

광역고장을 고려한 정전 복구 알고리즘 연구

정 진수, 문 현경, 임 성일, 이 승재  
 명지대학교 차세대 전력 연구 센터

A Study on the Restoration Algorithm For Multi-Outage Areas in distribution system

Jung Jin-Soo, Moon Hyun-Kyung, Lim Seong-Il, Lee Seung-Jae  
 Myong-Ji University Next-Generation Power Technology Center

**Abstract** -This paper presents for service restoration in electric power distribution systems. The aim of the service restoration is an emergency control in distribution system to restore out-of service areas as soon as possible when a fault occurs in distribution system. For this reason, this paper presents a new service restoration strategy for multi-outage areas. Proposed algorithm consists of two methods. One is individual restoration scheme, the other one is integrated restoration scheme. The former determines restoration order of outage areas based on restoration index. If the former method can not generate a feasible restoration plan, the latter would try to find new configuration without overloaded section through tie exchange method.

1. 서 론

배전계통은 방사상으로 운전되므로 뱅크사고나 변전소 사고, 분기점을 포함한 구간에서 사고가 발생하여 아랫단의 고장 구간이 분리되는 경우, 태풍, 홍수 등 지역적인 기상 이상을 포함한 모든 동시다발적인 사고가 발생할 경우 다중의 정전사고가 발생할 수 있다. 그러므로 이러한 다중 정전영역의 사고가 발생하였을 경우 사고구간을 신속하게 건전구간과 분리하여 사고구간 부하측의 건전한 정전구간을 이웃한 연계선로로 절체하여 신속하게 전력공급을 재개하여 복구하는 일은 신뢰성있는 전력공급에 있어 매우 중요하다. 이미 복구방안에 관한 연구가 많이 진행되어왔으며 그중에서 미분범을 이용한 방법과 인공지능을 이용한 자동 탐색 방법, 그리고 학습을 통한 경험적 탐색법을 이용한 방법 등이 연구되었다[1-3]. 또한 다양한 선로운전 조건을 고려하여 인공지능 기법을 적용한 복구방안으로 선로 허용전류와 말단 전압 강하를 제한 조건으로 복구방안 후보를 도출하여 정전 복구 시 고려해야 할 스위칭 횟수의 최소화, 선로 간 부하 균등 배분 및 건전 부하 절체 최소화와 같은 사항을 퍼지로직을 이용하여 종합적으로 평가하는 방안이 제시되었다[4]. 그러나 위의 정전영역 복구방안은 다중 고장이 발생한 경우 모든 고장구간이 복구가능하다는 가정하에 이루어지므로 복구에 있어 한계를 가지고 있다. 본 논문은 기존의 정전영역 복구 방안에서 더 나아가 다중고장에 대처할 수 있는 개별 정전 복구 방안과 개별 정전 복구 방안으로도 복구 할 수 없는 고장구간에 대한 복구법인 종합 정전 복구 방안을 제안하였다.

2. 정전 복구 방안

2.1 개별 정전복구방안

본 방안은 정전구간을 각각의 개별구간을 독립적으로 복구하는 방안이다. 정전구간을 복구하기 위해서는 각각에 연결된 연계선로가 중요한데 연계선로에는 하나의 정전구간에만 연결되어 있는 단일연계선로와 두개 이상의

정전구간과 연결되어 있는 중복연계선로가 있다. 본 알고리즘에서 가장 중요한 것은 중복연계선로를 이용하여 전력공급을 재개하는 것인데 이는 과부하나 다른 사고로 연결될 수 있으므로 그림 1의 개별 정전복구방안 흐름도를 따라 복구한다. 개별 정전복구방안은 정전복구지수를 계산하여 비교하는데 가장 높은 복구지수를 고려하여 복구를 시행한다. 그러나 이러한 복구방안 탐색을 시행하여도 복구할 수 없는 경우 중복연계선로를 이용한 복구방안을 적용한다.

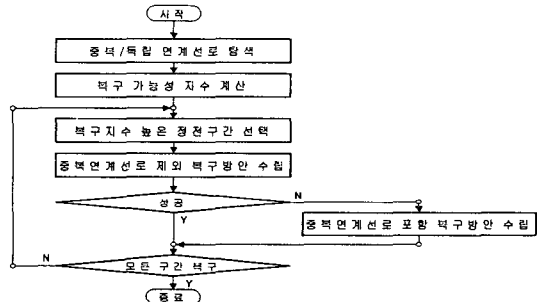


그림 1 개별 정전복구방안 흐름도

2.1.1 복구 지수

일부의 구간에 고장이 발생한 경우 복구가 가능하기 위해서는 정전구간에 연계된 부하가 작고 용량이 큰 연계선로가 연결되어 있어야 한다. 복구가능여부를 판단하기 위해 복구지수를 계산하는데 본 방안에서는 퍼지의 사결정 방법을 이용하였다. 표 1과 그림 2는 퍼지룰과 퍼지멤버십평선을 나타낸 것이다.

