

내뢰성 향상을 위한 154 kV 송전선용 피뢰기의 성능 시험

곽주식, 강연욱, 우정욱, 심응보, 박운석**
한전 전력연구원, **한전 송변전처

A Type Test of 154 kV Transmission Line Arrester for improvement of lightning performance

J.S. Kwak, Y.W. Kang, J.W. Woo, E.B. Shim, Y.S.. Kim**
KEPRI, KEPCO**

Abstract - This paper describes a type test results of 154 kV transmission line arrester with external gap. The test was carried on surge arrester unit and line arrester with external gap, respectively. Withstand voltage test demonstrate the voltage withstand capability of the line arrester with external series gap under the dry and wet conditions. In insulation coordination test external series gap shall be discharged every time when lightning impulse voltage with the steepness of more than 1500 kV/ μ s are applied under the wet condition.

1. 서 론

송전선로 고장의 약 40 ~ 50% 정도가 낙뢰의 의해 발생한다. 낙뢰가 송전선로에 발생하면 설계 절연내력을 초과하는 과전압의 발생시켜 섬락고장을 유발하며 순간 전압강하 혹은 정전으로 진전된다. 이러한 송전선로의 사고 대책으로는 탐각 집지저항의 저감, 가공지선의 다조설치, 2회선 선로에서의 차등절연 방법등이 있다. 1980년대부터 일본 미국 프랑스등지에서 피뢰기를 이용한 낙뢰사고 저감 연구가 진행되어왔고 현재 500 kV 급까지의 송전선용 피뢰기가 개발 사용되고 있다. 피뢰기는 뇌 과전압에 의한 섬락고장 전류를 1/2 주기이내에 신속히 차단하여 선로 트립을 예방할 수 있다.

본 논문에서는 국내 최초 시적용을 위한 154 kV 급 송전선용 피뢰기의 성능시험에 대해 다루고자 한다. 송전선용 피뢰기는 630 mm의 공기절연 갭을 갖고 있는 구조로 최대 30 kA(4/10 μ s)의 전류를 방전할 수 있다. 발전소나 변전소에 사용되고 있는 ZnO 소자의 갭리스형의 피뢰기에 대하여는 IEC 국제 규격이 적용되고 있지만 송전선용 피뢰기에 대한 국제 표준 규격은 아직 마련되어 있지 않은 상태이다. 따라서 현재는 사용자인 전력회사의 요구조건에 따라 시험이 주로 이루어지고 있다.

시험은 크게 피뢰기 ZnO 소자의 피뢰기에 대한 시험과 직렬 갭을 포함하는 154 kV 애자련 장치 시험으로 구분된다. 피뢰기 유닛에 대한 항목에는 절연저항 시험, 기준전압 시험, 잔류전압 시험, 에너지 방전내량 시험, 뇌써지 책무시험이 있다. 1120 mm 아킹혼이 있는 154 kV 표준 애자련에 630 mm의 피뢰기 갭을 설치한 장치에 대하여 개폐 내과전압시험과 절

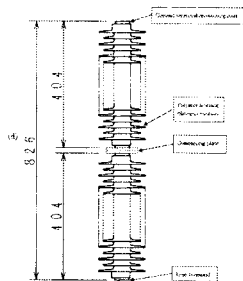


그림 1. 피뢰기 외관

연협조 시험이 포함된다. 시험 결과 선로의 운전중에 발생 가능한 3.3 p.u. 까지의 개폐과전압에 대하여 송전선용 피뢰기는 동작하지 않는 요구조건에 만족하여야 한다. 1500 kV/ μ s 이상의 뇌임펄스 전압을 인가하는 절연협조 시험에서는 반드시 피뢰기 갭사이로만의 방전동작을 확인하여야한다. 또한 아킹혼과 피뢰기 직렬 갭의 voltage - time 특성곡선을 확인하기 위한 시험이 수행되었다.

2. 본 론

2.1 피뢰기에 대한 시험

피뢰기에 대한 시험 항목과 방법은 IEC 규격의 기준하였다.

