

옥외용 고분자 애자의 기술 현황

한기만 김동욱 권혁삼 오무원
금성전선(주) 연구소

State-of-the-Art of Polymer Insulators

K. M. Hahn, D. W. Kim, H. S. Kweon, M. W. Oh
Goldstar Cable Co., Ltd. R&D Lab.

Abstract : Recent investigations have been made on polymerinsulators of various types. The findings are related to experience on operational lines in foreign countries, design concepts, materials and tests about outdoor properties. Over last decade improvements have been occurred in the design and construction techniques of polymer insulators. For transmission and distribution lines, it may be advantageous or even necessary to replace the conventional porcelain or tempered glass insulators by lighter polymer insulators which have better mechanical properties.

序 論

최근 미국, 일본, 유럽 등지에서는 자기제 애자를 대체하는 고분자 애자가 송전선로, 변전기기 및 전철선로에 널리 이용되고 있다. 고분자애자의 사용확대는 고감도 애자의 필요에 자기제에 비해 확실하게 만족을 줄 수 있다는 점과 함께 기술력의 진보로 신뢰성 및 경제성의 면에서도 경쟁력을 확보하고 있기 때문이다. 또한 합리적인 절연설계 구조를 실현하고 있어 최근 EPRI가 미국에서 실시한 설문 결과 사용처인 각 전력회사로부터 높은 평가를 받고 있다.

유럽에서도 영국, 프랑스, 이태리가 공동으로 고분자애자에 대한 평가연구를 실시하여 최근 제품의 고기능화에 대한 인식이 고취되어 사용이 확대되고 있다.

고분자애자는 경량 고감도이며 우수한 내오손성능을

가지고 있어서 특히 상간 Spacer류와 Line post 애자 등에 적용되면 송전선로의 섬력화와 건설 경비의 저감 효과 등 많은 이점을 갖고 있다고 할 수 있다.

본 보고에서는 미국, 일본 등의 고분자애자 실용화 현황을 소개하고, 당사에서 공업기반기술과제로 수행하고있는 고분자애자의 개발현황과 관련하여 고분자애자의 특징, 절연/구조설계기술, 재료기술 및 시험기술을 간략히 소개하여 고분자애자 기술분야에 대한 이해를 넓히고자 한다.

本 論

1. 고분자애자의 적용 현황

1-1. 옥외용 고분자애자의 개발 과정

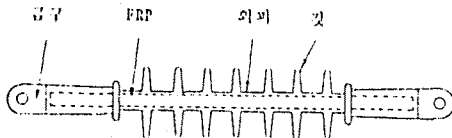
최초의 고분자애자는 약 25년전 미국에서 제조되었다. 초기의 제품은 비교적 연질인 에폭시 갓과 외피로 된 것이었다. 1960년 경에 69kV급 및 115kV급 장간애자의 Field test를 실시하였으나 갓의 재질이 트래킹 특성 등 옥외 성능에서 문제가되어 실용화되진 못하였다. 이후 독일, 미국, 프랑스, 영국 등에서 FRP Rod 애고무, 에폭시 갓을 갖는 1세대 고분자애자를 개발하였으나 재료의 트래킹, 침식, 표면오손 및 섬락발생 문제와 Rod와 갓 재료 사이의 열화 및 파괴문제 등이 발생하여 상품화가 도중에 중단되게 되었다.

70년대 이후부터 이와같은 문제점을 개선한 제2세대 고분자애자의 개발이 활발히 전개되어 Non-tracking성 합성고무 갓 재료의 개발과, 말단부의 금구취부 방식

이 채택되었으며 제조 공정의 혁신이 이루어졌다. 또한 전기적 파괴구과 기계적 강도의 경시열화에 대한 이해가 진보하여 30년의 수명을 예측하는 고신뢰성 애자의 상품화가 이루어졌다.

현재는 이와같은 기술개발의 토대 위에 각종 제조기술의 혁신과 합리적인 절연구조 설계에 의한 소위 제3세대 고분자애자가 상품화, 보급되고 있는 실정이다.

고분자애자의 전형적인 구조는 <그림1>과 같다. 중심에는 유리섬유강화플라스틱(FRP) Rod를 설치하여 기계적 하중을 감당하며 FRP는 자기제에 비하여 10배 이상의 인장강도를 갖기때문에 외경을 1/3 이하로 작게 할 수 있다. 갓 및 외피는 내자의외선성, 내트래킹성을 갖는 합성고무를 사용하는데 EPDM, EVA, Silicone rubber 등에 특성개선을 위한 충전제를 넣어 사용한다. 고분자애자의 내하중 특성은 FRP Rod와 금구의 접속구조가 좌우하게 되므로 접속기술이 다양하게 개발되어 사용되고 있다. 또한 금구 접촉부를 통한 수분의 침투에 의하여 발생하는 급격한 열화 및 파괴를 예방하기 위한 금구부의 실링기술과 FRP, 고무외피간의 계면특성 안정화 기술이 개발, 적용되고 있다.

