

최적 재폐로방식 선정에 관한 연구

김일동*, 한경남*, 임성정**, 김재철**

* : 한국전력공사 전력연구원 ** : 송실대학교 전기공학과

A Study on the Determination of Optimal Auto-reclosing

Il-Dong KIM*, Kyung-Nam HAN*, Seong-Jeong RIM**, Jae-Chul KIM**

* : KEPCO ** : Dept. of Elec. Eng. Soongsil Univ.

Abstract - This paper presents a reliability and power quality taken account of the reclosing scheme on the power distribution system. To determine the optimal reclosing scheme, the simple radial distribution system is modelled, and analyzes quantitatively the effect of customer's load to the number of reclosing. The result of the analysis shows that the determined reclosing scheme can satisfy both the reliability and the power quality in the power distribution system.

점이 발생한다.

본 논문에서는 수용가측에서 본 배전시스템의 신뢰도와 전력품질을 고려한 최적 재폐로 방식을 제안하였다. 최적 재폐로 방식을 결정하기 위해서 대상 배전시스템을 구성하고, 재폐로 시도회수에 따라 수용가측과 전원측 시스템에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위한 지수를 제시하고 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션결과, 구성된 배전시스템에서의 신뢰도 및 전력품질을 만족하는 적절한 재폐로방식을 선정할 수 있다.

1. 서 론

불과 몇 년전만 해도 별문제가 되지 않았던 순간정전, 전압의란, 또는 고조파 등의 전력품질문제가 최근 수용가측 민감부하(컴퓨터, 전자장비, 가변속전동기 등)를 정지시키는 문제를 야기시키기 때문에 수용가는 전력회사로부터 보다 양질의 전력을 신뢰성 있게 공급받기를 요구하고 있다[1-2].

수용가측에 전력을 공급하는 가장 말단인 배전시스템에서의 사고는 수용가측에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 사고를 제거하기 위해 사용되는 재폐로방식은 일시사고의 경우에는 신뢰도를 향상시키는 반면 영구사고의 경우에는 재투입회수만큼 전력설비의 충격 및 인근선로에 순간전압강하를 발생시켜 수용가측 장비를 정지시킬 수 있다[3-4]. 결국 수용가측 요구를 충족시키는 재폐로방식의 결정은 매우 중요하고도 어려운 문제이다.

이러한 문제에 대한 연구로서 Warren[5]은 재폐로방식이 신뢰도지수에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 이 연구에서는 재폐로시 전력설비의 충격은 고려하지 않았다. 이러한 점을 보완한 Apostolov[6]등은 고장전류 크기에 따라 재투입시도회수를 조정함으로써 차단기의 충격을 최소화하는 방안을 제시하였다. 그러나 이들 연구에서는 재폐로시 발생하는 순간정전 및 순간전압강하에 대해 고려하지 않았기 때문에 실제 수용가측에서는 재폐로시도회수를 늘릴수록 수용가측 장비의 정지확률이 높아지는 문제

2. 배전시스템의 구성

재폐로 방식이 전원측시스템 및 수용가측에 미치는 영향을 분석하기 위해 그림 1과 같이 간단한 방사상 배전시스템을 구성하였다. 그림에서 보는 바와 같이 60MVA 변전소 2차측 모선에서 여러개의 피더로 인출되며 각 피더에서 배전용 변압기를 통해 수용가측에 전력을 공급한다. 피더 1의 CB1은 차단기 또는 리크로저와 같은 사고제거장치를 나타낸다. 배전용변압기 2차측에 연결된 수용가측 부하는 전형적인 민감부하로 볼 수 있다.

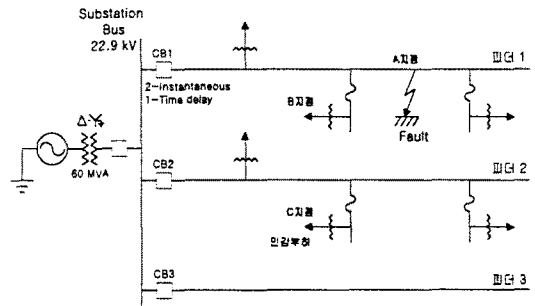


그림 1. 대상 시스템 구성도

그림 2는 그림 1의 A지점에서 사고발생시 재폐로에 의해 B, C지점의 수용가들이 경험하는 순간정전과 순간전압강하에 대한 실효치 전압파형을 나타내

었다. 재페로시 발생하는 순간전압강하는 고장전류에 따라 변화하지만 민감한 전자장비를 정지시키기에는 충분한 크기이다.

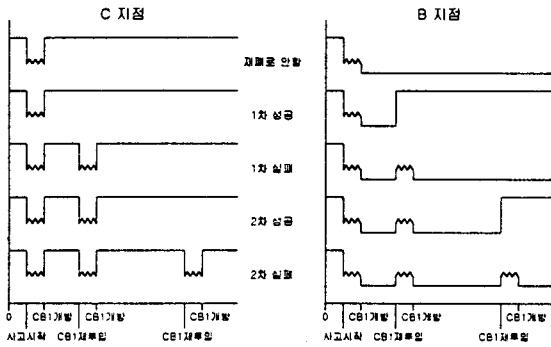


그림 2. 재페로시 발생하는 전압파형

그림 1에서 구성된 전형적인 배전시스템은 지역별 다양성을 고려하기 위해 도심지역과 변두리지역으로 구분하여 표1과 같이 설정하였다.

