

## 재폐로에 의한 수용가측의 영향

임성정\* 오정환\* 김재철\*

김일동\*\* 한경남\*\* 김영한\*\*

\* : 숭실대학교 전기공학과

\*\* : 한전 전력연구원

## Impact of auto-reclosing on Customer systems

Seong-Jeong Rim\* Jung-Hwan Oh\* Jae-Chul Kim\*

Il-Dong Kim\*\* Kyung-Nam Han\*\* Yeong-Han Kim\*\*

\* : Dept. of Elec. Engineering, Soongsil Univ.

\*\* : Korea Electric Power Research Institute

### Abstract

This paper analyzes the impact of customer system at the transients due to auto-reclosing on 22.9kV distribution lines. The various factors affecting this phenomena are analyzed in detail through parametric studies. These factors include the fault current, fault location, reclosing angle, capacitor bank size, and customer load characteristics. The impacts of these transients on customer system are described and available to identify the optimal auto-reclosing scheme.

### 1. 서론

산업화에 따라 전기적 외란에 민감한 컴퓨터와 컴퓨터 제어장치를 사용하는 수용가에서는 전력변동에 관심을 가지게 되었다. 전력공급이 아주 짧은 시간이라도 중단되었을 경우 그 피해는 아주 사소한 불편에서부터 큰 경제적 손실을 낼 수 있다.

배전시스템에서 발생하는 사고는 대부분 일시적인 사고이므로, 이러한 사고에 대해 배전시스템의 보호방식으로 재폐로방식을 적용한다. 이방식은 사고구간을 축소하고 신속하게 시스템을 복구하여 기존의 공급신뢰도개념의 지수를 향상시킨다. 반면, 재폐로시 발생하는 과도현상은 사고피터뿐만 아니라 인근피터에 전기적 외란을 일으켜서 전원측의 전력설비 및 수용가측의 민감한 부하에 심각한 영향을 준다[1-4]. 따라서 적절한 재폐로방식의 선정 즉 재폐로 시도회수, 재투입 지연시간, 순시-한시폭전 및 최소트립의 선택 등을 결정하기 위해서는 재폐로에 의한 수용가측의 영향분석이 필수적이다.

배전시스템에서 전기적 외란에 의한 수용가측의 영향을 분석한 연구로 캐패시터 스위칭시 과도과전압[5-6]을 분석하였으며, Warren[7]는 순간사고에 대해 신뢰도지수의 영향을 살펴보았다. 그러나 이들 논문에서는 재폐로 투입시 발생하는 과도현상에 대해서는 다루고 있지 않다.

본 논문에서는 재폐로에 의한 수용가측의 영향을 분석하기 위해 재투입시 발생하는 과도현상을 분석하였다. 재폐로에 의해 수용가측에 영향을 주는 과도현상으로 순간전압강하(voltage sag)와

스위칭저지에 대해서 살펴보았다. 이러한 과도현상에 영향을 주는 요소를 분석하기 위해 파라미터해석을 수행하였다. 파라미터 해석에서는 계통구성, 사고형태, 재폐로 조작방법을 고려하기 위해 사고전류, 사고발생위치, 재폐로투입위상각, 캐패시터뱅크용량, 부하크기 및 역률에 변화에 대한 영향을 분석하였다. 시뮬레이션은 전자기 과도해석 프로그램인 EMTP를 사용하여 수행하였다. 본 논문의 결과는 지역별 특성에 적합한 최적재폐로방식을 선정하는데 활용될 수 있다.

### 2. 재폐로에 의한 과도현상

재폐로에 의해 발생하는 과도현상을 분석하기 위해 구성된 배전시스템의 간이등가모델은 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 간이등가모델은 배전용 변전소, 캐패시터뱅크, 피더 A, B와 각피터에 연결된 부하로 구성하였으며, EMTP를 사용하여 표현하였다. 시뮬레이션을 위해 사용한 시스템 파라미터는 다음과 같다.

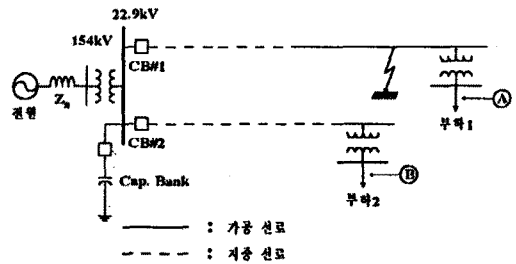


그림 1. 배전시스템의 간이등가모델

전원등가 임피던스 :

$$Z_0 = 0.091 + j0.968 [\Omega]$$

$$Z_1 = 0.273 + j1.523 [\Omega]$$

주변압기 용량 및 %임피던스 :

$$60\text{MVA}, \%Z = 13.2$$

가공선로 임피던스 :

$$Z_0 = 11.99 + j29.26[\Omega/\text{km}]$$

$$Z_1, Z_2 = 3.47 + j7.46[\Omega/\text{km}]$$

지중선로 임피던스 :

$$R = 0.0462 [\Omega/\text{km}]$$

$$Z_c = 16.339 [\Omega]$$

캐패시터용량 : 3 [MVar]

시뮬레이션은 다음과 같은 순서로 수행하였다.

