

근거리선로고장시험의 실제시험상태를 고려한 인공선로 파라미터 조정

이용한 류형기
한국전기연구원

Parameter Tuning of Artificial Lines for SLF tests on Circuit Breakers Considering Stray Capacitances of Testing and Measuring Equipment

Lee, Yong-Han Rhyou, Hyeong-Kee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In a high power laboratory, artificial lines are used for SLF tests of circuit breakers. The line side PTRV is affected by the stray capacitances of testing and measuring equipment as well as the circuit parameters of artificial lines. The changing pattern of PTRV was examined, and the circuit parameters of artificial line for some examples were compensated using the changing pattern to satisfy test conditions specified.

수 있으며, 이에 대해서는 보다 상세한 검토가 필요할 것으로 사료되나, 본 논문에서는 다루지 않기로 한다.

1. 서 론

가공송전계통의 선로보호용 차단기는 수백 m에서 수 km 내외의 근거리 선로에서의 지락고장 차단능성이 요구되는데, 차단기 성능시험에서는 실선로의 사용이 거의 불가능하므로 등가특성을 갖는 인공선로를 이용하는 방법을 사용하게 된다.

표 1 실선로의 선로측 TRV의 파고계수

계통압	차단기 정격 전압	모선 단락 전류	누설 C	SLF duty	Peak Factor			비고
					상위상	중간상	하위상	
345 kV	362 kV	50 kA	0	L90	1.75	1.66	1.56	가공선로 : - 480×4 - 수직2회선 - J.Marti Model
				L75	1.74	1.62	1.51	
				L60	1.73	1.60	1.53	
		1000 pF		L90	1.78	1.70	1.61	
				L75	1.75	1.64	1.53	
				L60	1.74	1.61	1.54	
	25 kA	0	L75	1.74	1.63	1.56		
			L60	1.76	1.61	1.52		
			L90	1.75	1.65	1.54		
		1000 pF	L75	1.75	1.64	1.57		
			L60	1.77	1.62	1.52		
			L90	1.74	1.64	1.56		
154 kV	170 kV	50 kA	0	L90	1.74	1.64	1.56	가공선로 : - 410×2 - 수직2회선 - J.Marti Model
				L75	1.79	1.70	1.62	
				L60	1.75	1.64	1.53	
		1000 pF		L90	1.80	1.72	1.65	
				L75	1.81	1.73	1.66	
				L60	1.77	1.66	1.56	
	25 kA	0	L90	1.78	1.69	1.61		
			L75	1.76	1.66	1.56		
			L60	1.77	1.66	1.56		
		1000 pF	L90	1.81	1.74	1.67		
			L75	1.78	1.68	1.59		
			L60	1.78	1.68	1.58		

인공선로는 기본적으로 L-C 공진 현상을 이용하여 가공선로에서의 진행파 특성에 의한 삼각파의 과도회복전압에 대한 등가특성을 구현하며 여러 가지 방법들이 알려져 있다. (3) 이러한 인공선로 회로는 매우 작은 값의 집중 R, L, C 소자를 사용하기 때문에, 주변 시험설비 및 측정설비들의 영향을 많이 받게 되며, 특히 인공선로와 직접 접속된 측정 설비들의 누설 커패시턴스의 영향이 매우 커서 규정된 시험 조건을 충족시키기 위한 회로 파라미터 조정에 많은 어려움이 있다.

표 2 실선로의 선로측 TRV의 상승률

계통압	차단기 정격 전압	모선 단락 전류	누설 C	SLF duty	RRRV (kV/μs/kA)			비고
					상위상	중간상	하위상	
345 kV	362 kV	50 kA	0	L90	0.165	0.170	0.166	가공선로 : - 410×2 - 수직2회선 - J.Marti Model
				L75	0.163	0.172	0.168	
				L60	0.168	0.168	0.169	
		1000 pF		L90	0.152	0.156	0.153	
				L75	0.159	0.167	0.163	
				L60	0.165	0.165	0.167	
	25 kA	0	L90	0.163	0.165	0.159		
			L75	0.163	0.172	0.173		
			L60	0.170	0.168	0.167		
		1000 pF	L90	0.156	0.158	0.153		
			L75	0.161	0.169	0.170		
			L60	0.169	0.167	0.165		
154 kV	170 kV	50 kA	0	L90	0.165	0.178	0.179	가공선로 : - 410×2 - 수직2회선 - J.Marti Model
				L75	0.168	0.184	0.183	
				L60	0.168	0.185	0.184	
		1000 pF		L90	0.142	0.147	0.147	
				L75	0.159	0.171	0.170	
				L60	0.164	0.178	0.178	
	25 kA	0	L90	0.168	0.182	0.183		
			L75	0.165	0.179	0.175		
			L60	0.170	0.186	0.186		
		1000 pF	L90	0.154	0.164	0.165		
			L75	0.161	0.172	0.170		
			L60	0.168	0.183	0.183		

