

345 KV 계통 재투입 과전압 해석

윤재영 박동욱 황치우

한국전기연구소

A Study on the Reclosing Overvoltage in 345 (kV) Transmission Line

Yoon, Jae Young Park, Dong Wook Whang, Chi Woo
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstracts

The purpose of the circuit breaker on power system is to disconnect the faulty part from the system and to maintain the integrity of the system. With switching overvoltages are generated. When the system voltages become higher, switching overvoltage is important factor in insulation co-ordination. Since the no-load reclosing overvoltage with inductive source is severe, this paper deals with the reclosing overvoltage and the effect of closing resistor. The reclosing overvoltage of 27-bus model system with and without closing resistor is analyzed by using EMTP (Electro-Magnetic Transients Program) for both deterministic and stochastic model.

1. 서론

차단기는 전력계통에서 고장발생시 고정구간을 분리하며, 또한 계통을 정상운전상태로 신속하게 복구시키기 위하여 사용되어 진다. 이러한 차단기의 개폐시 과도전압이 발생하는데, 계통전압이 높을수록 개폐과전압이 계통절연설계의 중요한 요소가 되며, 개폐과전압중 충전전하 (Trapped-charge)를 가진 무부하 송전선로 재투입과전압이 가장 가혹하다. 따라서 송전선로 절연설계의 관점에서 BHV이상 계통에서는 절연설계비용의 저감을 위해서도 투입저항등의 과전압 억제 대책이 필요한 것으로 인식되어왔다. 따라서 본 논문에서는 국내 계통과 유사한 270선 모의계통에 대한 각종 계통 상황별 재투입 과전압을 범용과도 해석 프로그램 (EMTP : Electro-magnetic Transients Program)을 사용하여 분석하였다.

II. 재투입 과전압

계통에서 1선지락등의 고장 발생시 3상 일괄 차단을 실시하면 건전상에는 포획전하 (Trapped Charge)가 남게되고, 고속도 재투입시 포획전하의 영향이 나타나게 된다. 포획전하가 존재하는 선로를 재투입 시킬경우 전면전압과 선로속 전압 극성이 다르면 무전압 선로투입시 보다 훨씬 높은 과전압이 발생한다. 절연협조 설계시 예전에는 과도현상해석법 (TNA)을 사용해서

trial and error 방법에 의해 가장 가혹한 개폐과전압을 구하여 절연설계 데이터로써 이용하였다. 그러나 근래에는 절점의 상간 투입시간차 (pole span) 범위 내에서 전기적 투입위상을 확률적으로 취급하여 재투입과전압을 통계적 기법으로 처리하는 방법이 적용되고 있다.

이러한 재투입 과전압의 저감대책은 아래와 같은 여러가지 방법이 있다.

- (1) 차단기 투입저항 사용
- (2) 차단기 투입위상 조정
- (3) 분로리액터 사용
- (4) 미회기에 의한 개폐과전압 억제

여기서, 가장 중요한 차단기 투입저항에 대해서 언급하면 다음과 같다.

III. 투입저항

송전선로및 변전소 절연협조 설계시에 고려되어지는 개폐과전압중 일반적으로 재투입 과전압이 기기 및 선로절연에 미치는 영향이 가장 가혹하다.

즉, 계통에서 고장 발생시 고정 구간을 분리하기 위하여 차단기가 고정전류를 차단한 이후 송전선로 커패시턴스에 충전된 잔류전하가 남아 있는 상태에서 일정시점뒤 계통의 정상운전 및 고장지속여부의 확인을 위하여 차단기가 고속도 재투입 될때 송.수전단에 높은 과전압이 발생한다.

이때 차단기의 투입시 충전전하의 유.무에 따라 투입 또는 재투입 과전압이라고 분류한다.

현재 국내 365[kV]급 차단기에서는 520 [Ω]의 투입저항을 사용하고 있는데 그림 1에 일반적인 차단기 회로를 나타내었다. 그림1에서 차단기 재투입시 전면측 임피던스는 투입저항에 비해 무시가능하므로 선로 측지 임피던스를 Z, 인입 싸어지름 e 라고 하면 그림 2에서 보조점점 투입시 송전선로 전행파 e"는 다음과 같다.

$$e'' = e \frac{Z}{Z + R}$$

이때 R = Z 이면 e" = 1/2 e 가 된다.

일반적으로 보조점점 투입이후 8 - 10ms가 지나서 주점점을 투입하는데, 투입저항이 단락되므로 또다시 과도전압이 발생하게 된다.

한데로써, 그림 3에 275km, 60Hz 송전선로 재투입시 수전단 과전압을 나타내었는데 1은 투입지향 삼입시의 과전압이고, 2는 투입지향 단락시의 수전단 과전압이다.

