Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2011) 25(10) : 59~66
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2011.25.10.059

논문 25-10-7

EMTP-RV를 이용한 대용량 전기설비의 차단기 TRV에 관한 연구

(A Study on the Circuit Breaker Transient Recovery Voltages on Large Commercial Customer using EMTP-RV Program)

조계술* · 최홍규**
(Kyeh-Sool Cho · Hong-Kyoo Choi)

Abstract

In electric power system, the circuit breaker is not operated when the higher voltage then the rated TRV(transient Recovery Voltage) appeared in the circuit breaking, The TRV of a circuit breaker means the characteristics of reignition by the arc between two poles. and is decided by the value of connecting Impedance. In this paper we of carried out many kinds of experiments varying the types of bus, the types of installation, the length of installation between 22.9 [kV] level circuit breaker and MTR in general 154/22.9[kV] system, We also simulated the characteristics of TRV using EMTP-RV program. The suitability of TRV in assessed by Uc, RRRV(Rate of Rise of Recovery Voltage) which are defined by the international guide, IEC62271-100. The values of RRRV gained from the cable-made bus are 590[%] lesser than those from the NSPB-made bus respectively. So the triangled type is more rational in the aspect of TRV.

Key Words : TRV, RRRV, EMTP-RV, IEC 62271-100, IEEE Std. C37.011

1. 서 론

최근 반도체 및 철강 산업 등의 발달에 따라 전력시스템 설비가 대용량화 되고 있다. 대용량 전기설비의 경우 장래증설부분 및 불확실한 부하분포 등의 이유로 적용기기의 적절한 선택이 매우 어려우므로 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 해석이 반드시 필요하다. 계통사고 시 차단기의 전류차단 후에는 차단기 접촉자간 과도회복전압(TRV : Transient Recovery Voltage)이 나타나며, 차단기 선정 시에는 계통의 TRV보다 충분히 큰 차단기를 선정하여야 한다. TRV 분석은 계통의 구성방법, 고장전류의 크기, 변압기의 임피던스, 부하의 종류 및 크기에 따라 차이가 크게 나타나므로 정확한 검토를 하지 않을 경우 차단실패가 발생하여 2차 사고로 파급될 수 있다. 계통이 구성된 후 TRV의 테스트를 하는 방법은 많은 비용과 위험이 따르므로 차단기 선정 시에는 계통구성 이전에 다양한 Case를 선정하여 시뮬레이션을 수행함으로서 위험부분을 미리

* 주저자 : 홍익대학교 대학원 전기공학과
** 교신저자 : 홍익대학교 과학기술대학 전자 · 전기공학과 교수
Tel : 02-529-3880, Fax : 02-6008-7844
E-mail : cks99@chol.com
접수일자 : 2011년 7월 25일
1차심사 : 2011년 8월 9일, 2차심사 : 2011년 8월 29일
심사완료 : 2011년 8월 31일

예측하여야 한다.

본 논문에서는 154/22.9[kV] MTR의 22.9[kV]급 차단기에 대한 과도회복전압(TRV)을 제공된 계통데이터를 이용하여 과도해석 프로그램인 EMTP-RV[1]로 모의하였으며, 검토결과를 IEC 62271-100[2]에서 규정한 22.9[kV]급 차단기의 T100 평가 기준치를 적용하여 적합성 여부를 검토하였다. TRV의 적합성 판별 요소는 파고치(U_c), 파고시간(t_3), 상승률(Rate of Rise of Recovery Voltage)를 상호 비교한다.

본 논문에 의해 비슷한 전기설비 구성 시 TRV의 특성을 미리 파악하여 적합한 차단기를 선정하는데 참고가 될 것이라 생각한다.

