

근거리선로고장전류 차단시험용 Artificial line

박승재*, 류형기*, 강영식*, 고희석**
*한국전기연구원 산업협력부, **경남대학교 전기전자공학부

Artificial line for short-line fault test

영Park, Seung-Jae*, Rhyou, Hyeong-Kee*, Kang, Young-Sik*, Koh, Heui-seog**
*Korea Electrotechnology Research Institute, ** Kyungnam Univ.

Abstract - With the 4-MJ synthetic testing facilities completed, KERI can perform the circuit breaker testing up to 420 kV, 50 kA ratings.

The short-line fault test is one of the necessary test items which are required for the circuit breaker, and in order to perform the short-line fault test KERI(Korea Electrotechnology Institute) has used the "new artificial line" which has small dimension and is easy to generate the saw-tooth wave.

This paper describes the following items of the new artificial line.

- Description of 4-kinds of artificial lines and determination of the circuit parameter of artificial line.
- TRV characteristics of saw-tooth waves for each circuit.
- KERI's artificial line.

1. 서 론

한국전기연구원의 초고압 차단기 성능평가를 위한 대전력 합성시험설비는 단락발전기(3상, 4000MVA)와 단락변압기(단상, 1000MVA, 3-units)를 이용한 전류원과 함께, 4MJ capacitor bank를 전압원으로 구성하여 시험을 실시하고 있다. 이와 더불어 근거리선로고장전류 차단시험을 위한 artificial line을 사용하여 삼각파 전압을 발생시킨다.

초고압 차단기의 시험 항목 중, 근거리선로고장(Short-line fault)은 차단기로부터 수 km 지점에서 발생하는 사고를 모의한 조건으로서, 이 사고시에는 차단기의 부하측에 계통의 진행파(Traveling wave)에 의한 고주파수의 삼각파(Saw-tooth wave) 전압이 발생한다. 이러한 삼각파 전압을 발생시키기 위하여 과거에는 단단의 π-회로로 구성된 Artificial-line을 사용하였으나, 이 회로는 과도한 구조물의 크기, 시험실과 연결하는 condenser type wall bushing 등에 의한 stray capacitance 때문에 높은 상승율의 삼각파를 얻는데 어려움이 많았다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 회로의 구조물이 소형이고, Artificial line의 회로정수 선정과 삼각파 전압의 지연시간 보상 특성이 우수한 새로운 Artificial line을 개발하여 초고압 차단기의 합성단락시험에 적용하고 있다.

따라서 본 논문에서는 각종 Artificial line에 대한 EMTP 해석을 통한 회로 특성 고찰과 한국전기 연구원에서 사용하고 있는 회로에 대하여 소개한다.

2. 본 론

2.1 각종 Artificial line의 특성

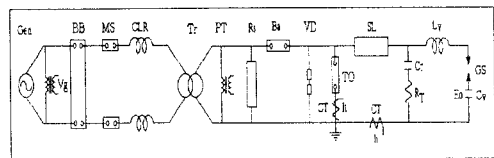
단단의 π-회로를 대신하여 근거리 선로고장전류 차단시의 삼각파 전압을 발생시킬 수 있는 집중정수형

Artificial line은 삼각파 전압의 진폭율(KA) 특성에 따라 2.1.1 - 2.1.4에 나타낸 회로구성으로 구분될 수 있다.

이들 회로는 국제규격으로 사용되는 IEC(International Electrotechnical Commission) 60056에 규정된 삼각파 전압을 발생시키기 위한 것이며, 이러한 근거리선로고장전류 차단시험조건은 다음과 같다.

- [1] 시험전압은 정격 상전압이고,
- [2] 시험전류는 정격단락전류의 90%와 75%의 2가지 조건으로 규정되어 있으며, 신규 개정이 진행중인 규격에는 60%를 추가하는 것을 검토하고 있으며,
- [3] 삼각파 전압의 진폭율(KA)은 1.6을 기본으로 하여 삼각파 전압의 크기와 상승율을 계산하고 있다.

그림-1은 근거리선로고장전류 차단시험을 위해 보편적으로 사용되고 있는 합성단락시험회로로서, 발전기로부터 상용 주파수 고장전류를 공급하고 콘덴서(Cv)에 충전된 전압을 이용하여 전압을 발생시킨다. 이 그림-1에서 근거리선로고장전류 차단시험을 위한 Artificial line은 SL로 나타내었으며, 구체적인 회로 구성은 그림-2에서 그림-5까지에 나타낸 바와 같다.



