

초고압용 Composite hollow Insulator의 성능평가검토

허 중 철\* 최 익 순\* 반 석 길\* 최 병 화\* 박 정 후\*  
 한국전기연구원\* 한국전력공사\* 현대중공업(주)\* 부산대학교\*

The Review of Performance Evaluation on Composite Hollow Insulator for Extra high-voltage

J. C. Heo\*\* I. S. Choi\*\* S. G. Ban\* B. W. Choi\* J. W. Park\*  
 KERI\*\* KEPCO\* HHI\* Busan National Univ.\*

**Abstract** - Because of its advantages such as more safe, better electrical properties, lighter and easier to handle etc. than conventional ceramic materials, the development and application of composite insulator to the distribution and transmission system have been rapidly increased lately.

In this paper, we reviewed performance evaluation on composite hollow insulator for extra high voltage based on IEC 61462 Technical Report 2, prospected to be published as international standards of insulator for SF<sub>6</sub> GIS, Transformer, Arrestor etc. having been prepared by IEC technical committee 36 : insulator.

1. 서 론

송 배전선로의 지지 및 송변전 기기의 절연을 목적으로 사용되는 애자는 종래의 자기재 애자에 비해 안전성, 가공성, 경량화로 인한 작업성 및 전기적 절연특성 등이 우수한 composite 애자의 적용이 재료 복합기술의 발달과 함께 급속히 확대되고 있다.

따라서 초고압 기기용으로 composite insulator의 사용이 점차 증가할 것으로 예상됨에 따라, 본 논문에서는 SF<sub>6</sub> GIS등의 초고압 기기용 insulator와 관련하여 현재 IEC TC 36에서 검토단계에 있는 IEC 61462 Technical Report 2(1998년 11월에 발행)의 검토를 통해 신뢰성평가에 대비하고자한다.

2. 본 론

2.1 Composite hollow insulator의 구성

2개 이상의 비자기재로 된 절연부, 즉 housing, hollow core, interface, 금속 end-fitting부 등으로 구성되며, 표1에 그 구성 및 정의를 나타내었으며, 구성 도는 그림 1과 같다.

2.2 적합성 평가를 위한 분류

2.2.1 Design test

Design test는 표 2과 같으며 제 1 group은 FRP tube 와 flange(End fitting) 사이, Shed와 flange사이, Shed와 FRP tube 사이 및 Shed와 Shed사이의 접촉면(interface)에 대한 특성을 평가하고, 제 2 group은 하우징(Shed) 재료의 자력소호 특성, 전기적인 tracking 및 부식에 대한 저항력을 평가하며, 3 group은 FRP tube의 Glassfiber에 Resin의 주입 정도를 확인한다.

2.2.2 Type test

Design test와 마찬가지로 IEC61109와 61462의 요건이 다소 다르다. 그리고 Hollow composite insulator는 그 Component의 절연특성이 아주 다양하기 때문에 IEC 61462에서는 표 3과 같이 기계적인 성능평가만 실시한다.

표1 Composite 애자의 구성 및 정의

구성	정의
Composite hollow insulator	Fiberglass and resin의 hollow core, metal fitting 및 housing으로 구성된 절연물
Hollow core	기계적 특성을 유지시키기 위한 insulator의 내부 절연부
Housing	대기환경으로부터 hollow core를 보호 하고, 필요한 누설거리를 제공하는 insulator의 외부 절연부
Interface	이질 재료 또는 insulator 구성부 간의 표면 - Core와 Housing 사이 - Housing 과 End fitting 사이 - Core 와 End fitting 사이 - Core, housing 및 End fitting사이
End-fitting	기계적 하중을 전달하기 위해 hollow core에 접착되어 있는 부분.

