에서 시스템 전압을 견딜 수 있는 능력으로, 섬락 전압의 측정을 통해 평가할 수 있고, 두 번째 지표는 기대 수명 동안 구조적 원형을 유지하는 능력으로써 가속열화시험을 통해서 평가할 수 있다. 이 두 가지는 서로 관련이 있는 경우도 있고 없는 경우도 있지만, 현장의 사용 경험에 의하면 폴리머 애자는 몇몇의 경우 심각한 열화를 수반하지 않고 섬락이 발생함을 보여 주고 있다. 또한 애자가 심각하게 침식되더라도 섬락이 발생하지 않는 경우도 있다. 그러나 일반적으로 재료의 열화는 섬락으로 이어진다는 것이 알려져 있으며, 최근에 보고 된 폴리머 애자의 선로사고 원인 조사에 따르면, 전기적·기계적 요인에 의한 사고가 35%를 차지하고 있는데 반해, 64%는 장기적 열화에 의한 사고임을 나타내었다. 열화에 영향을 미치는 직접적

원인은 주로 오손 및 습윤에 의한 방전이다.

대부분의 절연 시스템은 사고가 발생하기까지 수십 년의 시간이 소요되기 때문에 실시간으로 수명을 평가하는 것은 대단히 힘들다. 따라서 스트레스를 증가한 상태, 즉 가속 열화를 통해 평가하며, 충분한 열화 데이터가 수집되면 통계적 처리가 수행된다. 가속 열화시험의 결과로부터 실제 선로조건의 절연 수명은 근사적인 열화 모델에 의해 평가된다. 이것은 초기에 주도적인 열화 과정이 애자의 수명기간 동안 변화하기 때문이다. 따라서 절연파괴 시간에 대한 평가의 신뢰성을 증가시키기 위해서는 근본적인 열화 과정의 화학적 및 물리적 지식을 필요로 한다.

4.1 열화시험

현재 국내외에서 채택되고 있는 폴리머 애자의 오손 환경을 대상으로 한 대표적인 인공 가속열화 시험법은 재료 시편에 대한 가속열화, 애자를 시료로 하는 가속열화 및 자연 조건을 모의하는 주기 가속열화로 구분된다. 이를 표 2에 나타내었다.

재료 시편에 대한 가속열화시험은 주로 절연 재료의 트래킹 및 침식 특성을 비교하는 시험법으로 시험 스트레스는 애자의 사용 상태에 비하여 상당히 높다.

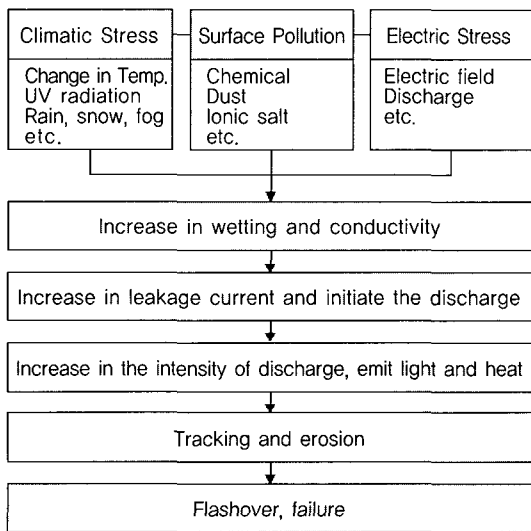


그림 7. 폴리머 애자의 열화 메커니즘.

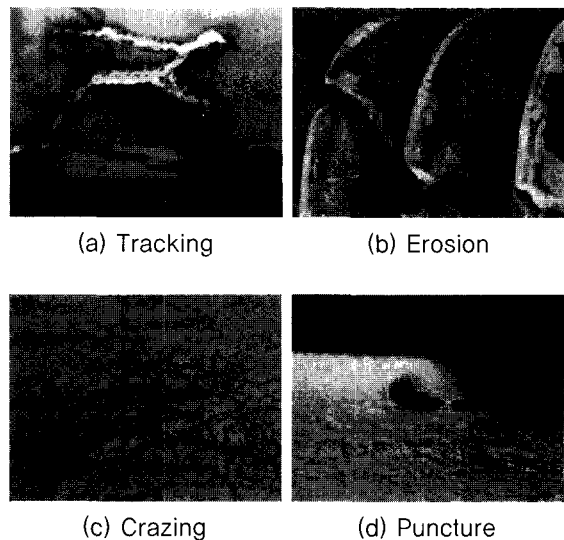


그림 8. 폴리머 하우스의 손상.

