

관로포설 지중케이블에서 개량되메움재 적용시의 송전용량 증대효과 검토

장태인*, 강지원*, 이동일*, 김재승**, 탁의균**
 한국전력공사 전력연구원*, 한국전력공사**

A Study on Power Transmission Capacity of Improved Backfill Materials at Underground Cables Installed in Duct Type

T.I.Jang*, J.W.Kang*, D.I.Lee*, J.S.Kim**, E.G.Tack**
 KEPRI*, KEPCO**

Abstract - 이 논문은 현재 지중송전 케이블에서 관로 포설용 되메움재로서 널리 사용되고 있는 모래를 대신할 수 있는 개량 되메움재를 연구하고, 이에 대한 송전용량 증대효과를 살펴본 것이다. 먼저, 기존 되메움재인 모래 및 개량 되메움재에 대한 토양 열특성을 비교 검토하고, 다음으로 개량 되메움재를 실선로에 적용할 때의 송전용량 증대 효과를 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

-cm/W)로 건조시와 습윤시의 열저항이 약 6배로 차이가 현저하다.

- (3) 최대 다짐도에서의 간극율은 약 32[%]이며, 모래 단일재료에 의한 100[°C-cm/W]이하의 건조 열저항값을 얻기는 불가능한 것으로 나타났다. 따라서 여러 혼합재를 적당한 배합 및 다짐을 통해 새로운 되메움재를 개발할 필요가 있다.
- (4) 강모래의 경우 간극율이 큰 특성으로 인해 열구배하에서의 수분이동 등 장기안정성에 대한 열안정도 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

1. 서 론

최근의 전력수요의 증대 및 과밀화에 대처하기 위해서는 지중송전망의 확대뿐만 아니라 선로자체의 송전용량 증대가 요구되고 있으며, 지중전력케이블의 대용량화에 따른 케이블 외부의 열적 환경개선 대책이 시급한 실정이다.

지중 송전선로의 실제 송전용량은 케이블 자체의 최대 허용온도 또는 주위지반의 허용온도에 의해 결정된다. 발생된 열을 케이블 주위의 되메움재가 효과적으로 방출시키지 않으면 송전용량 감소 및 열폭주(thermal runaway) 현상이 발생할 수도 있다.

또한, 대도시에서의 지중 송배전망의 과밀화 때문에 발전소 및 변전소의 인출부 등에서 다회선 포설이 집중되는 경우가 있으며, 특히 관로포설인 경우 이들 국부적 영역 때문에 송전용량이 제한되는 경우가 많다. 이와 같은 다회선 관로부의 열방산 조건을 개선하고 송전용량 향상을 꾀하는 방법중 하나로써 낮은 열저항률의 개량토양을 적용하는 방법을 생각 할 수 있다. 현재, 관로 포설시에는 전력 케이블 주변의 지반 침하를 방지할 목적으로 모래를 되메움재로 사용하고 있으나, 모래는 토양에 비해 상대적으로 열저항률이 높기 때문에 전력케이블의 송전용량에 악영향을 끼칠 수 있으므로 현재 사용하고 있는 모래 대신 지방침하 방지 능력을 유지하면서 케이블에서 발생한 열을 효과적으로 방산시켜 지중선로의 송전용량을 증대시킬 수 있는 되메움재를 개발 및 적용하는 것이 필요하다.

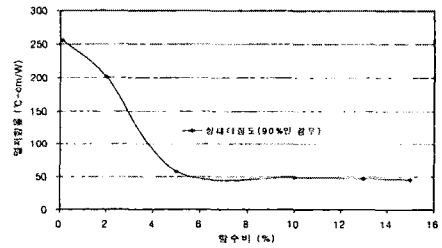
본 논문에서는 현재 지중송전케이블 관로포설용 되메움재로 사용되고 있는 모래 및 다른 개량토양에 대한 열특성을 비교 검토하고, 시뮬레이션을 통하여 실선로 적용시 송전용량 증대 효과에 대해서 검토하였다.

2. 본 론

2.1 모래의 열특성

기존 지중전력케이블의 되메움재로 사용되고 있는 강모래에 대해서 열특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다(〈그림1〉 참조).

