

22.9kV 배전계통 CNCV 케이블 동심중성선에 발생하는 순환전류 문제점 및 대책

Problems and solution for the circulation current at the neutral line
in the 22.9kV CNCV cable distribution system.



글 _ 전명수(No. 45) | (주)신우디엔시 일렉연구소 소장
(제4회 전력기술 진흥대회 산업포장 수상)

Abstract

우리 나라의 전력 계통에 있어 22.9kV-y 배전 방식은 변전소로부터 배전 선로를 통해 대도시 중심부 등 사람의 왕래가 빈번한 곳이나 신도시 지역 등에 지중 케이블로 전력을 공급하고 있으며 선로 운영상 배전 선로의 중성선을 일정 구간마다 3선 일괄 접지하는 다중 접지방식을 채택하고 있다. 이러한 다중 접지방식은 동심 중성선을 대지에 직접 접지하기 때문에 지락 사고시 건전상의 전압 상승이 적어 전력 설비의 절연 및 지락 전류의 검출이 용이하고 보호 계전기 등이 신속하게 동작한다. 계통 사고 등으로 인하여 동심 중성선의 전위가 상승되는 것을 방지하고자 케이블 접속 구간마다 동심 중성선을 일괄 접지하는 방식으로 배전 계통을 운영하고 있다.

이는 지락 사고시에는 동심 중성선의 대지 전위 상승을 일정값 이하로 제한하여 안전하게 유지하기 위해서이다. 그러나 지중 배전 선로에서 각 상(A, B, C상)의 부하가 불평형이

되는 것은 물론 평형일 경우에도 동심 중성선에는 부하 전류에 41.5%(전력구)~51.6%(관로)의 동심 중성선 순환 전류가 발생되고 있기 때문에 순환전류로 인한 손실이 도체 손실의 76%에 달하며, 이러한 손실 전력으로 케이블의 내부 온도가 상승되어 케이블의 전류 용량이 관로의 경우 20% 정도 감소하게 된다. 본 연구는 이같은 문제점을 해결하는데 목적이 있다.

1. 서 론

최근에는 전 세계적으로 심각한 에너지 위기에 직면하고 있으며 특히 우리나라는 에너지 자원의 95%이상을 외국에 의존하고 있는 것이 현실이며, 22.9kV-y 배전 방식은 변전소로부터 지상 및 지하에 매설된 배전 선로를 통해 공장·빌딩 등 비교적 규모가 큰 수용자에게 직접 전력을 공급하거나 2차 변압기를 통해 소규모 공장 내지 일반 가정에 전력을 공급



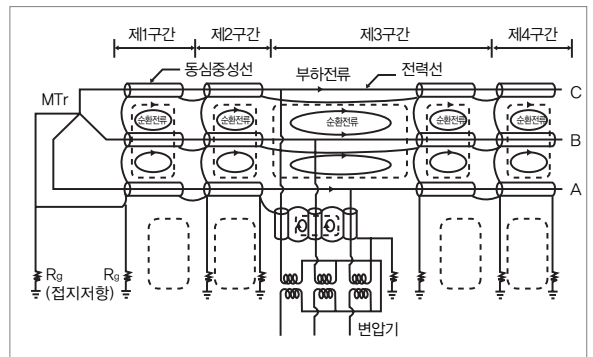
하는 주요 간선으로서, 도시 외곽 또는 농어촌 지역의 경우 가공선 형태로 대도시 중심부 등 사람의 왕래가 빈번한 곳이나 신도시 지역 등에서는 도시 미관을 고려하여 지중으로 전력을 공급하고 있으며, 선로 운영상 배전 선로의 중성선을 일정 구간마다 접지하는 다중 접지방식을 채택하고 있다. 이러한 다중 접지방식은 동심 중성선을 대지에 직접 접지하기 때문에 지락 사고시 건전상의 전압 상승이 적어 전력 설비의 절연 및 지락 전류의 검출이 용이하고 보호 계전기 등이 신속하게 동작한다.

그러나 계통 사고 등으로 인하여 동심 중성선의 전위가 상승되는 것을 방지 하고자 케이블 접속 구간마다 동심 중성선을 일괄 접지하는 방식으로 배전 계통을 운영 하고 있다. 이는 고압과 저압을 공통으로 사용함에 따라 평상시에는 불평형 부하전류를, 지락 사고시에는 동심 중성선의 대지 전위 상승을 일정값 이하로 제한하여 배전 계통을 안전하게 유지하기 위해서이다. 그러나 지중 배전 선로에서 각상(A, B, C상)의 부하가 불평형이 되는 것은 물론 평형일 경우 예도 동심 중성선에는 부하 전류에 비례하는 동심 중성선 순환 전류가 발생되고 있기 때문에 불필요한 손실전력이 발생하며 이러한 손실전력으로 케이블의 내부 온도가 상승되어 케이블의 전류 용량이 감소한다. 또한 케이블 혹극온 메타로 전류 측정시에는 배전선의 실제 부하전류와 동심 중성선의 순환전류가 벡터합성값으로 나타나기 때문에, 실제 전류값 보다 적게 나타나므로 부하관리에도 어려움이 많이 발생된다.

