

# 국내·외 현수애자의 적용동향 및 기술동향

김 신 철\*, 김 태 영\*\*

(\*한전 송변전처 송변전건설팀장, \*\*한전 송변전처 송변전건설팀 과장)

## 1. 서 론

송·배전선로는 철탑, 철주, 콘크리트주 등의 지지물과 전선, 그리고 전선을 지지물에 부착하기 위한 현수애자 및 부속 금구류 등으로 구성되어 있으며 이중에서 현수애자는 충전부를 절연시켜 안정된 전력을 공급하기 위하여 송전전압 및 송전용량등에 따라 필요한 전기적·기계적 특성을 갖추어야 한다.

외국의 전력회사는 고령토를 주 소재로 한 자기애자(Porcelain Insulator)와 석영을 주 소재로 한 유리애자(Glass Insulator)를 사용하여 왔으나, 1960년대에 이르러 예폭시 수지를 절연체 외피로 사용하는 연구에 착수한 이래 1970년대에 EPDM, 1980년대에 실리콘 Rubber를 쓰는 폴리머애자(Polymer Insulator 혹은 Composite Insulator라고도 함)가 개발되어 기존의 세라믹계열의 현수애자에 비하여 가볍고 저렴하며 내오손 특성이 우수한 장점이 있어 해외의 전력회사의 경우 배전급 뿐만 아니라 69kV에서 345kV등의 송전급 선로에서 상용화가 이루어지고 있으며 Hydro Quebec(캐나다)사의 경우 765kV급 선로에 1977년 이후 시험 설치하여 운전중에 있는 등 세계적으로 폴리머애자의 사용이 증가하는 추세에 있다.

우리 나라의 경우 애자 공업의 발달이 다른 산업분야와 달리 성장이 매우 늦은 편으로 '80년도 이전에는 일부품목을 제외한 거의 대부분의 물량을 전량 수입에 의존하여 왔으며 '82~'83년에 들어와서야 22.9kV급 이하의 애자류와 154kV급 송전선로용 애자를 신한애자공업(주) 및 고려애자공업(주)에서 양산체제를 갖추어 국산으로 공급하였으나 1990년에 신한애자공업(주)가 폐사하여 현재는 고려애자에서만 한전에 납품하고 있는 실정이며 345kV급 이상 송전선로용 현수애자는 현재까지 수입하여 사용하고 있다.

외국 전력회사의 경우 자국의 제작사가 만드는 소재의 애자를 대부분 사용하고 있으며 유리애자는 프랑스의 Sediver사

자기애자는 일본의 NGK사가 세계 현수애자 수출시장을 양분하고 있으며 '80년대 들어 미국의 Maclean사, Hubbell (Ohio Brass)사 등이 폴리머애자를 양산하고 있다.

한국전력의 경우 자기애자만을 사용하여 왔으나 국산 현수애자의 품질향상 및 수입애자의 가격경쟁력 향상을 위하여 1997년에 345kV송전선로에 유리애자를 시험 설치하여 운전중에 있고, 폴리머애자도 1999년 154kV송전선로에 시험 설치하여 운전 중에 있으며 시험 사용결과 신뢰성이 입증될 경우 확대사용을 추진할 예정이다.

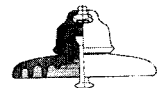
## 2. 현수애자의 적용동향

### 2.1 현수애자의 종류 및 특성

현수애자는 그 소재의 종류에 따라 자기애자(Porcelain Insulator), 유리애자(Glass Insulator) 및 폴리머애자(Polymer Insulator)로 구분되며, 배전급 애자의 경우 강도계열 15,000lbs 이하, 송전급 애자의 경우 25,000lbs(120KN)~66,000lbs(300KN)를 주로 사용하고 있다.



