

## The Optimal Number of Dividing and Connecting Per Feeder in Korea Distribution System

趙南勳\* · 金建中\*\* · 金載哲\*\*\*

(Nam-Hun Cho · Kern-Joong Kim · Jae-Chuel Kim)

**Abstract** - Occasionally, equipment in a distribution system fails due to damage from weather, vandalism, or other causes. Failures and unexpected events do not always occur as and where expected. Therefore, a good contingency plan, multi-zone or otherwise, provides flexibility by locating switches at various strategic locations so that parts of a feeder can be picked up in the event of line outages at various places. It is possible to create feeder system layout that achieve remarkable contingency support economics, even as their normal peak loading levels approach thermal capacity, by utilizing six, seven, or even nine switchable zones per feeder. But many switchable zones per feeder are of questionable practicality and effectiveness, because of the complexity and time required for the switching operation. In practice, a zonal scheme with between three and four zones will usually provide complete contingency backup for all feeders. Line switches have both capital and maintenance costs, the planning for multi-zonal schemes is considerably more difficult than for loop or single-zone systems, and the required switching operations required during contingencies take more time. But multi-zonal schemes are used because these costs come to far less than the cost of additional capacity required for loop or single-zone. In this paper, we present the optimal number of switchable zones per feeder in Korea distribution system.

**Key Words** : Multi-dividing, Multi-connecting, Switchable Zones, Distribution

### 1. 서 론

국내 배전계통은 다분할 다연계 방식으로서 배전선로 및 배전용 변전소에서의 상정사고 및 작업으로 인한 정전 발생을 고려하여 배전선로를 적당한 구간으로 분할, 그 각각을 인접한 간선과 연계선에 의해 연계하여 건전 정전구간이 발생하지 않도록 하고 있다. 즉 사고발생 구간 이외의 건전구간에 대해서는 다른 인접 배전선로에서 역송될 수 있도록 연계를 두어 배전계통을 계획한다.

최근 한국전력에서는 전력수요의 증가 및 부하 고밀도화에 효과적으로 대응하고 배전설비 투자비용의 절감을 통한 경영효율성 증진을 위해 전 배전선로를 대상으로 배전선로의 상시운전용량과 비상시운전용량을 상향조정하였으며, 도심변화가 · 공단 등 부하밀집지역, 선로전압 유지곤란지역 및 경과지 확보가 곤란한 지역에 대응량 배전방식을 채택하였다.

위와 같은 배전계통 운전 용량의 큰 변화에 따라 전력회사에서는 일선사업소의 모든 배전계획자들이 배전계획 및

운영시 배전계통의 설비를 가장 효율적으로 이용할 수 있도록 모든 배전선로에 대하여 배전용 변전소, 주 변압기, 인접 2회선 등의 상정사고 및 작업시에도 건전 정전구간이 발생하지 않도록 부하를 융통할 수 있는 연계 기준의 제시가 필요하였다.

본 논문에서는 국내 배전계통의 표준 연계 기준을 정립하기 위하여 가장 복잡하다고 판단되는 도심지역의 1개 사업소를 선정하여 실 배전계통의 유형을 분석하여 복잡한 배전계통을 표준화하였으며, 표준화된 배전계통을 모델로 두어 연계 개념을 적용하는 것이 현실적으로 중요함을 보였다.

고장 발생시 부하를 융통할 수 있도록 하기 위하여 인근 선로는 고장이 발생하기 전에 전력을 공급하고 있던 자기 선로의 부하와 고장이 발생한 후에 연결된 고장선로의 건전 구간 부하에 전력을 동시에 공급할 수 있어야 한다. 즉, 비상시에 인근선로는 자기 선로부하와 고장이 발생한 다른 선로부하에 전력을 공급하기 때문에 운전용량이 증가한다. 이것은 연계가 선로의 운전용량에 직접적으로 영향을 미친다는 것을 의미한다. 가능한 도체 정격에 근접하게 선로의 운전용량을 높인다는 것은 설비의 효율적 이용 측면에서 대단히 중요하다. 현재 운전되고 있는 배전선로의 상시운전용량 및 비상시운전용량을 고려하여 국내 배전계통의 연계수를 제시하였다.

상정사고 및 작업을 고려한 상시운전용량 및 비상시운전용량, 정전범위를 축소시키기 위하여 설치된 소구간 분할 계획으로 인한 문제점, 필요 이상의 연계를 두었을 경우의 문제점, 다양한 상정사고를 고려한 다단계 부하절제 관련된 문

\* 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 前任研究員

\*\* 正 會 員 : 忠南大學校 工科大學 電氣工學科 教授

\*\*\* 正 會 員 : 崇實大學校 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 5月 28日

계점 등을 분석하여 우리 배전계통에 가장 적절한 최적 연 계방안을 제시하였다.

**2. 연계를 위한 배전계통 분석**

신뢰도를 향상시키기 위한 배전시스템 구성은 선로형태에 따라 방사상(Radial), 루프(Loop), 네트워크(Network) 계통으로 크게 분류된다. 전세계적으로 배전계통의 80%이상이 방사상 계통으로 운영되고 있으며[1], 대부분 우리 배전계통도 방사상 형태로 구성되어있다.

**2.1 신뢰도를 고려한 배전계통**

그림 1과 같이 방사상 배전계통은 변전소와 수용가가 하나의 경로로 연결되어 있다. 대부분의 배전 시스템은 물리적으로 네트워크로 건설되어 있으나, 주요 지점의 스위치를 개방함으로써 방사상으로 운영되고 있다.

방사상 회로는 배전계통에서 가장 비용이 적게 들고 해석 및 운영이 가장 쉬운 형태이다. 또한 부하 분포에 따라 방사상으로 분기선을 설치함으로써 부하의 증설에 쉽게 적용할 수 있는 방식이다. 그러나, 설비의 고장 및 사고시 그 지점 이하의 모든 수용가에서 정전을 발생시킬 수 있기 때문에 사고시의 정전범위가 크고 공급신뢰도가 낮다는 단점이 있다.

루프 배전계통은 그림 1과 같이 배전시스템의 형태가 전기적으로 환상을 이루고 있으며, 전력은 선로의 한쪽 단에서 유입되어 수용가로 전송된다. 루프 계통은 언제나 양 방향에서 전력을 공급할 수 있으므로 방사상 계통이 비하여 공급 신뢰도가 높다. 그러나 이 방식은 방사상 계통과 비교하여 비용이 비싸고 해석 및 운영이 복잡하다. 한편, 루프 계통은 피더 중간 부근에서 스위치를 개방한 상태인 개방 루프 계통(Open Loop)으로 운영되기도 하며, 이 경우에는 기본적으로 방사상 배전계통과 동일하다.

네트워크 계통은 임의의 두 지점 사이에 항상 하나 이상의 경로가 존재할 수 있도록 교차된 피더 그룹으로 구성된다. 만약 충분한 용량과 전역에 걸친 보호협조에 문제가 없다면, 네트워크 피더는 수용가에 매우 높은 신뢰성을 제공한다. 어떤 부분 또는 전원이 단절된다고 해도 수용가에서는 전력 흐름이 끊기지 않으며, 다중 사고가 발생하였을 경우에는 약간의 정전이 발생할 수도 있으나 무정전이 될 수도 있다. 네트워크 계통은 방사상 계통 및 루프 계통과 비교하여 비용이 비싸고, 해석 및 운영이 매우 복잡하다.

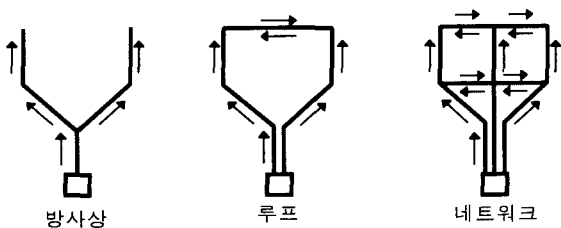


그림 1 신뢰도를 고려한 배전계통 구성  
Fig. 1 Distribution system network for reliability

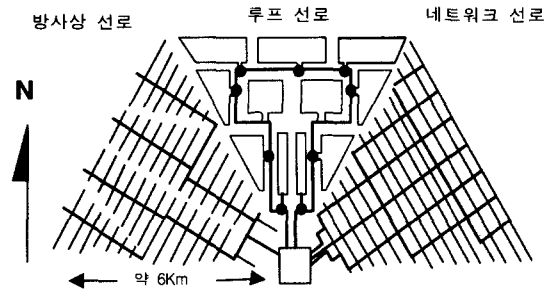


그림 2 실 배전계통 구성 예  
Fig. 2 The exemple of practical distribution system

방사상 및 Open 루프방식에서는 일반적으로 간선 사고시에 대한 배전선로의 정전 범위 축소를 위하여 선로마다 구간을 구분하고 일정부하를 인접해 있는 선로에 절체할 수 있도록 연계선을 두어 연계하는 다분할 다연계 방식으로 배전계통을 구성하여 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

배전계통의 다분할 다연계 방식은 배전선로 간선 도중에 구간을 분할 수 있는 개폐기를 설치하여 적당한 구간으로 분할한다. 이때 정전사고 복구작업 또는 작업 정전시 정전 범위의 축소를 위해 구분 개폐기로서 세분화된 소구간을 구성할 수 있으나 연계 고려시 분할 개념에는 포함시키지 않는다. 또한, 분할된 구간마다 인접 배전선과의 사이에 연계 개폐기를 설치하여 연계를 실시한다.

