

## The Switch Installation Criteria For Satisfying Future Reliability Goal

趙南勳\* · 吳正桓\*\* · 河福男\*\*\* · 李興浩§

(Nam-Hun Cho · Jung-Hwan OH · Bok-Nam 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, Switch, Reliability

### 1. 서 론

일반적으로 개폐기 설치효과는 공장, 사고율, 부하량의 크기에 의하여 좌우되고 선로에 구분 개폐기를 설치시 신뢰도가 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 구분개폐기를 추가 설치하여 사고 및 작업 정전 범위를 좁히는 방법으로 배전계통의 신뢰도를 향상시키고 있다.

현재 한국전력 배전부문의 호당정전시간(분/호)은 20분, 일본의 호당정전시간은 5분이다[5]. 배전계통의 신뢰도 측면에서 호당정전시간만을 고려하였을 경우 한국의 신뢰도 지수는 일본을 제외하고 세계 최고 수준이라고 할 수 있다.

그러나 지속적으로 고품질의 전력을 공급하기 위하여 2010년 호당정전시간 15분을 목표로 하였을 경우 이 목표를 달성하기 위한 현 구분개폐기 설치 기준을 재검토할 필요성이 요구되어 왔다.

본 논문에서는 향후 신뢰도 목표를 만족하는 구분 개폐기 설치 기준을 제시하기 위하여 간선과 같이 인접선로와 연계되어 부하를 절체할 수 있는 연계된 선로(looped feeder)와 연계되지 않은 수지상 선로(radial feeder)으로 구분을 두어 구분개폐기 설치효과를 비교하였으며, 또한 연계율이 100%가 되지 않는 시골선로를 염두에 두어 임의 연계율[3]에 대한 구분 개폐기 설치 효과를 분석할 수 있는 방안을 제시하였다.

또한 구분 개폐기 설치에 따른 신뢰도 분석 결과를 기준으로 향후 전력회사가 목표하는 신뢰도에 도달하기 위한 구분개폐기 설치기준을 연계된 선로 및 수지상 선로로 구분하여 제시하였다.

본 논문 결과는 전력회사에서 향후 신뢰도 목표를 달성하기 위하여 필요한 구분 개폐기 설치 기준을 현 기준을 바탕으로 하여 새롭게 제정하기 위한 자료로 활용될 계획이다.

### 2. 배전계통 구성일반

일반적으로 배전계통은 루프(Loop)로 구성되어 있으면서 방사상 구성(Radial, Open Loop)으로 운전된다. 배전선로에 설치된 개폐기를 중 구분 개폐기는 항상 닫혀져 있어 전력을 공급할 수 있게 해주고, 부하절체를 위하여 설치된 연계 개폐기는 상시 오픈되어 방사상 구조를 유지하다가 사고 및 작업 등 재구성 요인이 발생할 때 동작되어 부하를 절체하거나 사고구간을 구분하는 역할을 한다.

\* 正 會 員 : 韓 國 電 力 公 社 電 力 研 究 院 先 任 研 究 員

\*\* 正 會 員 : LG 産 電 電 力 研 究 所 先 任 研 究 員

\*\*\* 正 會 員 : 韓 國 電 力 公 社 電 力 研 究 院 責 任 研 究 員

§ 正 會 員 : 忠 南 大 學 校 工 科 大 學 電 氣 工 學 科 教 授

接 受 日 字 : 2002 年 1 月 28 日

最 終 完 了 : 2002 年 7 月 26 日

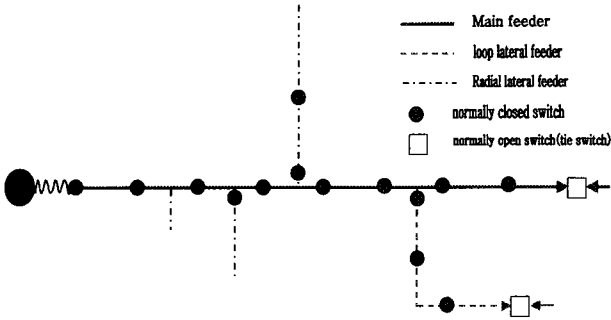


그림 1 간선 및 연계·수지상 분기선의 구분

Fig. 1 Definition of the main feeder and the loop·radial lateral feeder

일반적으로 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 선로의 연계율은 0%가 된다.

