

## 동적분할 기법을 이용한 배전망의 정전복구 시스템에 관한 연구

### (A Study on the Restoration System for Distribution Networks using Dynamic Division Method)

임찬호\*

(Chan - Ho Lim)

#### 요 약

배전망은 그 구조가 매우 복잡하고, 수용가와 인접되어 있으므로 송전망에 비하여 사고의 발생도 매우 빈번하다. 또한 배전망에서의 사고는 수용가에게 직접적인 피해를 발생시킬 수 있다. 따라서 수용가의 피해를 줄이고 전력공급의 안정성 확보를 위한 배전망에서의 고장진단과 정전복구는 필수적으로 요구되는 기능이다.

배전망의 정전복구는 시간적인 제약성에 종속되며, 정전복구 과정에서 발생하는 스위칭 수를 최소화하는 것이 가장 중요한 요소이다. 즉, 모든 정전구역을 한번의 스위칭으로 복구하는 것이 가장 이상적이며, 그렇지 못할 경우 여러 번의 스위칭으로 복구하여야 한다. 본 논문에서는 조작되는 스위치의 수를 최소화시키기 위한 배전망의 정전복구 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템에서는 휴리스틱 탐색방법과 메타-알고리즘의 동적분할 기법의 계층구조를 사용하고 있다.

제안된 정전복구 시스템의 성능을 검증하기 위하여 모의 배전망을 대상으로 성능평가를 수행하였다.

#### Abstract

Comparing with transmission networks, the faults in distribution networks more often occurs because of the complicated structure and the adjacency to customers. Moreover the faults give direct damage to customers. So fault diagnosis and blackout restoration in distribution networks are very important elements to reduce the damage of customers and to maintain the stability.

The restoration problem of distribution networks is subject to time. Minimizing the switching numbers in restoration process is the crucial element. In other words, the best restoration is to restore all blackout area through just one switching, if not, the restoration has to be accomplished through several switching. This paper proposes the efficient restoration system in distribution networks to minimize the switching numbers. The proposed system uses the dynamic division method of hierarchical structure which consists of heuristic searching method and meta algorithm.

\* 주저자 : 경주대 컴퓨터전자공학부 조교수  
Tel : 054-770-5174, Fax : 053-748-2895  
E-mail : chlim@kyongju.ac.kr

접수일자 : 2003년 2월17일  
1차심사 : 2003년 2월24일  
심사완료 : 2003년 3월31일

The proposed system is applied to the sample networks, and the results showed a promising possibility.

**Key Words** : Restoration System, Hierarchical Structure, Switching Numbers

## 1. 서 론

배전 시스템은 송전 시스템으로부터 공급된 전력을 다양한 수용가측으로 공급하는 시스템으로서 그 구조가 매우 복잡하고, 수용가와 인접되어 있으므로 사고의 발생도 매우 빈번하다. 그러나 배전 시스템에서의 사고에 대처하기 위한 정전복구 및 고장진단 작업은 전통적으로 운전원들의 전문지식이나 경험적 판단 또는 운전지침에 의존하여 수행되어 왔다. 최근에는 컴퓨터, 통신 등 관련기술의 급속한 발전으로 인하여 배전 시스템에서의 원격감시 및 원격 제어 기능을 수행하는 운전자 지원 시스템 개발이 지속적으로 진행되어 왔으며, 이를 기반으로한 배전 자동화 시스템에 관한 연구가 활발히 수행되어 왔다.

배전 자동화에 관련된 연구분야는 크게 배전 시스템의 고장진단과 정전복구, 정상상태에서의 손실을 최소화하기 위한 배전 시스템 재구성 등으로 대별할 수 있다. 특히 본 논문의 대상인 정전복구 분야에서의 연구방향은 수학적인 알고리즘을 이용하여 해석적인 방법으로 최적의 스위칭 조합을 탐색하는 방법[1-3]과 인공지능 기법을 응용하여 결과를 도출하는 방법[4-6]의 두 분야로 대별할 수 있다. 수학적인 알고리즘을 적용한 응용사례는 최급 강하법(*gradient method*)에 의한 해석적인 복구방법[1]과 인터랙티브 모델링(*interactive modeling*) 기법을 이용하여 수치적인 방법으로 복구하는 방법[2] 및 스위치 조작에 따른 조류를 계산하여 그 해를 구하는 방법[3] 등이 발표된 바 있으며, 인공지능 기법을 이용한 연구사례로서는 프레임(*frame*) 구조를 이용하여 정전 구역을 몇 개의 그룹으로 분할하여 각자의 인접한 피더로 복구하는 방법[4], 주공급 피더(*supporting feeder*)와 주변피더(*supporting lateral feeder*)를 구분하여 스위칭 개수를 줄이는 방법[5], 퍼지추론을 이용하여 최소의 스위칭 개수를 탐색하는 방법[6] 등이 발표된 바 있다. 그리고 배전 변전소의 지능적

