

국내 지중송전선로 포설형태와 시스순환전류와의 상관관계 검토

김남열\*, 정채균, 이종범, 윤양웅  
원광대학교

강지원  
한전 전력연구원

A Study on the Correlation between Sheath Circulating Current and Installation Type of Domestic Underground Transmission Power Cables

Nam-Yoel Kim\*, Chae-Kyun Jung, Jong-Beom Lee, Yang-Woung Yoon  
Wonkwang University

Ji-Won Kang  
KEPRI

**Abstract** - In this paper, installation type is analyzed into a single and mixed burying type on burying situation of domestic underground transmission cables, and problem of underground cable is discussed with investigating the relation between burying type and sheath circulation current. Investigated cable systems are 520 T/L which have 512T/L for 154kV and 8T/L for 345kV. The authors consider that the analysis of sheath circulating current with burying type will contribute for setting reduction methods of sheath circulation current.

널식 전류구의 형태로만 이루어진 단일포설형태에 비해 혼합포설 형태가 72%로 더욱 많은 비중을 차지하고 있다. 그림 2에서는 단일포설형태의 분포비율을 그래프로 나타내었다. 그림에서처럼 관로식과 개착식 전류구가 각각 전체의 40% 이상으로 대부분을 차지하고 있으며, 직매식과 터널식 전류구는 8% 미만으로 상대적으로 낮은 분포를 보였다.

1. 서 론

도심지의 인구집중화 현상에 따른 대도시의 전력수요 밀도가 증가하면서 지중송전선로 및 가공송전선로와 지중송전선로가 혼합된 혼합송전선로의 건설이 해마다 증가하고 있는 추세이다. 실제 국내의 지중화율은 서울의 경우 70% 이상이며, 광역 대도시지역은 30% 이상을 보이고 있다. 그러나 지금까지 국내 지중송전선로 및 혼합송전선로의 신설은 체계적인 시스템 구성에 관한 연구의 부족으로 주로 포설환경에만 의존하여 준공되는 사례가 대부분이다. 따라서 국내 케이블 포설형태는 단일포설형태에 비해 혼합포설이 더욱 많은 비중을 차지하고 있는 실정이다. 혼합포설의 케이블 포설형태는 임피던스 등에 불평형을 초래하여 시스순환전류를 상승시키는 직접적인 원인으로 작용하며, 순환전류의 상승은 허용전류의 감소등의 전력손실과 더불어 인제사고 등 많은 손실을 유발할 수 있다.[1-6]

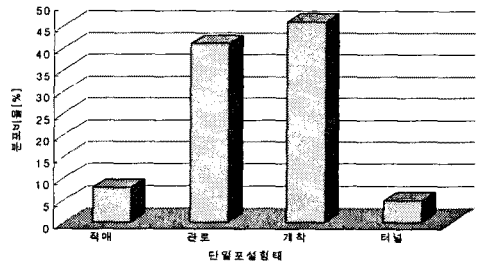


그림 2. 단일포설형태의 분포비율

따라서 본 논문에서는 국내 지중송전선로의 포설현황을 바탕으로 국내 지중송전케이블에 대한 포설형태를 분석하였고, 이를 통해 직매식, 관로식, 전력구식으로만 이루어진 단일포설형태와 포설방식을 혼용해서 사용한 혼합포설형태의 시스순환전류를 비교 분석하여 국내 송전케이블의 포설형태와 시스순환전류와의 상관관계를 구체적으로 검토함으로써 국내 송전케이블의 문제점 제시하였다. 또한 본 논문의 연구결과는 앞으로 개선 안 수립과 순환전류 저감방안 수립에 많은 기여를 할 것으로 사료된다.

