

## 순간 전압 변동에 의한 수용가측 영향 분석

한경남\*, 김일동\*, 윤상윤\*\*, 임성정\*\*, 김재철\*\*, 김연석\*\*\*

\* : 한국전력공사 전력연구원 , \*\* : 숭실대학교 전기공학과 , \*\*\* : 한국전기연구소

### Analysis of Customers' Effect by Momentary Voltage Variation

Kyung-Nam Han\* , Il-Dong Kim\* , Sang-yun Yun\*\* , Seong-jeong Rim\*\* , Jae-chul Kim\*\* , Oun-seok Kim

\* : Korea Electric Power Research Institute , \*\* : Dept. of Electrical Engineering Soongsil University , \*\*\* : KERI

**Abstract** - This paper analyze customers' effect caused by momentary voltage variation. Momentary voltage variation is due to a serious results like shutdown of sensitive loads such as electronic equipment, computer, and magnetic contactor. However, conventional reliability ignored the effect of momentary voltage variation. In this paper we analyze the present state of momentary voltage variation in customers.

#### 1. 서 론

송 배전 계통상에 발생하는 사고 제거를 위한 차단기 및 리크로저 등의 동작은 전력 회사측의 공급 신뢰도를 높여준다는 장점을 가지고 있으나 사고 선로 및 인근 선로상의 수용가에 순간적인 전압 외란을 일으킨다. 또한 이러한 순간적인 전압 변동에 의한 수용가측 설비의 순간적인 기동 정지는 최근의 자동화된 수용가 환경에서는 긴 시간의 영구 정전과 동일한 수준의 경제적 피해를 입고 있다. 그러나 지금까지 전력 공급 수준의 평가 기준이었던 신뢰도 지수는 긴 시간의 영구 정전의 발생 횟수와 시간만을 가지고 작성되었으므로 이러한 순간적인 전압 변동에 대한 수용가측 영향을 평가하는 데는 부적합하다.

지금까지의 국내외의 선행 연구들(1,2)은 순간 전압 변동의 발생 메커니즘을 규명하고 그 크기를 예측하는 기법을 제시하였으며 순간 전압 강하에 대한 소수의 수용가 방문조사를 통한 전력 회사측과 수용가측의 경험적 대책만을 제시하였다. 그러나 이것만으로는 계통상에 발생하는 순간 전압 변동에 의한 수용가측 영향을 평가하기에는 무리가 있었다.

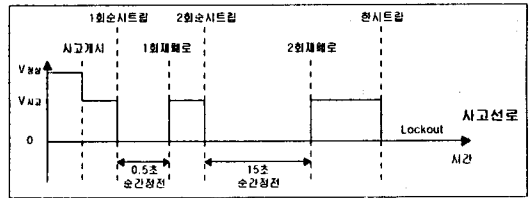
본 논문에서는 기존의 신뢰도 측면에서 간과했던 순간적인 전압 변동에 의한 수용가측 영향을 분석하였다. 실제 수용가들의 순간 전압 변동에 대한 인식 실태를 분석하기 위해 한국 전력 공사의 도움을 받아 전국 규모의 수용가 설문 조사를 실시하여 이 결과를 제시하였다. 또한 재폐로에 의해 발생하는 순간 전압 변동에 의한 수용가 부하의 실제적인 영향을 분석하기 위해 전압 외란에 민감한 부하를 선정하여 전원 시뮬레이터를 이용한 실증 시험을 통해 단독으로 발생하는 전압 외란에 대한 견딜 정도를 나타내는 허용 곡선과 연속적으로 발생하는 전압 외란에 의한 누적 허용 곡선을 제시하였다.

