

상정사고별 배전측 부하분담 능력 분석과 도체 규격 검토

論文

52A-7-2

Analysis of the Load Transfer Capacity and Study of Conductor Sizes for Contingency Levels in Distribution Systems

趙南勳* · 田永在** · 韓鏞熙*** · 韓秉誠§

(Nam-Hun Cho · Young-Jae Jeon · Yong-Huei Han · Byoung-Sung Han)

Abstract - This paper presents the analysis of the load transfer capacity and study of conductor size for variable contingencies in distribution systems. The operation capacity of feeders was changed to improve operation efficiency in KEPCO, considerations for contingencies are still based on the previous capacity. In order to cope with the changes such as operation capacity, it is necessary to study whether the present "contingency support criteria" is reasonable or not, also to confirm the whether the present criteria should be improved or not. We analyze the load transfer capacity and conductor size on a distribution system for contingency levels such as the substation-level, bank-level, feeder-level, and zone-level.

Key Words : Contingency Level, Line Capacity, Transfer Capacity, Conductor Size, Distribution System

1. 서 론

수용가가 경험하는 대부분의 정전이 배전계통의 문제에 기인하기 때문에 배전계통 운영과 계획 분야의 중요성이 점점 커지고 있다. 배전계통이 원활히 운영되기 위해서는 운영 단계 이전에 예상되는 상황을 모두 고려하여 계획 단계에서 적절한 운전 조건을 결정할 필요가 있다. 배전계통의 계획 단계에서 고려할 수 있는 요소는 변전소, 피더 구성, 도체 규격, 상정 사고, 운영 제약조건 등이며 상호간에 많은 영향을 미치기 때문에 종합적으로 고려해야 한다[1].

전력회사 입장에서는 종합적으로 고려해야 하지만 상호 영향이 크고 고려할 요소도 많기 때문에 대부분의 연구에서는 몇가지 요소들을 고정시켜 놓고 필요한 부분만 최적화 문제로 변환하여 다루고 있다[2]. 일반적으로 전력회사에서 단일 상정사고를 가정하여 변전소 뱅크 단일 사고까지 고려하는 경우가 많기 때문에 상정 사고에 관해서는 변전소의 최대 부하 설정이나 사고복구 문제로 다루는 연구가 많이 진행되었다[3,4]. 도체 선정 문제는 피더 구성이나 제약조건에 많은 영향을 받으며, 전압강하, 손실, 투자비 등을 고려해 수십 종의 도체 중에서 해당 배전계통에 적합한 몇 개의 도체를 선정하거나 특정 선로에 적합한 도체를 선택하는 식의

최적화 문제로 연구가 진행되어 왔다[5-8].

상정 사고나 도체 규격에 관한 문제는 일반적으로 피더 구성이 이상적으로 되어 충분한 다단계 절체를 할 수 있다는 가정을 바탕으로 하지만, 그렇지 못할 경우 전압 강하, 손실, 투자비 등의 운영상의 제약조건이나 경제성을 충분히 고려할 수 없다[2]. 현재 한국전력의 배전선로는 대부분 3분할 3연계 개념을 사용하여 구성되어 있어 현실적으로 다단계 절체가 충분히 적용될 수 없기 때문에 최적화 문제가 아닌 사례별 접근이 필요하다. 또한, 전력회사가 주로 사용하고 있는 도체들이 이미 결정되어 있기 때문에 상정사고와 피더 구성 등의 조건을 고려하여 필요한 절체 능력을 가지고 있는 도체를 선택하는 것이 필요하다.

국내 배전계통의 회선당 운전용량이 7,000[kVA]에서 10,000[kVA]로 상향 조정됨에 따라 상정사고별 배전측 부하분담 능력을 재검토할 필요성이 대두되었다[9-13]. 이를 위해 본 논문에서는 상정사고에 따른 절체 여력에 가장 큰 영향을 미치는 상시/비상시 운전 용량의 변화를 고려하여 사례별 분석을 수행하였으며, 동시에 절체 여력을 고려한 도체 규격을 제시하였다.

2. 변전소 규모 사고시 검토 결과와 도체 규격

2.1 배전측 부하분담 능력

변전소 상정사고에 관한 대응량 배전방식과 일반 배전방식의 회선당 상시/비상시 최대 운전용량은 각각 15,000/20,000[kVA]과 10,000/14,000[kVA]이며, 3연계 3분할로 운영하는 것을 기본으로 하였다[13]. 이를 위해 그림 1과 같은 절체 개념을 가지고 변전소 상정사고시 배전측 부하분담 능력을 검토하였다.

* 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 前任研究員

** 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 委囑研究員

*** 正 會 員 : 韓國電力公社 구조조정실 구조개편팀장

§ 正 會 員 : 全北大學校 電氣工學科 教授

接受日字 : 2002年 5月 29日

最終完了 : 2003年 5月 21日

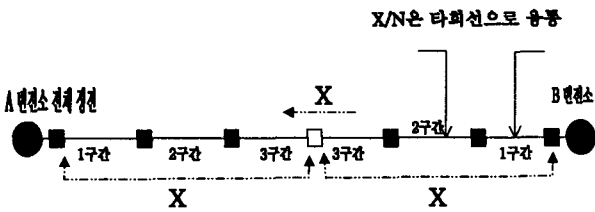


그림 1 변전소 사고를 고려한 부하 절체 용량
Fig. 1 Load Transfer Capacity for a Substation Contingency

그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 변전소의 각 피더는 각각 상시운전용량 X[MVA]로 운영되고 필요시 X/(분할수)만큼 절체될 수 있다. 사고시 3구간 사이의 연계에 의해 절체받는 변전소의 피더는 최대 2X의 용량을 분담해야 하며, 타 변전소와 연계율에 따라 최대한 자신의 부하를 절체시켜 실제 분담 용량을 결정할 수 있다. 따라서, 분담 용량은 분할수와 연계율이 고려된 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$X + X - \frac{1}{3}X \times T/100 < P' [MVA] \quad (1)$$

여기서,

- X : 선로의 상시운전용량
- T : 타변전소로 부하를 절체 하는 회선의 비율[%]
- P' : 비상시 최대운전용량

식 (1)을 이용해 대용량과 일반 배전방식에서 타변전소와의 연계율에 따른 비상시 최대 운전용량을 다음 표와 같이 정리하였다.