그림3에서 투입지향 R 값이 클수록 투입지향 삼입시의 과도 전압 ($e'' = \frac{Z}{Z+R} e$) 은 감소하지만, 반대로 투입지향용

단락시킴으로써 발생하는 과도전압은 더 커지게 된다. 따라서 재투입 과전압의 크기가 최소가 되는 투입지향값을 결정해야 한다.

즉, 그림 3에서 1,2차 과도전압이 동일한 점인 $\frac{R}{Z} = 0.53$ 일때 최소과전압이 발생함을 알 수 있다.

이러한 재투입 과전압이 최소가 되는 투입지향 R 값은 송전선로 써지 임피던스 Z, 투입지향 삼입기간 및 해당 송전선로 길이에 따라서 변하므로 향후 국내 계통에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

또한 투입지향의 삼입기간은 길면 길수록 과전압 억제 측면에서는 이점이 있지만 고정전류에 의한 투입지향 R의 일용량 측면에서는 물리적인 한계가 있다.

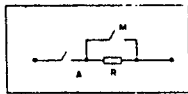


그림 1. 차단기 동작회로

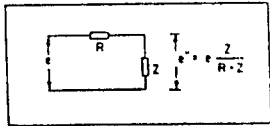


그림 2. 보조정점 투입시 선로전압비

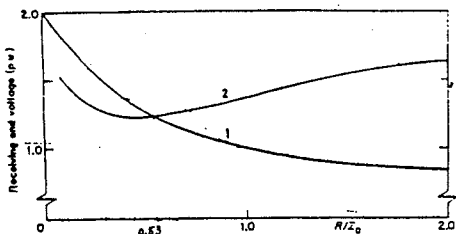


그림 3. 수전단 과전압 예

- 1 : 투입지향 삼입시 과도전압
- 2 : 투입지향 단락시 과도전압

IV. 재투입 과전압 해석

개폐 과전압은 전원측 모선에 변압기만이 걸린 상태 (inductive source) 일때 높게 나타나며 선로측 특성은 직, 병렬보상이 없는상태, 부하단인 개방된 상태 또는 선로길이 길수록 높게 나타난다.

본 연구에서는 실제계통과 유사한 그림 4 의 같은 27 오선 계통의 BUS 13 - BUS 3 의 송전선로 (100 km)에서 BUS 13 측에 1선지락고장 발생시 BUS 13 측 차단기가 동작하여 일정시간후 재투입하는 경우를 해석하였다.

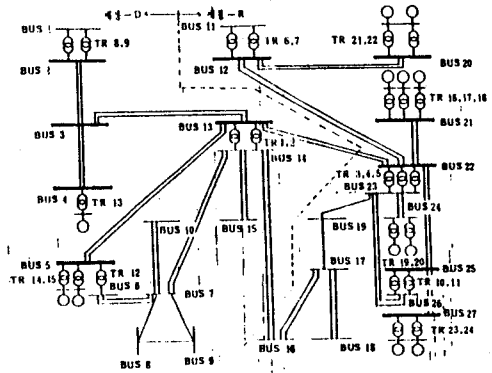


그림 4. 해석대상 계통

1. 모의기법

EMTP내의 각종기기 모의 기법을 사용하였는데 그 내용은 표 1에 나타내었으며 자세한 사항은 참고문헌을 참고하기 바란다.

표 1. 기기 모의기법 및 데이터 내용

기기	특성	사용 모의기법	데이터 내용
가공선로 ⁽³⁾	-분포 정수 -주파수 의존성	주파수 독립 인가 분포 정수 선로	공칭, 도체 및 가공지선 사양 송전선로 횡단수, 절할모양, 대지 저항률
케이블 ⁽³⁾⁻⁽⁴⁾	-분포 정수 -주파수 의존성 -정-역률	선형 정수 모의	공칭, 케이블 사양, 비유전율, 단부저항, 대지저항식 대지 저항률
변압기 ⁽³⁾⁻⁽⁴⁾⁻⁽⁵⁾	-주파수 의존성 -비선형성	순가환용 모의	누설 임피던스, 여자 임피던스, 누설커패시턴스 R-X 곡선
발전기 ⁽⁶⁾	-주파수 의존성		발전기 임피던스, 누설 커패시턴스
변압기 ⁽³⁾ 기타 기기		상용 Capacitance 모의	누설 커패시턴스

2. 차단기 동작

BUS 13 - BUS 3 간 송전선로 1 회선의 BUS 13단에서 1선지락 고장 발생시 BUS 13 측 차단기로 고장 제거후 재투입

3. 모의 전하모의

EMTP RULE BOOK 에 의한 Overriding initial condition 기법을 적용했을때 계통에서 분리된 선로에서 이상 진동 현상이 발생한다. (단, 1 회선의 경우에는 발생하지 않음)

따라서 본 연구에서는 t = 1 ms에서 고장을 발생시키고 t > 0에서 고장제거 및 재투입시키는 방법으로 모의

4. 계통상태

투입되는 선로의 전원측 (동작하는 차단기의 전원측) 상태에 따라서 발생하는 과도전압도 크게 다르므로 계통 구성을 변화시키면서 해석결과를 비교분석

5. 계통축약

재투입 과전압을 효율적으로 해석하는 경우 컴퓨터 계산 시간을 절약하기 위해 단락시 축약이론을 사용하였으며 축약시의 전계통 해석시를 비교 분석하였다.

