

송전용 Non-Ceramic Insulator의 성능평가 기술개발

김인성, 조한구*, 박완기**, 홍진영**
한국전기연구소*, LG전선(주) 전력연구소 **

The Development of Evaluation Technology for Transmission Lines NCI

I.S. Kim, H.G. Cho, W.K. Park, G.Y. Hong
KERI, LG Cable Ltd

Abstract - The chief advantage of these NCI, from a handling viewpoint, was an up to 90 % weight reduction over their porcelain counter.

Diagnosis and the life expectancy of NCI for transmission lines depend on a number of factors, many of which are associated with natural tracking breakdown, while others are related to manufacturing conditions. Recently The importance of optimizing a NCI for good performance under a wide variety of test condition and diagnosis is emphasized ; as well as the increased importance of natural breakdown testing.

Today, at transmission lines, NCI have become very popular at 154 through 345 kV.

1. 서 론

배전선로용 NCI(non-ceramic insulator) 개발은 1950년대 초에 이루어졌으며, 자기 절연물에 비하여 상대적으로 무게의 감소, 절연성능 개선, 기계적 특성 보강 등의 개선효과를 가져오게 되었다. 가장 큰 이유로는 송전용 자기 현수애자에 비교하여 90 %의 무게감소가 가져오는 송전철탐 작업에서 작업성의 향상으로 나타났다. 송전용 NCI의 품질과 성능에 대한 수명예측, 절연진단, 성능평가는 많은 변수가 작용한다. 사용 중에 나타나는 자연발생적인 트래킹이나, 제조상에서의 문제점들이 큰 이유가 되며, 최근에 시험조건과 진단에 관련한 여러 가지 NCI의 최적 내구성 평가와 초기 시료의 사양 시험과 연계하여 사용상의 수명을 예측하는 자연상태의 절연파괴 연구도 중요성이 증가하고 있다.

요즘 국내에서도 배전용 NCI는 물론 송전용에 대하여 관심이 고조되고 있으며, 일부에서는 시제품을 만들기까지 하였으나 성능을 시험하거나 제품

에 대한 일정한 사양이 없는 관계로 본 논문에서 송전용 NCI에 대한 요소별 중요성과 성능 시험안을 제시하였고, IEC, IEEE, CEA의 송전용 NCI에 관련된 실험 방법을 소개 하였으며, 특성평가 차원에서 시제품의 단기 특성 시험과 실사용 상태의 사양 시험과 규격(안)에 대하여 간단히 언급하였다.

2. 상용화된 송전용 NCI 국제규격

2.1 ANSI C29-11

두 가지 이상의 복합재료가 사용되어 하나의 절연물로 구성되는 것으로 통상적으로 하중을 지지하기 위한 지지절연물(core)과 누설거리 확보를 위한 갓(housing)으로 이루어져 있고, 양단은 철탑의 금구에 부착 가능한 금구(metal fitting)로 마무리 되어있다.

(1) Electrical Design Test(suspen. & ten.)

- Dry arching distance
- Leakage distance
- Weather-sheds inclination
- Weather-sheds diameter
- Weather-sheds spacing

(2) Prototype test

- 건조·주수섬락전압(ANSI/IEEE 4 78)
- Sudden load release:SML 30 %
- Thermal mechanical:SML 5 %, 8h
- Water penetration:100℃, 48h
- Impulse voltage:1000 kV/10⁻⁶sec
- Power frequency voltage:FOV_{ave} 80 %, 30 min 유지
- Core time load test : 60 %, 96h
- Core material test : 흡습에 의한 core 표면의 절연특성 실험(electrode IEC 1109)

(3) Tracking and erosion test

시료 표면으로 누설되는 전류는 실효치(RMS) 250mA가 흐를 때 전압강하 5%를 허용하며 1A에

서 과전류 trip-out으로 한다. 이때 열화를 가속시키기 위한 전해액은 NaCl과 deionized 물을 사용하며 fog 상태로 일정한 chamber내에서 분무시킨다. 시제품에 직접 분무되어서는 안되며 반사시켜 간접 분무를 유도하며, 실험 조건은 Table 2-1과 같다.

