

345 KV 송전계통의 고유 TRV 해석

윤재영^{오*} 정위식^ㅋ 박동욱^{*} 민석원^{**} 정상진^{**}
* 한국 전기 연구소 ** 한국전력공사 기술연구원

The prospective TRV analysis of 345KV transmission system

Yoon, Jae Young Jung, Wee Sik Park, Dong Wook Min, Suk Won Jung, Sang Jin

KERI

KEPCO

Abstracts

The interrupting capability of circuit breaker to have an effect on stability and reliability of the power system is largely determined by the fault current and prospective TRV (prospective transient recovery voltage).

The prospective TRV, which is essentially a system function determined by the elements of the connected circuit, is not constant for a given system location but is affected by a number of variables.

Therefore, the purpose of this study is to analyze the prospective TRV of KEPCO's 345KV transmission system by using EMTP (Electro-Magnetic Transients Program) and to compare the calculated values with the standard values in ESB 150 (1976)

1. 서론

이상 차단 (ideal interruption) 시 차단기 극간에 발생하는 과도회복전압을 고유과도회복전압(Prospective transient recovery voltage: 이하 고유 TRV) 이라 하며, 차단기의 차단 성능은 차단 전류의 크기 및 전류 차단시 차단기 극간에 인가되는 고유 TRV 에 의해 좌우되고, 차단 실패시에는 전력 공급신뢰도 및 안정도에 대단히 큰 영향을 미친다.

그런데 이러한 고유 TRV 는 계통특성 및 고장 종류에 따라서 변화하므로 각국에서는 과도 해석반 (TNA) 이나 컴퓨터를 사용해서 전류 차단시의 과도 현상을 해석하여 그결과를 토대로 규격치를 제정하고 있다.

따라서 본 연구에서는 한전 실 계통에 대해서 수집한 각종 계통 정수를 사용하여 범용 과도해석 프로그램인 EMTP (Electro-Magnetic Transients Program) 로써 국내 345KV 송전계통에 대한 전반적인 고유 TRV 해석을 실시하고 그 해석 결과를 한전 표준규격 ESB 150 (1976) 및 IEC 56 (1987) 규격치와 비교 분석하고자 한다.

2. 고유 TRV

고장 전류 차단 직후 차단기 양극간에 걸리는 고주파수의 과도 성분 회복전압을 과도회복전압이라고 하는데 그림으로 도시하면 그림 1과 같다.

이러한 과도회복전압에 영향을 미치는 요소는 크게 나누어 다음과 같다. ⁽²⁾

- i) 고장 종류 (3상 지락, 3상 단락, SLF)
- ii) 계통 특성 (고장전류, 선로특성 임피던스, 연결된 선로 회선수 등)
- iii) 차단기 특성 (아-크 전압, 소호 매질, 플라즈마 도전성 등)

위의 요소중 차단기의 특성을 무시 - 이상 차단기(투입시 $R=0$, 개방시 $R = \infty$) 에 의해 전류 0 점에서 순시차단 - 하고 계통특성 및 고장 종류에 의해서만 발생하는 과도회복전압을 고유 TRV 라 한다.

이러한 고유 TRV 해석시 계통특성은 해석대상 계통 자체에 의해서 결정되지만 고장 종류는 각 규격치에 따라서 다르다.

즉 ANSI (American National Standard Institute) 규격은 3상 비접지 고장을 IEC (International Electrotechnical Commission) 규격에서는 3 상 접지 고장을 기준으로 하고 있다.

그리고 그림 2 - 그림 3 에 ANSI 및 IEC 규격의 파형 표시방법을 나타내었는데 고유 TRV 파형을 ANSI 규격에서는 계통전압 크기에 따라서 [1-cosine]파형 및 [Exponential-cosine] 파형형태로 표시하며, IEC 규격에서는 계통전압 및 차단전류의 크기에 따라서 2-parameter 혹은 4-parameter 파형으로 나타내어서 다음과 같은 계수를 가지고 파형을 분석하고 있다.

i) 4-parameter 파형 : 초기파고시간 (t_1), 초기파고치 (u_1), 파고시간 (t_2) 파고치 (U_c)

ii) 2-parameter 파형 : 파고시간 (t_3), 파고치 (U_c)
본 연구에서는 한전 표준 규격의 근간이며 미국을 제외한 전 세계에서 널리 사용되고 있는 IEC 규격에 따라서 차단전류와 각계수 (상승률 및 파고치) 간의 관계를 분석하고자 한다.