표 1. 송전선용 피뢰기 정격

항목		정격
정격전압		144 kV
정격 방전전류		10 kA / 2/20 μ s
최대방전전류	peak	30 kA / 4/10 μ s
	잔류전압	
잔류전압	10 kA	420 kV 이하
	20 kA	470 kV 이하
정격 단락전류	대	50 kA 0.2 sec
	소	400 A 2.0 sec
오손등급		0.35 mg /cm ²
속류차단특성		1/2 주기 이내

2.1.1 외관 및 구조

피뢰기는 72 kV 정격의 두 개가 직렬로 144 kV 정격을 형성하며 길이는 826 mm, 무게 8 kg이다.

표 2. 외관 검사 결과 단위 : mm

	높이(1/2)	높이	외경	내경
기준	404 ± 16	826 ± 27	148 ± 8	118 ± 7
측정값	404	828	145	115
측정결과	양호	양호	양호	양호

2.1.2 절연저항의 측정

절연저항은 line terminal 과 earth terminal 사이에 1000V Megaohmmeter를 이용하여 측정되었다. 절연저항은 2000 M Ω 이상의 양호한 결과를 보였다.

2.1.3 누설전류 측정

피뢰기 유닛을 통하여 흐르는 총 누설전류와 I_T 와 저항성 누설전류 I_R 는 최대 연속 운전전압인 170/ $\sqrt{3}$ kVrms의 전압을 인가한 상태에서 측정되었다.

표 3. 누설전류 측정 시험 결과

항목	144 kV 피뢰기	
인가전압 [kVrms]	170/√3	
총 누설전류 [mAcrest]	측정 값	0.20
	기준	0.5 이하
저항성 누설전류 [μAcrest]	측정 값	32.0
	기준	100.0 이하

2.1.4 기준전압 시험..

저항성분 누설전류가 1[A] 경우에 피뢰기 양단에 나타나는 상용주파 전압의 최대값을 기준전압으로 한다.

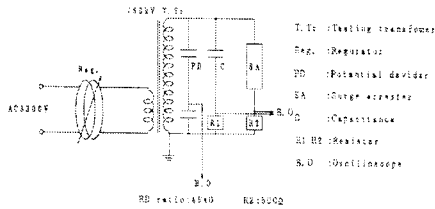


그림 2. 기준전압 시험회로

표 4. 기준전압 시험 결과

항목	144 kV 피뢰기
저항성 누설전류[mAcrest]	1
측정값 [kVcrest]	238.0
기준 [kVcrest]	228.0 이상
시험 결과	양호

2.1.5 잔류전압 시험..

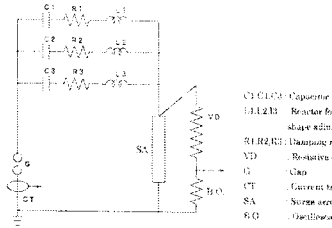


그림 3. 잔류전압 시험회로

표 5. 잔류전압 시험 결과

극성	잔류전압		
		10 kA	20 kA
정극성	결과	399	459
	기준	420 kV 이하	470 kV 이하
부극성	결과	400	459
	기준	420 kV 이하	470 kV 이하
시험 결과	양호		양호

잔류전압시험은 송전선용 피뢰기의 보호레벨을 확인하기 위한 것이다. 시험은 10 kA와 20 kA의 전류를 방전할 때 측정된 피뢰기 전압이 기준 이내로 만족하여야 한다. 방전 전류의 극성은 정극성과 부극성에 대하여 각각 시행한다. 피뢰기 소자는 비례 (2.84 kV / 144 kV)의 비례모델을 이용하였다.

2.1.6 방전 에너지 내량 시험..

이 시험은 뇌 임펄스 에너지 흡수 능력을 확인하기 위한 것이다. 5분 사이에 2번의 뇌 임펄스 전류(최대 방전전류)를 인가 방전하고 시험 전과 후에 정격방전 전류인 10 kA 2/20 μs의 전류 방전시 피뢰기 잔류전압을 측정하게 된다. 시험 전후에 잔류전압이 15 % 이상 다르지 않아야 하며 관통, 섬락, 균열등의 심각한 손상이 일어나지 않아야 한다. 본 시험도 2.84 kV의 축소 모델을 이용하였다.