자동화와 배전 자동화 시스템과의 연계에 대비하기 위하여 이중모선 구조의 배전 변전소를 대상으로 정전복구를 수행하는 전문가 시스템[7]이 발표되었다. 최근에는 정전구역을 축소된 지역 네트워크(*local network*)로 정의하여 정전복구를 수행하는 방법[10]과 유전알고리즘과 퍼지 시스템을 접목시켜 정전복구의 효율 향상을 모색하는 방법[11] 등이 발표된 바 있다.

본 논문에서는 기존에 제시된 방법들의 시간 제약성을 극복하기 위하여 정전복구 과정에서 조작되는 스위치의 수를 최소화시킨 정전복구 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템에서는 배전망의 위상구조를 인식하여 메타-알고리즘으로 정전부하를 그룹핑하기 위한 그룹의 수를 동적으로 결정하고, 휴리스틱 분할기법으로 정전부하를 분할하여 복구하는 동적 분할 기법의 계층구조를 사용하고 있다. 또한 정전부하 분할과정에서 발생할 수 있는 시간 제약성을 극복하기 위하여 위상구조 기반의 휴리스틱 분할기법을 제안하였다.

제안된 정전복구 시스템의 성능을 검증하기 위하여 48개의 존과 52개의 스위치를 가진 모의 배전망을 대상으로 성능평가를 수행하였다.

## 2. 배전망의 구조 및 문제의 표현

그림 1은 배전망의 기본구조를 도시하고 있다.

그림 1에서 보는 바와 같이 배전망은 기본적으로 연계 스위치(*tie switch*)와 구분 스위치(*sectionalizer*)로 이루어진 그물망 구조(*loop network*)로 구성되어 있다. 그러나 실제적인 배전망은 경제적인 이유와 실제 운용상의 편의를 위하여 연계 스위치를 상시 개방하여 방사상 구조(*radial network*)로 운용되고 있다. 본 논문에서는 배전망의 설비들을 다음과 같이 표현하였다.

동적분할 기법을 이용한 배전망의 정전복구 시스템에 관한 연구

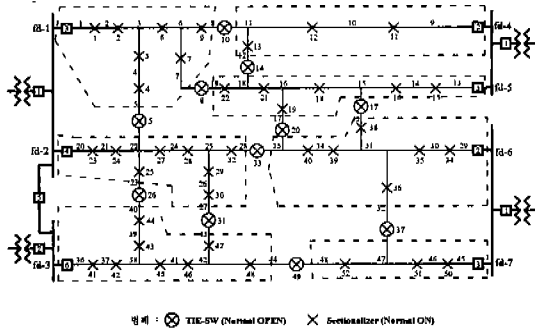


그림 1. 배전망의 구조  
Fig. 1. The structure of distribution network

CB(name,status)  
FEEDER(name,capacity,cb\_name,flow)  
SW(name,status)  
ZONE(name,load,[sw\_list],type)

여기서, name은 각 설비들의 이름이고, status는 차단기와 스위치의 ON/OFF 상태를 표시하고 있으며, flow는 배전피더에 흐르는 전류의 양을 표시한다. 또한 capacity는 배전피더의 용량이며, load는 존의 부하량을 표시하고, cb\_name은 배전피더와 변압기를 연결하는 차단기의 번호이다.