- Gen : 단락발전기, BB : 후버 보호용 차단기
- MS : 투입스위치, CLR : 환류리액터
- Tr : 단락변압기, PT : 계기용 변압기
- CT : 계기용 변류기, Rs : 재점화장치
- VD : 분압기, Ba : 보조차단기
- TO : 시험용차단기, SL : Artificial line
- Cv : 충전용 콘덴서, Lv : 전압원전류용 리액터
- CT : TRV 제어용 콘덴서, GS : Spark-Gap
- RT : TRV 제어용 저항, CT : 계기용 변류기

그림-1 : 합성단락시험 회로도

그리고, 그림-2에서 그림-5까지의 L0는 근거리선로고장전류를 규격치로 조정하기 위한 것으로서 식-(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_0 = \beta \frac{1 - F_L}{F_L} \frac{V}{2\pi f \cdot I_s} \quad (1)$$

여기서,

β : 과충전 계수

f : 상용 주파수

V : 정격 상전압

I_s : 정격 단락전류

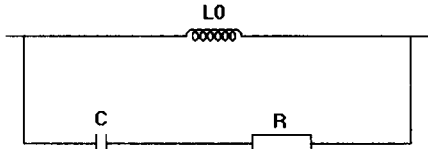
F_L : 근거리 선로고장전류와 정격단락전류와의 비

또한, 표-1에서 표-4까지에서 회로정수 선정을 위한 특성 임피던스(Surge impedance)는 차단 후 발생하는 삼각파 전압의 변화율과 전류영점에서의 차단전류 변화율의 비로서 식-(2)로 나타낼 수 있으며, 이 값은 450Ω을 기본으로 하고 있다. 그러나 unit test의 경우에 있어서는 시험되는 unit 수에 비례하여 그 값을 달리한다.

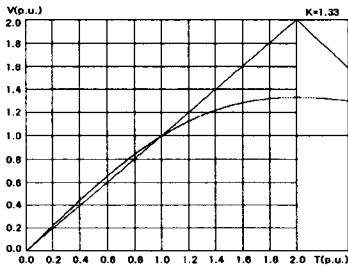
$$Z = \frac{dV}{dt} / \frac{di}{dt} (\Omega) \quad (2)$$

2.1.1 진폭율(KA)이 1.33인 회로

이 회로의 구성과 해석결과는 그림-2에 보여주고 있으며, 회로 정수는 표-1로부터 구할 수 있다. 이 회로는 그림-2(b)에서 알 수 있는 바와 같이 삼각파 전압의 초기 전압은 규격치보다 높고 침두치 전압은 낮은 진폭율로 인하여 규격치보다 낮기 때문에, 전압원 회로의 상당한 과충전이 필요함을 알 수 있다. 그러나 이러한 과충전을 이용할 경우 초기전압이 기준보다 상당히 초과한다.



(a) 회로구성



(b) 해석결과

그림-2 : KA = 1.33인 회로의 특성

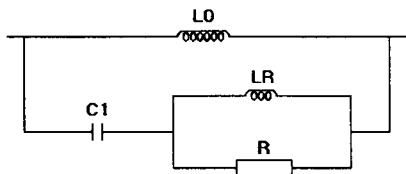
표-1 : KA = 1.33인 회로의 회로정수

	Full pole	Half pole
L_0	L	L / 2
C	$0.8 \cdot (L / Z_L^2)$	$0.8 \cdot 2 \cdot (L / Z_L^2)$
R	Z_L	$Z_L / 2$

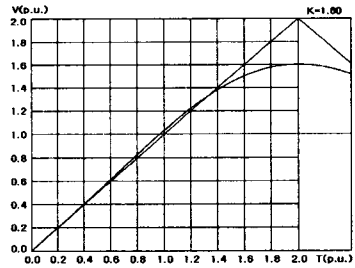
Z_L : 특성 임피던스

2.1.2 진폭율(KA)이 1.6인 회로

이 회로는 규격의 진폭율을 가장 근사적으로 모의할 수 있는 회로이지만, 그림-3(b)에서 알 수 있는 바와 같이 1.2PU 까지 다소 가혹한 조건이 발생한다. 하지만 전체적으로 KA=1.33인 회로에 비하여 특성이 개선됨을 알 수 있다. 그림-3은 회로구성과 해석결과를 보여주고 있으며, 표-2는 회로 정수 관계를 보여주고 있다.



