

배전시스템에서의 순간전압강하 분석

오정환, 임성정, 윤상윤, 김재철
송실대학교 전기공학과

Analysis of Voltage Sag on Power Distribution System

Jung-Hwan Oh, Seong-Jeong Rim, Sang-Yun Yun, Jae-Chul Kim
Dept. of Electrical Engineering Soongsil University

Abstract - In this paper, we analyze the voltage sag caused by reclosing on electric power distribution system. When a fault is on the electric system, a reclosing operation brings a voltage sag on the feeders which is supplied with a common substation transformer. By analyzing the fault waveform measured in the field, it is showed that a voltage sag is in proportion to a fault current. Also, we propose an adaptive reclosing scheme. This scheme changes the number of reclosing as a function of the magnitude of a fault voltage and the fault type. As the proposed scheme is compared with conventional scheme in the side of voltage sag and permanent fault, it is verified that the proposed scheme is more effective than conventional scheme.

1. 서 론

산업발달과 생활수준의 향상으로 인한 전력기기의 고도화는 컴퓨터 및 전력전자설비의 급속한 증가를 가져왔다. 이러한 설비는 시스템 내의 전압, 전류, 주파수 변동으로 인해서 정지 및 오동작을 일으키기 때문에 수용가는 전기적 외란이 없는 양질의 전력을 요구하게 되었다. 특히 사고, 재폐로 등에 의한 순간전압강하는 수용가에게 직접적인 피해를 입히기 때문에 전력품질을 저하시키는 가장 주요한 원인으로 인식되어 왔다⁽¹⁻³⁾.

Lamoree 등은 사례연구를 통하여 송배전시스템에서 발생하는 순간전압강하 현상을 조사하였고, 전압강하의 영향을 받는 설비를 고찰하였다. 또한 전력회사와 수용가(무정전 전원 공급장치, 초전도에너지 저장장치)에서 갖추어야 할 대응책을 제시하였다⁽¹⁾. Sekine 등은 일본의 순간전압강하 실태와 대응책을 조사하였으며, 전압강하와 지속시간

별로 영향받는 수용가 설비를 5가지 항목으로 분류하였다⁽²⁾. Conrad 등은 원거리 선로에서 사고 발생시 각 지점의 전압강하 현상(크기, 지속시간, 주파수)을 예측하는 방법과 가지치기, 저 접지저항 사용, 빠른 사고제거, Δ -Y 변압기 사용과 같은 전력회사 입장에서의 대응책을 제시하였다⁽³⁾.

본 논문에서는 배전시스템에서 재폐로에 의한 순간전압강하를 분석하였다. 사고가 제거되지 않은 상태에서의 재폐로는 선로에 순간적인 전압강하를 다시 발생시키며, 전압강하는 사고전류에 비례함을 현장에서 측정된 파형을 분석함으로써 확인하였다.

또한 시스템에 사고가 발생하면 사고전압 크기와 사고 종류에 따라서 재폐로 횟수를 가변하는 적응 재폐로 방식을 제안하였으며 주거지역, 상업지역, 산업지역을 대상으로 기존의 3상 재폐로 방식과 적응 재폐로 방식이 순간전압강하와 영구정전의 발생 확률에 미치는 영향을 비교·분석하였다. 이를 통하여 배전시스템에서 적응 재폐로 방식이 기존의 3상 재폐로 방식과 비교하여 수용가 피해를 최소화할 수 있음을 입증하였다.

2. 순간전압강하와 재폐로 방식

순간전압강하 현상과 재폐로 방식에 관해서 기술하였으며, 시스템 내의 사고상황에 따라서 재폐로 횟수를 변경하는 적응 재폐로 방식을 제안하였다.

