

전력 케이블 실시간 허용전류산정 시스템에 관한 연구 (I) - 실시간 도체 온도 추정 시스템

論文
52A-7-9

A Dynamic Rating System for Power Cables (I) - Real Time CTM(Conductor Temperature Monitoring)

南 晳 鉉* · 李 秀 吉** · 弘 珍 永*** · 金 定 年§ · 鄭 聖 煥§§

(Nam Suk-Hyun · Lee Su-Kil · Hong Jin-Young · Kim Jung-Nyun · Jeong Seong-Hwan)

Abstract - The domestic needs for larger capability of power sources are increasing to cope with the expanding power load which results from the industrial developments & the progressed life style. In summer, the peak load is mainly due to the non-industrial reasons such as air-conditioners and other cooling equipments. To cover the concentrated peak load in stable, the power transmission lines should be more constructed and efficiently operated.

The ampacity design of the underground cable system is generally following international standards such as IEC287, IEC60853 and JCS168 which regards the shape of 100% daily full power loads. It is not so efficient to neglect the real shapes of load curves generally below 60~70% of full load.

The dynamic (real time) rating system tends to be used with the measured thermal parameters which make it possible to calculate the maximum ampacity within required periods.

In this paper, the CTM(Conductor Temperature Monitoring) which is the base of dynamic rating systems for tunnel environment is proposed by a design of lumped thermal network (π -type thermal model) and distribution temperature sensor attached configuration, including the estimation results of its performances by load cycle test on 345kV single phase XLPE cable.

Key Words : Dynamic Rating, Underground Cable, Ampacity,

1. 서 론

일반적으로 지중 송전 케이블의 설치 및 운용에 있어서 송전용량은 주로 지중 송전 케이블이 가지는 온도 특성의 한계에 의해서 결정된다. OF(Oil Filled) 케이블의 경우 도체 온도가 85℃에 도달할 때의, XLPE(Cross Linked Polyethylene) 케이블의 경우 90℃가 될 때의 전류 용량을 기준으로 허용전류가 결정된다. 지중 송전 케이블의 허용 전류 설계분야에 있어서는 현재까지 IEC287이나 IEC60853, JCS168 등의 국제 규격에 근간한 정적 허용 전류 계산식을 주로 이용하고 있으며, 열적 정적 상태를 가정하여 지중 송전케이블의 도체온도가 정적으로 허용치에 도달하는 100% 부하율을 가정한 전류를 기준으로 삼고 있다. 이 때문에 실제로 동적 상태에 있는 지중 송전 케이블은 비교적 낮은 이용률로 운전되고 있다. 운전효율을 향상시키기 위한 방안 중에서 실시간 허용 전류 산정 시스템(DRS : Dynamic Rating System)이 비교적 경제적인 대안으로 제시되고 있다. 실시간 허용 전류 산정 시스

템의 핵심 기술은 실선로 운전 상태에서 측정 불가능한 도체 온도를 지속적으로 정확히 추정하는 기술(CTM : Conductor Monitoring System)이다.

지중 송전 케이블 도체 온도를 추정하는 방법으로 제안되어 있는 방식으로는 EPRI에서 사용하는 2단 회로망 법[1][2], CIGRE에서 제안된 집중 열 회로망 법[3][4] 및 유한 요소 해석법[5] 등이 있다. 2단 회로망 법은 다단계의 열 모델을 하나의 소자로 단순화시켰기 때문에 송전급 케이블과 같이 비교적 절연층의 두께가 두꺼운 모델에 대해서는 정확도가 떨어지는 단점이 있고 유한 요소 해석법은 간략법과 비교하여 정확도는 개선되었으나 시스템의 메모리 용량과 계산시간을 과다하게 요구하여 장거리 선로에 대한 실시간 연산이 난해한 단점이 있었다.

본 연구에서는 정확도 및 신속성을 가지는 송전 케이블 도체 온도 추정을 위하여 집중 열 회로망 법 중 π 형 등가 열 모델을 사용하였다. 또한, 케이블 메이커나 설계/제조 공정에 따라서 변화 될 수 있는 지중 송전 케이블의 열 정수를 절연체 표면과 알루미늄 시스 사이의 공기층 열 저항과 절연체의 열 용량, 그리고 지중 송전 케이블의 도체 전기 저항 값에 대해서 보정하였다. 연구의 결과에 따라서 구현된 시스템을 345kV XLPE 케이블을 대상으로 실증한 결과를 소개한다.

2. 지중 송전 케이블의 열 모델 및 수치 해석

지중 송전 케이블은 구조, 재질, 포설 환경에 따라서 등가

* 準 會 員 : LG電線 電力研究所
** 正 會 員 : LG電線 電力研究所
*** 正 會 員 : LG電線 Engineering Team
§ 正 會 員 : LG電線 電力研究所
§§ 正 會 員 : 韓國電氣研究員 電力研究團
接受日字 : 2002年 11月 20日
最終完了 : 2003年 5月 6日

전기회로로 근사화가 가능하다. 열 모델에 대한 실질적인 열 정수는 지중 송전 케이블의 재질과 형상에 의해서 결정된다.