현재 국내에서는 리클로저(recloser), 라인 퓨우즈(line fuse), 구분 스위치(sectionalizer) 등을 이용하여 배전망을 보호하고 있다. 리클로저의 순시동작 이후의 지연동작으로 사고지점에서 가장 가까운 라인 퓨우즈를 용단시키거나 리클로저의 부하측에서 동작회수를 계산하고 구분 스위치를 동작시켜 사고 구간을 분리하고 있다. 따라서 방사상 구조로 운용되고 있던 배전망에서 사고구간이 분리될 경우 사고 구간과 동일한 피더에 연결되어 운전중인 부하는 정전상태가 되며, 이와 같은 상황에서 사고와 무관하게 정전된 부하에 대해서는 신속한 복구가 진행되어야 한다.

배전망에서의 정전복구는 배전망의 방사상 구조를 유지하고 정전복구 과정에서의 제약조건 - 스위칭 개수 최소화, 피더용량, 선로용량, 부하균형 등을 만족하면서 정전부하가 최소화 되도록 하기 위한 최적의 스위칭 조합을 탐색하는 것이다.

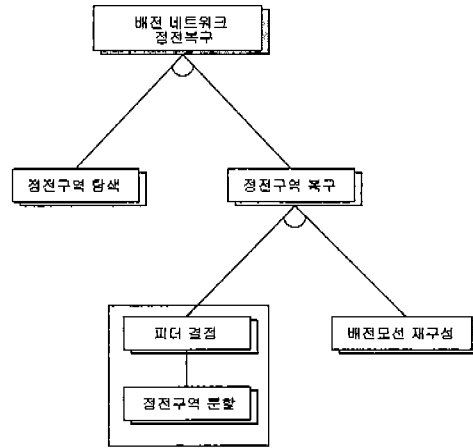


그림 2. 정전복구의 표현  
Fig. 2. The representation of restoration

다음 그림 2는 정전복구를 문제분할 기법으로 도식화한 것이다.

그림 2에서 보는 바와 같이 본 논문에서는 배전망의 정전복구 문제를 정전구역 탐색과 정전구역 복구로 분할하여 표현하였으며, 정전구역 복구문제는 다시 피더결정, 정전구역 분할의 계층구조를 이룬 동적복구 과정과 배전모선 재구성으로 구분하여 표현하였다.

배전망에서의 정전복구는 피더의 여유용량을 고려하여 진행하며, 피더에 전력을 공급하고 있는 배전 변전소의 상태는 고려하지 못하고 있다. 따라서, 피더의 여유용량이 충분하여 정전복구를 수행하였을 경우 피더에 전력을 공급하고 있던 변압기의 과부하로 인하여 새로운 사고가 유발될 가능성이 존재한다. 배전모선의 재구성은 상위 계층과의 협조를 통하여 이와 같은 상황에 적절히 대처하기 위하여 필요한 부분이며, 본 논문에서는 대상에서 제외하였다.

### 3. 동적분할 기법

정전복구 문제는 복구시간의 최소화가 가장 중요한 고려사항이다. 따라서, 조작되는 스위치의 수를 최소화시킬 수 있도록 모든 정전부하를 하나의 피더를 이용하여 복구하는 것이 최선의 선택이라 할 수 있다. 그러나 피더 여유용량의 한계로 인하여 정전

부하를 여러 그룹으로 분할하여 복구하는 경우가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 메타-알고리즘으로 정전부하를 그룹핑하기 위한 그룹의 수를 동적으로 결정하고, 휴리스틱 탐색방법으로 정전부하를 분할하는 동적분할의 계층구조를 제안하였다.

### 3.1 동적분할 메타-알고리즘

본 논문에서는 복구과정에서 이용되는 배전피더의 수를 변화시키면서 정전부하 분할과정을 반복적으로 수행하는 동적분할 알고리즘으로 복구시간의 최소화를 도모하였다. 전체적인 동적분할 메타-알고리즘의 수행과정은 그림 3과 같고, m개의 피더선택은 여유용량이 큰 순으로 선택되도록 하였다.

본 논문에서 사용한 각각의 기호는 다음과 같이 정의하였다.