2.1 순간전압강하

순간전압강하는 0.5[cycle]~1[min] 동안 정격 전압의 실효값이 10~90[%]로 강하되는 것을 의미하며 시스템 내의 사고, 재폐로, 대용량 부하의 사용, 대형 전동기의 기동 등이 원인이 된다⁽⁴⁾. 지속시간은 대개 2~30[cycles] 정도이고 정전과 비교해서 10배 이상 발생한다. 이러한 순간전압강하는 고압방전등, 가변속 전동기, 전자접촉기, 컴퓨터 등의 정지 및 오동작을 초래한다. 또한, 전압강하의 영향은 설비에 따라 다르며 동일한 종류의 설비

일지라도 영향받는 전압강하크기와 지속시간이 다양하다^(1,2,5).

2.2 재폐로 방식

재폐로 방식은 사고가 발생하면 사고선로를 차단하고, 일정 시간이 경과한 후에 선로를 자동 투입하여 인위적인 조작에 소요되는 시간을 단축시켜 전력공급 신뢰도를 향상시킨다.

2.2.1 3상 재폐로 방식

시스템에 사고가 발생하면 사고종류에 관계없이 3상을 동시에 차단하고, 3상을 동시에 재폐로하는 방식이다. 재폐로 횟수가 일정한 기존의 3상 재폐로 방식은 다음과 같은 단점이 있다.

- 큰 전압강하를 유발하는 사고에 대해서도 고정된 횟수의 재폐로를 함으로써, 전압강하에 민감한 설비의 정지·오동작을 가중시킨다.
- 3상사고의 경우 인근선로의 3상 모두에 전압강하를 초래하기 때문에 단상사고에 비해서 인근선로에 큰 피해를 입힌다.
- 차단기, 변압기, 선로 등의 전력설비는 큰 고장전류가 재폐로에 의해서 연속적으로 인가되면 과도한 충격을 받게되어 수명이 단축된다.

2.2.2 적응 재폐로 방식

배전시스템에서 사고를 일으키는 원인은 매우 다양하기 때문에 사고 전류, 전압 크기도 폭 넓게 분포되어 있다.

적응 재폐로 방식은 시스템에 사고가 발생하면 사고상황에 따라서 재폐로 횟수를 조정하는 방식이다. 즉, 큰 전압강하를 야기하거나 2상, 3상사고인 경우에는 재폐로 횟수를 감소시키며, 인근선로와 설비에 영향을 적게 미치는 사고인 경우에는 재폐로 횟수를 증가시키는 방식이다. 적응 재폐로 방식의 개념도를 그림 1에 나타내었다.

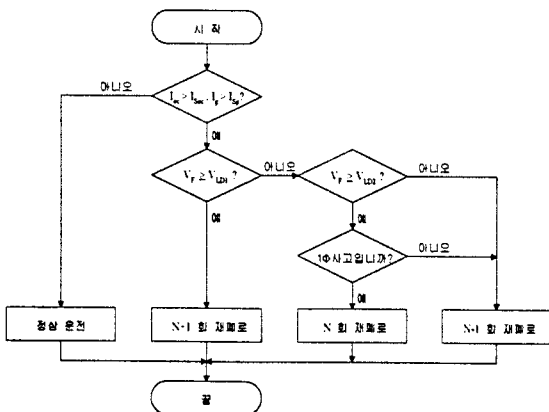


그림 1 적응 재폐로 방식의 개념도

그림 1에서 I_{oc} 와 I_g 는 계전기에서 검출된 과전류와 지락전류, I_{soc} 와 I_{sg} 는 차단기를 개방시키는 과전류와 지락전류의 정정(setting)값을 각각 의미한다. N 은 현행 재폐로 횟수, V_F 는 사고전압, V_{LD1} 은 사고 전압이 시스템 전압의 $LD1[\%]$ 이 되는 전압크기로서 인근선로의 부하에 영향이 없는 경우를 의미한다. V_{LD2} 는 사고 전압이 시스템 전압의 $LD2[\%]$ 가 되는 전압크기로서 저항성 부하를 제외한 모든 수용가 설비에 영향을 미치는 전압을 의미하며, $V_{LD1} > V_{LD2}$ 이다. 이 방식은 수용가에서 느끼는 순간전압강하와 영구정전의 발생을 최소화함으로써 전력품질을 향상시키고자 하는 방식이다.