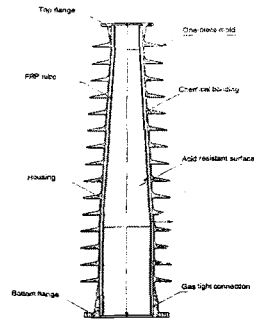


그림 1 Composite insulator의 주요구성

표2. Design test 시험항목

시험분류	시험항목별 Sequence	IEC	IEC
		61109	61462
접촉 및 접속부 시험	외관, 치수확인(도면)	●	●
	Mechanical routine test	●	
	Routine test		●
	AC 건조접촉시험	●	●
	Sudden load release test	●	
	Thermal mechanical test	●	●
	수분침투시험	●	●
	외관검사	●	●
	Steep front impulse test	●	●
	AC 건조접촉	●	●
	AC 내전압시험	●	●
	내부압력시험		● <sup>1)</sup>

시험분류	시험항목별 Sequence	IEC 61109	IEC 61462
접속 및 접속부 시험	외관, 치수확인(도면)	●	●
	Mechanical routine test	●	
	Routine test		●
	AC 건조섬락시험	●	●
	Sudden load release test	●	
	Thermal mechanical test	●	●
	수분침투시험	●	●
	외관검사	●	●
	Steep front impulse test	●	●
	AC 건조섬락	●	●
AC 내전압시험	●	●	
내부압력시험		● <sup>1)</sup>	
Assembled core load-time 시험	조립 애자의 core 평균과파하중 strength-time 곡선의 slope	●	
	외관 및 치수확인(도면)	●	●
Housing 시험	Salt fog 시험	●	●
	난연성 시험	●	●
Core 또는 Tube 재료 시험	Dye penetration test	●	
	Water diffusion test 및 전압시험	●	●

●<sup>1)</sup> gas 또는 유압력이 0.5 bar 이상인 경우 적용.

표3. Type test 시험항목

시험분류	시험항목별 Sequence	IEC 61109	IEC 61462
Type test	건조 뇌충격내전압	●	-
	AC 주수섬락	●	-
	주수 개폐충격내전압	●	-
	Mechanical load-time test	● <sup>**</sup>	-
	내부압력시험, Stage 1,2,3	-	●
	Cantilever bending test Stage 1,2,3	-	●

- : Arcing distance, 누설거리, shed 기울기 및 직경 Shed spacing에 대한 변경이 있는 경우만 실시
- : 코아 직경 및 금속 fitting의 취부 방법의 변경이 있는 경우만 실시

### 2.2.3 Sample test.

Sample test는 Lot별로 실시하며 통상적인 Sample 시험은 표4와 같다.

표4. Sample test 시험항목

시험분류	시험항목별 Sequence	IEC 61109	IEC 61462
Sample test	치수확인	●	●
	SML(규정인장하중)에 대한 확인	●	-
	Locking system에 대한 확인	●	-
	압력시험	-	●
	Cantilever bending test	-	●
	Interface 확인(Dye penetration)	-	●
	도금시험	● <sup>***</sup>	● <sup>**</sup>

- : gas 또는 유압력이 0.5 bar 이상인 경우 실시
- <sup>\*\*</sup> : 해당시 IEC60168에 따름
- <sup>\*\*\*</sup> : IEC60383에 따름

### 2.2.4 Routine test

양산품에 대한 전수시험으로서, 제조상의 결함을 제거하기 위한 시험이며 표5과 같다.

표5. Routine test 시험항목

시험분류	시험항목별 Sequence	IEC 61109	IEC 61462
Routine test	외관검사	●	●
	압력시험	●	●
	기계적 Routine test	●	●
	Routine 기밀시험	-	● <sup>**</sup>
	Tube 재료시험	-	●

- : gas 또는 유압력이 0.5 bar 이상인 경우 실시, 즉 이 시험은 서비스 상태에서 압력에 의한 스트레스를 받는 애자에 적용
- <sup>\*\*</sup> : Sealing용의 interface 관을 고정하는 Flange가 있는 애자에 대해 적용.

