

국내 배전계통의 최적 개폐기 설치 기준

論 文

51A-5-5

The Optimized Standards and Criteria for Installing Switches on Distribution Feeder

趙南勳* · 河福男** · 李興浩***
(Nam-Hun Cho · Bok-Nam 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 건전정전구간을 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 고장 복구 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 수직상으로 구성된 Open Loop 방식으로 고장시 배전선로의 정전범위를 축소할 수 있도록 분할과 연계선을 연결하는 다분할 다연계 방식으로 구성

가. 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 구

* 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 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 3月 12日

最終完了 : 2002年 4月 2日

간에서 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 제거 되었을 경우에 발생하는 전원측 건전 구간 수에 대한 인접 선로와의 연계를 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.

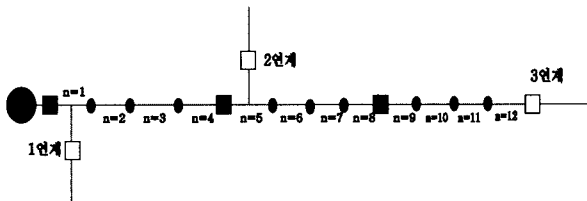


그림 1 n 구간 배전선로 모델
Fig. 1 n zonal distribution model

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
Table 1 Example of restoration from a zonal accident

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	X	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 인접 선로로부터 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 부하측으로 부터 인접 연계된 선로에서 절체 가능 구간의 전체 개수
$$\sum T = \sum S \times \alpha = \frac{n(n-1)}{2} \times \alpha$$

- 고장 구간에서 부하측에서 본 정전된 전체 구간수
$$\sum X = \sum S - \sum T$$

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

4. 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_s : 개폐기 고장확률(건/년)
- L : 선로구장(Km)
- N : 구분 개폐기에 의해 분할되는 구간수($N \geq 1$)
- α : 연계율($0 \leq \alpha \leq 1$)
- S : 선로의 상시운전용량 및 총 수용가 수
- T_s : 전원측 건전구간 송전시간(분)
- T_T : 부하측 건전구간 역송시간(분)
- T_f : 고장구간 송전시간 (분)
- T_x : 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 일반적으로 간선은 1, 분기선은 0으로 두었다.

표 2 국내 배전계통 기본 운전 정보
Table 2 Basic Information in Korea Distribution Line

구 분	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 찾은 후에 고장구간을 분리하고 변전소 CB를 투입하는데 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 어려워 본 연구에서는 대도시를 고려한 A지역의 고장구간 탐색평균 시간을 2분/Km, 중소도시를 고려한 B지역의 고장구간 탐색평균 시간을 1분/Km, 농어촌을 고려한 C 지역의 평균이동 시간은 1분/Km으로 두었으며, 배전자동화 선로는 고장구간탐색 기능이 있으므로 지역 및 선로 공장과 무관하게 고장구간 탐색 시간을 1분으로 두었으며, 고장구간내에서 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 건전구간을 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.

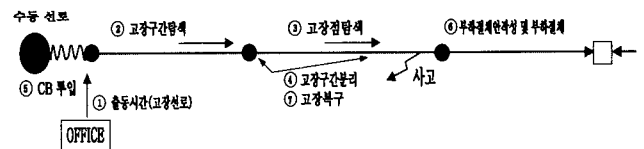
3단계

고장구간의 송전시간 T_f 은 인접선로로부터 부하측의 건전구간을 송전한 후에 고장복구 시간이 추가되며, 자동화선로에서는 정확한 고장점의 위치확인 및 고장복구를 위하여 배전사령실에서 고장구간까지 출동하여 고장구간내에서 고장점을 찾는 시간이 고려되었다. 고장 복구시간은 수동, 자동화선로 동일하게 건당 40분을 두었다.

4단계

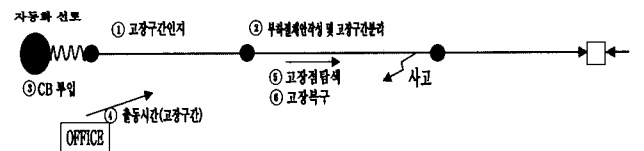
부하측 건전구간 중 연계율이 낮아 일부 부하를 인접선로로 절체하지 못하여 고장구간을 복구한 후에 전원측으로부터 송전을 받아야 하는 구간의 송전시간 T_x 는, 일반적으로 고장구간이 송전됨과 동시에 송전된다.

