

송전용량 증대를 위한 전력구 냉각시스템

배주호*, 민병욱, 김태영, 김재승, 석광현, 손형수
KEPCO

Cooling system for the increase of underground power cable capacity in tunnel

Ju-Ho Bae*, Byeong-Wook Min, Tai-Young Kim, Jae-Seung Kim, Kwang-Hyun Suk, Hyoung-Soo Shon
KEPCO

Abstract - 최근 도심지의 확대 및 경제발전에 따른 전력수요의 증대로 인해 지중송전선로 건설이 증가하고 있는 추세이나 전력구에 수용되어 있는 회선규모 및 운전기간에 따라 전력구 내부온도가 급격히 상승하여 그로 인한 송전용량 감소 및 순시원과 작업원의 안전에도 영향을 미치고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 국내 최초로 도입한 345kV 북부산~남부산 전력구 일부구간에 간접 수냉각 시스템을 설치하고 그 현황과 효과분석에 대해 기술하고자 한다.

1. 서 론

냉각 시스템이 설치된 북부산~남부산 전력구에는 345kV OF 케이블 3회선과 154kV XLPE 케이블 2회선이 설치되어 있고, 냉각 시스템 도입 전 일부 구간에서 전력구내 온도가 최고 44℃까지 상승하고 있었다. 과도한 온도 상승으로 인해 345kV 지중송전선로의 송전용량이 10% 감소(518MW/회선 → 469MW/회선)되고 있었으며, 향후 북부산~남부산 지중송전선로에서 요구되는 송전 용량(600MW/회선)에 대한 대책이 요구되는 실정이었다.

지중 송전 선로의 송전용량 확보를 위해서는 전력구내 온도를 40℃ 이하로 유지가 필요하고, 향후 송전용량 증대를 위해서는 30℃이하로 낮추어야 하는 기술적 요구에 따라 2010년 한국전력공사에서 시범사업으로 북부산~남부산 지중송전선로 총연장 21km구간 중 임곡 변전소에서 하단오거리 까지 3.8km 구간에 냉각 시스템을 도입하게 되었다. 냉각시스템 운영 및 분석을 통해 전력구 온도와 송전용량과의 상관관계를 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 북부산~남부산 지중송전선로 설치 냉각 용량

2.1.1 발열량

송전케이블의 전기적 손실에 의해 발생하는 열은 절연체와 금속시스 및 케이블 방식층을 통해 외부 매질로 방산된다. 전력케이블의 구조, 재질의 영향과 더불어 주위에 설치된 케이블 수량과 종류, 주변 토양환경, 케이블간의 상대적 거리, 지표면과의 거리 및 케이블 시스의 연결방법 등 다양한 요소에 의해 영향을 받는다. 케이블의 도체, 절연체, 시스템에서 발생하는 전기적 손실은 열에너지형태로 변환되어 열손실로 나타나며, 열회로의 전달과정을 통해 외부로 이동한다. 지중송전케이블 내의 모든 비도전성 재질은 케이블에서 발생한 열의 흐름을 방해하는 열저항으로 작용된다. 케이블 발열량 산정방법은 환전 지중송전 설계기준-6210 및 IEC 60287에 따라 식(1)과 같이 계산되었다.

$$W(\text{발열량}) = \sum_{i=1}^n [n W_{ci} (1 + P_{si}) L_{fi} + n W_{di}] \quad \text{----- (1)}$$

- n : 케이블 상수
- Wci : 케이블 도체 손실
- Psi : 케이블의 시스손실율
- Lfi : 선로손실율
- Wdi : 유전체손실율

상기 (1)식에 따라 북부산~남부산 지중송전선로에서의 발열량을 계산하였으며, 현재의 부하 상태와 발열량은 표1에 나타내었다. 표 1에서 알 수 있듯이 측정 월중 부하 차이는 12% 이내로 크지 않으나, 3,4월 부하는 동절기(1,2월)와 비교시 조금 감소하는 경향을 보이고 있다