2. 본 론

2.1 가공송전계통에서의 근거리선로고장 현상

차단기의 근거리선로고장전류 차단시의 선로측 과도회복전압은 선로의 특성 및 고장위치에 따라 달라지는데, 여기에서는 국내 345 kV 및 154 kV 송전계통의 2회선 가공선로에서 모선 단락고장전류가 50 kA 및 25 kA 인 경우에 1선지락고장전류가 각각 모선 단락고장전류의 90%, 75% 및 60%인 지점에서의 선로고장 차단시의 선로측 과도회복전압을 EMTP(Electro-Magnetic Transients Program)를 이용하여 분석하였으며, 그 결과를 표 1과 표 2에 나타내었다.

해석결과에 의하면 국내 송전계통의 근거리선로고장에 의한 선로측 TRV의 파고값과 상승률은 IEC 60427-100(1) 및 IEEE C37.09(2) 등에 규정된 것과는 다소 다른 양상을 보이고 있는데, 상승률은 규격에 비해 낮게 나타났으며, 파고값은 다소 높게 발생함을 알 수 있다. 따라서 국내 송전계통에 사용되는 차단기의 적절한 SLF 정격은 규격에 규정된 것과는 다소 상이할

2.2 인공선로의 TRV 발생특성

전술한 바와 같이 국내 송전계통에서의 SLF에 의한 선로측 TRV 특성은 IEC 및 IEEE 등에서 규정한 것과는 다소 차이가 있으나, 여기에서는 IEC 규격을 기준으로 인공선로의 TRV 발생특성을 검토하였다. 인공선로는 여러 가지 형태의 모델들이 제시되고 있으나, 본 논문에서는 현재 KERI에서 주로 사용되고 있는 그림 1의 인공선로 모델에 대해 모델 요소 값과 시험설비의 누설 커패시턴스에 따른 TRV 발생 특성을 검토하였다.

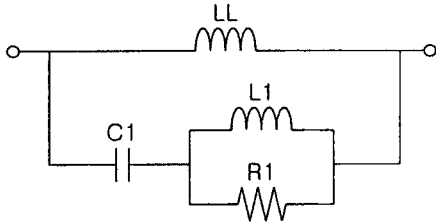


그림 1 인공선로 모델

그림 1의 인공선로 모델에서 L_L 은 선로측 임피던스를 모의하는 요소이며, C_1 , L_1 및 R_1 은 선로측 TRV를 조정하기 위한 요소들인데, IEC 62271-100 및 IEEE C37.09에 규정된 선로측 TRV의 파고계수(Peak Factor)와 상승률계수(RRRV Factor)를 만족시키기 위한 조정회로 요소 값은 표 3과 같다.[3]

표 3 인공선로 TRV 조정용 요소의 기준

L_L	단락전류 조정용 리액턴스	
Z_L	가공선로 써지 임피던스 기준 값 (= 450 Ω)	
L_1	$K_L \cdot L_L$	$K_L = 0.5$
C_1	$K_C \cdot \frac{L_L}{Z_L^2}$	$K_C = 0.4$
R_1	$K_R \cdot Z_L$	$K_R = 1$

2.2.1 시험/측정설비 누설커패시턴스의 영향

그림 2부터 그림 4까지에 도시한 바와 같이 시험설비 및 측정설비의 누설커패시턴스가 증가하면 선로측 TRV의 상승률은 거의 일정하나, 파고계수는 높아지며 지연시간이 커지게 되어 규정된 조건에 미달되거나, 초과되는 경우가 발생할 수 있으므로, 규정된 시험조건을 만족시키기 위해서는 시험환경을 고려하여 인공선로 모델 파라미터를 재조정해야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

그림 5에는 선로측 TRV의 선형성 평가결과를 참고로 나타내었는데, 선형성은 그림 6에 도시한 바와 같이 삼각파형과의 불일치 정도를 나타내는 면적의 역수에 의해 평가하였으며, 파고계수와 파고까지의 시간을 이용하여 정규화함으로써 상대평가를 용이하게 하였다.