그림 3은 혼합포설형태의 분포비율이다. 혼합포설형태는 총 72%의 분포를 보여 단일포설형태의 28%에 비해 높은 비중을 차지하고 있으며, 혼합포설형태 중에서는 관로와 개착식 전류구가 혼합된 포설형태가 58%를 보여 가장 많았고, 관로와 개착식과 터널식 전류구가 혼합된 형태는 18%, 개착식 전류구와 터널식 전류구가 혼합된 형태는 13.1%를 나타내고 있으며 나머지 혼합포설형태는 5% 미만을 차지하고 있다. 특히 개착식 전류구와 터널식 전류구는 모두 정삼각 배열로 이루어 지나 수평배열의 수직구의 영향을 받게 된다. 따라서 이와 같은 형태도 혼합포설형태로 분리하였다.

2. 국내 지중송전선로 포설형태

본 논문에서는 시스순환전류와 밀접한 관계에 있는 국내 지중송전선로의 포설형태를 분석하기 위해 국내에 포설되어 있는 520T/L에 대한 포설현황을 분석하였다. 총 520 T/L중 154kV는 512 T/L, 345kV는 8T/L이다.

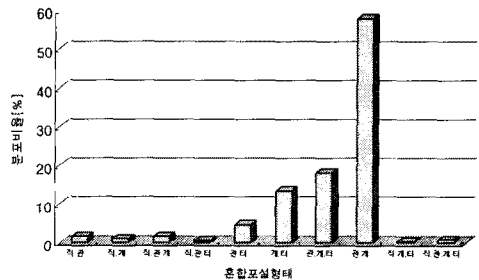


그림 3. 혼합포설형태의 분포비율

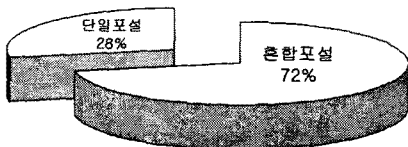


그림 1. 단일포설과 혼합포설의 분포 비율

그림 1에서는 국내 송전케이블의 단일포설과 혼합포설의 분포비율을 나타내었다. 그림에서처럼 직매식, 관로식, 개착, 터

국내 송전케이블의 포설형태는 그림 1~그림 3의 도표에서 알 수 있듯이 시스순환전류 주요 상승원인으로 작용하는 혼합포설형태가 많은 비중을 차지하고 있는 특성을 가지고 있다. 따라서 거리불평형과 배전선의 영향 등 기타 순환전류 상승요인을 고려한다면 상당 부분의 국내 송전케이블 계통에서 시스순환전류 상승요인을 포함하고 있다고 예상할 수 있다.

또한 그림 3과 그림 4의 포설연도별 혼합포설형태 건설 추이에서 알 수 있듯이 혼합포설형태의 건설은 1994년 이후 해

마다 증가하고 있으며, 가장 최근인 2000년과 2001년에 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 이는 대도시 인구 및 산업시설 집중화에 따른 지중화율이 높아지고, 여러 가지 포설환경에 의한 영향으로 판단되지만, 근본적인 이유는 시스순환전류를 포함한 전반적인 지중시스템에 대한 중요성의 인식과 체계적인 연구의 부족으로 사료되며, 앞으로 국내 환경에 적절한 지중송전케이블 시스템 구성에 대한 기준안 마련이 시급할 것으로 사료된다.

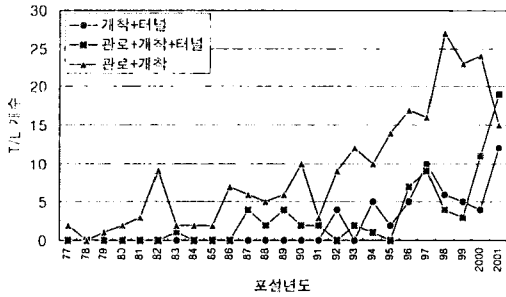


그림 4. 포설연도별 혼합포설형태 건설 추이(상위 3종류)

