

# 배전계통의 고장판단 및 사고복구 시스템

이 승 재

(명지대 공대 전기공학과 조교수)

## 1. 序 論

配電 자동화가 이루어진 1차 幹線 系統의 구성은 그림 1에 보이는 바와 같이 여러 변전소로부터 차단기를 통하여 인출된 幹線들이 상시 개로(Normally Open) 연계 스위치(Tie Switch)를 통하여 서로 긴밀히 연결된 구조를 갖으며, 또한 각 幹線들은 여러 개의 구분 스위치 (Sectionalizing Switch)가 설치되어 여러 구간(zone)으로 나뉘어진 系統으로 발전할 것으로 보인다. 여기서 구분 스위치 및 연계 스위치

는 차단기(Circuit Breaker, CB)와는 달리 故障전류 차단능력이 없고 단지 부하 전류 차단 능력만을 갖고 있으며, 중앙 제어소(Distribution Control Center, DCC)로부터의 명령 신호(command)에 따라 원격 개폐 동작을 하는 기기이며, 故障발생시 과전류를 검출할 수 있는 故障 검출 요소(Fault Detection Unit, FD)가 부착되어 있는 기기이다.

系統에 대한 정보, 즉 구간의 부하 상태, 차단기 및 스위치들의 현 개폐상태, 그리고 故障 검출기 동작상태 등은 통신망을 통하여 중앙 제어소로 전송되어 지며 系統운용의 책임을 지고 있는 오퍼레이터(Operator)는 이들 정보를 근거로 하여 系統의 현 상황을 파악하여 적절한 조치를 취하게 된다. 좀 더 자세히 말하면, 먼저 故障이 발생하지 않은 평상시(Normal State)에는 系統의 부하 상태를 감시하여 운전손실 및 전압강하를 최소화 하는 계통으로의 변경을 원격조정 스위치 조작을 통하여 쉽고도 신속하게 실행시킴으로써 보다 효율적이고 경제적인 系統운전을 이룩할 수 있게 될 것이다. 또한 선로에 故障이 발생했을 경우, 변전소 차단기가 트립되기 전의 故障전류를 경험하게 되는 위치에 있는 스위치의 故障 검출 요소(FD)가 동작하게 되며, 이러한 故障 검출기 동작상태, 스위치들의 현 개폐 상태 및 차단기의 트립 정보등은 중앙 제어소로 전송되어지며 오퍼레이터는 이들 정보로부터 故障구간을 판별하여 원격 조정 스위칭을 통하여 故障구간을 신속히 분리시키고, 정전구역에 대하여 운전 제약 조건을 위반

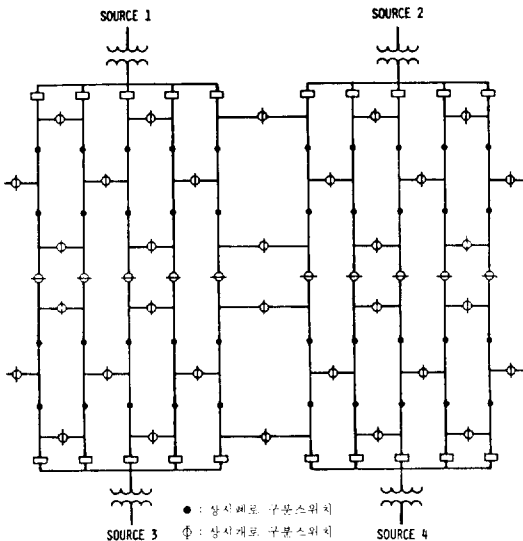


그림 1. 配電자동화가 이루어진 1차 配電幹線系統

하지 않는 復舊계획을 수립하여 실행함으로써 보다 빠른 故障 위치 判斷과 事故復舊를 실현할 수 있으며 수용가의 공급 지장 시간을 최대한도로 줄여 配電 系統의 공급신뢰도를 높일 수 있다. 故障 발생시 이와 같은 일련의 과정은 크게 故障 구간 판별 (Fault Location Identification) 및 정전 復舊 (Service Restoration)로 나눌 수 있으며 각각에 대하여 다음에 기술한다.