이때 뱅크(Bank) 사고나 변전소 사고를 고려하여 뱅크가 다른 배전선로와 다른 변전소 선로와의 연계를 추진하는 것이 효과적이다. 다분할 다연계 방식 중에서 기본적인 구성 형태인 2구간 2연계, 3구간 3연계 방식에 대한 배전선로의 구성 예를 그림 3에 보였다. 그림 3과 같이 비교적 공장이 짧은 경우에는 1개의 구간(zone)이 인접선로의 한(one) 경로를 통하여 연계가 되고, 장 공장일 경우에는 현장 여건에 따라 한 구간의 부하가 2개의 경로를 통하여서 연계되어질 수 있다.

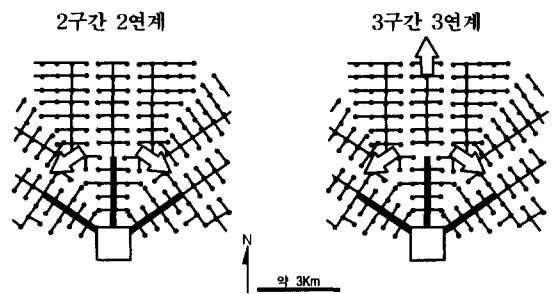


그림 3 다구간 다연계 배전계통 예  
Fig. 3 The exemple of multi-dividing and multi-connecting distribution system

**2.2 실 배전계통 분석**

배전자동화시스템이 확대됨으로 인하여 개폐기 원격제어, 사고 발생점 탐색 및 부하용량 수순이 대단히 짧은 시간에

이루어져 개폐기 조작횟수 증가가 가능하며, 이로 인하여 사고발생시 다단계 부하용통 프로그램을 통하여 배전계통의 설비이용율을 극대화시킬 수 있다.

그러나 다양하고 복잡한 배전계통에서 다단계 부하절체에 의하여 설비이용율을 극대화시킬 수 있기 위해서는 배전계획 수립시 배전선로 구성이 최적화되어 있지 않으면 부하용통에 대한 해가 여러 가지 제약조건에 의하여 나오기 어렵다.

배전계통의 연계 기준을 제시하기 위해 실 배전계통을 분석하여 이를 표준화(단순화)시키는 절차가 요구된다.

따라서 우선 현장의 다양한 배전계통을 분석하였는데 실제 중소도시, 농어촌보다 수도권 중심부의 배전계통이 더욱 복잡함을 감안하여 수도권지역의 사업소중 하나를 선정하여 실 배전계통을 분석하였다.

그림 4의 우측 계통도에서는 도심지 지역의 배전계통이 매우 복잡하여 연계의 개념을 적용하기가 불가능 한 것처럼 보이지만 그림 4의 좌측처럼 좀 더 깊이 분석해 보면 배전선로는 모든 지역에 부하를 공급하기 위하여 골고루 분포되어 있음을 알 수 있다.

또한 부하밀도의 크기가 50MVA에서부터 0.5MVA까지 분포되어 있어 모든 경우를 고려하여 기준을 제시하는 것은 현실적으로 쉽지 않으므로 특별한 경우는 현장여건을 고려하여 배전계획자가 결정하는 것이 바람직하다.

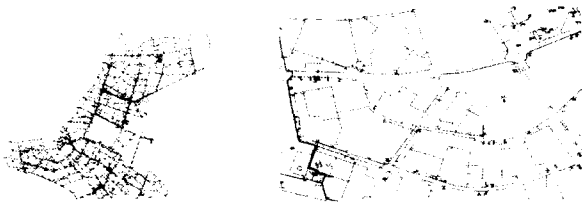


그림 4 수도권 지역의 배전계통  
Fig. 4 Outline of distribution system in a city

배전용변전소의 위치는 공급 에리어에서 부하의 중심에 가깝게 두는 것이 원칙이지만 부지확보 등 여러 가지 지리적 여건을 고려하여 선정하다 보면 어쩔 수 없이 다음 그림 5과 같이 부하의 중심점에서 벗어나는 곳도 많이 있다.

부하에 전력을 공급하기 위하여 대부분 부하점에 근접하게 변전소 인출점에서 도로를 따라 지중 혹은 가공선로로 수 Km 정도의 배전선로가 설치되었는데 대부분 지중선로로 구성되어 있으며, 지중선로를 통하여 부하의 중심이라고 판단되는 지점까지 배전선로가 건설되어 있어, 연계를 위한 배전계통의 표준화를 고려시 실제 부하가 있는 장소에서 가상 변전소를 두고 배전계통을 고려할 수 있다.

도로를 따라서는 큰 건물의 영향으로 부하가 집중되어 있으나 부하 분포가 비교적 사업소 전체에 걸쳐 고루 분포되어 있어 바둑판 형태를 유지한 채 방사선으로 계통이 구성되어 있음을 알 수 있다.

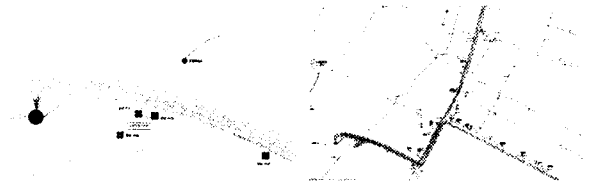
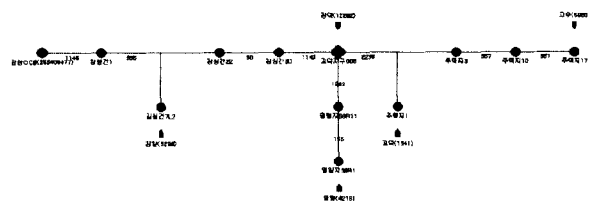
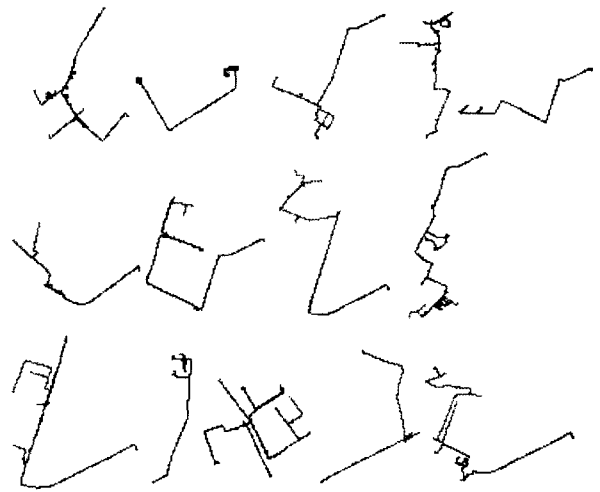


그림 5 배전선로 인출 형태  
Fig. 5 The example of outgoing feeders

복잡하고 다양한 배전계통의 모델을 제시하기 위하여 다음 그림 6에 다양한 실 배전계통의 실제 모습을 그대로 그려 보였으며, 인접 배전선로와의 연계 개념을 적용한 결과를 단선도 형태로 2선로에 대하여 보였다. 지면이 부족하여 모든 배전선로의 단선도를 보이지 못하였으나 배전선로에 대하여 단선도 형태로 간략화가 가능하다.

일반적으로 지중선로 및 지중·가공 혼재선로는 다회로개폐기를 설치하여 운영함으로 특별히 배전계획자가 연계를 위하여 선로를 구성하지 않더라도 일정 수준 이상의 개폐기 취부도 인하여 분할 및 연계가 이루어 진다. 따라서 배전계통의 연계 모델은 가공선로에 중점을 두어 기준을 제시하였으며 지중, 가공을 구분하지 않고 적용하고 있다.

아무리 복잡해 보이는 배전계통도 각 선로별로 단순화 할 수 있으며, 구간을 분할하고, 연계를 두어 설비 이용율 향상 및 상정사고시 부하용통 효과란 얻을 수 있다.



