

지중 송전선로의 대용량화를 위한 내부냉각 케이블 시스템의 검토

최 창수, 이 갑중, 정 무영*
대한전선(주)

A STUDY OF INNER COOLING CABLE SYSTEM
FOR UNDERGROUND POWER TRANSMISSION LINE

CHANG-SOO CHOI, KAB-JOONG LEE, MOO-YOUNG CHUNG *
TAIHAN ELECTRIC WIRE CO.,LTD

ABSTRACTS

Recently, the demand of electric power has increased remarkably in densely populated cities in Korea. Various method to increase the power transmission capability of underground cable lines has been investigated.

In this paper presents the study of inner cooling cable system for larger power transmission capability. It is also shown that designed inner cooling cable and their system proves more economic than conventional type cables.

서 론

근간, 지중 송전 선로에 있어서 도심지 전력 수요 밀도가 급격히 증가함에 따라 대용량 송전이 요구되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위하여, 각종 새로운 대용량 케이블의 검토가 활발하게 이루어지고 있으며, 그 방법의 하나인 케이블 도체 내부에 냉각매체(水, 油, 가스 등)를 직접 순환시켜 송전 용량을 증가시키는 내부 냉각 케이블 시스템은 냉각 효율이 높아 경제적 측면에서 매우 매력적인 방법이다.

현재, 내부 냉각 케이블 시스템은 냉각 매체 순환에 따른 케이블 및 종단, 중간 접속함의 실용화에 몇 가지 문제점이 있으나 그 개발에 따른 높은 경제성에 따라 향후 실용화에 많은 관심을 받고 있다.

본고에서는 국내 초고압 지중 케이블 제조회사로서 쌓은 경험과 성과를 토대로 내부 냉각 케이블 시스템의 기본 개념, 내부 냉각 케이블의 설계, 및 송전 용량 증가를 고찰하였다.

1. 내부냉각 케이블 시스템의 고찰

1.1. 내부냉각 시스템의 기본 구성

케이블 내부에 냉매를 순환시키는 시스템의 기본구성을 그림 1.에 나타내었다.

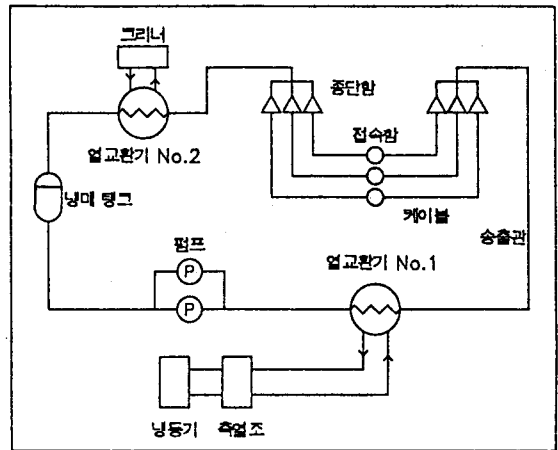


그림 1. 내부 냉각 케이블 시스템의 기본 구성

내부 냉각 시스템의 기본 요소는 냉각 펌프, 열 교환기, 이온 교환기(수냉), 크리어 및 제어 / 감시 장치 등으로 이루어진다.

내부 냉각 시스템 구성은 냉각 순환 계통, 케이블 및 접속재에 대한 신뢰성이 시스템 전반을 결정짓는 주요 요소이다.

그림 1.은 이러한 냉각시스템에 대한 기본 구성을 나타낸 것이며, 이 시스템에 적용된 냉각 케이블은 케이블 외경 증가에 따른 손실에도 불구하고 JOULE 열에 의한 손실의 저감으로 전체적으로 송전용량의 증가를 가져온다.

1.2. 냉매의 재질과 선택

내부 냉각 케이블 시스템에서 냉매의 재질은 공업용냉매가 사용되며, 일반적으로 다음 특성을 고려하여 선택되어야 한다.

- 1) 냉각효과가 클 것
- 2) 열적, 화학적으로 안정할 것.
- 3) 절연 특성이 우수할 것.
- 4) 경제성이 우수할 것.
- 5) 환경 공해가 없을 것.

표 1.은 각 냉매의 제특성을 기술한 것이다.

항 목	단 위	水	NH ₃	SF ₆	프레온
비 등 점	℃	100	-33.6	-64	-40.57
증발잠열	KCal/kg at비등점	539	326	-	55.81
기상밀도	Kg/m ³ at비등점	0.598	0.87	-	4.72
절연저항	Ω -cm (액체)	1x10 ⁵	-	-	7x10 ¹¹
비유전율	-(액체)	80	15.5	-	6.11
가 연 성	-	없음	폭발성	없음	없음
부 식 성	-	있음	있음	없음	없음
기 타	-	순도 유지	-	-	-

표 1. 각종 냉매의 제특성

2.3. 내부 냉각 케이블 설계

내부 냉각 케이블은 냉매의 순환을 안정적이고 원활하게 공급함을 기본개념으로 설계하였다.

