

## EMTP를 이용한 선로 재폐로시 포획 전하의 영향 분석

신민화      여상민      김철환  
성균관 대학교

### Analysis of Trapped Charge for Reclosing using EMTP

M.H. Shin      S.M. Yeo      C.H. Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - 전력 계통에서는 순간적인 고장을 제거하고 양질의 전력 공급을 지속시키기 위해 재폐로가 사용된다. 계통에서 고장검출 이후 차단기가 개방 되면, 전송 선로에 포획전하가 발생하여 높은 잔류 전압을 발생 시키고, 이러한 포획 전하는 선로의 재폐로시 과전압, 과전류를 발생시킨다. 재폐로시 포획 전하에 의한 과전압은 pre-insertion 저항을 삽입함으로써 경감시킬 수 있다. 본 논문에서는 이러한 포획 전하에 의한 영향을 EMTP를 통하여 분석하였다.

선로에서는 여러 파의 전파가 수신단(receiving end)에서 2p.u 이상의 과전압을 초래할 수 있다. 따라서 재폐로시 전압이 match되지 않으면, 큰 전류를 야기 시킬 수 있고, 전원 임피던스가 작으면 매우 큰 전류가 흐를 수 있다. 그러나 3상 선로에서 모든 3상 선로를 match시킬 수는 없다. 다음 그림 2는 개방 선로에서 가압 및 재폐로 수행 시 송/수전단에서의 전압 파형이다[2].

### 1. 서 론

전기적 외란에 민감한 부하의 급증으로 인하여 전력회사 측에서는 전력공급에 대한 신뢰도의 향상이 요구되어지며, 수용가 측에서는 양질의 전력을 요구하는 경향이 고조되고 있는 실정이다. 전력계통에서 고장은 순간적인 것과 영구적인 것으로 분류된다. 순간 고장은 주로 낙뢰, 동물, 바람 혹은 자연적인 원인에 의해 발생한다. 고장이 발생하면 선로에 고장 전류가 흐르는 것을 멈추기 위해 전력 공급이 중단되어야 하며, 고장 구간을 분리하기 위한 충분한 시간이 주어져야한다. 차단기는 고장을 제거하기 위해 즉시 개방되어야 하며, 양질의 전력 공급을 지속시키기 위해 어느 정도의 지연 시간 후에 재폐로(reclosing)하여야 한다. 재폐로는 순간고장을 제거하고 전력 공급을 지속시키기 위해 여러 차례 반복된다. 재폐로 방식은 정전시간을 축소하여 공급신뢰도를 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 선로의 재투입으로 인한 과도현상은 선로를 따라 전파되어서 사고선로와 인근선로의 설비에 피해를 미치고 있다. 특히 개폐서로 인한 전기품질 저하는 수용가 설비에 직접적인 피해를 입히며, 민감 부하의 정지 및 오동작을 초래할 수 있다. 따라서 적당한 재투입 방식의 선정과 전기품질의 향상을 위해서 전력 계통에서의 재투입으로 인한 과도현상은 연구되어야 한다[1].

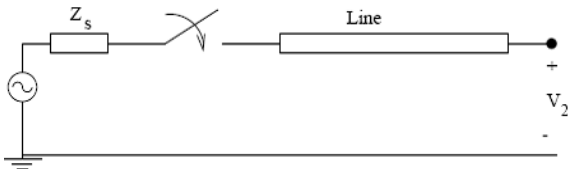
### 2. 본 론

#### 2.1 포획 전하(trapped charge)

중성선 전류가 0에 가까울 때 차단기를 개방시킬 경우 커패시터를 통하여 흐르는 전류는 전압과 90°의 위상 차이를 가지고 흐르며 그 결과 전하가 커패시터에 의해 포획된다. 이러한 현상은 송전 선로 또는 케이블에서도 발생할 수 있다.