$L_T$  : 정전된 총 부하량

$n$  : 정전부하에 인접한 전체 피더 수

$m$  : 정전복구 과정에서 이용되는 피더 수

$C_i$  : 배전피더 i의 여유용량

$C_{AT}$  : 선택한 배전피더들의 여유용량의 합

$$C_{AT} = \sum_{i=0}^m C_i$$

### 3.2 휴리스틱 정전부하 분할기법

메타-알고리즘에서 선택된 m개의 배전피더를 이용하여 정전부하를 복구할 수 있도록 전체 정전부하는 m개의 그룹으로 분할되어야 한다. 본 논문에서는 배전망의 위상구조를 인식하고, 그 위상구조를 기반으로 정전부하를 분할하는 휴리스틱 정전부하 분할기법을 제안하였다.

본 논문에서 제시하는 휴리스틱 정전부하 분할기법은 다음과 같이 3단계로 구성되며, 각 단계를 반복적으로 수행하여 정전부하를 분할하도록 하였다.

#### § step 1 : 배전피더 선택

정전부하를 분할하기 위하여 선택된 배전피더 중에서 여유용량이 큰 피더를 선택하는 단계이다. 이 과정은 정전부하에 대한 복구가 완료되었을 때 배전망의 부분적인 부하균형을 고려하여 손실감소를 도모하기 위한 것이다.

#### § step 2 : 대상탐색

그룹을 형성하기 위하여 그룹에 포함시킬 대상을 탐색하는 단계이다. 그룹에 포함시킬 대상으로는 존(zone)을 포함하고 있는 가지(branch)나 여러 개의 가지가 연결된 존인 절점(node)이 된다.

#### § step 3 : 그룹형성

선택된 배전피더로 복구할 그룹을 형성하는 단계이다. 대상탐색 단계에서 탐색된 부하가 가지일 경우에는 가지를 그룹에 포함시킨다. 대상탐색 단계에서 탐색된 부하가 절점일 경우에는 절점에 연결된 가지중에서 하나를 선택하여 그룹에 포함시킨다. 제안된 시스템에서는 절점에 연결된 가지의 상태 - 가지에 연결되는 인접 절점의 상태 - 에 따라 가지선

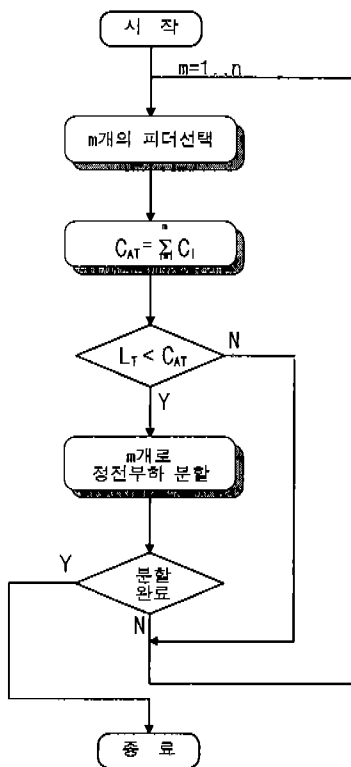


그림 3. 동적분할 메타-알고리즘  
Fig. 3. The meta algorithm of dynamic division

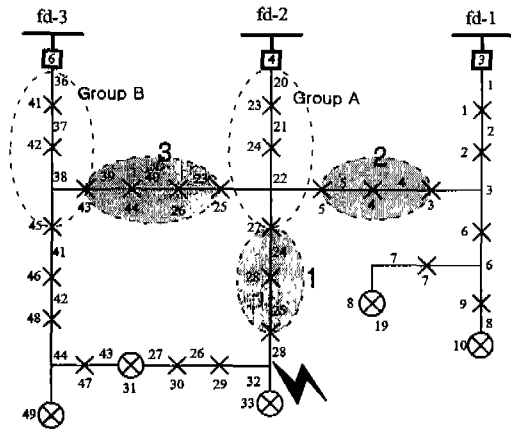


그림 4. 절점에서의 경로 선택  
Fig. 4. The selection of path in node

택 우선순위를 부여하고, 우선순위에 따라 가지를 선택하여 그룹에 포함시키도록 하였다.

본 논문에서는 그림 4에서 보는 바와 같이 절점에 연결된 가지를 다음과 같이 3가지 유형으로 분류하고 선택 우선순위를 부여하였다.

