

154kV 지중 방식층용 ZnO소자 및 서지 보호장치 성능

조한구·한동희·윤한수·이종혁·장태봉*·이형구*
한국전기연구원·삼흥중전기공업(주)*

The Performance of ZnO Varistors and Surge Protector for 154kV Underground Cable

H.G.Cho · D.H.Han · H.S.Yoon · J.H.Lee · T.B.Jang* · H G.Lee*
KERI · SAMHEUNG IND. CO., LTD*

Abstract - The surge protector is crucial power apparatus to guarantee the safe operation of power transmission of underground cable which can effectively restrain the overvoltage and inductive lightning stroke in power system. This paper describes the results of a study on the performance of ZnO varistors and surge protector for 154 kV underground cable. And, the influence of water tight and insulating performance was evaluated through such as surge protector of the armored design.

1. 서론

전력계통의 현대화에서 가장 두드러지는 송전방식으로 부지확보 및 민원의 유발 문제로 인해 점차 지중 송전방식이 채택되고 있다. 그리고, 이 송전방식에 있어서 케이블 선로에 가해지는 전압은 상시의 교류전압이외에 지락 등에 의한 상용주파 과전압, 가공선으로부터 뇌서지 혹은 GIS로부터의 개폐 서지 등 서지성 과전압으로 인해 중단 접속부나 절연 접속함의 절연통은 서지 전파상의 특이점이 되어 고전압이 유기된다. 이때에 발생하는 서지전압은 케이블 심선-방식층간과 방식층-대지간의 서지 임피던스의 비에 따라 방식층-대지간에 케이블 심선-대지간 전압의 약 15% 정도 발생하며 서지성 과전압이 방식층의 충격내전압치를 초과할 경우를 고려하여 방식층을 보호하기 위한 대책이 필요하다. 이를 위한 지중 송전케이블의 방식층에 지락 등에 의한 상용주파 과전압, 뇌서지와 같은 과전압으로부터 설비 보호를 위한 방식층 보호장치가 사용되고 있다. 특히, 154kV 선로의 경우 년 200km 정도의 지중화 계획에 따라 그 수위가 증대되고 있으며,^(1,2,3,4) 연구의 필요성은 점차 대두되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 154kV 방식층 서지 보호장치를 제작하였으며 이를 위한 전단계로서 보호장치에 사용될 ZnO 소자를 제조, 평가하고, 이를 서지 보호장치에 적용하기 위한 보호장치의 외장설계 및 한전 구매시방서에 따른 시험항목을 평가하여 기존의 제품과 비교 분석을 통한 개발품의 적합성을 평가하고자 한다.

2. 본론

2.1 서지 보호장치용 ZnO 소자

본 연구의 방식층 서지 보호장치 제작을 위한 전단계로서 ZnO 소자의 개발은 가장 중요한 요소이며 순수 국산 기술에 의해 만들어졌다. 이 ZnO 소자의 제조는 ZnO-Bi₂O₃-CoO-Sb₂O₃-Cr₂O₃-etc 등의 시료를 일반적인 세라믹 소결공정에 따라 시료를 평량하여 분쇄·혼

합한 후, 조립화하고 그 후 성형화한 소자를 1000℃ 이상의 고온에서 소성한 후 연마하여 전극 및 연면코팅과정을 통하여 제조하였다.

이와 같이 제작된 ZnO 소자는 방전내량이 10kA급으로서 직경 51mm, 높이 25mm로 기존의 외산 제품 ZnO 소자와 큰 차이가 없다. 그림 1은 본 연구에서 제조한 ZnO 소자를 나타내었다.

또한, ZnO 소자의 전기적 특성 및 외형 수치를 표 1에 나타내었으며 소자에 있어서 동작개시전압과 제한전압이 각각 4.75kV, 9.86kV 정도로 154kV 지중 방식층 서지 보호장치에 필요한 전기적 특성을 충분히 가지고 있다^(5, 6).

특히, 동작개시전압의 경우는 외산 제품 ZnO 소자의 전압보다 본 연구에서 제조된 ZnO 소자의 동작개시전압이 약 50V ~ 160V 정도로 낮은 값을 나타내는 것으로 보아 동작성능이 우수한 것으로 판단된다.

