

170 kV GIS용 Composite Hollow Insulator 특성 평가

장윤기, 정용수, 이동원
(주) 효성 중공업연구소

Characteristics of Composite Hollow Insulator for 170 kV GIS

Yoon-Ki Jang, Young-Soo Jung and Dong-Woen Lee
Power & Industrial Systems R&DCenter, HYOSUNG Corporation

Abstract - Composite hollow insulator consist of an insulating tube bearing the mechanical load protected by an elastomer housing the loads being transmitted to the tube by metal fittings. The core processes are comprised briefly and the electrical and mechanical performance were examined according to the IEC standards. In this study, we have manufactured the composite hollow insulator, and carry out the insulator and busing type test according to the IEC standards. Comprehensive approach followed by the test results would give feasible hollow composite insulator compliable to the IEC standards.

세 번째 단계는 접합된 FRP Tube에 Primer를 도포하는 과정이다. 먼저 FRP Tube를 깨끗이 세정한 다음 Primer coating machine의 스프레이를 이용하여 FRP Tube 표면에 균일하게 Primer를 도포하여 준다. FRP Tube에 도포된 Primer는 주형작업 시 화학적 결합으로 FRP Tube와 실리콘 접착력을 향상시킨다.

네 번째 단계는 주형설비에서 금형을 통해 실리콘을 성형하는 작업이다. 이액형 실리콘 고무를 사용하여 실리콘 주입작업 및 실리콘 경화 반응이 완료되면, 금형 내에서 완제품을 탈형하고, Burr 제거 등의 후가공을 실시하여야 한다.

1. 서 론

전력수요가 급속히 증가함에 따라 절연성능이 우수한 초고압 절연재료의 제품 개발이 요구되어지고 있다. 변전소 전력기기 중 하나인 가스 절연개폐장치(Gas Insulated Switchgear, GIS)에 사용되는 Hollow Insulator는 그 동안 Porcelain Insulator를 많이 사용하였으나, 절연 및 기계적인 성능, 화학적인 안전성, 경량 소형화 등의 장점으로 Composite Insulator 사용이 증가하는 추세이다[1]. 초고압 중전기 절연재료의 특성상 제품의 안전성 및 신뢰성 보장이 필요하므로, 본 논문에서는 차단기용 170 kV Composite Hollow Insulator를 제작하여 IEC 61462의 Composite Insulator Type Test 및 IEC 60137의 Bushing Type Test를 실시하였다.

2. 본 론

2.1 Composite Hollow Insulator 구조

고분자 복합재료로 이루어진 Composite Hollow Insulator의 일반적인 구성은 3가지 부품으로 이루어진다. 길이 및 기계적 강도를 결정하는 FRP tube와 공기 중에서 절연 및 creepage distance를 결정하는 silicone housing rubber, 그리고 FRP tube와 결합하여 내부 기밀을 유지하는 상, 하부 금속 Flange로 구성되어 있다.

2.2 Composite Hollow Insulator 설계/제작

2.2.1 Composite Hollow Insulator 설계

기계적 강도를 결정하는 FRP Tube의 경우 굽힘 강도를 고려하여 설계/제작 되어야 하고, 재료의 섬유 체적율 및 유리전이온도 특성도 고려되어야 한다. FRP Tube의 winding 각도와 적층 수에 따라 특성이 상이하므로, 내압 및 굽힘 강도의 특성에 맞는 최적의 적층패턴으로 제작되어야 한다.

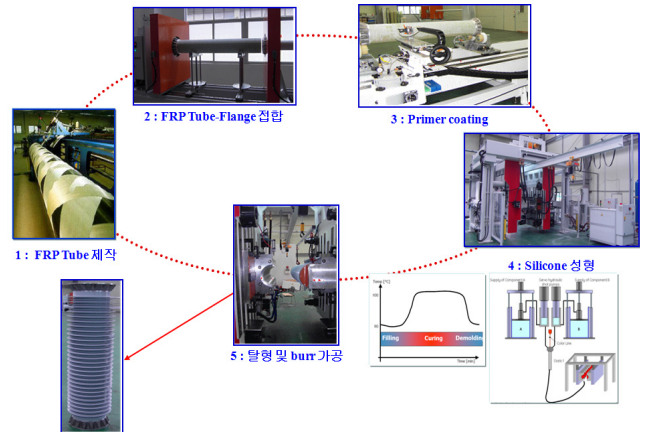
상, 하부 금속 Flange의 형상은 전기적 스트레스 및 기계적 응력을 고르게 분산할 수 있는 구조를 갖도록 하여야 하며, 충분한 기계적 강도를 가질 수 있도록 설계되어야 한다.

