

자동재폐로에 의한 순간전압변동에 관한 연구

윤상윤 · 임성정* · 오정환* · 김재철*

* : 송실대학교 전기공학과

A Study on Momentary Voltage Variation Caused by Auto-reclosing

* Sang-yun Yun* · Seong-jeong Rim* · Jung-hwan Oh* · Jae-chul Kim*

* : Department of Electrical Engineering Soongsil University

Abstract - This paper analyzes the effect of momentary voltage variation caused by auto-reclosing. The occurrence mechanism of momentary voltage variation caused by auto-reclosing is explained. Through the statistical analysis of the actual operation data over 4 years in a model substation, the conventional reliability and the power quality which considered momentary voltage variation are compared. This paper presents the toleration curves of each load types to investigate the affected degree of the loads carrying out the experiment.

1. 서 론

선로에 발생하는 사고제거를 위한 일반적인 보호계 전방식인 자동재폐로방식은 사고선로 및 인근선로상에 순간전압변동을 발생시키며 최근 외란에 민감한 부하의 증대는 이러한 단시간의 전압변동에 의한 피해를 확산시키고 있다. 그러나 기존의 신뢰도는 1분이 상의 영구정전(outage)만으로 산출되었으므로 현재의 민감한 부하설비에 대한 단시간 전압변동의 영향을 고려하는 데는 적합지 않다[1-3].

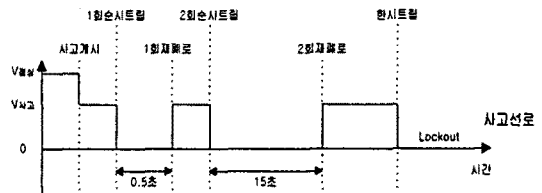
본 논문에서는 기존의 신뢰도 측면과 순간전압변동을 고려한 전력품질 측면에서의 비교를 통해 기존의 신뢰도 측면으로는 현재의 부하설비에 대한 진정한 전력공급 능력의 평가를 할수 없으며 순간전압변동을 고려한 전력품질 측면이 도입된 새로운 지수의 도입이 필요함을 입증하고자 하였다. 이를 위해 배전계통상의 자동재폐로에 의한 순간전압변동의 발생 메커니즘을 설명하였고, 한전계통의 모델변전소의 사고일지 자료를 이용하여 실제 배전계통상에서의 영구정전과 순간전압변동 발생횟수를 비교하였다. 부하설비에 대한 순간전압변동의 영향을 고찰하기 위해 실험을 통한 부하별 허용곡선을 제시하여 모델변전소의 사고과형분석 자료와 비교하여 부하의 가동정지를 일으키는 순간전압강하의 발생확률을 제시하였다.

2. 자동재폐로에 의한 순간전압변동 발생 메커니즘

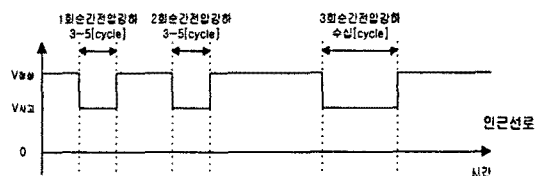
본 논문에서는 순간정전과 순간전압강하를 합하여 순간전압변동으로 보았다. 그림 1은 자동재폐로

에 의한 순간전압변동 발생 메커니즘을 사고선로와 인근선로상의 전압의 실효치 파형으로써 나타내었다.

그림 1의 (a)는 사고선로에서의 자동재폐로 시퀀스를 나타낸다. 순시 및 한시동작은 각각 3~5[cycle]과 수십[cycle] 정도가 소요되며 무전압시간의 경우 일시사고를 제거하기 위한 것으로 0.5초 및 15초 정도가 소요된다.



