

## 배전계통 연계에 따른 신뢰도 향상 분석

조남훈, 하복남, 강문호, 이흥호  
전력연구원, 충남대학교

### The Analysis For Reliability In Multi-dividing Multi-connecting High Power Distribution System

Namhun Cho, Boknam Ha, MoonHo Kang, Heung-Ho Lee

**Abstract** - Occasionally, equipment in a distribution system fails due to damage from weather, vandalism, or other causes. In addition, it is recommended practice to have some way in which maintenance or replacement of every element in a system can be performed without causing lengthy interruption of electrical service to the customers it feeds. Thus, alternate sources, paths, and configurations of service must be planned so that both failures and maintenance do not affect customer service beyond a reasonable amount. In some cases, planning for alternate routes of service during equipment outages or emergencies -- will be the major aspect influencing selection of a feeder's capacity, type of route, or layout. We want to know the relationship between multi-dividing multi-connection and distribution reliability for contingency support considerations.

#### 1. 서 론

최근 첨단 산업 설비 및 사회문명의 발전에 따라 전력 공급 신뢰성의 요청도 한 단계 높아지고 있다. 이를 위해 전력회사는 전력 공급 신뢰도 향상을 위해 적극적으로 노력하고 있다. 전력공급에서 신뢰도라 하면 일반적으로 적정주파수의 유지, 적정전압의 유지, 공급의 연속성의 3요소를 대표되나 전력공급설비의 최종단에 위치한 배전설비에 있어서 신뢰성의 최대의 증점은 "공급의 연속성"에 있다.

전력공급의 연속성 즉 전력공급의 지장감소를 위한 적절한 대책으로는 배전계통의 공급신뢰도를 정략적으로 파악하는 동시에 신뢰도 향상을 위한 효과적인 계수화를 행할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 배전계통의 "공급 연속성"에 한정하여 배전계통 신뢰도의 정량적 표현방법, 구분 개폐기에 의한 선로구분 및 연계에 따른 배전계통 신뢰도 변화 분석, 배전선로의 운전용량 상황운전에 따른 문제점으로 대두된 낮아진 신뢰도의 회복 방안을 선로 구분개폐기(수동개폐기, 배전자동화개폐기)의 연계를 통하여 향상시킬 수 있는 있음을 정량적으로 제시하였다.

#### 2. 본 론

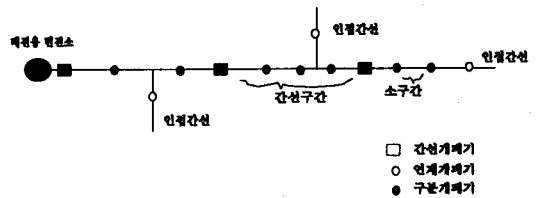
##### 2.1 배전계통 구성의 기본적 고려방안

배전선의 기본 형태는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 방사상이고, 계통구성은 간선사고시 사고구간의 축소화와 사고 발생 해당간선의 건전구간에 대한 역송으로 계통 신뢰도의 향상을 도모하기 위해

- 간선을 적당구간에서 분할 하는 개폐기
- 분할된 구간마다 인접간선에서 역송되도록 연계선(연

계개폐기)을 시설하는 것이 표준이다.

따라서 배전계통은 구분개폐기에서 적당수의 구간수를 분할하고, 각각의 구간은 연계선(연계개폐기)에서 인접간선과 연계된다. 간선사고시 건전구간은 연계선(연계개폐기)을 써서 인접간선에 부하를 절체 할 수 있는 다분할 다연계 방식을 적용한다.



<그림 1> 다분할 다연계 배전선로의 예

#### 2. 2 배전계통의 연계에 따른 신뢰도 분석

##### 2. 2. 1 신뢰도 계수화

신뢰도를 계수화하기 위하여 다음 두 가지 기본식을 적용하였다.