- 1) 피더 A의 a상에서  $t_1$  시간에 1선 지락사고발생.
- 2)  $t_2$  시간에 차단기(CB#1)를 개방.
- 3)  $t_3$  시간에 차단기(CB#1)를 재투입.
- 4)  $t_4$  시간에 사고정정.

이 경우 A, B지점에 나타난 전압파형을 그림 2에 나타내었다.

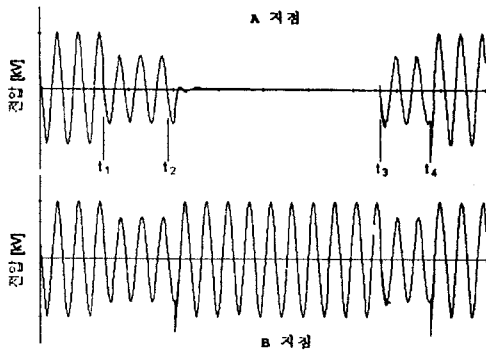


그림 2. 재폐로에 의한 각 지점의 전압파형

그림 2에서 보는 바와 같이 시간( $t_1 - t_2$ )사이 에 지락사고동안 피더 A와 피더 B에서 순간전압강하(voltage sag)가 발생하였다. 이후 시간( $t_2 - t_3$ )동안 피더 A에서의 차단기(CB#1)이 차단된 경우 피더 A에서는 순간정전이 발생한다. 시간( $t_2 - t_3$ )동안의 지연시간 후 차단기를 재투입하면 이때 피더 B에서는 순간전압강하가 발생하게 된다. 이러한 순간전압강하는 전기적 외란에 민감한 전력 전자소자로 구성된 부하에 심각한 영향을 주게 된다.

그러나 이 시뮬레이션만으로는 특정한 시스템조건을 평가하기 위한 충분한 정보를 제공하지 못하므로 다음절에서는 과도현상에 영향을 주는 여러 가지 요소들의 효과와 과도현상과의 관계를 설명하였다.

### 3. 파라미터 해석

재폐로에 의해 발생하는 과도현상에 영향을 주는 요소로는 크게 지역 시스템 조건, 사고형태, 재폐로조작방법으로 구분할 수 있다. 여기서 지역 시스템 조건에 따라 시스템용량, 대지저항, 주상 변압기용량, 수용부하특성, 캐패시터뱅크용량 등을 고려할 수 있다. 사고형태에 따라 1선 지락, 2선단락 등으로 구분되어 이는 사고지향, 사고발생위치를 고려하였으며, 재폐로조작방법에 따라 재투입 위상각을 고려하였다. 얼거한 계통파라미터를 변경하면서 이들 요소와 과도현상의 크기에 대한 관계를 분석하였다.

그림 3에서는 사고전류크기에 대한 피더 B에서의 전압파형을 나

타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 사고전류가 증가함에 따라 수용가측에서의 순간전압강하는 심해짐을 알 수 있다.

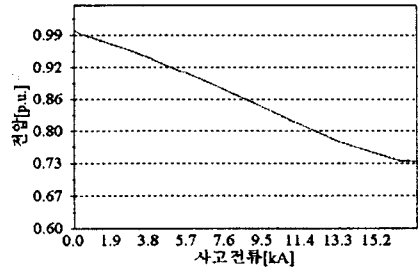


그림 3. 사고전류에 대한 순간전압강하의 크기

그림 4는 피더 A에서의 사고발생위치를 변경할 경우 피더 B에서의 순간전압강하를 나타내었다. 여기서는 사고발생위치가 변전소 인출모선에서 가까울수록 순간전압강하가 심해짐을 알 수 있다.

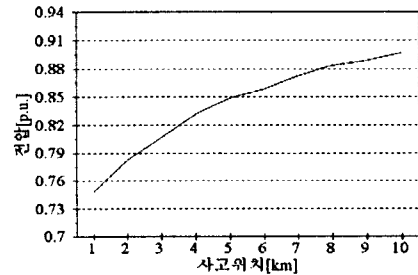


그림 4. 사고발생위치에 대한 순간전압강하의 크기

사고에 대해 재폐로시 발생하는 스위칭찌저는 피더 B에서도 영향을 받는다. 그림 5에서 보는 바와 같이 사고복구를 위한 재폐로시 재투입 위상각을 변경하였을 경우 발생하는 스위칭찌저는 투입위상각이  $0 \sim \pm 10^\circ$  이내에서 최소이며, 투입위상각이 벗어날수록 증가함을 알 수 있다.