[폴리머애자]



[자기, 유리애자]

그림 1. 현수애자의 형상

### 2.2 소재별 특성

사용자인 전력회사의 입장에서 자기애자, 유리애자 및

표 1. 소재별 현수애자의 특성

항목	자기애자	유리아재자	폴리머애자
장기 신뢰성	○	○	△~×
시공성	△	△	○
경제성	△	△	○
기타	- 제작사에 따라 품질차이 큼 - 충격, 내오손 특성 유리애자에 비해 우수 - 급준파 특성, 잔류강도 유리애자에 비해 열등	- 중량, 불량애자식별, 급준파 특성 자기애자에 우수 - Shattering, Vandalism, 내오 손 특성 자기애자에 열등	- 경년변화에 기능저하 - 불량애자 검출방법 없음 - 취급 부주의시 표면손상

- ○ ; 우수, △ ; 보통, × ; 열등

- Vandalism ; 무의식적인 파괴 중용구 및 파괴행위를 말함 (유리아재자의 경우 푸른빛의 발광으로 총기류 및 투석에 의한 애자파괴 육구를 불러 일으킴)

- Shattering ; 유리아재자를 강화처리(Toughening)하는 과정에서 내부에 불순물 함유시 제작후에 외부충격이 없어도 Shell이 자동으로 파열되는 현상을 자폭(Self Shattering) 이라 함

폴리머애자를 비교하여 보면 고품질의 현수 애자를 준으로 볼때 자기애자 및 유리아재자는 폴리머애자에 비하여 장기 신뢰성에 있어서 우수한 것으로 판명되고 있는 반면 폴리머애자의 경우 실 선로에서의 사용 실적이 짧아 장기 신뢰성에서는 미흡하나 중량이 세라믹 계열의 현수애자에 비해 1/10 수준으로 설치비 및 구매비용이 절감되며 특히 해안지역 및 공업지역의 염분 및 분진 등으로 인한 선로의 고장을 방지할 수 있는 내오손 특성이 우수한 것으로 발표되고 있다.

### 2.3 외국의 사용현황

외국의 현수애자 사용실태는 자국의 애자 제작회사가 만드는 소재의 애자를 채택하여 사용하는 것이 대부분으로 자기애자는 한국, 일본, 중국 등 동남아시아와 중동지역, 미국 및 영국에서 주로 사용하고 있으며 유리아재자는 프랑스, 이탈리아, 스페인 등 유럽지역과 러시아 등에서 주로 사용하고 있으며 폴리머애자의 경우는 개발초기인 '70년대에는 장기신뢰성 및 열화에 대한 불안감으로 사용에 소극적이었으나 소재가 안정화된 '80년대 후반부터 캐나다 등 북미, 미국 및 유럽지역을 중심으로 사용이 증가되는 추세이며, 현재는 동일재질의 현수애자만 사용하기보다는 전력회사들이 비용절감 및 정전고장을 최소화하기 위하여 유리아재자 및 자기애자 또는 폴리머애자를 혼용하여 사용하고 있다.

표 2. 현수애자의 주요 제작회사

소재명	제작업체
자기애자	고려애자(한국), NGK(일본), ALLIED(영국), LAPP(미국), Ceram Tec(독일) 대련애자(중국) 등
유리아재자	Sediver(프랑스), Borma(이탈리아), Vicasa(스페인), Dielve(이탈리아), Electrovidro(브라질) 우크라이나애자 등
폴리머애자	Maclean(미국), Hubbell(미국), NLPI(미국), Sediver(프랑스), K-LINE(캐나다), Rosental(독일) 등

### 2.4 폴리머애자

고분자를 중합하여 생기는 화합물을 Polymer라 하며 이 중합체 화합물을 이용하여 만든 애자의 총괄, 즉 EPDM, Silicone Rubber, Epoxy애자 등을 지칭하며 Composite Insulator라고도 한다.

폴리머애자는 기계적인 장력을 유지하는 심재(Core)와 절연물인 Sheath, 연결금구류(End Fitting) 등으로 구분되는데 심재로는 FRP(Fiberglass Reinforced Plastic), 절연물로는 EPR(Ethylene Propylene Rubber)계열과 Silicone Rubber가 주로 쓰이고 있으며 연결금구류는 Ductile Iron 등을 사용하고 있다. 개발초기에는 Shed의 균열(Cracking), 자외선에 의한 손상, Tracking과 부식(Erosion), Corona Cutting 등에 의한 많은 고장 사례가 있었으나 현재에는 소재의 발달에 따라 안정화되어 가고 있다.

