

간선 및 분기선의 개폐기 설치 효과 분석(I)

조남훈, 오재형
전력연구원

이흥호
충남대학교

Reliability analysis of the switch installation in the main feeder and in the radial/loop lateral feeders in distribution svstem

Namhun Cho, Boknam Ha

Heung-Ho Lee

Abstract - The addition of switches to a distribution feeder does, in general, increase reliability by decreasing the duration of the outage of many to the customers on the feeder. To cover its service area so that feeder-level delivery reaches sufficiently close to all customers, feeders typically split their routes many times, in what is often called a lateral feeder. It is interesting to note, however, that the effectiveness of a switch is very much dependent on the types of lateral feeder. The types of lateral are classified into two types. The first is loop lateral feeder that can connect its load to an adjacent feeder through a tie line in case that a fault occurs in its feeder and it is laid out so that every feeder has complete fault backup through re-switching of its loads to other sources like a main feeder. The second is the radial lateral feeder cannot connect its load to an adjacent line, no provision is made for contingency backup of feeders. There are no other circuits in the radial lateral feeder form which to restore power.

In this study, we evaluate the effectiveness of a switch installation between on the radial and loop lateral feeders to increase reliability by decreasing the duration of the outage. These results can help power utility to design the switch layouts on the radial and loop lateral feeder system.

Key Words : distribution configuration, main line, branched line, connecting rate, switches, reliability

1. 서 론

일반적으로 개폐기 설치효과는 증장, 사고율, 부하량의 크기에 의하여 좌우되고 선로에 구분 개폐기를 설치시 신뢰 도가 향상된다는 것은 이미 많은 연구 결과로 제시되었다[1][2].

전력회사는 공급신뢰도의 저하를 막기 위하여 고품질 전력설비 설치 등 많은 노력을 기울이고 있는 동시에 일반적으로 배전계통에 개폐기를 추가 설치하여 사고 및 작업 정전 범위를 좁히는 방법으로 배전계통의 신뢰도를 향상시키고 있다.

본 연구에서는 연계율[3]이 고려된 배전계통 분기선에서의 개폐기 설치효과를 분석하기 위하여 간선과 같이 인접선로와 연계되어 부하를 절체할 수 있는 연계된 분기선(loop lateral feeder)과 연계되지 않은 수지상 분기선

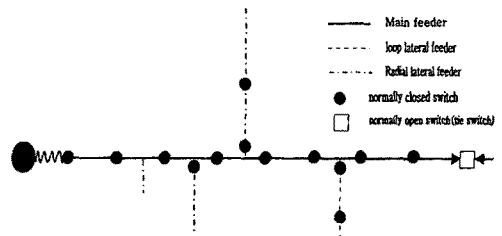
(radial lateral feeder)으로 구분을 두어 간선에 대한 분기선의 개폐기 설치효과를 비교하였으며, 임의 연계율에 대한 구분 효과를 분석할 수 있는 방안을 제시하였다.

현재 분기선 및 간선에 설치된 구분 개폐기 수에 의한 신뢰도를 기준으로 향후 전력회사가 목표하는 신뢰도에 도달하기 위한 간선과 분기선의 개폐기 설치기준을 제시하였다.

본 연구 결과는 전력회사에서 향후 신뢰도 목표를 달성하기 위하여 필요한 간선 및 분기선의 구분 개폐기 설치 기준 제정에 근거 자료로 활용될 계획이다.

2. 배전계통 구성일반

일반적으로 배전계통은 루프(Loop)로 구성되어 있으면서 방사상 구성(Radial, Open Loop)으로 운전된다. 배전선로에 설치된 개폐기들 중 구분 개폐기는 항상 닫혀져 있어 전력을 공급할 수 있게 해주고, 부하절체를 위한 연계 개폐기는 평상시 오픈되어 있어 방사상 구조를 유지하다가 재구성 요인이 발생할 때 동작되어 필요한 작업을 수행한다.



<그림 1> 간선 및 연계·수지상 분기선의 구분

배전선로는 간선과 간선에서 분기된 분기선으로 구분하며, 각각 구분 개폐기를 설치하여 정전 범위를 축소할 수 있도록 되어있다. 간선 및 간선에서 분기된 분기선은 사고시 부하절체가 용이하도록 100% 연계율을 두어 운전하고 있으며, 분기선중 공장이 비교적 짧고 연계가 용이하지 않을 경우에는 수지상으로 분기선을 운영하고 있다.