표 1 변전소 상정사고시 연계율에 따른 상시운전용량
Table 1 Normal Operating Capacity with the tie ratio for a Substation Contingency

	P'[MVA]	T[%]	연계수	X[MVA]
대용량 배전선로	20	90	3	11.765
		80	3	11.538
		70	3	11.321
일반 배전선로	14	90	3	8.235
		80	3	8.077
		70	3	7.925

일반적으로 3연계 3분할 개념을 정확히 준수한 경우 대략 타변전소와의 연계가 90% 정도가 되기 때문에 변전소 상정 사고시 대용량과 일반 배전방식의 비상시 운전용량은 표 1에서 볼 수 있는 것처럼 각각 11,765[kVA], 8,235[kVA]가 된다.

계산된 비상시 운전용량은 이용률도 58%(11,765/20,000과 8,235/14000)로 낮고 사고 가능성도 매우 낮기 때문에 배전계통의 피더 구성과 도체 규격을 맞추는 것보다 송전계통의 1차 T/L측을 이중화 하는 것이 바람직하다 그러나, 변전소가 아주 중요한 부하에 전력을 공급하는 등의 특별한 경우에 한하여 다음에 제시되는 도체 규격이 필요하다.

2.2 변전소 상정사고를 고려한 도체 규격 검토

앞서 살펴본 비상시 운전용량에 적합한 도체 규격을 이 절에서 검토하려고 한다. 비상시 운전용량에 최대한 근접한 도체 규격을 선택하는 것이 경제적이겠지만 이미 한국전력에서 주로 사용하고 있는 도체 규격이 있기 때문에 표 2에 정리된 도체들 중에서 적절한 것을 선택한다.

표 2 배전계통에 많이 사용되는 도체 종류
Table. 2 Type of Conductors Mainly Used in Distribution Systems

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

기본적으로 도체 규격은 배전선로가 3분할 3연계 되어 있고 변전소에서 사고가 발생했을 경우, 선로의 약 1/3부하가 다른 변전소의 배전선로로 절체된다는 가정하에 산출하였다.

정상 상태시 각 피더의 1구간은 해당선로의 전체 부하 P를 부담하고 2구간에서는 1구간에서 부담하는 부하(P/3)을 제외한 부하 2P/3을 부담한다. 마찬가지로 3구간에서는 1구간과 2구간에서 부담하고 있는 부하(2P)를 제외한 부하 P/3을 부담하면 된다.

사고시에는 자기 선로의 부하와 사고 선로의 부하를 부담해야 한다. 1구간의 경우 P/3의 구간을 절체 할 수 있다는 가정하에 5P/3을 분담해야 한다. 2구간의 경우 절체받는 피더의 1구간에 연계된 타 변전소로 0.5P/3를 절체할 수 있기 때문에 분담량은 4.5P/3이 된다. 마찬가지로 이유로 2구간에서 0.5P/3가 절체되기 때문에 3구간의 분담량은 4P/3이 된다.

- 비상시 1구간 분담 부하량 = P + (P - P/3) = 5P/3
- 비상시 2구간 분담 부하량 = P + (P - P/3 - 0.5P/3) = 4.5P/3
- 비상시 3구간 분담 부하량 = P + (P - P/3 - 0.5P/3 - 0.5P/3) = 4P/3

간선은 위의 분담량을 도체 선택의 기준으로 이용했고, 분기선의 경우 절체받는 0.5P/3를 기준으로 선택했다. 도체 선택에 사용된 대용량과 일반 배전방식의 상시 운전용량 P는 각각 12[MVA]와 8[MVA]이며, 기타 조건은 도체 규격과 함께 표 3과 4에 정리되어 있다.

표 3 변전소 상정사고에 대한 대응량 도체규격
Table. 3 Large-Scale Conductor Capacity for SS fault

구분		1구간	2구간	3구간
간선	상시	11,700kVA(P) 302A	8,000kVA(2P/3) 201A	5,000kVA(P/3) 100A
	비상시	20,000kVA(5P/3) 504A	18,000kVA(4.5P/3) 454A	16,000kVA(4P/3) 400A
	최소규격	ACSR-OC240mm ² CN/CV600mm ²	ACSR-OC240mm ² CN/CV600mm ²	ACSR-OC240mm ² CN/CV 600mm ²
분기선	상시	검토불요		
	비상시	2,000kVA(0.5P/3) 50A	2,000kVA(0.5P/3) 50A	16,000kVA(4P/3) 400A
	최소규격	ACSR-OC58mm ² CN/CV200mm ²	ACSR-OC58mm ² CN/CV200mm ²	ACSR-OC240mm ² CN/CV600mm ²
조건	· 변전소사고시 인접변전소 부하용통력(T:0.9, N:3) · 비상시운전용량(20MVA) · 상시운전용량(12MVA): $X+X-X/3 \times 0.9 < 20MVA$ $\therefore X < 11.76$ · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하 · 부하용통 : $0.9 \times P/3 = 0.3P$, 1구간(0.15P/3), 2구간(0.15P/3)			