Table 2-1 Condition of tracking test

Water flow rate	0.4±0.1
Size of droplets	5~10m μ m
Temperature	20±5 $^{\circ}$ C
NaCl content of water	10kg/m 3
Test time	1000 h

* ANSI C29-11

2.2 IEC 1109, 1991-03

Non-ceramic insulator는 금구가 결합(fitting)된 core 부분과 elastomer rubber로 된 housing의 두 개 부분으로 이루어진다. Housing은 한개 또는 그 이상의 조각으로 구성되어 core위에서 sheds를 이룬다.

- (1) Electrical design test.
 - Dry power frequency voltage test
 - Prestressing test
 - Thermal mechanical:24 h cycle 반복
 - Sudden load release
 - Water immersion:0.1% NaCl, 24 h 유지
 - Impulse voltage:1000 kV/10 $^{-6}$ sec
 - Assembled core load-time:coupling 파괴 무시
 - Core material:L=100 mm±0.5(ANSI)
- (2) Housing test(tracking & erosion)

Table 2-2 Condition of tracking test

NaCl content of water	10±0.5 kg/m 3
Duration of test	1000 ~5000 h
Havy pollution test	by user specification

* IEC 1109 -1982

Housing test의 가속전압은 $U_m/\sqrt{3}$ kV 시험품은 수직과 수평으로 설치하여 각각 실시한다. 전류는 250mA(RMS)에서 절연성능 유지와 최대 보호전류 한계치를 1A로 한다. 오손액은 밀폐된 chamber내에서 deionized water를 사용하여 NaCl를 녹여서 염수를 분무한다. 조건은 Table 2-2와 같으며, flow rate와 size는 ANSI와 동일하다.

2.3 CEA LWIWG-01, 02

Porcelain insulator와 NCI의 가장 큰 소재 및 구조의 차이에 대하여 심도 있게 다룬 사양이라 할 수 있으며, IEC, IEEE에서 절연성능을 결과적인 절연파괴 관점에서 다루었다면, CEA LWIWG-02와 ANSI 29-11의 경우는 원인적인 측면에서 다룬 것이 가장 큰 특징중에 하나로 볼 수 있다. 대표적인 예로써 porcelain 현수애자에서는 잔류강도시험과 타격내하중시험이 있으나 NCI에서는 재료의 특성상 합당하지 않으므로 배제시키고 비틀림내하중시험으로 경우이다.

특히 combined load test의 경우는 CEA LWIWG-02에서만 다루어진 독특한 시험 사양이다.

3. 송전용 NCI 요소별 성능 평가

3.1 절연요소의 특성실험

현재 154 kV 송전선로가 운영중에 있으며, 254 mm suspension insulator(porcelain)가 사용중에 있기 때문에 전기적인 환경은 마련되어있다. 그러나 NCI를 이루는 구조적인 형태 및 소재 측면에서 porcelain과 복합재료라는 상이점은 물리-화학적, 기계적인 실험을 통하여 절연파괴의 가능성을 상당히 대신한 것이 특징이다. 즉 결과적인 절연파괴는 소재 또는 제조상의 공정에 있으므로 자기애자에 비교하여 이런 부분의 윤곽이 크게 나타난다.

Power arc 시험에서는 unit shed로 분리가 불가능하기 때문에 insulator 한개를 적용하는 것과 CEA LWIWG-02가 참고되었으며, NCI 사양과 254 mm X 9개의 애자련 규격 특성이 추가되어 검토되었다. 전기적 성능을 고려한 요소별 실험은 표 3-1과 같다.