- 유형 1 : 절점과 연결되지 않는 유형
- 유형 2 : 그룹에 포함되지 않은 절점과 연결
- 유형 3 : 그룹에 포함된 절점과 연결

유형 1은 사고구간과 연결된 가지이거나 부하의 말단에 속하는 가지이며, 선택 우선순위를 1로 설정하여 그룹에 우선적으로 포함되도록 하였다. 유형 2는 다른 그룹에 포함되지 않은 절점과 연결된 가지이며, 선택 우선순위는 2로 설정하였다. 유형 3은 다른 그룹(Group B)에 포함된 절점과 연결된 가지이며, 선택 우선순위는 3으로 설정하였다.

### 3.3 추론

정전복구 시스템의 전체적인 추론과정은 그림 5와 같다.

정전구역 탐색은 사고가 제거된 배전망에서 정전구역과 정전 부하량( $L_T$ )을 탐색하는 단계이고, 인접 피더 탐색은 정전부하 복구과정에서 이용 가능한 피더와 여유용량( $C_T$ )을 탐색하는 단계이다.

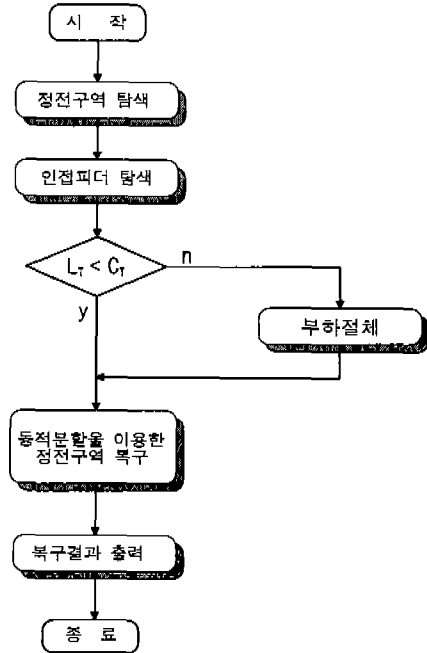


그림 5. 정전복구 계획수립의 흐름도  
Fig. 5. The chart of the restoration planning

정전부하 복구과정에서 가장 우선하는 고려사항은 정전부하를 가능한 최소화시키는 것이다. 그리고 배전망에 가설된 변압기나 배전피더, 선로 등의 배전설비에 5~10[%]정도의 한시적인 과부하를 인가하여도 설비에는 무리가 가지 않는다. 그러므로 배전망 정전복구 문제에서는 배전설비에 어느 정도 과부하를 허용하고 정전된 부하량을 최소화시키는 것이 더 타당하다고 할 수 있다. 또한 이와 같이 어느 정도 과부하를 허용함으로써 정전복구 과정에서 조작할 스위치의 수도 감소시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 피더용량의 5[%] 정도의 과부하를 허용하여 피더의 여유용량을 산출하도록 하였다.

부하절체는 정전 부하량( $L_T$ )이 인접한 피더들의 총 여유용량( $C_T$ ) 보다 큰 경우에 충분한 여유용량을 확보하기 위한 단계이다. 본 논문에서는 부하절체 과정에서 기존 배전망의 구성상태를 가능한 유지하기 위하여 가지만 부하절체가 가능하도록 제한하였다.

### 4. 사례연구

본 논문에서 제시하는 정전복구 시스템의 성능평가를 위하여 사례연구를 실시하였다. 본 논문에서는 7개의 피더와 52개의 스위치, 48개의 존을 가진 모의 배전망을 대상으로 하였으며 사고전 부하량 조정을 통한 가상 고장상황 모의를 통하여 실계통의 적용 가능성을 검증하였다.

#### 4.1 하나의 피더를 이용하여 복구

그림 6에서 보는 바와 같이 fd-2 피더에 연결된 20번 존에서 사고가 발생하여 fd-2 피더가 전력을 공급하던 부하(z20 ~ z28)에 정전이 발생한 경우로 정전 부하량은 65[A]이다.