지중 송전 케이블(전력구 포설 상태 가정)에서 나타나는 온도 구배는 그림 1과 같이 도체 내부, 금속 시스 및 반도체층을 포함한 절연층, 그리고 시스 보호용 자켓층 내에서 지수적으로 감소하고 각 층간의 온도는 연속적이다가 시스 보호용 자켓층과 대기 사이에서 불연속적으로 감소된다. 국내 전력구에 포설되는 지중 송전 케이블은 그림 2(a)와 같은 파고를 가지는 시스 형상이지만 그림 2(b)와 같은 등가 형상으로 근사하였다[6].

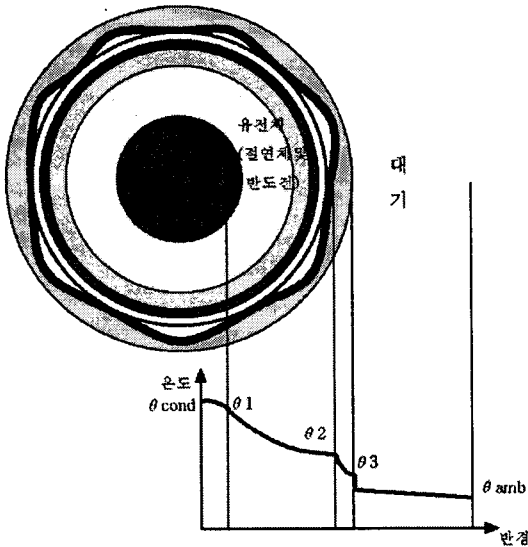


그림 1 지중 송전 케이블에서의 통전 중 온도구배
Fig. 1 Temperature profile of underground cable

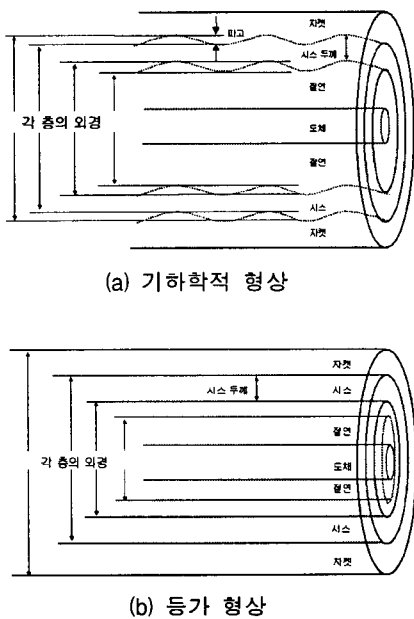


그림 2 IEC287에 의한 등가 형상
Fig. 2 Equivalent cable shape according to IEC287

2.1 정상상태에 대한 열 모델

정상 상태에서는 100%의 부하율을 가정하여 열 용량에 의한 온도 응답 특성을 고려하지 않고, 그림 3과 같이 열 저항만으로 이루어진 열 모델을 사용한다. 정상 상태에 대한 열 모델은 100% 부하율을 가정하기 때문에 지중 송전 케이블이 무한 시간 동안 최악의 조건을 가정하여 흘릴 수 있는 최대 전류 계산 시에 사용하며 식 (1)에 의하여 구할 수 있다[7].

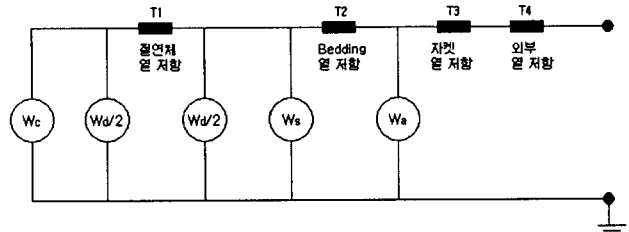


그림 3 정상 상태에 대한 지중 송전 케이블의 열 모델
Fig. 3 Steady state thermal model of underground cable

여기서, W_c : 도체발열량[W/m], W_d : 유전체 손실 [W/m], W_s : 시스 손실[W/m], W_a : 아머 손실[W/m], $T_1 \sim T_4$: 케이블 각층의 열 저항 [K·m/W]

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - W_d[0.5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{0.5} \quad (1)$$

여기서, $\Delta\theta$: 규제 온도와 지중 송전 케이블 주변온도와의 차이 [°C], R : 도체의 온도가 최고점 일 때의 전기적인 교류 전기 저항 [$\Omega \cdot m$], W_d : 유전체 손실 [W/m], $T_1 \sim T_4$: 케이블 각층의 열 저항 [K·m/W], n : 한 케이블 내의 심선(도체) 수, λ_1 : 시스 손실 계수 (Sheath loss factor), λ_2 : 아머 손실 계수 (Armor loss factor)

2.2 과도 상태에 대한 열 모델

과도 상태에서는 지중 송전 케이블 및 주변 매질의 열 저항과 더불어 전기적 등가 회로의 정전 용량에 해당하는 열 용량을 고려하여 열 모델을 나타낸다. 그림 4에 과도상태에 대한 전기적인 열 모델 등가 회로를 전력구 포설을 가정하여 나타내었다.