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

표 1 개폐기 설치기준

Table 1 Criteria in installing switches

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 번화가 및 시가지, 주택밀집지역, 공단

B 지역 : 중소도시, 군,읍소재지의 시가지, 대도시의 외곽지역

C 지역 : A, B 이외의 기타지역

### 3. 수지상 선로의 구분 개폐기 설치 효과 분석

#### 3.1 수지상 선로의 구분 개폐기 설치 효과 분석

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

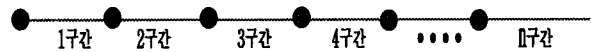


그림 2  $n$ 개로 구분된 수지상 분기선로

Fig. 2 Switches in dividing the feeder into  $n$  equal-length sections in a radial lateral feeder

구분된 구간의 사고발생 확률  $\lambda$ 가 동일하다고 하면, 1구간 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, 2구간 사고에 대하여 정전이 발생하는 수용가  $R_2$ 와 3구간 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  $R_s$ 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.

$$\begin{aligned}
 R_s &= \lambda \frac{L}{n} C + \lambda \frac{L}{n} C \left( \frac{L-\frac{L}{n}}{L} \right) + \dots + \lambda \frac{L}{n} C \frac{L}{L} \\
 &= \lambda \frac{L}{n} C \times \left( 1 + \frac{n-1}{n} + \frac{n-2}{n} + \dots + \frac{1}{n} \right) \\
 &= \lambda \frac{L}{n} C \times \left( \frac{n+n-1+n-2+\dots+1}{n} \right) \quad (1) \\
 &= \lambda \frac{L}{n} C \times \left( \frac{1}{n} \frac{n(n+1)}{2} \right) \\
 &= \lambda LC \times \frac{(n+1)}{2n}
 \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned}
 R_s &= \lambda LC \times \frac{(n+1)}{2n} = R_0 \times \frac{n+1}{2n} \\
 \frac{R_s}{R_0} &= \frac{n+1}{2n} \quad (2) \\
 \text{여기서, } \lambda LC &= R_0
 \end{aligned}$$

### 3.2 향후 신뢰도를 만족하는 수지상 선로의 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 구분에 따른 신뢰도 수식을 일반화하였다.

앞에서 살펴보았듯이, 개폐기가 설치되어 n으로 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 배전시스템의 신뢰도  $R_F$ 는 구분수가  $n_F$ 일 때 충족될 수 있다. 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  $R_s(n_p)$ 라 하면,  $R(n_p)$ 은 구분수  $n_p$ 에서의 신뢰도를  $R_0$ 를 기준으로 하여 상대적으로 나타낸 것으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R(n_p) &= \frac{R_s(n_p)}{R_0}, \\
 R(n_F) &= \frac{R_s(n_F)}{R_0}
 \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned}
 R(n_p) &= \frac{n_p+1}{2n_p}, \\
 R(n_F) &= \frac{n_F+1}{2n_F}
 \end{aligned}$$

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

$$\frac{n_p+1}{2n_p} : R_p = \frac{n_F+1}{2n_F} : R_F \quad (3)$$

윗 식(3)을  $n_F$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 R_p \times \frac{n_F+1}{2n_F} &= R_F \times \frac{n_p+1}{2n_p} \\
 n_F[2R_F(n_p+1) - 2R_p \cdot n_p] &= 2R_p \cdot n_p \\
 n_F &= \frac{R_p \cdot n_p}{n_p(R_F - R_p) + R_F}
 \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned}
 n_p(R_F - R_p) + R_F &> 0 \\
 R_F &> \frac{R_p \cdot n_p}{n_p+1}
 \end{aligned}$$

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

$$n_F = \frac{R_P \cdot n_P}{n_P(R_F - R_P) + R_F} \quad (4)$$

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 이를 수 있는 최상의 신뢰도는 현재 신뢰도의  $n_P/(n_P + 1)$ 이다.

### 3.3 제안된 수식의 응용

현재 한국전력 배전부문의 호당정전시간(분/호)은 20분이 다[5]. 향후 10년 후의 신뢰도를 상향 조정하여 호당정전시간을 15분으로 하기 위한 수지상 선로의 구분 개폐기 설치 기준 검토 결과는 다음과 같다.