2. 과도회복전압

2.1 TRV 정의

차단기의 정격과도회복전압은 차단기가 정격차단전류 또는 그 이하의 전류를 차단할 때 차단기 극간에 인가되는 고유과도회복전압의 한도를 말한다[3]. 전력계통의 차단기는 고장발생시 고장구간을 신속하게 건전계통과 분리하는데 그 목적이 있다. 이러한 차단기의 차단성능은 고장전류의 크기와 전류차단 시 차단기 극간에 인가되는 과도회복전압에 의해 좌우된다. 계통의 유도성 회로에 축적되어 있는 자속 때문에 차단기 극간에는 아크가 발생되므로 차단기는 이러한 아크에 의한 재 점호를 소호할 수 있어야만 차단에 성공할 수 있다.

2.2 TRV의 발생

차단기의 과도회복전압은 아크상태 종료 후 고장전류를 차단한 차단기의 단자양단에 나타나는 전압을 말한다. 그림 1은 차단기의 TRV를 나타내는 간략회로도로[4] 차단기가 차단되고 고장전류가 "0"이 되는 시점에서 발생되는 TRV는 전원 측 회로의 TRV[V_1], 선로 측 회로의 TRV[V_2]의 전압 차[$V_1 - V_2$]로 나타낼 수 있다.

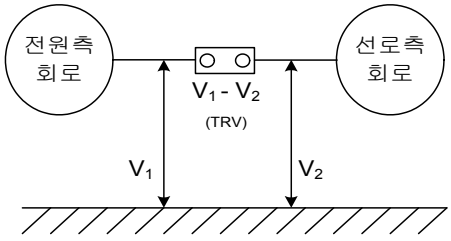


그림 1. TRV 간략 회로도
Fig. 1. Simple Diagram of Transient Recovery voltage

과도현상의 형태는 각 버스에 연결되어 분포된 인덕턴스, 커패시턴스 파라미터 값에 의해 결정되어진다. 만일 TRV 값이 차단기의 정격보다 상회하는 경우에는 TRV의 증가에 의해 아크의 재 점호 또는 차단실패가 발생할 수 있다. 다른 경우에는 TRV Peak 값이 차단기 정격에 만족하더라도 차단 후 초기 수 마이크로초 동안 차단기 접촉자에 높은 커패시턴스의 존재로 재 발호되는 경우도 있다[5].

그림 2는 고장전류의 파형과 시간의 변화에 따라 발생된 TRV 파형에 반사파가 중첩되기를 반복하여 진동하는 전압 파형을 나타낸다. 고장전류가 "0"점일 때 차단기가 동작하여 전압파형은 최대값을 가진다.

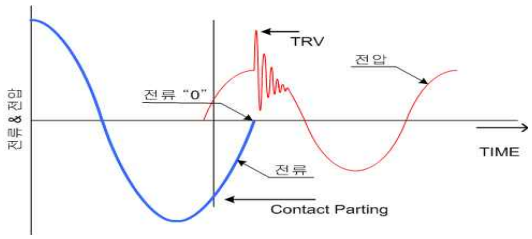


그림 2. 전류차단 진행 현상
Fig. 2. Current interruption process

2.3 TRV 영향요소

과도회복전압에 영향을 미치는 요소는 매우 다양하며 다음과 같다[6].

1) 계통의 인덕턴스 및 커패시턴스 크기, 접지상태
2) TRV를 검토하는 계통에서의 고장전류 크기
3) 차단기, 변류기, 변압기 등의 커패시턴스
4) 선로의 임피던스 특성 등

2.4 TRV 유형

계통에서의 TRV는 다음의 3가지 형태로 나타난다[7].