시험 전후의 잔류전압은 7.86 kV(full scale 398 kV에 해당)로 전혀 변화된 값을 보이지 않았으므로 기준 내의 양호한 결과를 보여주었다.

표 6. 뇌 임펄스 방전 전류

뇌 임펄스 인가	방전전류[kAcrest]	임펄스 파형
1st	31.5	4.4 / 10.1 μs
2nd	31.3	4.4 / 10.1 μs

2.1.7 뇌써지 동작 책무 시험



그림 4. 뇌 써지 동작 책무 시험방법

이 시험은 운전중 피뢰기의 에너지 흡수 능력을 확인하기 위한 것이다. 피 시험물은 정격 전압으로 가압이 된 조건에서 1분 간격으로 뇌 임펄스를 극성에 따라 각 5회씩 인가받게 된다. 뇌 임펄스는 상용주파 전압의 90도 위상과 270도 위상에서 가해지도록 하였다. 이 시험에서도 피뢰기는 2.84 kV /144 kV의 비례 모델을 이용하였다.

시험 기준은 시험 전후의 정격 방전전류의 잔류전압에 15 이상의 변동이 발생하지 않아야 하며 또한 관통, 섬락, 균열등의 심각한 손상이 일어나지 않아야 한다.

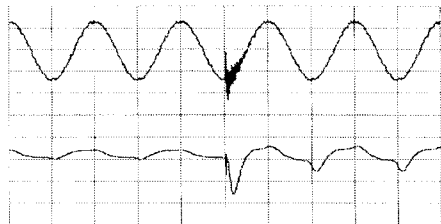


그림 5. 뇌 써지 동작 책무 시험결과(부극성) 피뢰기 인가 전압(위), 피뢰기 전류(아래)

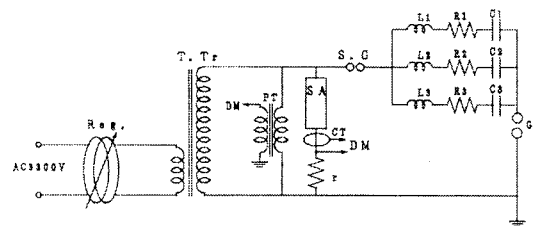


그림 6. 뇌 써지 동작 책무 시험회로

2.2 직렬 갭이 있는 송전선용 피뢰기에 대한 시험

1련 현수형, 2련 현수형, 2련 내장형의 3가지 애자런 장치에 대하여 개폐 임펄스 내전압과 뇌 임펄스에 대한 절연협조특성을 시험하였다.

2.2.1 외관 및 구조

설치 예정 송전선로의 애장수량과 애자장치와 동일한 조건인 시험 장치의 치수를 도면에 근거하여 확인하였다. 1련 및 2련 현수형의 경우 피뢰기 설치에 의하여 무게차이에 의한 균형을 맞추기 위하여 피뢰기 무게와 동일한 균형추를 추가 제작하여 부착하였다.

표 7. 직렬갭이 있는 애자런 장치에 대한 외관

애자런 종류	애자갯수	아킹흔 간격	피뢰기 직렬갭
1련 현수	10	1120 mm	630 mm
2련 현수	10	1120 mm	630 mm
2련 내장	11	1120 mm	630 mm

2.2.2 내전압 시험

내전압 시험은 피뢰기를 부착한 상태에서의 상용주파 전압에 대한 특성과 송전선로 운전중에 발생할 수 있는 개폐 썬지에 대한 특성을 확인하기 위한 것이다. 시험은 건조 상태와 분당 3 mm의 주수를 인가한 상태에서 각각 수행하였다.

표 8. 개폐 임펄스 내전압 시험 결과

애자런형	극성	V50	σ	시험 결과
		[kVcrest]	[kVcrest]	
1련 현수	+	587	18.1(3.1%)	양호
	-	692	8.82(1.3%)	양호
2련 현수	+	587	18.1(3.1%)	양호
	-	692	8.82(1.3%)	양호
2련 내장	+	587	18.1(3.1%)	양호
	-	692	8.82(1.3%)	양호

피뢰기 정격전압인 144 kV를 10초간 인가한 상태에서 어떠한 섬락현상도 발생하지 않는 양호한 결과를 확인하였다.

