

22.9 KV-y 배전선로용 전선보호관 전개강도 비교실험 연구

*전영갑 서길수 차기식
한국전기연구소 충남대학교

A study on the electric field strength of the insulation cover using 22.9 KV-y distribution line

Y.K. Chon K.S. Seo K.S. Cha
Korea Electrotechnology Research Institute Chungnam University

Abstract - There are many electrical accidents between bare wire and line post insulator which is degraded by long time using, causing leakage current on the surface of insulator. In this paper it is presented that the 22.9 Kv-y distribution lines are protected by binding cover which is needed from fog or rainy moisture, surges occurring by switching or lightening pulse. It is analyzed to investigate the unbalanced transfer characteristics and reflection coefficient by using binding cover and non-cover. It was tested the radio interference voltage in the test room and electric field strength by calculation between binding cover and non-cover. In the factory the leakage current causing on the surface of insulator was tested in the state of light load and heavy load.

1. 서론

22.9 KV-y 가공 배전선로에서 전선을 지지할 목적으로 사용되는 애자류 및 전선을 보호할 수 있는 장치가 없이 나전선 및 절연전선에 바인딩선을 감아 놓으므로써 바인딩선이 이탈되거나, 전선과 애자가 풍우(風雨)에 의한 경년 변화를 일으켜 부식 손상되므로써 바인딩 선을 통하여 누설전류가 발생되거나 조류(鳥類)에 의한 접지 사고를 일으키는 물론 애자와 전선 사이에 RIV(Radio Interference Voltage)가 발생되어 최근에 많이 사용되어지고 있는 무선통신 시스템에 직 간접적으로 장애를 일으키고 있다. 본 논문에서 제시하고자 하는 전선 보호관 시료는 전선과 애자 사이에 일정한 바인딩 감기를 수취함에 의거 바인딩 작업을 수행할 수 있도록 함으로써 써지 파형에 의한 진행파의 반사와 부가에 따른 집중 임피던스를 균형있게 해 줄 수 있고, 그 진행파의 파형을 약화시킬 수 있다는 이론적 근거를 제시하였다. 그리고 실제 22.9 KV-y 배전선에서 발생하는 RIV 제거 방법으로 선로에 전선보호관을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 경우에 대한 전개강도 비교 실험 데이터를 도출한 결과를 이용하여 실제 공장부하를 이용하여 보호관을 부착시켰을 때와 부착시키지 않는 상태에서 측정된 대지 간 누설전류의 변화 상태를 측정하였다.

2. 선로 특성

본 연구에서 사용된 시료는 현재 22.9 KV-y 배전선로에서 사용되고 있는 PE(가교폴리에틸렌)의 일종으로 지지애자를 중심으로 일정한 규격으로 바인딩 시킬 수 있는 것으로, 애자를 중심(접지 포인트)으로 하여 배치된 L성분을 균형시킬 수 있고, 전선보호관과 지지애자 사이에 일정한 C(캐패시턴스)성분을 균형있게 배열시킴으로써 절연전선 및 시료의 R(레지스턴스)과 함께 R-L-C회로의 합성임피던스를 접지측인 애자를 중심으로 평형된 임피던스를 구성시킬 수 있도록 하였다. 이에 대한 이론적인 해석을 간단히 살펴보면, 선로에 인가되는 전압, 전류는 선로가 진행파로 전파되어 가는 데, 선로의 도중에 불연속점(전선 및 애자의 劣化)이 있으면 진행파의 일부는 반사되고 나머지는 투과된다. 불연속은 선로의 정수(파동임피던스)가 바뀌어지기 때문에 생길 수도 있고, 직렬 또는 병렬 임피던스가 삽입되어 불균형 상태로 되었을 때 생길 수도 있다. 집중임피던스를 삽입하는 것은 진행파의 파형을 일정하게 하고 또는 그 세력을 약하게 하여 기기를 보호하기 위하여 행

하여진다. 여러 가지 형상의 진행파가 분포정수상을 진행할 때 생기는 선로의 전파속도 $C = 1/\sqrt{LC}$ 가 되며, 파동임피던스 $Z = \sqrt{L/C}$ 로 보면 진행파의 시간적 변화에 따른 크기는 식 (1)과 같다. (1)(2)

$$v = V (e^{-at} - e^{-bt}) \quad (1)$$

(a, b는 파형에 관한 정수)

여기서 일정한 전압 V가 인가 될 때 반사파 전압 $v_1(t)$ 와 투과파 전압 $v_2(t)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$v_1(t) = V \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} [1 - e^{-\beta t} \sin \omega t + \cos \omega t] \quad (2)$$

$$v_2(t) = V \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} [1 - e^{-\beta t} \cos \omega t] \quad (3)$$

위의 식에서 알 수 있듯이 삽입된 임피던스가 평행될 때 ($Z_1 = Z_2$) 일 때 입사파 및 투과파 전압이 최적이 되어 진행파를 흡수시킴을 알 수 있다. (3)(4)

본 시료의 사양 및 전기적 특성은 다음과 같다.

