

부하수준 및 인가시간에 따른 과도허용전류 산정기법

손흥관*, 이형권*, 박인표*, 한형주*, 이동일**, 장태인**, 최인혁**, 최진성***
 한국전기연구원*, 한전 전력연구원**, 한국전력공사***

A Calculation Method of Short-Time Emergency Currents for a Initial Load Level and Overload Time

Sohn, H.K.* Lee, H.K.* Park, I.P.* Han, H.J.* Lee, D.I.** Jang, T.I.** Choi, I.H.** Choi, J.S.***
 KERI.* KEPRI.** KEPCO.***

Abstract - In this paper, a calculation method of the short-time emergency by considering a initial load level and overload time is presented. short-time emergency analyze transient thermal rating and Long-time emergency analyze steady-state thermal rating.

Using the suggested method in the paper, increasing the short-term allowable current.

1. 서 론

신규 송전선로의 건설은 갈수록 어려워지고, 송전선로의 부하량은 지속적으로 증가되고 있으므로 기존 송전선로의 운영 효율화 및 부하율 증가에 대비해야 할 필요가 있다. 또한 송전선로의 부하율이 증가하면 사고 발생시 짧은 시간동안 과부하를 인가해야하는 횟수도 증가될 것이며, 이 경우 특정한 시간 이내에 과부하를 해소해야 송전선로의 수명에 영향을 주지 않게 된다. 그러나 한전 설계기준 1210에서는 과부하를 인가할 수 있는 허용시간의 개념이 고려되지 않고 있으며, 단지 도체의 단시간허용온도에 해당하는 허용전류만을 언급하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 사고발생 시점의 부하상태와 인가시간 등에 따른 과부하의 정도, 즉 단시간허용전류의 산정법을 제안하고, 이를 기존의 단시간허용전류 기준치와 비교 검토하였다.

2. 열평형방정식

2.1 정상상태의 열평형방정식

가공송전선의 허용전류는 풍속, 풍향, 주위온도, 일사량, 송전선로에 흐르는 부하전류 등으로 나타내는 식(1)의 열평형방정식으로 계산된다.

$$I^2 R_{ac}(T_c) + q_s = q_r + q_c \quad (1)$$

$I^2 R_{ac}(T_c)$: 전류에 의한 발열 [W/m]

$R_{ac}(T_c)$: 사용온도(T_c)에서 전선의 교류저항 [ohm/m]

q_s : 일사에 의한 흡수열 [W/m]

q_r : 방사(복사)에 의한 열방산 [W/m]

q_c : 대류에 의한 열방산 [W/m]

2.2 과도상태의 열평형방정식

도체에 스텝전류를 인가하면 도체의 열용량으로 인해 도체의 온도가 서서히 증가하는 과도상태의 특성을 갖게 되는데, 과도상태의 열평형방정식은 식 (1)의 정상상태 열평형방정식에 도체의 열용량 항목이 추가되어 식 (2) 또는 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$I^2 R_{ac}(T_c) + q_s = q_r + q_c + m C_p \frac{dT_c}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{1}{m C_p} [I^2 R_{ac}(T_c) + q_s - q_c - q_r] \quad (3)$$

여기서 m 은 도체의 단위길이당 질량[kg/m], C_p 는 도체의 비열[J/kg·g°C], $m C_p$ 는 도체 전체의 열용량[J/m°C]이다.

과도상태의 열평형방정식은 사고가 발생하기 직전의 정상상태 도체온도, 즉, 초기온도(T_i) 및 초기전류(I_i)로부터 Δt 시간 경과후의 도체온도 및 전류를 구하고, 새로 구해진 온도 및 전류를 초기치로 하여 다시 Δt 시간 경과후의 도체 온도 및 전류를 구하는 작업을 도체온도가 원하는 허용온도가 될 때까지 반복 계산하는 수치해법으로 풀 수 있다. 즉, 과도허용전류는 반복과정에서 구해진 도체온도가 원하는 허용온도 또는 허용시간과 같게 되는 순간의 전류에 해당한다.

