

초고압 전력케이블 시스템의 Out Door Sealing End용 Support Insulator의 재질에 따른 전기적 기계적 특성에 관한 연구

류정현*, 김우진**, 김영범**, 한봉수**
일진전기 전선기술연구소*

Study of Electrical and Mechanical Characteristic of Support Insulator for Out Door Sealing End Using Extra High Voltage Power Cable System

Jeong-Hyun Ryu*, Woo-Jin Kim**, Young-Bum Kim**, Bong-Soo Han**
ILJIN ELECTRIC Co., Ltd.*, ILJIN ELECTRIC Co., Ltd.,**

Abstract - 초고압 전력케이블용 기중 종단접속재에 사용되는 지지애자의 전기적 고절연 성능과 기계적 Compact화된 제품개발을 목적으로 Simulation Tool을 활용하여 전계해석을 수행하였고, 해석된 결과를 기초로 지지애자를 설계, 개발 하였다. 개발된 지지애자의 Sample을 채취하고 전기적, 기계적 시험을 통하여 신뢰성을 검증 하였다. 전계해석에 있어서는 Epoxy와 Porcelain 재료, Old type과 New type으로 구분하여 재료별, 구조별로 해석을 진행 하였다. 지지애자의 설계기준과 전기적, 기계적 시험 결과를 비교하여 개발된 제품의 특성에 있어서 얼마만큼의 안전율을 확보 할 수 있는지 알 수 있었고, Porcelain 지지애자와 비교하여 약 40%의 크기를 축소할 수 있는 전기적, 기계적 신뢰성이 확보된 지지애자를 개발 할 수 있었다.

해석 결과 값과 비교하였다. <그림 1>은 154kV 및 345kV의 AC내전압 기준치 26kV를 인가하였을 경우 전계분포 형상이며 <그림 2>는 Impulse 내전압 75kV를 인가하였을 경우 Shed 계면방향에서의 전계를 벡터로 표시하였고, 그 결과는 <표 2>와 같다.

1. 서 론

현재 전력산업 기술의 초고압 대용량화, Compact화, 친환경화 경향과 마찬가지로 전력케이블 시스템에 있어서도, 500kV급까지 지중송전 대도체가 적용되고 있으며, 기기의 경량화 및 구조의 단순화가 이루어지고 있고, 친환경 제품화를 추구하는 기술 Trend를 보이고 있다. 전력케이블 시스템은 크게 전력케이블과 접속재로 구분할 수 있으며, 접속재는 다시 지중케이블과 가공선을 연결하는 기중 종단접속재(Out Door Sealing End), 지중케이블과 GIS를 연결하는 가스중 종단접속재(GIS Sealing End), 지중케이블과 지중케이블을 연결하는 직선접속재(Straight Joint)로 구분할 수 있다. 이러한 접속재의 역할은 초고압 전압이 인가되는 상황에서 기계적으로 케이블과 기기의 연결을 목적으로 하며, 전기적으로는 연결구간의 전기 절연유지 및 접속재에 집중될 수 있는 전계의 완화를 목적으로 한다. 본 논문에서는 기중 종단접속재(Out Door Sealing End)의 구성부품 중 지지애자(Support Insulator)의 재질에 따른 전기적, 기계적 특성을 분석 및 검증하고, 이를 바탕으로 초고압 대용량화, Compact화된 지지애자(Support Insulator) 및 기중종단접속재(Out Door Sealing End)의 개발을 목표로 한다.

2. 본 론

2.1 지지애자(Support Insulator) 설계

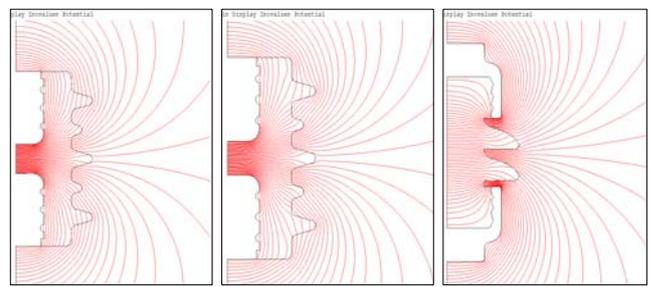
지지애자는 기계적으로 접속재를 지지하고, 전기적으로는 전력케이블의 금속 쉬스와 대지의 충전물간을 절연하는 것을 목적으로 하는 것으로써, 현재 기중 종단접속재(Out Door Sealing End)는 절연재료로써 대부분 Porcelain 재질의 지지애자를 사용 중에 있다. 본 논문에서는 예폭시를 절연재료로 사용 하였으며, 현재 사용 중인 Porcelain 재질의 지지애자에 대한 전기적, 기계적 특성과 비교하여 향상된 전기적 특성과 최소화된 제품의 크기를 설계 하였다. 이를 위하여 재질별, 구조별 전계해석을 수행 하였다. Porcelain과 Epoxy의 기본적인 재료 특성은 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> Material Properties of Porcelain and Epoxy