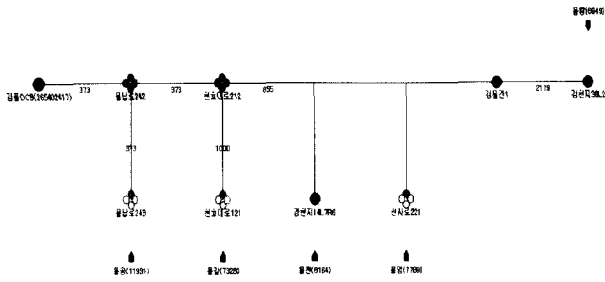


그림 6 다양한 실 배전선로 형태  
Fig. 6 Outline of many distribution feeders in field

2.3 배전계통 표준화

대도시 지역의 배전계통을 분석한 결과 다분할 다연계 개념을 적용하여 각각의 배전선로를 그림 7과 같이 여러 형태로 표시할 수 있었다.

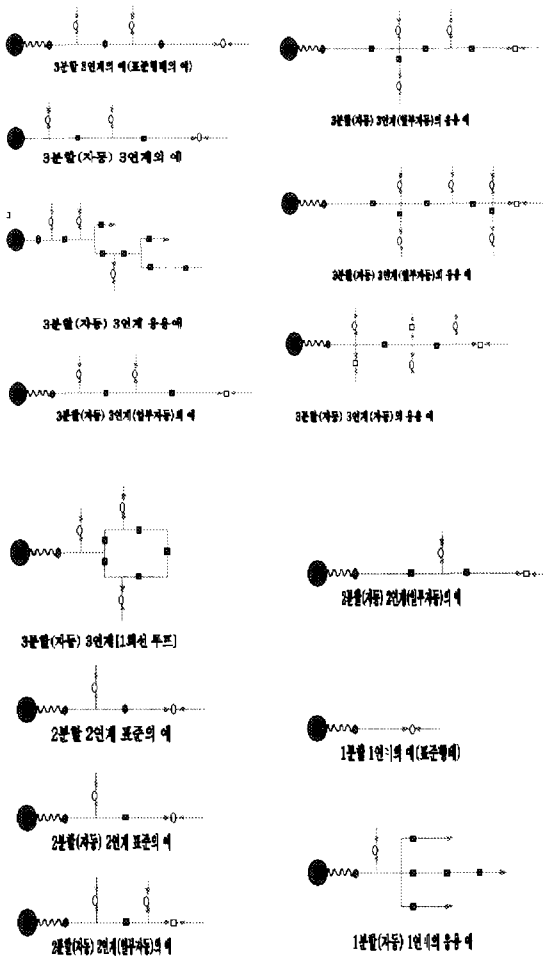


그림 7 연계개념을 적용한 다양한 배전계통  
Fig. 7 Many distribution configurations applied for Multi-dividing Multi-connecting conception

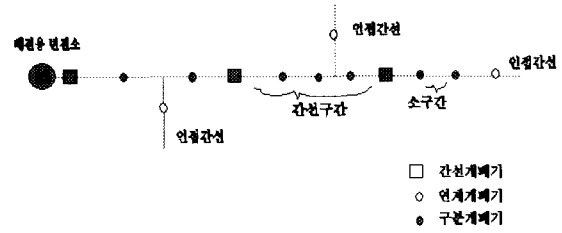


그림 8 연계개념을 적용한 표준 배전계통  
Fig. 8 The Standard distribution configuration applied for Multi-dividing Multi-connecting conception

3. 배전선로 운전용량을 고려한 연계수 분석

3.1 연계와 선로 운전용량

배전선로에 고장이 발생하였을 경우 개폐기는 분할된 구간 중에서 고장구간을 건전구간으로부터 분리시키고, 건전구간을 인근에 위치한 다른 선로에 연계함으로써 건전구간의 수용가에 전력을 계속적으로 공급할 수 있다.

이때 인근 선로는 고장이 발생하기 전에 전력을 공급하고 있던 자기 선로의 부하와 고장이 발생한 후에 연결된 고장 선로의 건전구간 부하에 전력을 동시에 공급해 주어야 한다.

즉, 비상시에 인근선로는 자기 선로부하와 고장이 발생한 다른 선로부하에 전력을 공급하기 때문에 운전용량이 증가한다. 이것은 구간분할 및 연계가 선로의 운전용량에 직접적으로 영향을 미친다는 것을 의미한다.

그림 9는 1구간으로 나누어져 구간마다 다른 배전선로와 연계된 1분할 1연계 배전선로를 나타낸 것이다. 만약 다른 배전선로에서 고장이 발생하고 고장이 발생한 선로의 건전구간에 전력을 공급하도록 연계된다면, 모델 배전선로는 연계된 부하만큼 전력을 더 공급한다.

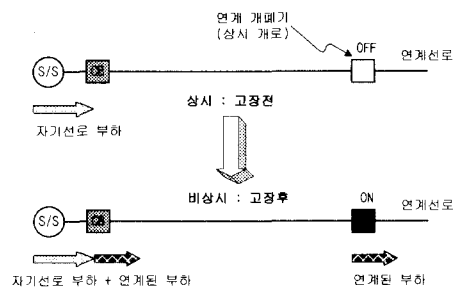


그림 9 연계개념을 적용한 부하용량  
Fig. 9 The Example of the restoration applied for Multi-dividing Multi-connecting conception

이때 고장전운전용량 = 자기선로 부하가 되고 고장 후 운전용량은 자기선로 부하 + 고장선로의 연계된 건전구간 부하가 된다.

### 3. 2 연계에 따른 상시 운전용량 분석

배전선로의 용량은 허용전류로 결정된다. 허용전류란 전선에 전류를 흘렸을 때 발생하는 전력손실(도체손, 유전체손, Sheaths 등)로 인하여 상승하는 도체온도와 주위온도와의 합이 도체의 최고 허용온도를 초과하지 않는 전류를 말한다.

따라서 전선의 연속허용용량은 도체의 최고 허용온도, 여러 가지 손실, 열 저항 및 주위온도 등으로부터 정해지며, 전류가 도체에 흐르는 시간에 따라 연속, 단시간, 단락 허용용량으로 구분된다. 표 1은 22.9[kV] 배전계통에서 사용하는 도체의 운전용량별 연속 허용용량을 보였다. 여기서 비상시(최대)운전용량은 전선의 등가 경년열화검토, 접속부의 경년 열화에 의한 저항증가 등을 고려하여 연속허용용량보다 작게 산정되어 어떤 경우에서도 연속적(장기간)으로 비상시운전용량을 초과하여 운전되어서는 안되는 값이다.

상시(최대)운전용량은 인접한 선로에서 고장이 발생하였을 경우를 고려하여 비상시(최대)운전용량보다 작게 산정되어 평상시에 운전되는 상시(최대) 운전용량이다.

표 1에는 현재 한전에서 사용되고 있는 전선 중 주로 간선에 많이 사용되는 전선의 규격별 허용전류를 보였다.

표 1 전선규격별 허용전류

Table 1 Continuous capacity in underground and overhead distribution line

규격	운전용량별	A[kVA]	비고
ACSR-OC 95mm <sup>2</sup>	연속허용용량	263[10,430]	100%
	상시 운전용량	175[ 7,000]	66.5%
	비상시 운전용량	234[ 9,300]	88.9%
ACSR-OC 160mm <sup>2</sup>	연속허용용량	395[15,700]	100%
	상시 운전용량	252[10,000]	63.7%
	비상시 운전용량	352[14,000]	89.1%
ACSR-OC 240mm <sup>2</sup>	연속허용용량	511[20,270]	100%
	상시 운전용량	378[15,000]	73.9%
	비상시 운전용량	504[20,000]	98.6%
CNCV 325mm <sup>2</sup>	연속허용용량	396[15,700]	100%
	상시 운전용량	252[10,000]	63.7%
	비상시 운전용량	352[14,000]	88.8%
CNCV 600mm <sup>2</sup>	연속허용용량	567[22,490]	100%
	상시 운전용량	378[15,000]	66.6%
	비상시 운전용량	504[20,000]	88.8%

연계를 고려하였을 경우에 상시 운전용량은 비상시 운전용량과 다음과 같은 관계를 갖는다. 여기서, 비상시 운전용량은 선로가 어떤 시간 동안에도 손상없이 견딜 수 있는 용량을 의미한다.