1) 지수형 TRV(Exponential TRV) : 선로가 변압기와 차단기 사이에 존재할 때 차단기 2차측 사고 시 선로 종단에서 반사되는 반사파에 의해 TRV가 중첩되는 파형
2) 진동형 TRV(Oscillatory TRV) : 사고가 변압기 또는 직렬 리액터에 의해 제한되며, 선로가 없거나 서지 임피던스가 없을 때 발생하는 파형
3) 삼각파형 TRV(Triangular TRV) : 단거리 선로 사고 시 발생하는 파형

2.5 TRV 평가항목

TRV 평가에는 국제적으로 IEC 62271-100[2]와 IEEE/ANSI Std. C37. 011-1994[7]의 두 가지 기준이 적용되며, 차단기의 제작 시에는 두 가지 기준에 모두 적합하도록 제작되고 있다. 국내의 경우 한전에서 표준규격인 ES-5925-0001(교류차단기)[3]를 적용하고 있으나 KS에서는 아직 국제기준인 IEC 기준을 부합화하여 적용하고 있지 않은 실정이다. 본문에서는 IEC 62271-100기준을 적용하였다. IEC 62271-100에서의 TRV 평가는 계통의 형태에 따라 발생하는 파형 형태를 2-파라미터와 4-파라미터로 구분하여 평가하고 있다.

2-파라미터의 파형은 그림 3과 같은 기준선을 가지며 72.5[kV]급 이하에 적용한다. 100[kV]급 이상의 경우 4-파라미터의 파형을 적용한다.

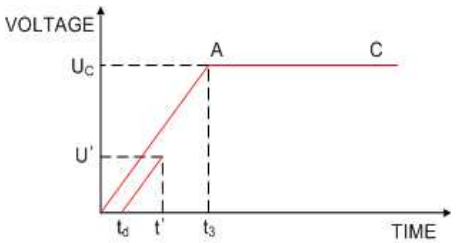


그림 3. 2-파라미터 기준선
Fig. 3. 2-parameter reference line

그림 3에서 표시된 각 파라미터는 아래와 같다.

U_c = 파고치(TRV 최대전압)[kV]

$U_c = 1.5 \times 1.4 \sqrt{\frac{2}{3}}\ U_r = 1.715 U_r$

t_3 = 파고 시간[μs]
= Variable(고장전류 크기에 따라 변동)

$U' = 1/3 U_c$

U_r = Rated Voltage

t_d = $0.15 t_3$($U_r \leq$ 72.5 [kV] / cable system 및 line system)
= $0.05 t_3$($U_r \leq$ 72.5 [kV] / line system에서의 short-line fault T100)

모의 계통을 구성 후 시뮬레이션을 수행한 해석결과는 파고치(U_c), 파고시간(t_3), RRRV($kV/\mu s$)를 상호 비교하여 평가하게 된다. 여기서 RRRV는 Rate of Rise of Recovery Voltage로 TRV 상승률을 의미하며, 식 (1)과 같다.

$$TRV\text{상승률}[kV/\mu s] = \frac{(\text{초기})\text{파고치}(kV)}{(\text{초기})\text{파고시간}(\mu s)} \quad (1)$$

표 1. 과도회복전압 표준치
Table 1. Standard Values of TRV

	시험 책무		First-pole-to-clear factor kpp(p.u.)	Ampli-tude factor kaf(p.u.)	U_c (kV)	t_3 (μs)	RRRV (kV/μs)
25.8	T100	S1	1.5	1.4	44.2	91	0.49
		S2	1.5	1.54	48.7	45	1.08
	T60	S1	1.5	1.5	47.4	40	1.19
		S2	1.5	1.65	52.1	30	1.74
	T30	S1	1.5	1.6	50.6	20	2.53
		S2	1.5	1.74	55.0	18	3.06
	T10	S1	1.5	1.7	53.7	20	2.69
		S2	1.5	1.8	56.9	18	3.16

IEC 62271-100에서 규정하고 있는 과도회복전압의 기준값은 표 1과 같다. 표 1에서 25.8[kV] 차단기의 적용은 S1(옥내용) [2]의 3.4.119항, S2(옥외용) [2]의

3.4.120항의 정의에 따라 분류한 것이며, T30은 정격차단전류의 30[%] 고장전류를 차단하는 경우, T60은 정격차단전류의 60[%]에 해당하는 고장전류를 차단할 때의 TRV 표준치를 의미한다.