(a) 사고선로에서의 자동재폐로 시퀀스



(b) 인근선로에서의 순간전압강하 발생

그림 1. 자동재폐로에 의한 순간전압변동 발생

그림 1의 (b)는 (a)에서 보여지는 사고선로에서의 자동재폐로에 의한 인근선로상의 순간전압강하 발생을 나타낸다. 계통내에 사고가 발생하면 보호계 전기가 사고를 감지하게 되고 차단기는 1회순시트립하게 된다. 차단기가 트립되는 시간인 수[cycle] 동안 사고전류가 계통내에 남아있게 되고 인근선로상에 순간전압강하가 발생한다. 차단기 1회재투입 후에도 사고가 제거되지 않으면 차단기는 2회째 순시트립하게 되며 마찬가지로 인근선로상에는 순간전압강하가 발생한다. 사고가 2회재투입 후에도 제거되지 않으면 일정시간후에 차단기가 트립되어 로크아웃(lockout) 상태를 유지하게 되며 사고선로에는 긴시간의 영구정전이 발생하게 된다[4-5].

3. 기존 신뢰도 측면과 전력품질 측면의 비교

기존의 신뢰도 지수는 수용가가 입는 1분이상의 영구정전 시간과 횡수만을 가지고 작성되었다. 그러나 최근의 외란에 민감한 부하설비는 1분이내의 순간전압변동에 대해서도 충분히 정전피해를 입을 수 있다. 따라서 정확한 개념의 수용가측에서 본 전력공급 능력의 평가를 위해서는 수용가설비에 대한 순간전압변동을 고려한 전력품질 측면에서의 새로운 개념이 필요하며 이를 입증하기 위해 한전제통의 모델변전소의 91년부터 94년까지의 사고기록을 바탕으로 영구정전과 순간전압변동의 횡수를 비교하였다. 그림 2는 모델변전소의 구성도를 나타낸다.

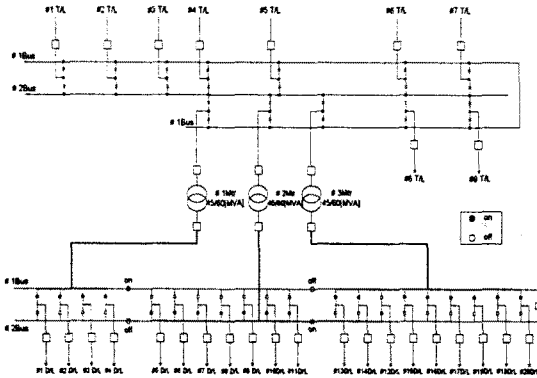


그림 2. 모델변전소 구성도

모델변전소의 91년부터 94년까지의 사고기록에 의한 주변압기별 차단기 동작상황은 다음 표 1과 같다.

표 1. 주변압기별 차단기 동작상황

주변압기명	총사고 횡수	차단기 동작 상황별 횡수				
		n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅
#1 주변압기	32	3	20	2	1	6
#2 주변압기	144	49	61	9	7	18
#3 주변압기	95	6	64	3	11	11

사고발생시의 차단기 동작별 사고선로 및 인근선로의 순간전압변동 발생횡수는 다음 표 2와 같이 나누어 볼 수 있다. 표 2의 순간전압변동 발생횡수 중 사고선로에서의 1회 성공시와 2회성공시는 순간전압강하와 순간정전을 묶어 1회의 순간정전이 발생한 것으로 보았다.

표 2. 차단기 동작상황별 순간전압변동 발생 횡수

차단기 동작상황	재폐로 횡수	영구사고 발생횡수	순간전압변동 발생횡수	
			사고선로	인근선로
차단기 트립	0회	1회		1회
1회 성공	1회		1회	1회
1회 실패	1회	1회		2회
2회 성공	2회		1회	2회
2회 실패	2회	1회		3회

따라서 총 차단기 동작횡수를 N회라고 가정하면 아래의 식 (1)이 성립한다.

$$N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 \quad (1)$$

n₁ = 차단기 트립된 경우의 횡수

n₂ = 1회성공인 경우의 횡수

n₃ = 1회실패인 경우의 횡수

n₄ = 2회성공인 경우의 횡수

n₅ = 2회실패인 경우의 횡수

위의 표 2와 식 (1)을 조합하여 차단기 동작횡수별 영구정전 및 순간전압변동 발생횡수를 다음 식 (2)와 (3)으로 구할 수 있다.

$$\text{영구정전 발생횡수}(f_R) = n_1 + n_3 + n_5 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{순간전압변동 발생횡수}(f_Q) &= f_{Q\text{사고선로}} + f_{Q\text{인근선로}} \\ &= n_2 + n_4 + (n_1 + n_2 + 2n_3 + 2n_4 + 3n_5) * (N_F - 1) \quad (3) \end{aligned}$$

(N_F = 동일 주변압기내의 총 피더수)

그림 3은 표 1의 자료를 가정한 식(2)와 (3)에 적용하여 연간 1피더당 영구정전과 순간전압변동 발생횡수를 주변압기별로 비교한 것이다.