· 비상시 운전용량 >= 상시 운전용량 + 비상시 연계된 용량

배전선로는 비상시에도 선로 손상없이 운전을 하여야 하기 때문에, 비상시 운전용량은 상시 운전용량과 연계된 용량을 합한 것보다 크거나 같아야 한다. 만약, n분할 n연계 방식을 따르는 배전선로의 각 구간 부하가 동일하고 비상시에 한 구간의 부하만이 연계된다면 위 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\cdot \text{비상시 운전용량} \geq \text{상시 운전용량} + \frac{\text{상시 운전용량}}{n}$$

여기서, 비상시 연계된 용량 = 상시 운전용량/n

n : 분할/연계 수 ( n = 1, 2, 3, ... )

선로를 n구간으로 분할 n연계 방식을 채택하는 배전선로에서 고장이 발생하지 않았을 경우의 선로용량 즉, 상시 운전용량은 비상시 운전용량의 n/(n+1)보다 작거나 같아야 한다. 여기서 등호는 평상시에 운용할 수 있는 배전선로의 상시 운전용량을 의미하므로, n분할 n연계방식을 적용하는 계통에서 각 구간의 부하가 동일하고 고장선로의 한 구간만이 연계된다면 상시 운전용량은 다음과 같이 표현된다.

$$\cdot \text{상시 운전용량} = \text{비상시 운전용량} \times \left( \frac{n}{n+1} \right)$$

다른 선로에서 고장이 발생하였을 경우에 인접한 건전선로에서 고장선로의 건전구간에 전력을 공급하지 않으면 즉, 선로 연계를 하지 않으면 상시 운전용량은 비상시 운전용량과 같다.

그러나, 연계를 하지 않았을 경우에는 고장이 발생한 선로는 고장이 복구될 때까지 고장선로 전체가 정전되기 때문에 공급신뢰도가 아주 낮아진다. 연계를 무수히 많이 한다면 상시 운전용량은 다음과 같이 비상시 운전용량에 근접한다.

$$\begin{aligned} \cdot \text{상시 운전용량} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left[ \text{비상시 운전용량} \times \left( \frac{n}{n+1} \right) \right] \\ &= \text{비상시 운전용량} \times 1 \end{aligned}$$

연계와 운전용량과의 관계를 그림 10에 나타내었으며 비상시 운전용량을 기준으로 하여 상대적으로 나타내었다. 여기서, 운전용량 증분은 바로 앞의 연계수와 해당하는 연계수의 차이를 표시한 것이다.

일례로서, 2연계수의 증분은 1연계수와 차이를 표시한 것이다. 그림으로부터 연계수가 많을수록 상시 운전용량이 증가한다는 것을 살펴볼 수 있다.

또한 처음에는 연계수가 증가하면 상시 운전용량이 비교적 크게 변화하지만, 연계수가 늘어날수록 증가되는 변화량이 적어 3연계에서 4연계 사이가 바람직하며 4연계보다 크게 되면 곡선이 포화되어 연계효과를 크게 기대할 수 없을 것임을 알 수 있다.

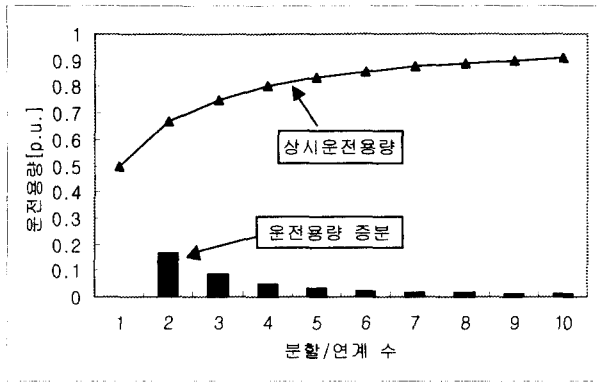


그림 10 연계에 따른 상시 운전용량의 변화  
 Fig. 10 The normal capacity for Multi-connecting

배전선로에서 1분할 1연계를 적용할 경우에 상시 운전용량은 비상시 운전용량의 0.5배이다. 이것은 고장이 발생하였을 때, 인접한 건전선로는 최악의 경우에 고장선로의 부하 전체를 부담해야 함을 의미한다.

따라서, 비상시 1분할 1연계의 배전계통에서 선로는 인접한 전체 부하에 전력을 공급할 수 있어야 하기 때문에, 평상시에 운용할 수 있는 상시 운전용량은 허용용량의 0.5배 이하가 된다.

3분할 3연계 방식을 채택한 계통에서 상시 운전용량은 비상시 운전용량의 0.75배이다. 배전선로를 3구간으로 나누어 운전하던 중에 고장이 발생하면, 고장선로의 부하 1/3은 연계선로를 통하여 인접한 건전선로에서 전력을 공급받는다.

두 선로(고장선로, 건전선로)가 상시 운전용량으로 운전하고 있던 중에 사고가 발생하면, 건전선로는 상시 운전용량의 1/3배 부하 즉, 비상시 운전용량의 0.25배 부하를 추가로 공급하여야 하기 때문에 결국 건전선로가 부담해야 하는 부하는 선로의 비상시 운전용량과 같게 된다.

그림 10으로부터 배전선로를 많이 연계하여 운용하면 상시 운전용량이 증가한다는 것을 발견할 수 있다. 이것은 여러 구간으로 분할한 선로에서 고장이 발생하였을 경우에 건전선로에서 부담해야 하는 구간이 축소되기 때문이다. 즉, 연계가 많이 된 계통에서 고장이 발생하였을 때에 건전선로는 고장선로의 분할된 적은 수용가에 대해서만 전력을 공급하면 된다.

따라서, 연계가 증가할수록 평상시에 운용할 수 있는 상시 운전용량은 비상시 운전용량에 가까워져 도체규격에 따른 설비 이용율을 크게 증가시킬 수 있다. 그러나 부정적 측면으로는

- ① 많은 연계에 따라 투자비가 커짐
- ② 개폐기 자체가 가지고 있는 고장확률로 인하여 사고발생가능성이 증가
- ③ 사고 발생시에 인접하여 있는 선로가 상시 절체를 받을 여분의 용량이 적어 2단계, 3단계 절체를 하기 위하여 개폐기의 조작횟수가 증가
- ④ 사고 및 작업시 정전시간이 커짐
- ⑤ 실제계통에서의 사고는 대부분 정전규모가 작은 단순사고이므로 개폐기조작 횟수의 증가가 크지 않아 별문

제가 없을 것으로 생각되지만 실질적으로 개폐기 조작횟수가 많이 필요한 큰 사고는 대부분 천재지변 등이 주원인이고 이런 경우에 배전계통 운전원 및 현장조직원들이 대부분 몹시 정신이 없어 부하 절체중요를 범할 확률의 증가가 큼

또한 연계에 따른 상시 운전용량 분석결과 연계수가 늘어날수록 증가되는 운전용량 증분의 변화량이 적어 3연계에서 4연계 사이가 바람직하며 4연계보다 크게 되면 곡선이 포화되어 연계효과를 크게 기대할 수 없음을 알 수 있다.

### 3.3 배전계통의 운전용량에 따른 연계수 분석

선로의 연계 방식이 바뀌면 운용할 수 있는 선로의 상시 운전용량이 변화된다. 마찬가지로, 상시 운전용량이 변화하면 가능한 연계수가 변경된다. 여기서는 상시 운전용량이 변화될 때 연계수가 어떻게 변화되는지를 살펴보고자 한다. 앞서 살펴보았듯이 평상시에 선로에 손상을 입히지 않고 운용할 수 있는 상시 운전용량은 비상시 운전용량의  $n/(n+1)$ 배다. 이 관계를 분할/연계수에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$n = \frac{\text{상시 운전용량}}{\text{비상시 운전용량} - \text{상시 운전용량}}$$

여기서, 연계수  $n$ 은 상시 운전용량과 비상시 운전용량이 정하여졌을 때 선로에 손상 없이 전력을 공급할 수 있는 최소값이다. 즉, 상시 운전용량과 비상시 운전용량이 결정될 경우에 배전선로는  $n$ 이상으로 연계하면 되므로 연계수  $n$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$n \geq \frac{\text{상시 운전용량}}{\text{비상시 운전용량} - \text{상시 운전용량}}$$

여기서,  $n$  : 분할/연계 수 ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )  
 비상시 운전용량  $\neq$  상시 운전용량

연계는 고장이 발생하였을 경우에 고장선로의 사고구간을 분리하고 고장선로의 건전구간을 인접한 건전선로에 연결한다. 따라서, 배전선로를 연계한다면 그 수는 항상 자연수 값을 갖는다. 일례로서, 선로의 비상시 운전용량이 15,800[kVA]이고 상시 운전용량이 7,000[kVA]일 경우에 선로의 분할/연계수는 1 이상이 되어야 한다.

$$n \geq \frac{7,000[kVA]}{15,800[kVA] - 7,000[kVA]} = 0.80$$

$\therefore n \geq 1$

그림 11에 상시 운전용량이 변화할 때 연계수가 어떻게 변화되는지를 도시하였다. 상시 운전용량은 비상시 운전용량의 백분율로 표시하였고 그 범위를 비상시 운전용량의 30[%]에서 90[%]까지 변화시켰다.

전체적으로 평상시 운용하는 배전선로의 상시 운전용량이

증가할 경우에 연계수가 증가되어야 한다는 것을 확인할 수 있으며 아울러, 연계수는 운전용량이 클수록 급격히 증가함을 볼 수 있다.