Insulator의 creepage distance를 결정하는 실리콘 하우스의 설계는 shed 형상에 따라 alternating type과 standard type으로 구분할 수 있다. 하우스의 설계는 IEC/TS 60815-3의 규정에 준하여 설계 되어져야 한다.

2.2.2 Composite Hollow Insulator 제작

Composite Hollow Insulator의 제작은 4단계로 구분 할 수가 있다. 첫 번째 단계는 Composite Hollow Insulator 핵심기술인 FRP Tube 제작이다. 예폭시 수지와 유리섬유를 회전하는 Mandrel 위에 감아서 제작하는 Filament Winding 제조법으로 제품을 제작 할 수 있다.

두 번째 단계는 FRP Tube와 금속 상, 하부 Flange를 접합하는 과정이다. 오븐에서 상, 하부 금속 Flange를 150℃ 에서 20분 이상 가열 한 후, Fitting Machine을 이용하여 Flange를 고정시키고, FRP Tube에 접착제를 도포하고 공압을 이용하여 접합시킨다.



<그림 1> Composite Hollow Insulator의 제작공정

2.3 특성평가

제작된 170 kV 피시품을 이용하여 IEC 61462의 Composite Hollow Insulator Type Test와 IEC 60137의 Bushing 관련 Type Test를 진행하였다. 표 1은 시험에 사용된 Composite Hollow Insulator 사양을 나타냈었다.

<표 1> 170 kV Composite Hollow Insulator 사양

Length	1,613 mm
Creepage Distance	5,197 mm 이상
Arcing Distance	1,461 mm
FRP Tube 내/외경	248/257 mm
M.M.L(Maximum Mechanical Load)	5,000 N
M.S.P(Maximum Service Load)	0.7 MPa

2.3.1 Insulator Type test

IEC 61462는 1,000 V 이상, 100 Hz 이하 주파수를 가지는 옥외/옥내용 Composite Hollow Insulator에 적용 되어진다. 규격 상 Type Test는 기계적 특성을 입증하기 위해 실시되는 시험으로 내부압력시험과 굽힘 내하중시험 2가지 항목으로 이루어진다.

모든 시험은 개별적인 피시품을 사용하여 진행되어야 하고, 표2 에서 시험항목에 대한 시험방법을 나타내었다. 그림 2는 내부압력시험 및 굽힘 내하중시험 모습을 보여준다. 피시품에 대한 기계적 시험결과 IEC 규격에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

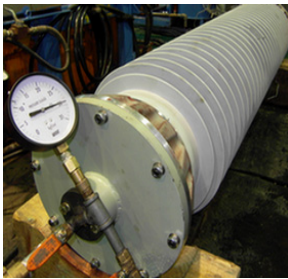
2.3.2 Composite Bushing Type Test

IEC 60137은 1,000 V 이상의 절연 Bushing에 대해 적용되어진다. 기 제작된 Insulator의 절연시험을 위해 도체 및 코로나 링 등을 포함하여

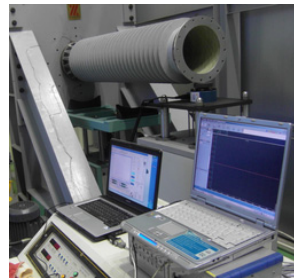
시험을 실시하였다. 모든 시험은 한 개의 피시험품으로 연속적으로 실시되어야 하고, 시험순서는 임의로 결정할 수 있다. 하지만, 상용주파 내전압 시험 전에 뇌충격 내전압시험이 먼저 실시되어야 한다. 정격열전단시간 내전류의 검증은 온도상승시험 종료 후 결과 값을 이용하여 계산식으로 검증되어 질 수 있다. 표 3은 Composite Bushing Type Test 시험항목 및 시험방법을 나타내었고, 그림 3은 시험장면을 보여준다. Composite Bushing 시험결과 IEC 규격을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

〈표 2〉 Composite Hollow Insulator Type Test

시험항목	시험방법	결과
내부 압력 시험	1) 가스 또는 액체를 압력 매개체로 사용. 2) 2.0×MSP: 시험압력을 5분 유지. 압력 방출 후 잔류 변형률을 3~5분 사이에서 측정 3) 4.0×MSP: 시험압력을 5분 유지 4) SIP: 4.0×MSP 이상	Pass
굽힘 내하중 시험	1) MML: 시험하중까지 30초 이내에 서서히 증가 후 30초 유지. 처짐량 측정 및 하중 제거 후 3~5분 사이에 잔류응력 기록 2) 1.5xMML: 시험하중까지 30초 이내에 서서히 증가 후 60초 유지. 처짐량 측정 및 하중제거 후 3~5분 사이에 잔류응력 기록 3) 2.5xMML: 시험하중까지 90초내 증가하여 60초 유지한 후 외관상 손상 확인 4) 파단하중 값 측정	Pass