3. 재폐로에 의한 순간전압강하

재폐로에 의한 전압강하 현상을 분석하고, 3상 재폐로 방식과 적응 재폐로 방식이 순간전압강하와 영구정전의 발생 확률에 미치는 영향을 주거지역, 상업지역, 산업지역으로 나누어서 분석하였다.

3.1 순간전압강하의 발생

전력공급 향상을 목적으로 하는 재폐로 방식은 영구사고시 사고가 발생하지 않은 선로에 전압강하를 다시 야기시킴으로서 전력품질을 저하시키는 주요한 원인이 되고 있다. 그림 2에 사고시 모선에서 관측된 전류와 전압을 나타내었다.

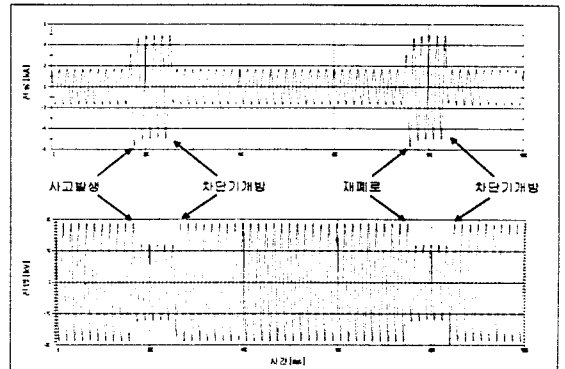


그림 2 사고와 재폐로시의 전류, 전압

시스템 내에 사고가 발생하면 계전기는 사고전류를 검출한 후 사고선로의 차단기를 개방시킨다. 이때 사고 발생부터 차단기 개방까지 동일 모선에 연결된 시스템 전체는 전압이 순간적으로 강하된다. 또한, 일정 시간 후에 재폐로함으로써 사고제거가 되었을 경우에는 전력을 지속적으로 공급할 수 있지만, 그림 2와 같이 사고가 존속되었을 경우에는 다시 전압강하를 발생시킨다. 이러한 전압강하는 사고전류에 비례하며 실측된 전류와 전압관계를 그림 3에 나타내었다.

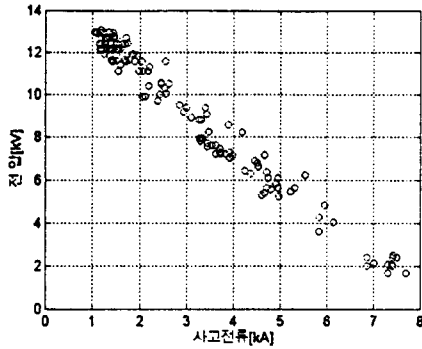


그림 3 사고시 전류와 전압관계

그림 3은 도심지역의 한 변전소의 154/23[kV] 주변압기 2차측에 설치된 사고기록기(fault recorder)에서 검출된 전류, 전압파형을 크기별로 분류한 것이다. 전류크기와 전압강하는 시스템 임피던스, 변압기 임피던스에 따라서 다소 차이는 있으나 비례 관계가 있음을 확인할 수 있다.

3.2 분석을 위한 데이터 선정

재폐로 방식과 순간전압강하와의 관계를 분석하기 위해서는 재폐로와 순간전압강하에 관련된 많은 정보가 필요하다. 즉, 재폐로 시도횟수에 대한 각각의 성공률, 사고시 발생하는 전압강하 분포, 순간전압강하에 영향을 받는 설비의 분류 및 지역별 부하설비 구성비 등이 요구된다. 따라서 전력회사, 수용가, 설비 제조업자와의 긴밀한 협력이 필수적이다. 분석을 위한 재폐로 성공률, 사고별 발생빈도, 전압강하의 발생 빈도를 표 1에 나타내었으며, LD1=85(%), LD2=50(%로 설정하였다⁽⁶⁾).