운전용량이 증가하면 비상시 운전용량과 상시 운전용량의 차이가 감소하는 데, 이것은 비상시에 다른 선로에 지원할 수 있는 전력이 감소한다는 것을 의미한다.

전 구간의 전력분포가 균일한 배전선로에서는 연계수를 늘림으로서 각 구간 크기와 소비 전력을 줄일 수 있으므로, 상시 운전용량이 증가되면 분할/연계수를 증가시킬 필요가 있다.

일례로서, 상시 운전용량이 50[%] 이하인 경우에 연계수는 1이상 되어야 하고, 상시 운전용량이 약 66[%] 이하인 경우에 연계 수는 2이상 되어야 한다. 만약 정상시의 상시 운전용량이 허용용량의 90[%]이면 선로의 연계 수는 9개 이상이 되어야 한다.

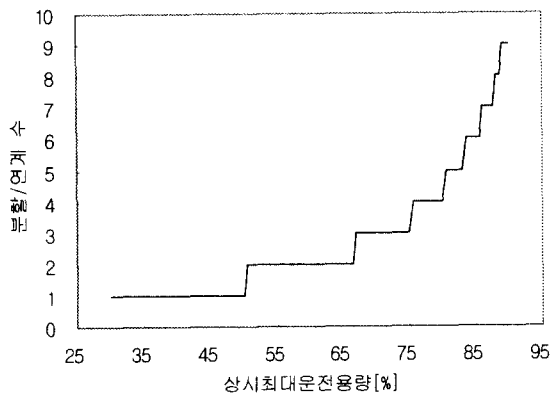


그림 11 상시 운전용량에 따른 연계 수  
Fig. 11 The number of Multi-connecting for normal capacity

또한 상시 운전용량에 따른 연계수 분석결과 연계수가 늘어날수록 증가되는 상시 운전용량 증분의 변화량이 적어 3연계에서 4연계 사이가 바람직하며 4연계보다 큰 5연계 이상으로 두게 되면 그 효과가 상당히 작음을 알 수 있다.

3. 4 국내 배전계통의 운전용량을 고려한 최적 연계수

지금까지 상시운전량 및 연계수를 고려하여 그 효과를 분석한 결과 연계수를 3~4 정도로 두었을 경우가 가장 효과적이며, 5연계 이상이 되면 그 효과가 크게 줄어들음을 확인할 수 있다. 본 절에서는 일반배전방식 및 대용량 배전방식의 세부적인 회선당 기준용량을 보였으며, 이에 따른 최적 연계수를 검토하고자 한다.

최근 개정된 배전계통 운전 용량 운영기준에 의하면 상시 운전용량이 10,000[kVA]이고, 비상시 운전용량 14,000[kVA]를 허용용량으로 하였다. 연계된 각 구간에서 소비되는 전력이 동일하고 선로가 상시 운전용량 10,000[kVA]로 운전 중에 고장이 발생했다고 가정하면, 2분할 2연계된 선로에서는 5,000[kVA] 용량이 건전선로와 연계된다.

표 2 22.9[kV] 배전선로의 회선당 기준용량  
Table 2 Continuous capacity in 22.9kV underground and overhead distribution line

구분	일반배전방식	대용량배전방식
적용 변전소	일반배전용	M.Tr용량 45/60(MVA)이상
회선당운전용량(kVA)	상시	10,000
	비상시	14,000
적용지역	전 배전선로 공급대상 지역	- 도심변화가, 공단 등 부하 밀집지역 - 선로전압 유지 곤란지역 - 경과지 확보가 곤란한 지역 - 기타 배전선로 운영에 필요한 지역
기자재규격	CB정격	25.8kV 600A
	전선	가공 : ACSR 160mm <sup>2</sup>
		지중 : CNCV 325mm <sup>2</sup>
	지대물	CP(500, 700kg)
개폐기정격	400A	

주) 서울, 직할시, 도청소재지 중심부(A, B지역)

이때, 전력을 지원하는 선로가 상시 운전용량 10,000[kVA]로 운전하고 있으면 이 선로를 통하여 흐르는 총 전력은 15,000[kVA]로서 비상시 운전용량 14,000[kVA]를 초과한다. 따라서, 비상시 운전용량을 허용용량으로 한다면 배전선로는 3연계 이상 되어야 한다.

$$n \geq \frac{10,000[kVA]}{14,000[kVA] - 10,000[kVA]} = 2.5 \Rightarrow \therefore n \geq 3$$

따라서 일반 배전선로에 있어 최적 연계수 N은 2.5 임으로 자연수를 취할 때 3연계로 운영하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다. 또한 대용량 배전선로의 최적 연계수 N도 동일한 방법으로 계산하면 정확히 3연계가 됨을 알 수 있다.

따라서 현 우리배전계통의 회선당 운전용량에서의 가장 경제적인 연계수는 일반용량과 대용량과 동일하게 3연계를 두는 것이 가장 바람직함을 알 수 있다. 단 대용량 선로와 일반용량선로가 혼재되었을 경우 혼재 현황을 분석하여 대용량 선로에서 상정사고 발생시 부하절체가 문제가 없도록 연계를 두어야 한다.

4. 동일 선로 과(過) 연계에 대한 검토

지금까지 상시 운전용량과 연계수에 관하여 검토하였다. 4연계 이하에서는 연계수에 따라 상시 운전용량 크기의 차이가 큼을 확인하였다. 여기에서 전제하는 연계의 기본 원칙은 동일 배전선로가 아니라 이웃하는 각기 다른 배전선로에만 연계의 의미를 부여한 것이다.

동일 선로에서 아무리 많은 연계가 되어있더라도 상시 운전용량의 크기에 영향을 주지 못한다. 그러나 일반적으로 배전계획자는 가능하면 상시운전용량 및 비상시운전용량을

고려하여 얻은 연계수 N보다 동일 선로에서라도 중복되게 연계수를 2개 이상으로 많이 두면, 마치 연계수를 늘린 것과 같이 부하용통력이 훨씬 커질 것으로 판단하여 연계를 두고 있다.

동일 배전선로에서 연계수를 1개 이상 둘 수 있는 효과 및 발생하는 문제점 등을 분석하였으며, 실 배전계통에서의 동일선로의 연계수를 늘리는 것이 부하용통관점에서 바람직한 것인지를 검토하였다.

#### 4. 1 동일선로 과(過) 연계에 대한 검토

N분할/N연계의 값을 갖는 배전계통에 n분할/n연계만큼 강화하여 N+n분할/N+n연계로 구성된 1개 선로 전체가 인출점의 사고로 인하여 모두 정전되었다고 가정하면 사고선로의 표준적인 부하용통량은 다음과 같다. 소구간 분할은 두지 않았다고 가정한다.

사고선로의 상시부하운전용량 P는

$$P = P' \times \left( \frac{N}{N+1} \right)$$

사고선로와 인접한 선로의 각 연계선의 부하용통 능력 P<sub>c</sub>는

$$P_c = P' \times \left( \frac{1}{N+1} \right) \text{이다.}$$

그러나 n분할/n연계만큼 강화된 선로에서의 사고시 실제로 각 연계선로에 넘겨줄 구간 건전부하량 P<sub>c'</sub>는

$$P_c' = P' \times \left( \frac{1}{N+n+1} \right) \text{이다.}$$

따라서 n분할/n연계를 더 강화한 선로에서 사고가 발생시 연계된 건전한 인접선로에 넘겨주어야 하는 부하량의 크기는 연계를 강화하기 이전보다

$$P_c - P_c' = \left\{ P' \times \left( \frac{1}{N+1} \right) \right\} - \left\{ P' \times \left( \frac{1}{N+n+1} \right) \right\}$$

만큼 줄어들어 부하 절체여력은 확보되어 구간 사고시에는 부하절체가 용이함을 알 수 있다. 구간사고의 경우는 연계된 3개의 인접선로에서 상시 운전용량 P만큼 부하를 용통하지 않아도 됨으로 구간사고시의 부하 절체의 용이함은 사실상 큰 의미가 없다.

따라서 구간사고가 아닌 변전소 인출사고를 고려하여 1개 선로가 완전히 정전된 사례를 가지고 동일 배전선로에서 2연계된 경우의 검토가 필요하다.

#### 4. 2 동일선로 과(過) 연계 검토 결과

그림 12는 비록 4연계가 되었다고 하더라도 동일 선로에서 2연계 된 경우이기 때문에 B선로 인출점에서 사고발생시 1개 선로에서 2개의 구간부하 2P<sub>c'</sub>를 담당하여야 한다. 이 경우 2P<sub>c'</sub>>P<sub>c</sub>의 관계가 반드시 성립하여, 다음과 같은 여러

가지 문제점을 발생시킨다.