3. EMTP-RV

EMTP-RV는 전력계통에서 과도현상 해석의 대표적인 소프트웨어이다. Fortran 기반의 기존 EMTP 프로그램을 GUI(Graphical User Interface)방식으로 재구성한 소프트웨어로서 사용하기 편한 장점이 있으며, 수 [μs]에서 수초까지의 시간영역에서 전자 과도현상을 포함하는 다양한 모델링 능력을 제공한다[8]. 쉬운 변수의 조절로 유연성 있고 다양한 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

4. 사례연구 계통

사례연구 대상은 그림 4와 같다. 154[kV]-22.9[kV] 시험용 전력계통용 주변압기는 OIL Type으로 용량은 45/60[MVA]를 대상으로 하였다. TRV 검토 대상 CB는 MTR 2차측이다. 대상 CB와 MTR간 연결된 모선의 변화에 따라 TRV의 변동사항을 시뮬레이션하였다. TRV 파형은 지수형으로 2-Parameter 파형으로 나타난다.

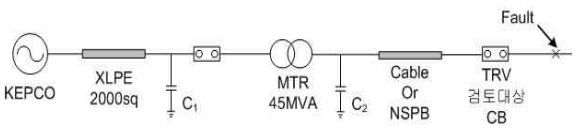


그림 4. 사례연구 대상 계통
Fig. 4. One-line diagram in case study

4.1 계통 모델링

4.1.1 154[kV] 모델링

GIB(Gas Insulated Bus : 가스절연부스)와 케이블 접속부의 CT는 상간의 상호 임피던스를 모의하기 위하여 EMTP-RV 라이브러리의 3상 PI Line 모델을 사용하였으며. PT는 커패시턴스로 모의하였다[9].

4.1.2 MTR 모델링

154[kV] / 22.9[kV] MTR은 옥외 설치형으로 그림 5와 같이 커패시턴스로 등가화 하여 적용하였다[9].

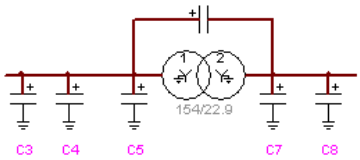


그림 5. 154[kV] / 22.9[kV] MTR 모델링
Fig. 5. MTR Modeling 154[kV] / 22.9[kV]

TRV 해석 시에는 변압기의 부싱과 권선의 커패시턴스의 크기가 중요하며, 측정값을 적용하는 것이 가장 좋으나 일반적으로 IEEE C37.011-2005[7]과 참고문헌[6]의 그림 13.8(h)의 값을 적용한 표 2와 같다.

본 논문에서는 45/60[MVA] Y-Y결선의 변압기를 적용하였다. 변압기의 각 상은 45/3=15[MVA]로 적용하였다. 여기서

CH = 고압 측 권선과 대지간의 커패시턴스
CL = 저압 측 권선과 대지간의 커패시턴스
CHL = 고압 측 권선과 저압 측 권선간 커패시턴스

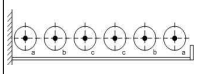
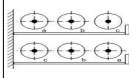
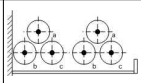
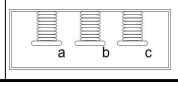
표 2. 변압기 커패시턴스 Data
Table 2. Transformer capacitance data

구분	CH	CL	CHL
μF	1.20353	3.61059	4.81412

4.1.3 Feeder Cable 모델링

TRV 해석을 위한 케이블 모델링은 분포정수 회로로 모델링하여야 한다. 본문에서는 해당케이블 정수를 EMTP-RV의 케이블 데이터 블록에 입력하여 연산시간을 고려한 CP Line 모델을 이용하였다. NSPB는 Pipe Type으로 환산하여 적용하였다. 포설방식은 표 3과 같다. Cable의 포설방법은 평행배치와, 삼각배치 두 가지 경우를 적용하였으며, 케이블과 NSPB의 허용전류는 1,000[A]를 기준으로 적용하였다.