표 1. 지역별 배전 시스템 구성 데이터

항목 [단위]	주거지역	
	도심지역	변두리지역
피더길이 [km]	8	20
피더용량 [MVA]	10	6
피더수	6	10
피더별 수용가수	3700	2240
사고율 [int/yr]	4.6	5.2
복구시간 [hr/int]	2	3
1회 재페로 성공률[%]	65	65
2회 재페로 성공율[%]	10	10

3. 재페로 선정을 위한 평가기준 및 영향

적절한 재페로방식의 선정을 위해서는 기존 신뢰도와 수용가측, 전원측시스템의 영향 즉 전력품질문제가 정량적으로 분석되어야 하며 이를 토대로 선정이 이루어져야 한다. 본 연구에서 고려한 전력품질문제에는 순간정전과 순간전압강하만을 고려하였으며, 전압균등(voltage regulation), 전압외란(voltage disturbance), 고조파 등은 고려하지 않았다.

3.1 기존 신뢰도

시스템의 신뢰도를 평가하는 방법은 사고회수와 사고시간을 정량화하는 지수를 주로 사용한다. 국외 전력회사에서 배전시스템 신뢰도지수로 시스템평균정전회수, 시스템평균정전시간, 수용가평균정전회수, 평균공급가용율 등을 사용한다[7]. 신뢰도지수를 계

산하는데 있어서 그 대상은 매우 중요하다. 피더에 연결된 부하의 대부분이 주거용일 경우에는 수용가 기준지수, 상공업부하일 경우에는 부하기준지수를 적용하는 것이 타당하다[5]. 식(1)과 식(2)는 각각 시스템평균정전회수와 수용가평균정전회수를 나타내었다.

$$SAIFI = \frac{\text{정전된 수용가수} \times \text{정전회수}}{\text{총 수용가수}} \quad (1)$$

$$CAIFI = \frac{\text{정전된 수용가수} \times \text{정전회수}}{\text{정전영향받는 수용가수}} \quad (2)$$

3.2 순간정전·순간전압강하에 의한 수용가측 영향 재페로방식 선정을 위한 순간정전이나 순간전압강하 등의 영향을 평가하기 위해서는 새로운 지수의 도입이 필요하다. 본 연구에서는 재페로 시도회수에 따른 순간정전 및 순간전압강하를 고려한 전력품질지수(Power Quality for Interruption and Voltage Dip Index:PQIDI)를 제시하였다.

$$PQIDI = \frac{N_{PQA}}{N_{IC}} = \frac{\text{전력품질에 영향받는 수용가수}}{\text{총 수용가수}} \quad (4)$$

$$= \frac{N_{ff} N_{jc} + N_{fn} N_{nc} \rho_{vd} \sum_k (\rho_{sd(k)} W_{(k)})}{N_{IC}}$$

여기서, $N_{ff} = N_{F(0회)} + P_{1S} N_{F(1회)} + P_{2S} N_{F(2회)}$

$N_{fn} = N_{F(0회)} + P_{1F} N_{F(1회)} + P_{2F} N_{F(2회)}$

N_F : 사고발생회수

N_{ff} : 사고선로에서 사고발생회수

N_{fn} : 인근선로에서 사고발생회수

N_{jc} : 사고피더 수용가수

N_{nc} : 인근피더 수용가수

N_{fd} : 피더수

ρ_{vd} : 전압강하발생확률

$\rho_{sd(k)}$: k기기의 순간전압강하에 대한 정지확률

$W_{(k)}$: k기기의 구성비율

P_{1S} : i번째 재페로 성공확률

P_{1F} : i번째 재페로 실패확률

식(4)에서 ρ_{vd} 는 사고발생시 흐르는 고장전류에 따른 순간전압강하의 변동을 고려한 항목이며, $\rho_{sd(k)}$ 는 k기기 즉 순간전압강하에 영향받는 대표적 부하에 대한 허용곡선에 의해 산출되어진다[8]. 이때 k기기는 표 2와 같이 분류하여 각 피더별 부하구성비를 고려하였다.