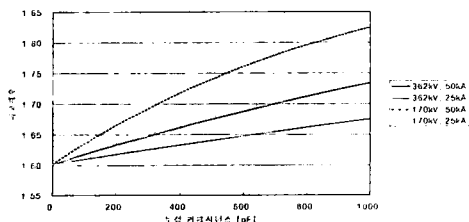


그림 2 누설 커패시턴스에 의한 파고계수의 변화

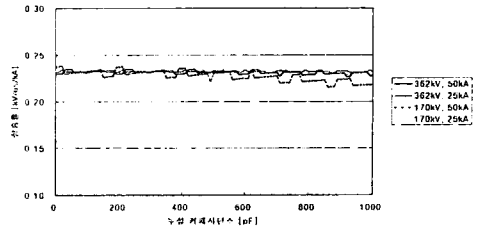


그림 3 누설 커패시턴스에 의한 상승률의 변화

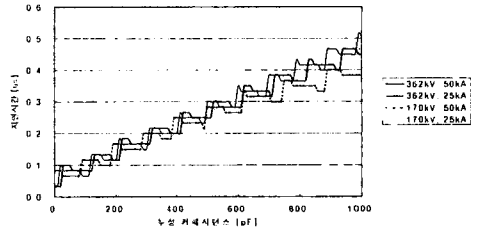


그림 4 누설 커패시턴스에 의한 지연시간의 변화

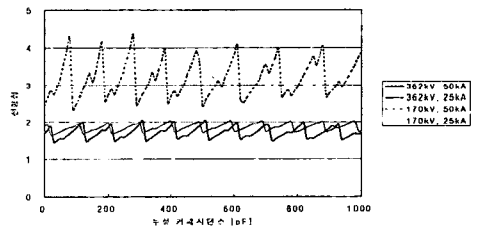


그림 5 누설 커패시턴스에 의한 선형성의 변화

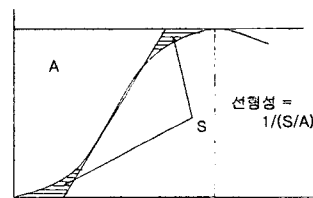


그림 6 선형성 평가도

2.2.2 TRV 조정 요소의 영향

2.2.2.1 파고계수의 변화

그림 7에서 9까지에 TRV 조정 요소 값에 따른 파고계수의 변화를 도시하였는데, C_1 , L_1 및 R_1 이 증가하면 파고가 낮아지는 경향을 뚜렷하게 보여주고 있다.

2.2.2.2 상승률의 변화

그림 10에서 12까지 나타낸 TRV 조정요소 값에 따른 파고계수의 변화에서, 요소 값의 증가에 따라 대체적으로 감소하며, C_1 의 영향이 약간 큼을 알 수 있다.

2.2.2.3 지연시간의 변화

그림 13에서 15까지에는 지연시간의 변화를 도시하였는데, 음수는 초기 상승률이 높음을 나타낸다. 지연시간은 요소 값의 증가에 따라 대체적으로 감소하나, 국부적으로는 조그마한 변화에도 영향을 받음을 보이고 있다.