표 2 수지상 분기선 개폐기 설치에 의한 구분

Table 2 The Number of section in a radial feeder

수지상 분기선의 구분	A지역	B지역	C지역
현 설치기준(경간)	5이상	10이상	40이상
향후 설치기준(경간)	3이상	5이상	20이상

현재 지역별로 평균 1구간으로 구분된 수지상의 배전계통의 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 구장을 A, B, C 지역별로 각각 3, 5, 20경간으로 두어야 한다.

$$n_F = \frac{R_P \cdot n_P}{n_P(R_F - R_P) + R_F} = \frac{20 \cdot 1}{1(15 - 20) + 15} = 2.0[\text{구간}]$$

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.

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

## 4. 연계된 선로의 구분 개폐기 설치 효과 분석

### 4.1 연계된 선로의 구분 개폐기 설치 효과 분석

배전선로의 간선 및 연계된 분기선에서 개폐기 설치 효과를 분석하기 위하여  $n$ 개의 구간으로 구분되어 인접선로와 100% 연계된 선로를 그림 3에 나타내었다.

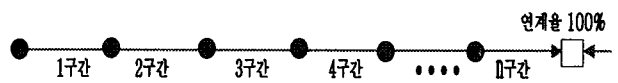


그림 3 n개로 구분된 간선 및 연계된 분기선로

Fig. 3 Switches in dividing the feeder into n equal-length sections in a main and loop lateral feeder

분기선과 동일하게 각 구간의 사고발생 확률  $\lambda$ 가 동일하고 수용가가 선로에 균일하게 분포되어 있다고 가정하면, 1 구간 사고에 대한 정전량은  $R_1$ 은 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.

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

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

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

각 구간에서 발생하는 사고가 독립적이라고 하면 연간 발생하는 수용가 정전호수  $R_s$ 는 각 사고에 대한 정전호수의 합이 된다.

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

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

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

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.

$n$ 구간으로 구분된 간선의 상대적인 신뢰도  $R(n)$ 은 다음 식(5)와 같다.

$$R(n) = \frac{R_s(n)}{R_0} = \frac{1}{n} \quad (5)$$

#### 4.2 향후 신뢰도를 만족하는 연계된 선로의 개폐기 설치 효과 분석

현재 구분수  $n_p$ 에 대응하는 현재 신뢰도  $R(n_p)$ 와 향후 구분수  $n_f$ 에 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  $R_f$ 을 만족하는 구분수  $n_f$ 을 결정하기 위하여  $n_f$ 에 대하여 정리하면 다음 식(6)과 같다.

$$R_p \times \frac{1}{n_f} = R_f \times \frac{1}{n_p}$$

$$n_f = \frac{R_p \cdot n_p}{R_f} \quad (6)$$

#### 4.3 제안된 수식의 응용

분기선에서 고찰하였던 경우와 동일한 사례에 대하여 계산한 결과를 연계된 선로에서 보였다.

표 3 연계된 선로에서 개폐기 설치에 의한 구분  
Table 3 The Number of section in a main and loop feeder

구분	A지역	B지역	C지역	
수동	$n_p$	0.66km/대	1.06km/대	1.95km/대
	$n_f$	0.5km/대	0.83km/대	1.60km/대
자동	$n_p$	3.5대 / 선로당		
	$n_f$	4.5대 / 선로당		

현재 배전선로 구분수를 약 1.3배로 늘리면 이론적으로 신뢰도 목표값 15[min]을 충족시킬 수 있음을 계산 결과로 보였다.

#### 5. 임의 연계율에 따른 설치 효과

지금까지 배전계통을 연계된 선로와 수지상 선로로 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  $n$ 이고 개폐기로부터의 역송 가능한 구간수가  $n_r$ 일 경우, 1구간 사고에 대하여 역송 가능한 구간을 제외한 구간의 수용가에서 정전이 발생하므로 정전호수는 다음과 같다.

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

여기서,  $C_n$  :  $n$  구간의 수용가수

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

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

$$\dots$$

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

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

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

$$\dots$$

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

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

여기서,  $n_r$  : 역송 가능한 구간수

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

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$= \lambda \frac{L}{n} \{ C_1 + 2C_2 + 3C_3 + \dots + (n - n_r - 1)C_{n-n_r-1} \}$$

$$+ \lambda \frac{L}{n} \{ (n - n_r)C_{n-n_r} + C_{n-n_r+1} + \dots + C_{n-1} + C_n \}$$

수용가가 균등하게 분포되어 있고 각 구간의 공장이 동일하다고 하면 각 구간의 수용가 수는

$C_1 = C_2 = \dots = C_n = \frac{C}{n}$  이 되기 때문에 전체 정전호수는 다음과 같다.