## 2. 故障 位置 判別(Fault Location Identification)

系統에 故障이 발생했을 경우 故障구간은 각 구분 스위치에 부착되어 있는 故障 검출 요소(FD)의 작동 여부 정보로부터 쉽게 판정되어질 수 있다. 즉 故障 위치로부터 전원단측의 故障검출요소는 故障전류로 인하여 동작을 하게 되며, 故障전류가 감지되지 않는 부하측의 故障검출요소는 동작을 하지 않게 된다. 따라서 故障구간을 둘러싼 구분 스위치들의 故障 검출 요소 중 반드시 전원측 1개는 동작하게 되나 반면에 비故障구간의 故障 검출 요소는 모두 같은 상태를 갖게 된다. 따라서 각 스위치들의 故障 검출요소의 동작상태가 配電사령소로 전송되어 오면 각 스위치의 개폐 여부로 주어지는 현 系統의 연결 상태로부터 간단한 트리(Tree) 탐색 및 위에 설명한 논리적 현상을 적용과정을 통하여 故障구간을 쉽게 판별해낼 수 있다. 예를 들어 그림 2와 같은 경우를 고려하여 보자.

구간 Z3에서 故障이 발생했다고 가정하면 선로에서 단지 구간 스위치 S1과 S2의 故障 검출 요소만이 동작하게 되며 이 경우 CB1으로부터 시작되는 트리

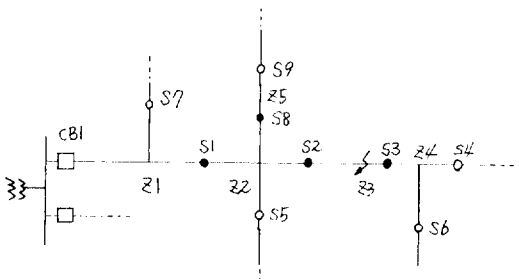


그림 2. 故障위치 판별 예제 系統

탐색을 통하여 구간 Z1과 Z2는 부하측의 故障검출요소가 동작했으므로 故障구간이 아님을 알 수 있고, Z3는 전원측 S2 요소만이 동작했고 다른 요소 S3는 동작하지 않았으므로 故障구간임을 알 수 있다. 이와 같은 논리적 탐색방법은 중복故障(Multiple Fault)인 경우에도 쉽게 적용될 수 있다.

## 3. 停電 復舊(Service Restoration)

일다 故障구간이 확인된 경우 오퍼레이터는 故障구간을 둘러싸고 있는 구분 스위치들을 열어 故障구간을 系統으로부터 분리시키고(Fault Isolation) 트립된 차단기를 재투입시킬 수 있으며, 이로써 故障구간과 차단기 사이의 구간들은 復舊가 이루어진다. 그러나 故障구간으로부터 비전원 단측으로의 구간들은 정전상태가 계속되며 이 경우 연계 스위치(Tie Switch)로 연결된 이웃한 다른 幹線(이하 백업 幹線이라함, Back up feeder)들로부터 전기가 공급 되도록 해야한다. 이 때 정전구간중 병원과 같은 부하는 다른 부하에 우선하여 신속히 復舊되어야 하며 또한 정전구역이 광범위한 경우의 復舊시에는 가급적 가능한 여러 백업 幹線들을 이용하여 幹線간의 불균등 부하 부담을 줄이도록 하는 것이 바람직 하다. 여기서 유의할 점은 復舊 계획은 系統의 전압 조건, 선로 전류 조건 및 변압기 용량등의 기본 운전 조건을 만족시키도록 하여야 한다는 점이다. 다음에 경험적인 방법에 의한 4단계 復舊전략을 간단히 소개한다.