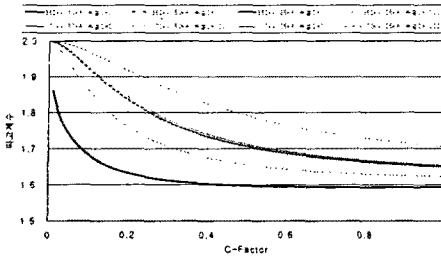


그림 7 C1에 대한 파고계수의 변화

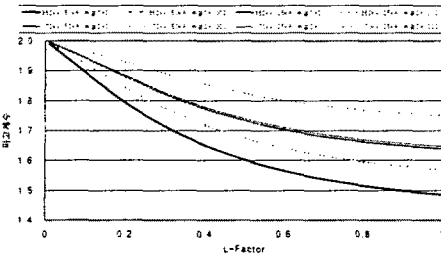


그림 8 L1에 대한 파고계수의 변화

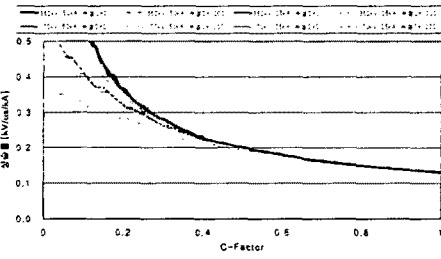


그림 9 R1에 대한 파고계수의 변화

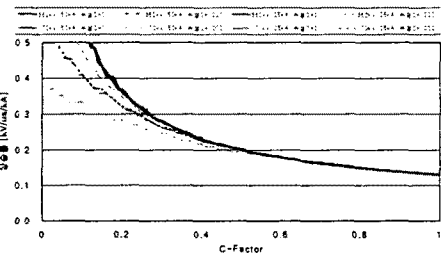


그림 10 C1에 대한 상승률의 변화

2.2.2.4 선형성 평가

그림 16에서 18까지는 각 요소에 대한 선형성 변화를 나타내었는데, 누설 커패시턴스가 존재할 때에는 조정요소의 조그마한 변화에도 선형성이 다소 크게 변화됨을 알 수 있으며, 일정한 패턴을 유추하기 매우 어려운 양상을 보이고 있다.

2.3 누설 커패시턴스를 고려한 파라미터 조정

앞서 검토한 바와 같이 누설 커패시턴스가 존재하면 파고값은 커지고 지연시간은 증가하나 상승률은 거의 일정하기 때문에, 이를 보정하기 위해서는 파고값이 낮아

지고 지연시간은 짧아지면서 상승률은 다소 커지거나 유지되도록 해야 한다. 여기에서는 400 pF의 누설 커패시턴스가 존재할 때, 전술한 특성들을 활용하여 최적 시험조건을 탐색한 예를 통해 실시형 조건을 고려한 인공선 파라미터 조정을 살펴보았다.

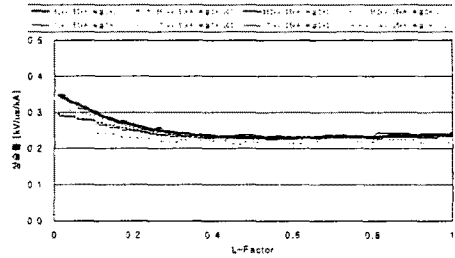


그림 11 L1에 대한 상승률의 변화

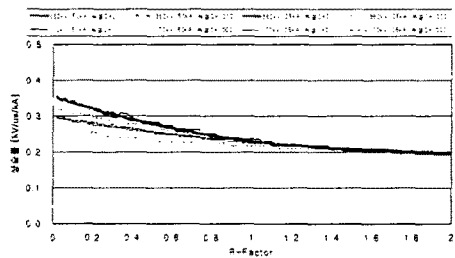


그림 12 R1에 대한 상승률의 변화

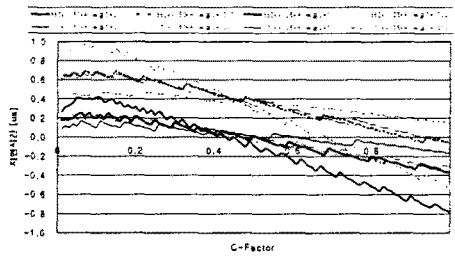


그림 13 C1에 대한 지연시간의 변화

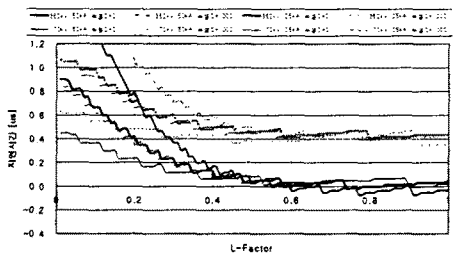


그림 14 L1에 대한 지연시간의 변화

표 3에 나타난 기준 값을 적용한 인공선로에서 누설 커패시턴스가 있을 때의 분석결과는 표 4와 같이 IEC 규정을 만족하지 못하는 부분이 있는데, 상기 특성들을 이용하여 인공선로 파라미터를 표 5와 같이 적절히 조정하면 표 6에 나타난 것과 같이 규정된 값에 매우 근접한 시험조건을 설정할 수 있음을 알 수 있다.