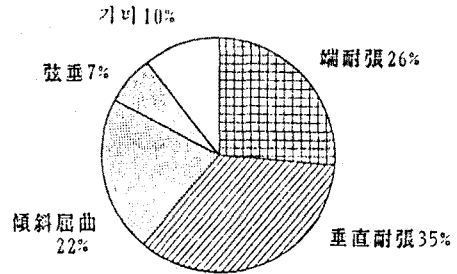


<그림1> 고분자애자의 일반 구조

1-2. 외국의 적용 현황

미국에서는 고분자애자가 매우 광범위하게 사용되고 있어 많은 전력회사가 주요선로에 채택하고 있는 실정이다. 또한 고분자애자가 품질과 함께 가격면에서도 자기제애자보다 저렴하게 된 정도로 사용이 확대되었다. EPRI의 조사에 의하면 현재 미국의 송전선로용 애자의 약 20%를 고분자애자가 점유하고 있으며 신규선로의 적용은 고분자애자가 주종을 이루고 있다. 사용처로서는 <그림2>에 나타난 것과 같이 고분자애자의 내하중 성능고 기계적 강도를 활용하여 내장형으로 널리 사용되고 있다. 유럽에서는 영국, 프랑스, 이태리를 중심으로 사

용 및 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 각국의 환경에 따른 실증시험도 여러 형태로 이루어지고 있다. 일본의 경우에는 아직 자기제 애자가 주종을 이루고 있으며 상품화 초기 단계이다. 그러나 최근 송배전선로 및 신간선 등 전철 선로의 적용이 이루어지고 있으며 좋은 평가를 얻고 있는 상황이다.



<그림2> 고분자애자의 사용처 (美)

2. 고분자애자의 설계

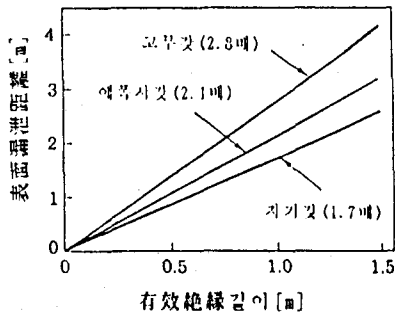
2-1. 절연설계

절연설계에 있어서 고분자애자의 특징은 갓의 두께에 있다. 자기제의 경우 갓의 두께는 15mm - 20mm 정도가 필요하며, 에폭시 갓의 경우 10mm - 15mm 정도가 된다. 고무갓의 경우에는 10mm 이하 약 4mm 정도까지가 가능하다. 갓의 두께를 얇게할 수 있어 동일한 길이에 많은 갓을 설치할 수 있어 절연누설 거리를 크게 할 수 있다. <그림3>은 갓의 재질에 따른 표면 누설거리를 비교한 것이다.

애자의 절연특성은 AC주수내전압(표면누설거리와 비례함)과 뇌임펄스내전압(유효절연 길이에 비례함)으로 규정된다. 자기제애자의 경우 중오손 설계를 하는 경우 갓의 외경이 매우 커지므로 표면누설거리를 확보하기 위해 애자의 길이를 길게 설계하여 뇌임펄스전압 특성은 과하게 커지게 된다. 고분자애자의 경우에는 뇌임펄스 특성을 충분히 만족하게 유효 절연거리를 줄일 수 있으며 표면누설거리는 자기제애자보다 1.5배 이상 크게 할 수 있다는 장점을 갖는다.

<표 1>은 110kV급 송전용 애자에 대해 일본의 II사의 고분자애자와 자기제 애자의 성능을 비교한 자료이다.

절연설계는 우선 사용전압 계급에 따라 결정된 뇌임



<그림3> 갓의 제질에 따른 표면누설거리의 유효절연길이

<표 1> 110kV 중전선용 장간애자 성능비교(口)

項 目	磁器製 長幹碍子	高分子 長幹碍子
組立穴間 길이 [mm]	1,025	최동
유효절연길이 [mm]	(820)	최동
애자의 胴徑 [mm]	80	25
갓의 외경 [mm]	160	105/75
갓의 갓수 [개]	21	최동
표면누설거리 [mm]	2,140	최동
AC 주수내전압 [kV]	180	220
임펄스내전압 [kV]	470	520
인장피괴하중 [kgf]	12,000	14,200
중량량 [kg]	26	3.5

펄스 규격치를 만족하는 유효절연거리를 결정하고, AC 주수내전압치를 만족할 수 있는 표면누설거리를 정하는 순서로 행해진다. 표면누설거리는 애자의 적용처에 따라 다르게 결정한다.

