

170kV급 단로기용 Composite Insulator 제조기술에 관한 연구

진상용*, 이동원, 송원표, 송희석, 조한구**
 (주)효성 중공업연구소, **한국전기연구원

A Study on the manufacturing Composite Insulator for 170kV D/S

S.Y. Jin*, K.S. Bae, W.P. Song, H.S. Song, D.W. Lee, H.G. Cho
 Hyosung Corporation*, KERI

Abstract - The objective of this study is to develop the composite insulator for 170kA disconnecting switch.

In this paper, we have investigated the test procedure about each component(FRP tube, flange, shed) through technical standard(IEC 61462) and obtained demand characteristics by mechanical & electrical property test.

1. 서 론

단로기(Disconnecting Switch)는 송전선로의 무부하시 개폐뿐만 아니라 회로의 구분과 접속 변경 또는 선로상의 기기 및 송전선 보수 점검을 위하여 선로를 전원으로 부터 확실하게 분리시킬 목적으로 사용되는 전력기기로서, 변전소의 옥외설치용에 적용한다. 현재 154kV 송전선로에 사용되는 단로기(D/S)에는 자기재 지지애자가 사용되고 있으나 이 애자는 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 또한 이 자기로 된 지지애자는 기계적으로 취약한 특성 때문에 충격에 의한 크랙으로 파괴에까지 이르기가 쉬울 뿐만 아니라, 옥외 환경에서 표면이 오염되고 습윤조건이 형성되면 내오손 특성이 좋지 않아 표면방진과 섬락을 일으킬 수 있으므로 주기적인 세정을 필요로 하는 단점이 있다.

따라서 composite insulator의 제조기술 개발을 통해 자기재(porcelain)애자를 복합재료(composite)로 대체하고 있는 세계적인 추세에 맞추어, 제품의 국산화에 따른 수입대체 효과와 전력기기의 소형화 및 경량화를 목적으로 연구를 시작하게 되었다.

이 연구를 진행하면서 170kV급 단로기용 composite insulator에 대한 관련 규격(IEC 61462)을 검토하여 구성부품에 대한 시험항목을 알아보고, 몇 가지 시험을 실시하여 요구되는 성능을 확인할 수 있었다. 또한, 시험용 샘플제작을 통해 FRP tube와 플랜지 간의 열박을 접착방법 기술과 shed 성형기술 개발의 초기 단계를 진행 중이다. 본 논문에서는 구성부품의 기계적/전기적 특성시험 결과와 함께 연구의 진행과정에서 알 수 있었던 여러 가지 성형조건에 따른 시험결과에 대해서 언급하고자 한다.

2. 본 론

2.1 개발 insulator의 요구사항 및 적용규격

그림 1은 170kV SV(vertical break : 수직개폐형) Type D/S로서 2개의 지지애자와 1개의 회전애자 그리고 구조조각기구, 조작함 등 기타 구동에 필요한 장치들로 구성되어 있다.

여기에 사용되는 insulator의 높이는 1700mm인데, 기존에는 2개의 insulator를 상하로 중간 flange 부분을 연결하여 사용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 이 제품 대신에 가운데 분할이 없는 일체형의 성형제품을 개발하고자 한다.

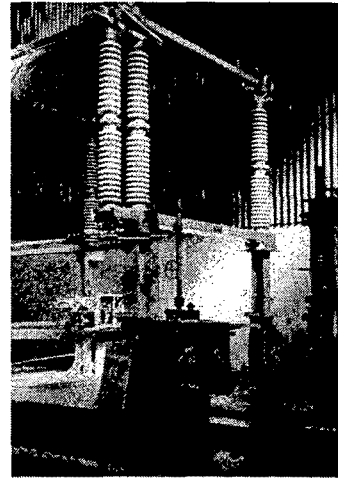


그림 1. 170kV D/S(SV Type)

2.1.1 기존 insulator의 기본사항
 기존에 사용되고 있는 insulator의 기본사항은 다음의 표와 같다.