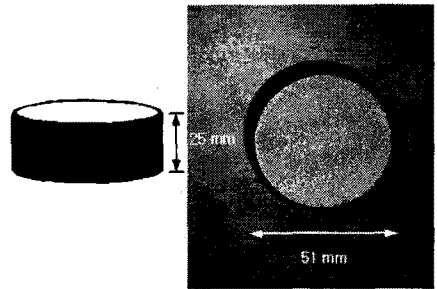


그림 1. ZnO 소자의 사진

표 1. ZnO 소자의 외형 치수 및 전기적 특성

비고	직경 (mm)	높이 (mm)	동작개시전압 (kV)	제한전압 (kV)
ZnO 소자 (10 kA급)	51	25	4.75	9.86

2.2 방식층 서-지 보호장치의 설계

본 연구를 통해 제작된 154kV 방식층 서지 보호장치는 지중 전력 케이블간의 연결체인 접속부의 절연통간의 전력선 시스와 계통 접지간의 연결을 위한 두 가지 형태의 리드선 접속부를 고려하여 설계하였다^(7, 8). 또한, 리드선과의 접속뿐만 아니라 지중이라는 특수한 환경으로 인해 가장 중요한 수밀 특성과 전기적 절연성을 고려하여 154kV 지중 전력 케이블 심선과 대지간의 최대 유도 전압에 대한 대책으로 외부 하우징 소재의 유전장도 및 체적저항과 두께 및 내부 소자의 와인딩을 그에 맞게

설계하였으며 전기적 접속을 향상시키기 위한 전극의 형태도 또한 고려하여 설계하였다. 그림 2는 본 연구에서의 방식층 서지 보호장치 외형 도면을 간략하게 나타낸 것으로 일체형인 I 모델과 II 모델로 설계하였다. 그리고 그림 3은 I 모델의 실제 사진으로서 1차적인 외부하우징 작업을 끝낸 뒤의 형태이며 2차적인 마감 작업을 수행하기 이전 단계의 모습을 보이고 있다.

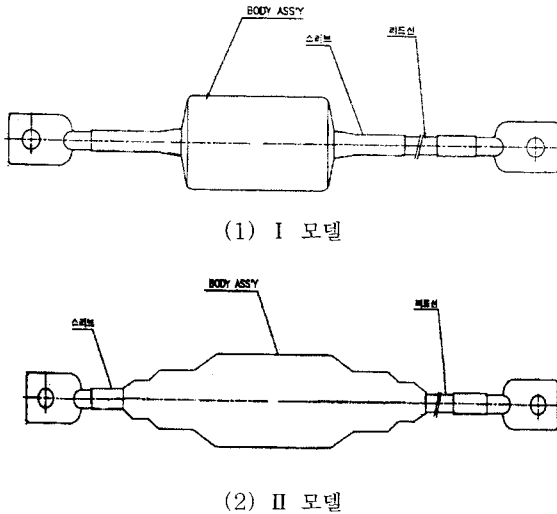


그림 2. 방식층 서지 보호장치의 외형

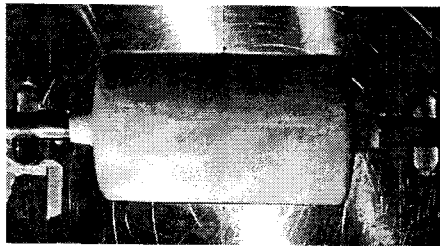


그림 3. 방식층 서지 보호장치의 사진

표 2는 각 시료별 방식층 서지 보호장치의 외형 치수를 각기 다른 시료(A, B)와 비교한 것으로서 본 논문에서 연구·제작된 방식층 서지 보호장치의 외형상 치수는 ZnO 소자가 내장된 중심부의 직경이 65mm로 타사(가, 나)의 제품에 비해 최소 5.8mm에서 최대 10mm 정도로 다소 굵다. 그리고 지중 전력 케이블의 방식층 및 계통 접지와와의 접속 단자부분을 포함한 길이는 210mm로서 다른 시료(A, B)의 것보다 길이가 60mm~70mm정도가 짧다. 또한, 전력 케이블 방식층과 계통 접지간의 접속을 연결되는 리드선 접속부는 다른 시료(A, B)의 경우에 비해 길이가 최소 5mm에서 최대 25mm정도 더 짧도록 제작하였다.

2.3 주요시험 방법 및 평가

본 연구에서 제작된 154kV 지중 방식층 서지 보호장치의 실제 선정에 있어서 그 시험 기준은 한국전력공사의 구매시방서이며 전기적 특성·구조적 평가를 통해 알맞은 특성을 지녀야한다. 시험 항목으로는 구조검사, 동작개시전압시험, 제한전압시험, 충격전류시험, 방전하에서 교류내전압시험, 절연저항시험, 절연성능시험, 내수성능시험 등이 있다^{5, 9, 10)}.

