

배전시스템에서의 개선된 재폐로방식

임성정*, 오정환*, 윤상윤*, 김재철*, 최병수**

* : 송실대학교 전기공학과, ** : 평택공업전문대학 전기과

Advanced Automatic Reclosing in Power Distribution Systems

Seong-Jeong Rim*, Jung-Hwan Oh*, Sang-yun Yun*, Jae-Chul Kim*, Byoung-Soo Choi**

* : Dept. of Elec. Engineering, Soongsil Univ. ** : Pyoung Taek Junior College

Abstract

This paper presents an advanced automatic reclosing scheme in power distribution system to minimize the impact of electric facilities and the customers' damage. This scheme can determine the number of reclosing attempts to reduce the influence of electric equipment and injury of customers' load using a magnitude of fault current and types.

To verify the effectiveness of the proposed scheme, numerical simulation is carried out with field data. Results demonstrate that the proposed scheme can minimize the impact of electric facility and customers' damage than existing scheme.

1. 서 론

산업의 고정밀·고효율화와 더불어 불과 몇 년전만 해도 별문제가 되지 않았던 순간정전, 전압외란, 또는 고조파 등의 전력품질문제가 컴퓨터, 전자장비, 가변속전동기 등과 같은 수용가측 민감부하의 정지 또는 오동작을 일으키는 문제가 발생하여 수용가는 전력품질문제에 많은 관심을 보이고 있다[1-3].

수용가측에 전력을 공급하는 가장 말단인 배전시스템에서의 사고는 수용가측에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 사고를 제거하기 위해 사용되는 재폐로방식은 일시사고의 경우에는 신뢰도를 향상시키는 반면 영구사고의 경우에는 재투입 횟수만큼 전력설비의 충격 및 인근선로에 순간전압강하를 발생시켜 수용가측 장비를 정지시킬 수 있다[4-5].

이러한 문제에 대한 연구로서 Warren[6]은 재폐로방식이 신뢰도 지수에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 이 연구에서는 재폐로 시 전력설비의 충격은 고려하지 않았다. 이러한 점을 보완한 Apostolov *et al.*[7]은 고장전류 크기에 따라 재투입 시도횟수를 조정함으로써 차단기의 충격을 최소화하는 방안을 제시하였다. 그러나 이들 연구에서는 재폐로시 발생하는 순간정전 및 순간전압강하에 대해 고려하지 않았기 때문에 실제 수용가측에서는 재폐로 시도횟수를 늘릴수록 수용가측 장비의 정지확률이 높아지는 문제점이 발생한다.

본 논문은 전력설비 충격과 수용가측 피해를 최소화하기 위한 개선된 재폐로방식을 제안하였다. 제시한 재폐로방식은 사고전류의 크기와 사고형태를 고려하여 전력설비 충격과 수용가측 피

해를 최소화시키는 적절한 재폐로 시도횟수를 선정하는 방법이다. 이들 영향을 정량적으로 평가하기 위한 평가함수로서 시스템 신뢰도지수와 순간정전·순간전압강하를 고려한 전력품질지수 및 전력설비충격지수를 제시하였다.

제시한 방법의 효율성을 검증하기 위해서 한전 실계통 데이터를 사용하여 제안한 방식과 기존방식을 비교함으로써 제시한 방식이 전력설비 충격과 수용가측 피해를 최소화하는데 효과가 있음을 입증하였다.

2. 배전시스템의 재폐로방식

배전시스템에서의 재폐로방식은 그림 1에 나타낸 바와 같이 방사상 배전시스템의 피더 1에서 사고가 발생하였다면 차단기 CB1이 트립되어 사고를 분리하고, 일정시간(재폐로 시간) 경과후 사고가 제거되면 차단기 CB1을 다시 재투입하여 전력공급을 지속시키는 보호방식이다.

