

IEC60265-1에 의한 케이블 충전전류 시험을 위한 최적 회로 조건 선정

김갑동, 허용석, 윤지호, 이희철, 함길호, 박종화
LG산전

The Optimal Circuit Condition Selection for Cable Charging Current Test by IEC60265-1

K. D. Kim, Y. S. Hur, J. H. Yun, H. C. Lee, G. H. Ham, J. H. Park
LG Industrial Systems

Abstract - We must consider resistance, capacitance and their circuit connection condition for cable charging current test by IEC60265-1. According to their values and circuits, the ratio of applied voltage and transient recovery voltage are much different. This paper is convinced of TRV waves and proposes the optimal circuit required at the standard via the simulation of all circuit conditions.

로 전원회로 임피던스와 감소된 전류를 가지고 시험이 진행된다. 전원측 시험회로는 그림 1과 같다.

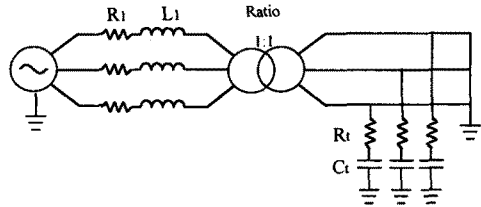


그림 1 전원측 회로

1. 서론

정격 전압이 1 kV에서 52 kV까지의 주파수 60 Hz 이하의 옥내 및 옥외 설치된 3상 교류 개폐기와 단로기에서 무부하 조건하에서 케이블 회로를 개방했을 때의 케이블 충전 차단 능력을 검증하기 위하여 IEC 60265-1 규격에서는 케이블 충전 전류 시험을 실시한다. screened and belted 케이블을 모의하기 이 시험에서는 캐패시터를 이용하며 belted 케이블은 보통 15 kV까지 사용된다. three-core belted 케이블 해당하는 중성점 접지 전원을 갖는 3상 시스템에서, 캐패시터의 정상분의 값은 영상분 캐패시터의 대략 두 배가 된다. [1] 그러나 현재 국, 내외의 저명한 시험소에서 실시하는 캐패시터의 정상분과 영상분의 비는 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 본 논문에서는 규격에 제시하는 것에 적합한 시험회로를 선정하여 향후 계속되는 차단기 및 개폐기에 적용되는 케이블 충전전류 시험에 적절한 회로 조건을 선정해 시험에 임하고자 한다.

전원측 임피던스는 전체 임피던스의 약 15% 만을 적용한다.

전체 임피던스는

$$Z = \frac{24 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 630 \text{ A}} \cong 22 \Omega \quad (1)$$

이고

15%에 해당하는 전원측 임피던스는

$$22 \Omega \times 0.15 = 3.3 \Omega \quad (2)$$

이 된다.

따라서, L_1 의 값은 8.75 mH가 되고 R_1 의 값은 전원측 임피던스의 5%에 해당하는 0.17 Ω 이다.

다음으로 표 1에 주어진 정격전압별 과도회복전압 조건을 만족하기 위해 24 kV에 해당하는 $U_c = 41 \text{ kV}$ 와 $t_3 = 88 \mu\text{s}$ 를 갖는 TRV 파형을 생성하기 위해 R_t 와 L_t 를 선정해야 한다. 과도회복전압의 파고치일 때의 시간을 t_m 이라고 했을 때 t_3 와 t_m 의 관계는 다음 식과 같다.

$$t_3 = 0.87t_m \quad (3)$$

또한 리액턴스, 캐패시터와 주파수의 관계식은 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_T}} = \frac{1}{2t_m} \quad (4)$$

결국 식 (3)과 (4)를 이용하여 C_t 를 구할 수 있다.

$$C_t = \frac{1}{4\pi^2 L_1 f^2} = 0.117 \mu\text{F} \quad (5)$$

2. 전원측 시험회로 조건

우선 모의를 하기 위한 피시험품의 정격으로 전압은 24 kV, 주파수 60 Hz, 극수 3극, 정격전압에서의 부하전류 개폐용량 630 A와 케이블 충전전류 차단용량 16 A로 정하였다. 시험 절차 및 시험을 위한 파라미터들은 모두 IEC 60265-1에 준하여 모의를 한다. 케이블 충전전류 차단시험은 시험책부 4a에 속하며 전원 전압의 특성은 과도회복전압(Transient Recovery Voltage) 제어 캐패시터와 저항을 포함한 부하전류 개폐시험에 제시된 조건으로 한다. 부하전류 차단시험을 위한 전원 회로의 과도회복전압의 파라미터를 표 1과 같다.