#### 2. 순간 전압 변동 발생 메커니즘

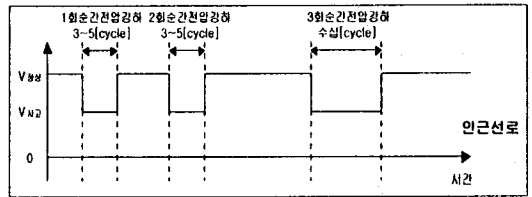
본 논문에서는 순간 정전과 순간 전압 강하를 합하여 순간 전압 변동으로 보았다. 송 배전 계통에서 순간 전압 변동이 발생하는 원인은 여러 가지가 있으나 사고제거를 위한 보호 계전 시스템의 동작에 의한 것이 가장 일반적이다(3). 본 논문에서는 계통상에 발생하는 일시 사고를 제거하기 위한 대표적인 보호 계전 방식인 자동 재폐로에 의한 순간 전압 변동 발생 메커니즘을 예로 들어 설명하였다(4).

그림 1은 배전 계통의 사고 발생시 자동 재폐로에 의한 동일 모선상의 사고 피더 및 인근 피더상의 순간 전압 변동 발생 메커니즘을 전압의 싹트치 파형으로 나타낸 것이다.

그림 1의 (a)는 사고 선로에서의 자동 재폐로에 의한 순간 정전 발생 메커니즘을 나타내고 있으며 (b)는 (a)에서 보여지는 사고 선로에서의 자동 재폐로에 의한 동일 모선상의 인근 선로의 순간 전압 강하 발생을 나타낸다. 계통에 사고가 발생하면 보호 계전기가 사고를 감지하게 되고 차단기는 1회 순시 트립하게 된다. 차단기가 트립되는 시간의 수(cycle) 동안 사고 전류가 계통 내부에 남아있게 되고 인근 선로상에 순간 전압 강하가 발생한다. 차단기 1회 재투입 후에도 사고가 제거되지 않으면 차단기는 2회째 순시 트립하게 되며 마찬가지로 인근 선로상에는 마찬가지로 순간 전압 강하가 발생한다. 사고가 2회 재투입 후에도 제거되지 않으면 일정 시간 후에 차단기가 트립되어 로크 아웃(lockout) 상태를 유지하여 재투입되지 않게 되어 사고 선로에는 긴 시간의 영구 정전이 발생하게 된다.



(a) 사고 선로에서의 순간 정전 발생



(b) 인근 선로에서의 순간 전압 강하 발생

그림 1. 자동 재폐로에 의한 순간 전압 변동 발생

#### 3. 수용가 설문 조사를 통한 수용가측 영향 분석

본 논문에서는 실제 수용가들이 느끼는 순간 전압 변동에 의한 영향을 분석하기 위해 한국전력공사의 도움을 받아 96년 9월부터 97년 3월 까지 "전력 품질에 관한 설문 조사"를 실시하였다. 설문 조사는 5000~10000(kw) 급의 수용가와 10000(kw) 이상 급의 수용가로 나뉘어 실시되었다.

##### 3.1 설문 조사 대상 및 항목 선정

설문 조사 대상은 한국전력공사에서 제공한 계약 전력 5000(kw) 이상의 수용가 전체의 전기 설비 담당자를 대상으로 실시하였다.

- (1) 1차 설문 조사 - 5000~10000(kw) 급의 수용가 약 711개(응답률 약 27%)
- (2) 2차 설문 조사 - 10000(kw) 이상 급의 수용가 약 422개(응답률 약 32%)

설문 조사 항목의 선정은 모든 수용기들이 보편적인 개념에서 파악 되어야 하므로 의사 전달력이 간결하고 응답이 간편하여 전문성이 적은 응답자라 할지라도 부담없이 간편하게 응답할 수 있어야 한다. 1. 2차 설문 조사의 경우 보편적인 지식으로 대답할 수 있는 문항과 전문성을 기한 문항을 혼합하여 작성하였다[5].

### 3.2 설문 조사의 결과

#### (1) 연간 정전 횟수

그림 2는 연간 정전 발생 횟수를 조사한 것으로 1. 2차의 경우 모두 6회 이상이라고 응답한 수용기가 상당히 많은 것으로 조사되었다.