- 재질 : 가교 폴리에틸렌 계열
- 길이 : 800 mm (표면에 바인딩용 수취구 홈 돌기)
- 두께 : 4 mm
- 물리적 특성
 - 유전율 : 3.3 ~ 4.5 % (10^9 Hz)
 - 절연내력 : 16 ~ 20 (KV/mm)
 - 체적저항율 : $10^{11} \sim 10^{15}$ ($\Omega \cdot \text{cm}$)
 - 손실율 : 0.04 ~ 0.14 (10^6 Hz)

3. RIV 실험

본 시료에 대한 RIV(Radio interference Voltage)시험을 수행하였는데 그 시험회로는 그림 1과 같고 시험 결과는 표 1과 같다. 표 1에서 알 수 있듯이 기존 사용품은 시험전압 22(KV)를 인가하였을 때 RIV치가 39.8 (μV)인 반면 전선 보호관 체부분은 1 (μV)이하로 현저하게 저하됨을 알 수 있었다.

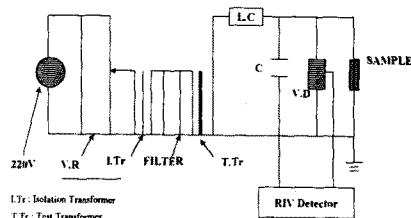


그림 1. RIV 시험회로

표 1. RIV 시험 결과표

시험조건 : 22°C 64 * 1024 hPa

시료	시험전압(KV)	측정주파수(MHz)	규제치(μV)	결과(μV)
기본 사용품 # 1	22	1	100이하	39.8
전선보호관 # 1				1이하
체부품 # 2				1이하

4. 전계강도 계산

Flux-2D는 프랑스의 한 연구 그룹인 'Modelisation et CAO of the Laboratoire d'Electrotechnique di Grenoble'에서 개발한 전자장 해석을 위한 computer package이다. Flux-2D는 2차원 전자장 현상을 평면과 축대칭면에서 해석하기 위한 software이다. 이것은 정전계, 정자계, 전자계에서의 동특성, 과도현상, 온도의 정상 및 과도특성, magneto-thermal 및 electro-thermal 등의 해석을 할 수 있으며, 온도에 대한 해석이 가능한 것은 전자계의 방정식과 온도 문제의 방정식의 구조가 거의 비슷하고 경계조건만이 다르기 때문이다. 이것은 FEM의 보편성을 나타내는 것이기도 하다. 또한 전자계 해석의 각 module에서 사용자와의 대화는 모두 전기공학적인 용어와 단위를 사용하고 있으며, 온도문제해석은 열전도도, 열역학적인 용어와 단위를 사용하고 있다. 그림 2, 3, 4는 좌표 (r=26, z=223) -> (r=251, z=223)에서의 Linepost 애자에 설치된 전선보호관과 나선선의 전계강도를 비교한 것이다. 전선보호관을 설치했을 때 Linepost 애자부근에서 전계강도가 많이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이로 인하여 ACSR단 설치되어 있을 때 보다 corona가 발생하지 않게 되어 누설전류가 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