3. 과도허용전류 산정

3.1 과도허용전류의 산정법 제안

현재 국내에서는 도체종류별 연속, 단시간 및 순시정격에 해당하는 허용전류 산정시 한전 설계기준 1210을 적용하고 있다. 즉, 연속 및 단시간정격은 각각 최고허용온도 90°C, 100°C에 대해 정상상태의 열평형방정식을 이용하여 산정하고, 순시정격은 180°C에 대해 과도상태의 열평형방정식을 이용하여 산정하고 있다.

그러나 외국의 경우 단시간정격 및 순시정격과 같은 과도정격은 시간의 개념이 포함되어야 하므로 과도상태의 열평형방정식을 이용하여 정격을 산정하고, 과도정격을 장시간정격과 단시간정격으로 구분하여 운영하는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서는 <표 1>과 같이 장시간정격과 단시간정격으로 구분하여 최고허용온도를 각각 100°C 및 120°C로 적용하되 장시간정격은 정상상태 해석을, 단시간정격은 과도상태 해석을 이용하는 것으로 제안한다.

<표 1> 정격종류별 최고허용온도 및 산정방법

정 격	구 분		산 정 방 법		
	최고허용온도(°C)	현행	제안	현행	제안
연속정격	90	90	정상상태	정상상태	정상상태
장시간정격	-	100	-	-	정상상태
단시간정격	100	120	정상상태	과도상태	과도상태
순시정격	180	180	과도상태	과도상태	과도상태

3.2 과도허용전류 산정방법

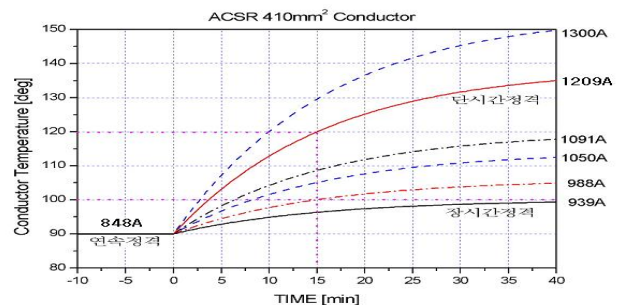
선로사고에 의해 과부하를 일시적으로 인가할 때, 아래 2가지 조건을 설정하여 단시간 과도허용전류의 변화를 검토한다. 여기서, 인가 시간은 15분으로 정하며 과도상태로 해석한다.

조건 ①: 연속허용전류(도체온도 90°C)로 운전 중에 사고가 발생하여 단시간허용온도인 120°C까지 인가하는 경우

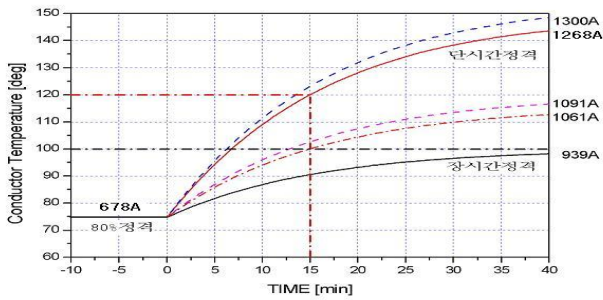
조건 ②: 송전선로 지상고 설계기준인 80%허용전류(도체온도 75°C)로 운전 중에 사고가 발생하여 단시간허용온도 120°C까지 인가하는 경우

조건 ①은 <그림 1>와 같이 ACSR 410mm² 도체에서 연속허용온도인 90°C로 운전 중 선로사고에 의해 과부하를 일시적으로 인가할 때, 단시간정격은 15분 동안 120°C에 도달하는 과도허용전류 1,209[A]이며, 최고허용온도 120°C에 해당하는 전류치인 1,091[A]보다 약 10.8%정도 단시간 허용전류를 증대시킬 수 있음을 보여준다.