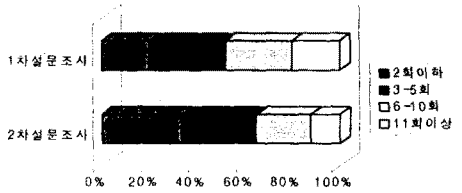


그림 2. 연간 정전 발생 횟수

그림 3은 연간 정전 횟수중 순간 정전의 비율을 조사한 것으로 조사 결과 1. 2차 설문 조사 모두 60% 이상이라는 응답이 전체 응답의 절반을 넘는 것으로 나타남으로써 발생 정전의 상당수가 순간 전압 변동에 의한 정전임을 알 수 있다.

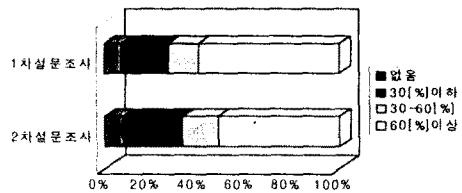


그림 3. 연간 정전중 순간 정전 비율

그림 4는 전압 관리 및 정전 관리의 유무 상태를 조사한 것으로 조사 결과 1차 설문 조사의 경우 관리하고 있지 않다는 응답이 대다수를 차지했고 이보다 용량이 큰 2차 설문 조사의 경우 관리하고 있다는 응답이 대부분을 차지했다.

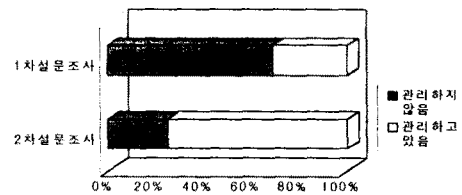


그림 4. 전압 및 정전 관리 상태

그림 5는 순간 전압 변동에 의한 순간 정전 감소를 위한 대책 마련의 필요성을 조사한 것으로 1. 2차 설문 대상 수용기의 거의 대부분이 대책의 필요성을 절감하고 있는 것으로 조사되었다.

그림 6은 순간 전압 변동에 의한 순간 정전 감소를 위한 대책 수립의 장애 요인을 조사한 것으로 조사 결과 과도한 비용 문제가 가장 큰

장애 요인이 되고 있음을 알 수 있었다.

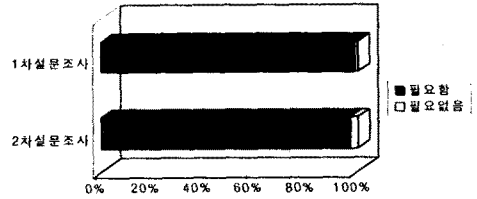


그림 5. 순간 정전 감소를 위한 대책 마련의 필요성

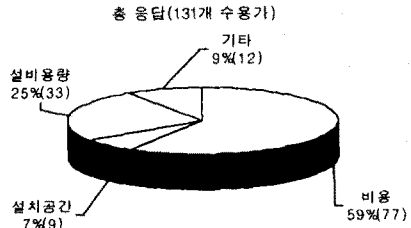


그림 6. 순간 정전에 대한 대책 마련의 장애 요인

### 3.3 설문 조사 결과의 분석

- (1) 대부분의 수용기들은 연간 3~6회 이상의 정전을 경험하며 경험하는 정전중 절반 이상이 순간 전압 변동에 의한 순간 정전이다.
- (2) 대부분의 수용기들은 순간 정전에 대한 대책 수립의 필요성을 절감하고 있으나 막대한 비용 문제로 인한 장애로 인해 이를 시행하지 못하고 있다.