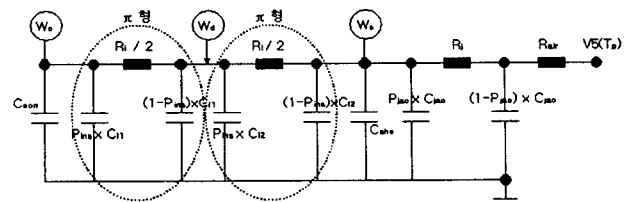


그림 4 단시간 과도 상태에 대한 지중 송전 케이블(단상)의 열 모델
Fig. 4 Transient state thermal model of underground cable for emergency rating

여기서, W_c : 도체 발열량[W/m], W_d : 유전체 손실 [W/m], W_s : 시스 손실 [W/m], C_{con} , C_{I1} , C_{I2} , C_{ins} , C_{jac} : 지중 송전 케이블 각부의 열 용량 [J/K·m], P_{ins} , P_{jac} : 열 용량 분배 계수, R_I : 절연체 열 저항 [K·m/W], R_j : 자켓 열 저항 [K·m/W], R_{air} : 대기층 열 저항 [K·m/W], $V_5[^\circ C]$ (T_g): 전력구 온도 [°C]

절연체에 대한 등가 회로는 지중 송전 케이블의 경우, 절연두께가 10mm 이상임을 감안하여 지중 전력 케이블의 절연체 층과 자켓 층을 각각 2개의 층으로 나누는 Π 형 분포 등가 회로로 근사하였다. 그림 5는 그림 4의 등가 회로를 다시 단순화 시킨 등가 모델이다[6].

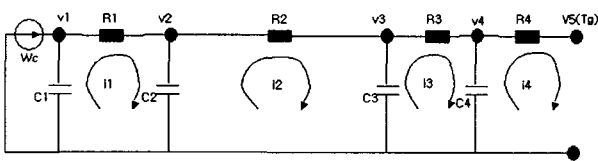


그림 5 단순화한 과도 상태 등가 회로
Fig. 5 Simplified equivalent transient state thermal circuit

여기서, $C_1 = C_{con} + (P_{ins} \times C_{I1})$, $C_2 = (1 - P_{ins}) \times C_{I1} + (P_{ins} \times C_{I2})$, $C_3 = (1 - P_{ins}) \times C_{I2} + C_{she} + (P_{jac} \times C_{jac})$, $C_4 = (1 - P_{jac}) \times C_{jac}$, $R_1 = R_i / 2$, $R_2 = R_i / 2$, $R_3 = R_j$, $R_4 = R_{air}$, $v_1 \sim v_5 =$ 각 노드에서의 온도 [°C]

그림 5에 나타난 등가 회로에서, 각 노드의 온도는 Kirchhoff의 법칙을 사용하여 식 (2)와 같은 상태 방정식으로 구할 수 있다. 식 (2)의 상태방정식을 이용하여 Runge-Kutta 4th법으로 해를 구하는 프로그램을 제작하였다.

3. 지중 송전 케이블에 대한 열 정수 보정

지중 송전 케이블에 대한 열 정수의 초기치를 IEC287과 JCS168 등의 규격을 이용하여 구한 후, 실험을 통하여 보정하였다. 그림 6에 지중 송전 케이블 도체 온도 추정을 반복하여 지중 송전케이블의 열 정수를 보정하는 순서도를 나타내었다[6].

보정 계수의 산출은 그림 5에 나타난 열 모델의 v_1 에 해

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-1}{C_1 R_1} & \frac{1}{C_1 R_2} & 0 & 0 \\ 1 & \frac{-1}{C_2 R_1} - \frac{1}{C_2 R_2} & \frac{1}{C_2 R_2} & 0 \\ \frac{C_2 R_1}{C_2 R_1} & \frac{1}{C_3 R_2} & \frac{-1}{C_3 R_2} - \frac{1}{C_3 R_3} & \frac{1}{C_3 R_4} \\ 0 & 0 & \frac{1}{C_4 R_3} & \frac{-1}{C_4 R_3} - \frac{1}{C_4 R_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_4 R_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_c \\ v_5(T_g) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = [0 \ 0 \ 0 \ 1] \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix}$$

여기서, w_c , $v_5(T_g)$ 는 각각 도체 발열량, 대기온도 입력값, $v_1 \sim v_4$ 는 각 노드의 온도

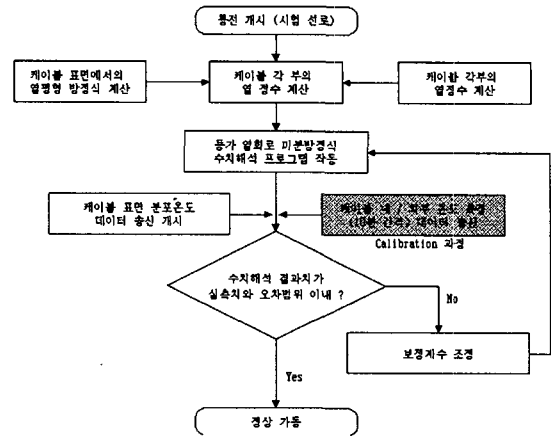


그림 6 보정 계수 산출과 Calibration 과정
Fig. 6 Correction factor and calibration process

당하는 지중 송전 케이블 도체에 대한 추정 온도와 측정 온도를 비교하여 추정 오차가 정해진 과도/정상 상태에서 모두 $\pm 1.5 [^\circ C]$ 이내인 조건을 만족할 때까지 조정을 반복하여 구하였다.