표 1. 지지애자 및 회전애자의 사양

| No. | 항 목 | 사 양 | |
|-----|--------------------|-------------------|------|
| 1 | 정격전압 및 정격전류 | 170kV, 2000A 50kA | |
| 2 | Cantilever Upright | 6.500N | |
| 3 | Tension Strength | 80,000N | |
| 4 | Torsion Strength | 5,000N · m | |
| 5 | 상용주파전조내전압 | 410kV | |
| 6 | 상용주파주수내전압 | 325kV | |
| 7 | 충격파 내전압(BIL) | 750kV | |
| 8 | 직선길이 | 1.700mm | |
| 9 | 최소 연변거리 | 4.410mm | |
| 10 | FLANGE 재질 | Gray iron | |
| 11 | 무게 | 지지애자 | 98kg |
| 12 | | 회전애자 | 85kg |

2.1.2 규격검토

단로기용 지지애자에 대한 규격은 따로 규정되어 있지 않으며 일반적으로 사용되고 있는 지지애자의 규격과 각 제조사에서 만든 제품에 대한 사양만 알 수 있는 실정이다. 그래서 여러 가지 관련규격을 검토하였으며 그 중에서 IEC 61462에는 각 계면과 연결부위에 대한 특성, 하우징 재료에 대한 내트래킹 및 난연성, FRP tube의 수분확산시험, cantilever bending test 및

thermal mechanical pre-stress test, 건조섬락특성 등이 있다. [2]

이와 함께 ANSI C29.9에 나와 있는 같은 레벨의 post-type insulator의 주요사양을 표 2에 나타내었다. [3]

표 2. Dimension and Characteristics of Post-Type Apparatus Insulators above 350kV BIL

| Technical Reference Number | | 295 |
|-------------------------------------|----------------------------|----------------|
| Height of Insulator | | 1574.8(±2.4)mm |
| Max Cap Dia(Top/Base) | | 304.8mm |
| Bolt Circle(Top/Base) | | 127mm |
| Leakage Distance | | 3352.8mm |
| RIV Data | Low Frequency Test Voltage | 103kV |
| | Max RIV @1000kHz | 500kV |
| BIL Rating | | 750kV |
| Impulse Withstand | | 750kV |
| Critical Impulse Flashover Positive | | 810kV |
| Low Frequency Wet Withstand | | 315kV |
| Tension Strength | | 112.000N |
| Torsion Strength | | 10.170N · m |
| Cantilever Upright Strength | | 8.228.8N |
| Compression Strength | | 333.600N |

2.2 구성부품에 대한 상세설계

Composite insulator는 내부에 지지역할을 하는 FRP tube와 상/하부 연결 금구인 flange 그리고 절연물인 shed로 구성되어있다.

2.2.1 FRP Tube

개발하고자 하는 FRP는 길이가 길고 외경이 큰 Tube 형상을 가지고 있기 때문에 제작공정이 까다롭고 용이하지 않으므로 먼저 와인딩 전용 프로그램을 이용한 제작가능성 여부를 확인하였다. 검토한 결과에 따라 기계적강도를 충분히 만족시킬 수 있도록 내경 80mm, 외경 100mm, 길이 1700mm의 사양으로 제작하였다.

2.2.2 Flange

기존에 적용되고 있는 설비와의 호환성을 위해 자기제 지지에자에 사용되는 flange와 동일한 외경을 가지도록 기본설계를 하였다. 이와 더불어 flange의 형상은 전기적 스트레스 및 기계적 응력을 고르게 분산할 수 있는 구조를 가지도록 하였으며 무게 또한 줄일 수 있도록 슬림한 디자인을 구현하였다.

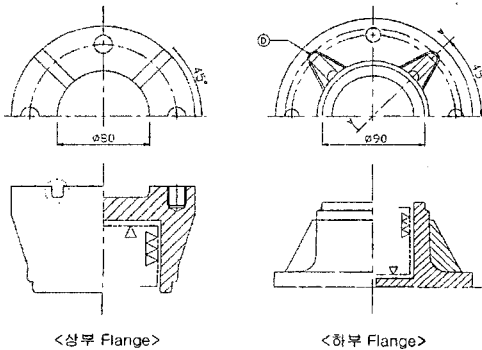


그림 2. 상/하부 Flange

2.2.3 Shed

구성부품 중에서는 가장 중요한 역할을 하는 insulator의 shed를 예전에는 규칙적으로 설계하는 것이 일반적이었지만, 규칙가에 비해 동일길이에서 누설거리를 증가시킬수 있으며 강우시 전교현상 억제, 배수성 향상 등의 장점과 함께 하우징 사용량을 줄일 수 있는 경제적인 유리함 때문에 최근에는 교대갓으로 설계를 많이 하고 있다. [1]