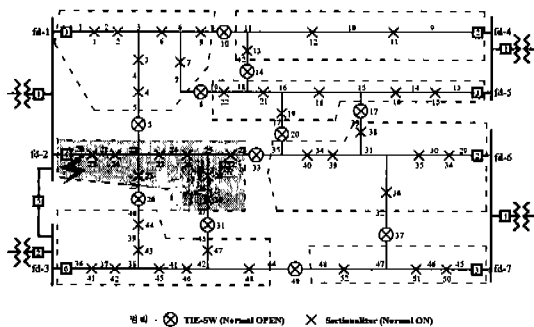


그림 6. 복구전의 배전망 단선도(case 1)  
Fig. 6. D/L configuration before restoration

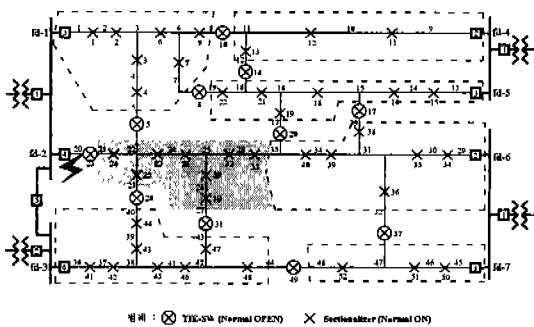


그림 7. 복구수행 후의 단선도(case 1)  
Fig. 7. Estimated configuration after restoration

인접피더 탐색단계에서 fd-1, fd-3, fd-6 피더가

탐색되었고, 이 피더들의 여유용량은 각각 34.5[A], 25[A], 66.5[A]이다. 이용 가능한 피더 중에서 fd-6 피더의 여유용량이 전체 정전부하를 복구하기에 충분하므로 정전부하 복구는 fd-6 피더를 이용하여 한번의 스위칭으로 완료되며, 피더 fd-6에 3%의 과부하가 발생하였다.

그림 7은 복구 후의 배전망 단선도이며, 표 1은 각 피더의 사고전후 부하량에 대한 비교이다.

표 1. 사고 전후 부하량(case 1)  
Table 1. The load of before and after fault

피더	용량	부 하		과부하율 [%]
		사고전	복구후	
fd-1	90	60	60	
fd-2	100	65	0	
fd-3	100	80	80	
fd-4	60	40	40	
fd-5	100	80	80	
fd-6	90	28	93	3
fd-7	100	40	40	

#### <정전복구 시스템의 텍스트 출력>

Restoration Result

# Connection to Another Feeder

- Feeder : fd-6
- Sw Close : sw33
- Transfer Zone : z28, z27, z26, z25, z24,

#### 4.2 다수의 피더를 이용하여 복구

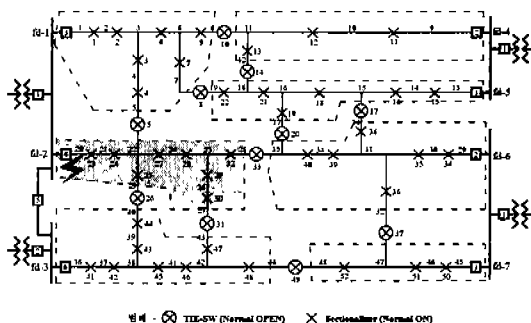


그림 8. 복구전의 배전 네트워크 단선도(case 2)  
Fig. 8. D/Ls configuration before restoration

그림 8에서 보는 바와 같이 20번 존에서 사고가 발생하여 fd-2 피더가 전력을 공급하던 부하에 정전이 발생한 경우로 정전 부하량은 65[A]이다.

인접피더 탐색단계에서 fd-1, fd-3, fd-6 피더가 탐색되었고, 이 피더들의 여유용량은 각각 34.5[A], 25[A], 45.5[A]이다. 이용 가능한 피더 중에서 여유용량이 가장 큰 피더로 전체 정전부하를 복구할 수 없으므로 동적분할 과정을 거쳐 2개의 그룹으로 분할된 후 fd-1 피더와 fd-6 피더를 이용하여 복구된다.

그림 9는 복구 후의 배전망 단선도 이고 표 2는 각 피더의 사고전후 부하량에 대한 비교이다.