또한, 조건 ②는 부하수준을 고려하여 초기전류를 현재 송전선로 지상고 설계기준인 80%허용전류(도체온도 75°C)로 운전 중에 사고가 발생하여 단시간허용온도 120°C까지 인가하는 경우로 <그림 2>과 같으며, 단시간정격은 15분에 120°C에 도달하는 과도허용전류는 1,268[A]이며, 최고허용온도 120°C에 해당하는 정상상태 전류치인 1,091[A]보다 약 16.2%정도 단시간 허용전류를 증대시킬 수 있음을 보여준다.



<그림 1> 과도허용전류 산정방법(조건①)



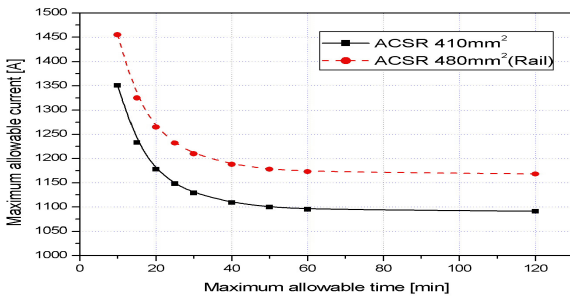
<그림 2> 과도허용전류 산정방법(조건②)

4. 부하수준 및 인가시간에 따른 과도허용전류 산정

2회선 송전선로를 운전 중에 1회선의 정지가 발생하여 건전회선으로 2배의 전력을 송전하는 경우 사고발생 시점의 부하수준, 즉 전류가 어느 정도였는지와 과부하전류의 인가시간에 따라 단시간 과도허용전류를 달리 적용할 수 있다.

4.1 인가시간에 따른 과도허용전류 변화

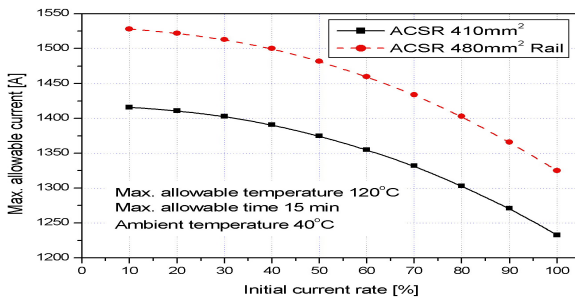
<그림 3>은 제한한 단시간허용온도 120℃를 기준으로 인가시간에 따른 단시간허용전류의 변화 추이를 나타낸 것이며, 인가시간이 짧을수록 단시간허용전류는 증가하게 되고, 도체온도가 포화되는 시점과 비교할 때 인가시간이 10분인 경우 약 124% 정도의 용량증대 효과가 있으며, 인가시간이 약 1시간 이상이 되면 인가시간을 규정하는 의미가 거의 없으므로 최고허용온도 120℃에 대한 정상상태 허용전류를 구하면 된다. 따라서 인가시간이 4~8시간 정도의 범위에서 정해지는 장시간허용전류는 장시간 최고허용온도인 100℃만으로 포화되는 전류를 산정하고, 인가시간이 10~30분의 범위에서 결정되는 단시간허용전류는 인가시간과 최고허용온도를 동시에 고려하여 단시간허용전류를 산정하여야 한다.



<그림 3> 인가시간에 따른 단시간 허용전류의 변화 추이

4.2 초기전류에 따른 과도허용전류 변화

한편 송전선로마다 운전상태가 다르기 때문에 인가 시간과 함께 사고 발생 시점의 부하수준, 즉 사고에 의해 스텝전류가 인가될 때 사고시점의 초기전류도 고려하여야 한다. <그림 4>는 주의 온도 40℃, 허용인가시간 15분의 조건에서 연속허용전류에 대한 초기전류의 비율에 따른 단시간 허용전류의 변화를 나타낸 것이며, 초기전류의 크기가 작을수록 단시간 허용전류가 크게 나타난다.