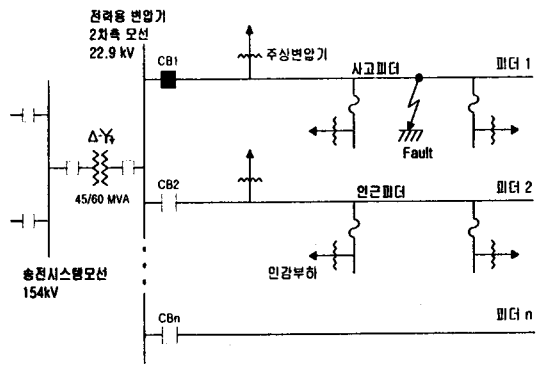


그림 1. 방사상 배전시스템의 구성도

그림 1의 A지점에서 사고발생시 재폐로에 의해 B, C지점의 발생하는 실효치 전압파형은 그림 2에 나타내었다. 재폐로 성공시에는 그림 2(b)와 같이 수용가측에서 순간정전을 경험하게 되며, 실패시에는 영구정전을 경험한다. 반면, 그림 2(a)의 인근피더에서는 사고발생시와 재폐로가 실패할 때마다 순간전압강하를 경험하며, 이와 동시에 전력설비에도 고장전류가 흐르게 되어 피해를 입게 된다.

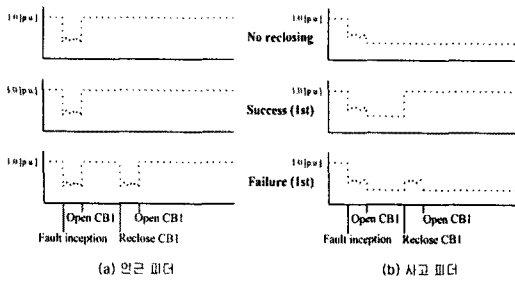


그림 2. 재폐로에 의해 발생하는 전압파형

이러한 재폐로방식에 있어서 재폐로 시도횟수를 늘리면 공급신뢰도를 향상시키는 반면, 재폐로 실패시에는 수용가측 민감부하의 정지와 전력설비에 기계적 충격을 가하게 되어 열화요인이 되므로 수용가측에 불필요한 순간전압강하와 설비측에 충격유해 최소화할 필요가 있다.

3. 재폐로 선정을 위한 평가기준 및 영향

적절한 재폐로방식의 선정을 위해서는 수용가측의 신뢰도와 전력설비측의 영향을 정량적으로 분석할 필요가 있다. 전력설비측 영향은 재폐로 시도횟수와 고장전류의 크기를 고려하여 평가하였다. 공급신뢰도에 있어서 대부분의 전력회사에서 사용하는 기존 신뢰도지수에서는 5분이상의 영구정전만을 기록하여 보고하기 때문에 순간정전이나 순간전압강하에 의해 피해를 입는 수용가측의 영향을 평가할 수 없기 때문에 기존신뢰도지수와 재폐로에 의해 경험하는 전력품질의 영향을 구분하여 평가하였다[5].

3.1 재폐로에 따른 신뢰도의 영향

시스템의 신뢰도를 평가하는 방법은 사고횟수와 사고시간을 정량화하는 지수를 주로 사용한다. 국외 전력회사에서 배전시스템 신뢰도지수로 시스템평균정전횟수, 시스템평균정전시간, 수용가 평균정전회수, 평균공급가용을 등을 사용한다[8]. 신뢰도지수를 계산하는데 있어서 그 대상은 매우 중요하다. 피더에 연결된 부하의 대부분이 주거용 부하일 경우에는 수용가기준지수, 상공업 부하일 경우에는 부하기준지수를 적용하는 것이 타당하다[6]. 식(1)은 시스템평균정전횟수(System Average Interruption Frequency Index)를 나타내었다. 식(1)에서 정전 영향받는 수용가수는 1피더 수용가수로 가정하였다.

$$SAIFI = \frac{\sum \text{정전영향받는 수용가수}}{\text{총수용가수}} = \frac{\sum_{i=1}^{NF} \lambda_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^{NF} N_i} \quad (1)$$

여기서, λ_i : i번째 피더에서의 사고횟수
 N_i : i번째 피더의 수용가수
 NF : 피더수 (뱅크당)

식(1)에 대하여 재폐로에 따른 신뢰도 지수는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 식(2)에서 보는 바와 같이 시스템 평균정전횟수

는 재폐로성공률에 반비례함을 알 수 있다.