표 3. 22.9[kV] 케이블, NSPB 제원
Table 3. Specification of Cable & NSPB

구분	포설방식
Type 1	 400[㎟]×1C×2조 평행 1단
Type 2	 400[㎟]×1C×2조 평행 2단
Type 3	 400[㎟]×1C×2조 삼각
Type 4	 NSPB 1000[A]

4.1.4 Capacitance Data

한전측 임피던스, MTR, 케이블, NSPB, 계측설비의 입력데이터는 표 4와 같다. TRV 해석 시 필요한 커패시턴스 값은 PT, LA, 부싱 등의 부속기기는 IEEE C37.011-2005[7]의 값을 적용하였고, 변압기 임피던스는 변압기 제작회사의 데이터를 참고하여 적용하였다.

표 4. 사례연구계통 입력 Data
Table 4. Input system data in case study

KEPCO	TYPE	BASE	Impedance[%Z]
154[kV]	Cable	100MVA	0.054+j0.898(X/R16.763)
LINE	TYPE	Length[m]	Size
XLPE	Cable	2,500	2,000 [㎟]
CNCV	Cable	10~150	400 [㎟]
NSPB	BUS DUCT	10~150	1,000 [A]
TR	TYPE	Rating	Impedance[%Z]
Oil	Y-Y	45/60MVA	13.0(X/R=28)
기타	TYPE	Rating	Capacitance[pF]
PT	옥외형	170[kV]	184
LA	옥외형	170[kV]	100
부싱	옥외형	170[kV]	39

그림 6은 표 4의 값을 적용하여 작성한 사례연구 계통의 EMTP-RV 모델을 나타낸다.

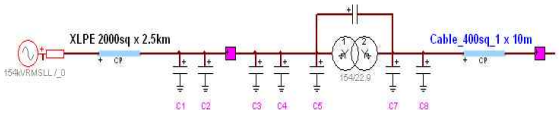


그림 6. 사례연구 계통 EMTP-RV 모델링
Fig. 6. EMTP-RV modeling in case study

5. TRV 시뮬레이션

5.1. 시뮬레이션 방법

154/22.9[kV] 계통의 22.9[kV] 차단기의 TRV 적합성을 검토하기 위하여 22.9[kV] 차단기와 MTR간은 Cable 과 NSPB로 구성 길이에 따른 TRV의 변화 특성을 모의 하였다. 모의 사항은 다음과 같다.

- Cable / NSPB 길이 : 10[m]~150[m]
- TRV 검토 대상 차단기 : VCB(12.5[kA])
- 고장유형 : 3상 단락(가장 가혹한 고장경우로서 제1상차단계수와 Amplitude Factor가 가장 높은 조건을 선택하여 해석함)

5.2 TRV 시뮬레이션 파라미터 정보

Time Step 0.1[μsec]~0.05[μsec], 모의시간 100 [ms], Fault Time 5[ms]를 적용하였다.

각 차단기의 OPEN Time은 고장발생 후 약 5 Cycle(고장검출시간 포함)로 하였으며, 차단기 OPEN 동작 위상은 0 deg로 하였다.

5.3 TRV 시뮬레이션 결과

표 5는 표 3에서 제시된 포설방식(Type 1~4) 및 포설길이의 변화에 따라 EMTP-RV 프로그램을 이용하여 검토된 시뮬레이션 결과 값과 IEC 62271-100기준의 U_c, t_3, RRRV값을 비교검토 하였다. 계통의 고장전류는 8.07[kA]로 검토대상 차단기의 차단용량 12.5 [kA]의 64.5[%]가 되며 IEC 62271-100 기준 적용 시 T100 기준 값을 적용한다. 케이블의 경우 배치방식에 관계없이 모두 기준에 적합한 반면 NSPB의 경우는 TRV 상승률(RRRV)값이 부적합함을 알 수 있다.