일반적으로 간선 및 연계된 분기선에서 사고가 발생하였을 경우, 사고지점은 사고지점 전후에 설치된 개폐기에 의하여 분리된다. 이때 사고구간의 전원측 건전구간은 해당 변전소로부터 전력을 공급받고, 사고구간 이후의 부하측 건전구간은 인접한 선로와의 연계를 통하여 전력을 공급받는다.

그러나, 인접선로와 연계되지 않고 수지상 선로 형태로 되어 있는 분기선에서 사고가 발생시 사고구간 이후의

부하측 건전구간은 전력을 공급 받을수 없어 사고구간의 고장복구가 완료될 때까지 수용가는 정전을 경험하게 된다.

따라서 간선 및 연계된 분기선의 개폐기 설치효과는 연계율에 따라 크게 좌우되고, 수지상 분기선은 100% 연계가 되어 있지 않아 연계율은 영이 된다.

사고 및 작업정시 정전범위 축소를 위하여 한국전력에서는 다음과 같이 배전선로의 간선 및 분기선에 구분 개폐기 설치기준을 두고 있다[4].

<표 1> 개폐기 설치기준

구분		A지역	B지역	C지역
부설 기준	간선	0.5km/대	1 km/대	3 km/대
	분기선	5경간 이상	10경간 이상	40경간 이상

(주) 1. 분기점은 3상 분기선로를 기준함.

(주) 2. 지역의 구분은 다음과 같이 한다.

A 지역 : 대도시의 변화가 및 시가지, 주택밀집지역, 공단

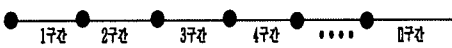
B 지역 : 중소도시, 군,읍소재지의 시가지, 대도시의 외곽지역

C 지역 : A, B 이외의 기타지역

3. 수지상 분기선의 개폐기 설치 기준 분석

3.1 수지상 분기선의 개폐기 설치 효과

배전선로 수지상 분기선에 개폐기 설치에 따른 구분효과를 분석하기 위하여 n 개로 구분한 수지상 선로를 그림 2에 나타내었다.



<그림 2> n 개로 구분된 수지상 분기선로

구분된 구간의 사고발생 확률 λ 가 동일하다고 하면, 1 구간 사고에 대하여 정전이 발생하는 수용호수는 다음과 같다.

$$R_1 = \lambda \times L_1 \times C$$

여기서, R_1 : 1구간 사고에 대한 정전 수용가수

L_1 : 1구간의 선로 공장[km]

C : 총 수용가수 (또는 부하량)

수용가가 선로에 균일하게 분포되어 있다고 가정하면, 2 구간 사고에 대하여 정전이 발생하는 수용가 R_2 와 3 구간 사고에 대하여 정전이 발생하는 수용가 R_3 는 다음과 같다.

$$R_2 = \lambda \times L_2 \times C \times \frac{L-L_1}{L}$$

$$R_3 = \lambda \times L_3 \times C \times \frac{L-(L_1+L_2)}{L}$$

여기서, L : 총 선로 공장[km]

따라서, 구간 n 사고에 대하여 정전이 발생하는 수용가 R_n 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_n = \lambda \times L_n \times C \times \frac{L-(L_1+L_2+\dots+L_{n-1})}{L}$$

$$= \lambda \times L_n \times C \times \frac{L_n}{L}$$

각 구간에서 발생하는 사고가 독립적이며 연간 발생하는 수용가 정전호수 R_n 는 각 사고에 대한 정전호수의 합이 된다.

$$R_s = \lambda \times L_1 \times C + \lambda \times L_2 \times C \times \frac{L-L_1}{L} + \lambda \times L_3 \times C \times \frac{L-(L_1+L_2)}{L}$$

$$+ \dots + \lambda \times L_n \times C \times \frac{L_n}{L}$$

윗 식에서 $L_1=L_2=\dots=L_n=\frac{L}{n}$ 이라고 하면 R_s 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_s = \lambda \frac{L}{n} C + \lambda \frac{L}{n} C \left(\frac{L-\frac{L}{n}}{L} \right) + \dots + \lambda \frac{L}{n} C \frac{L}{L}$$

$$= \lambda \frac{L}{n} C \times \left\{ 1 + \frac{n-1}{n} + \frac{n-2}{n} + \dots + \frac{1}{n} \right\}$$

$$= \lambda \frac{L}{n} C \times \left(\frac{n+n-1+n-2+\dots+1}{n} \right)$$

$$= \lambda \frac{L}{n} C \times \left(\frac{1}{n} \frac{n(n+1)}{2} \right)$$

$$= \lambda LC \times \frac{(n+1)}{2n}$$

여기서 $\lambda \cdot L \cdot C$ 는 개폐기가 없는 경우에 발생한 사고에 대하여 정전을 경험하는 수용가 수이며, 이것을 R_0 라 놓으면 위 식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$R_s = \lambda LC \times \frac{(n+1)}{2n} = R_0 \times \frac{n+1}{2n}$$