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{NF} \lambda_i N_i}{\sum_{i=1}^{NF} N_i} \times \left(1 - \sum_{j=0}^{N_{RC}} R_{SDj} \right) \quad (2)$$

여기서, N_{RC} : 재폐로 시도횟수 ($N_{RC} = \{0, 1, 2, 3\}$)

R_{SDj} : j번째 재폐로 시도시 성공률 [%]

3.2 재폐로에 따른 전력품질의 영향

재폐로 수행시 발생하는 주요 전력품질문제는 순간정전과 순간전압강하이다. 즉 순간정전은 재폐로 성공시 사고피더에서 발생하는 일시적인 정전을 의미하며, 순간전압강하는 재폐로 시도시 고장전류가 흐르는 동안 인근피더에서 발생하는 일시적인 전압강하를 나타낸다. 이러한 영향을 평가하기 위해서는 새로운 지수의 도입이 필요하다. 식(3)에서는 재폐로 시도횟수에 따른 순간정전 및 순간전압강하를 고려한 전력품질지수(System Average Power Quality Frequency Index : SAPQFI)를 제시하였다. 식(3)에서 2번째 재폐로 성공시에도 순간정전 발생횟수는 1회로 가정하였다.

$$SAPQFI = \frac{\sum \text{순간정전영향받는수용가수} + \sum \text{순간전압강하영향받는수용가수}}{\text{총수용가수}} = \frac{\sum_{i=1}^{NF} \left\{ \left(\lambda_i \times N_i \times \sum_{j=1}^{N_{RC}} R_{SDj} \right) + \left(\lambda_i \times \sum_{k=1}^{N_{RC}} N_k (\rho_k \cdot W_k) \times \left(1 - \sum_{j=1}^{N_{RC}} R_{SDj} \right) \right) \right\}}{\sum_{i=1}^{NF} N_i} \quad (3)$$

여기서, ρ_k : 부하가 순간전압강하에 의해 정지되는 확률

W_k :뱅크에 연결된 부하중 민감부하의 구성비

식(3)에서 보는 바와 같이 제시한 지수는 민감부하의 구성비에 의존하며, 순간전압강하와 순간정전의 피해가 영구정전과 동일한 효과를 가진다면, ρ_k 를 1로 지정할 수 있다.

3.3 재폐로에 따른 전력설비측의 영향

재폐로에 의한 전기적 충격에 영향받는 전력설비에는 변전소용 전력변압기, 차단기, 케이블 등을 들 수 있다. 이들 요소는 재폐로를 시도할 때마다 기계적 충격을 받아 열화와 수명단축 및 고장의 원인을 제공한다[4]. 재폐로에 따른 전력설비의 충격횟수의 영향 정도를 정량화한 설비충격지수 (Electric Facility Impact Index : EFII)는 식(4)에 제시하였다.

$$EFII = \sum_{i=1}^{\lambda_i} C_i \cdot \left(1 - \sum_{j=0}^{N_{RC}} R_{SDj} \right) \quad (4)$$

여기서, $C_i = i^{1.5}$: 사고전류크기에 따른 충격량

윗식에서 보는 바와 같이 설비충격은 사고전류의 크기와 사고횟수를 고려하였다.

4. 개선된 재폐로 방식

본 논문에서는 전력설비의 충격과 수용가측 피해를 최소화하기 위해서 고장전류의 크기를 고려한 기존의 재폐로방식을 개선하였다. 개선된 재폐로방식은 표 1에 나타낸 바와 같이 고장전류가 최대고장전류의 0%-30%일 경우에는 3회 재폐로를 시행하고,

고장전류가 31%-80%일 경우에는 2회 재폐로, 나머지는 1회재폐로를 실시하는 방식이다. 해당 배전시스템에서 발생하는 고장전류 크기의 분포에 따라 이러한 방식은 보완할 수 있으며, 대부분의 고장전류가 최대고장전류의 20%이라고 설정하였다.

표 1. 제안된 재폐로방식의 알고리즘

방식	고장전류의 크기	재폐로 시도횟수
기존방식	0% - 100%	2회 시도
제안방식1	0% - 30%	3회 시도
	31% - 80%	2회 시도
	81% - 100%	1회 시도

5. 시뮬레이션

제시한 재폐로방식의 효과를 검증하기 위하여 실제용 데이터를 사용하여 앞에서 설명한 신뢰도지수, 전력품질지수 및 설비충격지수의 영향을 분석하였다. 실제용 데이터로는 J변전소에서의 사고현황을 표 2에 수록하였다. J변전소는 저압측 20개 인출피더와, 3뱅크로 구성되어 있으며, 표 2에 수록한 사고현황은 벡크 2에 해당된다[5].