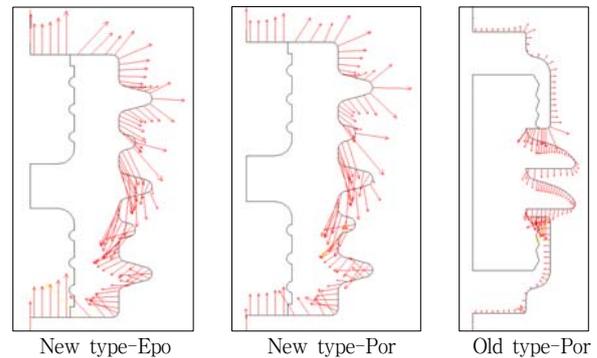
Item	Porcelain	Epoxy
Bending Strength	3~6 kgf/mm ²	10~12 kgf/mm ²
Tensile Strength	3~5 kgf/mm ²	7~8.5 kgf/mm ²
Breakdown Voltage	25~28 kV/mm	30~35 kV/mm
Dielectric Constant	7	2.7

2.1.1 전기적 절연 설계 및 전계해석

전기적 절연과 전계집중 현상을 방지하기 위하여 Simulation Tool을 이용한 해석을 실시하였다. 먼저 신규 개발한 지지애자의 동일 구조에서 Porcelain(New type-Por)과 Epoxy(New type-Epo) 재료로 구분하여 전계해석을 수행하였고, 기존의 Porcelain(Old type-Por) 지지애자의 전계



<그림 1> AC 전압내전압 전계분포 형상



<그림 2> Impulse 내전압 벡터 형상

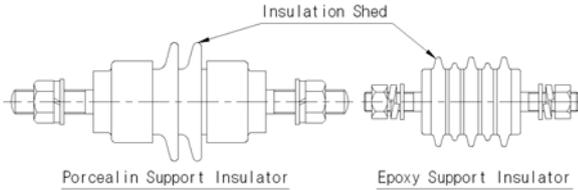
<표 2> 전계해석 결과 (최대치)

Item	New-type Epo	New-type Por	Old-type Por
AC	1.72 kV/mm	1.71 kV/mm	0.6 1kV/mm
Impulse	1.38 kV/mm	1.82 kV/mm	5.10 kV/mm

<그림 1>에서 AC내전압 전계해석 결과, 최대 인가되는 전압이 New type-Epo는 1.72kV/mm, New type-Por은 1.71kV/mm로 거의 동일한 내전압 특성이며, Old type-Por은 0.61kV/mm로 절연내력에 있어서는 New type보다 더 좋은 특성을 알 수 있었으나, 이것은 재료에 있어서의 차이가 아니라, 내부 전극 및 절연체의 구조적 차이에 의하여 절연 성능이 변할 수 있음을 확인 하였다. <그림 2>의 Shed 계면에 있어서의 Impulse 해석 결과, New type-Epo는 1.38kV/mm, New type-Por은 1.82kV/mm, Old type-Por는 5.10kV/mm의 최대값을 나타내어, New type의 같은 구조에 있어서는 Epoxy가 Porcelain 보다 Impulse 특성이 약 130% 가량 좋아져 근소한 차이를 보이고 있으나, Old type 보다는 350%로 훨씬 더 향상된 성능임을 알 수 있었다. 지지애자의 가장 중요한 전기적 설계요소가 Impulse 내전압 특성을 감안할 때, Epoxy가 Porcelain 보다 좀 더 적합한 재료임을 알 수 있으나, 이것 보다는 크기는 작아도 절연누설거리를 증가시킨 Shed 형상의 New type 지지애자가 Old type 보다는 더 좋은 Impulse 내전압 특성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

2.1.2 기계적 구조 설계

다음의 <그림 3>은 Porcelain 재질의 기존 지지애자와 Epoxy 재질의 New type 지지애자 구조로써, 전계해석 결과를 바탕으로 더 Compact 한 지지애자를 설계 하였다.



<그림 3> Porcelain vs Epoxy 재질의 지지애자 구조

지지애자의 절연을 형성하고 있는 Insulation Shed 구간의 길이를 비교하면 Porcelain 지지애자의 길이를 기준으로 Epoxy 지지애자의 길이를 약 40% 축소할 수 있었다.

2.2 전기적, 기계적 검증시험 결과

개발된 Epoxy 지지애자와 기존의 Porcelain 지지애자의 Sample을 활용, 전기적, 기계적 시험을 수행하여 Simulation 결과를 검증하였고, <표 3>의 지지애자 설계기준표상의 특성과도 비교하였다.