- 1 수용가당 연평균 정전횟수
- 1 수용가당 연 평균 정전시간

##### ※ 신뢰도 산출의 전제

- (1) 수용가(부하)는 선로에 균일하게 분포
- (2) 설비의 사고율(건수/고압급장·년)도 균일
- (3) 간선 사고시의 복구순서는 사고발생 구간에서 전원측의 건전구간은 전원측에서 송전
- (4) 사고발생구간은 인접간선의 유무에 관계없이 사고복구 후에 전원측으로 부터 송전
- (5) 사고발생구간에서 부하측의 건전구간은
  - 이 구간이 인접간선과 연계가 가능하면 인접간선에서 송전
  - 이 구간이 인접간선과 연계가 불가능 하면 사고점 복구 후 전원측에서 송전

배전선의 기본 계통방식은 수직상으로 구성된 Open Loop 방식으로 구성하여 간선 사고에 대한 배전선의 정전범위를 축소할 수 있는 분할과 연계선을 연결하는 다분할 다연계 방식으로 한다.

##### 2. 2. 2 간선단위 신뢰도 산출 일반식

산출식을 유도하기 위해서는 다음 경우를 전제하고 계산한다.

- 사고가 발생한 구간에서 전원측의 전원측의 건전구간 내 일 경우 연간 정전수용가 호별횟수(호별로 나누어

서)

- 사고발생 구간일 경우 연간 연 정전수용가 호별횟수 (호별로 나눠서)
  - 사고발생한 구간에서 부하측의 건전구간 내 일 경우 연 정전 수용가 호별횟수(호별로 나누어서)
    - 인접간선과 연계일 경우
    - 인접간선과 연계가 안될 경우
- 앞으로 사용하는 기호는 다음과 같다.

- $nf$  : 고압선의 사고율(건/고압선길이Km·년)
- $L$  : 고압선 길이(Km)
- $N$  : 구분개폐기에 의해 분할되는 구간수
- $\alpha$  : 연계율
- $t_0$  : 전원측 건전구간을 전원측에서 송전하는 시간(분)
- $t_1$  : 부하측 건전구간을 연계선에서 역송하는 시간(분)
- $t_2$  : 사고점 복구시간(분)
- $K_i$  : 계통방식(구분개폐기기능)에 의해 결정되는 정수( $K_i = 0$  or  $1$ )

연계율을  $\alpha$ 의 개념을 "구분 개폐기에서 고장을 제거시키는 전원측 건전구간의 발생수 대 인접간선과의 연계에 의한 사고시 절체가능한 부하측 건전구간의 발생수" 라 두었다. 이때 간선을 단위로한 1수용가당 연 평균정전횟수(NF) 및 연평균 정전시간(TF)의 일반식은 다음과 같다.

$$N_F = \frac{nfL}{2N} \{ K_1(N-1) + 2K_2 + K_3(N-1)\alpha + K_4(1-\alpha)(N-1) \}$$

$$T_F = \frac{nfL}{2N} \{ (N-1)t_0 + (N+1)t_2 + \alpha(N-1)(t_1 - t_2) \}$$

위식에서 간선의 계통방식별 신뢰도 산출식은 개폐기의 기능 및 계통의 특성에 의해 정해지는  $K_i$ 에 따라 다음과 같이 계산된다.

(1) 연계가 되어 있지 않고 수동개폐기로 구성된 계통

- 1 수용가당 정전횟수

$$N_F = nfL$$

- 1 수용가당 정전시간( $\alpha = \alpha$ )

