

# 국내 배전계통의 최적 개폐기 설치 기준(I)

조남훈, 오재형  
전력연구원

이흥호  
충남대학교

## The optimized standards and criteria for installing switches on distribution feeder

Namhun Cho, Boknam Ha

Heung-Ho Lee

**Abstract** - Utilities are trying to install the equipment of high quality to avoid deterioration of supply reliability. In addition, many sectionalizing switches which can decrease the total outage value for a fault are installed for the same reason. Therefore, utilities are interested in standards and criteria for installing switches to optimize the total cost on distribution systems. The affect of sectionalizing switches installed on distribution feeder is gradually decreased because the failure rate on distribution feeder is decreased. Also the automation for distribution systems is widely applied for the efficient operation. Therefore, the renewal for installation standards of sectionalizing switches is required to reflect the current operation situation. The variable data is used to consider the KEPCO's real situation of distribution feeder as follows; the feeder capacity, connecting rate, feeder length, failure rate of distribution feeder, the failure rate of switches, perception time of feeder fault, the restoration time for a faulted section, the transfer time to other feeders, and the switching time. In this study, We propose equations which can determine the number of sectionalizing switches for minimizing the outage and switch installation cost.

**Key Words** : Failure Rate, Distribution Configuration, Outage Cost, Sectionalizing Switches, Distribution Feeder

### 1. 서 론

공급지장비용을 적용하여 국내 배전계통의 최적 구분 개폐기 설치 수를 제시하기 위해서는 고장율에 따른 총 정전량 계산이 먼저 선행되어야 한다.

분할된 구간수, 선로운전용량, 지역별 선로 공장, 지역별 고장구간을 찾는 데 소요되는 시간, 고장발생시 건전전 구간을 이웃선로에 절체시킬 수 있는 연계율, 복구방안을 위한 부하절체 조작순서 작성시간, 부하 절체시 소요되는 개폐기 조작시간 수 등의 데이터를 이용하여 총 정전량을 구할 수 있는 표준 산출식을 제시하였다.

또한 수동개폐기와 자동화개폐기의 다양한 차이점을 표준 산출식에 적용하여 얻은 결과를 통하여 수동개폐기 취부효과와 자동화개폐기 취부효과를 명확히 구분하여

향후 개폐기 취부 방안을 제시하였다.

구간 분할에 따른 총 정전량 및 개폐기 투자비의 크기를 공급지장비용 및 공급비용 개념을 적용하여 총 비용이 최소가 되는 점에서 설비투자 규모를 결정하여 국내 배전계통의 지역별 개폐기 설치기준을 제시하였다.

### 2. 구간 분할에 따른 총 정전량 산출 기본식

구간분할 개폐기 취부 수에 따른 총 정전량을 산출 할 수 있는 표준 산출식을 도출하기 위하여 다음과 같은 몇 가지 전제가 필요하다.

- 수용가(부하)는 선로에 균일하게 분포
- 설비의 고장율(건수/고압공장·년)도 균일
- 선로 고장시의 복구 순서는 고장발생 구간에서 전원측 건전구간은 전원측에서 송전
- 고장발생 구간은 인접 간선의 유무에 관계없이 고장복구 후 전원측에서 송전
- 고장발생 구간에서 부하측 건전구간
  - 이 구간이 인접 간선과 연계가 가능하면 인접 간선에서 송전
  - 이 구간이 인접 간선과 연계가 불가능하면 고장점 복구 후 전원측에서 송전
- 배전선로의 기본 계통방식은 수지상으로 구성된 Open Loop 방식으로 고장시 배전선로의 정전범위를 축소할 수 있도록 분할과 연계선을 연결하는 다분할 다연계 방식으로 구성

#### 2.1 연계율

국내 배전계통은 상시 운전용량과 비상시 운전용량을 고려한 다분할 다연계 방식의 배전계통이다. 다분할 다연계 방식의 배전계통은 선로 고장시 연계선을 통하여 인접 구간의 부하를 분담하기 때문에, 고장시 절체 부하에 의하여 해당 선로의 허용 용량이 초과하지 않도록 하고 있다.

배전계통에서 연계율은 공급 신뢰도에 큰 영향을 미친다. 한국전력은 적절한 위치에 세 개의 연계점을 갖도록 배전계통을 구성하여 배전계통 간선의 연계율이 100%가 될 수 있도록 상시운전용량과 비상시 운전용량의 크기를 결정하였다[1].

그러나 전체 선로가 항상 절체 여력을 확보하는 것은 어느 정도 한계가 있으며, 부하 증가로 인하여 일부 선로에 대해서는 절체 불가능한 구간이 발생할 수 있다. 즉, 임의의 구간에서 고장이 발생하여 고장 구간을 분리한 후에 전원측 건전 구간은 변전소에서 송전이 가능하나, 고장 구간의 부하측 건전 구간에 대해서는 일부 또는 전부가 절체 불가능한 구간이 생길 수 있다.