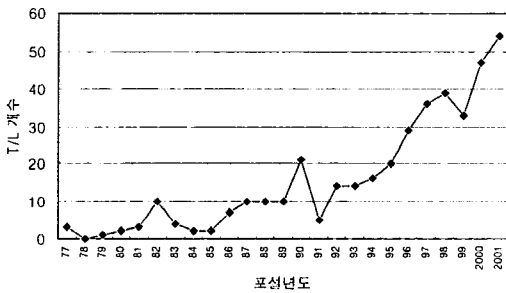


그림 5. 포설연도별 총 혼합포설형태 건설 추이

### 3. 포설형태와 시스순환전류와의 상관관계

#### 3.1 단일포설형태

본 절에서는 직매식(수평배열), 관로식(직각배열), 전력구식(정삼각배열)으로만 이루어진 단일포설형태에서 직접접지가 이루어지는 NJ사이의 크로스본드 1구간에 흐르는 시스순환전류를 계산하여 비교하였다. 표 1에서는 154kV XLPE 2000mm<sup>2</sup> 케이블에서 단일포설형태의 시스순환전류를 계산하기 위한 고려조건을 나타내었다. 포설형태만을 고려하기 위해 접속함간 거리는 300-250-300m로 일정하게 유지하였으며 부하전류는 500A, 접지저항은 10Ω으로 하였다.

표 1. 단일포설형태 검토조건

단일포설형태				
포설방식	직매 (수평배열)	관로 (직각배열)	개착	터널
			전력구 (정삼각배열)	
단면도				
접속함간거리	300-250-300	300-250-300	300-250-300	
부하전류	500[A]	500[A]	500[A]	
케이블조건	154kV, XLPE 2000(mm <sup>2</sup> )			
접지저항/ 대지저항용	10[Ω]/100[Ω.m]			

표 2는 표 1의 검토조건을 고려하여 단일포설형태의 시스순환전류를 계산한 결과이다. 표에서처럼 시스순환전류는 시스각 상의 최대값을 기준으로 수평배열-직각배열-정삼각배열 순으로 시스순환전류가 계산되었으나 모두 부하전류의 7%이내의 전류값으로 순환전류의 크기는 높지 않았다. 다만 본 검토에서는 포설형태의 영향만을 평가하기 위해 거리불평형은 크지 않게 설정하였다. 따라서 거리불평형의 영향이 심하지 않은 단일포설형태에서는 포설형태에 관계없이 시스순환전류가 높지 않다는 것을 알 수 있다.

표 2. 단일포설형태 시스순환전류 계산결과

시스순환전류[A]								
수평배열			직각배열			정삼각배열		
Sheath Phase			Sheath Phase			Sheath Phase		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
11.2	38.5	37.3	19.5	33.4	33.2	26.2	26.2	26.2

#### 3.2 혼합포설형태

본 절에서는 그림 3의 혼합포설형태를 바탕으로 하여 NJ사이의 크로스본드 1구간에 흐르는 시스순환전류를 계산하여 비교하였다. 표 3에서는 혼합포설형태에 따라 대표적인 Type 8개를 선정하여 154kV XLPE 2000mm<sup>2</sup>에서 순환전류를 계산하기 위한 고려조건을 나타내었다. 또한 혼합포설의 영향만을 분석하기 위해 접속함간 거리는 300m로 일정하게 유지하여 거리불평형의 영향은 전혀 없으며, 부하전류는 500A, 접지저항

표 3. 혼합포설형태 검토조건

혼합포설형태				
TYPE	단면도	부하전류	케이블조건	
1	직매 + 전력구	500[A]	154kV XLPE 2000mm <sup>2</sup>	2000mm <sup>2</sup>
2	직매 + 관로	500[A]	154kV XLPE 2000mm <sup>2</sup>	2000mm <sup>2</sup>
3	직매 + 전력구	500[A]	154kV XLPE 2000mm <sup>2</sup>	2000mm <sup>2</sup>
4	직매 + 관로	500[A]	154kV XLPE 2000mm <sup>2</sup>	2000mm <sup>2</sup>
5	직매 + 관로 + 전력구	500[A]	154kV XLPE 2000mm <sup>2</sup>	
6	직매 + 전력구	500[A]	154kV XLPE 2000mm <sup>2</sup>	2000mm <sup>2</sup>
7	직매 + 관로	500[A]	154kV XLPE 2000mm <sup>2</sup>	2000mm <sup>2</sup>
8	직매 + 관로 + 전력구	500[A]	154kV XLPE 2000mm <sup>2</sup>	

과 대저항률은 각각 10[Ω]과 100[Ω.m]로 하였다.