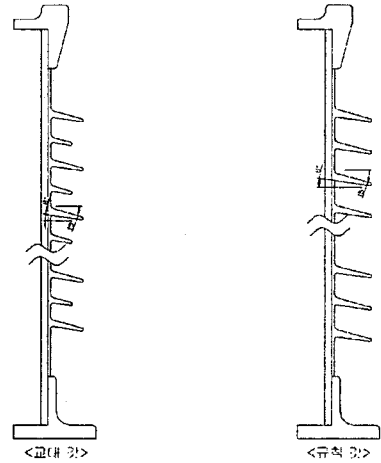


그림 3. 교대갓과 규칙갓 적용 예자모델의 비교

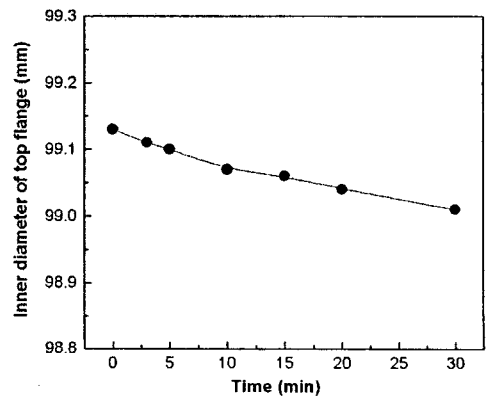
2.3 제조기술에 대한 시험

각 구성부품 조립방법의 최적조건을 찾고, 제작기술의 습득을 위해 전체길이 800mm의 1차 피시품을 제작하기로 하였다.

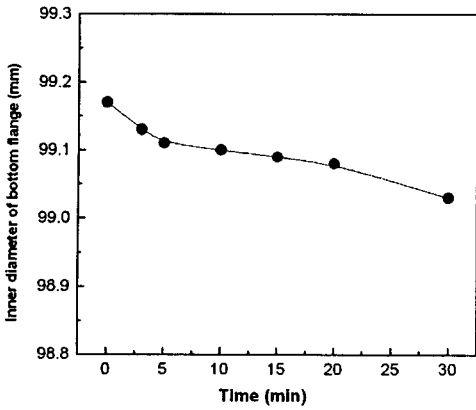
2.3.1 FRP Tube와 Flange의 접착

일반적으로 초고압에 사용되는 composite insulator의 경우에 금구와 FRP 봉과의 결합은 기계적인 압착에 의해서 이루어진다. 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 제품은 FRP가 tube의 형상을 하고 있기 때문에, 기계적인 압착이 곤란함에 따라 열수축법(heat shrinking method)을 이용하였다.

그림 4는 상/하부 flange의 온도변화에 따른 내경 변화를 나타낸 것이다. Flange 온도를 150℃까지 상승시킨 후, 실제 flange와 FRP tube를 결합하는 상온의 작업시점을 결정할 수 있는 자료이다. 이렇게 결정된 작업조건에서 실링과 접착의 목적으로 FRP에 접착제를 도포하고 flange와의 접착을 실시하였다.



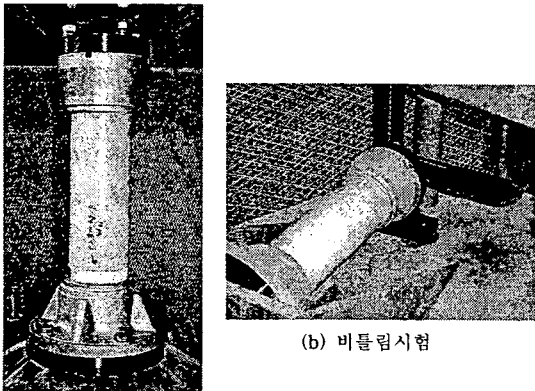
(a) 상부 Flange



(b) 하부 Flange

그림 4. 상/하부 Flange의 온도변화에 따른 내경변화

접착성능의 확인을 위한 기계적인 시험결과 인장강도는 기준치의 약 156% 결과(124,500N)를 얻었으며, 비틀림강도는 7,700N·m에서 시험용 JIG가 손상되어 절대값을 얻지 못했지만 기준치를 충분히 넘는 결과(154%)를 얻을 수 있었다.