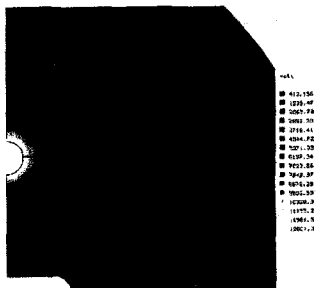


그림 2. 전선보호관을 설치하지 않았을 때의 동전위 분포

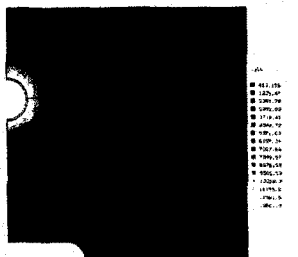


그림 3. 전선보호관을 설치했을 때의 동전위 분포

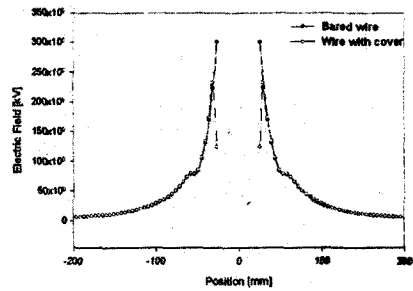


그림 4. Calculation curve of Electric Field Strength

5. 누설전류 측정

본 연구에서는 시료인 전선보호관을 삽입하여 바인딩 하였을 때와 기존 바인딩법과를 비교한 누설전류 크기를 측정하였다. 직접 접지계통에서 발생하는 유도전류가 오손된 애자의 표면으로 흐르고 있다는 사실은 22.9 (KV-y) 직접접지 계통에서는 애자와 나선 자체의 절연내력을 강화시킴과 동시에 집중임피던스를 접지점을 중심으로 평형되게 배치할 필요성이 있다. 그림 5는 측정회로도 두 애자의 핀 볼트에서 전선을 공통선으로 묶은 후 그 전단에 일정간격으로 HIOKI(3283)계 접지선 누설전류 측정기를 이용하여 그 전류크기를 Recorder(요코가와제)로 그 변화되는 전류치를 기록하였다.

Measuring Circuit for Leakage Current

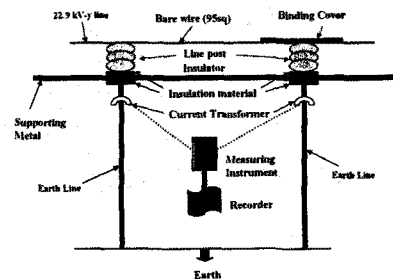


그림 5. 접지선 누설전류 측정회로도

그림 6은 경부하 (22.9kV-y Line current 2 Ampere) 및 중부하 부하시 ((22.9kV-y Line 4 A)가 인가되었을때의 누설전류치를 나타낸 것으로 보호관이 있는 나선(95 sq)에서 흐르는 접지전류가 같은 전선에 보호관이 있는 경우의 누설전류치 보다 30~50(%) 정도 적게 나타남을 알 수 있었다. 본 실험은 22.9 Kv Line을 받는 경남 소재 xx 공장에서 측정된 데이터로써 변압기 2차측 전류가 200(A)정도흐름을 확인하였으므로 선로에 흐르는 전류는 2(A) 정도의 중부하 전류가 흐르는 경우로 나선 상태에서의 접지선 전류가 0.45~0.75(mA)로 변화될 때, 보호관을 삽입한 나선선에는 0.35~0.55(mA)의 전류가 흐름을 알 수 있었다. 따라서 접지선 누설전류가 25~30(%)정도 감소됨을 알 수 있었고, (이때 주위온도22°C, 습도 49%) 선로에서 흐르는 전류가 1(A)정도의 경부하 전류가 흐르는 경우 나선상태에서의 접지선 전류가 0.14 ~ 0.15(mA) 변화되었을 때 보호관을 삽입한 나선선에는 0.08 ~0.09(mA)의 접지선 누설전류가 흘러, 약 45~50(%)정도 감소됨을 알 수 있었다. (이때 주위온도 19°C, 습도 41%)

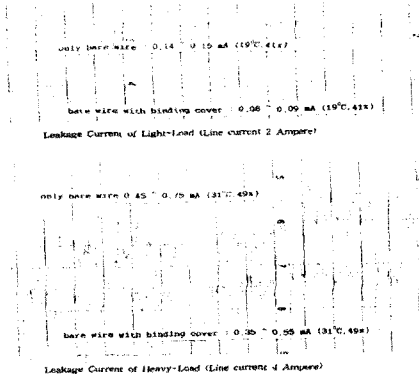


그림 6. 경부하 및 중부하 시 누설전류 곡선

6. 인공오손시험(Salt-fog Test)

염진에 시험은 모의로 실험할 수 있는 인공오손 시험장에서, 염도 160 (kg/cm³), 밀도 1104.5(kg/cm³)의 Salt-fog 상태에서 정격 전압 이상을 인가하여 Flashover가 발생되어 단락될때 까지 전압을 인가하여 그 섬락전압을 구한다. 표 2는 인공오손시험 결과를 나타낸 것으로 전선보호관을 삽입한 시료 5개를 실험한 결과 평균 섬락전압 35 (KV)이상임이 밝혀졌다. 이와 같은 섬락전압은 22 (KV) 정격전압을 60(%)까지 상회한 것으로 인공오손 실험 상태에서도 그 절연내력이 상당함을 알 수 있었다. 본 실험 중 참고시험으로 기존 사용되고 있는 바인딩 법에서 인공오손 상태의 실험 결과 그 섬락전압이 12 ~ 15 (KV)에서 Flashover됨을 관찰 할 수 있어, 본 전선보호관 시료에 의한 바인딩법에 그 절연내력에서 2배 이상의 강도를 가지고 있음을 알 수 있었다.