### 4. 수용기 설비별 순간 전압 강하 영향 실험

수용기의 순간 전압 변동의 영향을 고찰하기 위해 전원 시뮬레이터(SS-C2400 source simulator)를 이용하여 순간 전압 강하에 민감한 부하 설비에 대한 영향 실험을 실시하였다. 전원 시뮬레이터는 순간 전압 강하의 크기, 지속 시간, 투입 위상각등을 가변하여 OPB 인터페이스를 이용하여 제어하였다. 실험은 단속적인 순간 전압 변동에 대한 부하별 허용 곡선을 구하는 것과 연속적인 순간 전압 변동에 의한 누적 허용 곡선을 구하는 것으로 진행하였다.

#### 4.1 실험 대상 부하의 선정

본 논문에서는 수용기측 설비중 순간 전압 변동에 민감한 대표적인 부하 설비를 다음과 같은 5가지로 구분하였다[2].

- (1) 전자 개폐기  
산업용 전동기의 전원 스위치로 사용되며 순간적인 스위치 개방으로 인해 전동기의 기동 정지를 초래한다.
- (2) 컴퓨터 및 컴퓨터 주변 기기  
순간적인 기동 정지로 인해 작업중인 데이터의 손실 및 프로그램의 오동작을 일으키거나 불량 제어 또는 송 수신등의 정지를 초래한다.
- (3) 전압 안정 공급 장치  
소규모 설비에 전원을 공급하며 순간적인 기동 정지로 인해 연쇄적인 기동 정지를 초래한다. 본 논문에서는 AVR을 실험 대상으로 하였다.
- (4) 전력 전자 소자를 이용한 전동기 속도 제어기  
전동기의 가변속 운전용으로 쓰이며 순간적인 전압 강하로 인한 공 정 전체의 중단을 가져올 수 있다. 본 논문에서는 SCR을 이용한 직류

전동기 속도 제어를 이용하였다.

(5) 고압 방전등

산업채 수용가의 옥 내의 조명등으로 널리 쓰이며 순간적인 전압 변동에 의해 소등된 후 전원이 재투입되어도 발광관이 완전히 냉각되었다가 재점등 하기까지 상당히 많은 시간이 소요된다. 본 논문에서는 고압 나트륨 등과 고압 메탈할라이드 등을 사용하였다.

4.2 실험 구성

실험은 GPIB 인터페이스(IEEE std 488-1978)를 이용(하)하여 실시하였으며 실험 구성도는 그림 7과 같다.

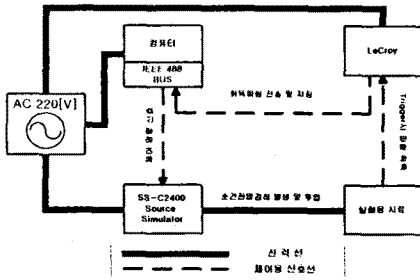


그림 7. 실험 구성도

4.3 부하별 실험 결과

(1) 단독 순간 전압 강하에 의한 실험 결과

그림 8은 단독적으로 발생하는 순간 전압 변동에 대한 부하별 허용 곡선이다.

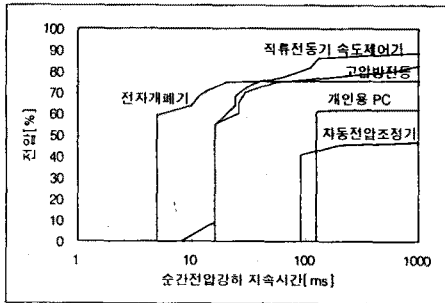
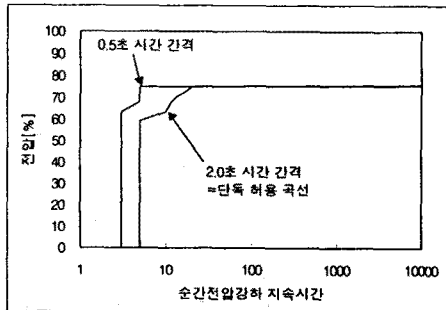
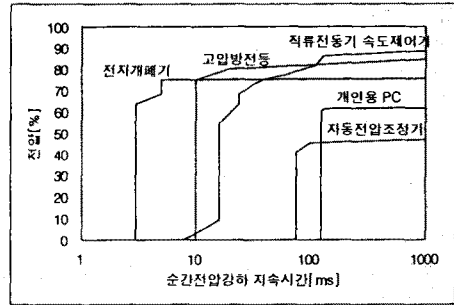