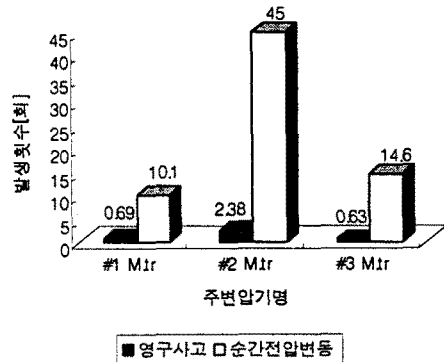


그림 3. 연간 1피더당 순간전압변동과 영구정전 발생

그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 기존의 신뢰도 지수에서 규정하고 있는 사고기준에 의한 영구정전 횡수와 전력품질 측면에서 본 순간전압변동 발생횡수와는 큰 차이가 있음을 알 수 있었으며 기존의 신뢰도 지수로는 현재의 외란에 민감한 부하설비에 대한 진정한 전력공급 능력 평가를 하기 힘들다는 것을 알 수 있었다.

그림 2의 모델변전소 #2, #3 주변압기 2차측에 ERDAC 1601 고장기록계를 각각 설치하여 91년 1월부터 93년 12월까지 고장전류 및 전압을 측정하여 기록하였다[6]. 그림 4는 91년 8월 30일 오전 1시 22분에 발생한 사고를 기록한 파형으로 사고형태는 1선지락 사고이며 사고전류의 실효치 최대값은 9.7[kA] 이다.

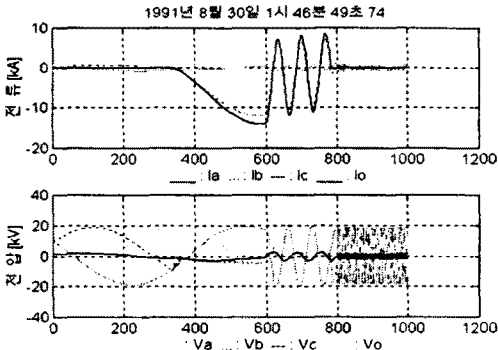


그림 4. 고장기록계에 의해 취득된 파형예

그림 5는 이와 같이 취득된 데이터를 통한 모델 변전소의 순간전압강하의 크기별 분포를 작성하여 도시한 것이다.

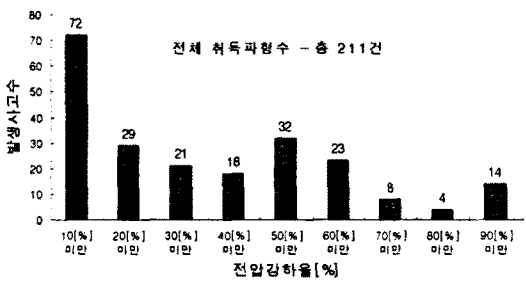


그림 5. 순간전압강하 크기별 분포

4. 수용가 설비별 순간전압강하 영향 실험

수용가 설비별 순간전압강하의 영향을 고찰하기 위해 전원 시뮬레이터(SS-C2400 source simulator)를 이용하여 순간전압강하에 민감한 부하설비에 대한 영향실험을 실시하였다. 전원 시뮬레이터는 순간전압강하의 크기, 지속시간, 투입 위상각등을 가변하여 제어하는 것이 가능하다.

그림 6은 컴퓨터에 의해 전압 실효치 100[V]인 정상출력 전압에 대해 전압강하율 50[%], 지속시간 1초의 순간전압강하가 위상각 0도에서 발생하도록 제어된 전원시뮬레이터에서의 순간전압강하 출력파형의 일부를 보여준다. 그림의 가로축은 칸당 10[ms]씩의 시간축이며 세로축은 칸당 5[V]씩의 전압축으로 1/10로 감압하여 측정한 것이다.