그림 7은 포설거리가 10[m]인 경우를 대상으로 시

표 5. TRV 해석결과 및 IEC 기준 비교 : 22.9[kV], P=45[MVA], 8.07[kA]
Table 5. Comparison of system TRV and IEC standard : 22.9[kV], P=45[MVA], 8.07[kA]

구분	Type 1			Type 2			Type 3			Type 4			IEC 62271-100 T100 기준값
	U_c [kV]	t_3 [μs]	RRRV [kV/μs]	U_c [kV]	t_3 [μs]	RRRV [kV/μs]	U_c [kV]	t_3 [μs]	RRRV [kV/μs]	U_c [kV]	t_3 [μs]	RRRV [kV/μs]	
10[m]	43.69	163.83	0.267	43.05	161.18	0.267	43.70	166.97	0.262	41.08	27.41	1.499	
20[m]	43.68	163.41	0.267	43.04	161.57	0.266	43.69	167.46	0.261	41.05	28.13	1.459	
30[m]	43.67	163.63	0.267	43.03	161.39	0.267	43.67	167.99	0.260	41.02	28.17	1.456	
40[m]	43.65	163.87	0.266	43.02	161.23	0.267	43.66	167.52	0.261	40.99	28.21	1.453	
50[m]	43.64	163.53	0.267	43.01	161.70	0.266	43.65	168.12	0.260	40.97	28.24	1.451	
60[m]	43.63	163.83	0.266	43.00	161.57	0.266	43.63	168.75	0.259	40.94	28.26	1.449	U_c[kV] = 44.2
70[m]	43.61	164.15	0.266	42.98	161.47	0.266	43.62	168.37	0.259	40.92	28.30	1.446	
80[m]	43.59	163.87	0.266	42.97	161.38	0.266	43.60	169.05	0.258	40.90	28.32	1.444	t_3[μs] = 91
90[m]	43.57	164.23	0.265	42.95	161.92	0.265	43.59	168.71	0.258	40.87	28.35	1.442	
100[m]	43.56	163.99	0.266	42.94	161.85	0.265	43.57	169.45	0.257	40.84	28.37	1.440	RRRV[kV/μs] = 0.49
110[m]	43.53	164.37	0.265	42.92	161.81	0.265	43.55	169.15	0.257	40.82	28.40	1.437	
120[m]	43.51	164.17	0.265	42.90	161.77	0.265	43.53	168.88	0.258	40.79	28.43	1.435	
130[m]	43.49	163.97	0.265	42.88	161.74	0.265	43.50	169.67	0.256	40.77	28.46	1.433	
140[m]	43.47	164.38	0.264	42.86	161.73	0.265	43.48	169.44	0.257	40.75	28.49	1.430	
150[m]	43.44	164.21	0.265	42.84	162.34	0.264	43.45	169.22	0.257	40.72	28.52	1.428	

뮬레이션 결과 값을 IEC 62271-100 기준 값과 비교하였다. 케이블의 경우 평행배치, 삼각배치 모두 T100 기준선의 안쪽에 파형이 위치하며, 파고치(U_c), 파고시간(t_3), RRRV($kV/\mu s$)는 기준에 적합하지만 NSPB의 경우 파형의 일부가 T100, T60 기준선의 외부에 위치하여, 파고치(U_c)는 기준에 적합하지만 파고시간(t_3)이 매우 짧으므로 상승률인 RRRV($kV/\mu s$)는 기준에 적합하지 않음을 알 수 있다.