○ 수동선로



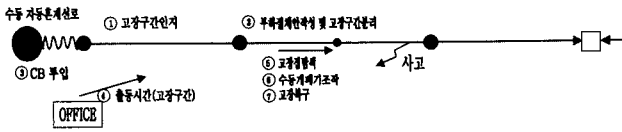
- T_S = 출동시간+고장구간탐색+고장구간분리+변전소 CB 투입
- T_T = T_S + 부하절체 조작순서 작성 + 부하절체
- T_f = T_T + 고장점탐색 + 고장복구
- T_x = T_f

○ 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 = 고장구간인자+고장구간분리+변전소 CB투입
- T_T = T_S + 부하절체 조작순서 작성+부하절체
- T_f = T_T + 출동시간+고장점탐색+수동개폐기조작+고장복구
- T_x = T_f

고장 발생시 정전구간은 위에서 정리한 것처럼 4단계로 구분할 수 있고 그림 1과 표 1을 토대로 정전 횟수와 정전 시간을 다음 표 3과 같이 구할 수 있다.

표 3 절체에 따른 정전횟수와 정전시간
Table 3 Outage time and number in transferring load

구분	총구간수	신뢰도	
		정전횟수	정전시간
절체능구간	전원측 권선구간 $\sum S = \frac{n(n-1)}{2}$	$\frac{n(n-1)}{2}$	$\frac{n(n-1)}{2} T_S$
	부하측 권선구간 $\sum T = \frac{n(n-1)}{2} a$	$\frac{n(n-1)}{2} a$	$\frac{n(n-1)}{2} a \cdot T_T$
절분능구간	고장구간 $\sum F = n$	n	$n \cdot T_f$
	부하측 권선구간 $\sum X = \frac{n(n-1)}{2} (1-a)$	$\frac{n(n-1)}{2} (1-a)$	$\frac{n(n-1)}{2} (1-a) \cdot T_x$

수용가당 정전 횟수는 전체 정전 수용가수를 전체 수용가수로 나누어 주면 된다. 전체 정전 수용가수는 표 3의 4구간을 합하면 된다. 선로 고장율에 선로 구장을 곱해서 선로의 고장 횟수를 얻을 수 있고 개폐기 고장율에 개폐기 수를 곱하면 개폐기 고장횟수를 얻을 수 있다. 따라서, 배전선로의 연간 고장 횟수를 구간분할을 고려하면 다음과 같다.

$$\cdot \text{년간 구간별 사고율} = \frac{L \cdot f_i + f_s(N-1)}{n}$$

각 구간별 운전용량 및 수용가수는 선로의 상시운전용량 및 전체수용가 호수를 구간수로 나눈 것으로 다음과 같다.

$$\cdot \text{구간별 수용가수, 운전용량} = \frac{S (\text{총수용가수, 선로상시운전용량})}{n}$$

선로 고장율에 의한 년간 총 정전회수는 년간 각 구간별 정전횟수의 합, 각 구간별 수용가수, 각 구간별 고장률로서 표 3의 정전회수를 정리하면 다음과 같다.

$$\cdot \text{총 정전회수} = \frac{S}{n} \left[\left\{ \frac{n(n-1)}{2} + \frac{n(n-1)}{2} \right\} + n + \frac{n(n-1)}{2} (1-a) \times \frac{L \cdot f_i + f_s(N-1)}{n} \right]$$

선로 고장율에 의한 년간 총 정전량(VA·Hour)은 년간 각 구간별 정전시간의 합, 각 구간별 수용가수(운전용량), 각 구간별 고장률로서 표 3의 정전시간을 정리하면 다음과 같다.

· 총 정전량

$$= \frac{S}{n} \left[\left\{ \frac{n(n-1)}{2} \cdot T_S + \frac{n(n-1)}{2} a \cdot T_T + n \cdot T_f \right\} + \frac{n(n-1)}{2} (1-a) \cdot T_x \right] \times \frac{L \cdot f_i + f_s(N-1)}{n}$$

따라서 수용가당 평균정전 횟수 및 평균정전 시간은 총 정전 횟수, 총 정전량을 전 수용가수 S로 나누면 된다.