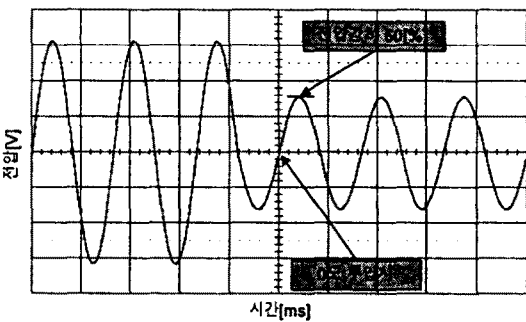


그림 6. 전원시뮬레이터에서의 순간전압강하 발생

4.1 실험구성

실험은 GPIB를 이용한 계측 자동화 시스템을 이용하여 실시하였으며 실험구성도는 그림 7과 같다[7].

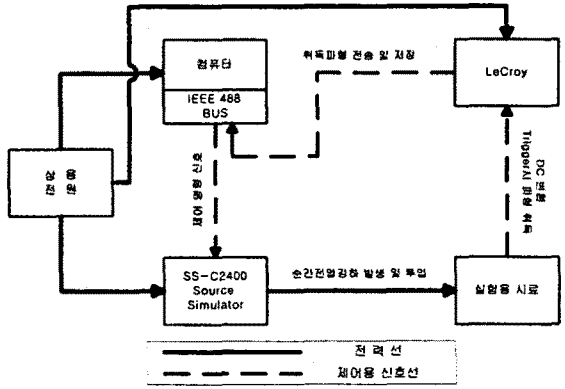


그림 7. 실험구성도

실험은 순간전압강하율과 지속시간을 가변하며 실시되었으며 전원 시뮬레이터의 경우 GPIB를 이용하여 제어하였다. 그림 8은 전원 시뮬레이터의 GPIB를 이용한 제어 로직을 나타낸다.

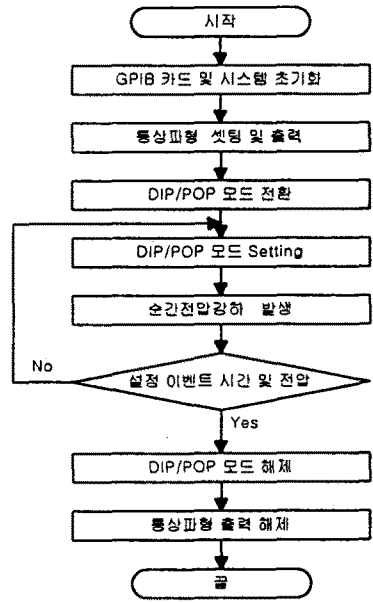


그림 8. 전원 시뮬레이터의 제어 로직

4.2 부하별 실험 결과

실험에는 순간전압강하에 영향을 많이 받는 부하인 전자접촉기(M/C), 개인용 컴퓨터, AVR등이 이용되었고 각 부하종류별로 제조업체 및 용량이 다른 부하들이 이용되었으며 각각 1개 부하에 대해 동일한 전압강하율과 지속시간에 대해 5회이상 반복실험한 결과의 평균치를 나타내었다. 그림 9는 전자접촉기에 대한 실험결과를 보여준다.

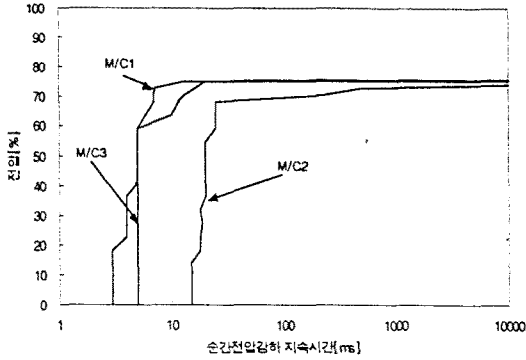


그림 9. 전자접촉기에 대한 순간전압강하 허용곡선

각 부하의 실험결과 데이터를 평균하여 다음 그림 10의 부하별 근사 허용곡선을 얻을 수 있었다.

