

배전계통에서의 계통 축약에 의한 정전 복구방안 수립에 관한 연구

김세호^{*} 최병윤^{**} 이수목^{**} 조시형^{***} 이재관^{***} 문영현^{****}
^{*}제주대 ^{**}한전기술연구원 ^{***}한전서울연수원 ^{****}연세대

A Study on Service Restoration Guide by Network Reduction in Distribution Systems

S. H. Kim^{*} B. Y. Choi^{**} S. M. Lee^{**} S. H. Cho^{***} J. K. Lee^{***} Y. H. Moon^{***}
^{*}Cheju Univ. ^{**}Kepco research center ^{***}Kepco Seoul training center ^{****}Yonsei Univ.

Abstract

Whenever faults(a fault) occur(s) in a particular section of a distribution system, some of loads get disconnected and are left unsupplied. Service should be restored to these affected load points as quickly as possible through network reconfiguration. An efficient technique is presented in this paper for this purpose. Network reduction and strategy testing the voltage and current constraints are the main contributions of this paper.

1. 서론

생활 수준의 향상으로 전력에너지에의 의존도 심화는 전력회사에게 경제적이며 무정전인 전력공급을 요구하고 있으며 컴퓨터, 통신분야의 팔복한 성장으로 배전계통의 효율적 운용을 위한 배전 자동화 연구가 실제통에 시험 적용될 수 있는 단계에 이르렀다. 배전 자동화 시스템의 효율적, 경제적인 운용을 위해서는 고장탐지 기법, 정전 복구방안 수립 등의 소프트웨어의 지속적인 연구가 필요하다. 그러나 배전계통은 계통이 방대하고 복잡하며 변경이 자주 일어나는 특성이 있으므로 계통 운용방안 수립시에 많은 시간이 걸리게 된다.

본 연구에서는 사고로 인한 정전지역에 전원을 공급하기 위하여 계통추적에 필요한 최소한의 계통으로 축약시키기 복구방안을 구하는 방법을 제안하고자 한다. 복구방안은 최소한의 개폐기 조작에 우선을 두고 최소한의 손실이 발생하는 방안을 우선적으로 선택할 수 있도록 제안하였다.

2. 복구방안의 추출

사고 발생 후 정전지역에 대한 복구방안은 다음의 과정을 거쳐 추출이 된다.

0 사고지점 확인과 분리

0 복구할 정전구역의 결정

0 복구방안 탐색

0 계통 운용조건 검토

2.1 사고지점 확인과 분리

배전 자동화가 실현되어 사고 발생시마다 사고 지점으로부터 사고에 대한 정보가 통제센터로 전송이 되면 사고 지점 약단의 개폐기를 open 함으로써 사고지점이 분리된다.

2.2 복구할 정전구역의 결정

정전지역을 구별하면 다음과 같이 나눌 수 있다.

type 0 : 사고와는 관계없이 원래부터 정전이 된 지역.

type 1 : 사고로 인하여 정전이 되었지만 사고가 발생한 원래의 공급 전원으로부터 다시 공급받을 수 있는 지역.

type 2 : 사고로 인하여 정전이 되어 사고와 관련되지 않은 피더로부터 공급받을 수 있는 지역.

type 3 : 사고로 인하여 정전이 되고 전원의 공급점이 없는 지역.

type 0의 지역은 복구방안을 탐색할 필요가 없는 지역이며 type 1의 지역은 연계 개폐기를 닫음으로써 정전을 복구할 수 있는 지역으로서 계통 운용조건을 검토할 필요가 없이 복구가 가능한 지역이다.

type 3의 지역은 전원을 공급할 수 없으므로 사고 원인이 제거되어 고장 수리가 이루어 질 때까지는 정전이 되는 지역으로서 전화 등을 통하여 수용가에게 정전 내용을 통보해야 하는 지역이며 type 2의 지역에 대해서는 복구방안을 탐색하여 제안하여야 한다.

2.3 복구방안 탐색

복구할 정전지역(type 2의 지역)이 결정되면 복구 방안을 구하기 위한 계통 추적의 시작된다. 본 연구에는 다음의 2단계를 통하여 신속하게 복구방안을 구하고자 한다.