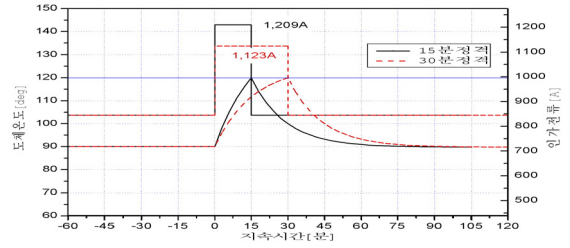


<그림 4> 부하수준(초기전류)에 따른 단시간 허용전류의 변화 추이

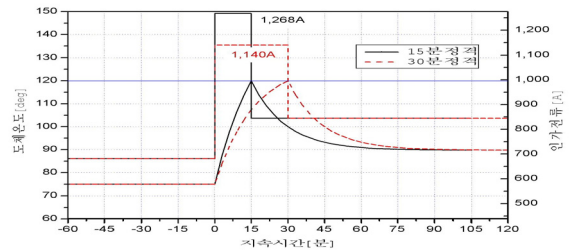
4.3 부하수준 및 인가시간에 따른 과도허용전류 산정

이상 3.2의 조건①과 조건②의 초기전류에 대하여 과부하 인가시간을 각각 15분, 30분으로 가정하고, 15분, 30분 이후에는 사고에 대한 처리가 완료되어 연속허용전류(도체온도 90℃)로 운전한다고 가정할 때 도체의

온도변화와 인가전류의 관계를 <그림 5> 및 <그림 6>에 나타냈다.



<그림 5> 부하수준, 인가시간을 고려한 과도허용전류 추이(조건①)



<그림 6> 부하수준, 인가시간을 고려한 과도허용전류 추이(조건②)

송전선로에서 실제로 운전가능한 부하수준이 지상고 설계온도인 75℃(연속허용온도의 80%부하)를 넘을 수 없다는 물리적 측면을 고려하여 단시간 허용전류를 산정하기 위한 초기전류로 조건 ②의 80% 부하(도체온도 75℃)를 적용하는 것이 합리적이라 판단된다. 또한 인가시간은 외국의 운영실적에 대한 조사결과 가장 많이 사용되는 15분으로 가정하여, ACSR 도체에 대해 장시간 및 단시간 허용전류를 <표 2>와 같이 산정하였다.

<표 2> 허용전류 산정(ACSR)

구분 단면적	온도		
	연속(A)	장시간(A)	단시간(A)
	90℃	100℃	75℃-120℃
95	337	370	434
160	469	516	629
240	610	673	856
330	731	808	1,056
410	848	939	1,268
480R	909	1,005	1,364
480C	917	1,014	1,395
520	957	1,060	1,474

5. 결 론

- ① 송전선로의 과도정격으로 장시간정격과 단시간정격으로 구분하여 운영되고, 장시간허용온도를 100℃, 단시간허용온도를 120℃로 적용할 것을 제안한다.
- ② 장시간허용전류는 정상상태의 열평형방정식을, 단시간허용전류는 과도상태의 열평형방정식을 이용하여 산정한다.
- ③ 단시간허용전류의 산정은 부하수준 및 인가시간을 고려해야 하며, 부하수준은 연속허용전류의 80%부하를 고려하고, 인가시간은 15분을 고려하였다.
- ④ 향후 부하수준 및 인가시간에 따른 과도정격 산정프로그램을 개발하여 송전선로별 운전조건에 따른 단시간정격 산정에 활용할 경우 비상운전 시 선로운영의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] 산업자원부, “가공송전선 허용용량산정시스템 개발(최종)”, 2005.
 [2] 한국전력, “송전설계기준 1210(가공송전용 전선선정기준)”, 2004.
 [3] 한국전력 전력연구원, “송전설계기준 제·개정 및 보완 연구”, 2001.
 [4] 김성덕, “가공송전선의 송전용량 평가 및 증대방안”, 제3회 가공송전선 기술세미나 논문집, 2003.
 [5] 산업자원부, “국내 송전선로 설비특성을 고려한 단시간 과도정격 운영기준 정립(2차년도 보고서)”, 2007