3.1 실험 장비 구성 및 초기 조건의 설정

실험에 사용된 지중 송전 케이블의 길이는 양쪽 끝단에서의 열 전도에 의한 영향을 무시할 수 있도록 예비 실험을 통하여 25m로 정하였다. 지중 송전 케이블이 전력구에 포설되어 있는 상태를 모의하기 위하여 크리트와 지지대를 사용한 고정 방식으로 포설하였다. 5,000 [A]의 전류를 흘릴 수 있는 CT(Current Transformer)를 사용하여 전류를 통전하였으며, 전류의 크기는 0.1초 간격으로 얻어진 데이터를 1분 간격으로 적분 평균하여 입력 데이터로 사용되었다. 그림 7에 실험 장비의 구성을 나타내었다. Point B에서 도체, 절연체 중심부, 절연체 외부, 알루미늄 시스, PVC 자켓 외부온도를 측정하여 계산 결과와의 비교 데이터로 사용했고, Point A와 C에서 각각 측정된 도체, PVC 외부 온도는 측정 오차를 예측하기 위한 참고 데이터로 사용하였다.

그림 4에 나타난 등가회로에 대한 열 정수 초기값은 IEC60853-2에 의거하여, 표 1에 나타난 상수와 그림 2에 나타난 지중 송전 케이블의 등가형상을 사용하여 표 2와 같이 계산되었다[6].

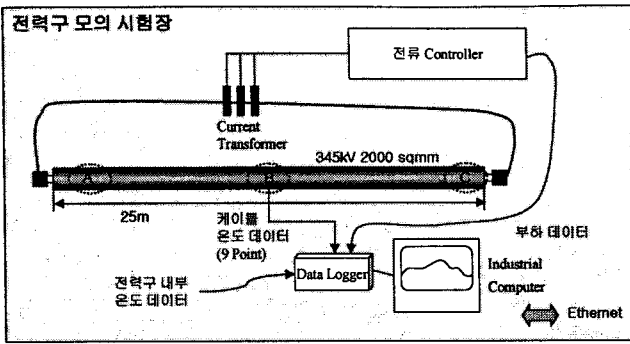


그림 7 실험 장비의 구성
Fig. 7 Experimental setup

표 1 지중 송전 케이블 각 부의 물리적 상수
Table 1 Physical constant for each section of cable

종류	열 저항률 [K · m / W]	비열 [J/K · m ³]
도체	-	3.45x1006
절연체(XLPE)	3.5	2.4x1006
알루미늄 시스	-	2.5x1006
자켓 (PVC)	6.0	1.7x1006

표 2 열 정수 초기값
Table 2 Initial value of thermal parameters

표기	초기값	비고	
열저항 [K · m/W]	R _j	0.5020	절연체 열 저항
	R _{jac}	0.1016	자켓 열 저항
열용량 [J/K · m]	C _{con}	8.4247x1003	도체 열 용량
	C _I	2.9673x1003	절연체 열 용량
	C _{she}	2.9382x1003	시스 열 용량
	C _{jac}	5.5053x1003	자켓 열 용량

그림 4에 나타난 등가회로에 대한 열 정수 초기값은 IEC60853-2에 의거하여, 표 1에 나타난 상수와 그림 2에 나타난 지중 송전 케이블의 등가형상을 사용하여 표 2와 같이 계산되었다[6].

전압을 인가하지 않았으므로 유전체 손실(Wd)은 없으며, 접지를 절연 처리하고 단상에 대해서 실험을 실시하였으므로 시스 손실을 무시하였다. 실제로 현장에 포설되는 지중 송전 케이블은 삼상 배치를 가지고, 대기 온도조건 40 [°C], 유전체 손실에 의한 온도 상승분 약 5 [°C], 회로 손실 5 [%] 등이 고려되기 때문에 정격 전류가 1,050 [A]로 비교적 낮지만 실험에 사용된 지중 송전 케이블은 단상 배치이고 유전체 손실과 회로 손실이 없으며 대기 온도가 30 [°C] 미만이기 때문에 정격 전류가 비교적 높다. 본 연구에서는 예비실험을 거쳐 정격 전류를 2,200 [A]로 정하였다. 적절한 실험 시간을 결정하기 위하여 케이블의 시정수를 케이블 각층의 열 저항 및 열 용량 그리고 각 층별 체적을 고려하여 계산하였다.