개폐 내전압 시험에서는 주수조건에서 'up and down' 방법을 이용하여 250/2500 μ s의 개폐 임펄스를 정극성과 부극성에 대하여 각 20회를 인가하여 50% 섬락전압 $V_{50\%}$ 와 측정 표준편차를 계산하였다. 3.3 p.u.까지의 개폐 임펄스전압에 대하여 피뢰기는 방전동작을 일으키지 않아 하는 조건을 만족하였다.

2.2.3 절연협조 시험

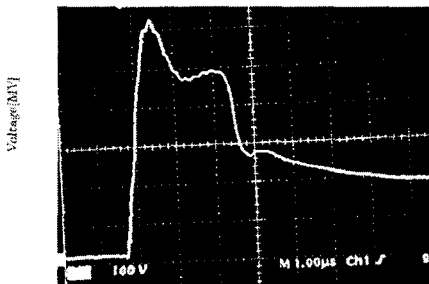


그림 7. 2련 재장형의 절연협조 시험 파형 전압 정극성. 915 kVcrest, 상승률 1522 kV/ μ s

이 시험은 아킹흔과 피뢰기 직렬 갭사이의 뇌 임펄스에 대한 절연협조 특성을 확인하기 위한 것이다. 시험을 위하여 분당 3 mm의 주수를 가한 상태에서 상승률 1500 kV/ μ s 이상의 뇌 임펄스 전압을 애자장치에 인가 하였다. 이 시험에서 뇌 임펄스에 대한 방전은 항상 피뢰기의 직렬 갭을 통하여 일어나야만 한다. 시험은 각 애자 장치에 대하여 극성별로 5회씩 인가 하였다.

시험 결과 모든 방전은 피뢰기를 통하여 일어났음을 확인하였으며 보다 정확한 결과를 확인하기 위하여 아킹흔과 피뢰기 직렬갭간의 v-t 특성곡선을 확인하는 시험을 수행하였다.

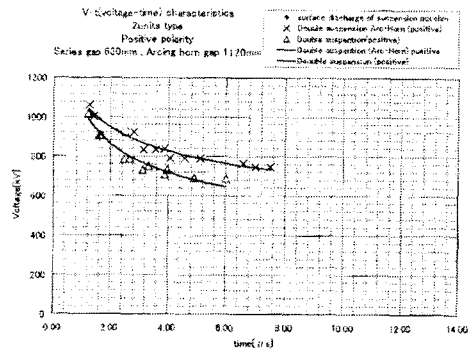


그림 8. 아킹흔과 피뢰기 직렬 갭의 V-T 특성 (2련 내장형, 정극성 임펄스 전압)

2.2.4 코로나 방전 시험

1련/2련 현수형과 2련 내장형의 3가지의 애자장치에 $170/\sqrt{3}$ 의 전압을 인가한 분당 3mm의 주수 조건에서 부분방전과 접촉 잡음의 발생여부를 확인하는 시험이다. RIV에 의한 코로나 잡음의 측정결과 69 - 79 dB이 측정되었다.

3. 결론

본 논문에서는 국내 최초 시적용을 위한 154 kV 급 송전선용 피뢰기의 성능시험에 대해 다루었다. 송전선용 피뢰기는 630 mm의 공기절연 갭을 갖고 있는 구조로 최대 30 kA(4/10 μ s)의 전류를 방전할 수 있다. 발·변전소용 ZnO 갭리스형의 피뢰기에 대하여는 IEC 국제 규격이 제정되어 적용되고 있지만 송전선용 피뢰기에 대한 국제 표준 규격은 아직 마련되어 있지 않은 상태이며 최근에는 규격 제정을 위한 움직임이 일본과 유럽을 중심으로 시작되고 있다.

직렬갭을 갖는 피뢰기를 부착한 애자장치에 대한 개폐 내전압 요구값 3.3 p.u.와 절연협조성능이 설계 요구값을 만족함을 확인할 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] 심용보외, "154 kV 송전선로의 낙뢰에 의한 2회선 동시 트립 방지대책 중간보고서", 2003, 전력산업연구개발사업
- [2] Type Test Report-transmission line arrester with external gap for suspension and tension tower, TM T&D, 2003