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{n+1}{2n}$$

여기서, $\lambda LC = R_0$

3.2 향후 신뢰도를 만족하는 수지상 분기선 개폐기 설치 효과 분석

본 절에서는 현재 구분수와 이에 대응하는 현재 신뢰도를 바탕으로 미래의 신뢰도 목표값이 설정되었을 경우에, 이를 충족시키기 위한 향후 구분수를 나타내기 위하여 구분수에 따른 신뢰도 수식을 일반화하였다.

앞에서 살펴보았듯이, 개폐기가 설치되어 n 으로 구분되었을 경우의 신뢰도와 이에 대응하는 개폐기가 없을 경우의 신뢰도를 비교한 상대적인 신뢰도 $R(n)$ 은 다음과 같다.

$$R(n) = \frac{R_s(n)}{R_0} = \frac{n+1}{2n}$$

현재 구분수 n_P 에서 얻어진 현재 신뢰도가 R_P 이면, 향후 배전계통의 신뢰도 R_F 는 구분수가 n_F 일 때 충족될 수이다. 이것을 비례관계로 표시하면 다음과 같다.

$$R(n_P) : R_P = R(n_F) : R_F$$

여기서, n_P : 현재 구분수, n_F

: 향후 구분수

R_P : 현재 신뢰도

R_F : 향후 신뢰도
 $R(n_p)$: n_p 에서의 상대적인 신뢰도
 $R(n_F)$: n_F 에서의 상대적인 신뢰도

배전선로를 구분하지 않았을 경우의 신뢰도가 R_0 이고 배전선로를 구간수 n_p 로 구분하였을 경우의 신뢰도를 $R(n_p)$ 라 하면, $R(n_p)$ 는 구분수 n_p 에서의 신뢰도를 R_0 를 기준으로 하여 상대적으로 나타낸 것으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(n_p) = \frac{R_s(n_p)}{R_0}$$

$$R(n_F) = \frac{R_s(n_F)}{R_0}$$

여기서, R_0 : 구분하지 않았을 경우의 신뢰도

현재 구분수 n_p 에 대응하는 현재 신뢰도 $R(n_p)$ 와 향후 구분수 n_F 에 대응하는 향후 신뢰도 $R(n_F)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R(n_p) = \frac{n_p+1}{2n_p}$$

$$R(n_F) = \frac{n_F+1}{2n_F}$$

비례관계를 이용하여 향후 신뢰도 R_F 를 만족하는 구분수 n_F 를 결정하기 위하여 $R(n_F)$ 와 $R(n_p)$ 를 비례식에 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{n_p+1}{2n_p} : R_p = \frac{n_F+1}{2n_F} : R_F$$

윗 식을 n_F 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$R_p \times \frac{n_F+1}{2n_F} = R_F \times \frac{n_p+1}{2n_p}$$

$$n_F[2R_F(n_p+1) - 2R_p \cdot n_p] = 2R_p \cdot n_p$$

$$n_F = \frac{R_p \cdot n_p}{n_p(R_F - R_p) + R_F}$$

향후 구분수 n_F 는 양의 값을 갖아야 하므로 윗 식의 분모는 항상 0보다 큰 값이 되어야 한다. 이 관계를 향후 신뢰도 R_F 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$n_p(R_F - R_p) + R_F > 0$$

$$R_F > \frac{R_p \cdot n_p}{n_p+1}$$

따라서, 인근선로와 연계되지 않은 수지상 분기선에서 향후 신뢰도를 만족하기 위하여 필요한 향후 구분수는 다음과 같다.

$$n_F = \frac{R_p \cdot n_p}{n_p(R_F - R_p) + R_F}$$

단, $R_F > \frac{R_p \cdot n_p}{n_p+1}$

윗 식은 현재 구분수와 이에 대응하는 현재 신뢰도를 바탕으로 미래의 신뢰도 목표값이 설정되었을 경우에, 이를 충족시키기 위한 향후 개폐기 설치에 따른 구분수를

나타낸 것이다.