- (1) 역학적으로 안정되고 시공성은 우수하나 건설수요의 증가로 재료확보의 어려움이 있다.
- (2) 강모래의 열저항치는 함수비에 따라 45~260[°C



<그림 1> 강모래의 함수비와 열저항과의 관계

2.2 개량 되메움재의 열특성

열특성이 양호한 되메움재를 개발하기 위하여 토사분야의 쇄석, 모래, 전로슬래그, 석분, Fly ash 등 여러 재료에 대하여 각각 물성 및 열특성 시험을 수행하였다. 또한, 위의 단일재료를 2가지 이상 적당한 배합비로 혼합할 경우 열특성 개선이 가능한 것으로 나타나 혼합 재료에 대해서도 물성 및 열특성 시험을 수행하였다. 그리하여 다음과 같이 되메움 재료를 선정하였으며, 그 특성에 대해서 아래에 기술하였다(〈표 1〉 참조).

<표 1> 선정된 개량 되메움재

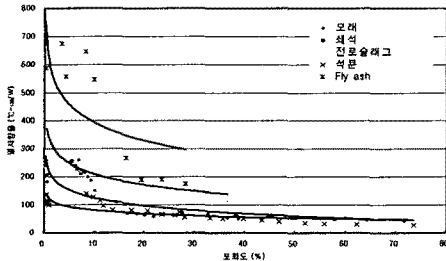
재료명 시료명	쇄 석	모 래	전로 슬래그	석 분	Fly ash
Type 1				100[%]	
Type 2	50[%]	50[%]			
Type 3		20[%]		80[%]	
Type 4	30[%]			70[%]	

- (1) Type 1의 경우 자연상태의 함수비는 단일 재료 중 가장 크고, 간극율은 22.4[%]로 가장 작은 값을 보여 주었다. 또한 최적함수비는 9.5[%]로 자연상태의 함수비와 유사하므로 수분유지력 및 다짐도 측면에서 유리하며, 입도분포 또한 가장 유리한 것으로 나타났다.
- (2) 모래-쇄석 혼합재인 Type 2 시료의 경우 50:50으

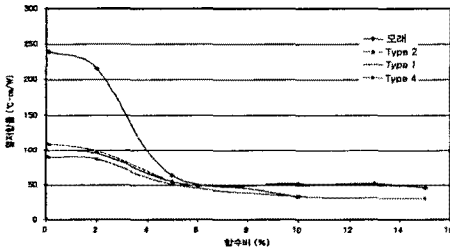
로 혼합하였을 경우 열특성이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 함수비 2[%]이상에서 Type 1과 유사하였다.

- (3) Type 3의 경우 Type 1과 유사한 특성을 보였으며, Type 4의 경우는 간극율이 20[%] 이내로 최밀충전이 가능한 것으로 나타났으며, 열특성은 Type 1보다 우수하고, 수분함유량의 영향도 적어 이제까지 시험한 재료중 되메움재로서 가장 좋은 것으로 나타났다.

아래의 그림은 선정된 단일 재료의 열특성과 이들 단일 재료를 혼합하여 선정된 되메움 재료의 열특성을 나타낸다.



<그림 2> 단일 재료의 열특성



<그림 3> 혼합 되메움재의 열특성

2.3 송전용량 증대효과 검토

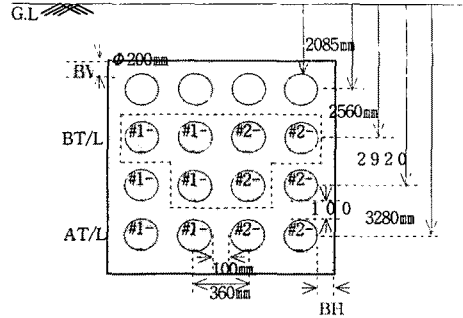
이 절에서는 개량 되메움재를 실선로에 적용시의 가능한 송전용량 증대 효과에 대해서 일반적인 관로와 발전소 및 변전소 인출구와 같은 열적 병목지역을 대상으로 검토하였다.

2.3.1 일반적인 관로에 적용시

일반적인 관로 부설에 대한 송전용량을 평가하기 위한 부설조건은 <그림 4>와 같으며, 아래와 같은 계산조건에서 "지중송전케이블 허용전류 산정 프로그램[4]"을 이용하여 허용전류를 계산하였다. 그림에서 BV, BH는 개량 되메움재의 상하, 좌우 적용폭을 나타낸다.