표 4는 표 3의 검토조건을 고려하여 혼합포설형태의 시스순환전류를 계산한 결과이다. 표에서처럼 시스순환전류는 직매+전력구(Type1,2)의 형태에서 최대 194.7A로 부하전류의 39%의 가장 높은 값이 계산되었고, 직매+관로의 형태(Type 3,4)에서는 최대 42.9A로 부하전류의 8.6%에 해당하는 비교적 낮은 값이 계산되었다. 따라서 직매식에 전력구의 형태가 혼합된 구간에서 순환전류 상승에 가장 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있으며, 직매에 관로식이 혼합된 구간에서는 혼합포설이 순환전류 상승에 영향이 거의 없음을 알 수 있다. 또한 직매+관로+전력구의 형태(Type5)에서는 167A로 부하전류의 33%에 해당하는 높은 순환전류가 측정되었고, 국내 지중송전케이블의 혼합포설형태 중에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 전력구+관로의 형태(Type6,7,8)에서도 최대 부하전류의 31%에 해당하는 높은 시스순환전류가 측정되었다.

표 4. 혼합포설형태의 시스순환전류 계산결과

Type	1			2			3			4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
시스전류 [A]	185.0	125.9	194.7	170.4	174.1	68.78	40.3	13.7	39.6	2.97	42.9	42.2
부하전류비 [%]	37%	25%	39%	34%	35%	14%	8%	2.7%	7.9%	0.6%	8.6%	8.4%
Type	5			6			7			8		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
시스전류 [A]	167.0	137.2	85.2	115.9	155.4	150.2	133.9	77.5	131.4	155.4	150.2	115.9
부하전류비 [%]	33%	27%	17%	23%	31%	30%	27%	15%	26%	31%	30%	23%

그림 6은 혼합포설형태 Type별 최대 시스순환전류를 기준으로 순환전류에 대한 부하전류의 비를 그래프로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 직매+관로의 혼합포설형태에서는 순환전류상승이 매우 작았으나, 나머지 포설형태에서는 대부분 부하전류의 30%이상으로 높은 순환전류값이 분포되고 있다. 따라서 직매+관로의 혼합형태 제외한 모든 혼합포설형태에서 시스순환전류가 최대 39%까지 상승하고 있음을 알 수 있다.

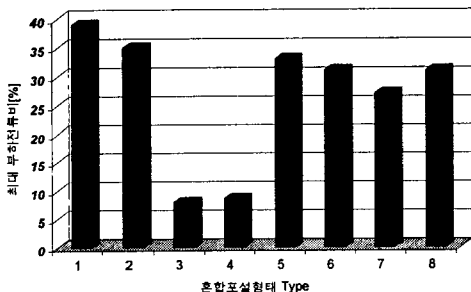


그림 6. 혼합포설형태 Type별 시스순환전류와 부하전류 비

시스순환전류 상승에 양향이 거의 없는 직매+관로의 형태는 그림 3의 국내 지중송전케이블의 분포비율에서처럼 전체 혼합포설형태의 1.5% 미만으로 실제 분포가 매우 적으나, 거리불평형의 영향이 없는 상태에서도 부하전류의 30%에 해당하는 높은 순환전류가 흐르는 개착식과 터널식을 포함한 전력구식과 관로식이 혼합된 포설형태는 전체 혼합포설의 80.1%이고, 이 외에 다른 혼합포설형태에서도 최대 부하전류의 39% 까지 시스순환전류가 흐르고 있어, 혼합포설형태의 98% 이상이 시스순환전류 상승요인을 가지고 있음을 알 수 있다.