표 1 분석을 위한 기본 데이터

재폐로 성공률		
1회	2회	3회
69.2[%]	8.4[%]	8.4[%]
사고 발생 빈도		
단상사고	2상사고	3상사고
69.7[%]	26.5[%]	3.7[%]
사고시 전압(V _F)강하 빈도		
V _F ≥ V ₈₅	V ₈₅ > V _F ≥ V ₅₀	V ₅₀ > V _F
44.7[%]	34.0[%]	21.3[%]

3회 재폐로 성공률은 2회 재폐로 성공률과 동일하다고 가정하였다. 사고 발생 빈도는 전체 사고중에서 각각의 사고가 발생할 정도를 나타낸 것이며, 사고시 전압(V_F)은 수용가의 부하가 경험하는 전압강하 정도에 따라서 분류하였다. 즉 전체 사고중에서 인근선로의 부하에 영향이 없는 사고 전압(V_F ≥ V₈₅), 전압강하에 민감한 부하에 영향을 주는 사고 전압(V₈₅ > V_F ≥ V₅₀), 저항성 부하를 제외한 모든 부하에 영향을 주는 사고 전압(V₅₀ > V_F)으

로 분류하였다. 표 2의 지역별 부하 구성비는 참고 문헌(7)을 참조하여 부하의 순간전압강하에 대한 민감도에 따라서 다음과 같이 가정하였다.

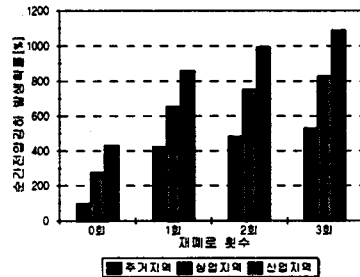
표 2 지역별 부하 구성비

구 분	부하 1	부하 2	부하 3
주거지역	53.5[%]	2[%]	44.5[%]
상업지역	29[%]	41.5[%]	29.5[%]
산업지역	5[%]	75[%]	20[%]

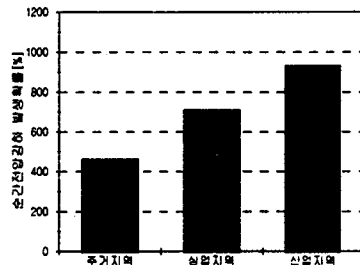
부하는 순간전압강하의 영향 정도에 따라서 분류하였다. 부하1은 순간전압강하에 거의 영향을 받지 않는 부하로서 전열기, 드라이어, 백열등, 온수기 등의 저항성 부하이다. 부하2는 약간의 전압 강하(V₈₅ > V_F)에도 영향을 받는 부하로서 형광등(고압 방전등), 전동기 등을 포함한다. 부하3은 순간적인 전압강하가 크게 발생할 경우(V₅₀ > V_F)에 영향을 받는 부하이다.

3.3 재폐로 방식과 순간전압강하

기존 3상 재폐로 방식과 적용 재폐로 방식이 순간전압강하와 영구정전의 발생확률에 미치는 영향을 표 1, 2의 데이터를 이용하여 분석하였다. 기존 방식의 재폐로 횟수는 0~3회까지 적용하였으며, 적용 방식의 현행 재폐로 횟수(N)는 2를 적용하였다. 동일 변압기에서 인출되는 선로수가 6회선인 경우 순간전압강하의 발생확률을 그림 4에 나타내었다. 기존 3상 재폐로 방식에서 0회 재폐로, 주거지역을 기준으로 상대적으로 표시하였다.