폴리머애자의 절연물중 EPR 계열은 EPM(Ethylene Propylene Monomer), EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer), ALLOY(Mixture of EP Rubber and silicone polymer, = ESP Co-polymer of ethylene propylene diene and silicone) 등이 있으며 배전급 에서부터 765kV급까지도 사용되고 있으나 일반적으로 배전선로에서 주로 사용되며, 송전급의 경우 오손지역에서는 고장사례가 많이 보고되고 있어 청정지역에서만 사용되고 있다.

Silicone Rubber는 HTV(High temperature vulcanizing)와 RTV(Room temperature vulcanizing)가 있으나 HTV가 취급이나 인장력에 있어서 RTV보다 우수하여 현수애자의 절연재로 채택되고 있으며 RTV는 하우징 재료나 코팅재로 주로 사용되고 있다.

실리콘 계열은 표 3에서 알수 있듯이 구조상 실리콘의 결합에너지가 EPDM 보다 크기 때문에 내열, 내자외선 특성이 EPR 또는 에폭시 계열보다 우수하며 발수성(Hydrophobicity)에 있어서 우수한 특성이 있어 오손지역 및 송전선로에 적당하다.

표 3. EPDM과 Silicone Rubber의 특성비교

항목	EPDM	Silicone Rubber
구조	$\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_m \left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ -\text{Si}-\text{O}- \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
결합 에너지	주고리가 C-C 결합으로 되어 있어 결합에너지가 실리콘 보다 작다	주고리가 실리콘과 O(산소)의 무기결합으로 결합에너지가 크다
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 내열, 내자외선특성이 실리콘에 비해 열등</li> <li>- 내아크성, 발수성이 실리콘에 비해 열등</li> <li>- 기계적인 특성이 실리콘에 비해 우수</li> <li>- 가격이 실리콘보다 저렴</li> <li>- 배전급에 주로 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 내열, 내자외선 특성이 우수</li> <li>- 내아크성 우수(절연물에 Silica가 생성)</li> <li>- 발수성 뛰어남(저분자의 실리콘이 계속 용출)</li> <li>- 내오손특성 우수</li> <li>- 재질이 부드러워 현장 취급시 주의필요</li> <li>- 기계적인 특성이 열등</li> <li>- EPDM보다 성형에 어려움</li> <li>- 원소재에서 EPDM보다 고가(2~3배)</li> <li>- 송전급에 주로 사용</li> </ul>

## 2.5 해외 전력회사의 운전경험

### 2.5.1 China light & power company (홍콩)

송전전압은 66kV→132kV→400kV 로 되어 있으며 유리 애자 및 자기애자만 사용하고 있었으나 132kV선로의 중오손 지역에서 애자금구부의 부식, 총기사격에 의한 고장 등 자기애자의 빈번한 고장문제를 해결하기 위하여 1989년 실리콘계열의 폴리머애자로 교체 설치하였으며 현재까지 애자로 인한 선로의 트립 고장이 없었으며 세정이 불필요한 우수한 결과를 나타냈으며 3년간 실 선로에서 사용한 시료를 수거하여 북경 소재의 연구소에서 시험한 결과 현저한 열화는 발견되지 않았고 가속열화 시험후에도 같은 특성을 보인 것으로 발표되었다.

향후 이 회사는 신설지역의 오손문제, 애자금구부의 부식, 총기사격 등의 문제로 132kV 및 66kV선로의 자기 및 유리 애자를 폴리머애자로 교체할 계획이다.

### 2.5.2 Florida power & light company (미국)

플로리다는 강한 허리케인 통과지역으로 염분에 의한 급속 오손으로 고장 발생이 많고 강한 자외선, 높은 낙뢰 지역으로 자기 및 폴리머애자를 주로 사용하고 있으며 이중 폴리머애자의 비중은 17% 정도이다.

69kV에서 500kV선로에 폴리머애자를 약 34,000개 설치했으며 사용기간은 5년에서 19년 정도이며 1995년을 기준으로 구매시에 25% 정도 설치시에 50% 정도 비용이 절감되는 것으로 발표하고 있다.