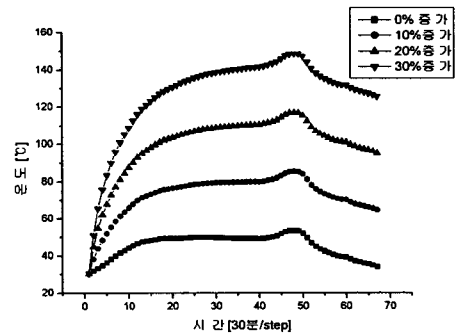
표 2에 나타난 열 정수로부터, $\Sigma Q_i = 19.8 \times 10^3$ [J/K · m],

$\Sigma T_i = 0.6036$ [K · m/W]을 얻을 수 있으므로, $\tau \approx 3.3$ [h]가 된다. 스텝 전류의 입력 시간은 1차 시스템의 시간영역에서의 단위 스텝 응답 이론을 사용하였고, 시스템 안정화 시간이 시정수의 4배인 13.2이므로 여유를 고려하여 16시간 이상으로 정하였다.

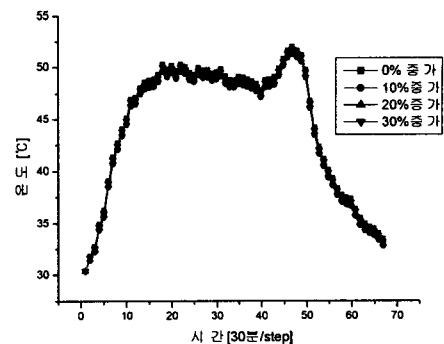
3.2 경계 조건의 설정

그림 5의 R4에 해당하는 대기 열 저항은 현장에서의 측정이 곤란하기 때문에 노이즈로 분류될 수 있다. 이에 대한 대안으로 v4를 경계조건으로 설정하는 방법이 검토될 수 있지만 장거리 구간의 지중 송전 케이블 표면의 온도를 계속하는 것 또한 제약적이기 때문에 현재까지의 시스템 구성은 v5를 경계조건으로 하여 비교적 큰 오차범위를 가져왔다. 본 연구에서는 장거리 구간의 케이블 표면온도를 경제적으로 측정할 수 있는 분포온도 측정 장치를 사용했기 때문에 v4에 해당하는 케이블 외피 온도를 경계 조건으로 설정할 수 있었다. v5를 경계 조건으로 설정한 경우와 v4로 설정한 경우에 대해서 대기 열 저항 변화에 따른 도체 온도 추정 값의 변화를 그림 8에 각각 나타내었다. 여기서 전류 통전 조건은 16시간 동안 2,200[A]의 전류를 통전한 후 정지한 경우이다.

경계 조건을 미 설정 한 경우 대기 열 저항이 30% 증가할 경우, 도체 최대 온도가 3배 차이 났지만 경계 조건을 설정한



(a) 경계조건 미설정시



(b) 경계조건 설정시

그림 8 표면 온도 경계 조건 설정 여부에 따른 도체 온도 추정치의 변화

Fig. 8 The conductor temperature variation with boundary condition

경우, 대기 열 저항의 변화 영향은 무시할 정도로 작은 값을 나타내어, 경계 조건을 설정하는 경우, 대기 열 저항의 변화에 영향 받지 않고 도체온도를 추정할 수 있는 것으로 분석되었다.

3.3 열정수의 보정

표 2에 나타난 케이블의 열 정수를 정확한 값으로 보정하기 위해서, 정상 상태를 일정 시간동안 유지할 수 있는 시간인 16시간 동안 전류를 통전하고 난 후, 10시간 동안 단전하면서 실험 값과 추정 값을 비교하였다. 열 정수의 보정은 지중 송전 케이블의 절연체 표면과 알루미늄 시스 사이의 공기층 열 저항과 절연체의 열 용량, 그리고 지중 송전 케이블의 도체 전기 저항 값에 대해서 실시하였다.

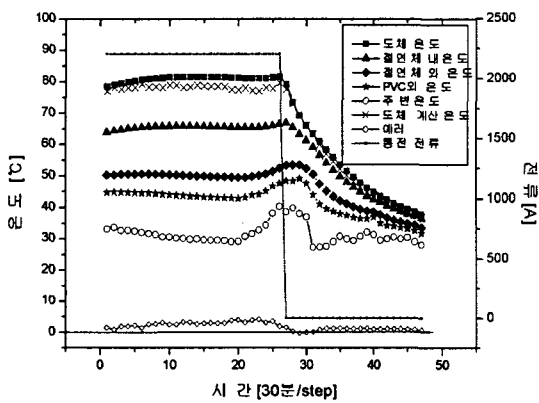
열 정수를 보정하지 않고 표 2에 나타난 규격 값을 대입하여 계산한 결과, 그림 9-(a)와 같은 결과를 얻었다. 여기서, 가로축은 스텝 당 30분을 나타내고 세로축은 투입 부하 및 온도를 나타내며 도체 온도 측정값과 계산 값의 최대 오차는 4.18 [°C]이었다. 정상 상태에서 지중 송전 케이블의 도체 온도 측정값이 계산 값보다 높게 나타나는 이유는 IEC287에서 규정하는 시스에 대한 열 저항이 코루게이션(파고형상)내의 공기층 열 저항에 대해서 차이이기 때문으로 파악된다[6].