· 수용가당 연평균정전횟수

$$= \frac{S}{n} \left[\left\{ \frac{n(n-1)}{2} + \frac{n(n-1)}{2} a + n \right\} + \frac{n(n-1)}{2} (1-a) \times \frac{L \cdot f_i + f_s(N-1)}{n} \right] \times \frac{1}{S}$$

· 수용가당 연평균정전시간

$$= \frac{S}{n} \left[\left\{ \frac{n(n-1)}{2} \cdot T_S + \frac{n(n-1)}{2} a \cdot T_T + n \cdot T_f + \frac{n(n-1)}{2} (1-a) \cdot T_x \right\} \times \frac{L \cdot f_i + f_s(N-1)}{n} \right] \times \frac{1}{S}$$

본 연구에서는 구간분할에 따른 총 정전량을 산정하여 국내 배전시스템의 공급지장비용을 추정할 수 있는 기본식을 제시하는 것에 그 목적을 두고 있음으로 수용가당 연평균정전 횟수 및 수용가당 연평균정전시간은 더 이상 다루지 않았다.

상기수식은 고장구간에 따라 고장구간 탐색시간이 변하게 됨으로 고장구간 탐색시간을 별도로 취급하면 다음과 같다.

- T_S' = 출동시간+고장점탐색+고장구간분리+변전소 CB 투입
- T_T' = T_S' + 부하절체 조작순서 작성+부하절체
- T_f' = T_T' + 고장복구
- T_x' = T_f'

· 총 정전량[VA·Hour]

$$= \frac{S}{n} \left[\left\{ \frac{n(n-1)}{2} \cdot T_S' + \frac{n(n-1)}{2} a \cdot T_T' + n \cdot T_f' \right\} + \frac{n(n-1)}{2} (1-a) \cdot T_x' \right] \times \frac{L \cdot f_i + f_s(n-1)}{60 \cdot n} + \left[\frac{L \cdot t \cdot S \cdot (n-1) \cdot \{L \cdot f_i + f_s(n-1)\}}{120 \cdot n} \right]$$

· [분/Km] : 단위 길이당 고장구간 탐색속도

상기 수식에서 구간이 1이라는 것은 선로에 구분개폐기가 설치되어 있지 않은 경우를 나타내므로 구간이 1일 경우에는 별도로 T_f 는 출동시간, 고장점 탐색시간, 고장복구시간만 고려하여 계산되도록 하였다.

배전시스템이 이상적이어서 조작시간, 출동시간, 절체시간 등 모든 조건들의 소요시간이 0이라 가정하고, 오직 고장복구시간과 연계율(a)만을 고려하였을 경우 다음과 같이 식을 간략화시킬 수 있다.

- 간선에서의 구간분할에 따른 총 정전량 ($\alpha=1$)

$$R = \frac{1}{n} \cdot \lambda \cdot T \cdot S$$

- 분기선에서의 구간분할에 따른 총 정전량 ($\alpha=0$)

$$R = \frac{(n+1)}{2n} \cdot \lambda \cdot T \cdot S$$

단, $\lambda = L \cdot f_i + f_s(N-1)$

상기 간략화된 수식은 현 배전계통에서 발생하는 다양한 고려 요소를 무시하였기 때문에 구간분할에 따른 실 배전계통의 정확한 총 정전량을 산정하기 위한 수식으로는 적합하지 않지만, 구간 분할에 따른 대략적인 경향을 파악할 수 있어 지금까지 구간분할에 따른 정전량 분석에 많이 적용되고 있다.

3. 고장 정전량을 고려한 수동 및 자동화 개폐기 부효과

배전선로에서 구간 분할을 위하여 취부되는 수동개폐기 역할은 작업정전이 많지 않은 현실을 감안할 때 고장발생시 고장구간을 분리하여 정전구간을 축소시키는 역할이 대부분이다. 가끔은 고장점을 발견하였을 때 주위에 개폐기가 없으면 사고주위에서 내장개소를 찾아 잠바를 분리하여 건전구간에 전력을 공급하는 경우도 있으나 정전구간 축소 측면에서 수동개폐기의 사용효과는 과거보다 훨씬 작음을 알 수 있다. 그러나 국내 배전계통은 언제든 일정 수준 고장이 발생함으로 수동개폐기를 취부하여 구간 분할을 고려하지 않을 수 없다.

