간선 및 분기선의 개폐기 설치 효과 분석(II)

조남훈. 오재형 전력연구원
이흥호 충남대학교

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

Namhun Cho. Boknam Ha Heung-Ho Lee

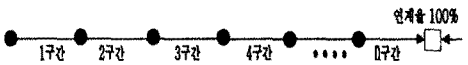
Abstract - In this study, we evaluate the effectiveness of a switch installation between on the radial and loop lateral feeders to increase reliability by decreasing the duration of the outage. These results can help power utility to design the switch layouts on the radial and loop lateral feeder system.

Key Words : feeder system, branch feeder, radial feeder, loop feeder, reliability

1. 간선 및 연계된 분기선의 개폐기 설치 효과

1.1 간선 및 연계된 분기선의 개폐기 설치 효과

배전선로의 간선 및 연계된 분기선에서 개폐기 설치 효과를 분석하기 위하여 n개의 구간으로 구분되어 인접 선로와 100% 연계된 선로를 그림 1에 나타내었다.



<그림 1> n개로 구분된 간선 및 연계된 분기선로

분기선과 동일하게 각 구간의 사고발생 확률 λ가 동일하고 수용가가 선로에 균일하게 분포되어 있다고 가정하면, 1구간 사고에 대한 정전량은 R_1은 다음과 같다.

$$R_1 = \lambda \times L_1 \times C \times \frac{L_1}{L}$$

마찬가지로 2구간, 3구간 및 n 구간 사고에 대해서도 사고 구간만이 정전이 되기 때문에 정전호수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

$$R_3 = \lambda \times L_3 \times C \times \frac{L_3}{L}$$

$$R_3 = \lambda \times L_n \times C \times \frac{L_n}{L}$$

각 구간에서 발생하는 사고가 독립적이라고 하면 년간 발생하는 수용가 정전호수 R_s는 각 사고에 대한 정전호수의 합이 된다.

$$R_s = \lambda \times L_1 \times C \times \frac{L_1}{L} + \lambda \times L_2 \times C \times \frac{L_2}{L} + \cdots + \lambda \times L_n \times C \times \frac{L_n}{L}$$

$L_1 = L_2 = \cdots = L_n = \frac{L}{n}$ 이라고 하면 다음과 같이 정리된다.

$$R_s \lambda \frac{L}{n} C\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n} + \cdots + \frac{1}{n}\right) = \frac{\lambda LC}{n} = \frac{R_0}{n}$$

여기서, $\lambda LC = R_0$

간선 및 연계된 분기선에서의 사고가 발생하였을 경우, 사고 구간만이 정전되는 배전선로에서 신뢰도 목표값을 충족시키기 위하여 필요한 향후 구간 구분 수는 향후 신뢰도에 완전히 반비례한다는 것을 알 수 있다. 이것은 간선에 개폐기 설치로 구간을 구분함에 따라 신뢰도가 크게 향상된다는 것을 의미한다.

n구간으로 구분된 간선의 상대적인 신뢰도 $R(n)$은 다음과 같다.

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

1.2 향후 신뢰도를 만족하는 간선 및 연계된 분기선의 개폐기 설치 기준

현재 구분수 n_P에 대응하는 현재 신뢰도 $R(n_P)$와 향후 구분수 n_F에 대응하는 향후 신뢰도 $R(n_F)$를 비례식에 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{n_P} : R_P = \frac{1}{n_F} : R_F$$

향후 신뢰도 R_F을 만족하는 구분수 n_F을 결정하기 위하여 n_F에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$R_P \times \frac{1}{n_F} = R_F \times \frac{1}{n_P}$$

$$n_F = \frac{R_P \cdot n_P}{R_F}$$

1.3 향후 신뢰도를 만족하는 간선 및 연계된 분기선의 개폐기 설치 기준 적용

분기선에서 고찰하였던 경우와 동일한 사례에 대하여 계산한 결과를 간선 및 연계된 분기선에서 보였다.

<표 1> 간선 및 연계된 분기선에서 개폐기 설치에 의한 구분

간선 및 연계된 분기선의 구분		A지역	B지역	C지역
현 설치현황	선로당 평균 긍장[km]	6	10	20
	선로당 평균 구분수	11	11	10
	평균 구분 긍장[km]	0.54	0.91	2.08
향후 설치기준	선로당 평균 구분수	14.6	14.6	13.3
	평균 구분 긍장[km]	0.4	0.7	1.5

$$n_F = \frac{R_P \cdot n_P}{R_F} = \frac{20 \cdot 11}{15} = 14.6[\text{구간}]$$

여기서, $n_P = 11$

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

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

현재 간선의 구분수를 약 1.4배로 늘리면 이론적으로 신뢰도 목표값 15[min]을 충족시킬 수 있음을 보였다.