그림 9-(b)는 지중 송전 케이블의 열 저항과 열 용량을 보정하여 얻은 결과를 나타내고 있다. 이 경우, 최대 오차는 1.2 5°C로 연구의 목표치인 추정 오차 ±1.5°C이내의 결과를 얻을 수 있었으며 온도 상승과 더불어 온도 하강 시에도 조건을 만족하였다. 절연체 열 용량의 보정은 +4,000[J/K·m]이었고, 절연체 표면과 알루미늄 시스 사이의 공기층 열 저항에 대한 보정은 자켓 열 저항의 +10 [%] 수준이었으며 도체 전기 저항의 보정은 약 -3 [%] 수준이었다.

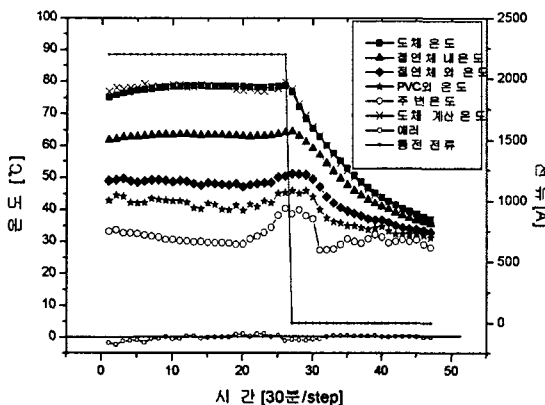
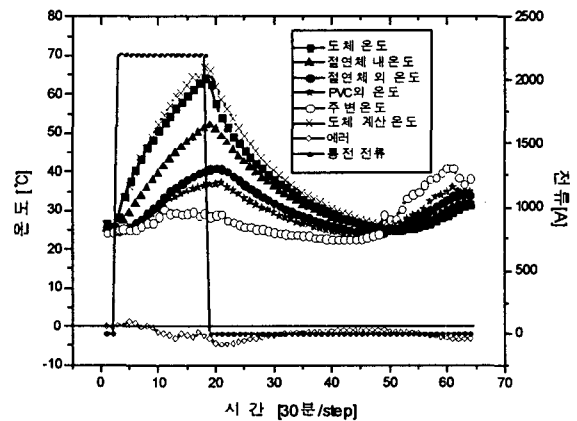
3.4 단시간(8시간) 응답특성

3.3절에서 구한 열 정수 보정 값이 정상상태에 도달하기 이전인 단시간 통전 상태에도 정확한지 검증하기 위하여 2,200[A]의 전류를 단위 응답시간의 상승시간인 2.2 τ ≃ 8시간 동안 통전했을 경우에 대한 측정 값과 계산 결과를 그림 10에 나타내었다.

실험 결과, 보정 이전에 나타난 지중 송전 케이블 도체 온도의 경우, 측정 값과 계산 값의 최대 오차는 4.6 [°C]이고 3.3절의 보정 결과를 대입하여 계산한 결과는 그림 10-(b)와 같이 최대 오차 1.44 [°C]를 나타내어 단시간 응답에서도 보정 값이 유효함을 확인할 수 있었다.