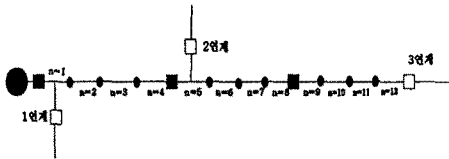
이러한 인접 선로와 연계 상황을 나타내는 지수로서 연계율을 사용한다. 연계율은 구분 개폐기에 의해서 고장이 제거되었을 경우에 발생하는 전원측 건전 구간 수에 대한 인접 선로와의 연계율을 통하여 절체 가능한 부하측

건전 구간 수로서 정의한다.

각 구간에서 고장이 발생했다고 가정할 후 고장 구간과 전원 사이의 건전 구간 수와 절체되어 복구되는 구간의 수를 이용하여 다음 식처럼 구간 연계율을 계산한다.

$$\text{연계율 } \alpha = \frac{\text{사고시 절체가 가능한 부하측 건전구간 수}}{\text{사고 제거후 전원측 건전구간 수}}$$

그림 1에 n구간으로 나누어진 모델 배전선로를 구성하여 각 구간별 고장 발생에 따른 각 구간의 상황을 파악하고 이를 토대로 연계율을 구하는 방법을 검토하였다.



<그림 1> n 구간 배전선로 모델

n구간 모델 선로에 대하여 각 구간별 고장 발생에 따른 각 구간의 절체 상황은 표 1과 같다고 가정한다. 여기서, 상태 상황 표시 기호 S는 전원측에서 송전하는 건전 구간을 나타내며, T는 인접 간선에서 역송되는 건전 구간, X는 절체 불가능 구간인 정전 구간, F는 고장 구간을 각각 나타낸다.

<표 1> 구간별 고장발생시 절체상황

구간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	F	X	X	X	T	T	T	T	T	T	T	T
2	S	F	X	X	T	T	T	T	T	T	T	T
3	S	S	F	X	T	T	T	T	T	T	T	T
4	S	S	S	F	T	T	T	T	T	T	T	T
5	S	S	S	S	F	X	X	T	T	T	T	T
6	S	S	S	S	S	F	X	X	T	T	T	T
7	S	S	S	S	S	S	F	X	T	T	T	T
8	S	S	S	S	S	S	S	F	T	T	T	T
9	S	S	S	S	S	S	S	S	F	T	T	T
10	S	S	S	S	S	S	S	S	S	F	T	T
11	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	F	T
12	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	F

$$\text{연계율 } \alpha = \frac{\sum T}{\sum S} = \frac{43}{55} = 0.78$$

여기서, 연계율이 1이면 배전선로의 모든 구간에서 부하 절체가 가능함을 의미한다.

만약 12개의 구간이 있는 계통에서 구간 5에서 고장이 발생했을 경우 구간 1부터 4까지는 고장 구간을 탐색한 후 개폐기를 구간 4와 구간 5 사이에 있는 개폐기를 열고 변전소 선로 차단기를 투입하여 즉시 전력을 공급할 수 있는 건전 구간이 된다.

구간 5는 고장 구간이 되고, 구간 6부터 구간 8까지는 운전용량의 제약조건 때문에 다른 피더로 절체되지 못해 전력이 공급되지 않은 구간이 되며, 구간 9에서 구간 12는 인접선로로부터 부하를 절체 받는 절체구간이 된다.

따라서, 고장이 발생하면 전체 구간을 건전 구간, 고장 구간, 절체 구간, 절체불능 구간으로 나눌 수 있으며, 각 구간의 선로 고장율을 적용하여 절체불능 구간으로 분류할 수 있다.

건전 구간과 절체 구간은 구간 수가 주어지면 쉽게 구할 수 있다. 건전 구간은 전원으로부터 고장 구간 사이에

있기 때문에 구간의 수가 n일 때 다음과 같다.

- 고장 발생된 구간에서 전원측 건전 구간의 전체 개수

$$\sum S = \frac{n(n-1)}{2}$$

- 고장 구간수는 모든 구간에서 고장이 발생했다고 가정했으므로 구간 수와 같게 되어 다음과 같다.

$$\sum F = n$$

- 고장 구간에서 부하측으로부터 인접 연계된 선로에서 절체 가능 구간의 전체 개수

$$\sum T = \sum S \alpha = \frac{n(n-1)}{2} \alpha$$

- 고장 구간에서 부하측에서 본 정전된 전체 구간수

$$\sum X = \sum S - \sum T$$

$$\sum X = \frac{n(n-1)}{2} (1-\alpha)$$

## 2.2 연계율을 고려한 총 정전량 표준 산출식

배전계통에서 고장 발생에 따른 총 정전량을 표준 산출식을 가지고 도출하기 위하여 다음과 같은 다양한 배전선로 현장 데이터가 필요하다. 표준 산출식에 고려된 요소는 다음과 같다.