폴리머애자의 채택사유는 경량, 경제성, 취급용이, 내오손 특성이 우수한 점을 고려하였다.

EPDM, ALLOY, 실리콘 제품을 모두 사용했으며 EPDM을 일반지역 및 오손지역에 설치한 결과 오손지역의 경우

정전사고로 교체했으며, 해안에서 4마일 이내에 설치한 EPDM 애자도 정전고장으로 인해 교체예정이며 일반지역에 설치한 애자는 현재까지 문제점이 없었다.

ALLOY의 경우는 오손지역을 제외한 청정지구에 사용한 결과 양호하며 실리콘은 청정지역 및 오손지역에 공히 설치한바 오손지역에서도 우수하며 230kV 및 500kV 송전선로 현수개소에서 각각 1개씩 불량(Brittle Fracture) 이 발생했음.

### 2.5.3 Powerlink Queensland (호주)

110kV, 132kV, 275kV 송전선로에 1978년에 시험설치후 1985년 도시지역의 실선로에도 적용하였으며 선로 인근의 보오크사이트 분진과 염분에 의한 절연파괴로 인한 선로고장을 방지하기 위하여 폴리머애자를 사용하였다.

시험용의 경우 EPDM, 실선로 적용은 실리콘으로 했으며 초기 제품에서 Shed의 찢어짐, Rod의 손상이 있었으며 내오손 특성에서 실리콘이 EPDM보다 우수함을 알 수 있었다.

실리콘계열의 애자도 오손지역에 설치하였는데 5개사 제품중 3개사의 제품에서 불량이 발생하는 등 제작사에 따라 현격한 품질 차이가 나타났다.

북미와는 달리 호주에서는 폴리머애자의 가격이 동등의 세라믹애자에 비해 고가이나 유지보수의 장점 및 유지비용 감소 등의 측면에서 폴리머애자를 채택하였으며, 세라믹애자에 비하여 경량, 구조물의 단순화, 비용절감 등의 장점이 있는 반면에 불량애자 검출에 어려움이 있어 확대사용에 제약 요인이 되고 있다.

### 2.5.4 BC Hydro (캐나다)

폴리머애자의 수명이 불확실하여 132kV 이상의 신

설선로에는 사용하지 않고 유지보수와 긴급수리의 경우에만 사용하고 있으며 청정지역 및 오손지역 공히 실리콘을 사용하고 있으며 사용결과는 대체로 만족하는 수준임.

### 2.5.5 Hydro Quebec (캐나다)

765kV급 까지 유리아자 및 자기애자를 주로 사용하고 있으나, 1979년 이후 저품질 자기애자의 고장다발 및 Vandalism에 대한 해소대책으로 폴리머애자를 시험 사용하고 있으며 330kV~765kV급 까지 약 4,300개가 설치되어 있다.

### 2.5.6 GPU ENERGY(미국)

'79 ~ '91년간에 청정지역 230kV 송전선로에 EPDM 2,276개 설치 운전후 문제점 없었으며 1995년에 345kV 송전선로 청정지역에 실리콘 애자 57개를 설치 운전후 문제점 없음.

### 2.5.7 EDF (프랑스)

유리아자만 사용하고 있었으나 '81년 이후 220kV 송전선로 오손지역, '84년부터 400kV 송전선로 산악지역에 실리콘과 EPDM을 모두 사용하여 설치하였으며 사용수량은 전체 설치량의 5% 정도임.

## 2.6 한국전력의 사용현황

한국전력은 자기애자만을 사용하여 왔으나 1987년 이후 배전용 폴리머애자의 시사용을 시작으로 1999년에 154kV 송전선로에 실리콘 애자 2,000개를, 1997년에 유리아자 7,000개를 345kV 송전선로에 시험설치하여 운전중에 있다.

한국전력의 송전용 현수애자의 설치량 약 626만개중 국내애자는 43% 외국산 수입애자는 57% 정도 되고 있다.