(a) 보정 이전



(b) 보정 이후

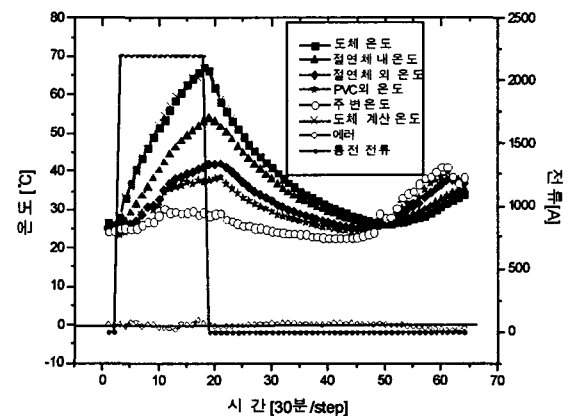


그림 9 열 정수 보정 전후의 응답특성

Fig. 9 Time response before and after correction

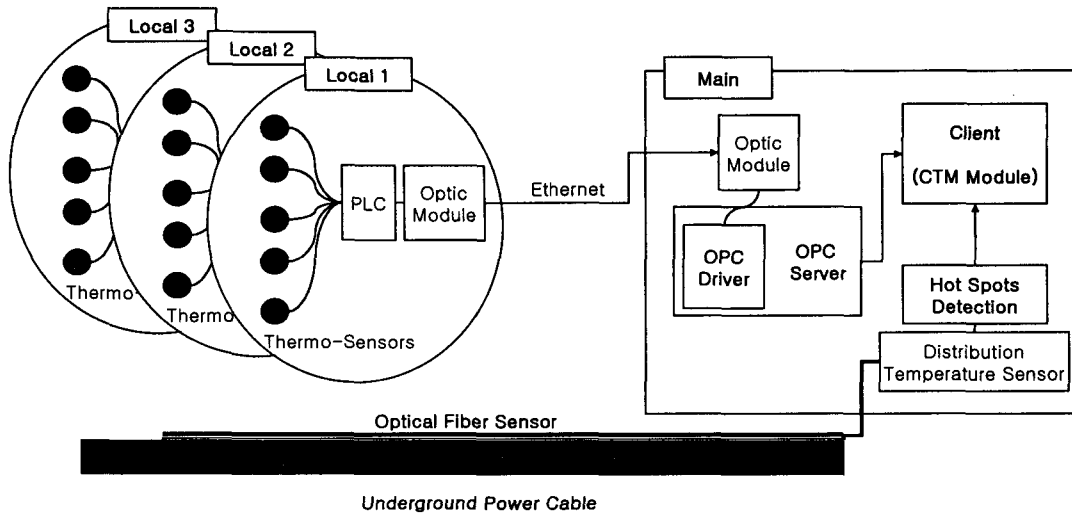


그림 11 실시간 도체온도 추정 시스템 구성도
 Fig. 11 System configuration for estimating real time conductor temperature

4. 실시간 도체온도 추정시스템의 구현 및 성능시험

4.2 성능 시험 및 결과 분석

4.1 시스템의 구성

지중 송전 케이블의 도체 온도를 실시간으로 추정하기 위한 시스템을 그림 11과 같이 구성하였다. 일반적으로 지중 선로는 수 km 이상의 장거리이기 때문에 지중 송전 케이블의 표면 온도를 RTD 등 일반적인 온도 센서로 측정하는 것은 비용적인 측면에서 바람직하지 않다. 이 때문에 12 [km] 까지의 거리에 있는 지중 송전 케이블의 표면온도를 1 [m]의 정밀도와 ± 1.0 [°C]의 정확도로 구할 수 있는 분포 온도 측정 시스템을 사용하여 선로 중 최고온도 구간(Hot spot)을 연속적으로 검출할 수 있도록 하였다. 이와 더불어 전력구 내의 대기 열 정수 측정 및 부하전류의 취득을 위해서 PLC를 사용하였고 PLC와 본체와의 통신은 Ethernet 광전송장비로 구성하였다. 데이터 취득 시스템으로 얻어진 데이터는 OPC(OLE for Process Control) 모듈을 통하여 GUI로 처리하였다.

4.1절과 같이 구성된 시스템의 성능 시험을 실시하였다. 시스템의 성능을 평가하는 기준은 지중 송전 케이블 도체 온도와 케이블 표면 온도의 측정 값과 계산 값의 오차가 ± 1.5 [°C] 이내인지의 여부로 하였다. 전류의 통전은 초기값의 수렴시간 및 안정화 시간을 고려하여 17시간 단전, 16시간 통전, 17시간 단전 후 통전을 지속하는 순서로 제어하였다. 그림 12에 분포온도 측정시스템에 의해 케이블 선로의 최고 온도 구간을 검출하는 화면을 나타내었다. 그림 13에 나타낸 도체 온도 추정 그래프에서, 단위 스텝 당 소요 시간은 센서로부터의 데이터 전달 소요 시간이 가변적인 점을 감안한 5초~30초 사이이다.

실험 결과, 시스템 네트워크 부하의 변동에 따라서 가변될 수 있는 데이터 취득 간격을 고려하여 설정한 5~30 초 간격의 계산 스텝의 차이에 추정 곡선이 발산하지 않았다. 16시간과 15시간 동안의 서로 다른 입력 전류 스텝에 대한 도체 온도 응답의 실측치와 계산치 간의 오차가 모두 기준치인