<표 1> 2011년 북부산~남부산 부하 및 발열량 현황

구 분	2011년 월별/선로별 평균부하				
	1월	2월	3월	4월	월 평균
345kV(3회선)	476A	449A	419A	429A	443A
154kV(2회선)	600A	672A	699A	526A	624A
발열량(W/m)	157.1	147.5	136.9	138.7	145.05

다음 표2에서는 북부산~남부산 지중송전선로 냉각시스템 설치 목표 발열량을 나타내고 있고, 상기 표1과 비교시 현재 해당 선로의 발열량은 목표 대비 60% 수준이었다.

<표 2> 북부산~남부산 냉각 시스템 설치를 위한 기초부하 및 발열량

구 분	345kV	154kV	비 고
목표부하(A/회선)	665.2A	864A	
발열량(W/m)	145.9	99.2	발열량 계 : 245.1

* 목표부하 및 발열량 기준: '06~'07년 월별 최대부하전류 평균값

2.1.2 냉각 용량

지중송전 선로의 발열량에 따른 냉각 용량 산정은 환기에 따른 발열량 제거 열량과 전력구 주변 토양으로 전도되는 열량을 제외한 냉각 용량을 산출하여야하나, 개착식 전력구에서는 환기에 따른 열량 제거 부분은 미미하고, 북부산~남부산 전력구는 설치 년수가 10여년이 지나 토양 경년에 따른 온도 상승을 정확히 산출하기에 어려우므로 냉각시스템의 안전율을 고려하여 케이블 발열량 100%에 해당하는 냉각용량을 산출하여 금번 시범사업에 적용하였다.

<표 3> 냉각 용량 산출 근거

구 분	적용 발열량 (W/m)	냉 각 구간 길이(m)	설치 냉각용량 (usRT)
적용 값	245.1	3.8km	264

다음 그림1에는 금번 시범 냉각시스템 설치구간에 대한 냉각길이 및 경과지를 나타내고 있다.



<그림 1> 냉각시스템 설치 길이 및 경과지

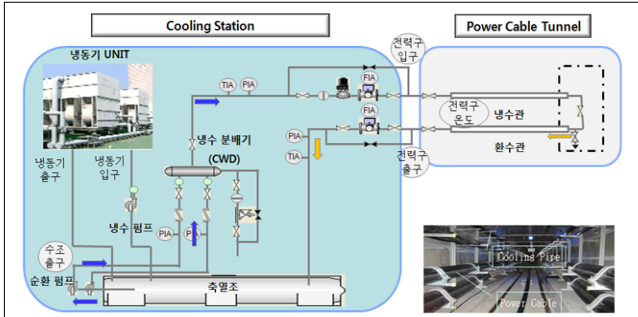
2.1.3 적용 냉각 시스템 (간접 수냉각 방식)

케이블 발생 열을 제거하는 방법은 일반적으로 강제 냉각방식을 적용한다. 냉각방식에 따라 직접 및 간접 냉각으로 구분할 수 있으며, 직접 냉각방식은 케이블 내부에 냉각매체를 통과시키는 내부 냉각방식과 케이블 외부에 직접 접속하여 냉각매체를 통과시켜 발생 열을 제거하는 외부 냉각방식으로 본 시스템에서는 간접 수냉각 방식을 채택하였고, 냉수관 포설 형태는 전력구 상부 집중 냉각방식을 채택 하였다.

2.3 냉각시스템 설비 구성

2.3.1 설비 개요

본 냉각시스템은 냉수 제조 설비, 냉수 순환 설비, 감시제어 설비로 구성되어 있으며, 그림 2에 구성도를 나타내었다. 냉수제조 설비에는 냉동기 유니트, 축열조 및 펌프류로 구성되어 있으며, 냉수 순환설비는 냉수관과 이와 연관된 각종 접속제로 구성된다. 감시 제어 설비는 냉각 시스템과 기존 송전 운영시스템을 통합 관리 운영 할 수 있도록 구성 하였다.