표 4 변전소 상정사고에 대한 일반용량 도체규격
Table. 4 Standard Conductor Capacity for SS fault

구분		1구간	2구간	3구간
간선	상시	8,000kVA(P) 201A	5,400kVA(2P/3) 136A	2,700kVA(P/3) 68A
	비상시	13,400kVA(5P/3) 340A	12,000kVA(4.5P/3) 300A	10,700kVA(4P/3) 270A
	최소규격	ACSR-OC160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC160mm ² CN/CV 325mm ²
분기선	상시	검토불요		
	비상시	2,000kVA(0.5P/3) 50A	1,400kVA(0.5P/3) 35A	10,700kVA(4P/3) 270A
	최소규격	ACSR-OC58mm ² CN/CV200mm ²	ACSR-OC58mm ² CN/CV200mm ²	ACSR-OC160mm ² CN/CV325mm ²
조건	· 변전소사고시 인접변전소 부하용통력(T:90, N:3) · 비상시운전용량(14MVA) · 상시운전용량(8MVA): $X+X-X/3 \times 0.9 < 14MVA$ $\therefore X < 8.24$ · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하 · 부하용통 : $0.9 \times P/3 = 0.3P$, 1구간(0.15P/3), 2구간(0.15P/3)			

3. 뱅크 규모 사고시 검토 결과와 도체 규격

뱅크규모의 사고를 검토하는 것은 변전소내에서 부하를 절체할 수 없는 최악의 경우를 고려하여 배전측에서 부하를 분담하여야 할 경우가 발생하였을 경우를 대비하기 위해서이다. 뱅크규모의 사고를 배전측에서 고려할 경우는 2차측 모선 사고이다. 이러한 사고가 발생한 경우에는 모선 CB를 동작시킬 수 없어 배전계통에서 사고가 발생한 1뱅크의 전부 하량을 감당해야 하는 책무가 있다.

2차측 모선 사고가 발생할 확률이 작더라도 모든 종류의 상정사고를 고려하여 배전측의 부하분담 능력이 검토되어야 함에 따라 모선 사고를 고려한 1뱅크 사고시 배전측 부하용통에 관하여 2뱅크 변전소에서 1뱅크 상정사고, 3뱅크 변전소에서 1뱅크 상정사고시 각각 배전측에서 부하분담 능력

을 검토하였다. 1뱅크 변전소는 고려하지 않았고, 3뱅크 이상의 변전소에서 뱅크사고는 3뱅크 변전소와 동일하게 고려할 수 있어 검토하지 않았다.

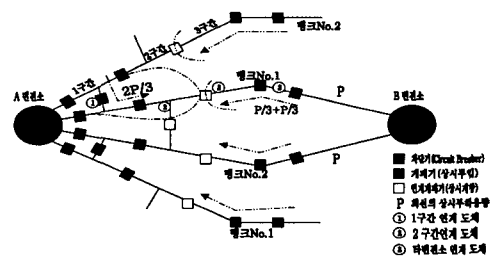
3.1 2뱅크 변전소에서 1뱅크 사고

3.1.1 배전측 부하분담 능력

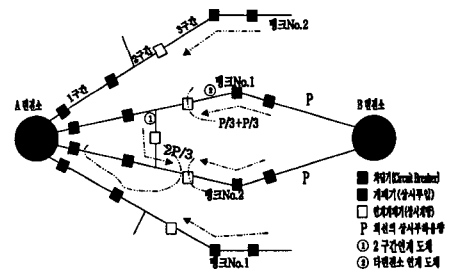
2뱅크 변전소에서 뱅크 상정사고를 고려하여 배전측 부하분담 능력을 검토하기 위해서 다음과 같이 두가지 가정을 두고 검토를 하였다.

- ① 배전선로는 변전소를 순환하면서 변압기를 사이에 번갈아 배열하여 최적으로 배열되어 있음.
- ② 배전선의 연계는 3연계를 두었으며 1연계 및 2연계를 두었을 경우와 1연계를 두지 않았을 경우를 고려하였음. 연계의 위치는 정확하게 부하를 분배하여 최적의 위치에 두었으며 이에 따라 한 선로는 3구간으로 나누어 있으며 각 구간에서의 부하는 말단집중 부하임.

2뱅크 변전소에서 1뱅크 상정사고가 발생하였을 경우 배전측에서 1뱅크 규모의 부하를 담당하기 위해서 절체 부하의 용량, 절체 부하의 이동거리, 전압강하, 손실의 최소화, 부하절체의 단순화, 개폐기 조작횟수 등을 고려하여 다음과 같은 표준적인 부하절체 방법을 그림 2에 제시하였다.



(a) 1, 2연계선을 두었을 경우



(b) 1연계선을 두지 않았을 경우

그림 2 2뱅크 변전소에서 1뱅크 사고 예
Fig. 2 Example for 1 bank contingency in 2 bank SS

뱅크 사고가 발생하였다면 해당 뱅크의 모든 선로의 부하는 동일 변전소의 남아있는 뱅크와 타변전소로 절체 할 수 밖에 없다.