표 2. 각 시료별 방식층 보호장치의 외형 치수

시료 비교	A	B	C
중심부 직경 (mm)	59.2	55	65
몸통 길이 (mm)	270	370	210
접속부 길이 (mm)	85	105	80

본 논문에서는 동작개시전압, 뇌충격 제한전압시험, 충격전류시험 등에 대한 시험을 평가하여 시료(A, B)와 비교하였으며 그에 대한 시험방법에 대하여 다음과 같이 간단히 서술하였다.

동작개시전압시험은 양단의 접속 단자에 직류 또는 교류전압을 인가하여 저항분 전류의 파고치가 1mA일때의 단자전압을 말하며 그 값이 3.6kV~5.5kV이내이어야 한다. 또한, 뇌충격 제한전압시험은 국제규격의 8/20 μ s 표준 전류시험 파형으로, 10kA, 14kA, 21kA의 충격전류를 5회씩 인가한 후 방식층 서지 보호장치 양단자간의 전압으로 V-I 곡선을 작성할 때, 21kA시의 단자전압이 14kV이내이어야 한다. 충격전류시험은 접속단자 한쪽을 접지하고 반대편 접속단자에 표준 전류시험 파형이며 파고치가 18kA이상인 충격전류를 일정시간 간격으로 100회 인가한 후 동작개시전압시험 및 제한전압시험을 재 시행하여 이상 없어야 하며 산화아연소자에 사용상 유해한 손상이 없어야 한다. 방전하에서의 교류내전압시험은 1400V를 인가한 상태에서 표준 전류시험 파형이며 파고치가 10kA인 충격전류를 1분 간격으로 5회 실시한 후 동작개시전압시험 및 제한전압시험을 재 시행하여 이상이 없어야 하고 ZnO 소자에 사용상 유해한 손상이 없어야 한다. 내수성능시험은 수온 50 $^{\circ}$ C, 계기압 2kg/cm \cdot G의 수중에 24시간동안 담근 후 상압상온의 수중에 20분간 담그는 시험을 5회 반복한 후 동작개시전압시험 및 제한전압시험을 실시하여 이상이 없어야 한다.

① 동작개시전압시험

표 3은 본 연구에서 제작된 방식층 서지 보호장치의 동작개시전압의 측정값을 나타내었으며 다른 시료(A, B)의 측정값과 비교하였다. 표 3에 나타난 바와 같이 동작개시전압이 4.8kV로서 시험규정에 적합한 수치를 나타내었으며 시료(A)에 비해 100V 이상 낮아 기존의 시료보다 더 좋은 동작성능을 나타낼 것으로 기대된다.

표 3. 시료별 동작개시전압시험 비교

시료	시험기준		시험결과 (kV)
	시험전류 (DC-mA)	동작개시전압범위 (DC-kV)	
A	1	3.6~5.5	4.91
B			4.8
C			4.8

② 제한전압시험

표 4는 21kA의 표준 충격전류를 방식층 서지 보호장치에 인가하였을 경우에 측정된 제한전압치를 나타낸 것으로 다른 시료(A, B)의 경우, 각각 10.70kV~10.85kV와 11.45kV~11.59kV의 측정값을 보였고 본 연구에서 제작한 방식층 서지 보호장치는 10.34k

V~10.82kV로 시험규정에 알맞은 특성값을 나타낼 뿐만 아니라 다른 시료(A, B)의 경우보다 낮은 제한전압값을 나타내었다. 이 측정값들을 통해 본 연구에서 제작된 방식층 보호장치가 기존의 제품보다 서지 흡수가 다소 우수하여 계통의 안정성에 보다 더 기여할 것으로 기대된다.