### 단계 1. 優先 區間 復舊(Priority Zone Restoration)

故障구간이 격리되고 트립된 차단기가 재 투입되었을 때 復舊가 되지 못한 정전구간중에서 병원 또는 주요 관공서나 공공기관등 일반 가정부하에 비해 긴급한 復舊가 요구되는 구간이 있을 수 있다. 이 경우에는 각 구간별 우선 순위를 정하여 높은 순으로 먼저 復舊시키도록 한다. 이때 우선 復舊구간은 가능하면 연계스위치로 직접 연결된 백업 幹線으로부터 復舊될 수 있도록 하며 만약 직접 연결된 백업이 한 개 이상 있을 경우에는 부하 담당 여유가 큰 백업을 선택한다. 또한 직접 연결된 백업이 없을 경우에는 가장 가까운 백업으로부터 復舊가 가능하도록 한다.

### 단계 2. 그룹 復舊(Group Restoration)

일반적으로 정전구간이 넓을 경우 復舊되어야 할 총 부하량 또한 커지게 되며 이 경우 정전구간을 연계 스위치를 통하여 연결된 백업 幹線을 기준으로 여러 그룹으로 분리하여 각 그룹에 한개의 백업 幹線을 배정하여 그로부터 復舊되도록 한다. 정전구간을 살펴보면 故障구간을 系統으로부터 분리시키는 스위치들 중 전원측이 아닌 스위치를 시작점으로 하여 (이하 루트 스위치라함, root switch) 트리 구조로 뻗어나가 있음을 알 수 있으며 트리의 끝은 백업 幹線을 연결하는 상시 개로 연계스위치에서 끝나고 있음을 알 수 있다. 이와같은 구조적 성질로부터 그룹은 다음과 같은 트리 탐색 과정을 통합 방법에 의거하여 구성될 수 있다.

루트 스위치로부터 백업 幹線을 연결하는 연계 스위치까지의 직선 경로들 중 가장 구간 수가 작은 경로상의 구간들로 한 그룹을 구성하며, 이 경로로부터 다른 백업 幹線으로 분리되는 경로상의 스위치는 새로운 루트 스위치로 규정하며 탐색 과정을 새로운 루트 스위치가 없어질때까지 되풀이함으로써 각 그룹들이 구성 될 수 있다. 일단 각 그룹이 결정되면 이에 연결된 백업 幹線을 배정하여 이로부터 연계 스위치를 통하여 復舊가 가능한지를 검토한다. 여기서 가능한 復舊라 함은 배정된 백업 幹線이 그룹에 속한 구간부하를 떠맡을 경우 전압, 선로전류, 변압기 용량 등의 운전조건을 위반하지 않음을 말한다.

예를 들어 그림3과 같은 系統에서 표시된 故障으로 인하여 5개 구간의 정전 구역이 발생하였을 경우를 생각하여 보자, 또한 정전구간중  $Z_p$ 는 긴급 復舊 부하를 가진 구간으로서 이에 직접 연결된 백업 幹線 F2로부터 復舊된다고 하자. 이때 그룹 復舊를 적용하기 위해 먼저 루트 스위치 S2로 시작되는 트리탐색은 구간 Z1, Z2를 하나의 그룹으로 묶어 백업

幹線 F2를 復舊 담당 幹線으로 배정하고, 구간 Z3, Z4를 또하나의 그룹으로하여 백업 幹線 F3를 배정한다. 이어 각 이웃한 백업 幹線이 배정된 구간들을 復舊시킬 능력이 있는가를 검토하여 그 復舊 실현 여부를 결정한다.