(a) 내부압력시험



(b) 굽힘 내하중시험

〈그림 2〉 Composite Hollow Insulator Type Test

〈표 3〉 Composite Bushing Type Test

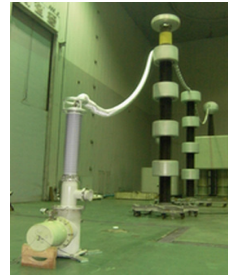
시험항목	시험방법	결과
1. 치수검사	도면에 따라 중요부위의 치수 확인	Pass
2. 부분방전시험	170/√3×1.05=103 kV 1분	Pass
3. 뇌충격 건조내전압 시험	±750 kV 각 15회	Pass
4. 상용주파 건조내전압시험	AC 325 kV / 1분	Pass
5. 상용주파 주수내전압시험	AC 325 kV/ 1분	Pass
6. 전파장해 전압시험	170/√3×1.1=108 kV / 2,500 μV 이하	Pass
7. 온도상승시험	정격전류 인가 후 부위별 온도측정	Pass
8. 정격열전단시간 내전류의 검증	계산식으로 검증	Pass



(a) 뇌충격 건조내전압 시험



(b) 상용주파 주수내전압시험



(c) 전파장해 전압시험



(d) 온도상승시험

〈그림 3〉 Composite Bushing Type Test

2.3.3 기타 Test

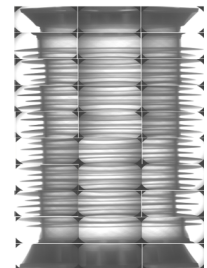
규격에 명시된 Type Test 이외에도 일부 Sample Test 및 Routine Test를 진행하였다. 시험항목은 고정장치와 하우징간 계면확인 시험, X선 투과시험, 기밀시험, '0' 기압 상용주파 내전압시험을 실시하여 규격에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한, Composite Hollow Insulator의 신뢰성을 보증하기 위해 옥외에서 장기 과전압시험을 진행 중이다.

〈표 4〉 Type Test 이외의 시험

시험항목	시험방법	결과
1. 고정장치와 하우징간 계면확인시험	금속 Flange와 하우징에서 색조 침투방법으로 크랙시험을 실시	Pass
2. X선 투과시험	X선 촬영기로 내부 촬영하여 크랙/기포/이물질이 없어야 함	Pass
3. 0기압 상용주파 내전압시험	AC 98 kV / 1분	Pass
4. 기밀시험	SF ₆ 가스 0.7 MPa를 채우고, 가스 누기량 측정	Pass
5. 장기과전압시험	AC 147.2kV / 3,045 시간	진행중



(a) 고정장치와 하우징간 계면확인시험



(b) X선 투과시험

〈그림 4〉 계면확인시험 및 X선 투과시험

3. 결 론

본 논문에서는 차단기에 사용되는 핵심 부품 중 하나인 Composite Hollow Insulator를 설계 및 제작하여 개발검증 시험을 실시하였다. 시험에 사용된 피시험품은 정격전압 170 kV용으로 길이 1,613 mm, Creepage distance 5,197 mm의 사양을 가지는 제품이었다. 제작된 피시험품에 대한 검증시험으로 IEC 규격관련 Insulator 및 Bushing 관련 Type Test를 진행하였고, 시험결과 IEC 61462, 60137 규격을 모두 만족하였다. 또한, 제품에 대한 장기 신뢰성 검증을 위해, 현재 옥외에서 장기 과전압 시험을 진행 중이다.

Composite Hollow Insulator 개발로 기존 Porcelain Insulator를 대체하여 부품 경량화 및 원가절감을 할 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Igor GUTMAN et al. "Field Experience and Test Verification of HV Composite Apparatus Insulators", CIGRE 2008, A3-302
- [2] IEC 61462, Composite Insulators - 'Hollow Pressurized and Unpressurized Insulators for Use in Electrical Equipment With Rated Volt Greater Than 1000V ~', 2007.
- [3] IEC 60137, 'Insulated bushings for alternating voltage above 1000 V', 2008.