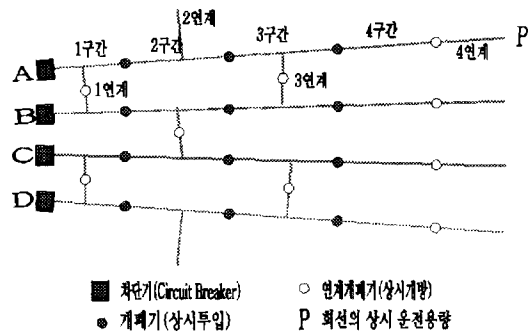


그림 12 4연계(동일 선로 2연계) 배전계통 구성도(예)  
Fig. 12 Four Multi-connecting distribution system.

- ① 실제 운전원 입장에서는 부하용통시 결정에 상당한 혼란을 줄 수 있음.
- ② 2단계 부하절체를 시행하여야 함
- ③ 2연계된 이웃선로가 말단 연계가 잘되어 있지 않고 소구간 분할이 잘되지 않았을 경우 2단계 부하절체도 시행할 수 없어 부하를 용통할 수 없을 경우도 발생할 수 있음.
- ④ 사고발생시 부하를 절체하기 위해서 개폐기 조작 회수가 증가함.
- ⑤ 연계수를 늘리게 되면 배전계통이 복잡하여짐.
- ⑥ 연계수를 늘리게 되면 개폐기 및 연계선 투자 비용이 증가함.

실 배전계통에서의 동일선로의 연계수를 늘리는 것은 상정사고시 부하용통관점에서 검토한 결과 큰 이익이 없음을 알 수 있다.

한 선로가 동일 선로에서 2연계 이상이 되었을 때 1개 배전선로 및 비교적 큰 규모의 상정사고시에는 반드시 2연계 선로중 연계 개념이 적용된 1개 연계선로를 이용하여 부하를 용통하던지, 소구간 분할을 정확히 두어 각 연계선이 P<sub>c</sub>/2 만큼 부하를 감당하도록 하여 2연계선을 100%이용할 수 있다. 이 경우 개폐기 조작횟수가 증가함을 알 수 있다.

또한 구간별 선로 부하분포 및 크기가 균등하지 않고 정확한 연계 기준을 도입하지 않은 배전계통시스템에서는 분할과 연계수를 증가시킬수록 구간의 배전계통의 부하절체가 용이함을 알 수 있지만, 그 만큼 배전설비가 효율적으로 운영하지 못하고 있음을 알 수 있다.

#### 5. 배전계통의 구성을 고려한 연계수

배전계통 연계의 기본 개념은 이웃하는 선로와 부하를 주고 받을 수 있는 관계이다. 모든 배전선로가 표준적으로 구성되어 있지는 않지만, 표준적인 배전계통을 가정한다면 배전선로는 같은 변전소 내에서의 이웃하는 2개 배전선로 및 말단에서 타변전소와 연계된 형태로 그려볼 수 있다.

다음 그림 13와 같이 비교적 공장이 짧은 배전선로에서



는 한경로를 통한 3연계로 표현 할 수 있으며, 그림 14과 같이 비교적 공장이 긴선로는 소구간 분할을 정확히 두어 각 연계선이 Pc/2 만큼 부하를 감당하도록 하여 2연계선을 두어 2경로를 통한 3연계까지 가능함을 알 수 있다. 따라서 1개 배전선로가 공급하는 범위를 3구간으로 나누어 각각 연계선을 두어 3연계를 최소 연계수로 두는 것이 가장 바람직함을 알 수 있다.

그림 13은 비교적 배전선로의 공장이 짧은 경우 3개의 지역으로 나누어 인접한 선로와 각각 1개의 경로를 통하여 3연계한 예를 보였다.

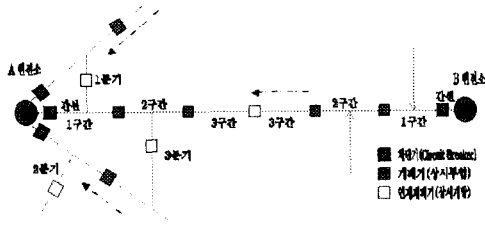


그림 13 표준 3연계 배전계통(단공장)  
 Fig. 13 The standard three multi-connecting distribution system(Short length)

그림 14는 비교적 배전선로의 공장이 긴 경우 3개의 지역으로 나누어 인접한 선로와 각 연계선이 Pc/2 만큼 부하를 감당하도록 하여 2연계선을 두어 각각 2개의 경로를 통하여 3연계한 배전계통을 보였다.

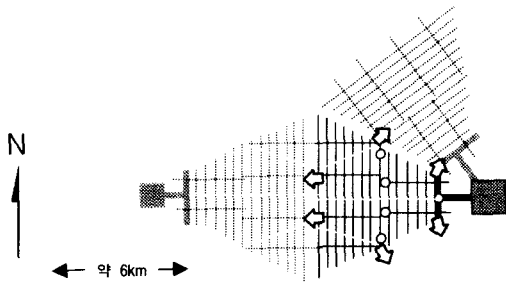


그림 14 표준 3연계 배전계통(장공장)  
 Fig. 14 The standard three multi-connecting distribution system(Long length)

6. 3연계시 소구간 분할로 인한 문제점

지금까지 부하용량 측면에서 연계에 대하여 검토하면서 구체적으로 소구간 분할에 대하여서는 언급하지 않았다. 부하용량 측면에서 3연계가 되려면 최소한 3분할이 필요하다.

사고 및 작업정전시 정전구간을 축소하기 위하여 별도의 개폐기 설치 기준을 사고발생 확률을 고려한 공장의 길이 및 정전에너지량을 고려한 부하량을 동시에 고려하여 정전구간을 축소시키고 있다.

배전선로에 개폐기를 많이 두면 들수록 사고 발생시 정전

에너지 감소 효과가 높다. 그러나 실제통에서 임의 배전선로 한 구간에서 사고가 발생할 확률은 대단히 작다. 또한 많은 개폐기 취부는 개폐기 자체가 가지고 있는 사고 가능성 및 유지보수를 위한 운영비 증가 등을 예상할 수 있다.

최근 배전자동화 시스템의 확대로 사고 발생시 고장전류를 감지하여 고장구간을 신속히 찾을 수 있고, 무정전 공사의 확대로 대부분의 작업이 무정전 공법으로 시행됨에 따라 소구간 분할 개폐기의 역할은 정전 구간 축소보다 부하를 원활히 유통하여 상시운전용량을 높여 신설 배전선로 투자시기 지연 효과, 지중선로의 고장점 탐색시간 축소 등 설비 이용도를 극대화하는 것에 오히려 개폐기 취부효과를 들 수 있다.

6.1 간선의 구성과 연계율

다분할 다연계 간선에 있어서 계통 부하는 인접 간선 사고시에 연계선을 통하여 인접 구간의 부하를 분담하기 때문에, 사고시 절체 부하에 의하여 해당 간선의 허용 용량이 초과하지 않도록 하여야 한다.

전체 간선이 항상 절체 여력을 확보하는 것은 어느 정도 한계가 있으며, 부하 증가로 인하여 일부 간선에 대해서는 절체 불능한 구간이 발생할 수 있다. 즉, 임의의 구간에서 사고가 발생하여 사고 구간을 분리한 후에 전원측 건전 구간에 대해서 변전소의 배전선로용 차단기의 재투입으로 재송전이 가능하나, 사고 구간에서 부하측 건전 구간에 대해서는 일부 또는 전부가 절체 불능한 구간이 생길 수도 있다.

이러한 인접 간선과의 연계 상황을 나타내는 지수로서 연계율을 사용한다. 연계율은 구분 개폐기에 의해서 사고가 제거되었을 경우에 발생하는 전원측 건전 구간 수에 대한 인접 간선과의 연계를 통하여 절체 가능한 부하측 건전 구간 수로서 정의한다.

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

그림 15에 C구간으로 나누어진 모델 배전선로를 구성하여 각 구간별 사고 발생에 따른 각 구간의 상황을 파악하고 이를 토대로 연계율을 구하는 방법을 검토하였다.

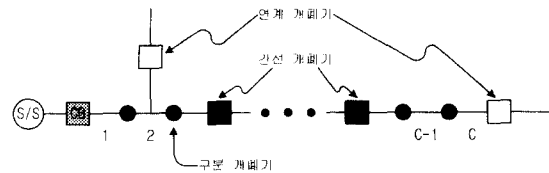


그림 15 C 구간 배전선로 모델  
 Fig. 15 C zonal distribution model

C구간 모델 선로에 대하여 각 구간별 사고 발생에 따른 각각의 구간의 절체 상황은 표 3과 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 3에서 표시된 구성 상황 표시를 이용하여 인

접 배전선로와의 연계 상황을 나타내는 지표인 연계율은 다음과 같다.

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

여기서, 연계율  $\alpha=1$ 은 배전선로의 모든 구간에서 부하 절체가 가능함을 의미한다.

