

## 국내 배전계통의 최적 개폐기 설치 기준(II)

조남훈, 오재형  
전력연구원

이흥호  
충남대학교

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

Namhun Cho, Boknam Ha

Heung-Ho Lee

**Abstract** - 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 Line

#### 1. 서론

고장 발생시 정전구간은 4단계로 구분할 수 있고 정전 횟수와 정전 시간을 다음 표 1과 같이 구할 수 있다.

<표 1> 절체에 따른 정전횟수와 정전시간

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

수용가당 정전 횟수는 전체 정전 수용가수를 전체 수용가수로 나누어 주면 된다. 전체 정전 수용가수는 표 1의 4구간을 합하면 된다. 선로 고장율에 선로 공장을 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.

$$\cdot \text{연간 구간별 사고율} = \frac{L \cdot f_f + f_x(N-1)}{n}$$

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

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

선로 고장율에 의한 년간 총 정전회수는 년간 각 구간별 정전횟수의 합, 각 구간별 수용가수, 각 구간별 고장률로서 표 1의 정전회수를 정리하면 다음과 같다.

· 총 정전회수

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

선로 고장율에 의한 년간 총 정전량(VA·Hour)은 년간 각 구간별 정전시간의 합, 각 구간별 수용가수(운전용량), 각 구간별 고장률로서 표 1의 정전시간을 정리하면 다음과 같다.

· 총 정전량

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

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

· 수용가당 연평균정전횟수

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

· 수용가당 연평균정전시간

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

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

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

- $T_s' = \text{출동시간} + \text{고장점탐색} + \text{고장구간분리} + \text{변전소 CB투입}$
- $T_T' = T_s' + \text{부하절체 조작순서 작성} + \text{부하절체}$
- $T_f' = T_T' + \text{고장복구}$
- $T_x' = T_f'$

· 총 정전량 [VA · Hour]

$$= \frac{S}{n} \left[ \left( \frac{n(n-1)}{2} \cdot T_s' + \frac{n(n-1)}{2} \cdot a \cdot T_r' + n \cdot T_j' \right) + \frac{n(n-1)}{2} (1-a) \cdot T_r' \times \frac{L \cdot f_j + f_s(n-1)}{60 \cdot n} \right] + \left[ \frac{L \cdot t \cdot S \cdot (n-1) \cdot (L \cdot f_j + f_s(n-1))}{120 \cdot n} \right]$$

· [분/Km] : 단위 길이당 고장구간 탐색속도

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

배전계통이 이상적이어서 조작시간, 출동시간, 절체시간 등 모든 조건들의 소요시간이 0이라 가정하고, 오직 고장복구시간과 연계율( $\alpha$ )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,  $\lambda = L \cdot f_j + f_s(N-1)$

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

## 2. 고장 정전량을 고려한 수동 및 자동화 개폐기 취부효과

배전선로에서 구간 분할을 위하여 취부되는 수동개폐기 역할은 작업정전이 많지 않은 현실을 감안할 때 고장 발생시 고장구간을 분리하여 정전구간을 축소시키는 역할이 대부분이다. 가깝게 고장점을 발견하였을 때 주위에 개폐기가 없으면 사고주위에서 내장개소를 찾아 잠바를 분리하여 건전구간에 전력을 공급하는 경우도 있으나 정전구간 축소 측면에서 수동개폐기의 사용 효과는 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 원격에서 조작할 수 있으며 또한 개폐기 설치점에서 부터 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

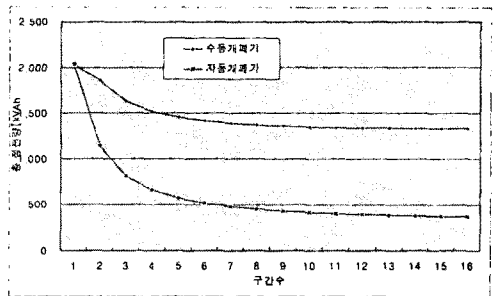
국내 배전계통의 고장율을 적용하여 비교 분석한 결과를 보였다.