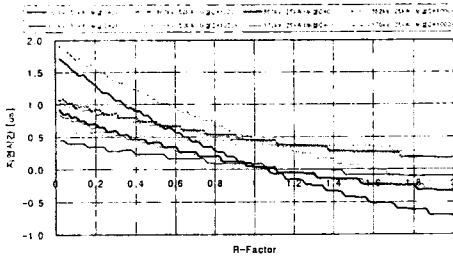


그림 15 R1에 대한 지연시간의 변화

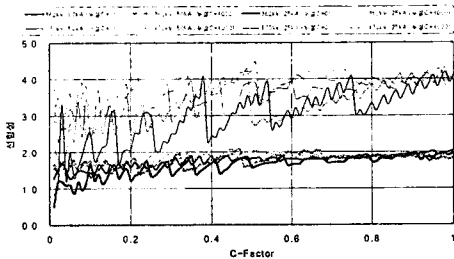


그림 16 C1에 대한 선형성의 변화

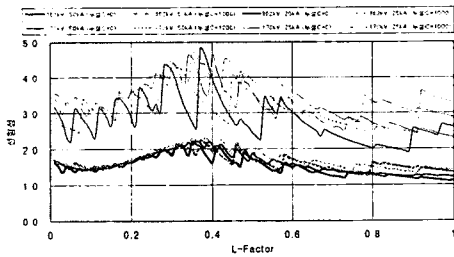


그림 17 L1에 대한 선형성의 변화

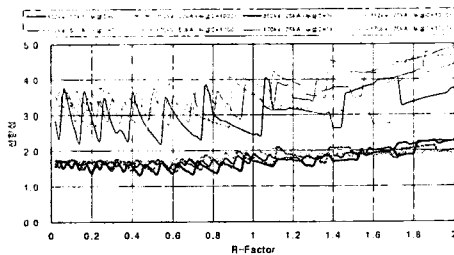


그림 18 R1에 대한 선형성의 변화

표 4 기준회로의 분석 결과 (누설 C: 400 pF)

정격전압 (kV)	정격차단 전류(kA)	파고 계수	상승률 (kV/μs/kA)	지연시간 (μs)
362	50	1.66	0.230	0.200
	25	1.63	0.232	0.200
170	50	1.72	0.236	0.250
	25	1.67	0.233	0.217
IEC 규정		1.60	0.240	362 : 0.5 170 : 0.2

표 5 보정된 파라미터 계수(표 3 참조)

계수	기준값	보정값			
		362kV 50kA	362kV 25kA	170kV 50kA	170kV 25kA
Z _L (Ω)	450	465	465	500	500
K _C	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
K _L	0.5	0.7	0.6	0.8	0.65
K _R	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3

표 6 보정회로의 분석 결과 (누설 C: 400 pF)

정격전압 (kV)	정격차단 전류(kA)	파고 계수	상승률 (kV/μs/kA)	지연시간 (μs)
362	50	1.61	0.243	0.233
	25	1.60	0.242	0.217
170	50	1.63	0.242	0.183
	25	1.61	0.243	0.133
IEC 규정		1.60	0.240	362 : 0.5 170 : 0.2

3. 결 론

본 논문에서는 실시시험조건 특히 시험 및 측정설비의 누설커패시턴스에 의한 시험조건 변화를 고려한 인공선로 파라미터 조정을 위해 모든 파라미터의 영향을 분석하였으며, 각 요소들에 대한 시험조건 변화 패턴을 이용하여 특정상황(누설커패시턴스 400 pF)에서 파라미터를 재조정함으로써 규정된 시험조건을 만족시킨 예를 기술하였다.

그러나 각 요소들에 의한 시험조건 변화 패턴이 비선형적이며, 실시시험조건에 따라 서로 상당히 다른 양상을 보이기 때문에 확실적인 방법에 의한 회로파라미터 설정은 불가능하다. 따라서 이를 극복하고 보다 실용적인 방법을 도출하기 위해서는 최적화 기법의 활용 및 다양한 인공선로회로구성 등에 대한 후속 연구가 있어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- (1) IEC 62271-100, "High-voltage alternating-current circuit breakers", 2001. 5.
- (2) IEEE C37.04, "IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers", 1999.
- (3) W.A. van der Linden, L. van der Sluis, "A New Artificial Line for Testing High-Voltage Circuit Breakers", IEEE PAS-102, No. 4, pp 797-803, 1983