그림 2(a)에서 타변전소의 선로는 우선 1, 2연계를 이용한 부하를 절체를 통해서 부담 용량을 $2X/3$ 으로 만든다. 3구간 연계선을 통해서 사고 뱅크의 $X/3$ 을 받는 3구간은 1, 2구간

의 부하를 뺀 2X/3을 분담하게 되어 상시 운전용량의 66%를 담당할 수 있으면 된다. 사고가 발생한 뱅크에 남아있는 2X/3 부하는 동일 변전소로 절체가 되어야 하는데 1, 2연계를 나머지 뱅크가 동시에 이용하기 힘들기 때문에 하나의 연계만 사용된다고 가정하면, 뱅크끼리의 연계 용량은 2X/3이 되어 연계 선로는 상시 운전용량의 66%를 담당할 수 있으면 된다. 그림 2(b)처럼 1연계가 되지 않는다면 뱅크 2의 사고나 타변전소와의 연계율에 따라 절체 여부가 결정되는 것을 볼 수 있다.

3.1.2 상정사고를 고려한 도체규격 검토

사고가 발생하였을 경우, 3구간에서는 자기 구간 부하(P/3)와 다른 변전소의 P/3부하를 더 부담해야 하므로 2P/3 부하를 분담한다. 2구간에서는 자기 부하(P/3)와 사고가 발생한 뱅크에 속한 부하선로에서 2P/3부하를 추가로 분담해야 하므로 모두 P부하를 분담할 능력을 갖추어야 하며, 1구간에서는 이에 더하여 자기 구간 부하(P/3)를 분담해야 하므로 4P/3부하를 공급할 수 있는 도체가 필요하다. 이를 바탕으로 다음 표 5와 6으로 정리하였다.

표 5 1뱅크 사고에 대한 대용량배전 도체규격

Table 5 Large-Scale Conductor Capacity for 1 bank fault

구분	1구간	2구간	3구간	
간선	상시	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A	5,000kVA(P/3) 126A
	비상시	20,000kVA(4P/3) 504A	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소 규격	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²
분기선	상시	검토불요		
	비상시	2,000kVA(0.5P/3) 50A	10,000kVA(2P/3) 252A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소 규격	ACSR-OC 58mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²
조건	· 비상시 운전용량(20MVA), 상시 운전용량(15MVA) · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하			

표 6 1뱅크 사고에 대한 일반용량배전 도체규격

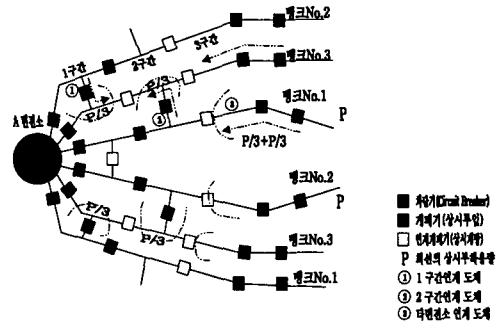
Table 6 Standard Conductor Capacity for 1 bank fault

구분	1구간	2구간	3구간	
간선	상시	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A	5,000kVA(P/3) 126A
	비상시	20,000kVA(4P/3) 504A	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소 규격	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²
분기선	상시	검토불요		
	비상시	2,000kVA(0.5P/3) 50A	10,000kVA(2P/3) 252A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소 규격	ACSR-OC 58mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²
조건	· 비상시 운전용량(14MVA), 상시 운전용량(10MVA) · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하			

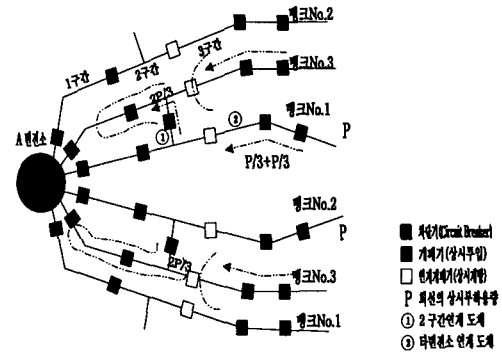
3.2 3뱅크 변전소에서 1뱅크 사고

3.2.1 배전측 부하분담 능력

3뱅크 변전소에서 뱅크단위의 상정사고를 고려하여 배전측 부하분담 능력을 검토하기 위해서 그림 3을 이용하려고 한다.



(a) 1, 2연계선을 두었을 경우



(b) 1연계선을 두지 않았을 경우

그림 3 3뱅크 변전소에서 1뱅크 사고 예
Fig. 3 Example for 1 bank contingency in 3 bank SS

3뱅크 변전소에서 1뱅크 사고가 발생하였다면 해당 뱅크의 모든 회선은 동일 변전소의 인접한 타 뱅크의 배전선로 및 타변전소와 연계된 배전선로를 통하여 부하를 절체할 수 있다. 이 경우 2뱅크 변전소에서의 1뱅크 사고와 크게 다른 점은 타변전소 및 인접한 동일 변전소 타뱅크에 부하를 절체할 수 있다는 점이다. 따라서 1구간에 연계를 두지 않는다고 하더라도 부하절체가 가능하다.

우선 1뱅크 사고 발생시 인접 변전소와 동일 변전소 타뱅크 중에서 사고 선로의 3구간을 인접 변전소로 절체시킨다. 인접 변전소의 3구간은 자신의 부하와 절체받는 부하의 합(2P/3)만큼 부담하면 되기 때문에 상시 운전용량의 66% 정도만 담당할 수 있으면 된다. 이후 남은 부하를 동일 변전소의 타뱅크에 절체시키기 위해 그림 3(a)의 1, 2연계를 이용한다. 각각 P/3만큼의 부하를 담당하면 되므로 1, 2연계 선로는 상시 운전용량의 33%를 감당할 수 있어야 한다.

그림 3(b)처럼 1연계를 하지 않았을 경우 절체가 인접 변전소와 동일 변전소 인접 뱅크 하나만 가능하므로 2뱅크 변전소의 1뱅크 사고와 비슷하게 된다. 따라서, 3뱅크 이상의 변전소에서는 3연계를 하는 것이 바람직하다.