표 2. 피더에 대한 부하의 분류 및 부하구성비율

k	1	2	3	4	5
부하	전동기	전자개폐기	전등	컴퓨터	UVR
구성비	0.41	0.35	0.12	0.06	0.06

3.3 재폐로가 전원측 시스템에 미치는 영향

재폐로에 의한 전기적 충격에 영향받는 전원측 시스템에는 변전소용 전력변압기, 차단기, 케이블 등을 고려할 수 있다. 이들 요소는 재폐로를 시도할 때마다 충격을 받아 열화와 수명단축 및 고장의 원인을 제공한다[3]. 식(5)와 (6)은 각각 배전선로 고장회수에 대한 주변압기 및 차단기의 충격회수와 영향 정도를 나타낸 것이다.

$$N_{impact} = \frac{P_{1S} + 2P_{2S} + 2P_{1F} + 3P_{2F}}{N_F} \times 100 \quad (5)$$

$$E_{impact} = \frac{w_i \sum_i n_i (P_{iS} + P_{iF})}{N_F} \times 100 \quad (6)$$

여기서, w_i : i 번째 재폐로시 충격누적가중치
 n_i : i 번째 재폐로시 충격회수

4. 시뮬레이션 및 결과분석

앞에서 설명한 신뢰도지수 및 전력품질지수의 영향을 분석하였으며, 이에 대한 계산결과를 나타내었다. 그림 3에서는 도심지역과 변두리지역에 대해 재폐로 시도회수에 따른 시스템 평균정전회수를 나타내었다. 그림 4와 그림 5는 각각 재폐로 시도회수에 따른 도심지역과 변두리지역의 수용가평균정전회수와 전력품질지수를 나타내었다.

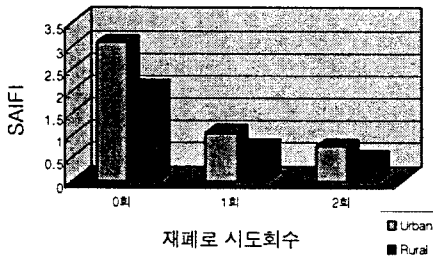


그림 3. 재폐로시도회수에 따른 시스템 평균정전회수

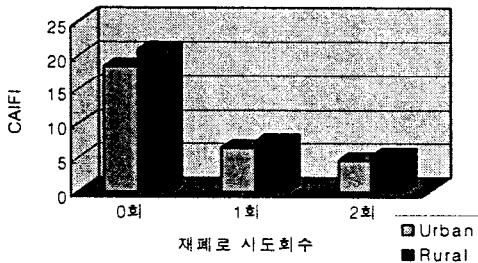


그림 4. 재폐로시도회수에 따른 수용가 평균정전회수

5. 결 론

본 논문에서는 배전시스템에서의 신뢰도와 전력 품질을 고려한 최적 재폐로 방식을 제안하였다. 구성된 배전시스템은 피더별 부하특성에 대해 재폐로회수에 따른 신뢰도지수와 순간정전 및 순간전압강하

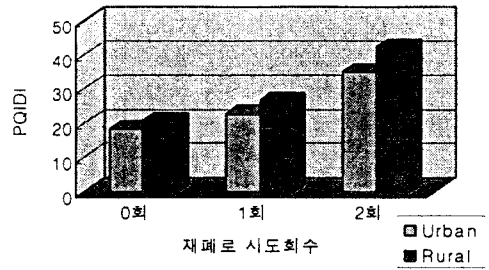


그림 5. 재폐로시도회수에 따른 전력품질지수

를 고려한 전력품질지수를 평가하는데 사용되었다. 시뮬레이션결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 모든 피더에서 재폐로 시도회수가 증가하면 시스템평균정전회수와 수용가평균정전회수는 감소한다. 따라서 신뢰도가 크게 향상되지만, 2회 재투입의 경우에는 이들 정전회수가 미세하게 감소한다.
- 2) 순간정전과 순간전압강하를 고려한 전력품질지수(PQIDI)는 재폐로를 시도할수록 급격히 증가하게 되어 수용가측에서는 많이 순간정전 및 순간전압강하를 경험하는 것을 의미하게 된다.
- 3) 시스템평균정전회수와 전력품질지수는 도심지역이 변두리지역에 비해 크게 나타내지만 변두리지역의 경우에만 그 반대의 현상을 나타낸다.

재폐로시도회수에 따른 수용가형태 즉 부하특성의 영향정도를 정량적으로 분석함으로써 신뢰도 지수 및 전력품질지수를 모두 만족하는 피더별 최적 재폐로방식을 선정할 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] D.D.Sabin, A.Sundram, "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, 1996.
- [3] 김재철 외, "전력용 변압기 사고감소에 관한 연구(I)", 한국전력공사 기술연구원, 1989.
- [4] 김재철 외, "송배전선로 재폐로방식의 최적화 연구", 한국전력공사전력연구원, KEPRI-95Y-J18, 1996.
- [5] C.M.Warren, "The effect of reducing momentary outages on distribution reliability indices", *IEEE Trans. on PWRD*, Vol.7, No.3, pp.1610-1617, July 1992.
- [6] A.P.Apostolov et.al, "Intelligent reclosing for overdutied breaker", *IEEE Trans. on PWRD*, Vol.10, No.1, pp.153-158, Jan. 1995.
- [7] R.Billinton, R.N.Allan, *Reliability evaluation of power systems*, Plenum Press, Chap.7, 1996.
- [8] Y.Sekine et.al, "Present state of momentary voltage dip inferences and the counter-measures in Japan", *CIGRE 36-206*, Sep. 1992.