Table 3-1 The test for electrical performance

요 소 / 항목	Core	Weather shed	Interfaces	Fittings
Power Arc	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ
Tracking wheel		Ⓢ	Ⓢ	
1000 h Salt-Fog		Ⓢ	Ⓢ	
5000 h Climatic		Ⓢ	Ⓢ	

3.2 기계적 실험

구조적인 측면에서 core와 금구의 안정한 기계적인 연결 상태를 검증하는 것으로 인장파괴하중(SML), 내하중(RTL), 하중-시간(mechanical stress), 비틀림내하중으로 분류되며, 통상적으로

강조되는 파괴하중 대신에 인장 및 장시간 내하중이 중요시된다. 한편 porcelain 현수애자에서는 잔류강도시험과 타격내하중시험이 있으나 NCI에서는 재료의 특성상 합당하지 않으므로 CEA LWIWG-02와 ANSI 29-11에 의하면 배제시키고 비틀림내하중시험으로 대체 시킨 것도 큰 특징의 하나이며, 요소별 실험은 표 3-2와 같다.

Table 3-2 The test for mechanical property

요 소 항 목	Core	Weather sheds	Inter-faces	Fittings
Core - load time	④			④
Thermal Mechanical.	④	④	④	④
Internal pressure	④		④	④
Tensile load	④			④
Torsional load	④		④	④
Cantilever bending	④			④

3.3 물리-화학적 실험

NCI와 porcelain insulator를 비교하여 가장 두드러지게 나타나는 특성이 바로 물리-화학적 성질인데 이것은 주종 소재가 무기물에서 유기복합 재료로 바뀐 요인으로 보아지며, 소재의 특성을 평가하는 부분으로 추가되었으며, 사용 전압의 grade에 따라 큰 차이가 없다는 것이 특징이다.

Table 3-3 The test for materials factor

요 소 항 목	Core	Weather sheds	Inter-faces	Fittings
Water Penetration		④	④	④
Weathering		④		
Dey Penetration	④	④	④	④
Water Diffusion		④	④	

4. 결 론(송전용 NCI 사양 실험 제시안)

송전용 NCI의 국제규격을 전기적, 기계적, 물리·화학적으로 살펴보고 구조적인 측면에서 weather sheds, FRP Core, 이중재질 계면의 interface, 금구류와의 fittings 부위에서의 절연 파괴와 관련된 실험 항목을 살펴본 결과 다음과 같은 규격 제시안의 결론을 내릴 수 있었다.

(1) 기계적시험 : NCI의 기계적인 구조와 외입에 의한 형상 및 절연유지를 목적으로 한다.

항 목	기계적 시험 조건	요구 결과
RTL	11,500 kg	기준치 만족
Load-time	SML 70 %, 96 h 후 100 % 내하중	금구 이탈 및 파손여부
비틀림 하중	비틀림 후 염료 침투	용액침투
SML	16,500 kg	SML기준치

(2) 물리-화학적시험 : 소재 및 부위의 성질 변화가 절연성 유지에 미치는 영향을 알아본다.

항 목	물리-화학적 조건	실험적 의미
내부기공	void : 0.07mm 이물질 : 0.25 mm	소재 또는 계면의 기공존재 여부
계면접착	core-shed의 분리	Parial discharge
화학적 변화	0.1 % NaCl, 100 h 끓임	수분침투에 의한 물리적, 화학적 변화
모세관 현상	FRP rod 10 mm 염색용액에 노출	Parial discharge 방지, 절연파괴
수분화산	FRP rod 30mm	Puncture
발화화산	FV - 0 (수직발화)	난연성(unflammable)
내후성	UV 1000 h 노출시	Weathering, Breakdown
내열화성	±50°C 8 h, 6cycle	수분침투, 절연파괴

(3) 전기적 시험 : 254 mm Suspension insulator (porcelain)를 기준으로 한다.

항 목	실험 조건	요구 결과
RIV	105 kV(40dB)	기준치 만족
Impuls 건조섬락	Min.:780 Max.:860	이상 무
Impuls 건조내전압	750 kV(Posi., Nega.)	15회, 2회 섬락 50%,FOV≥내전압X1.04
주수섬락	360 kV	90 % 섬락전압
Arc	150 kA, cycle	금구 이탈, 파손
내트래킹	tracking, 급준파, FOV 90 %	tracking, erosion, puncture 유·무

[참 고 문 헌]

- (1) "For Composite Suspen. Insulator Overhead Transmission line test". ANSI C 29.11-1989.
- (2) "IEEE Std 1024 1995