

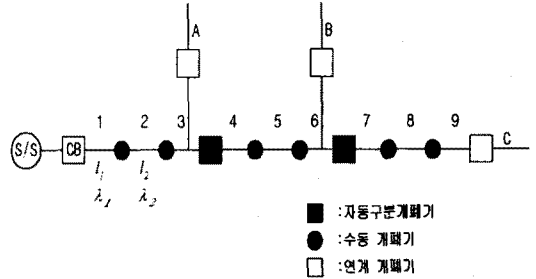
배전선로 공급 신뢰도에 관한 연구

조남훈, 윤태상, 하복남,  
전력연구원

Study for the reliability indices in the distribution system.

Namhun Cho, Taesang Yoon, Boknam Ha.

**Abstract** - The basic function of a modern electric power system is to provide electric power to its customers at the lowest possible cost with acceptable reliability levels. The two aspects of economics and reliability often conflict and present power system managers, planners and operators with a wide range of challenging problems. Utilities may also be willing to provide higher reliability of power supply at no increased customer cost. Decision-making is a difficult task. In this paper, we present a method to calculate the optimal values of reliability indices for sectionalizing distribution line.



〈그림 1〉 배전선로 모형 계통도

1. 서 론

배전선로에서의 공급신뢰도는 대부분 배전선로의 사고에 의해서 좌우된다. 배전선의 사고 요인으로 지지물, 전선, 변압기 등이 그 배전선에 얼마나 많이 설치되어 있는가에 따라서 결정된다. 선로의 사고발생 확률을 감소시키는 것이 정전시간, 정전횟수 및 연정전에너지 모두를 동시에 향상시키는 효과를 얻을 수 있으나, 현실적으로 선로 전체의 사고율 감소를 위해서 기기에 대한 신뢰성 향상에 많은 투자를 할 뿐 아니라, 배전 기자재의 신뢰도를 향상시키는 것에는 한계성이 있다. 따라서 본 논문에서는 배전계통의 최적 분할을 통하여 전력공급 신뢰도를 향상시키는 방안에 대한 연구 결과를 보였다.

2. 본 론

2.1 공급신뢰도 산출 기본수식 유도

분할 연계를 통한 배전계통의 신뢰도를 향상을 위한 식을 유도하기 위하여 몇가지 기본식을 정의하였다. 일 반적인 실 배전계통을 다음 〈그림 1〉에 보였다. 〈그림 1〉은 실 배전계통에서 구간 분할과 직접적인 관계가 있는 개폐기 종류의 기기로써 선로사고시 정전영역 및 횟 수를 줄이기 위한 자동구분개폐기, 건전구간 정전영역을 줄이기 위하여 설치된 수동개폐기 및 연계선로에서 부하 를 절체 받기위하여 설치된 연계개폐기를 조합하여 배전 선로의 모형 계통도를 보였다.

2.1.1 정전에너지 및 정전시간 산출

분할 연계를 통한 배전계통의 신뢰도를 향상을 위한 식을 유도하기 위하여 몇가지 기본식을 정의하고자 한 다. 정전에너지 및 정전시간 산출을 위하여 〈그림 1〉 배전선로 모형 계통도에서 임의구간에서 사고 발생시 정 전예상 에너지를 다음과 같이 각 구간 사고시의 총 정전 에너지의 합으로 표현하였다.

가. 임의 한 구간 사고시의 총 정전에너지

· 총정전에너지 = 설비용량(kVA) × 시간(hours)

$$E_1 = \frac{V_{a1} \times t_1 + V_{b1} \times r_1}{60} \text{ [kVA.Hours]}$$

여기서,

$V_{a1}$ : 절체에 의하여 송전 가능한 용량[kVA]

$V_{b1}$ : 1구간 사고시 절체 불가능한 용량[kVA]

$t_1$ : 사고시 절체 작업에 소요되는 시간[min]

$r_1$ : 사고시 복구 작업에 소요되는 시간[min]

나. 임의 한 구간 사고가 발생할 확률

$$P_1 = \lambda_1 \times l_1$$

여기서

$\lambda_1$ : 1구간의 연간 사고발생률[건/km.yer]

$l_1$ : 1구간의 선로 증명[km]

다. 1번 구간 사고시의 정전예상에너지

$$T_1 = P_1 \times E_1 = (\lambda_1 \times l_1) \times \frac{V_{a1} \times t_1 + V_{b1} \times r_1}{60}$$

라. 1~9구간 사고시의 총 정전예상 에너지

$$T = \sum_{i=1}^9 P_i \times E_i = \sum_{i=1}^9 \left[ (\lambda_i \times l_i) \times \frac{V_{ai} \times t_i + V_{bi} \times r_i}{60} \right]$$