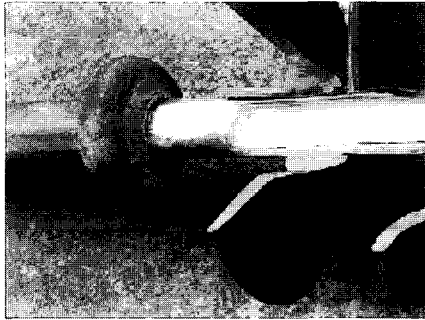


그림 9. 폴리머 애자 코어의 기계적 파괴.

즉 전압 가속의 양상이 강하다. 애자를 시료로 하는 가속열화시험은 하우징, 코아, 금구를 포함하는 복합 절연물로서의 시험으로, 애자의 형상, 하우징 소재, 계면 접착 상태에 따라 다르게 나타난다. 자연조건을 모의하는 주기 가속열화는 애자의 실사용 상태의 모의에 중점을 둔 시험법이다. 시험 전압은 사용 상태와 비슷한 수준이지만 온도, 습윤, 기온 등의 온도·환경 조건을 가혹한 상태로 설정한 가속열화시험이다.

4.2 진단 방법

옥외용 애자의 열화 진단에는 여러 가지 방법이 있으며, 진단의 목적은 언제, 어떻게 사고가 발생할 것인지를 미리 결정하여 사고를 미연에 방지하는 것이다.

폴리머 애자의 열화 시험 기술에 대하여 실험실이

나 옥외 모의 선로에서 체계적으로 연구가 시작된 것은 그리 오래되지 않았다. 세계적으로 애자의 가속 열화에 대한 연구를 할 수 있는 기관은 선진국을 중심으로 한 연구소, 대학, 전력회사들이며, 시험 장비와 부수적인 시스템에 있어서도 자기를 대상으로 하는 것이 대부분이다. 그러나 최근 STRI, EPRI, EDF, HQ 등에서 폴리머 애자를 대상으로 열화와 절연파괴에 대하여 상당한 연구가 이루어지고 있다. 대표적인 것으로 표면 누설전류의 분석은 폴리머 애자의 열화를 간접적으로 평가하고 절연파괴를 예측할 수 있는 좋은 방법으로 알려지고 있다. 그밖에도 등가염분부착밀도(ESDD)에 따른 가속열화의 정도, 하우징 표면의 소수성, 물리·화학적 변화와 같은 다양한 접근 방법으로 열화를 진단하고 있다.

따라서, 폴리머 애자의 장기 성능의 평가방법으로는 전기절연·환경을 대상으로 한 가속열화시험이나 기계적 성능 시험이 제안되고 있다. 전기절연·환경에 대한 가속열화시험으로는 표 3과 같이 세계 각 기관에서 각종 스트레스를 조합하여 가속 배율로서 10~20배 정도가 상정되는 시험방법이 제안되고 있다.

현재 애자의 진단방법은 설치 이전인 사선 상태에서의 측정방법과 설치후인 활선 상태에서의 측정방법으로 구별된다. 일반적으로 알려진 사선 상태에서의 측정방법으로는 저항측정, 누설전류측정, 부분방전측정, 전파장해전압측정 등이 있으며, 활선 상태에서의 측정방법으로는 육안검사, 코로나 방전 모니터

표 2. 폴리머 애자의 가속열화시험.

항 목	시 험 규 격	휴지기 (Rest period)
재료시편에 대한 가속열화	IEC 60112 (CTI, comparative tracking index)	없음
	IEC 60587 (IPM, inclined plane method)	없음
	IEC 61302 (RWDT, rotating wheel dip test)	없음
	ASTM D2132 (Salt fog test)	없음
애자를 시료로 하는 가속열화	CEA Purchasing Spec. (Tracking wheel test)	없음→있음
	IEC 61109 (Test for 1000 hours)	없음
자연조건을 모의한 주기가속열화	IEC 61109 Annex C (Test for 5000 hours)	없음
	ENEL (Test for 5000 hours)	있음
	EPRI method (Test for 21 days) ⁶	있음

링, 적외선 분석, 전계측정 등이 있다.