3선을 단락시킨 중성선 상호간에는 유기전압을 단락시키는 순환전류가 흐르며, 그 값은 아래와 같다.

【표 1】 김복현 논문 DATA (1978.6)

도체굵기	배열방식	부하전류	중성 경전류	손실률	
200mm ²	관로식	102	39	0.42	
		121	45	0.41	
	암거식	108	39	0.38	
		210	72	0.35	
	325mm ²	관로식	117	59	0.73
			140	73	0.77
175			88	0.73	
204			104	0.75	
222			122	0.86	
235			119	0.74	
암거식	암거식	135	61	0.58	
		149	68	0.59	
		156	73	0.63	
		175	81	0.62	
		197	95	0.67	
		240	115	0.66	
		241	110	0.60	

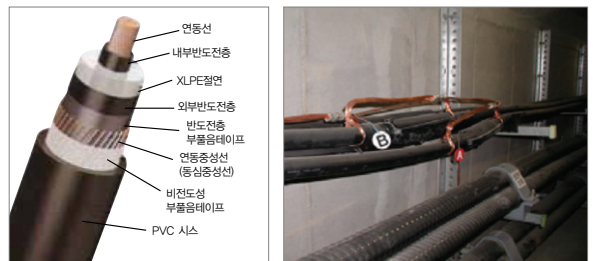


【그림 1】 현재의 공급계통

2. 본 론

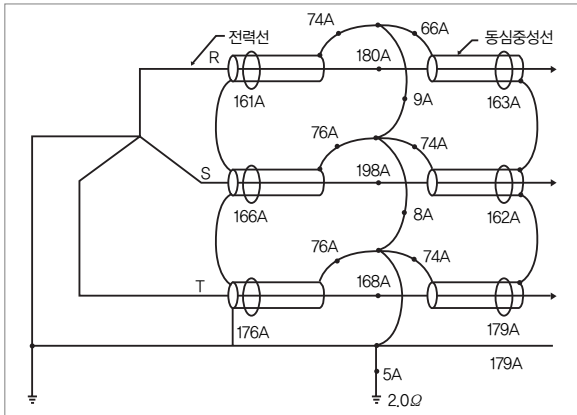
2.1 동심중성선 순환전류 발생원인 및 현장 측정값

현재 사용중인 22.9kV-y 다중접지계통에 사용하는 CNCV 케이블은 전력선 도체에 흐르는 부하전류에 의해 도체를 둘러싸고 있는 동심중성선에 전자유도에 의한 유기전압이 발생되고 A, B, C 3상을 단락시킨 후 일괄 접지하므로 접지선에는 A, B, C상의 합성 전류가 접지선을 통하여 흐르게 되지만



【그림 2】 전력구 CNCV 케이블 구조 및 포설

- 가. 측정장소: 154kV 원남 S/S 서울대 #2 D/L (22.9kV-Y)
- 나. 측정개소: 원남 S/S 인출 전력구 (케이블, 접속점온도 32~34℃)
- 다. 선 중: CNCV 325mm²

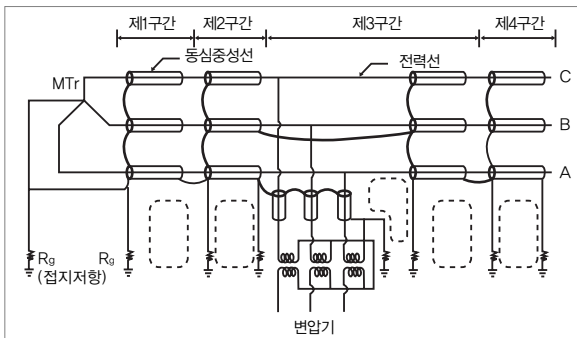


【그림 3】 실제측정 도면 및 측정값

2.2 해결방안

2.2.1 기설치된 시설

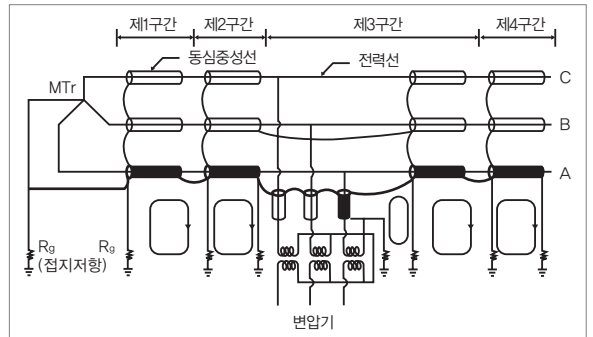
22.9kV-y 다중접지 계통의 CNCV 케이블 동심중성선을 시작점은 3선 일괄 접지하고 종단점 1상을 중성선으로 사용하면서 접지하고 2상은 개방하여 비접지로 하여 순환 회로는 차단되나 다중 접지 계통에는 변화가 없다.