3.2.2 상정사고를 고려한 도체규격 검토

3뱅크에서 1뱅크 사고를 고려한 대용량 및 일반 배전계통의 도체규격은 다음과 같다.

표 7 1뱅크 사고에 대한 대용량배전 도체규격

Table. 7 Large-Scale Conductor Capacity for 1 bank fault

구분	1구간	2구간	3구간	
간선	상시	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A	5,000kVA(P/3) 126A
	비상시	20,000kVA(4P/3) 504A	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소규격	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²
분기선	상시	검토불요		
	비상시	2,000kVA(0.5P/3) 50A	5,000kVA(P/3) 126A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소규격	ACSR-OC 58mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 58mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²
조건	· 비상시운전용량(20MVA), 상시운전용량(15MVA) · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하 · 변전소 연계율 100% 가정, 1단계 절체 기준			

표 8 일반용량배전 도체규격

Table. 8 Standard Conductor Capacity for 1 bank fault

구분	1구간	2구간	3구간	
간선	상시	10,000kVA(P) 252A	6,600kVA(2P/3) 166A	3,300kVA(P/3) 83A
	비상시	13,200kVA(4P/3) 332A	10,000kVA(P) 252A	6,600kVA(2P/3) 166A
	최소규격	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²
분기선	상시	검토불요		
	비상시	2,000kVA(0.5P/3) 50A	3,300kVA(P/3) 83A	6,600kVA(2P/3) 166A
	최소규격	ACSR-OC 58mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²
조건	· 비상시운전용량(14MVA), 상시운전용량(10MVA) · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하 · 변전소 연계율 100% 가정, 1단계 절체 기준			

4. 인접 2회선 규모 사고시 검토 결과와 도체 규격

인접 2회선 규모의 사고는 배전측에서 원인이 제공되는 대규모의 상정사고로서 열악한 기상조건으로 인한 태풍, 천재지변 등으로 발생하게 되는데 이런 경우 어느 정도 범위에서 여러 선로에 사고를 파급시킬 수 있다. 파급 효과의 크기에 따라 2회선, 3회선, 4회선 등 다양한 규모의 정전회선수를 예측할 수 있겠으나 상대적으로 가능성이 큰 인접 2회선 규모의 상정사고에 대한 배전측 부하절체 분담능력을 제시하였다.

4.1 배전측 부하분담 능력

인접 2회선 고장 발생시 배전측 부하분담 능력을 보이기 위해 그림 4를 이용해 설명하려고 한다.

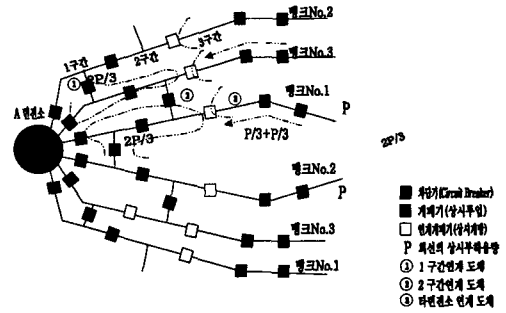


그림 4 3뱅크 변전소에서 인접 2회선 고장 예

Fig. 4 Example for adjacent two line fault in 3 bank SS

인접 2회선 상정사고는 변전소와 뱅크사고처럼 사고 발생시 정전 부하량이 크지 않지만 서로 연계되고 인접해 있는 두 배전선로가 동시에 사고가 발생하여 절체할 수 있는 경로가 제한된다. 동일 변전소 및 타변전소와의 연계가 충분하지 않은 경우 부하 절체가 어려울 수 있다.

이 경우 3구간의 도체규격은 최소한 상시운전용량의 2P/3을 감당하도록 선정하여야 하며, 1, 2구간의 도체규격도 부하절체량을 고려하여 2P/3만큼을 감당할 수 있는 도체를 선정하여야 한다. 또한 실제 사고가 발생시 서로 인접한 연계선은 부하절체를 할 수 없어 결국 2뱅크 변전소의 1뱅크 사고와 동일하게 타 변전소와 연계된 부분과 인접한 1개 선로에 부하절체를 할 수밖에 없다.

이전 상정사고와 마찬가지로 사고유형 및 배전선로 구성 형태를 예측할 수 없으므로 이용률이 낮더라도 3연계를 두어야 하고 타변전소와 연계율이 상당히 중요하다. 만약 타변전소와의 연계율이 좋지 않을 경우 변전소 규모의 사고와 같이 도체규격을 상향시켜 비상시 운전용량을 높이던지 상시운전용량을 낮게 두어야 한다.

4.2 상정사고를 고려한 도체규격 검토

인접 2회선 사고를 고려한 대용량 및 일반 배전계통의 도체규격은 다음과 같다.

표 9 인접 2회선 사고에 대한 대용량배전 도체규격

Table 9 Large-Scale Conductor Capacity for 2 line fault

구분	1구간	2구간	3구간	
간선	상시	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A	5,000kVA(P/3) 126A
	비상시	20,000kVA(4P/3) 504A	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소규격	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²
분기선	상시	검토불요		
	비상시	2,000kVA(0.5P/3) 50A	10,000kVA(2P/3) 252A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소규격	ACSR-OC 58mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²
조건	· 비상시운전용량(20MVA), 상시운전용량(15MVA) · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하 · 변전소 연계율 100% 가정, 1단계 절체 기준			

표 10 인접 2회선 사고에 대한 일반용량배전 도체규격
Table 10 Standard Conductor Capacity for 2 line fault