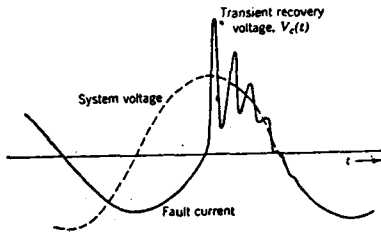
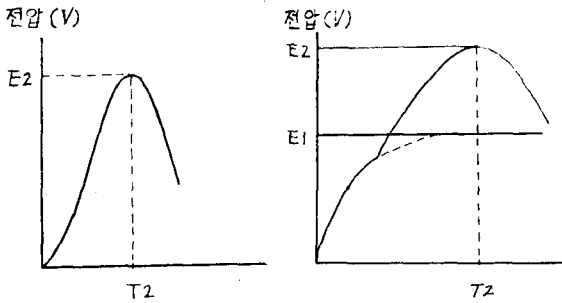
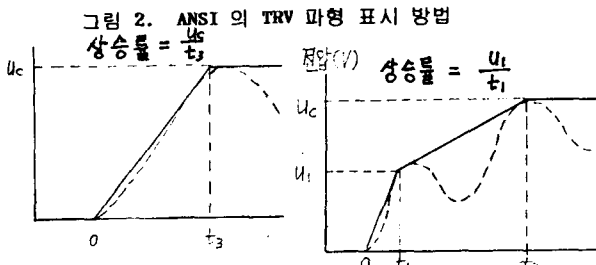


그림 1. 전류 차단시 TRV 파형



(a) (1 - Cosine) 형태 (b) (Exponential - Cosine) 형태



(a) 2 - parameter 형태 (b) 4 - parameter 형태

그림 3. IEC의 TRV 파형 표시 방법

3. 해석 조건

(1) 계통 모의

전력계통의 고유 TRV 를 해석하기 위해서는 계통 내의 각종 구성요소들을 수학적인 모델로써 표현하여야 하는데 표 1 에 각종 기기의 특성 및 필요한 데이터 내용과 본 연구에서 사용한 기기 모의기법 등을 나타내었다.

EMTP 에서 적용 가능한 개개의 기기 모의기법에 대한 자세한 내용은 참고문헌을 참조하기 바란다.

표 1. 기기 모의기법 및 데이터 내용

기기	특성	사용 모의기법	데이터 내용
가공선로 ⁽³⁾	-분포 정수 -주파수 의존성	주파수 독립 연가 분포 정수 선로	공장, 도체 및 가공지선 사양 송전선로 회선수, 철탑모형, 대지 저항률
케이블 ⁽³⁾⁻⁽⁴⁾	-분포 정수 -주파수 의존성 -π - 회로	집중 정수 모의	공장, 케이블 사양, 비유전율, 비투자율, 매설방식 대지 저항률
변압기 ^{(3),(5)-(6)}	-주파수 의존성 -비 선형성	동가회로 모의	누설 임피던스, 여자 임피던스, 누설커패시턴스 $\delta - \phi$ 곡선
발전기 ⁽⁷⁾	-주파수 의존성	"	발전기 임피던스, 누설 커패시턴스
변전소 기타 기기 ⁽⁸⁾		집중 Capacitance 모의	누설 커패시턴스

(2) 계통 축약

과도 현상 해석시 대상 계통 전체를 모의하여 컴퓨터로 해석한다는 것은 실제적으로 불가능하다.

따라서 고유 TRV 해석시 해석 대상 변전소에 영향이 큰 지역은 상세 모의하나, 그 이후 후방 계통은 간략화 시켜야 한다.

계통 축약기법은 다음의 두가지 방법이 가능하며

i) 단락 임피던스 축약법

ii) 다 단자망 축약법

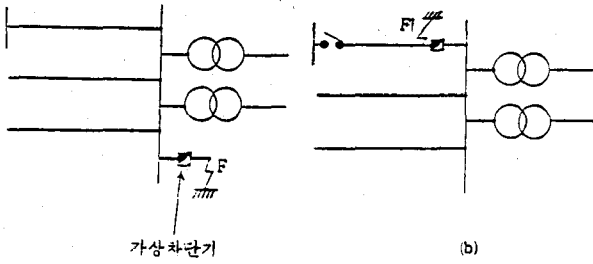
⁽⁹⁾⁻⁽¹⁰⁾

자세한 축약방법은 참고문헌을 참조하기 바란다.

본 연구에서는 해석대상 변전소에서 반경 150 - 200km 이내 계통은 상세 모의하고, 그 이후 후방 계통은 간략화 시켜서 해석하였다.