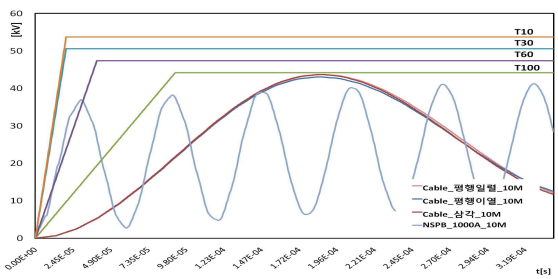


그림 7. TRV 파형 및 IEC 기준선 비교
Fig. 7. Comparison of system TRV waveform and IEC standard reference line

그림 8은 모선구성 방식별 파고치(U_c)값의 변화를 나타내었다. NSPB의 포설시 부스바의 특성상 Cable보다 저항 값이 크므로 U_c값은 작게 나타났으나 IEC 기준에는 모두 만족함을 알 수 있다.

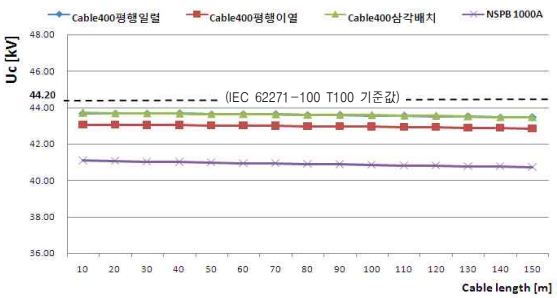


그림 8. Cable과 NSPB의 길이별 파고치(U_c)
Fig. 8. U_c of various cable and NSPB length

그림 9는 모선구성 방식별 상승률(RRRV)값의 변화를 나타내었다. Cable 포설시 NSPB보다 유전체에 의한 커패시턴스 값이 증가하여 파고치(U_c)에 도달하는

파고시간(t_3)이 길어지므로 상승률(RRRV)값은 작게 나타나며, IEC 62271-100의 T100기준에도 만족한다.

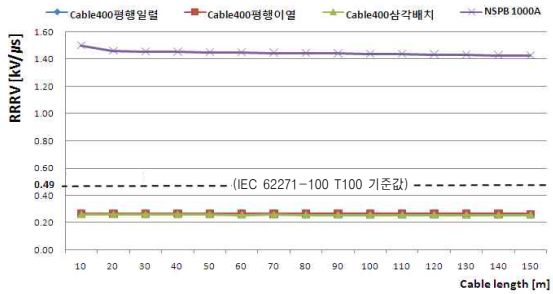


그림 9. Cable과 NSPB의 길이별 상승률(RRRV)
Fig. 9. RRRV of various cable and NSPB length

상승률(RRRV)는 그림 10과 같이 커패시턴스 크기의 증가에 따라 완화되는 특성을 가지며, 파고치(U_c) 값은 저항의 증가에 따라 완화된다[4].

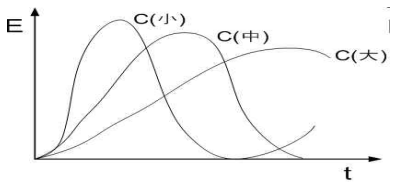


그림 10. 커패시턴스에 의한 TRV 특성 파형
Fig. 10. TRV waveform considering capacitance characteristics

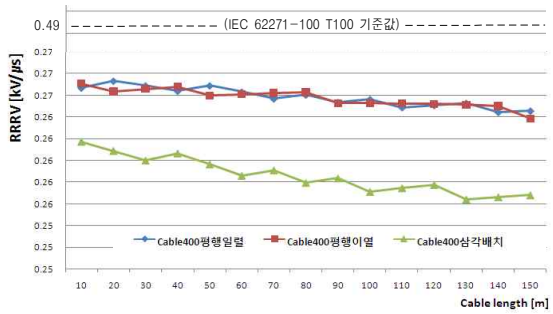


그림 11. Cable 길이별 상승률(RRRV)
Fig. 11. RRRV of various cable length

그림 11은 Cable의 배치방법에 따른 상승률(RRRV) 값을 비교하였다. 일열 배치 시 보다 삼각 배치 시 상승률(RRRV)이 더 적으며, 삼각배치 시는 NSPB 포설시와 비교하면 약 5.9[배] 상승률(RRRV)값은 감소하여 TRV의 상승률(RRRV)값을 만족시키는 가장 적합한 포설 조건이라 할 수 있다.