<그림 2> 냉각시스템 구성도

2.3.2 설비 설치 용량

본 냉각시스템의 주요 설비는 아래 표 4에서 자세히 기술 하였다.

<표 4> 냉각시스템 주요 설비 현황

기기명	규격	수량	설치위치
냉동기 UNIT	Screw Chiller, 150usRT/set, eva-con	2set	냉각소 옥상
전력구 순환 펌프	입형다단, 30kW/set	2set	펌프실
냉동기 순환 펌프	입형다단, 18.5kW/set	4set	펌프실
수조 순환 펌프	입형다단, 11kW/set	2set	펌프실
옥상수조 공급 펌프	부스타 펌프, 6kW/set(2연 1set)	1set	펌프실
수조	수조(161ton, 4 room구형), 냉각탑 보조 수조(5ton)	각 1set	수조실, 옥상 개단 상부
송수관/환수관	냉수관: 80A, 10K + 7.5K 존합/환수관: 80A, 7.5K	2열 배설	전력구 상부

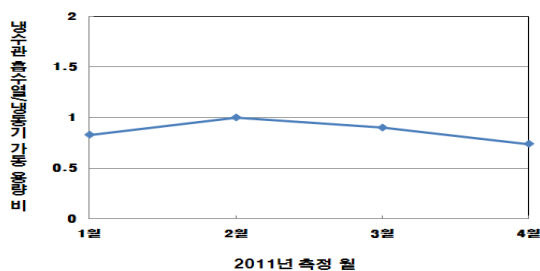
2.4 냉각시스템 효과 분석

2.4.1 냉각시스템 에너지 평형 분석

냉각 시스템의 기초 성능을 분석하기 위해 시스템에 대한 열평형 분석을 실시하였다. 열평형 분석 기본이론은 식 2와 같으며, 케이블 발생 열은 토양 및 환기로 빠져나간 열량을 제외하고 남은 열량이 냉각 시스템에서 제거되는 것으로 하였다.

$$Q_{\text{냉각용량}} = Q_{\text{케이블발생열}} - Q_{\text{환기제거열량}} - Q_{\text{토양전도열량}} \quad (2)$$

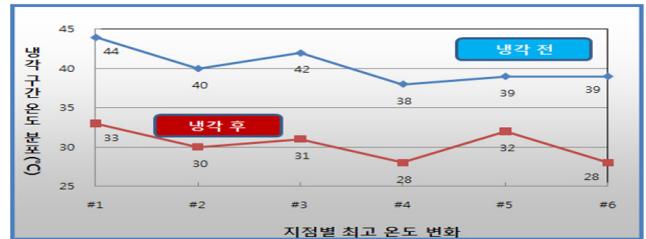
여기서 환기로 빠져나가는 열량은 환기팬 가동 유무 및 가동시간에 따라 제거 열량 차이가 있고, 효과 또한 미미하므로 본 고에서는 고려하지 않기로 하였다.²⁾ 시스템의 열평형 분석은 이론적으로 전력구 내부에 설치된 냉수관에서 흡수된 열량은 냉동기에서 제거하는 열량과 같아야 된다. 따라서 시스템의 열평형 평가는 전력구내 냉수관 흡수열량/냉동기 가동 열량 비로 평가 하였으며, 이 결과를 그림 3에 나타 내었다. 그림에서 알 수 있듯이 월별 냉수관 흡수열량 대비 냉동기 가동 용량은 측정 기간 평균 0.9로 나타났으며, 오차(단열 손실, 측정오차 및 일부 환기 영향 등)에 해당 되는 부분은 10%이내로 안정적으로 운전되고 있음을 알 수 있다.