표 2. 실제용 데이터 : J변전소 사고기록현황 (1991-1994)

연도	재폐로 시행된 사고횟수	1회 성공	2회 성공
1991	22	9	5
1992	23	18	1
1993	23	19	0
1994	25	15	1
합계	93	61	7
평균	23.25	15.25	1.75

표 2에서 재폐로 1회 성공률은 65.59[%], 2회 성공률은 7.53[%]이며, 전체 성공률은 73.12[%]로서 한전계통에서의 평균 재폐로 성공률과 유사하다. 위의 데이터를 사용하여 재폐로 시도횟수에 따른 신뢰도와 전력품질지수를 계산한 결과는 각각 그림 2, 그림 3에 나타내었다.

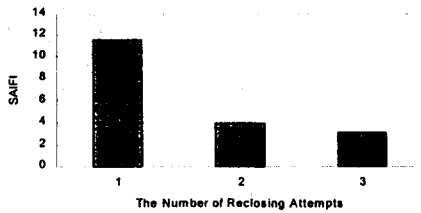


그림 2. 재폐로 시도횟수에 따른 신뢰도지수

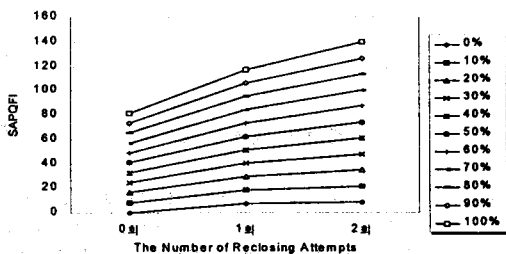


그림 3. 재폐로 시도횟수별 민감부하구성비에 따른 전력품질지수

그림 3에 보는 바와 같이 시스템 평균정전횟수는 2회 재폐로 시도에는 현격한 효과를 나타내었지만 3회 재폐로 시도에는 큰 변화를 주지 못하였다. 반면, 그림 4의 전력품질 발생횟수는 재폐로 시도횟수와 민감부하에 구성비에 따라 현격한 차이를 나타낼 수 있었다. 표 3에서는 기존방식과 제안된 방식에 대한 설비의 충격량을 나타내었다. 표에서 나타낸 바와 같이 제안된 방식이 설비충격을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

표 3. 재폐로방식에 따른 전력설비의 충격

고장전류비	건수	충격량	기존방식	제안된 방식
0.1	13	1,399,252	376,143	300,914
0.2	15	4,566,555	1,227,569	982,055
0.3	16	8,948,584	2,405,533	1,924,427
0.4	15	12,916,169	3,472,088	3,472,088
0.5	12	14,440,716	3,881,913	3,881,913
0.6	9	14,237,110	3,827,180	3,827,180
0.7	6	11,960,540	3,215,199	3,215,199
0.8	4	9,741,985	2,618,813	2,618,813
0.9	2	5,812,276	1,562,440	1,999,923
1	1	3,403,709	914,976	1,171,169
누적충격량	93		23,501,854	23,393,681

6. 결론

본 논문에서는 전력설비 충격과 수용가측 피해를 최소화하기 위한 적응 재폐로방식을 제시하였다. 기존의 재폐로방식은 사고상태의 고려없이 고정된 재폐로 시도횟수를 적용하기 때문에 전력설비에 충격의 가중과 인근선로 수용가측의 민감부하의 정지가 증가된다. 제시한 방식은 사고전류의 크기와 사고형태를 사용하여 신뢰도, 전력품질, 설비충격에 대한 영향을 최소화하는 적정 재폐로 시도횟수와 재폐로 시간을 선정하는 방법이다. 한편 실제용 데이터를 사용하여 평가함수의 시뮬레이션 결과, 제안한 적응형 재폐로방식은 기존방식에 비해 전력설비 충격과 수용가측 피해를 최소화하는데 효과가 있음을 입증하였다.

참고 문헌

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