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

역송 용량이 제한된 선로에서 신뢰도 목표값을 달성하기 위하여 필요한 구분 수는 다음과 같다.  $n$ 구분되고 역송받을 수 있는 구간수가  $n_r$ 인 선로의 상대적인 신뢰도  $R(n)$ 은 구분 구간수  $n$ 과 역송구간수  $n_r$ 의 함수로 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(n, n_r) = \frac{R_s(n, n_r)}{R_0} = \frac{1}{n^2} \left( n + \sum_{j=1}^{n-n_r-1} j \right) \quad (7)$$

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.

$$\begin{aligned}
 R(n_p, n_{rP}) &= \frac{1}{n_p^2} \left( n_p + \sum_{j=1}^{n_p-n_{rP}-1} j \right) \\
 R(n_F, n_{rF}) &= \frac{1}{n_F^2} \left( n_F + \sum_{j=1}^{n_F-n_{rF}-1} j \right) \\
 \text{여기서, } n_{rP} &: \text{ 현재 역송가능한 구간수} \\
 n_{rF} &: \text{ 향후 역송가능한 구간수}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 R(n_p, n_{rP}) : R_p &= R(n_F, n_{rF}) : R_F \\
 R(n_F, n_{rF}) &= \frac{R_F}{R_p} \times R(n_p, n_{rP})
 \end{aligned}$$

윗 식의 등호조건이 성립하는  $n_F$ 를 향후 구분수로 결정한다. 등호조건을 성립시키는  $n_F$ 를 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  $n_F$ 로 향후 구분수를 결정하면 신뢰도 목표값을 충족시킬 수 있다. 따라서, 향후 구분수  $n_F$ 는 다음 관계를 만족하는 수중에서 가장 작은 수 (또는 양수)로 결정한다.

$$\begin{aligned}
 R(n_F, n_{rF}) &\leq \frac{R_F}{R_p} \times R(n_p, n_{rP}) \\
 \text{단, } n_{rF} &\geq n_{rP}
 \end{aligned}$$

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

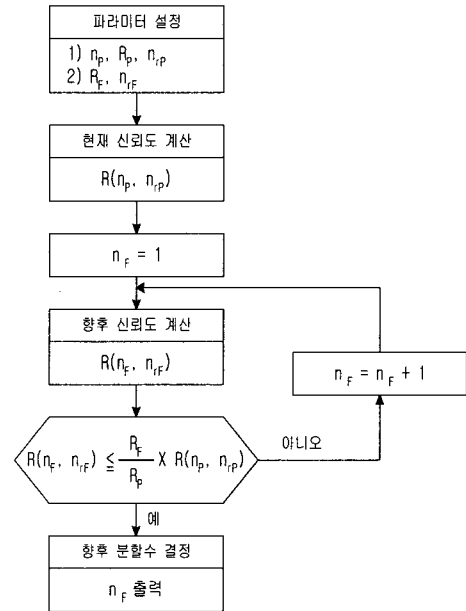


그림 4 향후 구분수를 결정하는 과정(역송용량 제한)  
Fig. 4 The process of future number  $n_F$  in dividing a line

첫째, 향후 구분수  $n_F$ 를 결정하기 위하여 필요한 파라미터를 설정한다. 즉, 현재 운용중인 배전선로의 구분수  $n_p$ , 신뢰도  $R_p$ , 역송구간수  $n_{rP}$ 와 미래 배전시스템의 신뢰도 목표값  $R_F$ , 역송구간수  $n_{rF}$ 를 설정한다.

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

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

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

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

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 사고 구간을 제외한 나머지 구간의 50[%]에서 인근선로와의 연계를 통하여 역송이 가능한 경우와 100[%] 역송이 가능한 경우에 대하여 검토하였다.

그림 4의 부등호 조건의 우변은 파라미터 값을 대입하여 계산하면 다음과 같다.