수지상 분기선에서 신뢰도는 현재 신뢰도 R_p 의 $n_p/(n_p+1)$ 이하로 향상시킬 수 없다. 즉, n_p 로 구분되어 있고 인근선로와 연계 되어있지 않은 수지상 선로에서 이룰 수 있는 최상의 신뢰도는 현재 신뢰도의 $n_p/(n_p+1)$ 이다.

3.3 향후 신뢰도를 만족하는 수지상 분기선의 개폐기 설치 효과 분석

현재 한국전력 배전부문의 호당정전시간(분/호)은 20분이다[5]. 호당정전시간만을 고려하였을 경우 신뢰도 지수는 일본을 제외하고 세계 최고 수준이라고 할 수 있다. 일본의 호당정전시간은 5분이다. 따라서 한국전력의 향후 10년 후의 신뢰도를 상향 조정하여 고장호당정전시간을 15분으로 하기 위한 수지상 분기선에서의 구분 개폐기 설치 기준을 검토하였다.

<표 2> 수지상 분기선 개폐기 설치에 의한 구분

수지상 분기선의 구분		A지역	B지역	C지역
현 설치현황	선로당 평균 구분수	1	1	1
	평균 구분 공장[KM]	0.35	1.2	2.4
향후 설치기준	선로당 평균 구분수	2	2	2
	평균 구분 공장[KM]	0.175	0.6	1.2

현재 지역별로 평균 1구간으로 구분된 수지상의 배전 계통의 신뢰도 즉, 호당 고장정전시간은 20[min]이다.

대상 선로의 정전시간을 구분수를 늘려 15[min]으로 단축시키고자 한다면, 이 계통에서 필요한 구분수는 현재 평균구분의 2배인 2구분이 된다.

따라서 구분수를 두배로 높이기 위하여 평균 구분 공장을 A, B, C 지역별로 각각 0.175km, 0.6km, 1.2km 로 두어야 한다.

$$n_F = \frac{R_p \cdot n_p}{n_p(R_F - R_p) + R_F}$$

$$= \frac{20 \cdot 1}{1(15 - 20) + 15}$$

$$= 2.0[\text{구분}]$$

여기서, $n_p = 1$

$$R_p = 20[\text{min}]$$

$$R_F = 15[\text{min}]$$

아울러, 이 계통에서는 아무리 수지상 분기선에 개폐기를 많이 설치하여 구분수를 늘려도 정전시간을 10[min] 이하로 단축시킬 수 없음을 알 수 있다.

$$R_F > \frac{R_p \cdot n_p}{n_p+1} = \frac{20 \cdot 1}{1+1} = 10[\text{min}]$$

5. 결 론

본 논문에서 배전계통의 신뢰도는 수지상 분기선에서 개폐기 수가 증가할수록 개폐기를 설치하지 않은 선로에 비해 개선된다는 것을 확인하였다.

수지상 분기선에서의 구분 효과 분석결과를 적용하여

현재 구분수와 이에 대응하는 현재 신뢰도를 바탕으로 미래의 신뢰도 목표값이 설정되었을 경우에, 이를 충족시키기 위한 향후 구분수를 구할 수 있는 수식을 제시하였다.

한국전력의 현 개폐기 설치 현황을 토대로 향후 신뢰도 목표치에 도달하기 위한 수지상선로의 구분개폐기 설치기준을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사 전력연구원, "배전자동화 알고리즘 정립 및 표준화 연구", 한국전력공사, KRC-91D-J01, pp69-97, 1993. 5.
- [2] 한국전력공사 기술연구원, "대용량 배전에 관한 연구", 한국전력공사, KRC-88D-J01, pp33, 1991. 7.
- [3] 한국전력공사 배전처, "22.9kV-Y 배전선로 적정운전 용량 기준선정에 관한 연구", 한국전력공사, EESRI-93P-109, pp158-189, 1999. 7.
- [4] 한국전력공사 품질보증실, "설계기준 3600(배전분야)-개폐 및 보호장치와 콘덴서", 한국전력공사, 97본사단-181, pp1, 1999. 7.
- [5] 한국전력공사 배전처, "배전실무 교육교재", 한국전력공사, 배전처, pp3, 2001. 3.