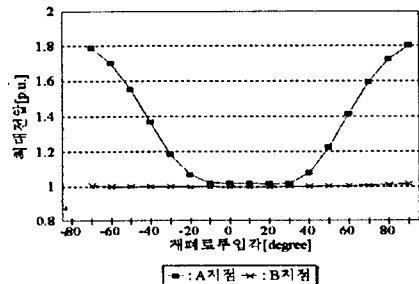


그림 5. 재투입 위상각에 대한 스위칭찌저의 크기

그림 6에서는 캐패시터뱅크의 용량을 변경해보면서 재투입시 피

더에서 경위하는 스위칭씨지를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 사고피터에서는 캐패시터뱅크의 용량이 증가할수록 스위칭 씨지도 증가하는 반면, 사고 근처피터 B에서는 이와 반대의 현상을 가진다.

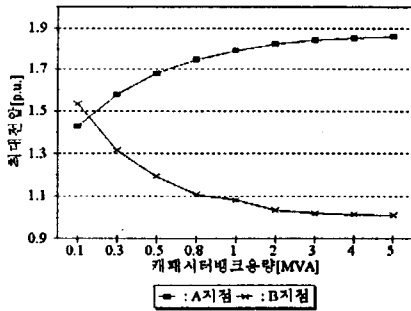
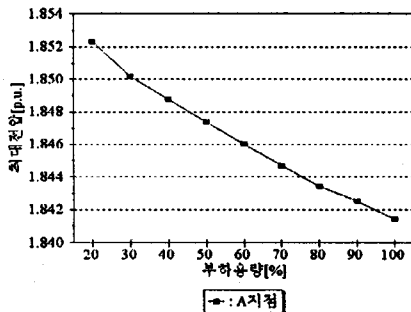
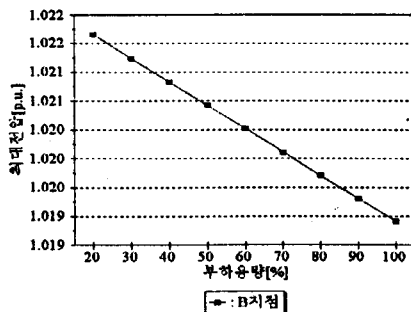


그림 6. 캐패시터뱅크 용량에 대한 스위칭씨지의 크기

수용가측의 부하가 변화할 경우 스위칭씨지의 크기는 그림 7에 나타내었다. 그림 7 (a)는 피터 A 즉 사고해당 피터에서의 제페로씨지의 크기를 나타낸 것이고, (b)는 피터 B 즉 수용가측 피터에서 느끼는 제페로씨지를 나타낸 것이다.



(a) 사고피터에서의 스위칭 씨지 전압의 크기



(b) 사고인근피터에서의 스위칭 씨지 전압의 크기

그림 7. 부하크기에 대한 스위칭씨지의 크기

#### 4. 결론

본 논문에서는 제페로시 발생하는 과도현상에 대한 수용가측의 영향을 분석하였다. 제페로방식의 적용대상 배전시스템의 조건이 일률적이지 못하므로 지역별 특성에 적합한 최적제페로방식을 적용하기 위해서 다양한 시스템조건을 고려하였다.

과도현상에 영향을 미치는 여러 가지 요소를 분석하기 위해 파라미터해석을 수행하였으며 이에 대해 요약하면 다음과 같다.

1. 사고전류가 클수록 순간전압강하(voltage sag)가 심각하게 발생하며, 사고발생위치가 변전소 공통모선에서 가까울수록 순간전압강하가 급격하다.
2. 제투입 위상각이 0° 근처에서 과도현상이 최소로 발생한다. 따라서, 제페로시 동기투입하면 과도현상을 줄일수 있다.
3. 캐패시터 뱅크용량이 클수록 사고피터에 속한 수용가측에서는 과도현상의 의한 영향이 커지며, 사고 인접피터의 수용가측에서는 이러한 영향을 적게 받게 된다. 수용가측의 부하용량도 캐패시터 용량증가의 효과와 동일한 영향을 미친다.

이와 같은 과도현상 즉 수용가측의 영향을 분석결과는 배전시스템에서의 지역별, 부하특성별 최적 제페로방식을 선정하는데 유용하게 활용될 수 있다. 향후 고려할 사항으로는 보호협조문제를 포함시켜 보다 합리적인 분석방안을 제시할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] R.C.Dugan, et.al, Electrical Power Systems Quality, McGraw-hill, 1996.
- [2] D.D.Sabin, Ashok Sundaram, "Quality enhances reliability", *IEEE Spectrum*, pp.34-41, February 1996.
- [3] 김재철 외, "지중배전선로에서의 과도이상전압", 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술발표회 논문집, 1996년 5월.
- [4] 김재철 외, "전력용 변압기 사고감소에 관한 연구 (II)", 중간보고서 한국전력공사 기술연구원, KRC-88S-J04, 1989년 9월.
- [5] N.Kolicic, et.al, "Transient overvoltages and overcurrents on 12.47kV distribution lines : Computer modelling and results", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.8, No.1, pp.359-366, January 1993.
- [6] M.F.McGranaghan, et.al, "Impact of utility switched capacitors on customer systems-Magnification at low voltage capacitors", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.7, No.2, pp.862-868, April 1992.
- [7] C.M.Warren, "The effect of reducing momentary outages on distribution reliability indices", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.7, No.3, pp.1610-1617, July 1992.