자동화개폐기는 그 기능이 고장구간을 분할하여 정전구간을 축소시킬 뿐만 아니라 개폐기에 내장된 전류계측 기능을 통하여 고장시 고장전류를 인지하여 고장구간을 찾아내고, 구간별 부하를 계산하여 최적의 부하절체방안을 제시하고, 운전원이 현장에 출동하지 않고도 개폐기를 원격에 조작

표 4 구간수에 따른 수동 및 자동화 개폐기 취부 효과 비교

Table 4 Comparison of manual and auto switches according to the number of dividing

구간수	수동 개폐기			자동화 개폐기		
	총 정전량		호당 정전시간	총 정전량		호당 정전시간
	kVA*h	PU	[min]	kVA*h	PU	[min]
1	2,037	1.000	12.22	2,037	1.000	12.22
2	1,856	0.911	11.14	1,139	0.559	6.83
3	1,630	0.800	9.78	812	0.398	4.87
4	1,520	0.746	9.12	660	0.324	3.96
5	1,456	0.715	8.74	573	0.281	3.44
6	1,416	0.695	8.49	517	0.254	3.10
7	1,388	0.681	8.33	479	0.235	2.87
8	1,370	0.672	8.22	451	0.221	2.71
9	1,356	0.666	8.14	430	0.211	2.58
10	1,347	0.661	8.08	414	0.203	2.48
11	1,340	0.658	8.04	401	0.197	2.41
12	1,336	0.655	8.01	391	0.192	2.35
13	1,333	0.654	8.00	383	0.188	2.30
14	1,331	0.653	7.99	376	0.185	2.26
15	1,330	0.653	7.98	371	0.182	2.22
16	1,330	0.653	7.98	366	0.180	2.20

할 수 있으며 또한 개폐기 설치점에서부터 전류를 원격으로 측정하여 정확한 구간 부하량을 산정할 수 있을뿐 아니라 보호협조, 배전계통 최적화, 손실 최적화, 사고데이터 분석 및 다양한 배전설비 데이터를 이용하여 배전설비 이용율을 극대화시킬 수 있는 장점이 있다.

본 절에서는 자동화개폐기의 다양한 장점중 고장시 고장정전 축소 효과와 수동개폐기의 고장정전 축소 효과를 국내 배전계통의 고장율을 적용하여 비교 분석한 결과를 보였다.

수동 및 자동화개폐기의 고장정전 효과를 분석하기 위하여, B지역에 대한 표 2 국내 배전계통 기본 운전 정보를 아래 총 정전량 산출 표준식에 입력하여 계산한 결과를 표 4에 보였다.

표 4의 결과를 다음 그림 2에 보였다. 분석 결과 자동화개폐기의 빠른 고장점 탐색 기능으로 인하여 수동개폐기의 고장구간 축소 효과는 자동화 개폐기에 비하여 훨씬 작음을 알 수 있다.

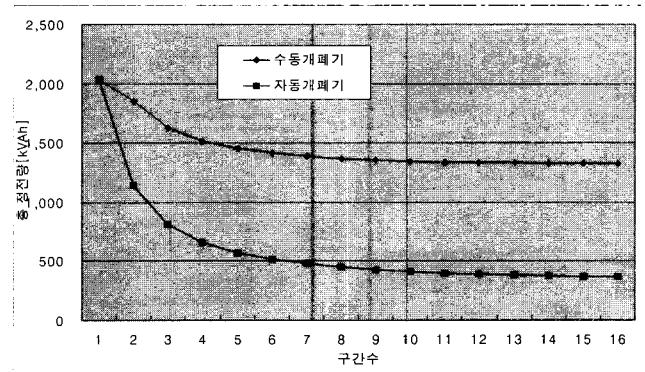


그림 2 구간수에 따른 수동 및 자동화 개폐기 취부 효과비교
Fig. 2 Comparison of manual and auto switches according to the number of dividing

4. 수동개폐기 및 자동화개폐기 설치 기준(안)

본 절에서는 구간 분할개폐기 취부에 따른 고장정전 감소(공급지장비용) 및 개폐기 취부(공급비용)를 고려하여 총 비용이 최소가 되는 점을 적정 설비 투자점으로 하여 계산하였다[3].