2. 임의 연계율에 따른 설치 효과

지금까지 배전계통을 간선과 분기선으로 분류하여 개폐기 설치 효과를 보였다. 국내 배전계통은 운영기준에 따르면 항상 간선의 연계율은 100%가 된다. 하지만 현장의 특별한 여건으로 인하여 연계가 불충하여 연계율이 100%가 되지 못하는 배전선로도 있다. 본 절에서는 임의 연계율에 따른 개폐기 설치효과를 보였다. 1회선의 구간수가 n이고 개폐기로부터의 역송 가능한 구간수가 n_r일 경우, 1구간 사고에 대하여 역송 가능한 구간을 제외한 구간의 수용가에서 정전이 발생하므로 정전호수는 다음과 같다.

$$R_1 = \lambda \times L_1 \times (C_1 + C_2 + \cdots + C_{n-n_r-1} + C_{n-n_r})$$

여기서, C_n : n 구간의 수용가수

2구간 및 구간 n 사고에 대해서도 역송 가능한 구간을 제외한 구간의 수용가에서 정전이 발생하므로 정전호수는 다음과 같다.

$$R_2 = \lambda \times L_2 \times (C_2 + \cdots + C_{n-n_r-1} + C_{n-n_r})$$

$$\cdots$$

$$R_{n-n_r-1} = \lambda \times L_{n-n_r-1} \times (C_{n-n_r-1} + C_{n-n_r})$$

$$R_{n-n_r} = \lambda \times L_{n-n_r} \times (C_{n-n_r})$$

$$R_{n-n_r+1} = \lambda \times L_{n-n_r+1} \times C_{n-n_r+1})$$

$$\cdots$$

$$R_{n-1} = \lambda \times L_{n-1} \times (C_{n-1})$$

$$R_n = \lambda \times L_n \times (C_n)$$

여기서, n_r : 역송 가능한 구간수

$L_1 = L_2 = \cdots = L_n = \frac{L}{n}$ 이라고 하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} R_s &= R_1 + R_2 + \cdots + R_n \\ &= \lambda \frac{L}{n} \{C_1 + 2C_2 + 3C_3 + \cdots + (n-n_r-1)C_{n-n_r-1}\} \\ &\quad + \lambda \frac{L}{n} \{(n-n_r)C_{n-n_r} + C_{n-n_r+1} + \cdots + C_{n-1} + C_n\} \end{aligned}$$

수용가가 균등하게 분포되어 있고 각 구간의 긍장이 동일하다고 하면 각 구간의 수용가 수는 $C_1 = C_2 = \cdots = C_n = \frac{C}{n}$ 이 되기 때문에 전체 정전호수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_s &= \lambda \frac{L}{n} \frac{C}{n} \{1+2+3+\cdots+(n-n_r-1)\} \\ &\quad + \lambda \frac{L}{n} \frac{C}{n} \{(n-n_r)+[n-(n-n_r+1)+1]\} \\ &= \lambda \frac{L}{n} \frac{C}{n} \{1+2+3+\cdots+(n-n_r-1)\} + \lambda \frac{L}{n} \frac{C}{n} n \\ &= \lambda LC \frac{1}{n^2} \left(n + \sum_{j=1}^{n-n_r-1} j\right) = R_0 \frac{1}{n^2} \left(n + \sum_{j=1}^{n-n_r-1} j\right) \end{aligned}$$

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{1}{n^2} \left(n + \sum_{j=1}^{n-n_r-1} j\right)$$

여기서, $\lambda LC = R_0$

역송 용량이 제한된 선로에서 신뢰도 목표값을 달성하기 위하여 필요한 구분 수는 다음과 같다. n구분되고 역송받을 수 있는 구간수가 n_r인 선로의 상대적인 신뢰도 $R(n)$은 구분 구간수 n과 역송구간수 n_r의 함수로 나타낼 수 있다.

$$R(n, n_r) = \frac{R_s(n, n_r)}{R_0} = \frac{1}{n^2} \left(n + \sum_{j=1}^{n-n_r-1} j\right)$$