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

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

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

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

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

그림 6은 역송가능 구간이 100[%]인 경우 즉, 향후 배전선로가 사고구간을 제외한 전 구간에서 인근선로와의 연계를 통하여 전력을 공급받는 경우에 향후 구분수  $n_F$ 을 결정하는 과정을 도시한 것이다. 여기서,  $n_F=3$ 일 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.

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

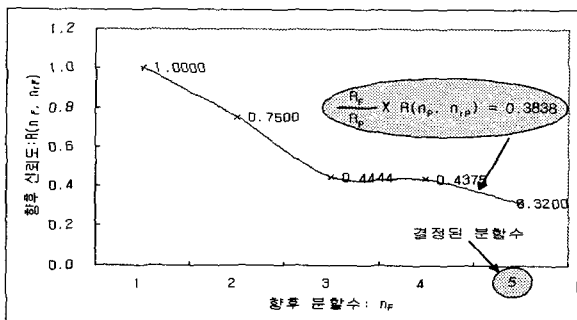


그림 5  $n_F$ 를 결정하는 과정(예 : 역송가능구간 = 50[%])

Fig. 5 The process of future number  $n_F$

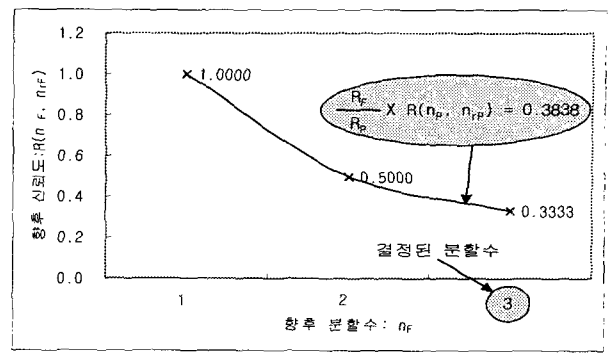


그림 6  $n_F$ 를 결정하는 과정(예 : 역송가능구간 = 100[%])

Fig. 6 The process of future number  $n_F$

### 6. 결론

본 논문에서 구분개폐기 수가 증가할수록 배전선로의 신뢰도는 개선된다는 것을 확인하였다.

그러나 수지상 선로의 구분 효과는 연계된 선로의 구분 효과에 비하여 상대적으로 작기 때문에 신뢰도를 향상만을 고려한다면 많은 구분을 두어야 하고, 경제성만을 고려한다면 연계된 선로보다 작은 수의 구분을 두어야 함을 보였다.

배전선로의 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 제안하였다.

제안된 수식을 이용하여 한국전력의 현 개폐기 설치 현황을 토대로 향후 신뢰도 목표치에 도달하기 위한 새로운 구분개폐기 설치기준을 제시하였다.

또한 지역 및 선로특성상 연계율이 100%가 되지 않는 배전선로를 고려하여 임의 연계율에 따른 구분 효과를 분석할 수 있는 계산 수법을 제시하였다.

### 참고 문헌

- [1] 한국전력공사 전력연구원, "배전자동화 알고리즘 정립 및 표준화 연구", 한국전력공사, KRC-91D-J01, pp. 69-97, 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 콘덴서", 한국전력공사, 97본사단-181, pp1, 1999. 7.
- [5] 한국전력공사 배전처, "배전실무 교육교재", 한국전력공사, 배전처, pp3, 2001. 3.

## 저 자 소 개



### 조 남 훈(趙南勳)

1965년 8월 16일생. 1993년 중앙대 전기공학과 졸업. 1992년~1995년 한국전력공사 안성지점근무, 1995년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : (042) 865 - 5904

E-mail : namhun@kepri.re.kr



### 오 정 환(吳正桓)

1971년 1월 17일생. 1994년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1996년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(박사). LG 산전 전력연구소 선임연구원



### 하 복 남(河福男)

1958년 1월 10일생. 1986년 대전산업대 전기공학과 졸업. 1994년 충남대 대학원 전기공학과 졸업. 1978년~1988 한국전력공사 대전전력 근무, 1989~현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원

Tel : (042) 865 - 5902

E-mail : bnha@kepri.re.kr



### 이 흥 호(李興浩)

1950년 10월 28일생. 1973년 서울대학교 공업교육과 졸업. 1977년 서울대학교 대학원 공업교육과 졸업. 1994년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사), 1983~84년 미국 플로리다공대 방문교수, 1979년~현재 충남대학교 공대 전기공학과 교수