표 1 부하전류 차단시험을 위한 전원측 TRV 파라미터

Rated voltage U_r kV	Supply TRV parameters	
	Peak voltage U_c kV	Time coordinate t_3 μs
24	41	88

전원회로는 직렬 리액턴스와 저항으로 구성되며 역률은 0.2이하가 되어야 한다. 또한 전체 임피던스의 12~18%

위와 같이 결정된 저항, 리액턴스와 캐패시터의 값들을 적

용하여 EMTP로 전위회로를 모의하였다. 그림 1과 2는 각각 시험전류와 과도회복전압을 모의한 파형이다. 시험전류는 대략 6 kA이고 과도회복전압의 $U_c = 42.91$ kV, $t_3 = 86.76 \mu\text{s}$ 이다.

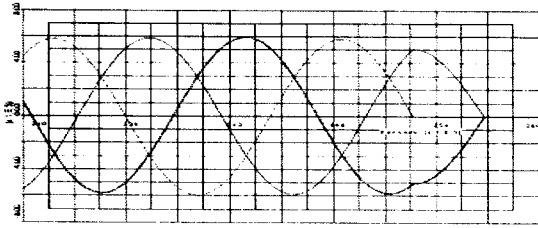


그림 2 전원측 시험전류

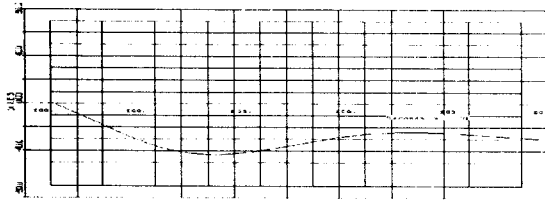


그림 3 전원측 첫상 차단시의 과도회복전압

3. 부하측 회로조건

부하측의 회로조건으로 규격에서 캐패시턴스의 정상분의 값은 영상분 캐패시턴스의 대략 두 배가 되도록 규정하고 있다. 전형적인 고압 중이 절연 케이블은 그림 4와 같고 3개의 코어 비차폐된 케이블에 존재하는 다양한 캐패시턴스는 그림 5와 같다. [2]

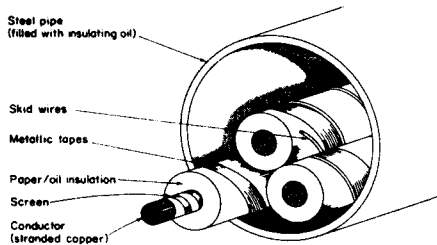
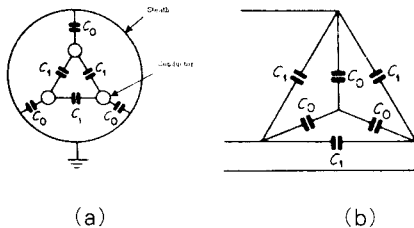
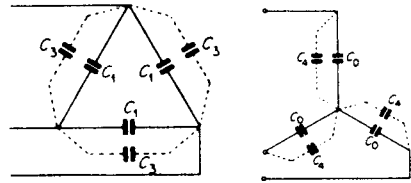


그림 4 고압, 유압, 파이프형 고압 케이블



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 5 3개의 코어를 갖는 케이블에서의 캐패시턴스

3상 시스템에서의 belted 케이블을 모의하기 위한 등가 회로로 그림 5를 이용할 수 있다. 그림 5에서 C_0 는 도체 대 sheath 사이의 캐패시턴스이고 C_1 은 도체 대 도체 캐패시턴스이다. 그림 5(a)의 등가회로는 그림 5(b)와 같고 star-delta 또는 delta-star 변환에 의해 구해지는 회로는 각각 그림 5(c)와 (d)이다.