사선 상태에서의 측정방법은 일반적으로 현장에서의 적용이 곤란하여 효율적인 방법으로 제시되고 있지 못하며, 대부분의 전력회사들은 현장에 설치되어 있는 애자의 열화 정도 및 결합 검출을 요구하고 있다.

4.2.1 육안검사(visual inspection)

현재 대부분의 전력회사에서 열화 및 교체 판정 방법으로 간편한 육안 조사 방법을 제시하고 있다. 이 방법을 적용 할 경우 폴리머 애자에 대한 기본적인 지식을 조금은 가질 필요가 있다. 현장에 설치되어 있는 폴리머 애자의 열화 진단을 위한 육안 관찰 방법은 소수성의 정도, 하우징의 트래킹·침식(erosion) 정도, 하우징의 변형 및 관통, 코아의 노출여부, sealing부의 열화정도 등에 초점을 두고 있다. 이 방법은 고성능 망원경과 같은 검사 장비를 이용하여 지상 또는 헬기에서 절연물 표면의 손상을 검사한다.

4.2.2 코로나 방전 모니터링

광증폭 장비를 이용하면 애자 표면에서 발생하는 방전현상을 감지해 낼 수 있다. 연속적이고 안정화 된 방전현상은 하우징 재료에 상당한 침식을 일으킬 수 있다. 부분방전에 의해 방사되는 대부분의 에너지 파장은 300 ~ 380 nm로 UV-A 파장 범위에 해당한다. 따라서 육안관찰이나 일반 카메라를 사용해서는 감지해 낼 수 없기 때문에 자외선을 감지할 수 있는 렌즈를 사용하여야 한다. 이 기법은 밤에만 사용될 수 있고 이 장비를 이용하여 진단할 때 방전현상이 있어야만 쉽

게 검출해 낼 수 있으므로 상당한 불편을 야기한다. 최근에는 낮 시간에도 검출 가능한 코로나 검출 카메라에 대한 연구가 활발하다.

4.2.3 적외선 분석(IR thermography)

자연 상태에서 애자가 열화되면 표면 누설전류가 증가하게 되어 애자 표면에서 열이 발생하게 되므로, 이를 검출하기 위해 적외선 열분석기가 사용된다. 이를 이용한 경우 지상에서도 애자의 건전상태를 판단할 수 있으며, 애자의 열화된 부분이나 정도까지도 검출해 낼 수 있다.

4.2.4 전계측정(electric field measurement)

애자의 길이 방향으로 전계분포를 측정하여 결합상태를 검출하는 방법이다. 대체로 전계 분포는 결합이 있는 위치에서 다소 급격한 변화를 갖게 된다. 프로브를 애자의 길이 방향으로 이동하면서 측정하고 이를 컴퓨터를 이용하여 분석하게 된다. 그러나 이 방법은 프로브를 설치하기 위해 애자 근처까지 접근하여야 하는 불편함이 있다.

5. 결론

애자는 전력설비, 특히 송배전선로에서의 선로의 안정적인 운전을 위한 필수불가결한 기본 요소이다. 선진 외국의 경우 송전용 애자의 사고를 줄이기 위하여 사고 원인 분석 및 다양한 대책연구를 추진하여 계통의 안정화 확보와 고품질의 송전용 애자 제조에 적

표 3. 폴리머 애자의 장기 신뢰성 평가 방법.

시 험 법	인가전압	스트레스	시간
IEC 염무시험	10~20 kV(34.6 kV/mm)	염무	1000hrs
IEC Annex C법	50 kV/mm	염무, 비, 온도, 자외선	5000hrs
CEA 트래킹 휠시험(Method 1)	35 kV/mm	염무	1000hrs
CEA 트래킹 휠시험(Method 2)	35 kV/mm	염수(침적)	30000 Cycle
ENEL 5000시간 열화시험	대지전압	염무, 비, 온도, 자외선	5000hrs
EPRI 열화시험	대지전압	염무, 비, 무, 자외선, 기계하중	모의



극 활용하고 있다. 우리나라의 경우 현재 송전용 애자로써 대부분 자기 애자가 사용되고 있으나, 그 수명평가에 대한 연구가 부족하여 교체기준 및 사고의 미연 방지대책이 부족한 실정이다.