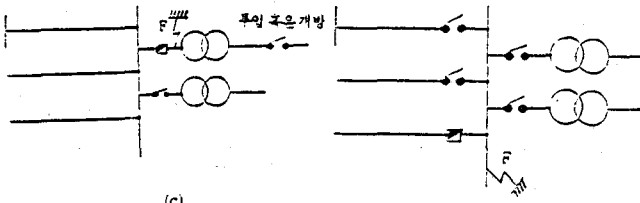
(3) 해석조건

본 연구에서는 IEC 56 (1987)규격을 기준으로 하여 국내 345KV 변전소에서 3상 접지 고장시 고유 TRV 를 해석하였으며 고장위치 및 계통상태는 외국 자료로 ⁽¹¹⁾⁻⁽¹²⁾ 참고로 하여 그림 4와 같이 선택하였다.

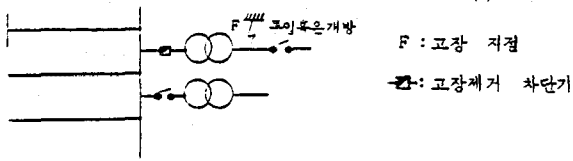


가상차단기

(b)



(c)



F : 고장 지점

□ : 고장개거 차단기

(d)

1림 4. TRV 해석 대상 고장 위치

4. 해석 결과 및 분석

국내 345KV 변전소에 대해서 그림 4에 나타난 고장 지점별로 고유 TRV 를 해석하여 IEC 규격에 따라 4-parameter 및 2-parameter 파형으로 구분하였고, 각 파형을 정의하는 계수들과 차단전류와의 상관관계를 표 2 - 표 5 에 나타내었다.

표 2 - 표 3에서 4-parameter 파형의 상승률 및 파고치 분포를 알수 있는데 대부분의 경우 규격치 이하이나 일부 차단기 선로측 사고인 경우(표 3 에서 전류 16 [KA] 이상, 파고치 600 [KV] 이상) 파고값이 규격치 이상으로 나타났으며, 일부 변압기 2차측 사고시(표 2에서 전류 4-10 [KA], RRRV 6.0 [KV/μS] 이상) 변압기 누설 커패시턴스로 인한 높은 공진 주파수 때문에 상승률(RRRV) 이 규격치를 초과하고 있다.

또한 표 4- 표 5에 2-parameter 파형의 상승률 및 파고치를 나타내었는데 4-parameter 의 경우와 같이 대부분의 경우 규격치 이하이나 일부 발전소 모선 고장인 경우(표4에서 전류 14[KA]이상, RRRV 4.0[KV/μS] 이상, 표5에서 전류 14[KA]이상, 전압 600[KV] 이상) 규격치를 초과하고 있다.

표 2. 차단전류의 RRRV (4-Parameter)

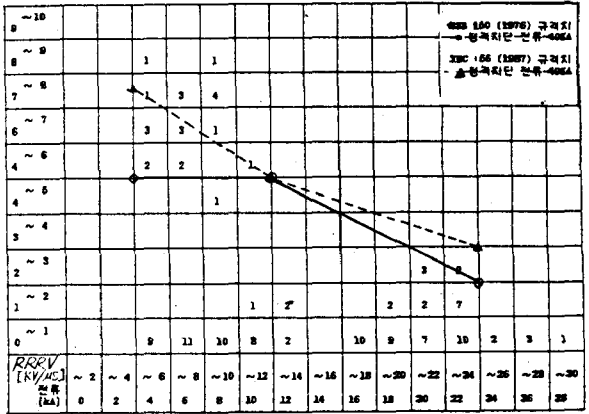


표 3. 차단전류의 파고치 (4-Parameter)

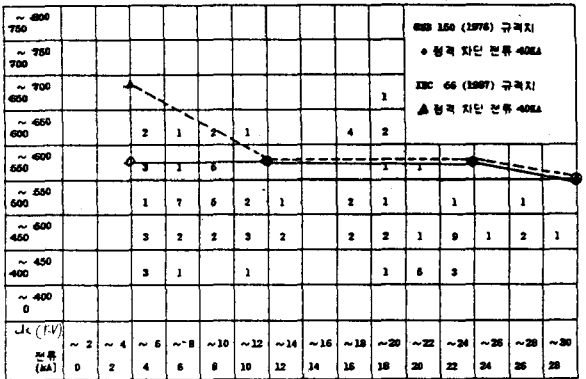


표 4. 차단전류의 초기 상승률 (2-Parameter)