그림 8. 단독 허용 곡선 도출 결과

그림 9는 0.5초와 2.0초의 시간 간격을 두고 연속적으로 발생하는 순간 전압 변동에 대한 부하별 실험 결과이다. (a)는 0.5초와 2.0초의 시간 간격을 두고 연속적으로 발생한 순간 전압 변동에 대한 전자 개폐기의 실험 결과이며 (b)는 0.5초 시간 간격일때의 전체 실험 결과이다.



(a) 전자 개폐기(0.5초 및 2.0초 시간 간격)



(b) 전체 부하(0.5초 시간 간격)

그림 9. 연속적인 순간 전압 변동에 대한 누적 허용 곡선 도출 결과

4.4 부하별 실험 결과의 분석

- (1) 수용가의 민감 부하는 15~30% 전압 강하율과 8~130(ms)의 0.5~8cycle 정도의 지속 시간을 가지는 순간 전압 변동에 대해 기동 정지 될 수 있다.
- (2) 연속적인 순간 전압 변동으로 인한 누적 충격을 실험 해본 결과 0.5초의 시간 간격에서는 컴퓨터 및 SCR 가변속 제어기 등의 스위칭 소자를 이용한 부하에서는 누적 충격이 나타나지 않았으나 나머지 부하들에서는 누적 현상이 나타났다. 또한 2.0초의 시간 간격에서는 누적 충격이 해소되는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 논문에서는 최근 외관에 민감한 부하의 증대에 따라 심각한 문제가 되는 순간 전압 변동에 따른 수용가측 영향을 분석하였다.

이를 위해 실제 배전 수용가에 대한 전국적인 설문 조사를 실시하여 이 결과를 제시하였으며 수용가의 대표적 민감 부하를 선정하여 실증 시험을 통한 순간 전압 변동에 의한 수용가측 영향을 고찰하였다. 본 논문에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 수용가에 대한 설문 조사 결과 경험 정전 중 순간 전압 변동에 의한 정전의 경험 빈도가 높으며 이에 대한 대책 수립의 필요성을 느끼고 있으나 비용 문제로 인한 장애를 느끼고 있다. 따라서 순간 전압 변동에 대한 경제성이 뒷받침되는 대책 마련이 필요함을 알 수 있다.
- (2) 수용기 설비에 대한 실증 시험 결과 대부분의 부하들은 매우 짧은 지속 시간과 전압 강하율을 가지는 전압 변동에도 충분히 기동 정지될 수 있으며 대표적인 순간 전압 변동 발생원의 재재로에 의한 연속적인 순간 전압 변동으로 인해 충격이 누적될 수 있음을 알 수 있다.

본 연구는 한국전기연구소의 시험 설비 지원에 의해서 수행 되었음

[참 고 문 헌]

- [1] L.Conrad, K.Little, and C.Grigg, "Predicting and preventing problems associated with remote fault-clearing voltage dips", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol.27, No.1, pp.167-172, January 1991.
- [2] 홍우기 외, 배전계통의 순간전압강하 대책에 관한 연구, 한국전력공사 기술연구원, pp.69-77, 1986년 10월.
- [3] R.C.Dugan et al, *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill, pp.9-80, 1996.
- [4] 김재철 외, 송배전선로 재재로 범식의 최적화 연구, 한국전력공사 기술연구원, pp.424-441, 1996년 10월.
- [5] 김재철 외, 전력용 변압기 사고감소예 관한 연구, 한국전력공사 기술연구원, pp.15-47, 1989년 9월.
- [6] 도서출판 세운, GP-IB 인터페이스의 사용법, Chap.3, 1993년.