표 2 인공오손 시험 데이터

시험조건 온도 : 22°C, 습도 51 %, 1012 mbar

시 료	섬락전압 (KV)	염도(Kg/cm ³)	밀도(Kg/cm ³)
전선보호관	35.0 이상	160	1104.5
	33.9		
	31.7		
	35.0 이상		
	35.0 이상		

이상의 각종 실험을 통하여 밝혀진 사항을 종합하여 볼 때, 22.9Kv-y 선로에서 투과파 및 반사파에 대한 평행임피던스를 해결 하려면 애자와 전선사이에 전선보호관 삽입이 필요함을 알 수 있었고, RIV(Radio Interference Voltage)와 전계강도 크기와 상호 연계성이 있음을 알 수 있었다. 즉 전선 보호관을 부착한 경우 기존의 경우보다 RIV치가 근 40배로 줄어들었다는 사실과, 전계강도에 대한 계산치도 전선 보호관을 부착한 경우 기존의 경우보다 근 3배이상 줄어든 사실을 확인할 수 있었다. 염진에 의한 인공오손시험인 경우에도 전선 보호관을 부착한 경우는 기존의 경우보다 근 2배이상 섬락전압을 견디어냄을 알 수 있었고, LP 애자와 대지 간의 점지전류도 전선보호관을 부착한 경우는 기존의 경우보다 30 ~ 50(%)이상 감소됨을 알 수 있었다.

이상의 실험결과를 종합하여 표 3에 그 결과를 제시하여 놓았다.

표 3 연구실험 결과표

구분 실험항목	기존 방법의 경우	보호관을 부착시킨 경우
RIV 실험	39.8 (μV)	1 (μV)이하
누설전류실험	0.14~0.15(mA) (Line Current: 1A) 0.45~0.75(mA) (Line Current: 2A)	0.08~0.09(mA) (Line Current: 1A) 0.35~0.55(mA) (Line Current: 2A)
인공오손실험	섬락전압: 31~35(KV)	섬락전압: 12~15(KV)
전계강도측정	300 KV/m (애자 중심측)	100 KV/m (애자 중심측)

7. 결론

본 연구에 대한 연구 결과 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 선로의 진행과에 대한 집중임피던스를 삽입시켰을 때 접지점을 중심으로 평행상태를 유지시키는 전선보호관은, 선로의 반사파와 투과파를 감쇄시킬 수 있는 역할을 할 수 있다.
- (2) RIV(Radio Interference Voltage) 실험 결과 기존의 바인딩 방식에서 측정된 RIV치가 39.8 (μV)인 반면 본 시료인 전선보호관을 사용하였을 때 1(μV)이하로 근 40배 이상의 감쇄효과를 가져올 수 있다.
- (3) 본 시료에 대한 전계강도 계산 결과 애자를 중심으로 나선 자체의 전계강도가 300(KV/m)인 반면 전선보호관을 부착시켰을 때 100(KV/m)로 낮아진다는 사실을 알 수 있었다.
- (4) 본 시료에 대한 인공염진에 시험 결과 선로정격전압인 22(KV)보다 60 (%) 이상인 35 (KV)까지 절연내력을 견딜 수 있으며, 기존 바인딩 방식보다 2배이상 절연내력 효과를 얻을 수 있었다.
- (5) 본 시료를 사용하였을 때는 기존 바인딩 보다 LP 애자 1 포인트에서 30 ~ 50(%) 배의 점지선 누설전류를 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

따라서 기존 사용되고 있는 바인딩 방법과 본 전선보호관 부착에 따른 비교실험을 실 배전선로의 실증실험을 통하여 확인할 필요가 있으며, 본 연구에 대한 경제성 평가가 면밀히 이루어지면 전력손실에 대한 막대한 에너지 절약을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

<본 연구내용은 2000년도 중소기업 기술혁신과제인 "22.9 Kv-y ACSR 배전선로 누설방지를 위한 전선보호관 개발"의 일부임을 밝혀둡니다.>

참 고 문 헌

- (1)정성계, 김준현 "과도현상론" 문운당 P 309~331
- (2)전춘생 "방전.고전압공학" 동명사 P 313-314
- (3)전영갑 외 2인 " 22.9Kv 배전선로 통신유도 장해전압(RIV)감소대책에 관한 연구" 대한전기학회, 1998, pp 1670-1674
- (4)전영갑 외 2인 " 22.9 Kv-y 배전선로 유도전류 감소 대책에 관한 연구" 대한전기학회, 방전 및 고전압 연구회 1998, pp158-162