표 3 구간별 사고발생 절체상황

Table 3 Example of restoration from a zonal accident

사고 구간	구 간 상 태						
	1구간	2구간	3구간	...	C-2구간	C-1구간	C구간
1구간	F	T	T	...	T	T	T
2구간	S	F	S	...	X	T	T
3구간	S	S	F	...	X	T	T
...	...	...	...	...	...	...	...
C-2구간	S	S	S	...	F	T	T
C-1구간	S	S	S	...	S	F	T
C구간	S	S	S	...	S	S	F

각 상태 표시 기호의 전체 구간수는 다음과 같이 구할 수 있다.

- 사고 발생된 구간에서 전원측 건전 구간의 수

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

- 사고 발생 구간 수

$$\sum F = C$$

- 사고 구간에서 부하측으로 부터 타계통에서 절체 가능 구간의 수

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

- 사고 구간에서 부하측에서 본 정전된 전체 구간의 수

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

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

6.2 소구간 분할에 따른 3연계 검토

일반적으로 배전선로는 구분개폐기를 두어 사고 및 작업 시 정전구간을 축소시키고 있다. 따라서 배전선로마다 별도의 구분개폐기 설치 기준을 적용하여 구분을 두고 있는데 본 연구에서는 이 구분을 소구간이라고 한다. 임의 선로에서 소구간수는 선로공장, 부하밀도 등에 따라 결정되어 점으로 소구간수는 다양하다.

따라서 3연계를 고려하여 소구간 분할을 4로 둔 12구간 모델에 대하여 연계율 및 3연계로 인한 문제점 등을 분석하고 이에 대한 해결 방안을 2가지로 제시하여 3연계 적용시 배전계통 연계율이 전혀 저하되지 않을 수 있음을 보였다.

본 절에서는 연계구간에 제안될 수 있는 최대 소구간 분할로 예상되는 4개의 소구간을 둠으로 발생하는 연계율 저하 영향에 관하여 분석하여 보고 그 대책을 제시하였다.

모델선로의 신뢰도 평가를 위한 기본조건

구분	용량[kVA]
상시운전용량	10,000
비상시운전용량	14,000
연계수	3연계
연계용량	4,000

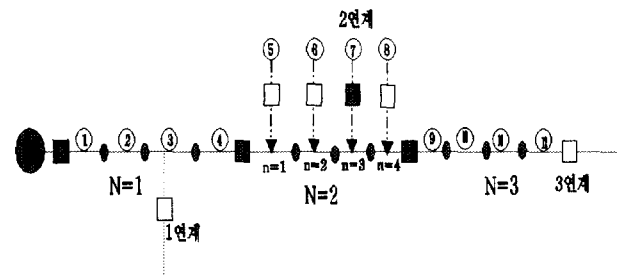


그림 16 12구간 3연계 배전선로

Fig. 16 12 section and 3 multi-connection distribution line

상기 그림 16의 모델 계통도에서 소구간을 둠으로 발생하는 연계율의 저하를 분석하기 위하여 동일한 각 구간의 절체 상황을 다음 표4에 나타내었다.

표 4 구간별 사고발생 절체상황(12구간)

Table 4 Example of restoration from zonal accident(12 sections)

구분	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
사고시 각 구간의 절체 상황	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	#
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	#	B
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	#	B	B
	A	A	A	A	A	A	A	A	#	B	B	B
	A	A	A	A	A	A	#	x	B	B	B	B
	A	A	A	A	A	#	B	B	B	B	B	B
	A	A	A	A	#	B	B	B	B	B	B	B
	A	A	#	x	B	B	B	B	B	B	B	B
	A	#	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	#	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

상기 표와 같이 선로의 구간수가 12일 경우

연계율  $\alpha = \frac{\sum B}{\sum A} = \frac{64}{66} \times 100\% = 96\%$ 가 되어 연계율이 4% 저하됨을 알 수 있다. 96%는 소구간 중에서 ③번 소구간과 ⑦번 소구간에 각각 연계선이 연결되었을 경우이다. 실제 현장 여건에 따라서는 연계선이 전원측에 치우친 ①번, ⑤번에 연결된다면 연계율  $\alpha$ 는 훨씬 줄어든다.

따라서 소구간 분할을 들수록 사고구간에서의 정전에너지는 감소하지만 배전계통의 연계율  $\alpha$ 가 반드시 작아진다.

배전계통에서의 신뢰도 향상은 곧 사고발생시의 사고 복구 시간동안의 정전에너지의 감소이므로 사고 복구시간 동안의 정전에너지를 줄일 수 있기 위한 소구간 분할은 반드시 필요하다. 따라서 소구간을 뚝으로 작아지는 연계율을 향상시키기 위한 방법은 다음과 같은 세가지 방법을 모색할 수가 있다.

- ① 연계수를 늘임.
- ② 상시운전용량을 작게 하던지 혹은 비상시 운전용량을 크게함.
- ③ 연계점의 위치를 선정시 소구간에서 가장 부하점과 근접한 곳 선정
- ④ 2 단계부하절제 시행

연계수를 늘인다는 것은 결국 상시운전용량과 비상시 운전용량과의 관계이므로 ②와 같은 내용을 포함하고 있다. 또한 전체 배전계통의 구성이 현장 여건상 기본 연계수 외에 추가로 연계수를 증가시키기가 어렵게 구성되어있을 수 있기 때문에 소구간 분할에 따른 연계율 향상을 위하여 두 번째 항목을 통하여 검토하고자 한다.

비상시 운전용량은 도체규격의 열적 허용용량에 의하여 결정되어 짐으로 임의로 운용자가 변경할 수 없어, 구간의 소구할 분할로 인한 연계율 100%를 보장하는 새로운 상시 운전용량을 제시하였다.

배전선로의 상시운전용량을 P, 비상시 운전용량을 P', 연계수 N, 연계된 구간당 소구간 분할수를 n이라고 두면 소구간 분할시 연계율 100%를 보장하는 새로운 상시 운전 용량 (P'') 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \cdot P &= P' \times \left( \frac{N}{N+1} \right) \\ \cdot P_c &= P' - P' \times \left( \frac{N}{N+1} \right) \\ \cdot P_{nc} &= \left[ \frac{\{P' \times \left( \frac{N}{N+1} \right)\} (n-1)}{n \times N} \right] \\ \cdot P_c' &= \left[ \{P' - P' \times \left( \frac{N}{N+1} \right)\} + P_c + \left\{ \frac{P' \times \left( \frac{N}{N+1} \right)}{n \times N} \right\} \right] \\ \cdot P'' &= \left[ P' - \{P' - P' \times \left( \frac{N}{N+1} \right)\} + P_c + \left\{ \frac{P' \times \left( \frac{N}{N+1} \right)}{n \times N} \right\} \right] \end{aligned}$$

- P : 배전선로의 상시운전용량
- P' : 소구간을 고려한 상시운전용량
- P'' : 배전선로의 비상시 운전용량

- N : 연계수
- n : 연계구간내의 소구간 분할 수
- P<sub>n</sub> : 소구간 부하
- P<sub>nc</sub> : 소구간 분할로 인한 늘어난 부하용량
- P<sub>c</sub> : 연계로 인한 부하용량
- P<sub>c'</sub> : 소구간을 고려한 총 부하용량

상기식에서 소구간 분할시 연계율  $\alpha$ 의 값을 1로 보장하기 위한 조건은 상시운전용량을 기존 상시용량에서 최소한 P<sub>nc</sub>(소구간 분할로 인한 늘어난 부하용량)만큼 작게하여 주어야 함을 할 수 있다.

투자차원에서의 배전계통 설비의 효율적 운영을 고려할 때 연계율에 영향을 주는 구간에서의 고장확률은 대단히 작을 뿐 아니라, 연계율  $\alpha$ 를 높이기 위하여 P<sub>nc</sub>만큼 상시 운전용량을 줄인다는 것은 배전설비 이용율을 대단히 떨어뜨리는 결과를 가져와 바람직하지 않음을 알 수 있다.

따라서 이에 대한 해결책으로 P<sub>nc</sub> 만큼 상시운전용량을 낮추지 않아도 3연계시 연계율을 100%로 할 수 있는 두가지 방안을 제시하였다.

### 6.3 연계율 100%가 되는 최적 연계위치

간선의 3연계 구간에서 타변전소와 연계되는 위치는 배전계통의 특성상 말단에 연계됨으로 별도로 연계위치를 검토할 필요가 없지만, 1구간 및 2구간의 연계선은 소구간 어느 위치에 두느냐에 따라 연계율이 크게 차이가 남을 알 수 있다. 다음은 3연계된 12구간의 모델계통을 대상으로 소구간 연계위치에 따른 연계율의 크기를 분석하였다.