총 정전량을 공급지장비용으로 환산하기 위해서 평균 전력요금 단가, 공급지장비용은 최근 공급지장비용에 관한 연구 결과가 없어 국내 연구결과 중 최대값을 적용하였다.

개폐기 취부에 따른 연간 공급비용을 계산하기 위하여 개폐기 부설에 따른 총 비용 및 감가상각비를 고려하였다.

내용년수 동안의 연간 평균 투자비는 자본회수계수로부터 계산할 수 있고, 자본회수계수는 감가상각율과 수익률을 포함하는 것으로 설비의 내용년수와 투자재원의 이자율로부터 얻을 수 있는데, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다[4].

$$\text{자본회수계수} = \frac{r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

이때 r은 할인율, n은 내용년수를 각각 나타낸다.

할인율이란 미래의 비용을 현재 시점에서 본 가치로 환산하는 척도로서, 현재 한전에서 채택하고 있는 할인율 5%, 내용년수 30년을 적용하였을 경우 배전선로에 수동 및 자동화

개폐기 1대를 취부하는데 연간 투자되는 비용을 다음 표 5에 보였다.

표 5 공급지장비용 및 공급비용
Table 5 Outage Cost and Utility Cost

단위 : 원

구 분	수동선로	자동선로
전력요금 단가[Kwh/원]	74.64	
고장 지장비[배, 전력요금단가]	55	
개폐기 투자비[원]/대	229,985	546,741

- 수동개폐기를 설치하였을 경우 고장구간 축소외에도 하계 피크시 부하절체를 고려할 수 있으므로 운영상 얻는 이익과 수동개폐기 운영비를 동일하게 취급하여 운영비는 포함시키지 않았음.
- 자동화 개폐기를 설치하였을 경우에도 고장정전 구간 축소외에도 배전계통 운영상 부하절체, 부하용동에 따른 선로이용율을 대폭 향상시켜 얻을 수 있는 이익과 자동화 개폐기 설치 후 운영시 필요한 통신비, 운영비 등은 비용에 산정하지 않았음

가. 지역별 평균 간선 공장

구간 분할을 목적으로 개폐기를 설치할때 기본적으로 부하용량과 선로 공장을 동시에 고려하여야 한다. 배전선로 운전 용량은 선로마다 계절마다 다양하고 일반적으로 대도시 지역이 높지만 배전선로운영기준을 적용하여 상시 운전용량10,000kVA,비상시 운전용량 14,000kVA로 표준화할 수 있다.

그러나 선로의 공장은 지역별로 그 차이가 커서 국내 배전계통의 선로 공장을 표준화여 제시하기가 쉽지 않다. 또한 선로 공장은 고장구간 탐색시간, 선로고장을 등과 밀접한 관계를 가지고 총 정전량에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 국내 부하밀도를 크게 A, B, C 세 지역으로 나누어 평균 간선 공장을 구하였다.

다음 그림은 국내 5,300개 배전선로 중 약 360개의 배전선로를 발체하여 각 지역별 평균 간선 공장을 분석한 결과다. 동일 지역에도 간선 공장은 매우 다양하여 좀 더 실질적인 지역별 평균 간선공장을 파악하기 위하여 A 지역의 표본데이터 중에서 공장(L)이 1Km < L < 15Km, B지역은 6Km < L < 20Km, C지역은 10Km < L < 50Km 만 지역별 현실성 있는 간선 공장으로 인정하여 평균을 내는데 포함시키고 나머지 데이터는 무시하였다.

또한 분기선과 간선을 구분하기 위하여 간선에 분기된 선로중 인접선로와 연계되지 않고 분기점 개폐기가 있을 경우에만 분기선으로 인정하고, 분기점 개폐기를 포함 그 이하를 분기선 개폐기로 산정하며, 간선에서 분기되는 선로의 분기점 첫 번째 개폐기까지의 공장은 간선 공장에 포함시켰다. 간선 및 분기선의 이해를 돕기 위하여 다음 그림 3을 보였다.