【그림 4】 기설치된 시설

2.2.2 신증설 시설

임의 1선을 동심 중성선 전용 케이블로 사용하고 피복 색깔을 차별화(백색 등)하여 중성선으로 연속접지하고 나머지 2선의 시작점은 3선을 일괄접지하고 종단점을 개방하여 사용하므로 현장운용상 혼선 없이 용이하게 시공할 수 있다.



【그림 5】 신증설 시설

2.3 동심중성선 순환전류 제거에 따른 효과

2.3.1 허용전류 증가에 따른 이용률 증가

【표 2】 허용전류 및 이용률 비교표

규격	허용전류		이용률 증가(%)	비고	
	현재	비일괄접지			
CNCV 325mm ²	관로 (요람배열)	602	727	20.76	평균증가율 18%
	전력구 (3각배열)	622	726	16.72	

■ 상시허용전류 I_p (배전 지중 설계기준 5900 부록)

정상상태에서 도체 온도가 최고 허용온도로 유지하도록 허용하는 100% 부하율의 연속 허용 전류를 말한다.

$$I_p = \left[\frac{\Delta Q_p + w_a(T_{1/2} + T_2 + T_3 + T_4)}{rT_1 + nr(1 + \lambda_1)T_2 + nr(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{1/2} \dots \text{①식}$$

ΔQ_p = 도체온도 상승분

w_a = 유전체손실 [w/m]

r = 교류도체실효저항 [Ω/m]



- λ_1 = 도체손실과 시스손실비[w/wc]
- λ_2 = 도체손실과 아모아손실비[wa/wc]
- W_s = 시스손실[w/m]
- W_c = 도체손실[w/m]
- W_a = 아모아손실[w/m]
- T_1 = 도체와 시스간의 열저항[°C-m/w]
- T_2 = 시스와 아모아간의 열저항[°C-m/w]
- T_3 = 케이블 외피의 열저항[°C-m/w]
- T_4 = 케이블 표면에서 관로내부까지의 열저항[°C-m/w]
- T_4' = 관로자체의 열저항[°C-m/w]
- T_4'' = 관로의 외부 열저항[°C-m/w]
- $T_4 = T_4' + T_4'' + T_4'''$
- w_k = 타 케이블에서 발생한 총손실
- $k = 1 \dots \dots NC (K \neq P)$
- NC = 케이블 회선수 혹은 관로수
- n = 심선수

22kV CNCV 케이블의 경우 λ_1 와 T_2 는 고려하지 않으며, 심선수 n은 1이다.

【 계산조건 】

- 도체의 온도상승 $\Delta Q_p = 50 (90-40)$ 로 보고 계산한다.
- λ_2 와 T_2 는 고려하지 않는다.
- n은 1로 한다.

위의 조건을 고려하여 ①식을 간략화하면

$$I_P = \sqrt{\frac{50 - w_d(T_1/2 + T_3 + T_4)}{r[T_1 + (1 + \lambda_1)(T_3 + T_4)]}} \dots \dots \dots \text{②식}$$

- CNCV 케이블 325 mm²
- 동심중성선 108 mm²

▣ 동심 중성선에 45%의 순환전류 흐를때 식 ②에서 케이블 외부조건을 동일 조건이므로 고려하지 않을 경우 허용전류 I_P

$$I_P = \sqrt{\frac{50 - w_d(\frac{T_1}{2} + T_3 + T_4)}{r\{T_1 + (1 + \lambda_1)(T_3 + T_4)\}}}$$

$$T_1 = \frac{\ell_1}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1} = 42.2$$

$$T_3 = \frac{30 \times \ell_3}{\pi d_5 \times 2.16} = 76.5$$

$$T_4 = \frac{8 \times \eta_3}{2\pi} \times \ln \left\{ \frac{2x_L}{D} + \sqrt{\left(\frac{2x_L}{d}\right)^2 - 1} \right\}$$

- η = 지하수 기하에 따른 열저항 감소율(0.35)
- L = 전력구 중심까지의 매설깊이[cm] (120+H) · 225
- D = 전력구 등가직경[cm] $\sqrt{\text{높이} \times \text{직경}}$ (214)
- g = 토양의 고유열저항 [°C-cm/w] (100)
- ℓ_1 = 절연체의 고유열저항 (450)
- d_2 = 절연체 외경(반도전층 포함 39.1)
- d_1 = 도체외경 (21.7)
- ℓ_3 = 표면방산 고유저항 (900)
- d_5 = 케이블 외경 (52.0)

$$\begin{aligned} I_P &= \sqrt{\frac{50 - 2.144 \times 10^{-4} (42.2/2 + 76.5 + 7.656)}{7.4839 \times 10^{-7} \{42.2 + (1 + 0.545)(76.5 + 7.656)\}}} \\ &= \sqrt{\frac{49.977 \times 10^7}{1288.88}} \\ &= 622[A] \end{aligned}$$

▣ 도체 손실과 동심중성선 손실비 λ_1 은

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{I_s^2 r_s}{I^2 r} = \frac{(0.451)^2 \times 2.0176 \times 10^{-6}}{I^2 \times 7.4839 \times 10^{-7}} \\ &= 0.545 \end{aligned}$$

계속