

초고압 지중케이블 냉각시스템

유승환, 양희갑, 오철호 | 한국전력공사 전력계통건설처

1 ■ 머리말

최근 초고압 전력케이블 사용이 보편화되면서 송전용량을 증대하기 위한 기술개발의 일환으로, 전력구내 송배전 선로에서 발생하는 열로 인하여 송전용량이 감소되는 것을 방지하고, 적절한 순시점검 및 유지보수 작업환경을 확보하기 위하여 냉각시스템을 개발, 실용화 하고 있다. 케이블 냉각시스템은 케이블 내·외부로 물이나 기름, 바람, 가스 등의 냉매를 유통시켜 케이블에서 발생하는 열을 효율적으로 흡수함으로써 케이블과 주변(토양 또는 전력구 내 공기)의 온도를 낮추어 송전용량을 증대시키는 방법이다.

본 논문에서는 현재 실용화되어있는 냉각시스템과 각종 냉각방식에 따른 송전용량 증가에 대하여 소개

하고자 한다.

2 ■ 초고압 지중송전선로 냉각대상 시설

한국전력은 1997년 미금변전소~성동변전소간에 345kV 초고압 지중송전선로를 국내 최초 가압 후 현재는 아래 표와 같이 15개 T/L, 220km를 운전 중에 있으며, 345kV 전력구내에는 154kV 선로도 시설되어있는 구간이 있어 일부 구간의 전력구 내부온도는 40℃까지 상승하게 되어 전력구 내부 환경을 저해하고 또한 케이블 송전용량을 감소시키는 주요 원인이 되므로 이를 방지하기 위하여 지중케이블 냉

▶ 표 1 수소·연료전지 분야 2004년 신규과제 리스트

전력구 구간	전력구길이(km)	선로회선수	선로길이(C-km)
345kV 미금 ~ 성동	16.7	3	50.1
345kV 양주 ~ 당인리	7.7	2	15.4
345kV 북부산 ~ 남부산	22.0	3	66.0
345kV 신성남 ~ 신양재	9.0	2	18.0
345kV 서인천 ~ 신부평	17.0	3	51.0
345kV 영서 ~ 영등포	9.8	2	19.6
계		15	220.1

각에 대한 필요성이 대두되고 있다.

3 ■ 케이블 냉각시스템의 종류

케이블 냉각시스템은 케이블 내·외부에 물, 기름, 바람 등 냉매를 흘리어 케이블에서 발생하는 열을 효율적으로 흡수하고, 케이블 주변(전력구 내 공기, 토양 등)의 온도를 낮춤으로서 송전용량을 증가시키는 방식이다.

현재 개발되어 실용화하고 있는 냉각시스템에는 ① 전력구내 풍냉시스템, ② 전력구내 간접 수냉시스템, ③ 트러후내 간접 수냉시스템 ④ 전력구내 직접 수냉시스템 등이 있으며 직·간접 수냉시스템은 냉매로 물을 사용하는 것으로 일반적으로 냉매용 물에 일정한 압력을 가하여 강제로 수냉관을 순환하게 하는 강제순환 냉각방식을 사용하게 된다.

3-1. 전력구내 풍냉시스템

송풍기에 의하여 외부 공기를 전력구 내부로 순환시켜 케이블을 냉각하는 방식이며, 설비가 단순하고

유지보수가 용이하나 주로 1000m 이하의 단거리 냉각용으로 적용한다. 전력구내 시설된 회선수가 적거나 송전전류가 작은 초기 운전 시에는 자연환기 또는 강제환기 장치를 설치하여 냉각시키는 시스템이다.

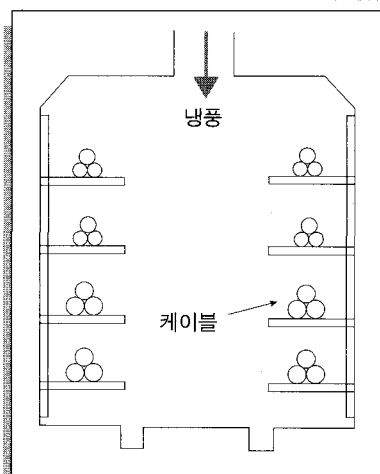
3-2. 전력구내 간접수냉시스템

냉동기에서 나오는 냉수를 전력구내에 설치된 수냉관으로 송수하여 케이블을 간접적으로 냉각하는 방식이다. 냉각시스템의 고장이나 유지보수를 위한 정지시 송전용량에 미치는 영향이 적다. 345kV 미급~성동 개착식 전력구 중 온도 상승이 예상되는 일부 구간에는 FCU(Fan Coil Unit)를 설치하여 냉각효과를 상승시키는 방식을 적용하여 본 간접수냉시스템을 시공 중에 있다.