- 부설방식 : 일반적인 관로
- 부하조건 및 대상 : 정상상태/평형부하 A #1 T/L
- 케이블 종류 : 154kV XLPE 200mm²
- 토양 열저항률 : 1.0 / 0.9 [K · m/W]
- 되메움재 열저항률 : 0.8 / 0.5 [K · m/W]
- 주위온도 : 25 °C
- 부하(손실)율 : 0.8

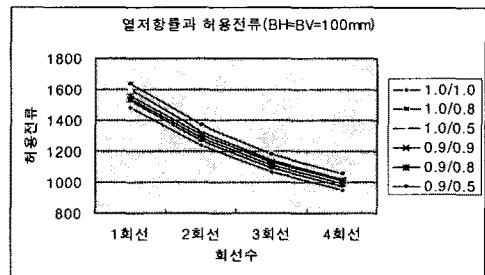
기준이 되는 토양의 열저항률은 이전의 한전지중송전 설계기준치인 1.0 [K · m/W]과, 현재 한전지중송전설계 기준(안)에 반영된 0.9 [K · m/W]로 하였다. 또, 되메움재의 열저항률은 0.8 [K · m/W]과 2,2절의 결과를 바탕으로 목표치를 0.5 [K · m/W]로 선정하여 개량 되메움재 적용시의 송전용량을 검토하였으며 <그림 5>에 나타내었다.



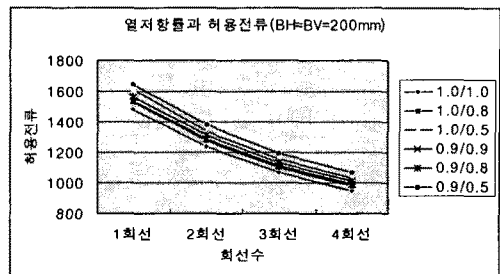
항목	1회선	2회선	3회선	4회선
회선	-A #1 T/L	-A #1 T/L -A #2 T/L	-A #1 T/L -A #2 T/L -B #1 T/L	-A #1 T/L -A #2 T/L -B #1 T/L -B #2 T/L

<그림 4> 일반적인 관로부설 조건

일반적인 관로부설시 되메움재의 열저항률에 따른 허용전류 검토결과는 아래와 같다.



(a) BH = BV = 100[mm]인 경우



(b) BH = BV = 200[mm]인 경우

<그림 5> 일반적 관로부설시 되메움재의 열저항률에 따른 허용전류

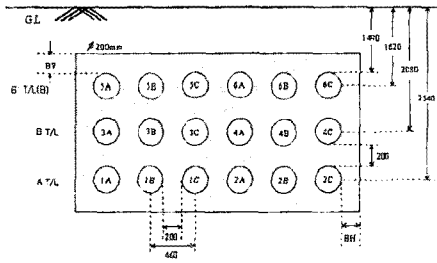
<그림 5>에서 이전 설계기준과 되메움재에 대한 목표 열저항률(즉, Soil/Backfill = 1.0/0.5)을 적용한 경우 허용전류는 1회선 기준으로 약 8.0[%] 증가할 것으로 예상되며, 현재 설계기준과 되메움재 목표 열저항률(즉, Soil/Backfill = 0.9/0.5)을 적용할 경우 허용전류는 약

7.0%(1회선 기준) 증가할 것으로 예상된다. 향후 되메움재의 열저항률 변동에 따른 되메움재의 크기(관로 간격 및 상하 여유폭, 좌우 여유폭)를 변동할 경우 허용전류는 더욱 증대(약 10%이상)될 것으로 예상된다

2.3.2 열적 병목지역에 적용시

개량 되메움재를 우선적으로 검토되고 있는 일부 열적 병목지역에 적용했을 때의 송전용량 증대효과를 알아보기 위하여 C 전력관리처 관내의 선로를 대상으로 검토하였다. 선로의 부실조건은 <그림 6>과 같으며 아래와 같은 조건을 상정하였다. 추가적으로 되메움재의 상하좌우 여유폭을 현 설계기준을 고려하여 약간씩 조정하면서 그 영향을 살펴보고, 부하손실율은 해당 선로의 허용전류 계산 당시를 고려하여 1.0 및 0.8(현 잠정 설계기준(안))로 하였다.

- 부설방식 : 관로(위치 : C/H 인출부)
- 부하조건 : 정상상태/평형부하
- 케이블 종류 : 154 kV XLPE 1C *1200mm²
- 토양 열저항률 : 1.0 / 0.9 [K·m/W]
- 되메움재 열저항률 : 0.8 / 0.5 [K·m/W]
- 주위온도 : 25 °C
- 부하(손실)율 : 1.0 / 0.8



<그림 6> 열적 병목지역의 관로부설 조건

송전용량은 "송전케이블 허용전류산정 프로그램[4]"을 이용하여 계산하였으며 그 결과는 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 계산 송전용량(BH=100[mm], BV=200[mm])

회선수	손실율=1.0			손실율=0.8		
	1.0/1.0	0.9/0.9	0.9/0.5	1.0/1.0	0.9/0.9	0.9/0.5
1	1155.14	1193.30	1275.63	1236.16	1273.09(+10.2)	1350.78(+6.10)
2	998.83	1037.80	1094.20	1082.20	1121.19	1176.79
3	868.47	906.08	955.28	949.26	987.89	1037.81
4	792.56	828.73	867.26	870.42	908.06	947.98
5	739.75	774.66	803.40	815.02	851.66	881.55
6	697.44	731.23	752.33	770.35	806.01	828.10

또한, 되메움재 포설량에 따른 허용전류에 대한 영향을 비교, 검토한 결과는 아래 <표 3> 및 <표 4>와 같다.