(a) 회로구성



(b) 해석결과

그림-3 : KA = 1.6인 회로의 특성

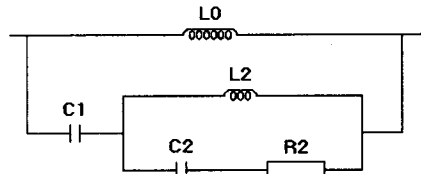
표-2 : kA = 1.6인 회로의 회로정수

	Full pole	Half pole
L_0	L	L / 2
C_1	$0.4 \cdot (L / Z_L^2)$	$0.4 \cdot 2 \cdot (L / Z_L^2)$
L_R	$0.5 \cdot L$	$0.5 \cdot 2 \cdot L$
R	Z_L	$Z_L / 2$

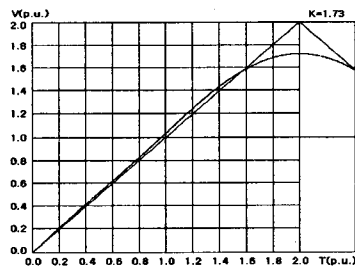
Z_L : 서지 임피던스

2.1.3 진폭율(KA)이 1.73인 회로

이 회로는 규격의 진폭율을 초과하지만, 전압의 초기 상승률(dv/dt)과 침두치 전압에서의 상승률이 2.1.1과 2.1.2의 2가지 회로조건보다 개선됨을 알 수 있다. 그러나 진폭율이 규격치인 KA=1.6보다 다소 초과하기 때문에 전압원 회로의 전압을 저감시키거나, 또는 전류제한 요소인 L_0 을 다소 작게 유지할 필요가 있다. 그림-4는 회로 구성과 해석결과를 보여주고 있으며, 표-3은 회로 정수 관계를 보여주고 있다.



(a) 회로구성



(b) 해석결과

그림-4 : KA = 1.73인 회로의 특성

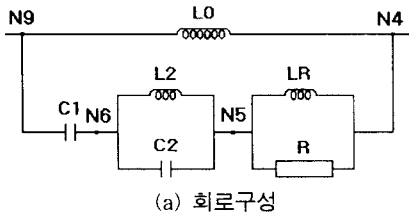
표-3 : KA = 1.73인 회로의 회로정수

	Full pole	Half pole
L_0	L	L / 2
C_1	$(1/3) \cdot (1 / Z_L^2)$	$(1/3) \cdot (4 / Z_L^2)$
R_2	Z_L	$Z_L / 2$
C_2	C_1	C_1
L_2	$0.25 \cdot L$	$0.25 \cdot (L/2)$

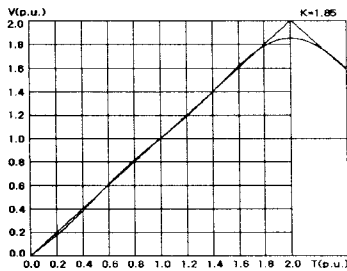
Z_L : 서지 임피던스

2.1.4 진폭율(KA)이 1.85인 회로

이 회로는 진폭율이 KA=1.73인 회로보다 더 초과하지만, 그림-5(b)에서 알 수 있는 바와 같이 근거리선로로 장전류 차단시험을 위한 삼각파에 가장 근접한 파형을 만들 수 있다. 이 회로도 KA=1.73인 회로와 마찬가지로 침투치 전압을 규격과 근접하도록 유지하기 위해서는 전압원 회로의 전압을 저감시키거나 전류제한 요소인 L₀을 다소 작게 유지할 필요가 있다. 그림-5는 회로구성과 해석결과를 보여주고 있으며, 표-4는 회로 정수 관계를 보여주고 있다.



(a) 회로구성



(b) 해석결과

그림-5 : KA = 1.85인 회로의 특성

표-4 : KA = 1.85인 회로의 회로정수

	Full pole	Half pole
L ₀	L	L / 2
C ₁	(1/3) · (1/Z _L ²)	(1/3) · (4/Z _L ²)
C ₂	2 · C ₁	2 · C ₁
L ₂	0.0725 · L	0.0725 · (L/2)
L _R	0.145 · L	0.145 · (L/2)
R	Z _L	Z _L /2

2.2 각종 Artificial line의 특성 비교

2.1에 설명한 4가지 Artificial line과 IEC60056에서 요구하는 표준 삼각파 전압과의 비교는 표-5와 같다. 그리고 IEC 60056에서는 Artificial line으로부터 발생된 삼각파 전압이 KA=1.6을 기준으로 해서 1.44PU까지는 표준 전압 기울기 이상을 유지하도록 규정하고 있다.