단계 3. 區間 復舊(Zone Restoration)

정전구역이 매우 클때 또는 어떤 그룹의 부하가 너무 클 경우에는 배정된 백업 幹線은 운전조건 제약으로 인하여 復舊시킬 능력이 없을 수 있다. 이때에는 그 그룹의 구간들중 일부를 배정된 백업 幹線의 능력에 알맞게 復舊시키도록 하고 나머지 구간부하를 다른 백업 幹線으로 復舊시키도록 한다. 이를 위하여 백업 幹線에 가깝게 있는 구간부터 하나씩 그 復舊 가능 여부를 검토하여 최대한의 정전구간들이 復舊될 수 있도록 復舊계획을 수립한다. 이때 어느 한 정전구간에 대해 이웃한 백업 幹線이 2개 이상이 있을 경우에는 부하 담당 여유(loading margin)가 큰 백업으로부터 復舊를 시도한다. 예를 들어 앞의 예제 系統에서 만약 백업 幹線 F3가 배정된 그룹(Z3, Z4)을 떠맡을 능력이 없다고 하자. 이 경우 구간 復舊 계획에 따라 먼저 구간 Z4가 F3로부터 復舊가 가능한지를 살펴보고, 이어서 구간 Z3가 F2로부터 復舊될 수 있는지를 검토하여 復舊계획을 수립한다.

단계 4. 負荷 절체(Load Transfer)

정전구역과 이웃한 백업 幹線들의 부하담당여유 부족으로 그룹 復舊 및 구간 復舊 계획의 적용으로도 復舊가 가능하지 않은 구간이 있을 수 있다. 이 경우에는 백업 幹線이 현재 전기 공급을 담당하고 있는 일부 부하를 다른 幹線으로 하여금 담당하게 하여 부하담당여유 폭을 확보하여 정전구간을 復舊시키도록 한다. 이 때 다른 幹線으로의 이동 구간 후보로는 그 절체 과정이 간단한 幹線의 말단 구간으로 하며, 이 경우 역시 그 부하를 떠맡게 되는 幹線에 운전조건 위반이 일어나지 않도록 검토되어야 한다. 예를 들어 예제 系統에서 구간 Z3가 구간 復舊 계획으로도 復舊가 가능하지 않을 경우를 생각하여 보자. 이 경우 우선 백업 幹線 F3의 말단구간 Z5를 F3로 절체하여 復舊가 가능한지를 살펴보고, 만약 復舊가 안될시에는 다른 말단구간 Z6를 F5로 절체하여 復舊가 되도록 한다.

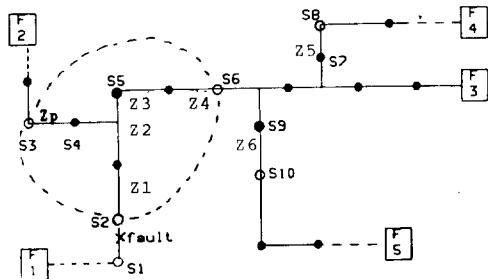


그림 3. 復舊 예제 系統

## 단계 5. 스위칭 順序(Switching Sequence)

이상에 설명한 4단계 復舊전략에 의거하여 수립된 復舊 계획들의 실系統에의 적용은 스위치의 개폐 상태 조작을 요구하는데, 이러한 스위치의 조작은 현재 전전 구간의 정전 상태를 유발하여서는 안된다. 따라서 이 원칙이 지켜지도록 스위칭 조작은 일정한 순서에 따라야 한다. 이를 위하여 부하절체 스위칭에서는 “Close-before-Open” 규칙을 적용하고 이외의 경우에는 “Open-before-Close” 규칙을 지켜야 한다. 이 규칙을 예제 系統에 있어서의 復舊 계획을 실현시키기 위하여 적용할 경우, 즉 그림 3의 系統에서 그림 4의 系統으로의 변경을 위한 스위칭 순서는 다음과 같이 주어진다.