여기서,  $n$  은 총 구간수이다.

kVA당의 년평균 정전시간을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$kVA\text{당 년평균정전시간} = \frac{\text{총 정전예상 에너지}}{\text{총 설비 용량}}$$

### 2.1.2 자동구분개폐기 고려

자동구분개폐기를 고려하였을 경우는 사고대상 용량이 사고영향권에 있는 사고대상용량으로 변하게 되므로 총 정전예상에너지를 사고 대상용량과 절체 불가능 용량으로 표현이 가능하다. 즉,  $V_{ai}$ 대신에  $V_i$ 와  $V_{bi}$ 로 표현할 수 있다. 따라서 <그림 1>에서 1~9구간 사고시의 총 정전예상 에너지 T를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} T &= \sum_{i=1}^n \left[ (\lambda_i \times l_i) \times \frac{V_{ai} \times t_i + V_{bi} \times r_i}{60} \right] \\ &= \sum_{i=1}^n \left[ (\lambda_i \times l_i) \times \frac{(V_i - V_{bi}) \times t_i + V_{bi} \times r_i}{60} \right] \\ &= \sum_{i=1}^n \left[ (\lambda_i \times l_i) \times V_i \times \frac{t_i}{60} \right] \\ &\quad + \sum_{i=1}^n \left[ (\lambda_i \times l_i) \times V_{bi} \times \frac{r_i - t_i}{60} \right] \end{aligned}$$

여기서,  $V_{ai} = V_i - V_{bi}$ 로 변형하여 상기 수식을 전개하였다. 또한  $V_{bi}$ 대신에  $V_i$ 와  $V_{ai}$ 로 표현할 수 있으므로 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} T &= \sum_{i=1}^n \left[ (\lambda_i \times l_i) \times \frac{V_{ai} \times t_i + V_{bi} \times r_i}{60} \right] \\ &= \sum_{i=1}^n \left[ (\lambda_i \times l_i) \times \frac{V_{ai} \times t_i + (V_i - V_{ai}) \times r_i}{60} \right] \\ &= \sum_{i=1}^n \left[ (\lambda_i \times l_i) \times V_i \times \frac{r_i}{60} \right] \\ &\quad + \sum_{i=1}^n \left[ (\lambda_i \times l_i) \times V_{ai} \times \frac{t_i - r_i}{60} \right] \end{aligned}$$

여기서,  $V_{bi} = V_i - V_{ai}$ 로 변형하여 상기 수식을 전개하였다. 상기 두 수식을 더욱 일반화 하기 위하여 배전선로 사고율, 절체시간, 복구시간이 각 구간에서 동일하다고 가정한다면

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \lambda_2 = \dots = \lambda \\ t_1 &= t_2 = \dots = t \\ r_1 &= r_2 = \dots = r \end{aligned}$$

이므로 총 정전예상 에너지를 사고대상용량과 절체 불가능 용량으로 다음과 같이 각각 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} T &= (\lambda \times \frac{t}{60}) \times \sum_{i=1}^n (l_i \times V_i) \\ &\quad + (\lambda \times \frac{r-t}{60}) \times \sum_{i=1}^n (l_i \times V_{bi}) \quad \text{식(1)} \end{aligned}$$

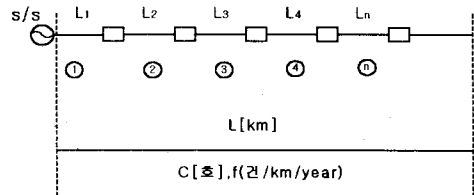
$$\begin{aligned} T &= (\lambda \times \frac{r}{60}) \times \sum_{i=1}^n (l_i \times V_i) \\ &\quad + (\lambda \times \frac{t-r}{60}) \times \sum_{i=1}^n (l_i \times V_{ai}) \quad \text{식(2)} \end{aligned}$$

상기 두 수식은 다음과 같은 사항을 보여주고 있다.