$$T_F = \frac{nfL}{2N} \{ (N-1)t_0 + (N+1)t_2 + \alpha(N-1)(t_1 - t_2) \}$$

(2) 연계가 되어 있지 않고 자동개폐기로 구성된 계통

- 1 수용가당 정전횟수

$$N_F = \frac{N+1}{2N} nfL$$

- 1 수용가당 정전시간

$$T_F = \frac{nfL}{2N} [ (N-1)\alpha t_1 + \{ (N+1) - (N-1)\alpha \} t_2 ]$$

(3) 연계가 되어 있고 자동개폐기로 구성된 계통

- 1 수용가당 정전횟수

$$N_F = \frac{nfL}{2N} \{ (N+1) - (N-1)\alpha \}$$

- 1 수용가당 정전시간

$$T_F = \frac{nfL}{2N} [ \{ (N+1) - (N-1)\alpha \} t_2 ]$$

### 2. 3 지역단위의 계통여유도(적정간선율 $q$ )와 간선간 연계율

이제까지 연계 및 자동화개폐기에 따른 간선단위의 신뢰도를 보였다. 그러나 실제 배전계통에서의 연계는 일반적으로 수회선에서 수십회선의 간선에 의해 구성된 한 사업소 단위 규모 등 지역 단위내에서 더욱 큰 의미를 찾을 수 있다.

사업소등의 지역을 단위로한 고압계통의 신뢰도를 평가할 경우에는 지역을 구성하는 고압계이 수개에서 수십개의 간선으로 구성되는 것이기 때문에 간선을 단위로 하는 신뢰도 평가방법의 개발이 필요하다. 즉 간선마다 신뢰도의 평가방법은 간선으로 구성된 구간의 연계상황을 나타내는 구간연계율  $\alpha$ 에 의해 신뢰도의 계수화가 표현되므로 간선간의 연계율을 구간연계율과 같은 형태로 정의할 수 있다.

한편, 지역을 구성하는 각각의 간선에 대하여 인접간선과의 연계상황을 보는 것으로 전 간선(간선수  $N$ )이 적정한 간선(적정간선의 구간연계율  $\alpha=1$ 이고, 전간선에 대해  $q \times N$ 이 적정한 간선수가 된다.)이 되나, 일부 간선에 대하여 연계가 불충분하여 부하가 증가함에 의해 간선을 구성하는 구성의 일부 혹은 전부의 구간이 절체 불가능한 간선(구간연계율  $\alpha < 1$ 인 부적정 간선수는  $(1-q) \times N$ 회선)이 존재한다.

즉, 적정간선에 대해서는 전 구간에 절체 가능구간이 되나 부적정간선에 대해서도 일부절체 가능한 구간이 있을 수 있다. 그래서 해당지역 및 부적정간선의 절체가능 구간수는  $N(1-q) \times \Sigma B$ 로 된다.

이상의 지역일 경우 간선간의 연계율은 그 정의로부터 다음과 같이 보일 수 있다.

간선간 연계율  $\alpha$

$$= \frac{N \times q \times \Sigma A + N \times (1-q) \times \Sigma B}{N \times \Sigma A}$$

$$= q + (1-q) \frac{\Sigma B}{\Sigma A}$$

$$= q + (1-q) \frac{\Sigma A - \Sigma X}{\Sigma A}$$

$$= 1 - (1-q) \frac{\Sigma X}{\Sigma A}$$

$$= 1 - (1-q)\beta \quad \text{여기서, } \beta = \frac{\Sigma X}{\Sigma A}$$

여기서  $\beta$ 는 부적정 간선일 경우 구간의 절체불능 상태를 보이는 계수이다.

지역내의 간선수  $N$ 이라 할 때, 절체가능 간선수를  $Q$ 라 하면 적정간선율  $q$ 는  $Q/N$ 이 된다. 각 간선의 평균 구간을  $z$ , 부적정 간선에 있어서 평균 절체 불가능수  $k_0$ 로 두면