### 3. 주요 시험항목별 특성요건

#### 3.1 Interface 및 Connection에 대한 특성

Composite insulator에 있어서 Interface부는 애자의 전기적, 기계적 특성에 아주 중요한 부분으로 주요구성을 그림 2에 나타내었다.

Interface에 대한 확인은 몇단계를 거쳐게되는데 Hollow insulator의 경우 상용주파섬락 후 FRP tube와 flange 사이, housing과 flange사이의 스트레스에 대한 확인을 실시하는 것으로서 주요특성은 표 6과 같다.

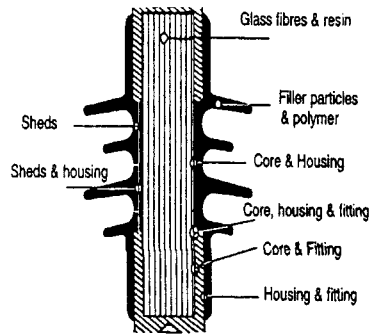


그림 2 Composite insulator의 주요 Interface부

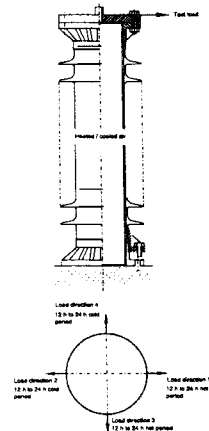


그림 3 Thermal-mechanical test arrangement

#### 3.2 Mechanical load test

이 시험은 애자를 조립한 상태에서 Core의 기계적 하중 특성을 확인하는 것이다.

### 3.3 Housing 시험

이 시험은 Housing(애자 Weather-shed)이 실사용 상태에서 환경 및 전압 스트레스를 유지하는가에 대한 aging 시험으로서, 시험이 유효성을 가지기 위해서는 반복성, 재현성, 대표성을 가져야 한다. 그러나 특히 대표성을 갖는 것은 매우 어려우며 본 Technical Report에서는 housing 재료에 대한 aging 성능확인의 최소요건으로 1000h salt fog 시험을 실시하며, 그 특성은 표 7에 나타내었다.

표6. Interface 및 Connection에 대한 특성

시험항목	IEC 61109	IEC 61462
외관, 치수확인	외관 치수확인	외관 치수확인
Mechanical routine test	하중:RTL (SMLx 0.5) 시간 : 10초	-
Routine test 1.외관검사 2.압력시험 3.Mechanical test 4.Tightness test 5.Tube 재료시험	-	1. 외관검사 2. MSPx2.0.1분 3. 협의에 의함 4. MSP 로 5분 5. prestress후 12kV 전압시험
AC 건조섬락 시험 (Fav or Uref)	시료수 : 3개 시료당 각5회실시 평균건조섬락치	좌 동
Sudden load release test	온도: -20 ~ -25°C SMLx0.3, 5회	-
Thermal mechanical test (그림 3 참조)	온도: -35 ~ +50°C 인장하중 : SMLx0.5, 4cycle, 96h	△θ : 85K (냉온 ≥ -50°C) 압입하중 : SMLx0.5 24~48H, 2cycle 하중방향 : 4방향
수분침투시험	0.1% NaCl 42h boiling후 48h이내 확인	좌 동
외관검사	외관검사	외관검사
Steep front impulse test	준도: 1000 kV/μs 정.부 각 25회	좌 동
AC 건조섬락	평균섬락치 : Fav의 90%이상	평균섬락치 : Uref의 90%이상
AC 내전압시험	Fav의 80%, 30분	Uref의 80%, 30분인가
내부압력시험 1.Stage 1(가스누설) 2.Stage 2(누수시험)	-	1. SIPx0.25, 60분 2. SIP, 5분

\* : MSP(Maximum service pressure)로 자기재의 설계압력과 동일함.