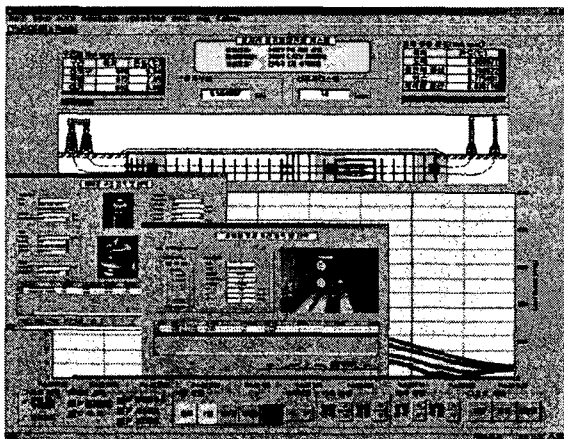


그림 12 선로 최고온도 검출 화면
 Fig. 12 GUI for detecting maximum temperature

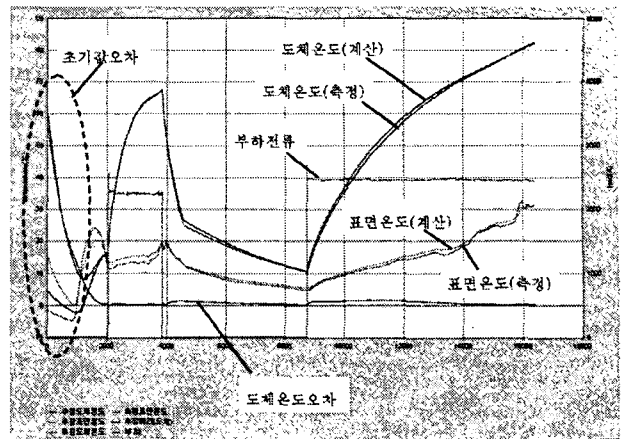


그림 13 도체 온도 추정 그래프
 Fig. 13 Conductor temperature graph

± 1.5 [°C] 이내를 만족하였다. 수험 시간은 약 2000 스텝 (30초 간격일 경우 약 16시간) 이내였다.

5. 결 론

과도 상태에서의 송전 용량 산정 기술을 바탕으로 실시간 도체온도 추정 알고리즘을 연구하고 345kV XLPE 2,000mm² 단상 케이블을 대상으로 실험을 통하여 검증하였다. 지중 송전 케이블의 열 정수에 대해서 실시한 보정 실험에서는 도체의 전기 저항을 비롯한 지중 송전 케이블 각 구성 요소에서의 열적 계수가 국제 규격 값과 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 실제 계통에 적용할 수 있는 구조로 시험 장비를 구성하고 전력구를 모의하여 성능 시험을 실시한 결과,

- 1) 집중 열 회로망 법 중 π 형 등가 열 모델을 사용한 등가 모델의 효용성을 검증하였다.
- 2) 분포 온도 측정 장치를 사용하는 시스템을 구성하여 경제 조건을 대기 온도가 아닌 지중 송전 케이블 표면 온도로 구성할 수 있었으며 이를 통하여 측정이 난해한 대기 열 정수의 변화에 독립적인 시스템 구성이 가능하였다.
- 3) 케이블에 대한 열 정수 보정을 절연체 표면과 알루미늄 시스 사이의 공기층 열 저항과 절연체의 열 용량, 그리고 지중 송전 케이블의 도체 전기 저항 값에 대해서 실험적으로 실시하여 도체 온도 추정 값의 오차 범위를 개선하였고, 목표 오차 범위인 ± 1.5 [°C]이내의 결과를 얻었다.
- 4) 본 연구를 통하여 개발된 시스템을 전력구에 포설된 지중 송전 케이블에 적용할 경우, 시간 별 최대 허용 전류를 지중 송전 케이블의 열적 상태에 따라서 실시간으로 산정할 수 있는 시스템(Dynamic Rating System)의 구축이 초기에 가능해질 것으로 예상된다.1.1 절

참 고 문 헌

- [1] A.Edris, "Development and Field Application of EPRI Dynamic Thermal Circuit Rating (DTCR) Technology", Final Report, pp15.7-15.11, August, 1999
- [2] IEC60853-2, "Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables", pp.63-65, 1989
- [3] J.H. Neher, "The Determination of Temperature Transients in Cable Systems by means of an Analogue Computer", Trans., AIEE, vol.70, pt2, pp 1361-1369, 1951
- [4] G.J. Anders, "Rating of Electric Power Cables", IEEE Press, p46, 1997
- [5] G.J. Anders, et al, "Power Cable Thermal Analysis with Consideration of Heat and Moisture Transfer in the Soil", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 4, pp.1280-1285, October, 1988
- [6] S.H.Nam, et al., "Dynamic Rating System for XLPE Cable in Tunnel", 電力・エネルギー-部門 大會 論文集, 分冊 B, no365, 8月, 2002年
- [7] IEC287-1-1, "Electric cables-calculation of the current

rating, Part 1: current rating equations (100% load factor) and calculation of losses, section 1 : general", pp.20-21, 1994

저 자 소 개



남 석 현(南 哲 鉉)

1974년 11월 26일생. 1998년 서울대 공대 전기공학부 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2000년~현재 LG전선(주) 전력연구소 주임 연구원
TEL : 031-450-8249
E-mail : shnam@cable.lg.co.kr



이 수 길(李 秀 吉)

1970년 2월 2일생. 1992년 광운대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 박사수료. 1996년~현재 LG전선(주) 전력연구소 선임 연구원
TEL : 031-450-8312
E-Mail : sglee@cable.lg.co.kr



홍 진 영(弘 珍 永)

1969년 10월 06일생. 1992년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~현재 LG전선(주) Engineering Team 과장
TEL : 054-469-7903
E-mail : jyhong@cable.lg.co.kr



김 정 년(金 定 年)

1969년 2월 21일생. 1994년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1998년~현재 LG전선(주) 전력연구소 선임 연구원
TEL : 054-469-7627
E-Mail : jnkim@cable.lg.co.kr



정 성 환(鄭 聖 煥)

1964년 3월 10일 생. 1987년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1989년~현재 한국전기연구원 전력연구단 선임연구원
Tel : 055-280-1363 Fax : 055-280-1479
E-mail : shjeong@keri.re.kr