구분		1구간	2구간	3구간	
간선	전류	상시	10,000kVA(P) 252A	6,600kVA(2P/3) 166A	3,300kVA(P/3) 83A
		비상시	13,200kVA(4P/3) 332A	10,000kVA(P) 252A	6,600kVA(2P/3) 166A
	최소 규격	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²	
분기선	전류	검토불요			
		비상시	2,000kVA(0.5P/3) 50A	6,600kVA(2P/3) 166A	6,600kVA(2P/3) 166A
	최소 규격	ACSR-OC 58mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²	
조건	· 비상시운전용량(14MVA), 상시운전용량(10MVA) · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하 · 변전소 연계를 100% 가정, 1단계 절체 기준				

5. 단일 배전선로 규모 사고시 검토 결과와 도체 규격

일반적으로 배전선로에서 빈번하게 발생하는 정전사고는 대부분 단일 배전선로의 규모의 사고들이다. 단일 배전선로 규모의 정전이 발생할 경우 총 정전 부하량은 상시운전용량을 넘지 않기 때문에 3연계 기준을 적용시 부하절체에 전혀 문제점이 없으며, 다단계 부하절체 방법을 적용하여 3연계가 아니라 2연계만으로 1개선로의 전부하를 융통할 수 있다.

본 절에서는 3연계를 두지 않고 2연계만을 두고 운전하였을 경우의 문제점을 분석하여 1구간 연계선의 필요성을 살펴해보려고 한다.

5.1. 변전소 인출구간 사고

5.1.1 배전측 부하분담 능력

변전소 인출구간 사고에 대해 부하 분담량을 살펴보고 도체 규격을 결정하기 위해 다음의 그림 5를 이용한다.

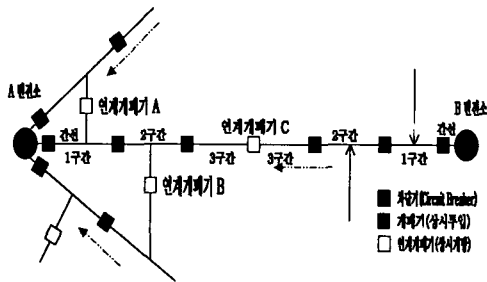


그림 5 변전소 인출구간 사고에 대한 예
Fig. 5 Example for the contingency in foremost section

그림 5의 인출 구간에서 사고가 발생하게 되면 가장 일반적인 부하절체 방법은 변전소 CB 또는 변전소 인출점의 첫 번째 개폐기를 차단 후 각각 구간별로 이웃한 연계선을 통하여 부하를 절체하면 된다.

인출구간(0구간)은 일반적으로 변전소에서 배전선로가 인출되는 첫 번째 개폐기 구간(대부분 지중으로 구성)이므로

이 구간에서 사고가 발생할 확률은 작다고 할 수 있다. 변전소 인출 인근에 설치되는 간선 개폐기는 인출 지중구간의 고장시 인출구간과 건전한 부하측 구간을 분리시켜주는 역할을 수행하며, 인출구간에 고장이 거의 없다는 것을 고려한다면 이 구간에 케이블 작업이 수행될 때 인출 개폐기를 조작하는 수밖에 없다.

특히 인출점의 개폐기 조작이 많이 요구되지 않는다면 인출점 개폐기는 자동화 개폐기가 아니라 수동개폐기가 설치되어 작업시 현장에서 개폐기를 조작하는 것이 타당하며 1연계의 작업정전구간을 1연계 개폐기를 이용하여 부하를 절체하는 것이 바람직하다.

1연계점의 개폐기는 상정사고 발생시 부하를 절체하기 위하여 반드시 필요하고, 1연계점의 개폐기를 자동화 개폐기로 했을 경우는 원격제어를 통해 대규모 상정사고시에 원하는 부하절체 효과를 볼 수 있다. 그러나 연계점의 조작회수는 적어 조작 효과는 작다.

3연계된 배전선로에서 각 연계선을 통하여 1단계 부하절체를 통하여 부하용량이 P/3만큼씩 이루어지기 때문에 1, 2구간의 도체규격은 P/3만큼 감당할 수 있도록 선정하고 3구간의 연계선로는 2P/3만큼 맞추어 주면될 것이다. 또한 타 변전소의 배전선로와 100%연계가 되어있지 않다고 하더라도 2단계 절체를 시행하여 충분히 1개 배전선로의 정전부하를 절체할 수 있다.

1구간에 연계선을 두지 않았을 경우에 부하를 융통하기 위해서 사고 배전선로를 중심으로 보면 부하를 융통할 수 있는 전원이 2개(2연계, 타변전소 연계) 밖에 되지 않기 때문에 반드시 타변전소와 연계가 되어야 정상적으로 100% 정전부하 절체가 가능하다.

배전선로는 현실적으로 100% 타변전소와 연계가 어렵기 때문에 인출구간 사고에 대비한 배전선로 부하 절체 분담능력을 대비하여서 1구간, 2구간, 3구간에 동시에 연계가 되어야 바람직하다.

5.1.2 상정사고를 고려한 도체규격 검토

변전소 인출구간 고장시 대응량 및 일반 배전계통의 도체 규격은 다음과 같다.