표-5에서 α(%)는 Artificial line으로부터 발생된 전압(V_{TRV})과 표준 전압(V_{stan})의 오차로서 식-(3)과 같이 정의하였다.

$$\alpha = \left(\frac{V_{TRV}}{V_{stan}} - 1 \right) \times 100\% \quad (3)$$

표-5에서 알 수 있는 바와 같이 KA=1.6과 KA=1.73인 회로가 IEC 60056에 규정된 삼각파 전압 규정을 가장 근접하게 만족시킬 수 있는 있으며, KA=1.33인 회로의 경우는 삼각파 전압을 만족시키는데 어려움이 있음을 알 수 있다. 그러나 근거리 선로고장차단시험을 위한 합성 시험의 경우 전압원 회로의 충전전압을 결정하는 식-(1)의 과충전 계수(β)를 1.0 - 1.5의 범위까지 증가시킬 수 있으므로, β ≥ 1.2으로 선정할 경우 L₀가 20% 이상 증가하여 KA=1.6인 표준 전압의 규정을 만족시킬 수 있다. 그러나, 이 경우 초기전압이 과도하게 초과하기 때문에 주의해야 한다.

표-5 : 표준 삼각파 전압과의 비교

PU	α (%)			
	KA=1.33	KA=1.6	KA=1.73	KA=1.85
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	+ 5.85	+ 2.31	+ 1.89	- 6.83
0.1	+ 7.32	+ 2.40	+ 2.93	- 9.76
0.2	+ 9.76	+ 2.44	+ 3.80	-14.63
0.4	+13.58	+ 2.47	+ 4.94	- 3.61
0.6	+ 8.94	+ 4.13	+ 4.10	+ 1.20
0.8	+ 4.22	+ 5.52	+ 3.03	+ 2.44
1.0	- 0.49	+ 3.92	+ 3.90	0.00
1.2	- 6.50	+ 2.03	+ 4.10	- 0.81
1.4	-12.89	- 1.22	+ 3.16	- 0.07
1.6	-19.51	- 6.10	- 0.61	+ 1.22

2.3 한국전기연구원의 Artificial line

그림-6은 현재 한국전기연구원서 근거리선로고장전류 차단시험용 Artificial line으로서, KA=1.33에서 KA=1.85까지의 모든 회로 조건으로 사용이 가능하다. 그러나 표-5의 검토 결과를 바탕으로 하여 KA=1.6과 KA=1.73인 회로를 주로 사용하고 있으며, 시험 용량은 전압 420kV, 차단전류 50kA까지의 정격을 가진 차단기에 대한 시험이 가능하다. 또한 정격전압 800kV, 정격차단전류 50kA인 차단기는 Half pole로 시험이 가능하다.

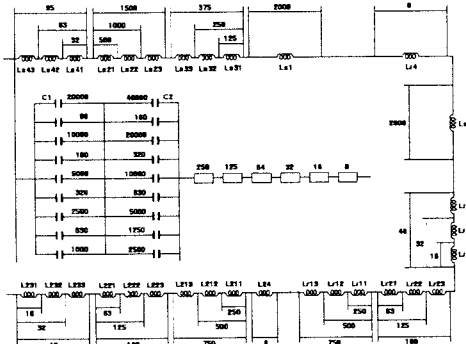


그림-6 : 한국전기연구원의 Artificial line

3. 결 론

본 논문에서 제시한 4가지의 artificial line 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- KA=1.6과 KA=1.73인 artificial line으로부터 직선성이 가장 우수한 삼각파 전압을 얻을 수 있었고, 나머지 회로도 약간의 문제점은 가지고 있지만 IEC 60056을 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다.
- Full pole 및 half pole circuit breaker의 시험에 적용할 회로정수 산정이 가능하였다.
- 회로내에 포함된 stray capacitance에 의한 saw-tooth wave의 time delay에 대하여 surge impedance Z_L을 증가시킴으로서 time delay를 보상할 수 있다.
- 이와 같은 검토를 통하여 한국전기연구원은 전압정격 420kV, 전류정격 50kA까지의 시험이 가능한 설비를 보유하게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC 60056, "High-voltage alternating-current Circuit Breakers," Fifth Edition, 2000.
- [2] ANSI/IEEE C37.09, "Test procedures for AC High-voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis," 1979
- [3] W.A. van der Linden, L. van der sluis., "A new artificial line for testing high-voltage circuit breakers.