또한 본 논문에서 고려하지 않은 거리불평형까지 추가하여 검토한다면 단일포설형태에서도 시스순환전류가 상당부분 상승하며, 혼합포설형태 또한 거리불평형의 영향으로 순환전류가 더욱 증가하게 된다. 이러한 결과로 볼 때 전체 송전케이블 포설형태 중 72%가 혼합포설형태이며, 많은 구간에서 거리불평형 현상이 나타나고 있는 국내 지중송전계통은 상당 부분의 선로가 시스순환전류 상승요인을 가지고 있다고 예상할 수 있다. 따라서 이에 대한 대책 및 저감방안 마련이 매우 시급하다고 사료된다.

#### 4. 결 론

본 문에서는 국내 지중송전선로의 포설형태에 관한 실태 분석과 이에 따른 시스순환전류와의 상관관계를 구체적으로 검토하여 제시하였다. 본 논문에서 분석한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국내 지중송전케이블 포설형태는 전체의 28%인 단일포설형태에 비해 혼합포설형태가 72%로 더욱 많은 비중을 차지하고 있다.
- 2) 단일포설형태 중에는 관로식과 개착식 전력구의 형태가 80%이상으로 대부분을 차지하고 있으며, 혼합포설형태 중에는 관로+개착식 전력구가 58%로 가장 많은 비중을 차지하고 있고, 개착식과 터널식을 포함하여 전력구+관로식의 포설형태는 총 80.1%의 높은 분포를 보이고 있으며, 이와 같은 혼합포설의 건설은 94년이후 점차 증가하고 있는 추세이다.
- 3) 단일포설형태의 시스순환전류는 최대값을 기준으로 수평배열-직각배열-정삼각배열 순이나 모두 부하전류의 7% 이내의 전류값으로 높지 않았다. 따라서 거리불평형의 영향이 적은 단일포설형태에서는 순환전류가 상승하지 않는다.
- 4) 혼합포설형태의 시스순환전류는 직매+관로의 혼합형태에서 부하전류의 8.6%로 매우 낮은 전류가 분포하고 있으나, 그 외 모든 혼합포설형태에서는 30%이상의 매우 높은 시스순환전류가 분포하고 있다. 실제로 국내 혼합포설의 비중을 볼 때 직매+관로는 1.5% 정도에 불과하므로 국내 대부분의 혼합포설된 케이블에서 시스순환전류가 상승하고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서 분석한 것처럼 국내 대부분의 혼합포설형태에서 시스순환전류가 상승하는 요인을 가지고 있으며, 본 논문에서 고려하지 않은 거리불평형과 기타 다른 영향까지 검토한다면 순환전류와 관련된 국내 지중송전시스템의 현실은 매우 심각하다고 판단된다. 따라서 이에 대한 대책 마련이 매우 시급하다고 생각되며, 본 논문의 연구결과를 국내 지중송전계통의 개선 안과 저감방안 수립에 많은 기여를 할 것으로 사료된다.

#### (참 고 문 헌)

- 1) 한국전력공사, "지중송전설비 I, II", 1996
- 2) 전력연구원, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구", 1998.1
- 3) IEEE, "IEEE Guide for the application of sheath bonding Methods for single-conductor cables and calculation of induced voltages and currents in cable sheaths, ANSI/IEEE Std 575-1988
- 4) J.S.Barrett, G.J.Anders, "Circulating current and hysteresis losses in screens, sheaths, and armour of electric power cables - mathematical models and comparison with IEC Standard 287
- 5) 정채균, 이종범, 강지원, 장태인, "지중송전계통에서 시스 순환전류 해석 및 저감방안", 대한전기학회 논문지, Vol. 50A, No. 11, 2001
- 6) 강지원 외5, "지중 송전 케이블 계통에서 시스 순환전류 억제대책 검토", 2002년 전력케이블 연구회 심포지움 논문집, 2002
- 7) M.G.Dwek, M.N.Eggleton, "Electric parameters of 400kV and 275kV cables used in England and Wales"
- 8) 한국전력공사 기술연구원, "전력계통 과도해석 프로그램 이론 및 활용에 관한 연구", 1991
- 9) Turan Gonen, "Electric power transmission system engineering", John Wiley & Son