표 1. 퍼지 룰

BM \ OL	Small	Medium	Large
Small	Good	Medium	Very Poor
Medium	Very Good	Medium	Poor
Large	Very Good	Good	Poor

OL:정전부하량 BM:백업마진함계

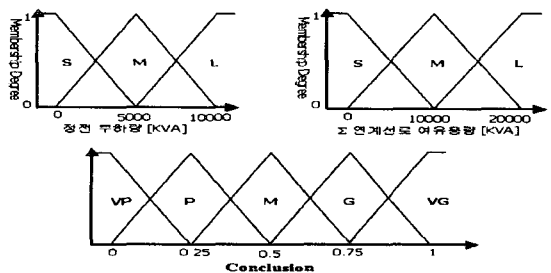


그림 2 퍼지멤버십평선

### 2.1.2 복구방안

복구방안은 총 두 단계로 이루어지는데 그 첫 단계로는 후보가 되는 지점을 탐색하여 6가지 기본 복구방안을 이용하여 복구가능후보를 탐색하고 두 번째 단계로는 퍼지도를 이용하여 가장 알맞은 후보지를 탐색한다.

### 2.1.3 기본 복구방안

- i) 자체복구(SR): 고장이 선로의 루프 상에 발생할 경우 단순히 전력공급경로를 바꿈으로써 정전구역을 복구하는 방안이다.
- ii) 단일연계복구(SGR): 전체 정전구간을 하나의 연계선로로 정전구간부하를 절체하여 복구하는 방안이다.
- iii) 이중연계복구(DGR): 정전구간을 두 개의 집단으로 분할하여 여유용량의 비율에 따라 두 개의 연계선로로 정전구간부하를 이동시켜 복구하는 방안이다.
- iv) 삼중연계복구(TGR): 위의 방식과 동일하며 정전구간부하를 3개의 연계선로를 이용하여 복구하는 방안이다.
- v) 단일연계복구와 건전부하 절체를 이용한 복구방안(SGRLT): 모든 정전구간 전체를 하나의 연계선로로 옮기고 연계선로에 발생한 과부하는 건전부하를 차단하여 해소한다.
- vi) 이중연계복구와 건전부하 절체를 이용한 복구방안(DGRLT): 정전부하를 연계선로의 여유용량에 따라 정전구간 부하를 하나의 연계선로에 할당하고 남은 정전구간 부하를 또 다른 연계선로에 옮긴 후 연계선로의 과부하는 건전부하를 차단하여 해소한다.

### 2.1.4 퍼지도를 이용한 평가 방안

각 기준은 독립적으로 퍼지도를 이용하여 평가되며 가중치 합계를 계산하여 복구방안에 대한 최종 선호도가 계산된다. 즉, 퍼지도의 평가는 최대-최소법을 이용하여 추론되며 무게중심법을 이용하여 비퍼지화 된다. 각 평가기준은 개폐기 조작횟수, 부하균등화, 선로손실, 비상대비도, 건전부하차단 등의 사항을 고려하여 이루어진다.

## 2.2 종합 정전복구방안

종합 정전복구방안은 개별 정전복구방안을 이용하여 복구방안을 찾아내지 못할 경우 적용한다. 종합 정전복구방안은 인접한 모든 연계선로로 모든 정전부하를 옮기고 그림 3에서 나타난 흐름도와 같이 연계지점을 변경하여 과부하를 해소한다. 만약 연계점 변경 이후에도 과부하 구간이 존재할 경우 우선순위에 따라 부하를 차단한다.

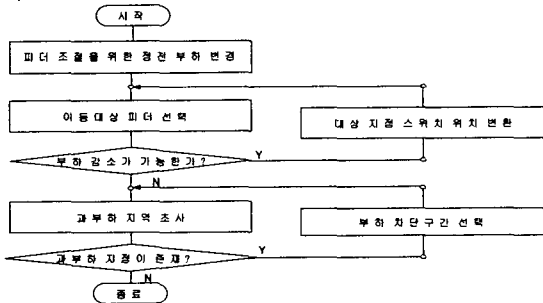


그림 3 종합 복구 방안 흐름도

### 2.2.1 연계점 교환 방법

연계점 교환 방법은 부하의 균등화를 위해 두 개의 개폐기 사이에 직선경로를 따라 스위치를 이동하여 손실이 최소화 될 때까지 반복하여 최적점을 찾는 방법이다.