- $f_l$  : 고압선의 고장율(건/고압선길이Km·년)
- $f_c$  : 개폐기 고장확률(건/년)
- $L$  : 선로공장(Km)
- $N$  : 구분 개폐기에 의해 분할되는 구간수( $N \geq 1$ )
- $\alpha$  : 연계율( $0 \leq \alpha \leq 1$ )
- $S$  : 선로의 상시운전용량 및 총 수용가 수
- $T_s$  : 전원측 건전구간 송전시간(분)
- $T_r$  : 부하측 건전구간 역송시간(분)
- $T_f$  : 고장구간 송전시간(분)
- $T_c$  : 절체불능구간 송전시간(분)

상기 고려 사항은 대부분 전력회사에 기 구축된 데이터를 활용할 수 있지만, 고장구간 탐색 시간과 연계율은 주어진 데이터와 여러 조건을 가지고 계산해야 한다. 고장 구간을 탐색하는 시간은 탐색 방법이나 동원되는 인원, 차량 등의 요인에 따라 결정되며, 운전원의 경험이나 지식 등이 탐색 과정에 반영되기도 한다. 본 연구에서는 고장 구간 탐색 평균 시간을 현장의 의견을 근거로 다음 표 2와 같이 정하였다[2].

연계율은 피더와 피더 사이의 연계된 비율을 나타내며, 공급 신뢰도 향상에 크게 영향을 미치는 파라메타이다. 본 식은 파라메타를 0에서 1까지 바꾸어 가면서 그 결과를 고찰할 수 있으나, 직관적인 이해를 위하여 이 파라메타를 일괄적으로 간선은 1, 분기선은 0으로 두었다.

<표 2> 국내 배전계통 기본 운전 정보

구분	수동선로	자동선로
선로 공장[A/B/C, Km]	[6/10/20 km]	
선로 운전용량[KVA]	10.000	
선로 연계율[%]	1	
고압선 고장율[건/Km·년]	0.015281	
개폐기 고장율[건/년]	0.0008	0.0016
출동시간[A/B/C 지역]	15/20/25 [분/건]	
고장구간 탐색[A/B/C 지역]	2/1/1 [분/Km]	1 [분/건]
고장점 탐색[A/B/C 지역]	2/1/1 [분/Km]	
변전소 CB 투입 시간[분]	5	5
부하절체 시간[분]	5	1
부하절체 조작순서 작성[분]	5	2
고장 복구시간[분]	40	40

구간분할에 따른 총 정전량을 분석할 수 있는 표준 산출식을 도출하기 위하여 배전선로에서 고장발생시 발생에서부터 고장복구까지의 절차를 수동선로, 자동화선로, 수동·자동혼재선로로 구분하여 일반화하였으며, 실제통에서의 고장처리 과정을 다음과 같이 4단계로 분류하였다. 본 논문에서 제시한 각 단계별 현장 데이터는 현장 여건에 따라 변할 수 있다.

1단계

전원측 건전구간 송전시간  $T_s$ 는 배전사령실에서 고장을 인지하고 고장 선로까지 출동하는 출동시간과 선로에서 고장구간 및 고장점을 찾는 후에 고장구간을 분리하고 변전소 CB를 투입하는 데 소요되는 시간이다. 일반적으로 고장선로까지 출동시간은 배전사업소마다 그 차이가 있지만 빠르게 잡아도 A, B, C 지역별 각각 15, 20, 25[분/건] 정도가 소요된다.

고장구간 및 고장점을 찾기 위한 평균 소요시간은 선로 공장, 구간개폐기 수 등에 따라서 결정되나 현장 선로 순시원의 경험과 지식 및 출동 가능한 현장 순시원의 수에 따라 고장구간을 찾는 방법이 상이하다.

따라서 다양한 경우를 엄밀하게 적용하기가 어려운 본 연구에서는 대도시를 고려한 A지역의 고장구간 탐색평균 시간을 2분/Km, 중소도시를 고려한 B지역의 고장구간 탐색평균 시간을 1분/Km, 농어촌을 고려한 C 지역의 평균 이동 시간은 1분/Km으로 두었으며, 배전자동화 선로는 고장구간탐색 기능이 있으므로 지역 및 선로 공장과 무관하게 고장구간 탐색시간을 1분으로 두었으며, 고장구간 내에서 고장점 탐색시간은 수동선로와 동일하게 두었다.