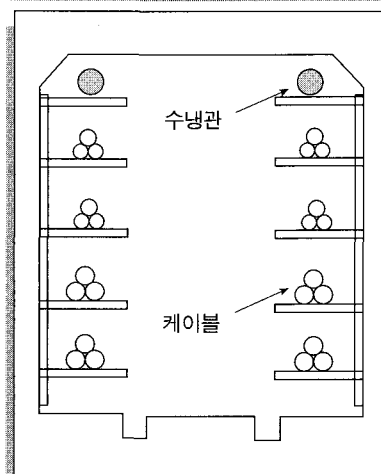
3-3. 트러후내 간접수냉시스템

기본 구성은 전력구내 간접수냉시스템과 같지만 수냉관을 케이블이 설치된 트러후 내에 배관하여 냉수를 송수하므로 냉각효과는 대체로 좋은 편이고 시스템의 고장이나 유지보수를 위한 정지시 송전용량에 미치는 영향도 적은 편이다. 이 시스템은 케이블

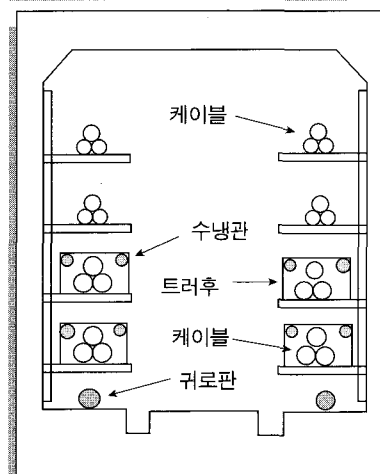
> 그림 1. 전력구내 풍냉시스템



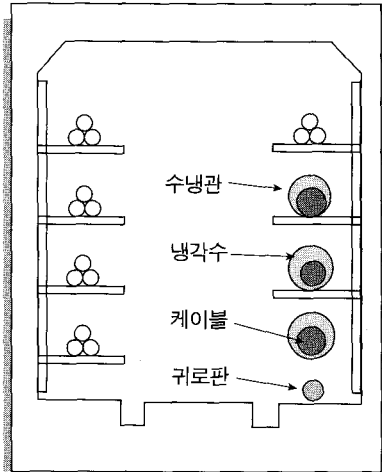
> 그림 2. 전력구내 간접수냉시스템



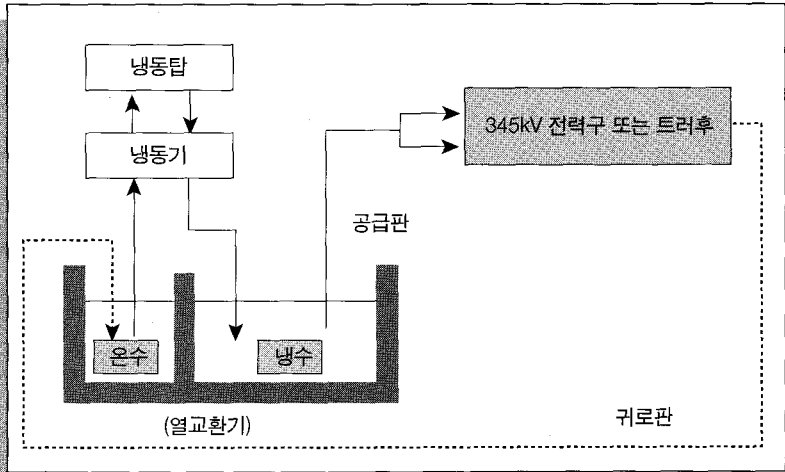
> 그림 3. 트러후내 간접수냉시스템



> 그림 4 전력구내 풍상시스템



> 그림 5 수냉시스템의 기본원리



이 방재 트러후 내에 설치된 345kV OF케이블에 대한 냉각 설비로는 가장 적절한 방식으로 채택되어 향후 케이블 냉각의 기본 시스템으로 추진될 예정이다.

3-4. 전력구내 직접수냉시스템

기본 구성은 전력구내 간접수냉식과 같지만 수냉관내에 포설된 케이블을 냉수에 의해 직접 냉각 시킨다. 냉각 효과가 높아 송전용량 증가율을 크게 할 수 있지만, 시스템의 고장이나 유지보수를 위한 정지 시 송전용량에 미치는 영향도 크다.

4 ■ 수냉시스템의 기본 원리

직·간접 수냉방식에는 냉수배관의 형태에 따라 개방계와 밀폐계가 있으며 개방계는 수축열시스템이며 밀폐계는 빙축열시스템과 일반냉동시스템으로 분류되고 있다.

케이블 수냉시스템의 기본 원리는 냉동기로부터 냉각된 1차측 저온의 냉수를 2차측의 전력구 냉수와 열교환기에서 열교환시키고, 열교환기에서 냉각된 2

차측 냉수를 전력구 내에 설치된 수냉관으로 공급 및 순환시켜 전력구내의 케이블 열 발생부하를 냉각시킨다.

열교환기에서 회수된 1차측 냉수는 냉동기로 회수되고 다시 냉각되어 열교환기로 이송되는 순환방식이며, 전력구내 냉수배관은 열교환기를 통해 냉각되는 밀폐식 배관구성이 된다.