#### A. Decoupling property I

부하 균등은 식(1)과 같이 부하편차로 나타낼 수 있는

데 한 쌍의 배전선로를 선택하여 상시개방스위치를 이동하여 부하의 편차가 줄어든다면 전체 계통의 손실 또한 같은 양만큼 감소하게 된다.

$$F_0 = \text{Min} \sqrt{\sum (S_{ave} - S_i)^2} \quad (1)$$

여기서,  $S_{ave}$ : 평균 피상전력

$S_i$ : i 번째 연계선로의 피상전력

#### B. Decoupling property II

두 개폐기간 직선경로를 따라 상시개방스위치를 이동할 경우 전체 계통은 방사상으로 운전된다.

### 2.2.2 부하차단

연계점교환법을 이용한 이후에도 과부하 선로가 존재할 경우 복구할 수 없는 정전구간의 부하를 차단해야 한다. 즉, 정전구간에 인접한 연계선로의 공급여유용량이 부족할 경우 이러한 과부하를 해소하기 위해 연계선로의 건전한 부하를 차단하여 추가 공급여유용량을 갖도록 하는 것이다. 이때 차단되는 부하에는 중요부하가 포함되지 않아야 한다. 그림 4에서는 부하차단의 우선순위를 나타내었다. 그림에서 나타낸바와 같이 구간 1의 부하는 허용용량이 작고, 구간 2는 중요부하가 포함되어있다. 그러므로 구간 3에서 부하를 차단한다.

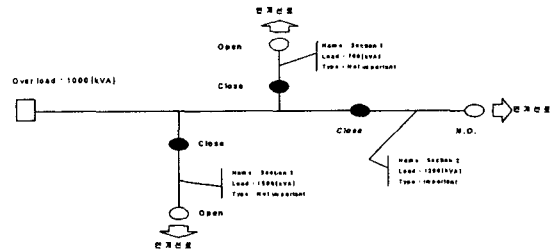


그림 4 부하차단 우선순위

## 3. 사례연구

모의계통은 그림 5와 같이 6개의 연계선로와 73개의 스위치로 구성되어있다.

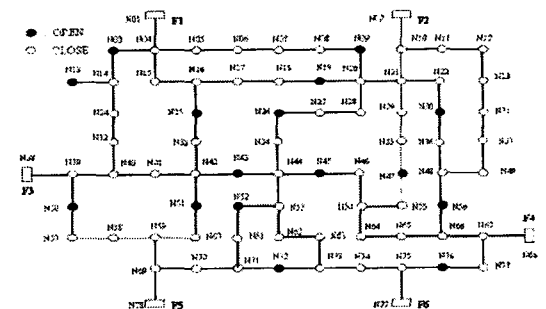


그림 5 6개의 연계선로로 구성된 배전계통

표 2는 피더의 이름, 변전소 이름, 차단기와 부하용량을 나타낸 것이다.

표2. 배전계통의 데이터

배전선로	변전소	차단기	부하
F1	S1	N01	9000
F2	S2	N02	6000
F3	S3	N38	6000
F4	S1	N68	8000
F5	S2	N78	8000

F6	S3	N79	9000
----	----	-----	------

### 3.1 사례연구1: 개별 정전복구방안

사례연구 1에서는 개별 정전복구방안을 모의하였다.

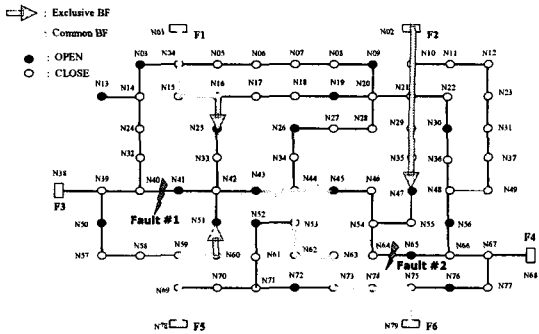


그림 6 다중 사고 발생의 예

표 3에서 정전구간1은 정전구간 2보다 높은 복구지수를 가진다. 그 결과 정전구간 1을 먼저 복구하고 정전구간 2를 복구한다.