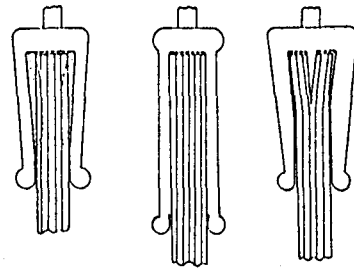
2-2. 내하중 설계

내하중 설계는 실제의 포설시 고분자애자에 가해지는 하중을 고려하여 설계된다. 내하중치는 소위 이상 하중과 최대하중의 중간의 하중으로 결정되고, 최소파괴하중은 소위 최대하중보다 크게 설계된다.

고분자애자에 있어서 내하중 특성은 금구와 FRP Rod의 접합 상태에 좌우되게 되어, 접합의 방식과 FRP Rod의 직경 및 금구 접합면 길이의 설계가 중요한 요소이다.

금구의 접합 방법은 <그림4>와 같이 3종류로 대별되어 실용화 하고 있다. FRP Rod의 끝에 췌기를 박아 넣히는 방법(右)은 크랙이 진전하여 절연성능에 영향을 줄 우려가 있다. 그림 좌측의 방법은 금구 내부에 테이퍼를 형성시키고 FRP Rod를 삽입하여 금구와 FRP 사이를 접착제로 접합하는 방법으로서 접착제의 선택 금구 내부구조 등이 중요한 포인트이다. 그림의 가운

데 방법은 금구를 압착하는 방법으로 금속과 FRP의 압축, 밀착 특성에 한계가 있으므로 보통 접착제를 병용하여 접합하게 된다. 이방법에서는 압착 기구와 방식 및 금구의 압착부 형태가 중요한 포인트이다. 이상의 접합 방법중 현재 널리 상용에 적용되고 있는 방법은 압착 방식과 접착 방식이다.



<그림4> 금구 접합방식의 종류

3. 고분자 애자의 재료

고분자 애자의 구성은 FRP Rod부, Polymer Shed부, End Fitting부로 크게 세부분으로 이루어진다. FRP Rod는 전기절연용의 Glass Fiber를 Bisphenol계의 Epoxy Resin이 Binding하는 것이 일반적이며 기계적, 열적특성을 강화하기 위하여 무기 Filler를 충전하는 경우도 있다. Polymer Shed를 EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer)고무로 선택할 경우에는 FRP Rod의 Base Resin으로 불포화폴리에스테르 수지를 사용하여 Polymer Shed와 FRP Rod를 가고, 결합시키는 Type도 있다.

FRP Rod 외부의 Polymer Shed는 대기중의 수분, 염분, 먼지, 가스등에의하여 쉽게 오염될수 있다. 또한 먼지나 염분의 찌꺼기가 Polymer Shed표면에 달라붙어 Surface Discharge와 표면선풍현상을 일으키게 된다. 그러므로 Polymer Shed의 재료는 우수한 내Tracking성을 갖는 동시에 뛰어난 발수성 (Hydrophobicity)을 갖고 있어야 한다. Polymer Shed의 재료로는 Silicone Rubber, EPR (EPDM and EPM), EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer)과 Silicone Rubber의 Alloy, Heat Shrinkable Type에 사용되는 EVA (Ethylene Vinyl Acetate)등이 사용되고있다.

그중 Silicone Rubber는 내열, 내한성, 내오존성 등의 내후특성, 내코로나성이 우수하며 옥외용 애자의 필수 요구특성이라고 할 수 있는 발수성(Hydrophobicity)이 우수하며 금속수화물을 충전할경우 내Tracking성 또한 고분자 장간애자의 Polymer Shed의 재료로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 Silicone Rubber는 다른 재료에 비해 비싸며 낮은 tear Strength 특성을 나타내는 등의 단점도 갖고있다. 미국 Ohio Brass社에서는 Silicone Rubber와 EPDM의 혼합물로 Polymer Alloy를 개발하여 두재료가 갖고있는 장점을 살린 제품을 상품화하고있기도 하다. 그리고 FRP Rod, 금구, Polymer Shed의 연결부의 기밀을 유지하기위한 Sealing Agent로 Silicone계 접착제, Polyurethane계 접착제, Butyl Rubber계 접착제, Epoxy계 접착제등이 사용된다. Sealing Agent의 선택시 고려하여야 할 사항중 하나는 옥외에 노출된 상태로 있기 때문에 내후성이 우수한 재료를 선택하여야 한다는 점이다.