V. 분석결과

1. Deterministic 해석경우

표 2 에 계통상황에 따른 과전압해석 결과를 나타내었
는데, 해석결과를 분석하면 다음과 같다.

- CASR II 는 송전선로 4 회선을 계통에서 분리시켰을
때 BUS 13 의 상용주파전압이 약 0.7B (P.U.)인
내 이 상태로 지속적인 운전은 불가능하므로 이때
발생한 재투입과전압은 실제계통 상황에서는 의미가
없다. 그러나 과도전압 배수는 1.74로 가장 높다.
이는 전원측이 단상계통 (inductive source) 일수
록 과전압이 높다는 것을 의미한다.
- CASR IV 는 CASR III의 경우를 축약시킨 경우인데
해석결과 0.4 % 정도의 오차를 나타내므로 축약계통
의 신뢰성을 보여준다. 그런데 계산시의 C.P.U
시간을 비교하면
CASR III : 279.72 [sec]
CASR IV : 170.98 [sec] , 루씨
축약기법의 사용 효과를 알 수 있다.
- CASR V는 CASR IV와 계통구성은 동일하나 투입시각
[R = 520 (Ω)] 을 사용했을때의 결과로써 과전압
배수가 1.55에서 1.10으로 낮아져 과전압 억제 대책
으로서의 투입시각 효과를 보여주고 있다.

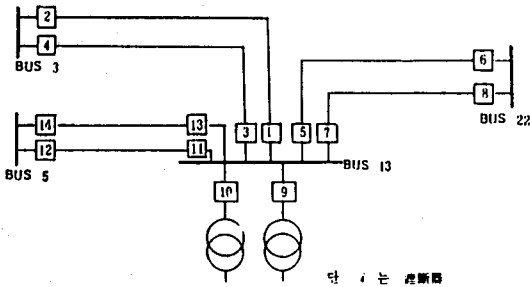


그림 5 BUS-13 계통 세분도

표 2 재투입 과전압 해석 결과

CASE No.	断路器 状態	电源侧 状态	受电端 (BUS-13) 电压 倍 数				비 고
			投入前	再 投 入 時	過渡電 壓倍數	再投入時	
I	재투입동작 : 1 상시개방 : 2 상시투입 : 3~14	송전선로 : 5회선 변압기 : 2대 P-U	1.025	1.42	1.39	2.50	
II	재투입동작 : 1 상시개방 : 2 5~8, 11~14 상시투입 : 3, 4 및 9, 10	송전선로 : 1회선 변압기 : 2대	0.776	1.35	1.74	2.64	
III	재투입동작 : 1 상시개방 : 2 9~14 상시투입 : 5~8	송전선로 : 3회선 변압기 : 없음	1.020	1.58	1.55	2.39	
IV	과라 동일	송전선로 : 3회선 변압기 : 없음 권력속 遠力 일부속약	1.020	1.60	1.56	2.10	
V	과라 동일 단 투입시각 (520 Ω) 사용	송전선로 : 1회선 변압기 : 2대	1.020	1.12	1.10	1.20	

2. 확률해석 경우

앞의 CASR IV에 대해서 50회 확률해석을 하였는데
해석조건은 다음과 같다.

— 해석방법 및 모의기법

앞절과 동일한 해석방법 및 모의기법 사용

— 투입위상 분포

평균치(μ) 16 ms, 표준편차(σ) 1.4 ms를 가진
Normal Gaussian 분포를 사용하며 3σ이하는
무시한다. 즉 $\mu - 3\sigma \leq t \leq \mu + 3\sigma$ 사이에서
투입 위상을 결정했다.

위와 같은 데이터를 사용하여 재투입 과전압을 해석한
결과는 다음과 같다.

1) 송전단 전압 (BUS 13 전압)

평균 1.431 (P.U.), 표준편차 0.178 (P.U.)의
과전압이 발생했으며 최대과전압은 14.61 ms (C-상)
에서 투입했을때 발생한 1.699 (P.U.)로 나타났다.