표 4. 송전용 현수애자 설치현황 (단위:만개)

구분	국내애자			외국애자			합계
	고려애자	신한애자	총계	고려애자	기타	총계	
수량	245	26	271	334	21	355	626
구성비	39%	4%	43%	53%	4%	57%	100%

송전용 애자의 경우 '83년도 이전에는 전량 수입하여 사용하였으나 1983년부터 154KV 송전선로에 고려애자 및 신한애자에서 국산개발하여 한전에 공급하였고 1987년부터는 고려애자에서 단독으로 납품하였으며 신한애자는 '90년에 폐사하였다.

'99년에는 345kV 송전선로에 사용되는 46,000lbs(210KN) 현수애자를 고려애자에서 개발하여 시험사용을 위한 구매 단계에 있으며, 국내애자의 경우 외국의 고품질 자기 및 유리아자에 비하여 설치후 경년변화에 따라 성능저하 및 불량

발생이 심하여 아직도 품질이 미흡한 실정에 있으며 특히 경쟁 상대가 없다는 것이 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다.

자기애자에 비하여 비교적 국산개발이 용이한 것으로 판단되는 폴리머애자에 대하여 국내 대기업뿐만 아니라 3~4개 업체에서 한전 및 정부의 개발자금 지원아래 활발히 국산개발 및 품질향상을 위하여 연구하고 있는 것은 국내 애자공업의 발전뿐만 아니라 양질의 전기를 생산하여야 하는 한전의 입장에서도 무척 다행스러운 일이다.

## 3. 결 론

정보화, 지식사회로의 빠른 변화가 이루어지고 정밀기기의 사용이 일상화되고 있는 현재의 고도산업사회에서 전기 품질의 향상이야말로 국가경쟁력 향상을 위한 필수불가결한 기본요소이다.

이런 점에서 볼 때 고품질 현수애자 개발은 전력산업계, 학계에 종사하는 관계자 모두의 책임이며 시급히 해결해야 할 중요과제이다.

세계적으로 그 품질을 인정받고 있는 자기애자 제작사인 일본의 NGK사와 유리아자 제작사인 프랑스의 Sediver사가 미국 등에 폴리머애자 현지공장을 설립하여 수요자의 다양한 욕구에 맞추어 연구개발에 전력하고 있으며 이미 양산 체제를 갖추어 세계 각국의 전력회사에 수출하고 있다는 점을 간과해서는 안된다.

폴리머애자는 앞에서 살펴 본 바와 같이 장기적인 신뢰성의 입증 문제, 열화검출방법의 확립, 시험규정의 미비점 등 앞으로 개선해야 할 과제가 많지만 경량성, 내오손성, 경제성 등에 있어서 우수한 특성이 입증되고 있어 자기애자 및 유리아자 등 세라믹계열의 애자를 대신하여 차세대 절연체로 세계의 전력시장에서 선두자리를 차지하게 될 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- [1] Ravi S. Gorur, "Experience with different materials for weathersheds", Symposium on Non-Ceramic Insulator Technology, June 1996
- [2] E.A. Cherney, "Non-Ceramic Insulators - A Simple design that requires careful analysis" Symposium on Non-Ceramic Insulator Technology, June 1996
- [3] Jeffrey T. Burnham, "Application of polymer insulators to reduce cost and increase reliability" Symposium on Non-Ceramic Insulator Technology, June 1996
- [4] Joseph F.H. Lai, "Experience with non-ceramic insulators" Symposium on Non-Ceramic Insulator Technology, June 1996
- [5] Brian Pokarier, "Experience and application with NCI at Powerlink Queensland" Symposium on Non-



Ceramic Insulator Technology, June 1996

[6] Terry McQuarrie, "Corrosion resistant properties of polymer insulator core rods" Symposium on Non-Ceramic Insulator Technology, June 1996

[7] Richard Martin, "Composite insulators for electric utilities" Symposium on Non-Ceramic Insulator Technology, June 1996

## 저 자 소 개



**김신철 (金宸哲)**

1948년 2월 21일생. 1974년 2월 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 연세대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 송변전처 송변전건설팀장.



**김태영 (金大榮)**

1956년 8월 11일생. 1980년 2월 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 현재 한국전력공사 송변전처 송변전건설팀 과장.