표 11 대용량배전 도체규격 검토
Table 11 Large Capacity of Distribution Line

구분		1구간	2구간	3구간	
간선	전류	상시	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A	5,000kVA(P/3) 126A
		비상시	20,000kVA(4P/3) 504A	15,000kVA(P) 378A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소 규격	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 240mm ² CN/CV 600mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	
분기선	전류	검토불요			
		비상시	2,000kVA(0.5P/3) 50A	5,000kVA(P/3) 126A	10,000kVA(2P/3) 252A
	최소 규격	ACSR-OC 58mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	
조건	· 비상시운전용량(20MVA), 상시운전용량(15MVA) · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하 · 변전소 연계를 100% 가정, 1단계 절체 기준				

표 12 일반용량배전 도체규격 검토

Table 12 Standard Capacity of Distribution Line

구분	1구간	2구간	3구간
간선	상시 10,000kVA(P) 252A	6,600kVA(2P/3) 166A	3,300kVA(P/3) 83A
	비상시 13,200kVA(4P/3) 332A	10,000kVA(P) 252A	6,600kVA(2P/3) 166A
	최소 규격 ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 160mm ² CN/CV 325mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²
분기선	검토불요		
	상시 2,000kVA(0.5P/3) 50A	3,300kVA(P/3) 83A	6,600kVA(2P/3) 166A
	최소 규격 ACSR-OC 58mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²	ACSR-OC 95mm ² CN/CV 200mm ²
조건	· 비상시 운전용량(14MVA), 상시 운전용량(10MVA) · 3분할 3연계, 부하는 구간별 말단집중부하 · 변전소 연계율 100% 가정, 1단계 절체 기준		

5.2 구간 사고

배전계통 사고의 95%이상은 구간사고이다. 구간사고로 인한 정전부하는 지금까지 검토해 왔던 상정사고보다 훨씬 적다. 따라서 구간사고를 고려한 부하절체는 사고가 발생한 구간을 제외하고 건전 정전구간은 이웃선로와 연계된 연계선을 통하여 큰 어려움 없이 절체할 수 있다. 따라서 구간사고를 대비한 부하절체 능력은 별도의 검토가 필요 없으며, 각 구간사고를 고려하여 1구간에 연계개폐기 설치 문제와 위치에 따른 개폐기 이용도 및 개폐기 설치 고려사항을 제시하였다.

대규모 상정사고를 고려할 때 연계의 우선순위는 첫째 다른 변전소 선로, 둘째로 자기 변전소의 다른 뱅크 선로, 마지막으로 자기 뱅크 선로의 순서로 연계시키는 것이 효과적이지만, 구간사고를 고려한다면 부하절체는 타변전소의 배전선로가 아니라 가능한 동일변전소의 배전선로로 절체하는 것이 바람직하다. 이유는 첫째, 변전소 혹은 그 이상 레벨의 관점에서 볼 때 부하의 변화가 없고, 둘째, 동일변전소에서 사고선로를 지원하는 것이 부하의 이동거리가 짧으며, 셋째, 비상시 부하를 연결하는데 필요한 설비를 감소시킨다.

이러한 연계와 절체의 우선 순위와는 별개로 개폐기의 사용빈도는 말단으로 갈수록 사용 빈도가 커진다. 변전소 인출사고가 아니라면 1, 2, 3구간에서 사고가 발생하기 때문에 이에 관련한 연계 개폐기와 간선 개폐기의 사용 빈도를 보이기 위해 다음 그림 6을 이용한다.

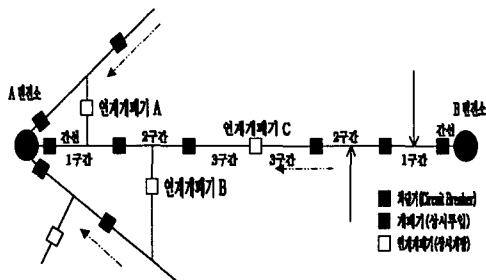


그림 6 고장구간별 개폐기 조작횟수 산출을 위한 모델계통
Fig. 6 Model network for switching number with fault section

그림 6에서 일반적으로 사고가 발생한 구간은 인접 간선의 유무에 관계없이 사고복구 후에 전원측으로부터 송전하며, 부하측 건전 구간이 인접 간선과 연계가 불가능할 경우도 사고 복구 후 전원측에서 송전하는 것이 원칙이기 때문에, 간선 개폐기 및 연계 개폐기의 경우 전원에서 멀리 설치될 수록 개폐기 사용빈도 다음 표 13처럼 높아지게 된다.

표 13 고장시 개폐기 조작회수

Table 13 The switching number with sections in fault

고 장 구 간	간선 개폐기		연계 개폐기		
	1구간	2구간	A	B	C
0구간	open	open	close	close	close
1구간	open	open	-	close	close
2구간	open	open	-	-	close
3구간	-	open	-	-	-
총 조작회수	3	4	1	2	3

실제로 연계된 구간에 소구간 개폐기를 포함시켜 각각의 경우를 고려하면 훨씬 사용빈도가 커지기 때문에 부하측에 설치된 연계용 개폐기는 그 만큼 전원측 구간에 연계된 개폐기보다 중요한 역할을 수행한다.

6. 종합적인 도체 규격

앞서 상정사고별 분담 용량과 그에 따른 도체 규격을 결정하였다. 이를 종합하여 대용량 배전과 일반 배전 방식의 도체 규격(안)을 다음 표 14와 15에 정리하였다.

표 14 상정사고를 고려한 대용량배전 도체규격(안)

Table 14 Summary of Large-Scale Conductor Capacity for contingencies

	간선	타변전소 연계선	동일변전소 연계선
특수 배전계통	ACSR-OC240mm ² CN/CV600mm ²	ACSR-OC40mm ² CN/CV600mm ²	ACSR-OC60mm ² CN/CV325mm ²
일반 배전계통	ACSR-OC240mm ² CN/CV600mm ²	ACSR-OC160mm ² CN/CV325mm ²	ACSR-OC160mm ² CN/CV325mm ²

- ※ 특수배전계통은 그 지역의 부하가 대단히 중요하여 변전소사고까지 고려할 경우 임.
- ※ 사고시의 부하용량만을 고려하여 전선 용량의 표준을 설정한 것이며, 최종적으로는 배전계통의 현장여건을 고려하여 결정할 것.