단계 1) 추적계통의 재구성

복구방안을 구하기 위한 계통 추적에 필요한 부분만을 남겨 놓고 다른 부분들은 모두 제거시킴으로써 가장 간단한 계통으로 재구성하여 복구방안을 구하는 것으로서 계통추적에 필요한 부분만을 표현하면 다음과 같다.

$$\text{Reduced Network} = \bigcup_{\substack{i,j \\ |i-j| > 1}} \{ (A_i - A_j) \cup (A_j - A_i) \}$$

여기서 n: 사고와 관련된 피더가 관할하는 연계 개폐기의 수
Ai: i번째 연계 개폐기로부터 피더까지 가장 가까운 경로를 나타내는 개폐기들의 집합

U: 합집합

그림 1의 경우에 대해 축약된 계통은 다음과 같다.

$$A1 = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6 \},$$

$$A2 = \{ 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10 \},$$

$$A3 = \{ 1, 2, 3, 7, 8, 11, 12, 13 \}$$

$$\begin{aligned} \text{Reduced Network} &= (A2-A1)U(A1-A2)U(A3-A1)U(A1-A3) \\ &\quad U(A3-A2)U(A2-A3) \\ &= \{ 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 \} \end{aligned}$$

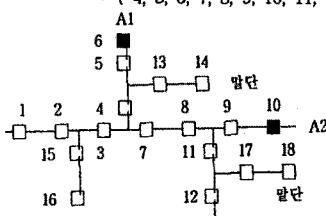


그림 1. 축약된 계통의 예 (선로 [1,2] 사고사)

축약된 계통은 연계 개폐기와 직접 관련이 없는 분기들이나 피더부터 연계 개폐기로 분기되는 지점까지의 선로들은 제거되어 측면에 필요치 않은 선로들을 추적하지 않기 때문에 복구방안 추출시에 상당한 시간 절감을 얻을 수 있다.

단계 2) 데이터베이스의 재구성

복구방안을 구하기 위한 계통 추적은 모든 선로와 개폐기에 대한 정보로 이루어진 데이터베이스를 탐색하게 되므로 데이터의 양이 많아 질수록 탐색시간은 점점 증가하게 된다. 따라서 축약된 계통의 선로와 개폐기의 정보만 따로 데이터베이스로 구성하여 복구방안의 탐색시에 이용함으로써 많은 탐색시간을 줄일 수 있다.

복구방안을 제안하는 과정을 단계적으로 표현하면 다음과 같다.

단계 1) 축약된 계통을 구하고 데이터베이스를 재구성한다.

단계 2) 축약된 계통을 추적하여 복구방안 후보를 선정한다.

단계 3) 가장 적은 조작 횟수를 갖는 복구방안후보를 선택한다.

단계 4) 선정된 복구 방안 후보에 대해

① 계통운용 조건을 검토한다.

② 조건에 위반되면 복구방안 후보에서 제거시킨다.

③ 조건을 만족시키면 손실을 계산한다.

단계 5) 계통 운용 조건에 위반되지 않는 방안에 대해 손실이 적은 순으로 제안한다.

단계 6) 운전원이 원하는 방안의 수가 얻어지면 단계 8)로 진행한다.

단계 7) 다음으로 작은 조작 횟수를 갖는 방안에 대해 단계 4)를 다시 수행한다.

단계 8) 개폐되는 개폐기명과 손실에 대한 정보를 출력한다.

2.4 계통 운용조건 검토

계통 운용 조건으로는 선로 허용전류와 전압강하를 만족시키도록 하고자 한다.

i) 선로 허용전류

선로 허용전류의 검토는 연계 개폐기와 절환받는 피더까지의 가장 가까운 경로중에서 여유량이 가장 작은 선로의 여유량과 절환되는 부하량을 비교함으로써 판정이 가능하며 조건을 만족시키는 경우를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$I_{LOAD} < \text{Min}(\text{margin}_1, \dots, \text{margin}_n)$$