<표 3> 지지애자의 설계기준 특성

Item	110~154 kV	220~275 kV	500 kV
AC Voltage	26kV	26kV	26kV
Impulse Voltage	75kV	75kV	75kV
Tensile Strength	9,000kg	9,000kg	66,000kg
Bending Strength	1,500kg	1,500kg	10,000kg

2.2.1 전기적 검증시험 결과

아래의 <그림 4>는 개발된 Epoxy 지지애자에 대한 AC 내전압 시험과 Impulse 시험을 수행한 사진이다.



<그림 4> 전기적 시험 사진

AC 내전압은 50kV부터 5kV/min 단위로 증가하여 B/D 또는 F/O가 발생 할 때까지 인가하였고, Impulse 시험은 ±60kV 10회를 인가하고 10kV 3회씩 증가하여 B/D 또는 F/O가 발생할 때 까지 시험을 수행하였다. 그 결과 AC 내전압은 95kV의 절연성능을 확보하고 100kV 전압 인가시 F/O가 발생하였고, Impulse 시험은 190kV 전압 인가시 F/O가 발생하였다. 두 시험 모두 지지애자 일단전극에서 타단전극으로 Shed 표면을 통하여 F/O가 일어났으며, F/O에 있어서는 절연누설거리의 중요성을 재확인 할 수 있었다. 설계기준과 비교하여 AC내전압은 350%, Impulse 내전압은 240%의 안전율을 확보하였다.

2.2.2 기계적 검증시험 결과

지지애자의 기계적 시험은 개발한 Epoxy 재료와 기존의 Porcelain 재료의 Sample로 Test 하였으며 파괴강도 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> 지지애자의 기계적 파괴강도 결과

Item	New-type Epo	Old-type Por
Tensile Strength	10,870 kg	1,750 kg
Bending Strength	3,710 kg	660 kg

기계적 강도시험에 사용한 Porcelain 지지애자는 수입 제품으로써 Tensile Strength와 Bending Strength 모두 설계기준에 미달 하였으나,

Epoxy 지지애자는 Tensile Strength 120%, Bending Strength 250%의 기계적 안전율을 확보하였다.



<그림 5> 기계적 시험 사진 (Epoxy)



<그림 6> 기계적 시험 사진 (Porcelain)

위의 <그림 5>와 <그림 6>은 기계적 시험을 수행한 사진이다. Epoxy와 Porcelain 모두 파단 위치가 매입된 쉴드와 Epoxy와의 계면에서 나타나고 있다. 이것은 매입된 금속과 Epoxy간의 열팽창 계수 차이에 의한 계면접착 부분이 기계적으로 취약할 수 있기 때문이며 본 실험에 의하여 확인 할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 전력케이블 시스템의 초고압 대응량화, Compact화, 친환경화의 기술 Trend에 맞추어 전기적 성능이 향상되고, 기계적으로 Compact한 구조를 갖는 기중 종단접속재에 사용되는 지지애자를 설계하였다. 전계해석 Simulation Tool의 해석결과에 의하여 AC내전압 특성은 Epoxy와 Porcelain의 재료적 특성 차이보다는 내부 전극의 구조 및 절연형상 등의 차이가 절연내력에 더 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었고, Impulse 내전압 특성에서는 재료에 있어서 Epoxy가 Porcelain 보다 약간의 성능이 향상됨을 알 수 있었으나 그것 보다는 Shed 형상 및 절연누설거리의 구조적 차이가 Impulse 내전압 특성에 더 많은 영향을 준다는 것을 확인하였다. 또한 전기적, 기계적 검증시험을 수행하였으며, 지지애자의 설계기준을 기초로 검증결과와 비교하여 개발된 제품의 특성에 있어서 얼마만큼의 안전율이 확보되었는지 알 수 있었다. 전기적 검증의 Impulse 내전압 시험결과에 의하면 약 240%의 안전율을 확보하였고, 기계적 검증의 Tensile Strength 시험결과에 의하면 약 120% 안전율을 확보하였다. 이상의 전기적, 기계적 해석 및 시험결과를 바탕으로 지지애자를 Compact화한 결과 Insulation Shed 구간의 길이를 약 40% 가량 축소할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 심순보의 12명, “지중송전 케이블시스템”, 한국전력공사 송변전건설처, p147~p215, 2002
- [2] IEC60840, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 300kV(Um=36kV) up to 150kV(Um=170kV) Test methods and requirements, 2004
- [3] IEC62067, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150kV(Um=170kV) up to 500kV(Um=550kV) Test methods and requirements, 2006