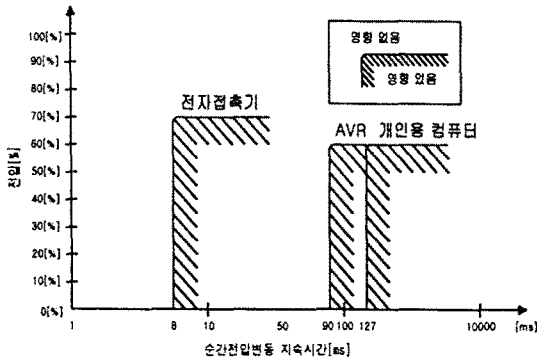


그림 10. 부하별 순간전압강하의 근사허용곡선

그림 10의 그래프를 통해 각 부하의 종류와 용량 별로 약간씩의 차이가 있지만 근사적으로 도시해 볼 때 전자접촉기의 경우 30[%] 이상의 전압강하율에 대해 약 8[ms] 정도면 가동정지되며, AVR과 개인용 컴퓨터의 경우는 40[%] 이상의 전압강하율에 대해 각각 90[ms] 와 130[ms] 정도에 동작하는 것을 알 수 있다.

표 3은 그림 10의 근사허용곡선과 그림 5의 순간전압강하 크기별 분포곡선을 이용하여 전체 발생사고 중 부하를 가동정지시킬 수 있는 순간전압변동의 발생확률을 나타내었다.

표 3. 부하를 가동정지시킬 순간전압변동의 발생확률

부하종류	전자접촉기	개인용 컴퓨터	AVR
발생전압강하율[%]	30[%]	40[%]	40[%]
발생확률[%]	47[%]	38[%]	38[%]

5. 결 론

본 논문은 기존의 신뢰도 측면에서 간과되어온 계통상에서 발생하는 자동재폐로에 의한 순간전압변동을 고찰하였다. 이를 위해 실계통의 모델변전소의 4년간의 사고기록을 분석하였으며 부하종류별 순간전압강하의 영향을 고찰하기 위한 실험을 실시하였다. 본 논문의 결론은 다음과 같다.

(1)한전계통의 모델변전소의 4년간의 보호계전기 동작월보를 분석한 결과 기존의 신뢰도 관점에서의 사고횟수와 순간전압변동을 고려한 전력품질 측면에서 본 사고 횟수와는 상당히 큰 차이가 있으며 기존의 신뢰도 지수로는 현재의 외란에 민감한 부하설비에 대한 진정한 전력공급 능력 평가를 하기 힘들다는 것을 알 수 있었다. 따라서 순간전압변동을 고려한 전력품질 측면의 새로운 지수 도입의 필요성을 절감하였다.

(2)부하종류별 순간전압강하 실험을 통해 약 8[ms]에서 130[ms]사이의 짧은 시간의 순간전압변동으로도 외란에 민감한 부하설비들이 충분히 가동정지될 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 현행 재폐로 방식에 의해 발생하는 순간전압변동에 의해 외란에 민감한 부하설비들이 충분히 가동정지 될 수 있음을 알 수 있었다.

(3)실계통의 사고과형을 분석을 통한 순간전압강하 크기별 분포 데이터와 부하별 허용곡선을 연계하여 분석한 결과 계통상에 발생하는 순간전압강하중 약 40[%] 정도가 부하의 가동정지를 초래할 수 있음을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] D.D.Sabin et al, "Quality enhances reliability", IEEE Spectrum, Vol.33, No.2, pp.34-41, Feb. 1996.
- [2] R.C.Dugan et al, *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill, Chap.3, 1996.
- [3] Y.Sekine et al, "Present state of momentary voltage dip interferences and the countermeasures in Japan", CIGRE 36-206, September 1992.
- [4] R.H.Amundson et al, "IEEE Tutorial Course : Application and coordination of reclosers, sectionalizers, and fuses", 80 EHD157-8-PWR, pp.37-47, 1980.
- [5] J.Lamoree et al, "Voltage Sag Analysis Case Studies", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.30, No.4, pp.1083-1089, July/August, 1994.
- [6] 김재철 외, "송배전선로 재폐로 방식의 최적화 연구(중간보고서)", 한국전력공사 기술연구원, pp.424-441, 1996.
- [7] 도서출판 세운 편집부, GP-IB 인터페이스의 사용법, Chap.3, 1993.