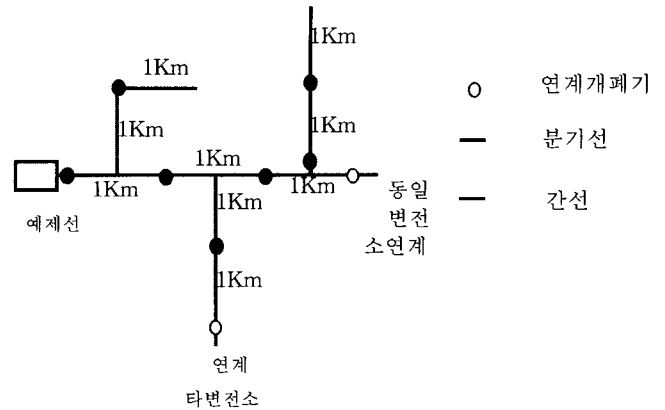
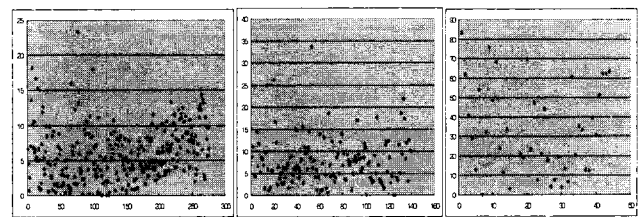


그림 3 간선 및 분기선 구분
Fig. 3 Definition of main line and branched line

다음 그림 4 및 표 6에 각 지역별 간선 공장 및 평균 간선 공장을 보였다. 지역의 구분은 다음과 같이 한다.

- A 지역 : 대도시의 변화가 및 시가지, 주택밀집지역, 공단
- B 지역 : 중소도시, 군,읍소재지의 시가지, 대도시의 외곽지역
- C 지역 : A, B 이외의 기타지역



(a) A 지역 (b) B 지역 (c) C 지역
그림 4 간선공장[Km]
Fig. 4 Length of main Line[Km]

표 6 국내 지역별 간선 평균 공장
Table 6 Average Length of main Line in KOREA

구분	A지역	B지역	C지역
간선공장	6.2km	10.2 km	19 km
조건	1Km < L < 15Km	6Km < L < 20Km	10Km < L < 50Km

나. 지역별 개폐기 설치 효과 분석

전력공급지장이란 고객이 전력을 원활 때, 어떠한 형태로든지 만족할 만한 전력을 공급하지 못하는 상황을 말한다. 여기에는 수용가가 전혀 전력을 사용하지 못하는 정전(Black-out)뿐만 아니라, 전압변동, 주파수 변동, 고조파 등과 같은 다양한 전기품질의 저하를 고려할 수 있다.

공급지장비용이란(Outage Cost)이란, 전력공급지장으로 인하여 사회에서 발생하는 경제, 사회활동, 일상생활 상의 모든 지장과 영향의 정도를 금액으로 환산해서 평가한 비용을 의미한다.

공급지장비용의 단위는 전력량 1단위[kWh]를 손실하는데 발생하는 수용가피해비용(원, \$등) 이다. 이러한 공급지장비

용은 크게 나누면 대처비용, 충격비용, 직접비용, 간접비용, 고정비용, 변동비용 등 여러 요소로 구성되어 있다.

전력산업에서 공급신뢰도를 높이고자 하는 경우, 전력설비의 증강을 위한 필요 투자액은 더욱 커지는 것이 일반적인 경향이다. 그러나 공급신뢰도의 수준을 높이는 데 소요되는 투자비에 비하여 공급신뢰도가 반드시 상대적으로 커진다고 할 수 없다. 따라서 공급신뢰도가 어느 수준에 도달하게 되면, 그 이상으로 신뢰도 수준을 높이는 것은 전력회사 측면에서 바람직하지 않다고 볼 수 있다.

그러므로 공급신뢰도 향상에 의한 이익과 전력회사의 투자비의 상승이 균형을 이루는 것이 바람직하다.