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

표 2의 결과를 다음 그림 1에 보였다. 분석 결과 자동화 개폐기의 빠른 고장점 탐색 기능으로 인하여 수동개폐기의 고장구간 축소 효과는 자동화 개폐기에 비하여 훨씬 작음을 알 수 있다.

<표 2> 구간수에 따른 수동 및 자동화 개폐기 취부 효과 비교

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



<그림 1> 구간수에 따른 수동 및 자동화 개폐기 취부 효과 비교

## 3. 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[1].

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 다

음과 같다[2].

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

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 비용은 다음 표 3에 보였다.

<표 3> 공급지장비용 및 공급비용

단위 : 원

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

단, 수동개폐기를 설치하였을 경우 고장구간 축소의 예도 하게 피크시 부하절체를 고려할 수 있으나 운영상 얻는 이익과 수동개폐기 운영비를 동일하게 취급하여 운영비는 포함시키지 않았음.

· 자동화 개폐기를 설치하였을 경우에도 고장정전 구간 축소의 예도 배전계통 운영상 부하절체, 부하용통에 따른 선로이용율을 대폭 향상시켜 얻을 수 있는 이익과 자동화 개폐기 설치 후 운영상 필요한 통신비, 운영비 등은 비용에 산정하지 않았음.

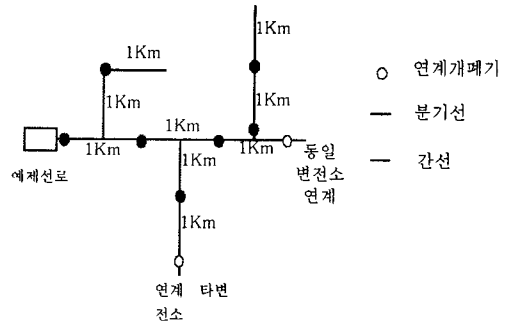
가. 지역별 평균 간선 공장

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 표준화하여 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, B 지역은 6Km < L < 20Km, C지역은 10Km < L < 50Km 만 지역별 현실성 있는 간선 공장으로 인정하여 평균을 내는데 포함시키고 나머지 데이터는 무시하였다.

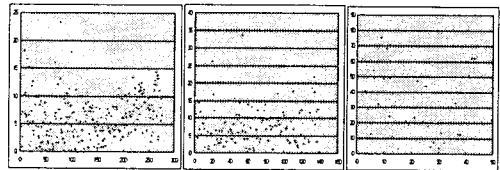
또한 분기선과 간선을 구분하기 위하여 간선에 분기된 선로중 인접선로와 연계되지 않고 분기점 개폐기가 있을 경우에만 분기선으로 인정하고, 분기점 개폐기를 포함 그 이하를 분기선 개폐기로 산정하며, 간선에서 분기되는 선로의 분기점 첫 번째 개폐기까지의 공장은 간선 공장에 포함시켰다. 간선 및 분기선의 이해를 돕기 위하여 다음 그림 3을 보였다.



<그림 2> 간선 및 분기선 구분

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, 공장
- B 지역 : 중소도시, 군,읍소재지의 시가지, 대도시의 외곽지역
- C 지역 : A, B 이외의 기타지역



(a) A 지역 (b) B 지역 (c) C 지역

<그림 3> 간선공장[Km]

<표 4> 국내 지역별 간선 평균 공장

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 원할 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.