여기에서 C_3 와 C_4 의 값은 다음 식으로부터 구해 질 수 있다.

$$C_3 = \frac{C_0}{3}, \quad C_4 = 3C_1 \quad (5)$$

따라서, 규격에서 요구하는 정상분과 영상분 캐패시턴의 비와 각각의 시험소에서 적용하는 캐패시턴스의 비를 적용하여 시뮬레이션을 실시하고자 한다.

그림(d)을 이용하여 규격에서 제시하는 $C_1 = 2C_0$ 를 적용했을 때 C_4 의 값은

$$C_4 = 3C_1 = 3 \times 2C_0 = 6C_0 \quad (6)$$

이다.

위의 캐패시턴스의 값들을 적용하여 시뮬레이션을 실행한 회로도로는 그림 6과 같다.

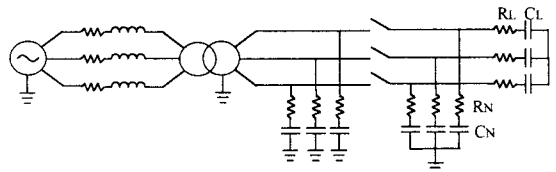


그림 6 $C_1/C_0 = 2$ 일 때의 회로도

여기에서 $C_L = C_0$ 이고, $C_N = 6C_0$ 이다.

또한 $C_1 = 2C_0$ 을 적용했을 때, 인가전압의 파고치와 극간 회복전압의 파고치의 비는

$$\frac{\text{인가전압의 파고치}}{\text{회복전압의 파고치}} \cong 2.3 \quad (7)$$

이 된다. C_1 과 C_0 의 비를 가변 했을 때의 첫 번째 차단되는 상의 회복전압의 파형의 변화를 그림 7에서 볼 수 있다.

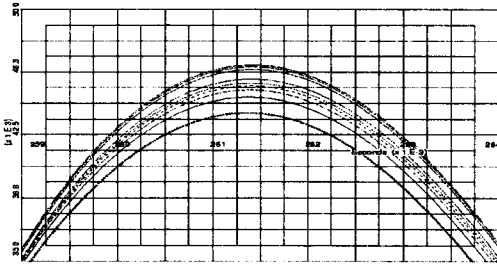


그림 7 C_1/C_0 변화에 의한 과도회복전압

또한 C_1/C_0 비에 대한 차단시 첫상의 인가전압과 회복전압의 파고치의 비를 그림 8에 나타내었다.

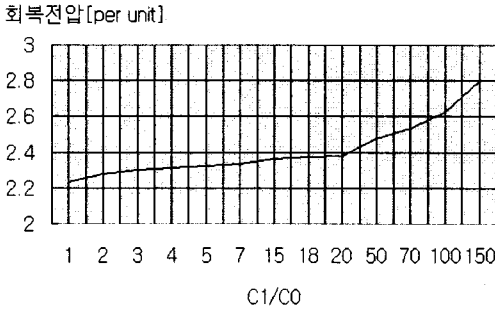


그림 8 첫상 차단시 극간 회복전압의 극치

4. 케이블 충전전류 차단시험을 위한 시험소별 회로조건

국내의 시험소에서의 케이블 충전전류 차단시험에 사용하는 회로도를 크게 A, B, C 세 가지 회로조건을 적용하여 검토하였다. A의 시험회로도는 그림 6과 같으며 실제 A 시험소에서 적용하는 C_L 과 C_N 의 값은 정격전압과 케이블 충전전류 차단용량으로 계산된 전체 캐패시턴스의 각각 0.821%와 0.373%를 적용하였다. 시뮬레이션을 실시한 결과 인가전압 파고치대 회복전압의 파고치는 2.2 pu를 나타내었다. C_1/C_0 의 비는 0.152로 그림 6에서 시뮬레이션한 결과와 같은 2.2 pu를 나타내었다.