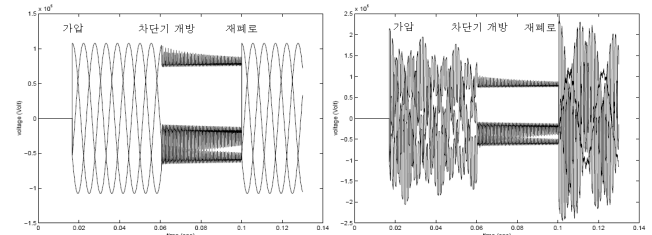
#### 2.1.1 송전 선로의 가압 및 재폐로

다음 그림 1은 단상 송전 선로를 나타낸 것이다.



〈그림 1〉 단상 송전 선로

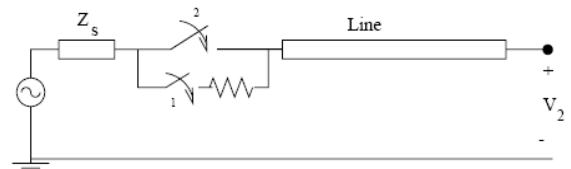
그림 1과 같은 회로에서 차단기가 개방되고 선로의 분로 커패시턴스가 전하를 축적하여 선로가 충전 되었을 경우, 차단기가 선로를 재투입하기 위해 재폐로 될 때 전하들은 선로에 포획된 상태이고 이러한 전하에 의한 썌지(surge)는 전원 임피던스와 선로 썌지 임피던스를 양분하는 차단기의 접속시간에서 차단기 양단의 전압과 같다. 포획 전하가 없는 선로의 최대 입력 썌지(surge)는 차단 시간에 60Hz 전원과 전원 임피던스의 관계에 따라서 1p.u의 크기에 달한다. 이 썌지는 개방 선로 끝단으로 진행하고 반사가 된다. 다음 그림 2, 3에서 보인 바와 같이 3상



(a) 송전단 전압 파형      (b) 수신단 전압 파형  
〈그림 2〉 개방선로에서 수신단-송전단의 가압/재폐로시 전압 파형

#### 2.1.2 개방선로에서 재폐로시 포획 전하에 의한 과전압의 경감

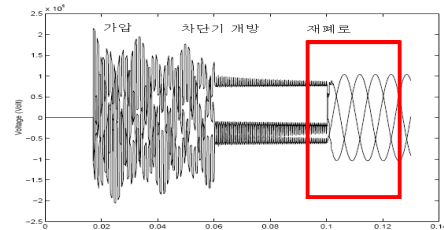
차단기의 개폐 썌지에 의한 과전압은 pre-insertion 저항을 이용하여 줄일 수 있다. pre-insertion 저항을 포함한 송전 선로를 다음 그림 3에 나타내었다.



〈그림 3〉 pre-insertion 저항을 갖는 단상 송전 선로

반사계수(reflection coefficient)  $\Gamma_v = \frac{R - Z_c}{R + Z_c}$  이므로 반사파가 없도록  $R = Z_c$ 로 선정한다. 여기서  $Z_c$ 는 선로의 썌지 임피던스이며, R은 pre-insertion 저항의 값이다.

선로 끝단에서 전압의 반사파가 없고 pre-insertion 저항과 직렬 연결된 스위치가 먼저 투입되면, 인가전압은  $1/2V_1$ 이 되고, 과도전류가 저항을 통해 흐르며 에너지가 소모되는 수 사이클 이후 메인 스위치의 재폐로시 다음 그림 4에 보인 바와 같이 그림 2에서의 재폐로 후 수신단에서 발생한 과도현상이 감소하게 된다[2].

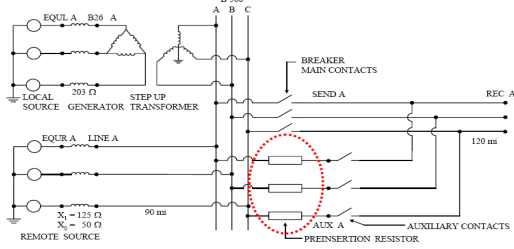


〈그림 4〉 pre-insertion 저항을 갖는 개방선로에서 수신단의 가압/재폐로시 전압 파형

#### 2.2 모의 및 결과

본 논문에서는 다음 그림 5와 같은 계통에서의 재폐로시 현상을 분석

하고자 한다. 모델 계통은 EPRI Final Report에 소개된 계통이다[3].