I_{LOAD} : 절환되는 부하량

margin_i : 연계 개폐기와 절환받는 피더까지의 선로중 i 번째 선로의 전류 여유량

ii) 전압강하

전압강하를 검토할 때에는 절환받는 피더가 담당하는 모든 선로들의 말단지점이나 다른 연계점에 대한 전압강하를 계산하여야 하므로 많은 시간이 소요된다. 따라서 말단지점이나 연계점에 대한 전압강하 검토시에는 전압의 변화량만을 계산하여 비교함으로써 신속한 조건검토가 가능하도록 하였으며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta V_i = V_i' - V_i = Z_{A1\alpha A_i\beta} I_{LOAD}$$

i : i 번째 연계점 또는 말단지점, $i \neq 1$

$$\Delta V_i : \text{개폐기 } A_i \text{의 전압 변화량}$$

V_i' : 개폐기 A_i 의 절환 후의 전압

V_i : 개폐기 A_i 의 절환 전의 전압

A_1 : 절환시 이용되는 연계 개폐기

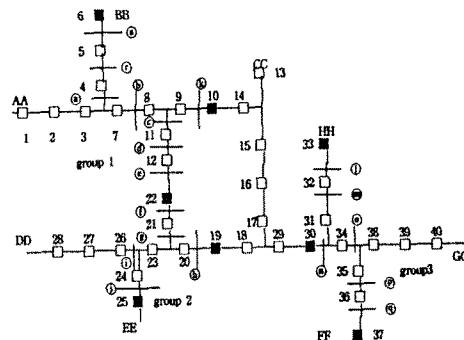
A_i : 절환받는 피더와 관련된 연계 개폐기 또는 말단 지점의 개폐기

$Z_{A1\alpha A_i\beta}$: A_1 개폐기로 부터 절환받는 피더까지의 가장 가까운 경로와 A_i 개폐기로 부터 절환받는 피더까지의 가장 가까운 경로 중 공통 경로의 임피던스

I_{LOAD} : 절환되는 부하

3. 사례연구

그림 2의 모델계통에 대해 3가지 경우의 사고를 가정하여 복구방안을 제안하였다.



AA : 피더 AA, 1 : 개폐기 1 ④ : 마디 ④

그림 2 모델계통도

사례1) 선로 [1,2] 단일 사고시

정전구역은 group 1이 되며 복구방안을 구하기 위한 축소된 계통을 그림 3에, 복구방안을 표1에 나타내었다.

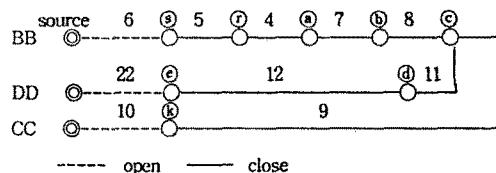


그림 3 사례1)에 대한 축소 계통

표 1 사례1)의 복구방안

close 개폐기	open 개폐기	조작 회수	close 개폐기	open 개폐기	조작 회수
6	1	1	6,10	5	3
22	1	1	6,10	4	3
10		1	6,10	7	3
6,22	5	3	6,10	8	3
6,22	4	3	6,10	9	3
6,22	7	3	22,10	12	3
6,22	8	3	22,10	11	3
6,22	11	3	22,10	9	3
6,22	12	3			

사례 2) 선로 [1, 2] [28, 27]의 다중사고시

정전구역이 인접하여 절환할 수 있는 피더의 수가 줄어드는 경우로서 정전구역은 group 1과 group 2로 분리되어 정전구역 사이의 연계 개폐기를 통하여 연결이 가능하다. 복구방안을 구하기 위한 축소된 계통을 그림 4에, 복구방안을 표 2에 표시하였다.

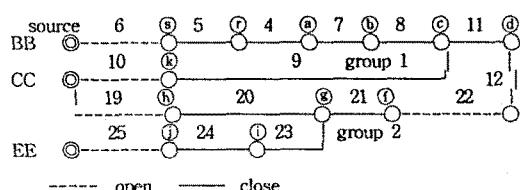


그림 4 사례 2)에 대한 축소계통

표 2 사례 2)의 복구방안

close 개폐기	open 개폐기	조작 회수	close 개폐기	open 개폐기	조작 회수
6,22		2	10,19,22	9	4
10,22		2	10,19,22	11	4
19,22		2	10,19,22	12	4
25,22		2	10,19,22	21	4
6,19		2	10,19,22	20	4
6,25		2	10,25,22	9	4
10,19		2	10,25,22	11	4
10,25		2	10,25,22	12	4
6,19,22	20	4	10,25,22	21	4
6,19,22	21	4	10,25,22	23	4
6,19,22	12	4	10,25,22	24	4
6,19,22	11	4	10,19,22	9	4
6,19,22	8	4	10,19,22	8	4
6,19,22	7	4	10,19,22	11	4
6,19,22	4	4	10,19,22	12	4
6,19,22	5	4	10,19,22	21	4
6,25,22	24	4	10,19,22	20	4
6,25,22	23	4	6,10,22	5	4
6,25,22	21	4	6,10,22	4	4
6,25,22	12	4	6,10,22	7	4
6,25,22	11	4	6,10,22	8	4
6,25,22	8	4	6,10,22	9	4
6,25,22	7	4	19,25,22	20	4
6,25,22	4	4	19,25,22	23	4
6,25,22	5	4	19,25,22	24	4