(a) 인장시험

(b) 비틀림시험

그림 5. 기계적 특성시험 장면

2.3 Shed 사출성형시험

Shed의 최적성형조건을 찾기 위해서 그림 6과 같은 APG(Automatic Pressure Gelation)설비에 shed 성형용 금형을 장착하여 하부의 주입구로 LSR 고무를 약 1분 30초동안 주입하였다(전체 약 2l-3kg).



그림 6. APG 설비에 장착된 Shed 성형용 금형

표 3에는 수지주입시간, 온도, 금형내부압력 등을 변화시켜가면서 실시한 시험에 대한 결과를 간단히 요약하

였다.

표 3. APG 설비에 장착된 Shed 성형용 금형

| No. | 시험조건 | | | | 성형시험결과 → 보완사항 |
|-----|--------|--------------|---------|-------------|--|
| | 주입 압력 | Pumping 최대압력 | 수지 주입시간 | 수지주입 후 경과시간 | |
| 1st | 30 bar | 100 bar | 1분 30초 | 40분 | 성형상태불량 (금형내부 이물질로 인한흠집 발생) → 흠 제거적 |
| 2nd | 30 bar | 100 bar | 1분 30초 | 40분 | 성형상태양호(미세한Leakage 발생) → Leakage 찾기 위해 금형에 인주도포 |
| 3rd | 30 bar | 100 bar | 1분 30초 | 40분 | 성형상태양호 (상/하부 플랜지부분에서 Leakage가 발생됨) |
| 4th | 20 bar | 70 bar | 1분 30초 | 40분 | 성형상태 양호 (Shed 표면 기포발생 계속) → 주입압력과는 관계없음 |

총 4차례에 걸쳐서 실시된 시험결과를 살펴보면, shed의 성형상태는 대체적으로 양호하였으나 LSR의 주입압력과 관계없이 shed 날개 끝단부에서 기포가 관찰되었다. 그리고 상/하부 flange 접합부분에서 미세한 leakage 발생이 있었다. 따라서 현재 이 부분의 문제점을 해결하기 위해 제조공정을 재검토하고 있다.

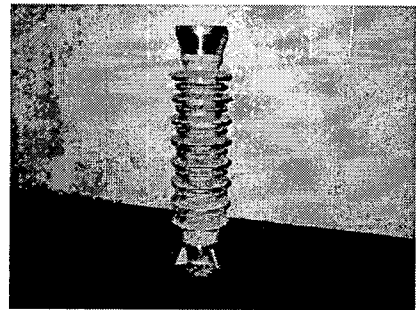


그림 7. 완성된 1차 피시폼

3. 결 론

시험을 반복함에 따라 점차적으로 양호한 상태의 성형 제품을 만들 수 있었는데, 이는 보다 많은 시험을 통해서 성형 data 축적의 필요성을 느낄 수 있었다.

지금까지 진행된 내용을 통해 열팽창을 고려한 최적의 flange 외경치수 선정을 할 수 있었고, shed 성형작업에 최적인 사출금형의 온도와의 변화에 따른 조건을 알 수 있었다. 앞으로 최종목표인 1700mm 길이의 완제품 다단성형을 위한 기초자료로서 활용할 계획이다. 아울러 검토한 규격과 시험내용을 바탕으로 성능평가의 기준을 삼을 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] "내열/좌립형 발·변전소용 154kV급 단로기 설계 및 제조 기술 개발" 1차년도 중간보고서
- [2] Technical Report IEC 61462 "Composite insulators - Hollow insulators for use in outdoor and indoor electrical equipment - Definitions, test methods, acceptance criteria and design recommendation", First edition, 1998, 11
- [3] ANSI C29.9 "for wet-process porcelain insulators - apparatus, post-type", 1983