다음으로 B, C 조건의 시험 회로도는 그림 10과 11과 같다.

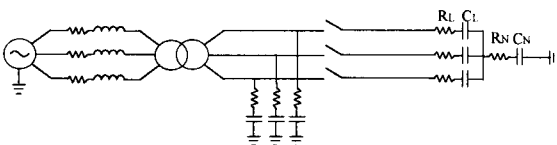


그림 9 케이블 충전전류 시험을 위한 B조건의 회로도

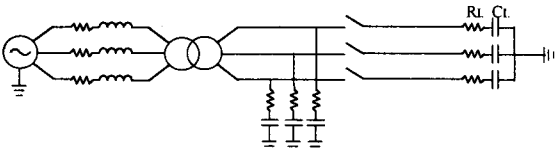


그림 10 케이블 충전전류 시험을 위한 C조건의 회로도

B 시험조건에서의 C_L 과 C_N 의 값은 전체 캐패시턴스의 각각 0.988%와 0.056%를 적용한 것으로 첫상 차단시 극간 회복전압의 극치는 2.55 pu를 나타내었다. 결국 그림 8에서 보듯이 C_1/C_0 의 비는 20~70 범위에 있는 것으로 추정할 수 있다. 그림 11과 12는 B와 C조건에의 극간에 걸리는 인가전압과 회복전압파형을 나타낸 것이다. C조건의 회로도에서는 실제 C시험소에서 적용하는 C_N 을 알 수 없어 모의를 하지 못하였지만, 규정에 나온 $C_1/C_0=2$ 를 적용할 경우 $C_L=7C_0$ 로 정하여 모의를 해본 결과 약 2.3 pu를 나타내었다.

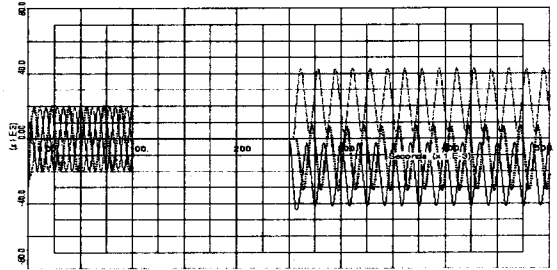


그림 11 B조건에서의 인가전압과 회복전압

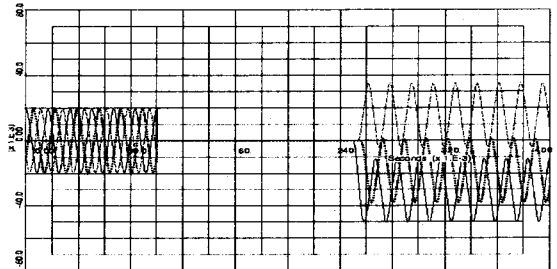


그림 12 C조건에서의 인가전압과 회복전압

5. 결론

앞 장에서 우리는 세 가지의 회로조건에 따른 회복전압의 파형을 비교하였다. 가공선로에서의 C_1/C_0 는 1.5~2.0 사이에 있으며 TRV는 2.2~2.4 pu를 나타낸다. 규격은 가공선로 개폐에 있어서 2.4 pu의 TRV로 규정한다. [3]

A의 시험 회로조건은 시뮬레이션을 통해 알 수 있듯이 규정을 만족하지 못하고 B의 시험 조건은 2.4 pu를 초과하는 결과를 얻었다. 따라서 규격의 제시하는 조건을 만족하면서 또한 가혹하지 않는 최상의 캐패시턴스의 정상분과 영상분의 비를 선정해야 한다. 향후 실제 시험에서는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 적절한 비를 선정해 시험결과와 비교 검토할 예정이다.

(참고 문헌)

- [1] International Electrotechnical Commission, "Switched for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV", IEC 60265-1, 1998.
- [2] B.M. Weedy, B.J. Cory, "Electric power systems", pp.139~141, Wiley, 1998.
- [3] Allan Greenwood, "Electrical transients in power systems", pp.137~139, Wiley, 1991.
- [4] T.R. Bosela, "Introduction to electrical power system technology", Prentice Hall, 1997.