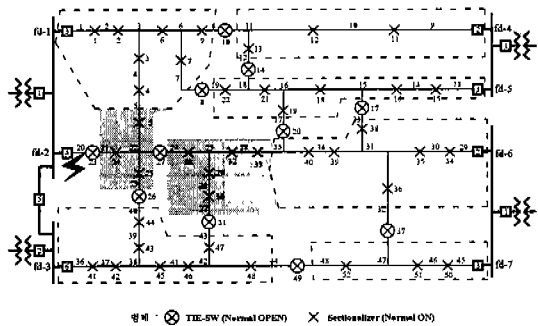


그림 9. 복구수행 후의 단선도(case 2)  
Fig. 9. Estimated configuration after restoration

표 2. 사고 전후 부하량(case 2)  
Table 2. The load of before and after fault

피더	용량	부 하		과부하율 [%]
		사고전	복구후	
fd-1	90	60	85	
fd-2	100	65	0	
fd-3	100	80	80	
fd-4	60	40	40	
fd-5	100	80	80	
fd-6	90	49	89	
fd-7	100	40	40	

<정전복구 시스템의 텍스트 출력>

Restoration Result

# Connection to Another Feeder

- Feeder : fd-6
- Sw Close : sw33
- Sw Close : sw27
- Transfer Zone : z28, z27, z26, z25, z24

# Connection to Another Feeder

- Feeder : fd-1
- Sw Close : sw5
- Transfer Zone : z23, z22, z21

4.3 부하절체가 포함된 경우

그림 10에서 보는 바와 같이 fd-2 피더에 연결된 20번 존에서 사고가 발생하여 fd-2 피더가 전력을 공급하던 부하(z20 ~ z28)에 정전이 발생한 경우로 정전 부하량은 75[A]이다.

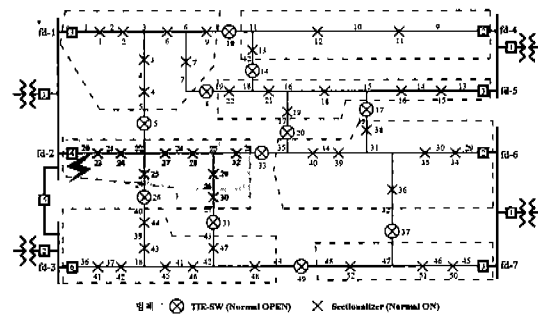


그림 10. 복구전의 배전 네트워크 단선도(case 3)  
Fig. 10. D/Ls configuration before restoration

인접피더 탐색단계에서 fd-1, fd-3, fd-6 피더가 탐색되었고, 이 피더들의 여유용량은 각각 14.5[A], 15[A], 24.5[A]이다. 인접피더의 총 여유용량이 전체 정전부하를 복구하기에 부족하므로 복구는 부하절체, 동적분할의 단계를 따른다.

부하절체와 복구결과를 요약하면 다음과 같다. 피더 fd-1의 부하 z7은 피더 fd-5로 절체되고 z8은 피

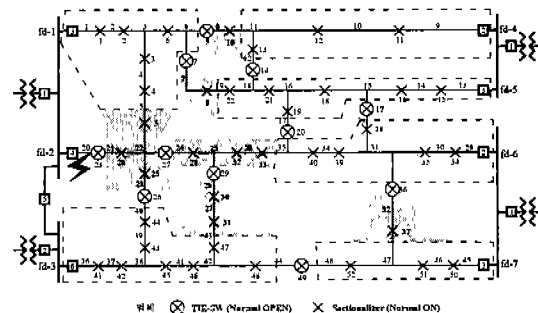


그림 11. 복구수행 후의 단선도(case 3)  
Fig. 11. Estimated configuration after restoration

더 fd-4로 절체되며 피더 fd-6의 부하 z32는 피더 fd-7로 절체된다. 그리고 정전부하 z28, z25, z24는 sw33을 투입하고 sw27을 개방하여 피더 fd-6으로 복구하고 z27, z26은 sw31을 투입하고 sw29를 개방하여 피더 fd-3으로 복구하며, z22, z21, z23은 sw5를 투입하여 피더 fd-1로 복구한다.

그림 11은 복구 후의 배전망 단선도 이고 표 3은 각 피더의 사고전후 부하량에 대한 비교이다.