표 3. 복구지수

고장 구간 데이터	정전 구간 1	정전 구간 2
정전 부하	3000[kVA]	1500[kVA]
개별적인 연계선로	F1, F5	F2
공통의 연계선로	F6	F6
연계선로의 갯수	2[EA]	1[EA]
연계선로 용량	11000[kVA]	8000[kVA]
복구 지수	0.66	0.64
복구 순위	1	2

정전구간1과 정전구간 2를 위한 복구방안은 표 4와 표 5에 나타내었다.

표 4. 정전구간1을 위한 복구방안

순위	복구 방안	연계선로	우선순위	스위치 동작
1	SGR	F5	0.82	Close N51
2	SGR	F1	0.75	Close N25
3	DGR	F1, F5	0.73	Open N23 Close N25 Close N51

표 5. 정전구간 2를 위한 복구방안

순위	복구 방안	연계선로	우선순위	스위치 동작
1	DGR	F2, F6	0.68	Open N46 Close N45 Close N47
2	SGR	F6	0.67	Close N45
3	SGR	F2	0.64	Close N47

사례연구 1의 경우 개별 정전복구방안만을 이용하여 정전구간복구에 성공을 하였다.

### 3.2 사례연구2: 종합 정전복구방안

사례연구 2에서는 그림 6과 같이 다중사고가 발생하였을 경우 종합 정전복구방안을 모의하였다. 표 6은 배전선로의 부하변경을 나타낸 것이다. 표에서 보는 것과 같이 F4와 F5는 성공적으로 과부하를 해소되었으며 계통의 모든 부하는 배전 선로 여유용량 한계 이내로 들어왔으므로 정상적인 전력 공급이 가능하게 되었다. 복구에 의한 결과로 스위치의 변경은 표 7에 나타내었다.

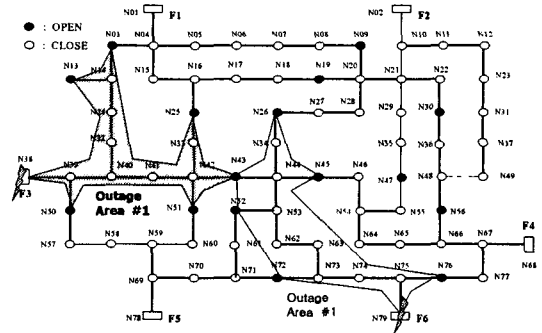


그림 7 변전소 S3에서의 고장

표 6. 복구 후 부하 변경

배전선로	복구 전 부하	복구 후 부하
F1	9000	11800
F2	6000	11400
F3	고장 난 배전선로	
F4	17000	11200
F5	15000	11600
F6	고장 난 배전선로	

표 7. 상시개방스위칭 결과

열림->닫힘	N03, N09, N25, N26, N47, N50, N72, N76
닫힘->열림	N07, N29, N32, N41, N63, N74

## 4. 결 론

본 연구는 기존의 복구 알고리즘이 단일 정전영역만을 대상으로 한 것에 대한 보완으로 다중정전영역에 대한 복구방안을 제안한 것이다. 즉, 배전계통에 다중 고장이 발생했을 경우 먼저 단일 정전복구방안인 정전 부하량과 연계선로의 총 공급 용량을 퍼지이론을 적용하여 복구가능지수를 계산하여 지수가 높은 순으로 복구를 하고 복구가 실패할 경우 종합 정전복구방안 중 연계점교환법을 이용하여 고장구간을 복구한다. 만약 연계점 교환법을 이용한 정전구간 복구가 실패할 경우 부하차단을 통해 정전구간을 최소화하는 방안을 제안하였다.

### [감사의 글]

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램과 한전 전력연구원 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] K. Aoki, K. Nara, M. Itoh, T. Satoh, H. Kuwabara, "A New Algorithm For Service Restoration In Distribution System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, pp.
- [2] K. H. Jung, H. Kim, Y. Ko, "Network Reconfiguration Algorithm For Automated Distribution Systems Based On Artificial Intelligence Approach", IEEE Trans. on Power Delivery. vol.8, no.4, pp. 1933-1941, Oct. 1993.
- [3] Y. Y. Hsu, M. M. Huang, H. C. Kuo, S. K. Peng et al., "Distribution System Service Restoration Using A Heuristic Search Approach", Proceedings of th 1991 IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference, Dallas, TX, USA, pp. 639-645, Sept. 1991
- [4] S. J. Lee, S. I. Lim, B. S. Ahn, "Service Restoration of Primary Distribution Systems Based on Fuzzy Evaluation of Multi-Criteria", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 3, pp 1156-1163, August 1998.