〈그림 5〉 모델 계통

각 선로의 파라미터는 각각 다음 표 1, 표 2와 같다.

〈표 1〉 120-mile, 500kV 선로의 데이터

	zero sequence	positive sequence
Surge impedance $\Omega$	632.17	287.60
Resistance $\Omega/\text{mi}$	.529	.0245
Reactance $\Omega/\text{mi}$	1.766	.596
Capacitance $\mu\text{F}/\text{mi}$	.01223	.01913

〈표 2〉 90-mile, 500kV 선로의 데이터

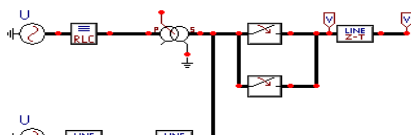
	zero sequence	positive sequence
Surge impedance $\Omega$	591.3	281.7
Resistance $\Omega/\text{mi}$	.5580	.0310
Reactance $\Omega/\text{mi}$	1.6722	.5816
Capacitance $\mu\text{F}/\text{mi}$	.01268	.0194

변압기용량은 26/525kV, 500MVA이며, 변압기의 자화 특성은 다음 표 3과 같다.

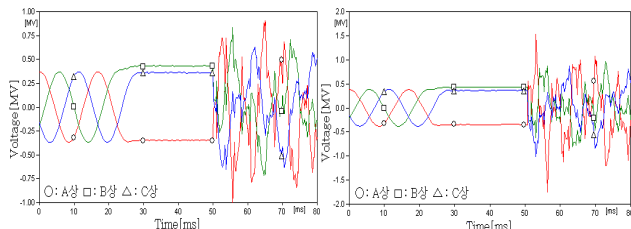
〈표 3〉 변압기의 자화 특성(Magnetizing Characteristic)

Voltage	Current(A peak)	Flux(Vs)
100%	2.33	1137
110%	5.44	1250
120%	23.33	1364
200%	1579.00	2274

그림 5의 계통도에서 pre-insertion 저항이 없는 계통을 다음 그림 6과 같이 구현하고, 상단 스위치는 20ms에 개방되고, 하단의 스위치에 의해 50ms에 재폐로 되도록 모의하고, 모의 결과를 다음 그림 7에 나타내었다.



〈그림 6〉 pre-insertion 저항이 없는 계통의 모델링

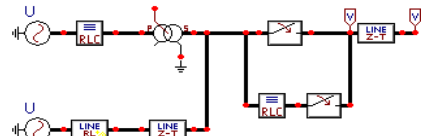


(a) 송전단 전압 파형 (b) 수전단 전압 파형

〈그림 7〉 pre-insertion 저항이 없는 계통의 모의 결과

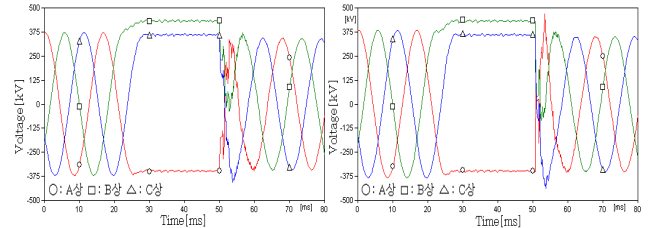
20ms에 선로의 차단 이후 선로의 분포된 커패시턴스 성분에 의해 전하가 선로에 포획되며, 50ms에 재폐로시 포획 전하에 의한 잔류전압의 영향으로 송전단과 수전단에 과전압이 발생하고 선로의 LC성분에 의해 고조파 성분이 발생함을 알 수 있다. 다음으로 pre-insertion 저항이 포함되어 있는 그림 5의 계통을 다음 그림 8과 같이 구현 하였다. EMTP ATPDraw에는 3상 R소자가 없기 때문에 3상 RLC소자를 사용하여

pre-insertion 저항을 구현하였으며, RLC 중 R 성분의 값을 입력하였다. 모의 조건은 pre-insertion 저항이 없는 계통과 동일하다.