표 3. 사고 전후 부하량(case 3)  
Table 3. The load of before and after fault

피더	용량	부 하		과부하율 [%]
		사고전	복구후	
fd-1	90	80	92	2
fd-2	100	75	0	
fd-3	100	90	105	5
fd-4	60	40	50	
fd-5	100	80	90	
fd-6	90	70	88	
fd-7	100	40	50	

<정전복구 시스템의 텍스트 출력>

Restoration Result

# Load Transfer

- Feeder : fd-1 -> fd-5
- Sw Close : sw8
- Sw Open : sw7
- Transfer Zone : z7

# Load Transfer

- Feeder : fd-1 -> fd-4
- Sw Close : sw10
- Sw Open : sw9
- Transfer Zone : z8

# Load Transfer

- Feeder : fd-6 -> fd-7
- Sw Close : sw37
- Sw Open : sw36
- Transfer Zone : z32

# Connection to Another Feeder

- Feeder : fd-6
- Sw Close : sw33
- Sw Open : sw27
- Transfer Zone : z28, z25, z24

# Connection to Another Feeder

- Feeder : fd-3
- Sw Close : sw31
- Sw Open : sw29
- Transfer Zone : z27, z26

# Connection to Another Feeder

- Feeder : fd-1
- Sw Close : sw5
- Sw Open :
- Transfer Zone : z22, z21, z23

5. 결론

본 논문에서는 정전복구 과정에서 조작되는 스위치의 수를 최소화시켜 복구의 시간제약성을 극복하기 위한 정전복구 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템에서는 배전망의 위상구조를 인식하여 메타-알고리즘으로 분할되어야 하는 그룹의 수를 동적으로 변화시키면서 휴리스틱 분할기법으로 분할시키는 동적분할 기법의 계층구조를 사용하고 있다. 또한 제안된 시스템에서는 배전망의 위상구조를 기반으로 인접피더의 여유용량을 산출하였으며, 피더의 여유용량을 산출할 때 5%의 과부하를 허용하여 정전 부하량을 최소화시키도록 고려하였으며, 배전망의 부분적인 부하균형을 고려하였다.

제안된 시스템의 우수성을 검증하기 위하여 모의 배전망을 대상으로 성능평가를 수행하였다. 사고전 부하량을 조정하면서 한번의 스위칭으로 정전복구가 완료되는 경우와 2개의 그룹으로 분할하여 정전 복구를 수행하는 경우, 부하절체가 포함된 경우로 분리하여 실시하였다. 사례연구를 통하여 제안된 시스템의 우수성을 검증하였으며, 실제 배전 자동화 시스템에 적용하여 운용할 수 있음을 확인하였다.

- 감사의 글 -

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2001-000-00861-0)지원으로 수행되었음.



## References

- [1] K. Aoki et al., "A New Algorithm for Service Restoration in Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, pp. 1832-1839, 1989.
- [2] E. N. Dialynas et al., "Interactive Modeling of Supply Restoration Procedures in Distribution System Operation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, pp. 1847-1854, 1989.
- [3] D. Shimohammadi et al., "Service Restoration in Distribution Networks via Network Reconfiguration", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, pp. 952-958, 1992.
- [4] C. C. Liu et al., "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, 1988.
- [5] Y. Y. Hsu et al., "Distribution System Service Restoration Using A Heuristic Search Approach", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, pp. 734-740, 1992.
- [6] Y. Y. Hsu et al., "A Heuristic Based Fuzzy Reasoning Approach for Distribution System Service Restoration", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No. 2, pp. 948-953, 1992.
- [7] H. J. Lee, Y. M. Park, "A Restoration Aid Expert System for Distribution Substation", IEEE Trans. on PWRD. Vol. 11, No. 4, 1996.
- [8] V. Susheela Devi, G. Anandalingam, "Optimal Restoration of Power Supply in Large Distribution Systems in Developing Countries", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, pp. 430-438, 1995.
- [9] C.Y. Teo, H.B. Gooi, "Artificial Intelligence in Diagnosis and Supply Restoration for a Distribuion Network", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 145, No. 4, pp. 444-450, 1998.
- [10] Dragan S. Popovic, Rade M. Ciric, "A Multi-Objective Algorithm for Distribution Networks Restoration", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp. 1134-1141, 1999.
- [11] Ying-Tung Hsiao, Ching-Yang Chien, "Enhancement of Restoration Service in Distribution Systems Using a Combination Fuzzy-GA Method", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 15, No. 4, pp. 1394-1400, 2000.

## ◇저자소개◇

### 임찬호(林讚鎬)

1968년 8월 11일생. 1991년 광운대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경주대 컴퓨터전자공학부 조교수.