표 4. 시료별 제한전압시험 비교

시 료	구분	시험전류 (kA)	제한전압 (kV)
A	1회	20.56 ~ 21.28	10.70 ~ 10.85
	2회		
	3회		
	4회		
	5회		
B	1회	21.28 ~ 21.76	11.45 ~ 11.59
	2회		
	3회		
	4회		
	5회		
C	1회	20.79 ~ 21.57	10.34 ~ 10.82
	2회		
	3회		
	4회		
	5회		

③ 충격전류시험

전술한 동작개시전압시험과 제한전압시험 등과는 달리 충격전류시험은 구조적인 내구성 시험으로서 충격전류로 인해 발생하는 열을 어느 정도까지 견디는 것에 관련이 있다고 하겠다. 표 5는 회간의 간격을 5분으로 정극성으로 100회의 표준 충격전류를 인가한 후 측정된 제한전압과 동작개시전압으로 시료(A, B)의 경우와 비교한 것이다. 표 5에서 나타난 바와 같이 확인 시험인 동작개시전압 및 제한전압 측정값이 모두 규정치에 알맞은 값으로 나타내었고 기존의 제품과의 특성값들이 거의 차이가 없었다.

표 5. 시료별 충격전류시험 비교

시 료	동작개시전압 (DC-kV)	제한전압시험		시험결과
		충격전류 (kA)	제한전압 (kV)	
A	4.9	21.44	10.5	양호
B	4.9	21.52	10.4	양호
C	4.9	21.02	10.5	양호

3. 결과 및 고찰

본 논문에서는 현재 송전 방식에서 점차 그 비중이 증대되는 지중 송전의 필요성으로써 154kV 계통에서의 방식층 서지 보호장치를 제작하여 전기적·외형적 특성들을 평가하였다. 그리고, 이에 앞서, 본 연구에서 제작한 방식층 서지 보호장치에 사용된 ZnO 소자를 국내 기술로 제작하여 이에 대한 전기적·구조적 데이터를 개략적으로 제시하였다.

또한, 서지 보호장치의 전기적·구조적인 설계에 있어서 외장고무의 두께 및 전기적 절연성, 기계적 강도와서지 보호장치의 전기적 접속 등을 고려한 설계를 행하

였고 타사와 비교하여 제시하였다.

한전 구매시방서에 따른 평가를 통해서 타사의 기존 제품과 본 연구 제작에 의한 방식층 서지 보호장치에 대해 비교 검토한 결과, 동작개시전압은 약 4.8kV로 다른 시료(A, B)에 비해 낮은 결과값을 나타내어 기존의 제품보다 더욱 향상된 동작성능을 보일 것으로 기대되었으며, 또한, 제한전압시험에서는 기존의 다른 시료(A, B)에 비해 다소 우수하여 계통의 안정성에 기여할 것으로 기대되었다. 충격전류시험 결과에서는 당초 다른 시료에 비해 두꺼운 하우징으로 인하여 충격전류 인가시에 ZnO 소자의 동작에 기인한 열로 서지 보호장치가 파열될 것으로 우려하였으나 그러한 결과는 나타나지 않았으며 확인시험 결과 모든 면에서 적합한 결과를 얻었다.

이밖에 다른 특성시험인 방전하에서 교류내전압시험, 절연저항시험, 절연성능시험, 내수성능 등은 차후 계획·진행중이며 특히 절연성능시험과 내수성능시험 과정에서의 보다 정확한 평가 및 개선방향을 모색하기 위해 본 연구 제작에서 제시한 I 모델과 II 모델로서 두 시험들을 병행하여 측정값을 비교·검토한 후 그 결과 등을 차후 논문을 통해 제시할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구.
- [2] 이종범 외 3명, "지중송전계통의 방식층 보호장치 결선 방식에 대한 뇌써어지 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, PSP33, pp1018-1020, 1997.
- [3] 한국전력공사, "지중송전 케이블의 써어지 보호 대책에 관한 연구", 1993. 6.
- [4] 김정년 외 4명, "CCPU연결방식의 혼용에 따른 뇌 써어지 해석", 가공송전선 기술세미나, LG산전.
- [5] 한국전력공사 구매시방서, "154kV용 절연통 보호장치".
- [6] 한국전력공사, "전력용 피뢰기", ES-153-261-283, 1998
- [7] "초고압 지중 OF 케이블 접속재 국산화 및 접속공법에 관한 연구II"
- [8] B. Gustavsen, J. Sletbak, "Transient Calculations on Crossbonded Cables", IEEE. Trans. PAS. No. 4, pp779-787, April 1983.
- [9] 김석수 외 2명, "154kV 지중케이블 절연통 보호장치의 기본특성 평가", 한국전기전자재료 학회 하계학술대회 논문집, pp604-607, 2000.
- [10] 김석수 외 2명, "지중케이블의 절연통 보호대책 및 방식층 보호장치의 특성", 한국전기전자재료 학회 춘계학술대회 논문집, 2001.