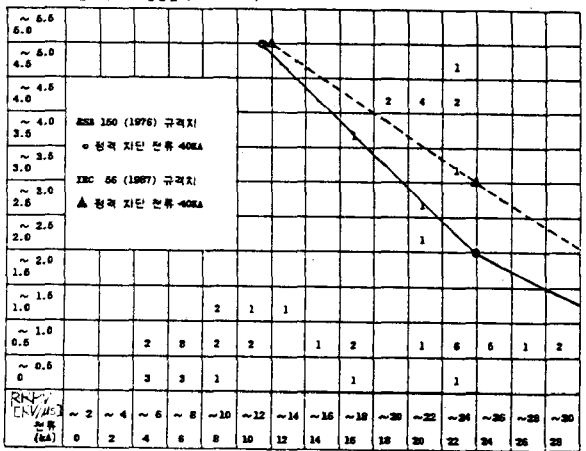
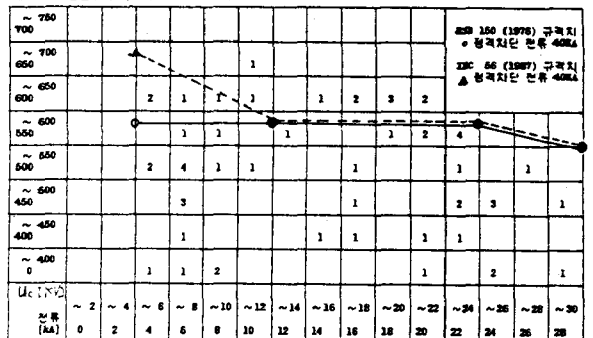


표 5. 차단전류의 파고치 (2-Parameter)



5. 결론

본 논문에서는 EMTP를 사용하여 한전 345KV 계통의 고유 TRV 를 해석하였는데 한전 표준 규격 [ESB 150 (1976)] 및 IEC 56 (1987) 규격치와 비교 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 362KV 차단기의 100% 정격 차단전류가 40[KA] 인 데 모선 및 선로고장시 차단전류는 최대 30 [KA] 미만이므로 차단전류의 크기는 차단 성패 여부에 큰 영향을 미치지 못한다.

(2) 4 - parameter TRV 파형

- 송전단 변전소에서 대부분 발생한다.
- 초기 파고시간 (t_1), 초기 파고치 (U_c) 및 초기 상승률 (RRRV) 은 차단전류가 증가함에 따라서 감소하는 경향을 보인다.
- 변압기 2차 사고시 초기 상승률이 규격치를 일부 초과한다.
- 송전단 S/S 의 모선 및 선로 사고시 몇몇 경우 TRV 파고치가 규격치를 초과한다.

(3) 2 - parameter TRV 파형

- 발전단 변전소에서 대부분 발생한다.
- 파고시간 (t_2), 파고치 (U_c) 및 초기 상승률 (RRRV) 이 산포 특성을 나타낸다.
- 발전단 모선고장시 초기 상승률이 규격치를 초과하는 경우가 일부 발생한다.

[참고 문헌]

- (1) EMTP RULE BOOK
- (2) O. Naef, C. P. Zimmerman, "Proposed Transient Recovery Voltage Ratings for Power Circuit Breakers", IEEE PAS - 84, 1965
- (3) W. S. Meyer, H. W. Dommel, "Numerical Modelling of Frequency Dependent Transmission-Line Parameters in an Electromagnetic Transients Program", IEEE PAS - 93, 1974
- (4) A. Ametani, "A General Formulation of Impedance and Admittance of Cable", IEEE PAS - 96, 1980.
- (5) H.W. Dommel et al, "Matrix Representation of Three-Phase N-Winding Transformers for Steady State and Transient Studies", IEEE PAS - 101, 1982.
- (6) G.R.Slemon, A.Straughen, "Electric Machines", Adison-Wesley
- (7) P. K. Basak et al, "Survey of TRV Conditions on the CRGB 400 KV System", IEEE Proc. Vol. 128, 1981.
- (8) D. E. Hedman, S. R. Lambert, "Power Circuit Breaker Transient Recovery Voltages", IEEE PAS - 95, 1976.
- (9) 전기계통의 과도전압 연구, 과학기술처, 1988.5
- (10) 다단자망 축약 이론을 이용한 TRV 해석, 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, 1988.11.
- (11) P. Baltensperger et al, "Transient Recovery Voltage in High Voltage Networks (Terminal Faults)", CIGRE Paper 13-10, 1968.
- (12) Working Group 13. 01, "Transient Recovery Voltage in Extra High Voltage Networks (362 KV and Above)", ELECTRA No. 63, 1979.