### \* 復舊스위칭 順序

- |               |              |
|---------------|--------------|
| 1. Close S8,  | Open S7      |
| 2. Close S10, | Open S9      |
| 3. Open S5,   | Close S3, S6 |

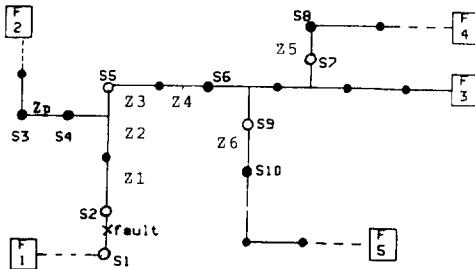


그림 4. 復舊후 예제 系統

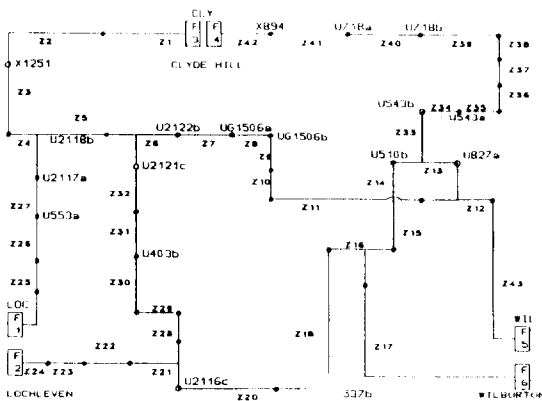


그림 5. 例題 系統

여기서 첫번째 및 두번째 스위칭은 부하 절체를 위한 것이므로 Open스위칭(S7, S9)은 전전 구간의 정전을 초래하므로 Close스위칭(S8, S10)을 먼저 실행하여야 하며 세번째의 Close 스위칭(S3, S6)은 일반적으로 허용되지않는 幹線간의 루프(Loop)를 형성 하므로 Open 스위칭(S5)이 먼저 실행되어야 함을 보인다.

## 5. 例題

본 고에서 소개된 시스템의 실 系統에서의 적용 예제를 살펴본다. 그림 5에 보이는 1차 配電 幹線 系統은 어느 한 전력 회사의 실제 系統의 일부로서 3곳의 변전소로 부터 인출된 6개의 幹線이 6개의 연계 스위치로 서로 연결되어 있으며, 이에 설치된 총 구분 스위치의 수는 43개로서 전체 系統을 43개의 구간으로 분리하고 있다. 이러한 系統에 구간 27 및 구간 Z41에 각각 故障이 발생하였을 경우에 대하여 본 시스템에서 수립된 復舊 계획을 실행시키기 위한 스위칭 순서는 다음과 같다.

### CASE 1 : Switching actions for fault on Z27

- \* fault isolation :  
open U2117a, 553a
- \* close breaker F1
- \* open U2118b,  
U2122b
- \* close U2121c,  
X1251,  
UG1506a

### CASE 2 : Switching actions for fault on Z41 =>

- \* fault isolation :  
open X894, U718a
- \* close breaker F4
- \* load transfer  
close U2116c  
open UG5337b
- \* close U543b

## 6. 結論

본고에서는 최근 그 관심도가 급격히 높아지고 있는 配電 자동화의 한 중요한 기능인 故障시의 配電

幹線 관리, 즉 故障 위치 판별 및 事故 復舊 계획 수립을 실행하는 시스템을 살펴 보았다. 소개된 시스템은 중앙 제어소로 전송되어오는 系統의 스위치 및 故障 감지 요소 상태를 이용하여 간단한 탐색논리를 적용하여 故障위치를 판별하며 정전구간에 대하여 4단계 復舊전략 -우선 구간復舊, 그룹復舊, 구

간復舊, 부하절체- 을 적용하여 復舊계획을 수립하며 이를 실현시키기 위한 스위칭 순서를 발생시켜 주는 기능을 갖는다. 이와같은 시스템의 활용은 중앙제어소의 오퍼레이터에게 系統 운용에 있어서 매우 큰 도움이 되리라 기대되며 系統의 공급 신뢰도를 크게 높여 줄 수 있으리라 보인다.