①  $Q$ 회선의 간선에 있어서, 연계율  $\alpha=1$ 이라 고려하고, 전구간이 절체가능하다고 두면 이 구간수는

$$Q \times \frac{z-1}{2}$$

②  $(N-Q)$  회선의 간선에 있어서 절체 불가능 수는

$$(N-Q) \left\{ \frac{(z-1+k_0)}{2} \right\} (z-k_0)$$

$$\alpha = \frac{Q \frac{z(z-1)}{2} + (N-Q) \left( \frac{z-k_0}{2} \frac{z+k_0-1}{2} \right)}{N \frac{z(z-1)}{2}}$$

$$= 1 - (1-q) \frac{k_0(k_0-1)}{z(z-1)}$$

$$= 1 - (1-q)\beta \quad \text{단, } \beta = \frac{k_0(k_0-1)}{z(z-1)}$$

## 2. 4 지역단위일 경우 신뢰도 산출 일반식

간선을 지역내의 간선구간으로 한다면 간선간 연계율  $\alpha$ 는 상기 다. 지역단위의 계통여유도(적정간선율  $q$ )와 간선간 연계율에 나타낸 식과 같이 표현된다. 따라서 나. 항의 산출일반식을 다.항의 식에 각각 대입한 지역 내일 경우 신뢰도 산출의 일반식과는 달리 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\cdot N = \frac{nfl}{2N} \{ K_1(N-1) + 2K_2 + K_3(N-1)(1-(1-q)\beta) + K_4(N-1)(1-q)\beta \}$$

$$\cdot T = \frac{nfl}{2N} [ (N-1)t_0 + (N+1)t_2 + \{1-(1-q)\beta\}(N-1)(t_1-t_2) ]$$

위식에서 간선의 계통방식별 신뢰도 산출식은 개폐기의 기능 및 계통의 특성에 의해 정해지는  $K_i$ 에 따라 다음과 같이 나타낸다. 해당지역내의 각종계통 방식이 혼합적으로 존재할 경우는 각 방식별의 신뢰도를 가중 평균한 것에 의해 종합 신뢰도가 산출된다.

(1) 연계가 되어 있지 않고 수동개폐기로 구성된 계통

$$\cdot 1 \text{ 수용가당 정전횟수}$$

$$\cdot N = nfl$$

$$\cdot 1 \text{ 수용가당 정전시간}$$

$$\cdot T = \frac{nfl}{2N} [ (N-1)t_0 + (N+1)t_2 + \{1-(1-q)\beta\}(N-1)(t_1-t_2) ]$$

(2) 연계가 되어 있지 않고 자동개폐기로 구성된 계통

$$\cdot 1 \text{ 수용가당 정전횟수}$$

$$\cdot N = \frac{nfl}{2N} (N+1)$$

$$\cdot 1 \text{ 수용가당 정전시간}$$

$$\cdot T = \frac{nfl}{2N} [ (N-1)\{1-(1-q)\beta\}t_1 + \{2+(N-1)(1-q)\beta\}t_2 ]$$

(3) 연계가 되어 있고 자동개폐기로 구성된 계통

$$\cdot 1 \text{ 수용가당 정전횟수}$$

$$\cdot N = \frac{nfl}{2N} \{ (N+1) - (N-1)\{1-(1-q)\beta\} \}$$

$$\cdot 1 \text{ 수용가당 정전시간}$$

$$\cdot T = \frac{nfl}{2N} \{ 2 + (N-1)(1-q)\beta \} t_2$$

## 3. 결 론

여러 가지 경제적인 잇점으로 인하여 배전계통 운전용량이 상향 조정되었다. 운전용량상향 조정에 따라 신뢰도가 저하가 불가피하였다. 배전선로의 신뢰도를 향상시키기 위한 방법으로 여러 가지 적용방법을 검토하여야 할 필요성이 대두됨에 따라 선로의 구분 및 분할에 따라 배전계통의 평균정전횟수 및 평균정전시간에 관한 신뢰도를 향상시킬 수 있음을 정량적인 방법으로 본 논문에서 보였다. 따라서 본 논문에서 제시한 결과에 의거하여 배전계통에서 최적의 신뢰도를 보장할 수 있는 방법으로 제시한 연계 방안에 대하여서 현장여건을 감안하여 지속적으로 연구가 진행될 예정이다.

## 참 고 문 헌

- (1) 타카다의 30인, "계통운영 · 신뢰도에 배전설비의 최적형성 수법에 관한 연구", 동경전력, pp1~75, 1975. 6