2) 수신단 전압 (BUS 3 개폐차단기의 신로측 전압)

평균 2.15B (P.U.), 표준편차 0.334 (P.U.)의
과전압이 발생했으며 최대과전압은 15.17ms(C상)에서
투입 했을때 2.56B (P.U.)가 발생했다.

그림 6 - 그림 9에 과전압 히스토그램과 누적확률
분포를 나타내었다.

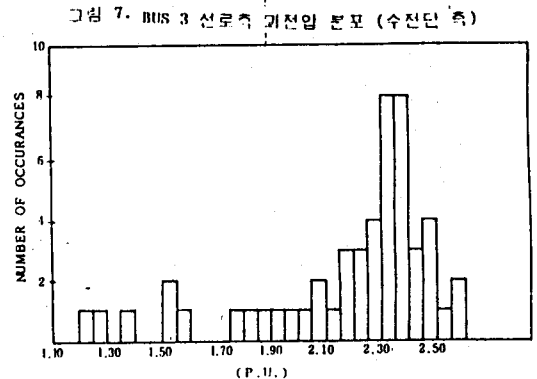
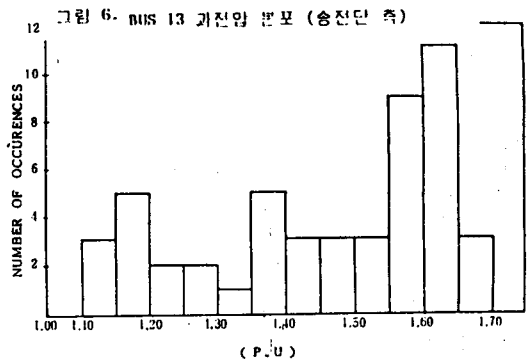


그림 8. BUS 13 과전압 누적확률 (송전단 측)

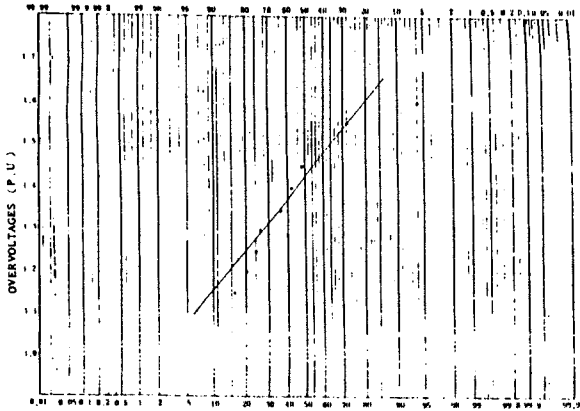
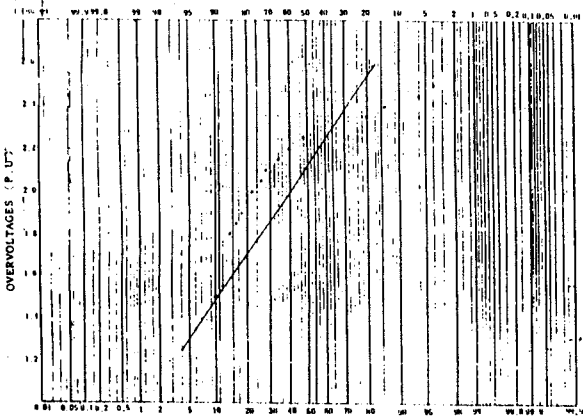


그림 9. BUS 3 과전압 누적확률 (수전단 측)



VI. 결론

지금까지 전력계통에서 발생하는 재투입과전압의 발생현상과 차단기 투입지령의 영향 및 모의계통에 대한 해석에를 간략하게 기술하였는데 요약하면 다음과 같다.

1. 전력계통의 절연협조설계시 계통전압이 격상될수록 개폐과전압의 중요성이 커지며 모의 계통에 대한 해석결과, 전원측이 단순한 충전전하를 가진 무부하 송전선로 재투입시에 가장 높은 과전압이 발생한다.
2. 모의 계통에 대한 100km 선로 (투입지령없음) 재투입과전압의 확률해석결과 현행 345[kV] 개폐과전압 설계기준치인 2.3 (P.U.)를 초과하는 경우가 상당수 존재한다.
그러나 345[kV] 송전계통이 확대될수록 전원측은 복잡해지고 선로길이는 짧아지는 경향이므로 재투입과전압은 낮아지리라고 예상된다.

따라서 향후 345[kV] 송전선로 중실시 차단기의 투입지령 사용 유·무 및 사용시 선로길이에 따라서 최적 지령지기 달라지므로 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

[참고문헌]

- (1) RMTF RULE BOOK
- (2) 전기계통의 과도전압 연구, 과학 기술저, 1988.05
- (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 CEBG 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) W. Disendorff, "Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power Systems"