최근에는 폴리머 애자 관련 기술 분야의 비약적인 발전과 함께 해외에서 폴리머 애자의 사용이 광범위하게 이루어지고 있으며 점차 고강도화, 고기능화로 그 위치를 넓혀가고 있다. 그러나 우리나라에서는 폴리머 애자의 장기 신뢰성 확인, 열화검출방법의 확립, 시험규정의 미비점 등 앞으로 해결하여야 할 과제가 많이 남아 있다.

앞으로는 국내에서도 필드 시험이나 가속열화시험 등에 의하여 장기적인 성능평가가 진행되어 송전용 폴리머 애자의 적용이 확대될 것으로 예상된다. 따라서 국내 사용실적이 저조한 송전용 폴리머 애자의 국내 환경 적합성 여부, 장기 신뢰성 및 보수점검을 위한 열화진단기술 관련 연구가 시급한 실정이라 판단된다.

참고 문헌

[1] CIGRE WG 22.03, "Worldwide service experience with HV composite insulators", *ELECTRA*, No. 191, p. 27, 2000.

[2] 電氣協同研究會, "架空送電用有機がいしの現状と今後の展望", *電氣協同研究*, 第56卷, 第1, 2000.

[3] L. Xidong, W. Shaowu, F. Ju, and G. Zhicheng, "Development of composite insulators in China", *IEEE Trans. on Dielectrics and Elec. Insul.*, Vol. 6, p. 586, 1999.

[4] G. H. Vaillancourt, S. Carignan, and C. Jean, "Experience with the detection of faulty composite insulators on high voltage power lines by the E-field measurement method", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 13 p. 661, 1998.

[5] T. Kikuchi, S. Nishimura, M. Nagao, K. Izumi, Y. Kubota, and M. Sakata "Survey on the use of non-ceramic insulators", *IEEE Trans. on Dielectrics and Elec. Insul.*, Vol 6, p. 548, 1999.

[6] 김신철, 김태영, "국내의 현수애자의 적용동향 및 기술동향", *전기학회지* 제48권 12호, 1999.

[7] G. H. Vaillancourt and P. Bilodeau, "Diagnostic testing of composite insulators used on series compensation platforms in Hydro-Quebec", *Conf. Proceedings of 11th International Symposium on High Voltage Engineering*, London, England, 1999.

[8] 박강식, 이병성, 한상옥, 이덕출, "Composite insulator의 적용 및 진단기술 현황", *전기학회지* 제48권 12호, 1999.

[9] H. M. Schneider, J. F. Fall, G. Karady, and J. Rendowden, "Non-ceramic Insulator for Transmission Lines", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 4, p. 2214, 1989.

[10] 조한구, "폴리머 절연물의 장, 단기 신뢰성을 위한 표준화 평가기술", *글로벌스탠다드*, 4월, 2001.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 조한구

◆ 학력

- 1984년 성균관대 공대 전기공학과 공학사
- 1987년 성균관대 대학원 전기공학과 공학석사
- 1996년 성균관대 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경력

- 1993년 전기기기 기술사
- 1999년 - 2000년 동서대 전자기계공학부 겸임교수
- 1987년 - 현재 한국전기연구원 책임연구원

성명 : 한동희

◆ 학력

- 1989년 경북대 고분자공학과 공학사
- 1991년 경북대 대학원 고분자공학과 공학석사
- 2002년 경북대 대학원 고분자공학과 공학박사

◆ 경력

- 1991년 - 현재 한국전기연구원 선임연구원

성명 : 최인혁

◆ 학력

- 1986년 성균관대 전기공학과 공학사
- 1989년 성균관대 대학원 전기공학과 공학석사
- 2002년 성균관대 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경력

- 현재 한전 전력연구원 선임연구원