이것은 역송용량이 제한된 선로의 신뢰도는 구간수와 역송 구간수에 따라서 변화된다는 것을 의미한다. 현재 구분수 n_P, 현재 역송가능 구간수 n_{rP}에 대응하는 신뢰도 $R(n_P, n_{rP})$와 향후 구분수 n_F, 역송가능 구간수 n_{rF}에 대응하는 신뢰도 $R(n_F, n_{rF})$는 다음과 같다.

$$R(n_P, n_{rP}) = \frac{1}{n_P^2} \left(n_P + \sum_{j=1}^{n_P-n_{rP}-1} j\right)$$

$$R(n_F, n_{rF}) = \frac{1}{n_F^2} \left(n_F + \sum_{j=1}^{n_F-n_{rF}-1} j\right)$$

여기서, n_{rP} : 현재 역송가능한 구간수

n_{rF} : 향후 역송가능한 구간수

앞서 제시한 비례식을 역송용량을 고려하여 표현한 후, 상대적인 향후 신뢰도에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$R(n_P, n_{rP}) : R_P = R(n_F, n_{rF}) : R_F$$

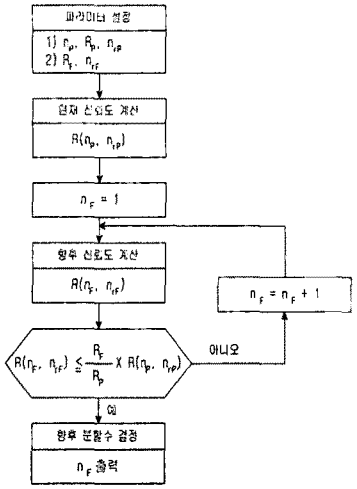
$$R(n_F, n_{rF}) = \frac{R_F}{R_P} \times R(n_P, n_{rP})$$

윗 식의 등호조건이 성립하는 n_F를 향후 구분수로 결정한다. 등호조건을 성립시키는 n_F를 찾을 수 없을 경우에는, 좌변의 상대적인 향후 신뢰도 $R(n_F, n_{rF})$을 우변의 $R_F \times R(n_P, n_{rP})/R_P$보다 작게 하는 n_F로 향후 구분수를 결정하면 신뢰도 목표값을 충족시킬 수 있다. 따라서, 향후 구분수 n_F는 다음 관계를 만족하는 수중에서 가장 작은 수(또는 양수)로 결정한다.

$$R(n_F, n_{rF}) \le \frac{R_F}{R_P} \times R(n_P, n_{rP})$$

단, $n_{rF} \ge n_{rP}$

그림 4에 역송용량이 제한된 선로에서 향후 신뢰도를 충족시킬 수 있는 구분수를 결정하는 과정을 도시하였다.



<그림 2> 향후 구분수를 결정하는 과정(역송용량 제한)

첫째, 향후 구분수 n_F를 결정하기 위하여 필요한 파라미터를 설정한다. 즉, 현재 운용중인 배전선로의 구분수 n_P, 신뢰도 R_P, 역송구간수 n_{rP}와 미래 배전계통의 신뢰도 목표값 R_F, 역송구간수 n_{rF}을 설정한다.

둘째, 현재 구분수와 역송구간수에 대응하는 신뢰도 $R(n_P, n_{rP})$를 계산한다.

셋째, n_F=1에 해당하는 향후 신뢰도 $R(1, n_{rF})$를 계산한다.

그 다음, $R(1, n_{rF}) \le R_F \times R(n_P, n_{rP})/R_P$ 조건이 만족하면 향후 구분수 n_F를 1로 결정한다. 조건이 만족되지 않으면, n_F를 증가시킨 후에 $R(n_F, n_{rF})$를 다시 계산하고 $R(n_F, n_{rF}) \le R_F \times R(n_P, n_{rP})/R_P$을 다시 비교한다.

증가되는 숫자는 일반적으로 1이 되나, 보다 세분화된 구분수를 얻고자 할 경에는 보다 작은 양수를 선택할 수 있다. 이와 같은 과정은 위의 조건이 충족될 때까지 계속 반복한다. 이해를 돕기 위하여 다음에 2가지 계산예를 보였다.