변전소 CB 투입 시간은 배전사령실에서 유선으로 변전소에 연락을 하여 전원측 건전구간에 송전을 하기까지 소요되는 시간으로 수동 및 배전자동화 선로 동일하게 각각 5분으로 두었다.

만일 변전소 CB 조작권이 자동화 시스템에 부여된다면 그 시간이 1분 정도면 충분하기 때문에 자동화시스템의 효과가 더욱 커질 것으로 기대된다.

2단계

부하측 건전구간 송전시간  $T_T$ 는 전원측 건전구간에 송전 후 고장구간 이후 부하측 건전구간에 인접선로로 절체하기 위하여 부하절체 조작서를 작성하고 개폐기를 조작하여 부하를 절체하는데 소요되는 시간으로 수동 선로에서는 사령원의 경험과 능력, 고장의 규모에 따라 그 시간이 다르지만 부하절체 조작 작성시간을 5분, 배전자동화 시스템에서는 2분을 적용하였다. 부하절체를 위한 개폐기 조작시간 시간도 수동선로에서는 5분, 배전자동화 선로에서는 1분을 각각 적용하였다.

3단계

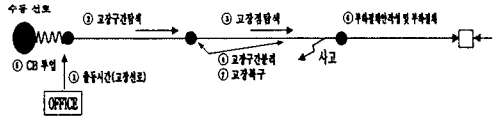
고장구간의 송전시간  $T_f$ 은 인접선로로부터 부하측의 건전구간을 송전한 후에 고장복구 시간이 추가되며, 자동화 선로에서는 정확한 고장점의 위치확인 및 고장복구를 위

하여 배전사령실에서 고장구간까지 출동하여 고장구간내에서 고장점을 찾는 시간이 고려되었다. 고장 복구시간은 수동, 자동화선로 동일하게 건당 40분을 두었다.

4단계

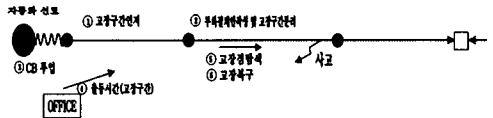
부하측 건전구간 중 연계율이 낮아 일부 부하를 인접선로로 절체하지 못하여 고장구간을 복구한 후에 전원측으로부터 송전을 받아야 하는 구간의 송전시간  $T_x$ 는, 일반적으로 고장구간이 송전됨과 동시에 송전된다.

○ 수동선로



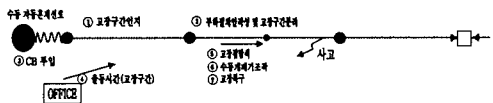
- $T_s =$  출동시간+고장구간탐색+고장구간분리+변전소 CB투입
- $T_T = T_s +$  부하절체 조작순서 작성 + 부하절체
- $T_f = T_T +$  고장점탐색 + 고장복구
- $T_x = T_f$

○ 자동화선로



- $T_s =$  고장구간인지+고장구간분리+변전소 CB투입
- $T_T = T_s +$  부하절체 조작순서 작성+부하절체
- $T_f = T_T +$  출동시간+고장점탐색+고장복구
- $T_x = T_f$

○ 수동·자동혼재선로



- $T_s =$  고장구간인지+고장구간분리+변전소 CB투입
- $T_T = T_s +$  부하절체 조작순서 작성+부하절체
- $T_f = T_T +$  출동시간+고장점탐색+수동개폐기조작+고장복구
- $T_x = T_f$

참 고 문 헌

[1] 한국전력공사 품질보증실, "설계기준 3001(총칙)-배전회선당 기준용량과 기준최대 공장", 한국전력공사, 97본사 단-181, pp9, 1999. 7.  
 [2] 한국전력공사 배전처, "2001년도 배전설비 고장분석 및 예방대책", 한국전력공사, 사내용, pp89, 2001. 5.

- 3] 한국전력공사 배전처, "2001년도 배전설비 고장분석 및 예방대책", 한국전력공사, 사내용, pp89, 2001. 5.
- 4] 하복남 외 다수, "신 배전자동화 시스템 개발 연구 최종 보고서", 전력연구원, pp.75, 2000. 5
- 5] 한국전력공사 기술품질처, "전압 및 정전시간 유지목표 설정에 관한 연구(최종보고서)", 한국전력공사, 연구보고서, pp170, 1999. 12.
- 6] 한국전력공사 전력연구원, "배전계통 구성 및 운영기준의 제·개정 에 관한 연구(중간보고서)", 한국전력공사, TM.00PS01.M2001.230, 2001. 6.
- 7] 한국전력공사 기술연구원, "대용량 배전에 관한 연구(최종보고서)", 한국전력공사, KRC88D-J01, 1991. 3.