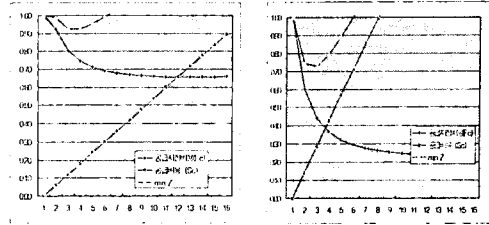
공급지장비용의 단위는 전력량 1단위[kWh]를 손실하는데 발생하는 수용가피해비용(원, \$등)이다. 이러한 공급지장비용은 크게 나누면 대처비용, 충격비용, 직접비용, 간접비용, 고정비용, 변동비용 등 여러 요소로 구성되어 있다.

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.

$$\min Z = Sc + Fc$$

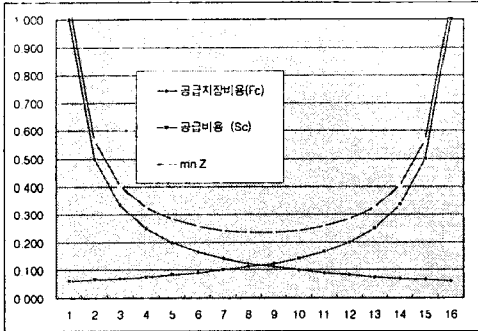
단, Sc : 공급비용 (Utility Cost)[WON]  
 Fc : 공급지장비용(Outage Cost)[WON]



(a) 수동 (b) 자동

<그림 5> 총비용의 최소화 점(A 지역)

<표 6> 구간분할에 따른 공급지장비용 및 공급비용(B 지역)



<그림 4> 공급비용 및 공급지장비용

상기 식은 공급비용과 공급지장비용의 합인 총비용을 최소화하는 점에서 전력공급설비의 규모가 고려되어야 한다는 것이다[3].

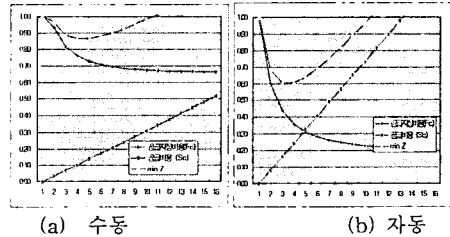
개폐기 설치 기준을 제시하기 위하여 국내 배전계통 기본 운전 정보 지역별 간선 평균 공장을 근거로 공급지장비용 및 공급비용을 고려한 적절한 구간 분할 수 및 개폐기 설치간격을 분석한 결과를 다음 표 5, 표 6, 표 7 와 그림 5, 그림 6, 그림 7에 보였다. 본 결과는 한국전력의 공식적인 고장율과 지장전력비만을 기준으로 계산된 결과임을 밝힌다.

<표 5> 구간분할에 따른 공급지장비용 및 공급비용(A 지역)

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

[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



(a) 수동 (b) 자동

<그림 6> 총비용의 최소화 점(B 지역)

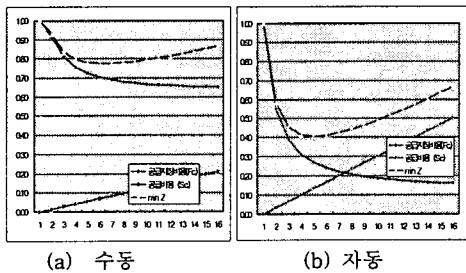
<표 7> 구간분할에 따른 공급지장비용 및 공급비용 C 지역)

[단위 : 천원]

구분수	수동		자동	
	공급지장비용 [Fc]	공급비용 [Sc]	공급지장비용 [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

참 고 문 헌

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



<그림 7> 총비용의 최소화 점(C 지역)

지역별 선로 공장에 따른 개폐기 부설기준 분석 결과를 요약하면 다음과 표 8과 같다.

<표 8> 지역별 개폐기 부설 기준

구분	A지역	B지역	C지역	선로운영상 필요지역	
평균 간선 공장	6km	10 km	20 km	거리제한 없음	
개폐기 부설수	수동 4	4	6		
	자동 3	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	

4. 결 론

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

그리고 현장 운영 자료를 본 산출식에 적용하여 수동 개폐기 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 공급