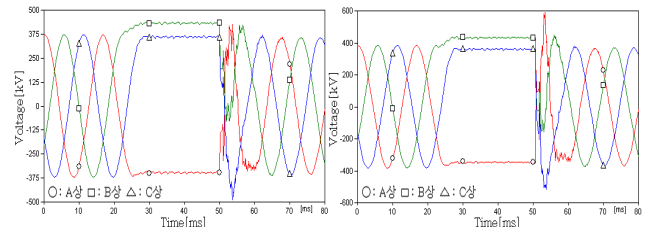
〈그림 8〉 pre-insertion 저항이 포함되어 있는 계통의 모델링

그림 8의 모델 계통에 대한 모의 결과는 다음 그림 9~11과 같다. pre-insertion 저항을 삽입함으로써 과전압의 크기와 과도현상의 지속 시간이 줄어들었음을 알 수 있다. 또한 pre-insertion 저항 값에 따라서도 과전압의 크기가 달라지며, 과도현상의 지속 시간도 달라진다.



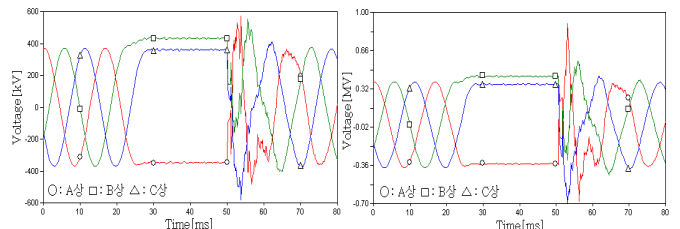
(a) 송전단 전압 파형 (b) 수전단 전압 파형

〈그림 9〉 pre-insertion 저항(450 $\Omega$ )이 포함된 계통의 모의 결과



(a) 송전단 전압 파형 (b) 수전단 전압 파형

〈그림 10〉 pre-insertion 저항(300 $\Omega$ )이 포함된 계통의 모의 결과



(a) 송전단 전압 파형 (b) 수전단 전압 파형

〈그림 11〉 pre-insertion 저항(150 $\Omega$ )이 포함된 계통의 모의 결과

### 3. 결 론

전력 계통에서 고장이 발생하면 선로에 고장이 지속되는 것을 방지하기 위해 차단기는 즉시 개방된다. 그러나 전력 계통에서 대부분의 고장은 낙뢰, 바람, 동물 등이 원인이 되는 순간적인 고장이므로 전력 공급의 신뢰도를 높이기 위해서 재폐로가 수행된다. 재폐로는 순간적인 고장을 제거하고 정전시간을 단축시킬 수 있다. 그러나 고장제거 이후 차단기가 선로를 재투입하는 재폐로 순간에는 송전 선로에 선로의 커패시턴스 성분에 의해 전하가 포획된 상태이다. 이러한 포획 전하는 차단기 선로 측의 계통에 따라 1pu에 가까운 잔류 전압을 발생시키며, 건전상에는 더 높은 잔류 전압을 발생시킨다. 이와 같이 선로 재폐로시 송전 선로에 과전압이 발생하며, 이러한 과전압은 pre-insertion 저항을 삽입함으로써 경감시킬 수 있다. 본 논문에서는 선로 재폐로시 포획 전하의 영향을 모의하고, 재폐로시 pre-insertion 저항의 효과를 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

[1] 대한전기학회, “배전시스템 공학”, 2006.  
 [2] <http://www.ee.uidaho.edu/ee/power/EE524/Lectures/L15/lect15.pdf>  
 [3] EPRI Final Report, “Electromagnetic Transient program”, EPRI, Section 7, sep. 1985