<그림 3> 냉수관을 통한 케이블 흡열량/냉동기 가동 열량 비

2.4.2 냉각 구간 전력구 온도 변화와 송전 용량 증대

냉각 시스템 가동시 구간 전체의 온도 분포는 그림 4에서 나타내었다. 냉각구간 평균 온도는 약 30.3℃이며, 냉각 시스템 가동 전 구간 평균 온도는 40℃로 냉각 후 10℃하락 하였다. 이러한 결과는 표 5에서 알 수 있듯이 지중송전선로 송전용량 설계 시 전력구 온도를 40℃ 기준으로, 345kV 케이블 허용 송전 용량은 518MW로 전력구 온도를 10℃ 저감시 송전 용량은 605MW까지 송전 용량은 16.6% 증가 시킬 수 있는 결과를 예측 할 수 있다. 따라서 냉각시스템 적용 구간에서 전력구 온도를 10℃ 저감함에 따라 향후 송전용량 증대에 대처 할 수 있음을 입증 하였다.



<그림 4> 냉각 구간내 냉각 전후 전력구 온도 변화

<표 5> 전력구 온도에 따른 345kV T/L 송전용량 변화

전력구 온도 (°C)	30	35	40	45	50
송전용량 (MW)	605	563	518	469	414
변화율 (%)	↑16.6	↑8.6	0	↓9.5	↓20

2.4.3 냉각 시스템 주요 요소 운영 상태

현재 가동 중인 냉각 시스템 용량은 월 평균 25RT/시간 로 설계 용량의 22% 수준이다. 현재 공급능력은 설계 부하의 40%(240MW/회선)로 향후 부하증가(600MW/회선)에 충분히 대응 할 수 있을 것으로 사료된다. 주요 냉각설비의 월 평균 가동 상태는 다음 표 6에 기술 하였다.

<표 6> 냉각 시스템 주요 요소별 월 평균 운전 상태

구분	운전 상태	구분	운전상태			
냉동기 가동용량	55usRT/시간	냉수 온도	입구	11.5℃		
			출구	19.2℃		
냉수 순환 펌프 상태	504 LPM 유속: 0.83m/s	축열조 온도(°C)	#1	#2	#3	#4
			10.3	13.1	21.1	21.5

2.5 냉각시스템 운영 결과

2.5.1 안정적 송전용량 확보 및 증대 효과

냉각 시스템 시범 설치 구간에서 전력구 온도가 평균 10℃저감됨에 따라 북부산~남부산 전력구 전구간에서 안정적 온도 균형으로 송전용량 증가가 가능 할 것으로 판단된다. 북부산~남부산 21km 전 구간에 대한 송전용량 증대를 위해서는 전력구 온도를 균형 있게 유지하는 것이 매우 중요하다.

2.5.2 기대 효과

지중 송전선로내 온도 영향으로 송전 용량이 감소되는 구간에 대해 안정적 송전용량 확보에 기여함과 더불어 약 20%이상 송전 용량 증대가 예상됨에 따라 전력 수요 증가에 따른 케이블 증설 및 지중 송전선로 설비 증설 지연으로 경제적 이익이 예상된다.

3. 결 론

국내 지중송전선로내 설치 가능한 냉각방법과 경제성을 검토 후 국내 최초로 북부산~남부산 전력구 일부 구간(3.8km)에 대한 간접냉각시스템을 도입하여 운영한 결과 송전용량 증대가 가능 한 것으로 판단된다. 따라서 안정적인 전력공급 기여 및 향후 계획된 증설선로의 설치시기를 지연시킴으로써 건설투자비를 절감시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 급변 시범사업을 통해 국내 전력구 냉각을 통한 송전용량 증대 기술 확보가 가능 할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "지중송전케이블 시스템", 2002.12.
- [2] 김두진 외, "초고압 지중송전선로 송전용량 증대방안", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 2009. 7, pp.14~17
- [3] 한국전력공사 남부건설단, "345kV 북부산~남부산 전력구 냉각시스템 시범 보고서", 2011. 4.