4. 시험법

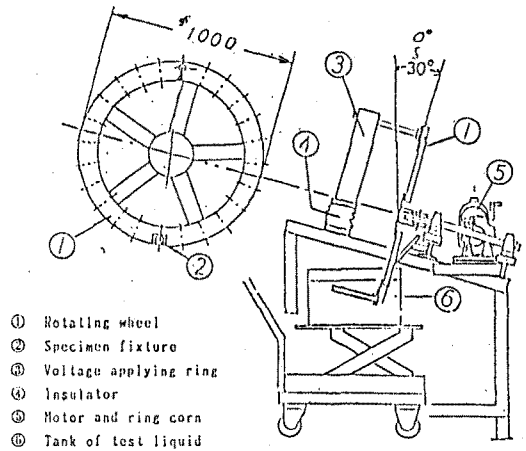
고분자애자의 개발을 효율적으로 수행하기 위해서는 재료와 애자 완성품에 대한 가속열화 시험법의 개발이 특히 중요하다. 고분자애자의 가속열화 시험법은 아직 만족할 만큼 확립되어 있다고 할 수는 없지만 현재 널리 이용되고 있는 시험법은 다음과 같다.

1) IEC 112 트래킹 시험법 : 교류전압을 인가하여 약 20mm의 시험액을 재료의 표면에 일정 시간간격으로 떨어뜨려 트래킹 파괴 특성을 평가하는 방법으로 CTI(Comparative Tracking Index : 비교 트래킹지수) 측정법과 PTI(Proof Tracking Index : 보장 트래킹지수) 측정법의 2종류의 시험법이 있다.

2) IEC 587 오손액 경사평면 시험법 : 이 시험법은 열악한 환경 조건에서 사용되어지는 고무 절연재료의 내트래킹성을 주로 평가하는 시험법으로 일정한 경사각으로 취부한 시편의 상부에 일정 시간 간격으로 시험용액을 주입하여 흘러 내리게 하면서 전압을 인가하여 트래킹 특성을 평가하는 방법이다.

3) 메리 고라운드 시험법 : <그림5>와 같은 시험장치에 시편을 취부하여 회전시키면서 1/3 회전 동안은 오

손용액에 침적시키고 1/2 회전 동안 고전압을 인가하여 섬락이 일어나는 시간 혹은 300mA 이상의 누설전류가 흐르게 되는 시간을 측정, 평가한다.



<그림5> Merry go-round 시험장치

4) 염수 분무법 : CIGRE SC-15의 추천 시험법으로 염수를 분무하며 전압을 인가하여 이때의 열화상태를 조사, 평가하는 시험법이다.

5) CIGRE SC-22 시험법 : 실제의 고분자애자에 대하여 복합적인 요소를 주어 시험을 실시하고 내후성, 열적 기계적특성, 흡습특성 등을 종합적으로 평가하는 시험기술이다.

이외에도 여러가지 시험법이 적용되고 있으며 대부분이 재료의 내트래킹성, 내자외선성, 내아크성 및 오손특성을 평가하는데 초점을 맞추고 있고 사용처 별로 환경을 모의한 시험이 행해진다.

結 論

이상에서 간략하게 살펴본 고분자애자는 기존의 자기제 애자에 비하여 여러가지 측면에서 장점을 가지고 있다고 할 수 있다. 당 연구소에서는 한전의 연구비 지원을 받아 공업기반기술과제로 고분자 장간애자에 대한 연구개발을 진행하고 있다.

고분자애자는 경량화, 소형화를 통해 포설 및 보수, 유지를 현저히 용이하게 한다는 점, 외부 재료의 개질 및 자유로운 형상 개선을 통해 내오손 성능을 대폭 개선할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 보다 주목할 점

은 라인포스트애자 등의 적용시 고분자애자의 탁월한 내충격성과 내장형 애자로의 적용시 뛰어난 내하중 특성을 발휘한다는 부분이라고 사료된다.

고기능성, 고신뢰성의 요구가 증대해가는 최근의 절연 분야에 고분자애자의 개발과 적용은 필수적인 과제라고 할 수 있다. 그러나 이분야에 있어서 국내의 연구개발 역사가 아직 일천한 상태이며 고분자애자 관련 기술에 대한 인식의 폭이 좁은 현실이어서 고전압, 저로분야 종사자들의 기초연구와 전력관계 기업들의 적극적인 관심이 고취되어야만 할 것이라고 본다.

參考文獻

- 1) H.M. Schneider, et al., "Nonceramic Insulators for Transmission Lines" IEEE/PES 1989 Winter Meeting, paper 89 WM 118-1 PWRD
- 2) 門谷 : 屋外用 ポリマー がいしの 現状, OHM, 78, 7, 55 (1989)
- 3) CIGRE SC-22, WG 22-10, "Technical basis for minimal requirement for composites insulators", Electra No.88 1983
- 4) J.S.T Looms : IEEE Electrical Insulation Magazine, 4, 4, 11 (1988)