- 식(1)의 경우  $\sum_{i=1}^n [l_i + V_{bi}]$ 를 최소화
- 식(2)의 경우  $\sum_{i=1}^n [l_i + V_{ai}]$ 를 최대화 하여야 신뢰도가 향상됨
- 수동분할개폐기 설치에 따라  $V_{ai}, V_{bi}$ 의 값변함,  $V_i$ 는 불변
- 자동구분개폐기 설치에 따라  $V_i$ 가 변화
- 수동개폐기 설치에 따라  $V_{ai}, V_{bi}$ 가 변하게 되므로 수동개폐기 설치로 신뢰도 향상이 가능
- $V_{bi} \leq V_i$ 의 관계가 항상 만족되므로 자동구분개폐기에 의해 결정되는  $V_i$ 를 줄인후 수동개폐기는 이를 보완한다는 관점에서 적절히 설치해야 함

## 2.2 배전계통 최적분할

상기 식(1), (2)에서 배전계통을 적절히 분할함으로 신뢰도가 향상됨을 확인하였다. 배전계통을 분할하기 위해서는 것은 배전선로에 계통을 분할할 수 있는 개폐기를 설치하여야 한다. 개폐기를 추가 설치하게되면 추가설치된 개폐기로인한 사고확률 증가, 추가개폐기 설치공사비, 개폐기 유지보수비 등 설치된 개폐기를 운영하기 위해서는 여러 가지 추가 투자비용이 증가하게 된다. 따라서 경제성을 감안하여 최적의 개폐기로 선로를 운전하기 위하여 배전계통 최적분할에 대하여 분석하였다. 본 수식은 선로사고율, 선로공장, 수용가 부하량등을 상수로 두고, 단지 1분할과 신뢰도 효과만을 가지고 계산한 결과를 밝힌다. 따라서 향후 본 수식에 개폐기 종류, 지역 특성, 배전계통 운영시스템에 따른 개폐기 조작시간 등을 고려하여 실질적인 최적의 배전계통 분할 커브를 작성할 계획이다. <그림 2>에 전체길이 L, C[호], 사고발생율 F[건/km/yr]로 나타낼 수 있는 모의 배전계통도를 보였다.



<그림 2> 모의 배전계통도

<그림 2>의 각 구간에서 사고가 발생하였을 경우 사고량을 각각 R로 나타낸다면 각 구간에서의 사고량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_1 &= F \times L_1 \times C \\ R_2 &= F \times L_2 \times C \frac{L - L_1}{L} \\ R_3 &= F \times L_3 \times C \frac{L - (L_1 + L_2)}{L} \\ R_n &= F \times L_n \times C \frac{L - \sum_{i=1}^{n-1} L_i}{L} \end{aligned}$$

전 구간에서의 사고량은 각 구간의 사고량을 합한 것으로 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
R_s &= F \times L_1 \times C \\
&+ F \times L_2 \times C \frac{L - L_1}{L} \\
&+ F \times L_3 \times C \frac{L - (L_1 + L_2)}{L} \\
&+ F \times L_n \times C \frac{L - \sum_{i=1}^{n-1} L_i}{L}
\end{aligned}$$

여기서 if  $L_1 = L_2 = \dots = L_n = \frac{L}{n}$  이라면

$$\begin{aligned}
&= F \frac{L}{n} \left[ 1 + \frac{n-1}{n} + \frac{n-2}{n} + \dots + \frac{n-n}{n} \right] \\
&= F \frac{L}{n} \left( \frac{1}{n} \right) \left( \frac{n(2n + (n-1)(-1))}{2} \right) \\
&= \frac{n+1}{2n} FLC
\end{aligned}$$

상기 수식은 분할이 된 구간에 연계가 전혀 되지 않은 산악선로, 시골선로에 대한 결과를 보였다. 일반적으로 대부분 연계가 100%되어 있다고 볼 수 있다. 100%연계된 선로를 대상으로 분할효과를 수식으로 전개하면 다음과 같다.

여기서  $L_1 = L_2 = \dots = L_n = \frac{L}{n}$  로 두면, 각 구간에 서의 사고량의 합은 다음과 같은 식으로 나타내어진다.

$$\begin{aligned}
&F L_1 C \frac{L_1}{L}, F L_2 C \frac{L_2}{L}, \dots, F L_n C \frac{L_n}{L} \\
R_s &= \frac{FLC}{n} \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{n} + \dots + \frac{1}{n} \right) \\
&= FLC \frac{1}{n}
\end{aligned}$$

### 3. 결 론

배전계통의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 배전계통의 분할과 직접적인 관계가 있음을 확인하였으며, 일정한 계통의 분할의 효과는 비선형적이어서 최적의 효과를 보기 위하여 배전계통 운영자는 최적의 Gradient를 갖는 위치에서 분할의 수를 결정하여야 함을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- (1) T.P. Wangner, A.Y. Chikhani, R. Hackam, "FEEDER RECONFIGURATION FOR LOSS REDUCTION: AN APPLICATION OF DISTRIBUTION AUTOMATION", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 4, pp. 1922-1933, October 1991.