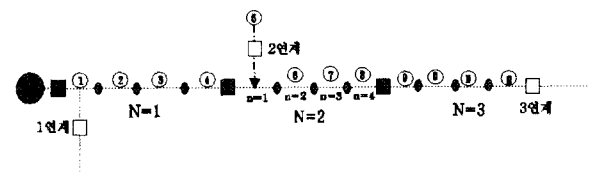


그림 17 연계율(82%)이 가장 낮은 연계예  
Fig. 17 Low connection rate for Multi-dividing Multi-connecting

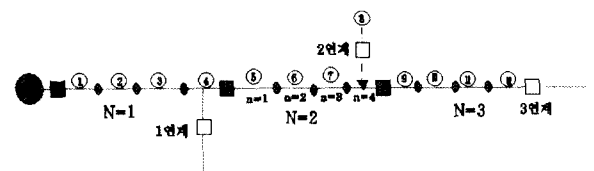


그림 18 연계율(100%)이 가장 높은 연계예  
Fig. 18 High connection rate for Multi-dividing Multi-connecting

3연계 기준으로 12구간에서의 최적 연계위치를 분석한 결과 가능한 연계구간 범위에서 가장 부하쪽에 연계선을 두면 소구간 분할을 두더라도 그 연계율을 항상 100%로 유지할 수 있음을 아래 표 5에서 확인할 수 있다.

따라서 최적 연계선 위치는 연계율을 향상시키기 위하여

가능한 연계선을 전원측과 멀리 떨어진 구간에 두면 어떤 경우의 사고에도 연계율이 100%가 보장됨을 알 수 있다.

표 5 구간별 사고발생시 연계율

Table 5 Connection rate of restoration from zonal accident

구분	1구간	2구간	정전구간		연계율 %
			1구간	2구간	
1	①	⑤	6	6	81.82
2		⑥	6	3	86.36
3		⑦	6	1	89.39
4		⑧	6	0	90.91
5	②	⑤	3	6	86.36
6		⑥	3	3	90.91
7		⑦	3	1	93.94
8		⑧	3	0	95.45
9	③	⑤	1	6	89.39
10		⑥	1	3	93.94
11		⑦	1	1	96.97
12		⑧	1	0	98.48
13	④	⑤	0	6	90.91
14		⑥	0	3	95.45
15		⑦	0	1	98.48
16		⑧	0	0	100.00

6.4 연계율 100%를 위한 2단계 절체 검토

연계율을 향상시키기 위하여 가능한 연계선을 전원측과 멀리 떨어진 구간에 두어 연계율을 100%로 만들 수 있지만 현장 여건상 혹은 여러 가지 이유로 연계선을 가장 부하중 구간에 설치하지 못할 경우가 있다. 이 경우 반드시 연계율은 100%가 될 수 없다. 이러한 경우 연계율을 100%로 보장하는 방안으로 인접선로의 연계를 이용하여 2단계 부하절체를 제안한다.

소구간 분할로 인한 연계율 100%를 만들기 위하여 2단계 부하절체 시행이 필요하며, 2단계 부하절체 가능 여부를 판단하기 위하여 다양한 상정사고에 대해서 소구간으로 인한 2단계 절체 가능여부를 변전소, 뱅크, 인접 2회선 상정사고를 고려하여 분석하였다.

분석 결과 소구간 분할 선로에서 구간사고 발생시에 2단계 절체를 수행한다 하더라도 전혀 문제가 없음을 알 수 있다.

6.4.1 변전소 사고 고려시

변전소 사고시의 표준적인 부하절체 방법은 다음과 같다. 상시운전용량 P의 연계수 N 만큼 타회선으로 용통하고, 사고변전소의 P만큼을 받는다. 상시운전용량 및 비상시 운전용량을 조정하지 않고, 소구간 분할을 두더라도 전체 부하용

통에 어떤 영향도 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

P/N은 타회선으로 용통

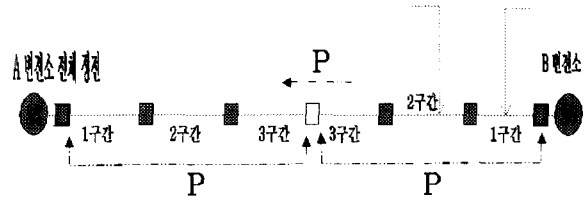


그림 19 변전소사고를 고려한 부하절체  
Fig. 19 Restoration for substation contingency

6.4.2 뱅크 사고 고려시

뱅크 사고를 고려시 표준적인 부하절체 방법은 다음과 같다. 상시운전용량 및 비상시 운전용량을 조정하지 않고 소구간 분할을 두더라도 전체 부하용통에 어떤 영향도 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

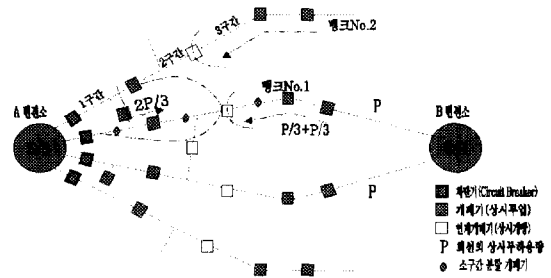


그림 20 뱅크사고를 고려한 부하절체  
Fig. 20 Restoration for bank contingency

6.4.3. 인접 2회선 사고 고려시

인접 2회선 사고를 고려시 표준적인 부하절체 방법은 다음과 같다. 상시운전용량 및 비상시 운전용량을 조정하지 않고 소구간 분할을 두더라도 전체 부하용통에 어떤 영향도 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

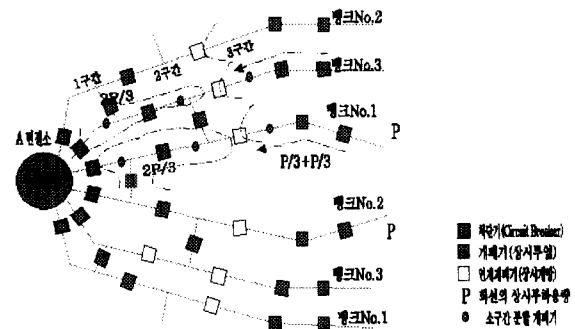


그림 21 인접 2회선 사고를 고려한 부하절체  
Fig. 21 Restoration for two neighborhood feeder accident

## 7. 결 론

연계 기준을 적용하기 위하여 가장 복잡하다고 판단되는 도심지역의 1개 사업소를 선정, 실 배전계통의 유형을 분석하여 복잡한 배전계통을 다양한 형태로 표준화하였으며, 표준화된 배전계통을 모델로 하여 연계 개념을 적용시킬 수 있는 기반을 제시하였다. 실 배전계통 분석결과 연계 모델을 제시할 때 가공·지중혼재 선로를 일괄하여 하나의 배전계통으로 두는 것이 현실적임을 확인하였다.

국내 배전계통의 상시운전용량과 비상시운전용량을 고려하여 연계수를 분석한 결과 지리적으로 연계가 가능하다면 3연계를 두는 것이 가장 경제적인임을 보였다.

동일 선로에서 2연계 된 경우 다양한 문제점이 내재하고 있음을 보였으며, 특별한 경우가 아니면 동일 선로에서 2연계를 두는 것이 바람직하지 않음을 보였다.

배전계통의 일반적 구성을 고려하여 단공장 및 장공장에 대해 3연계가 제일 바람직함을 보였다.

3연계시 소구간 분할로 예상되는 연계율 저하 관하여 분석하였으며, 그 대책을 2가지로 제시하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. L. Wills, "Power Distribution Planning Reference Book", Marcel Dekker, Inc., 1997.
- [2] 한국전력공사 기술연구원, "대용량 배전에 관한 연구(최종 보고서)", 한국전력공사, KRC88D-J01, 1991. 3.
- [3] 한국전력공사 기술연구원, "배전자동화 알고리즘 정립 및 표준화 연구(최종보고서)", 한국전력공사, KRC-91D-J01, 1993. 5.
- [4] 한국전력공사 배전처, "22.9kV-Y 배전선로 적정운전용량 기준선정에 관한 연구(최종보고서)", 한국전력공사, EESRI-93P-109, 1994. 10.
- [5] 한국전력공사 배전처, "배전계획기준(안)", 한국전력공사, 1996. 6.

## 저 자 소 개



### 조 남 훈(趙南勳)

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

Tel : (042) 865 - 5904

E-mail : namhun@kepri.re.kr



### 김 건 중(金建中)

1953년 2월 12일생. 1975년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1977년 해군 제2사관학교 교수. 현재 충남대학교 전기공학과 교수

Tel : (042) 821-5659, FAX : (042) 823-7970

E-mail : kjkim@ee.chungnam.ac.kr



### 김 재 철(金載哲)

1955년 7월 22일생, 1979년 숭실대 전기공학과 졸업, 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1987년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1988년~현재 숭실대 공대 전기공학과 교수.

E-mail : jckim@ee.ssu.ac.kr