3구분이고 인근선로에서 역송받을 수 있는 구간이 사고구간을 제외한 나머지 구간의 50[%] 즉, 나머지 2구간 중에서 1구간만이 역송받을 수 있는 배전선로의 현재 정전시간이 22[min]이다. 이 선로에서 신뢰도 목표값 19[min]을 달성하기 위하여 필요한 향후 구분수는 향후 배전선로의 역송가능 구간수에 따라서 달라진다. 일례로서, 향후 배전선로가 사고구간을 제외한 나머지 구간의 50[%]에서 인근선로와의 연계를 통하여 역송이 가능한 경우와 100[%] 역송이 가능한 경우에 대하여 검토하였다.

그림 2 의 부등호 조건의 우변은 파라미터값을 대입하여 계산하면 다음과 같다.

$$\frac{R_F}{R_P} \times R(n_P, n_{rP}) = \frac{19}{22} \times \frac{1}{3^2}\left(3 + \sum_{j=1}^{3-1-1} j\right) = 0.3838$$

향후 배전선로의 역송가능 구간이 사고구간을 제외한 나머지 구간의 50[%]인 경우, n_F=1에 해당하는 향후 신뢰는 다음과 같다.

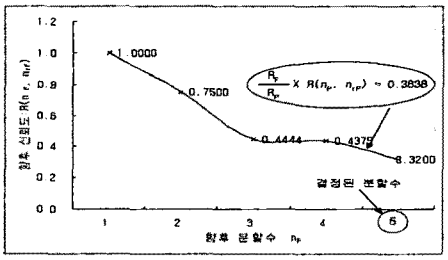
$$R(n_F, n_{rF}) = R(1, 0) = \frac{1}{1^2}(1+0) = 1$$

n_F=1인 경우에는 향후 신뢰도가 $R_F \times R(n_P, n_{rP})/R_P$ =0.3838보다 크기 때문에 신뢰도를 충족시킬 수 있는 조건을 만족시키지 못한다. 따라서, n_F을 1(또는 양의 상수) 증가시킨 후에 $R(n_F, n_{rF})$를 다시 계산하고 이를 다시 비교하는 과정을 조건이 만족될 때까지 반복한다.

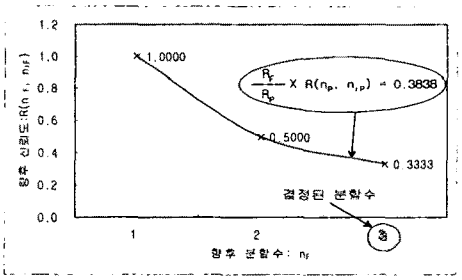
결국, n_F=5일 때 향후 신뢰도는 0.32로 조건을 만족시키므로 향후 구분수는 5로 결정한다. 이 과정을 그림 3에 도시하였다.

그림 4는 역송가능 구간이 100[%]인 경우 즉, 향후 배전선로가 사고구간을 제외한 전 구간에서 인근선로와의 연계를 통하여 전력을 공급받는 경우에 향후 구분수 n_F을 결정하는 과정을 도시한 것이다. 여기서, n_F=3일 경우에 조건을 만족하므로 100[%] 역송가능한 선로에서는 신뢰도 목표값을 달성하기 위하여 현재 3구분을 유지하면 된다. 다만, 현재의 역송가능 구간을 50[%]에서 100[%]로 향상시키는 노력이 요구된다.

$$R(n_F, n_{rF}) = R(3, 2) = \frac{1}{3^2}\left(3 + \sum_{j=1}^{3-2-1} j\right) = 0.3333$$



<그림 3> n_F를 결정하는 과정(예 : 역송가능구간 = 50[%])



<그림 4> n_F를 결정하는 과정(예 : 역송가능구간 = 100[%])

3. 결 론

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

그러나 분기선의 구분 효과는 간선에 비하여 작기 때문에 분기선에서의 신뢰도를 향상시키기 위하여 간선보다 많은 구분을 두어야 함을 보였다.

간선 및 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 루프선로 및 수지상선로의 구분개폐기 설치기준을 제시하였다.

임의 연계율에 따른 구분 효과를 분석할 수 있는 방안을 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 적정운전용량 기준선정에 관한 연구", 한국전력공사, EESRI-93P-109, pp158-189, 1999. 7.

[4] 한국전력공사 품질보증실, "설계기준 3600(배전분야)-개폐 및 보호장치와 콘덴사", 한국전력공사, 97 본사단-181, pp1, 1999. 7.

[5] 한국전력공사 배전처, "배전실무 교육교재", 한국전력공사, 배전처, pp3, 2001. 3.