4회의 개폐기 조작을 필요로 하는 방안은 정전구역사이의 연계 개폐기 22를 이용하는 방안으로서 무수히 많으므로 2회의 개폐기 조작을 하는 복구방안이 존재하지 않을 때에는 비록 6회의 개폐기 조작이 필요하다 하더라도 6, 10 으로 group 1을 복구하고 19, 25로 group 2를 복구하는 방법이 계통운용 조건에 위반되지 않을 확률이 크다.

사례 3) 선로 [1, 2],[39, 40] 다중사고시

정전구역은 group 1과 group 3의 두 지역으로 나뉘어지며 각 정전구역에 독립적으로 전원을 공급할 수 있는 피더(BB와 DD 또는 HH와 FF)와 정전구역에 서로 영향을 주는 피더(CC)가 존재한다.

복구방안을 구하기 위한 축소된 계통을 그림 5에 복구방안을 표 3에 표시하였다.

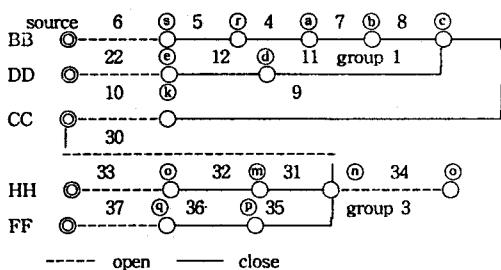


그림 5 사례 3)에 대한 축소계통

2회나 4회의 개폐기 조작을 하는 복구방안이 존재하지 않을 경우에는 6회의 개폐기 조작을 하는 방안을 구해야 하는 데 이와같은 경우에는 방안의 수가 너무 많으므로 BB, DD, CC중에서 절환만을 수 있는 여유량이 많은 두 개의 피더를 선정하여 group 1을 복구하고 HH, FF, CC 중에서도 두 개의 피더를 선정하여 group 2를 복구하도록 하면 보다 빨리 방안을 구할 수 있다.

표 3 사례 3)의 복구방안

close 개폐기	open 개폐기	조작 회수
6, 30		2
6, 33		2
6, 37		2
22, 30		2
22, 33		2
22, 37		2
10, 30		2
10, 33		2
10, 37		2
30,33과 6 또는 22	32, 31중의 하나	4
또는 10중의 하나	나	
30,37과 6 또는 22	34, 35, 36중의 하나	4
또는 10중의 하나	하나	
33,37과 6 또는 22	32, 31, 34, 35,	4
또는 10중의 하나	36중의 하나	
6,22과 30 또는 33	5, 4, 7, 8, 11,	4
또는 37중의 하나	12중의 하나	
6,10과 30 또는 33	5, 4, 7, 8, 9중	4
또는 37중의 하나	의 하나	
22,10과 30 또는 33	12, 11, 9중의 하나	4
또는 37중의 하나	하나	

4. 결론

사고로 인한 정전구역에 전원을 공급하기 위해 계통을 축약시키고 축소된 계통만을 추적하여 복구방안을 제안하도록 하였으며 계통 운용 조건 검토시에는 절환 후의 조류계산을 다시 수행하지 않고 전류나 전압의 변화량만을 계산하여 비교함으로써 신속한 복구방안을 제시할 수 있다.

5. 참고문헌

- [1] K. Aoki, T. Satoh, M. Itoh, H. Kuwabara, "Voltage Drop Constrained Restoration of Supply by Switch Operation in Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 1267-1274, July 1988.
- [2] Chen-Ching Liu, Seung Jae Lee, "An Expert System Operational Aid for Restoration and Loss Reduction of Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 2, pp. 619-626, May 1988.
- [3] S. Civanlar, J. Grainger, "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 1217-1233, July 1988.
- [4] M.E. Baran, F. F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 1401-1407, April 1989.
- [5] N. D. R. Sarma, K.S. Rao, "Real Time Service Restoration in Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No. 4, pp. 2064-2070, October 1994.