표7. Housing의 재료에 대한 특성

시험항목	IEC 61109	IEC 61462
외관 및 치수확인	시료누설거리 : 484~693mm Tube직경 ≥ 100mm	시료누설거리 : 500~700mm 시료직경 : ≥ 100mm
1000h Salt fog 시험	시료: 2개(수직, 수평설치) 시험전압(kV) : 14~20 kV (누설거리 ÷ 34.6) Chamber ≤ 10m water flow rate : 0.4 ± 0.1 l/m.h 10 ± 0.5 kg/m <sup>2</sup> NaCl 보호전류 setting: 1A *검사interruption시간 : ≤ 15분 * 가속열화 test -UV, 인공우수, 건조 가열, 운전전압하에서 5000h salt fog 시험 등은 검토중에 있다.	좌 동 NaCl 농도 : 5 ± 0.25 kg/m <sup>2</sup> ≤ 1h
내연성시험	IEC 60707 FVO	좌 동

### 3.4 Core 및 tube 재료시험

장기 사용 시 전기적 특성에 영향을 미치는 것으로서, Fiberglass에 수지의 침투 정도를 확인하는 시험이며, 그 특성은 표 8과 같다.

표8. Core 및 Tube의 재료특성

시험항목	IEC 61109	IEC 61462
Dye penetration test	시료 10mm ± 0.5 100g 에탄올, 1g 옥신, 15분	-
Water diffusion test -prestress -전압시험	시료 30 ± 0.5mm 0.1% NaCl, 100h 흡입 12 kV .1분 인가시 1 mA 이하	시료 가로 15 ± 0.5mm 세로 30 ± 0.5mm 0.1% NaCl, 100h흡 12 kV .1분인가시 1 mA 이하

### 4. 결론

현재 IEC TC 36에서 규격제정을 위해, 올 해로서 3년차 Technical Report과정에 있는 IEC 61462를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Design test에 있어서 Line insulator(IEC 61109)와 비교 시 구조적인 차이로 기계적인 하중시험이 제외되고, End-fitting에 대한 접촉부 및 접속부, Housing과 및 hollowtor의 경우와 달리 Hollow core에 대한 Mechanical에 대해서만 언급되어있고 전기적 절연, 특히 건조 및 주수 Lightning and switching impulse에 대한 언급이 없다. 이는 Hollow core의 종류가 매우 다양하기 때문인 것으로 사료된다.
2. 장기신뢰성에 있어 절연에 관련된 부분방전 및 내오손에 대한 요건이 언급되어있지 않다
3. 가속열화시험은 반복성, 재현성도 고려되어야 하겠지만 실사용 상태를 대신하는 대표성을 갖는 것이 중요하다. 따라서 이러한 대표성을 갖기 위한 stress factor (온, 습도, rain, salt, 자외선, 전기적, 기계적 등)는 지역 및 환경 등에 따라 구분되어 규격이 제정되어야 할 것으로 판단된다.
4. Composite insulator는 환경적 요인이 aging에 큰 영향을 주므로 국내환경을 대표할 수 있는 장기신뢰성평가 stress factor를 결정하기 위한 지속적인 노력이 필요하다.

이상과 함께 규격에 대한 보다 많은 보완이 필요하며, 초고압 기기용 애자로 Composite hollow insulator의 적용이 높아질 것으로 예상되므로 이에 따른 성능 및 신뢰성 평가를 위해 가속열화 및 환경설비, Thermal-mechanical 평가설비, 기계적 성능평가설비 등에 대한 준비가 시급한 것으로 사료된다.

### Reference

1. R. Martin. "Composite insulator for electrical utilities : Application and test standardsJames" - Symposium on Non-ceramic insulator technology, singapore, June 1995. pp 875-882
2. James F. hall History and bibliography of polymeric insulators for outdoor application", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4, No.1, Jan. 1993, pp 376-378.
3. IEC 61462(1998), Technical Report2 "Composite insulator - Hollow insulator for use in outdoor and indoor electrical equipment" pp 736-746(1971)
4. Dr. Claude de Tourreil "International & (Some) National standards Governing composite insulators", Insulator News & Market Report, INMR, Vol.7, No.1, pp. 50-52(1999)