이를 모두 비용으로 환산하여 나타내면 다음 식과 같이 된다.

$$\min Z = Sc + Fc$$

단, Sc : 공급비용 (Utility Cost)[WON]
Fc : 공급지장비용(Outage Cost)[WON]

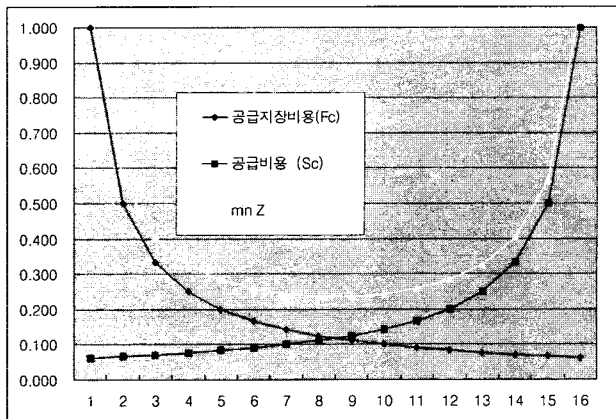


그림 5 공급비용 및 공급지장비용
Fig. 5 Utility Cost and Outage Cost

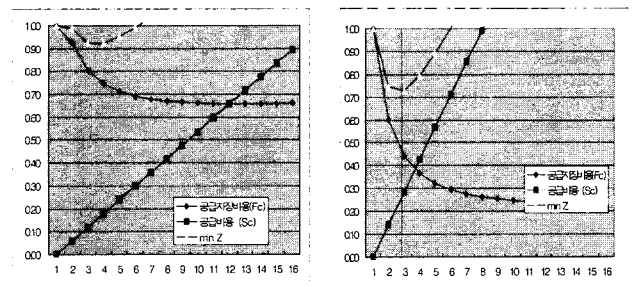
상기 식은 공급비용과 공급지장비용의 합인 총비용을 최소화하는 점에서 전력공급설비의 규모가 고려되어야 한다는 것이다[5].

개폐기 설치 기준을 제시하기 위하여 표 2의 국내 배전계통 기본 운전 정보 및 표 6의 지역별 간선 평균 공장을 근거로 공급지장비용 및 공급비용을 고려한 적절한 구간 분할 수 및 개폐기 설치간격을 분석한 결과를 다음 표 7, 표 8, 표 9와 그림 6, 그림 7, 그림 8에 보였다. 본 결과는 한국전력의 공식적인 고장율과 지장전력비만을 기준으로 계산된 결과임을 밝힌다.

표 7 구간분할에 따른 공급지장비용 및 공급비용(A 지역)
Table 7 Outage Cost and Utility Cost by Dividing Area A

구분수	수동		자동	
	공급지장비용 [Fc]	공급비용 [Sc]	공급지장비용 [Fc]	공급비용 [Sc]
1	3,851	0	3,851	0
2	3,566	230	2,325	547
3	3,100	460	1,705	1,093

4	2,876	690	1,414	1,640
5	2,748	920	1,247	2,187
6	2,670	1,150	1,141	2,734
7	2,619	1,380	1,068	3,280
8	2,585	1,610	1,016	3,827
9	2,562	1,840	978	4,374
10	2,548	2,070	949	4,921
11	2,540	2,300	927	5,467
12	2,536	2,530	911	6,014
13	2,535	2,760	898	6,561
14	2,537	2,990	888	7,108
15	2,542	3,220	881	7,654
16	2,548	3,450	876	8,201



(a) 수동 (b) 자동

그림 6 총비용의 최소화 점(A 지역)
Fig. 6 A Minimized point of Total Cost(Area A)

표 8 구간분할에 따른 공급지장비용 및 공급비용(B지역)
Table 8 Outage Cost and Utility Cost by Dividing(Area B)
[단위 : 천원]

구분수	수동		자동	
	공급지장비용 [Fc]	공급비용 [Sc]	공급지장비용 [Fc]	공급비용 [Sc]
1	6,707	0	6,707	0
2	6,260	230	4,042	547
3	5,486	460	2,945	1,093
4	5,109	690	2,421	1,640
5	4,891	920	2,116	2,187
6	4,752	1,150	1,918	2,734
7	4,659	1,380	1,781	3,280
8	4,594	1,610	1,681	3,827
9	4,547	1,840	1,605	4,374
10	4,515	2,070	1,546	4,921
11	4,491	2,300	1,500	5,467
12	4,475	2,530	1,463	6,014
13	4,465	2,760	1,433	6,561
14	4,459	2,990	1,409	7,108
15	4,456	3,220	1,389	7,654
16	4,456	3,450	1,373	8,201