5 ■ 전력구의 열해석

전력구내 송전선로의 용량증대를 위해 전력케이블에서 발생하는 열을 효과적으로 제거하기 위하여서는 열해석이 필수적인바, 케이블 온도변화에 따른 냉각매체의 적절한 온도 및 유량을 배관 압력조건에 맞추어 여러 구간으로 나눌 수 있으며, 케이블 및 냉수의 온도분포를 이해하기 위한 일반적인 열해석 방법은 모든 계통이 열적 평형인 상태에서 열 증가회로로 해석한다.

열 증가회로를 적용하는데 따른 기본적인 가정은 아래와 같다.

- 케이블 전력손실은 단위 길이에 따라 일정하다.
- 모든 물질의 물성치는 계통내 길이에 따른 온도 및 압력변화에 영향을 받지 않는다.
- 케이블 절연체에서 발생하는 절연체 손실은 케이블 도체 및 시스로 일정하게 분포한다.
- 전력구내의 발생열은 통상 주위의 토양을 통하여 열전도 되어 냉각되는데 전력구 열저항은 주위의 토양, 수분, 깊이에 따라 다르며 개착구간과 터널구간에 따라 차이가 있다.

6 ■ 케이블 발열량 산출

냉각시스템을 구성하기 위하여는 우선 냉각 용량을 산출하여야 하는데, 냉각 용량은 전력구내 발열량과 밀접한 관계가 있으므로 전력구내 기저온도와 토양의 고유 열저항을 정확하게 산출하고, 전력구내 수용된 케이블 종류 및 회선수와 추후 설비증설과 최종 송전용량을 고려하여 초기 설비가 경제적으로 시설되도록 발열량을 계산하여야 한다.

○ 케이블에서 발생하는 총 발열량은

$$\therefore W = \text{도체열손실}(W_c) + \text{유전체열손실}(W_d) + \text{시스열손실}(W_s) \text{로 구성된다.}$$

W_c 는 도체에서 발생하는 열량을 나타내며 아래 식에 의하여 산정한다

$$\therefore W_c = I^2 R_{ac}$$

여기서 I 는 케이블 도체에 흐르는 전류이며 R_{ac} 는 교류도체저항이다

W_d 는 절연체에서 발생하는 유전체 열발생량을 나타내며 아래 식에서 산정한다

$$\therefore W_d = 2 \times \pi \times f \times C \times n \times E^2 / 3 \times \tan \delta \times 10^{-5}$$

여기서 f : 주파수(Hz)

C : 정전용량($\mu F/km$)

n : 케이블내의 선심수

E : 최고 선간전압(kV)

$\tan \delta$: 케이블의 유전율

W_s 는 시스에서 발생하는 열량을 나타내며 아래 식에서 산정한다

$$\therefore W_s = P \times W_c$$

여기서 P 는 전력손실율을 나타내며 회로손실율과 와전류 손실율을 합한 것과 같다.

7 ■ 냉각방식에 따른 송전용량 증가율

한전에는 아직 케이블 냉각시스템에 대한 사용 실적이 없으나 일본이나 영국에서는 1960년대부터 냉각시스템을 개발하여 운전 중에 있으며 냉각방식별 송전용량 증가율 실적치는 표 2와 같다.

> 표 2

냉각방식		송전용량 증가율 (%)	냉각가능 길이 (m)
	전력구 풍냉	1.2~1.3	50~1,330
간접수냉	전력구내 간접수냉	1.2~3.3	1,100~3,400
	터러후내 간접수냉	1.0~2.3	1,450~5,500
직접수냉	전력구내 직접수냉	2.0~2.5	1,500~2,500

※ 송전용량증가율: 일본 전기협동연구회 제58권 제1호 (2002. 5)

8 ■ 강제냉각시스템 추진 및 향후 과제

한전은 초고압 지중송전선로 회선수가 증가함에 따라 전력구내 온도가 전반적으로 상승하고 있지만 전력구내 순시·점검이나 각종 작업을 위한 적정 온도를 산업안전보건법에 의거 37℃ 이하로 유지하여야 함은 물론, 케이블 도체 온도가 외부로 발산되지 못하여 송전용량이 감소되는 것을 방지하기 위하여 개착식 전력구 중 온도상승이 예상되는 일부 구간에

간접수냉방식을 도입하여 전력구내 온도상승을 저감시키고 있지만 최종적으로는 트러후 내부에 수냉관을 설치하여 케이블에서 발산하는 열을 흡수 제거하는 트러후내 간접수냉방식을 적용하여 냉각시스템을 설치할 예정이다.

트러후내 간접수냉방식은 단위 냉각구간이 길어 서울, 부산, 인천 등 대도시 도심지에 설치된 전력구에 가장 적절한 냉각방식이나 대용량의 냉동기를 사

용하여야 하므로 냉각시스템 구성, 냉각설비 용지 확보, 시공 등에 장기간이 소요되는 것을 감안하여 적절한 시기에 냉각시스템 설치공사를 추진함으로써 전력구내 순시점검 및 작업을 위한 쾌적한 환경을 확보하고 특히 하절기 최대부하시 온도 상승으로 인한 전력케이블 송전용량 감소를 미연에 방지하여야 할 것이다.