표 15 상정사고를 고려한 일반배전 도체규격(안)

Table 15 Summary of Standard Conductor Capacity for Contingencies

	간선	타 변전소 연계선	동일 변전소 연계선
특수 배전계통	ACSR-OC160mm ² CN/CV325mm ²	ACSR-OC160mm ² CN/CV325mm ²	ACSR-OC95mm ² CN/CV200mm ²
일반 배전계통	ACSR-OC160mm ² CN/CV325mm ²	ACSR-OC95mm ² CN/CV200mm ²	ACSR-OC5mm ² CN/CV200mm ²

- ※ 특수배전계통은 그 지역의 부하가 대단히 중요하여 변전소사고까지 고려할 경우 임.

※ 사고시의 부하용량만을 고려하여 전선 용량의 표준을 설정한 것이며, 최종적으로는 배전계통의 현장여건을 고려하여 결정할 것.

7. 결 론

본 논문에서는 전력회사 입장에서 상정사고별 배전측 부하 부담량을 고려하고 그에 따른 도체 규격을 제시하였다. 배전계획 문제에 포함되는 변전소, 피더 구성, 도체 규격, 상정 사고, 운전 제약조건 등은 서로 밀접한 관계를 가지고 있으나 현실적으로 모두 고려할 수 없기 때문에 기존 연구에서는 몇 가지 가정을 바탕으로 한 부분적인 최적화 문제로 접근하고 있다. 또한, 일반적인 상황만을 고려하는 경우가 대부분이기 때문에 실제 일어날 수 있는 특수한 상황까지 고려하지 못하고 있다.

전력회사 입장에서는 기본적인 운영과 구성, 주로 사용하고 있는 도체 규격 등이 결정되어 있기 때문에 최적화 문제보다는 운영상 문제점이 없도록 최소한의 부담 용량을 파악하고 이를 만족할 수 있는 도체 규격이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 일어날 수 있는 상정사고를 고려하고 상정사고별 대용량과 일반 배전선로의 도체 규격(안)을 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] H. Lee Willis, Power Distribution Planning Reference Book, MARCEL DEKER INC., New York, 1997.
 [2] S. K. Khator and L. C. Leung, "Power Distribution Planning: A Review of Models and Issues", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 12, No. 3, August 1997.
 [3] Q. Zhou, D. Shirmohammadi, W. H. E. Liu, "Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing", IEEE Transaction on Power System, Vol. 12, No. 2, pp. 724-729, pp. 724-729, May 1997.
 [4] L. C. Leung, S. K. Khator, and J. C. Schnerpp, "Planning Substation Capacity Under the Single-Contingency Scenario", IEEE Trans. on Power System, Vol. 10, No. 3, pp. 1442-1447, August 1995.
 [5] S. Mandal and A. Pahwa, "Optimal Selection of Conductors for Distribution Feeders", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 17, No. 1, pp. 192-197, February.
 [6] S. Sivangaraju, N. Sreenivasulu, M. Vijayakumar, and T. Ramana, "Optimal conductor selection for radial distribution systems", Electric Power System Research, Vol. 63, No. 2, pp. 95-103, September 2002.
 [7] H. N. Tram, and D. L. Wall, "Optimal Conductor Selection in Planning Radial Distribution Systems", IEEE Trans. Power System, Vol. 3, No. 1, pp. 200-206, February 1988.
 [8] Z. Wang, H. Liu, D. Yu, X. Wang, and H. song, "A Practical Approach to the Conductor Size Selection in Planning Radial Distribution Systems", IEEE Trans. Power Delivery. Vol. 15, No. 1, pp. 350-354, January

2000.

[9] 한국전력공사 배전처, "22.9kV-Y 배전선로 적정용전용량 기준선정에 관한 연구(최종보고서)", 한국전력공사, EESRI-93P-109, 1994. 10.
 [10] 한국전력공사 배전처, "2001년도 배전설비 고장분석 및 예방대책", 한국전력공사, 사내용, 2001. 5.
 [11] 한국전력공사 기술연구원, "대용량 배전에 관한 연구(최종보고서)", 한국전력공사, KRC88D-J01, 1991. 3.
 [12] 조남훈, 하복남, 이홍호, "국내 배전계통의 최적 개폐기 설치 기준", 대한전기학회 논문지 A, 51권, 5호, pp. 238-246, 2002. 5.
 [13] 한국전력공사 품질보증실, "설계기준 3001(총칙)-배전회선당 기준용량과 기준최대 공장", 한국전력공사, 97본사 단-181, pp9, 1999. 7.

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



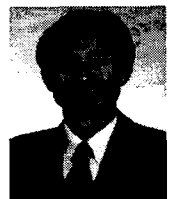
전 영 재(田永在)

1972년 6월 30일생, 1995년 숭실대 전기공학과 졸업, 1997년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사), 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 위촉 연구원
 E-mail : anneal@dreamwiz.com



한 용 희(韓鑄熙)

1948년 2월 13일생. 1975년 전북대 전기공학과 졸업, 1983년 연세대 공학대학원전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력산업 구조개편팀 팀장
 E-mail : hanyh@kepeco.co.kr



한 병 성(韓秉誠)

1951년 12월 22일생. 1988년 프랑스 루이 파스퇴르대학 졸업(박사), 1988년 프랑스 CNRS(프랑스 국립과학연구소) 연구원, 현재 전북대학교 전기공학과 교수
 E-mail : hbs@chonbuk.ac.kr