현재, 국내 케이블 제조 회사에서 생산되고 있는 0.F 및 XLPE 케이블 공히 내부 냉각 케이블로 적용이 가능하나, 케이블 외경이 상대적으로 큰 XLPE 케이블을 대상으로 설계하였으며, 설계된 케이블의 구조에 대하여 간략하게 설명하면 다음과 같다.

1) 냉매관

냉매관의 재질은 내부식성 및 제조 취급이 용이하도록 동관으로 선정하였다.

냉매관 내경 및 두께는 내압력 특성, 케이블 제조 및 포설시에 예상되는 굴곡에 의한 좌굴현상에 대비하고 또한 시작품임을 고려하여 충분한 여유를 두었다.

2) 도체

도체는 현재까지 범용으로 사용되고 있는 1Cx2000mm²으로 선정하였다. 또한 도체의 구조는 교류 도체 저항의 저감 및 냉매관위에 구성되는 점을 고려하여 다분할 중공 압축 원형도체로 하였다.

이같은 다분할구조는 도체 저항의 포피효과를 향상시킨다. 또한 도체의 바인다는 기존의 반도체테이프를 적용하였다.

3) 절연체

절연체는 현재 154KV XLPE 케이블에서 채용하고 있는 가교폴리에틸렌을 가열, 가압하는 방식으로 그 두께는 기존의 케이블과 동일하게 23.0mm로 하였다.

그러나, 최근 XLPE 절연체 제조기술 및 시공기술의 향상

으로 ϵ_r 값의 상승으로 절연체 두께 저감이 가능할 것으로 생각된다.

4) 금속 시스

금속시스는 단락 전류 용량 및 케이블 포설 조건을 충분히 고려하여 파형 알루미늄피로 설계하였고, 코아의 열팽창을 고려한 갭을 가진 구조로 하였다.

5) 방식 층

방식층 재질은 난연성이 우수한 비닐로 하였으며, 두께는 전기적, 기계적 특성을 고려하여 4.5mm로 하였다.

그림 2. 및 표 2.에서는 일반적인 154KV 1Cx2,000mm² XLPE 케이블을 모델로하여 설계된 내부 냉각 케이블의 구조도 및 구조표를 나타내었다.

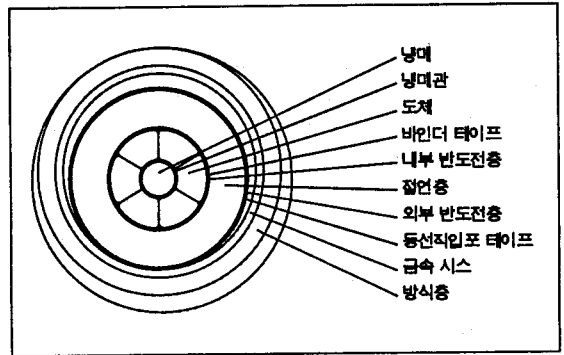


그림 2. 내부냉각 케이블 구조도

항 목		단 위	구 조
냉매관	재 질	-	동 관
	내 경	mm	45.0
도 체	재 질	-	연 동선
	단면적	mm ²	2000
	외 경	mm	71.9
내부 반도체층 두께		mm	약. 2.0
절연체	두께	mm	23.0
	외 경	mm	121.0
외부 반도체층	압출부 두께	mm	1.5
	등선직입포 두께	mm	0.5
금속 시스	재 질	-	알루미늄(파형)
	두께	mm	3.2
방식층	재 질	-	PVC
	두께	mm	4.5
케이블 개략 외경		mm	약. 159.0

표 2. 케이블 구조표

3. 내부냉각 케이블 허용전류 계산

냉매의 순환에 의한 저항손실의 감소에 의하여 내부 냉각 케이블은 전반적으로 송전용량의 증가가 예상된다. 그림 3.은 내부 냉각 케이블 시스템에서의 케이블의 등가 열회로를 나타낸 것이다.

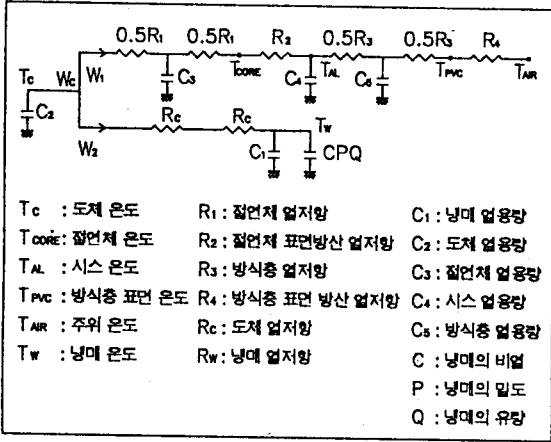


그림 3. 등가 열 회로도

그림 3.과 같은 등가 열회로를 이용하여 케이블의 허용 전류를 구하는 계산식을 간략하게 기술하면 다음과 같다.