6. 결 론

본문에서는 EMTP-RV를 이용하여 154[kV]-22.9[kV] 시험용 전력계통도를 모델링하였다. 변압기 용량은 45/60[MVA]로 차단기와 MTR 2차 측 모선의 구성방식, 케이블 포설조건, 케이블 포설길이의 변동에 따라 과도회복전압(TRV)를 해석 후 최대 값(U_c), 파고시간(t_3), RRRV(상승률)를 구하여 IEC 62271-100 기준에 따라 결과 값을 평가하였다.

평가결과 케이블 포설방식과 NSPB 포설방식 모두 파고치(U_c)는 기준에 적합하였으나. 상승률(RRRV)은 커패시턴스 값이 적은 NSPB를 적용 시에 파고시간(t_3)이 기준치보다 매우 짧게 나타나 IEC 62271-100 기준에 부적합하게 나타났다. Cable 적용 시 상승률(RRRV)은 모두 기준에 적합한 값을 가진다. 케이블의 삼각배치 시에는 NSPB 적용시보다 상승률(RRRV)이 5.9[배] 감소하여 과도회복전압(TRV) 측면에서 가장 적합한 포설방법임을 확인하였다.

최근 복합 상용시설 등의 대규모 수용가는 협소한 부지에 대용량의 변전설비가 구성되므로 주로 NSPB를 적용하여 공간을 활용한다. 그러나 모선의 커패시턴스가 부족하여 상승률(RRRV)값이 기준치를 초과하는 경우가 많고 TRV 측면에서 매우 취약한 구조를 가진다. TRV 개선을 위해서는 추가적인 콘덴서설비 등을 설치하여야 하나 변전설비 모선의 포설방식을 NSPB에서 Cable로 변경하여 적용함으로 상승률(RRRV)를 개선 TRV 기준을 만족하는 방안이 적합하다 사료된다.

References

[1] EMTP-RV(Electro Magnetic Transients Program Restructured Version), http://www.emtp.com.
[2] "High-voltage switchgear and controlgear : Part 100: Alternating-current circuit-breakers", IEC 62271-100, 2008.
[3] 한전표준규격, "교류차단기(ES-5925-0001)", 2007.

〔4〕 超高壓 電力系統 限流리액터 設置에 따른 遮斷器 過渡回復電壓(TRV) 解析, 박흥석, 忠南大學校 大學院,, 2004, p. 17.
〔5〕 D.L. Swindler, P. Schwartz, P.S. Hamer, S.R. Lambert, "Transient Recovery Voltage considerations in the application of medium-voltage circuit breakers," IEEE Transaction on Industry Applications, vol. 33, No.2, March/April 1997, pp. 383-388.
〔6〕 Greenwood, A., "Electrical Transients in Power Systems second edition", New York: Wiley, 1991.
〔7〕 "IEEE Application Guide for Transient Recovery Voltage for AC High-Voltage Circuit Breakers," IEEE Std C37.011-2005 (Revision of IEEE Std C37.011-1994).
〔8〕 서훈철, 한후석, 한승우, "EMTP-RV를 이용한 개폐서지 모델링", 대한전기학회 추계학술대회논문집, 11, 2006.
〔9〕 정태영, 백영식, 정기석, 박지호, 서규석, "EMTP/RV를 이용한 22.9〔kV〕 GIS 모델링과 과도회복전압 해석", 대한전기학회논문지, 59권, 7호, 2010년 7월.

◇ 저자소개 ◇

조계술 (趙啓術)
1958년 11월 3일생. 2002년 홍익대학교 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.

최홍규 (崔洪圭)
1950년 1월 7일생. 현재 홍익대학교 과학기술대학 전자·전기공학과 교수.