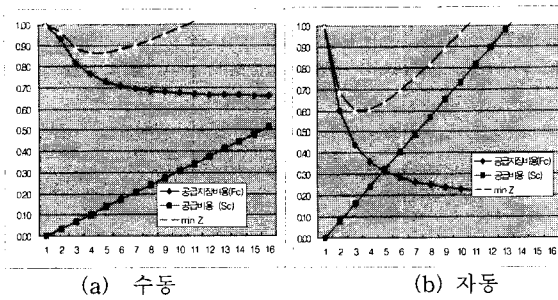


그림 7 총비용의 최소화 점(B 지역)
Fig. 7 A Minimized point of Total Cost(Area B)

표 9 구간분할에 따른 공급지장비용 및 공급비용(C 지역)
Table 9 Outage Cost and Utility Cost by Dividing(Area C)
[단위 : 천원]

구분수	수동		자동	
	공급지장 비용[Fc]	공급비용 [Sc]	공급지장 비용[Fc]	공급비용 [Sc]
1	16,287	0	16,287	0
2	14,889	230	9,005	547
3	13,162	460	6,368	1,093
4	12,311	690	5,133	1,640
5	11,811	920	4,421	2,187
6	11,486	1,150	3,960	2,734
7	11,260	1,380	3,638	3,280
8	11,098	1,610	3,402	3,827
9	10,977	1,840	3,221	4,374
10	10,885	2,070	3,080	4,921
11	10,815	2,300	2,966	5,467
12	10,760	2,530	2,874	6,014
13	10,718	2,760	2,797	6,561
14	10,685	2,990	2,733	7,108
15	10,660	3,220	2,678	7,654
16	10,642	3,450	2,632	8,201

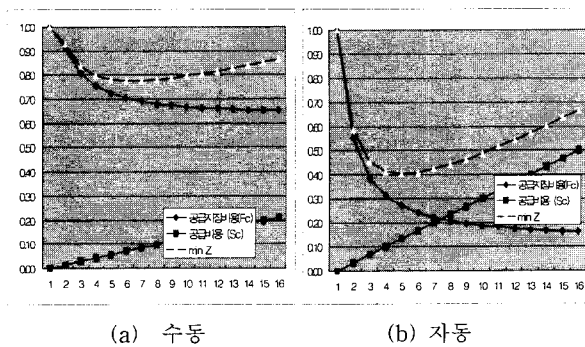


그림 8 총비용의 최소화 점(C 지역)
Fig. 8 A Minimized point of Total Cost(Area C)

지역별 선로 공장에 따른 개폐기 부설기준 분석 결과를 요약하면 다음과 표 10과 같다.

표 10 지역별 개폐기 부설 기준
Table 10 Criteria in installing switches

구분	A지역	B지역	C지역	선로운영상 필요지역	
평균 간선 공장	6km	10 km	20 km	거리제한 없음	
개폐기 부설수	수동	4	6		
	자동	3	5		
개폐기 부설기준	수동	1대/1.5Km	1대/2.5Km		1대/3.3Km
		2,500kVA	2,500kVA		1,600kVA
	자동	1대/2Km	1대/3.3Km		1대/4.0Km
		3,300kVA	3,300kVA	2,000kVA	

5. 결 론

본 연구에서는 총 정전량을 계수화하기 위하여 국내 배전 계통의 다양한 지표를 적용하여 배전계통의 총 정전량을 산출할 수 있는 표준 산출식을 제시하였다.

그리고 현장 운영 자료를 본 산출식에 적용하여 수동개폐기 취부효과에 따른 총 정전량 분석, 자동화개폐기 취부에 따른 총 정전량 분석, 수동·자동화개폐기 취부효과를 보여 배전자동화개폐기가 고장정전 축소에 큰 기여를 할 수 있음을 보였다.

이상의 연구 결과를 바탕으로 구간 분할에 따른 총정전량 및 개폐기 투자비의 크기를 공급지장비용 및 공급비용 개념을 적용하여 총비용이 최소가 되는 점에서 설비투자 규모를 결정하여 국내 배전계통의 지역별 수동 및 자동화개폐기 설치기준을 제시하였다.

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] 하북남 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.

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



하 복 남 (河福男)

1958년 1월 10일생. 1986년 대전산업대 전기공학과 졸업. 1994년 충남대학교 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 방문 교수, 1979년~현재 충남대학교 공대 전기공학과 교수