$$I = \sqrt{\frac{T_c - T_o - T_p}{R_{ae} \cdot R_{i1} \cdot C_r}} \quad [\text{Amp}]$$

여기서, T_c : 검토점에서의 도체온도 [°C]
 T_o : 기저온도 [°C]
 T_p : 냉매에 의한 온도저감 [°C]

$$T_p = \frac{R_{i2}}{R_{i2} + R_w} (T_a - T_o) \text{EXP}\left\{-\frac{x}{CQ(R_{i2} + R_w)}\right\}$$

T_a : 냉각관 입구 온도 [°C]

R_{ae} : 검토점에서의 교류도체저항 [Ω , cm]

C_r : 냉매에 의한 저감계수 [°C]

$$C_r = \frac{R_{i2}}{R_{i2} + R_w} \text{EXP}\left\{-\frac{x}{CQ(R_{i2} + R_w)}\right\}$$

$$R_{i1} = \frac{R_i + (1 + P_a)R_a}{1 - \alpha W(R_i + (1 + P_a)R_a)}$$

$$R_{i2} = \frac{R_i + R_a}{1 - \alpha W(R_i + (1 + P_a)R_a)}$$

$$W = I^2 R_{ae}$$

표 2.의 내부 냉각케이블에 수냉매를 순환시켰을 때의 허용전류와 일반 케이블의 허용전류를 비교하여 그림 4.에 나타내었다.

이때, 허용전류 계산의 조건은 아래와 같다.

- 1) 포실 조건 : 전력구내 삼각포실 (TREFOIL)
- 2) 검토 거리 : 1,000 [m]
- 3) 도체 최고허용온도: 90[°C]
- 4) 기저온도 : 40 [°C]
- 5) 집지방식: 양단집지
- 6) 유속 V : 720[m/h]
- 7) 유량 Q : 1000[cm³/sec]

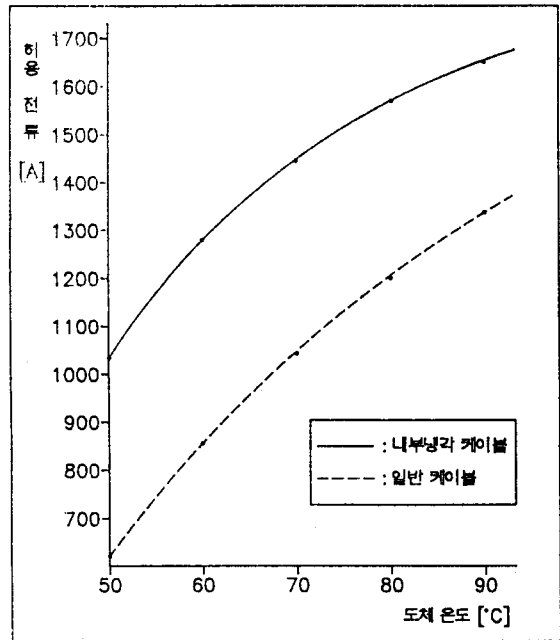


그림 5. 내부 냉각 케이블의 허용전류

4. 결 론

상기에서 검토 한 바와 같이 기존의 일반 케이블에 내부 냉각 시스템을 적용함으로써, 기존 일반 케이블에 비해 송전용량이 약 30% 증가됨을 알 수 있으며, 냉각 시스템의 설비 조건에 따라 더 높은 송전용량의 증가를 기대할 수 있다.

이러한 내부냉각 시스템은 점차 대응량을 필요로 하는 도심지의 전력수요에 따라 지중 케이블 시스템에 도입함으로써 더 높은 송전의 효율성을 가져오리라 생각된다. 그러나 내부 냉각시스템의 도입에는 케이블 부속재 등에 대한 연구가 아직 초기 단계임을 고려할 때 더 많은 연구와 노력이 요구된다.

참고 문헌

1. H. J. KÜNISCH "CONDUCTOR - COOLED HIGH POWER TRANSMISSION CABLE RESULT OF A LONG - TERM TEST IN BERLIN (WEST)" on 1984 CIGRE SESSION 21 - 08
2. H. J. KÜNISCH, P. BLASIUS, B. HARJES "TESTING A 110kV LOW PRESSURE OIL-FILLED CABLE WITH A WATER COOLED CONDUCTOR IN BERLIN (WEST)" on 1982 CIGRE SESSION 21 - 01
3. 森 貞夫, 興石 正明, 川寄 勝利, 中村 重人, 井上 修知 "275kV 内部 直接 水冷 CV 케이블의 基礎 定數" on 昭和58年 日本 電氣學會 全國大會 報告書
4. 한국 전력 공사 기술연구원 "地中 케이블 強制 冷却 SYSTEM 導入을 위한 研究 (最終報告書)"
5. 日本 電氣書院 "第 9章 : 送電 容量" on 電力케이블 技術 핸드북