<표 3> BH = 100[mm], BV = 300[mm] 인 경우의 송전용량

회선수	손실율=1.0			손실율=0.8		
	1.0/1.0	0.9/0.9	0.9/0.5	1.0/1.0	0.9/0.9	0.9/0.5
1	1155.14	1193.30	1284.70	1236.16	1273.09	1359.25(+6.77)
2	998.83	1037.80	1105.83	1082.20	1121.19	1188.22
3	868.47	906.08	967.13	949.26	987.89	1049.85
4	792.56	828.73	879.26	870.42	908.06	960.14
5	739.75	774.66	815.48	815.02	851.66	894.13
6	697.44	731.23	764.38	770.35	806.01	840.75

<표 4> BH = 100[mm], BV = 400[mm]인 경우의 송전용량

회선수	손실율=1.0			손실율=0.8		
	1.0/1.0	0.9/0.9	0.9/0.5	1.0/1.0	0.9/0.9	0.9/0.5
1	1155.14	1193.30	1293.23	1236.16	1273.09	1367.22(+7.39)
2	998.83	1037.80	1116.87	1082.20	1121.19	1199.05
3	868.47	906.08	978.43	949.26	987.89	1061.28
4	792.56	828.73	890.76	870.42	908.06	971.96
5	739.75	774.66	827.10	815.02	851.66	906.20
6	697.44	731.23	776.00	770.35	806.01	852.92

<표 2> ~ <표 4>에서 알 수 있듯이 되메움재의 적용폭을 증가시킴에 따라 송전용량이 증가함을 알 수 있었으며, 현재의 설계기준과 되메움재 목표치(즉, Soil/Backfill = 0.9/0.5)를 적용한 경우 2.3.1절과 마찬가지로 송전용량은 약 7.0%(1회선 기준) 증가할 것으로 예상된다. 향후 되메움재의 열저항률 변동에 따른 되메움재의 크기(관로 간격 및 상하좌우 여유폭)를 변동할 경우 송전용량은 약 10%이상 증대될 것으로 예상된다.

3. 결 론

현재 지중송전케이블 관로포설용 되메움재로 사용되고 있는 모래 및 연구개발로 선정된 개량 되메움재에 대한 열특성을 살펴보고, 개량 되메움재를 실선로에 적용시의 송전용량 증대효과에 대하여 검토하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 모래의 열저항치는 함수비에 따라 45~260[°C-cm/W]로 건조시와 습윤시의 열저항이 약 6배로 차이가 현저하고, 100[°C-cm/W]이하의 건조 열저항값을 얻기는 불가능한 것으로 나타났다.
- 열특성이 양호한 되메움재를 개발하기 위하여 쇄석, 모래, 전로슬래그, 석분, Fly ash 등의 단일 재료 및 단일 재료를 2가지 이상 적당한 배합비로 혼합하여 시공성 및 열특성이 우수한 몇 가지 개량 되메움재를 선정하였다.
- 개량 되메움재를 열적 병목지역 등 송전용량이 취약한 지역에 우선 적용시 1회선을 기준으로 약 7.0% 이상의 송전용량증대 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.
- 되메움재의 적용폭을 증가시킴에 따라 송전용량이 더욱 증가함을 알 수 있었으며, 정확한 적용폭에 대해서는 검토중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Mitchell, J. K. and Chan, C. K. (1982). Backfill Materials for Underground Power Cables, Phase 1~3, EPRI EL-506, EL-1894, EL-4150.
- [2] Imajo, T. (1976). Development of Backfill Soils for Underground Cables(2) - Study on the Optimum Grading Distribution, CRIEPI-72061, 175063.
- [3] Fukagawa, H., Imajo, T. and Ogata, N. (1974). Thermal Diffusivity and its Application to Cable Ampacity, CRIEPI-73087
- [4] 송전케이블의 허용전류산정 프로그램 개발 연구('01.12. 최종보고서)
- [5] 김대홍, 이대수, 정원섭, 정범용 (2001). "지중송전케이블 되메움 토사의 열 저항 특성." 대한토목학회 논문집