(a) 기존의 3상 재폐로 방식

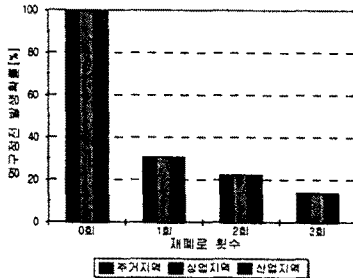


(b) 적용 재폐로 방식

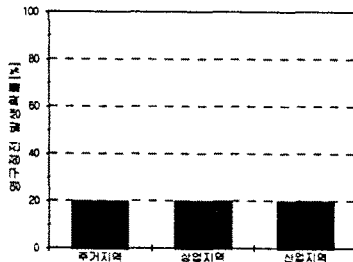
그림 4 순간전압강하의 발생확률

수용가에서 경험하는 순간전압강하는 전기적 외란에 민감한 부하가 많은 산업지역에서 주거지역, 상업지역과 비교하여 상대적으로 자주 발생함을 알 수 있다. 적응 재폐로 방식은 재폐로 횟수가 2회인 기존 방식과 비교할 때 수용가에서 느끼는 순간전압강하의 발생확률을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한, 기존 방식은 재폐로 횟수가 증가할수록 순간전압강하의 발생확률이 증가함을 알 수 있다.

그림 5는 영구정전의 발생확률을 나타낸 것으로서 기존 방식에서 0회 재폐로, 주거지역을 기준으로 상대적으로 표시하였다.



(a) 기존의 3상 재폐로 방식



(b) 적응 재폐로 방식

그림 5 영구정전의 발생확률

그림 5의 (a)에서 보는 바와 같이 재폐로 횟수가 증가하면 영구정전을 감소시킬 수 있기 때문에 지속적으로 전력을 공급할 수 있음을 알 수 있다. 적응 재폐로 방식은 2회 재폐로를 수행하는 기존 방식과 비교할 때 영구정전의 발생확률을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 따라서 적응 재폐로 방식은 기존 방식과 비교하여 전압변동으로 인해서 수용가에서 느끼는 피해를 감소시킬 수 있다.

4. 결 론

고품질의 전력을 요구하는 수용가에게 순간전압강하는 가장 큰 피해를 초래하는 전력품질 문제 중의 하나이다. 순간전압강하를 야기하는 주요한 원인으로는 사고와 재폐로가 있으며, 전압강하크기는 사고시 선로에 흐르는 전류 크기에 비례한다. 재폐

로 방식에 따른 순간전압강하와 영구정전을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 재폐로 횟수가 증가할수록 영구정전 발생 확률은 감소하나 순간전압강하 발생 확률은 증가한다.
- 2) 수용가에서 경험하는 순간전압강하의 발생 확률은 민감한 설비가 많은 산업지역에서 높으며, 주거지역에서 상대적으로 낮다.
- 3) 일반적으로 적응 재폐로 방식은 기존의 3상 재폐로 방식에 비해서 순간전압강하와 영구정전의 발생 확률을 감소시킴으로써 수용가 피해를 최소화할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Lamoree, D. Mueller, P. Vinett, W. Jones, M. Samotyi, "Voltage Sag Analysis Case Studies", IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 30, No. 4, pp. 1083-1089, July/August 1994.
- [2] Y. Sekine, T. Yamamoto, S. Mori, N. Saito, T. Yamamoto, "Present State of Momentary Voltage Dip Inferences", CIGRE 36-206, 1992 session 30 August-5 September.
- [3] L. Conrad, K. Little, C. Grigg, "Predicting and Preventing Problems Associated with Remote Fault-Clearing Voltage Dips", IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 27, No. 1, pp. 167-172, January/February 1991.
- [4] R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, 1996.
- [5] W. Edward Reid, "Power Quality Issues -Standards and Guidelines", IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 32, No. 3, pp. 625-632, May/June 1996.
- [6] 김재철, 신중린 외, 송배전선로 재폐로 방식의 최적화 연구(97년 1/4 분기보고서), 한국전력공사 전력연구원, KEPRI-95Y-J18, 1997 4월.
- [7] M.S. Chen, Determining Load Characteristics for Transient Performances, EPRI EL-849, RP 849-3, May 1979.