

신 배전자동화 시스템의 배전선로 고장인지 및 분석방법

하복남, 한용희, 이준호, 조남훈, 임성일
한전 전력연구원

The feeder automation process of new distribution automation system

Bok-Nam Ha, Yong-Huei Han, Jung-Ho Lee, Nam-Hun Cho, Seong-il Lim
Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

Abstract - We generally use Yes-No algorithms for feeder automation algorithm. This logic determines the faulty section by fault current detection information of the fault indicators of each switches in distribution feeder. This paper presents the data acquisition method such as breaker's open status in fault and the determination method of faulty section using fault indicator's information of each switches.

1. 서 론

배전계통에서 고장이 발생하면 고장이 발생한 구간에 따라 변전소의 차단기나 배전선로의 리클로저가 동작하여 고장구간을 차단하면서 선로에 정전이 발생한다. 이때 배전자동화 시스템은 차단기나 리클로저가 제공하는 투입/개방 상태 변경정보를 수집하여 고장이 어떤 선로에서 발생하였는지를 인지하게 된다. 또 이때 배전선로에 고장전류가 흐르게 되면 자동화개폐기의 고장표시기(Fault Indicator)가 동작하여 순간고장 또는 영구고장 정보를 상(A,B,C,N)별로 중앙장치에 제공하게 된다. 그러면 배전자동화 시스템은 이러한 정보들을 수집하여 고장의 종류를 분석하게 된다. 본 논문에서는 신 배전자동화 시스템이 구현하고 있는 배전선로의 고장인지 및 고장분석과 관련된 제반요소와 처리절차를 기술한다.

2. 고장인지

배전선로에서 고장이 발생하면 이것을 가장 먼저 인지하는 것은 변전소의 계전기와 연동되어 운전되는 배전선로 인출용 차단기와 배전선로 중간에 설치되어 있는 리클로저의 개방정보이다.

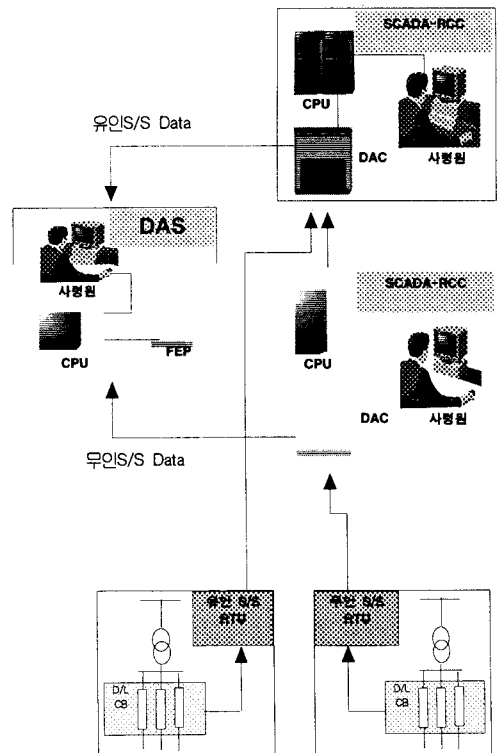
2.1 차단기 동작정보 취득

신 배전자동화 시스템의 특징중의 하나는 변전소 구내의 제반 정보를 관리하고 있는 SCADA시스템과 연계하여 필요한 자료를 취득하는 것이다. SCADA시스템이 가지고 있는 정보는 매우 다양하지만 배전자동화 운전엔 필요한 정보는 한정되어 있으므로 이 정보만을 취득할 수 있도록 SCADA시스템에서의 프로그램 작업이 필요하다.

2.1.1 데이터 취득 방법

현재 한전의 SCADA시스템은 두 가지 방법으로 변전소 데이터를 취득하는데, 유인변전소의 경우는 변전소 구내에 설치된 원격소장기(RTU)로부터 데이터를 취득하여 급전소에 설치된 주제어장치(RCC)에서 직접 처리하고 있으며, 무인변전소의 데이터는 급전본소에 설치된 소규모제어소로 전송 처리되어 소규모제어소-주제어소간 데이터링크를 통해 주제어소로 전송되고 있다. 따라서 배전자동화 시스템과의 연계도 이를 고려해야 한다.

SCADA시스템과 배전자동화 시스템간의 연계를 통한 데이터 취득은 SCADA 제어소장치에서 가공 처리된 데이터를 배전자동화 시스템과 데이터링크 함으로서 취득하는 방법을 취한다. 따라서 현재 SCADA 시스템의 운용체계를 감안하여 유인변전소 및 무인변전소의 두 가지 경우를 구분하여 생각해 볼 수가 있는데, 유인변전소의 데이터는 SCADA 주제어장치(RCC)와 배전자동화 시스템을 연계시키고, 무인변전소에 대한 데이터는 SCADA 소규모제어소(SCC)와 배전자동화 시스템을 연계함으로써 배전자동화 시스템에서 필요로 하는 변전데이터를 취득하는 것이다. 이는 현재 SCADA 제어소간의 데이터링크용 통신포트 외에 배전자동화 시스템 전용의 통신포트의 추가 구성 및 제어소시스템의 데이터베이스 수정 등으로 SCADA시스템의 부담이 가중된다는 단점이 있으나, 변전소 구내 정보를 취득하기 위해서 별도의 장치를 추가로 설치하지 않고도 배전선로 운영엔 필요한 유용한 정보를 시스템을 연계하는 것만으로 얻을 수 있는 있다는 장점이 있다. 다음 <그림 1>에 배전자동화-SCADA 제어소(RCC, SCC)간의 자료연계 개념을 나타냈다.



<그림 1> SCADA 제어소를 통한 데이터 취득 개념

2.1.2 시스템 규모별 연계 취득데이터

배전자동화 시스템을 운용할 때 필요한 변전소 요구정보는 많지만 배전선로의 고장을 인지하여 처리하기 위한 정보로는 인출차단기의 투입/개방 상태, 배전선로 인출전류, 22.9kV 모선전압, 주변압기 공급 유효전력 등의 정보만 있으면 일반적인 배전자동화 기능 구현이 가능하다. <표 1>은 배전자동화 시스템과 SCADA 시스템을 연계하여 취득하면 도움이 될 모든 정보의 종류와 실제로 연계하여 취득하기로 결정된 항목을 정리한 것이다.

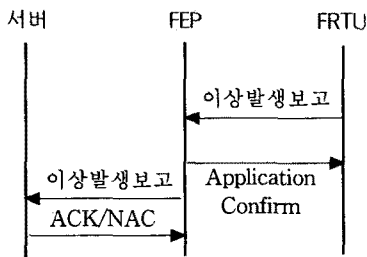
<표 1> 배전자동화-SCADA 자료연계 데이터

* ○ : 개별Point, ● : 종합Point

Point 수용설비명	취득 필요항목			취득 데이터						
	무인변전소			강동시스템 (대규모)			고장시스템 (중소규모)			
	감시	제어	측정	감시	제어	측정	감시	제어	측정	
M.TR 2차 3상전류(A)			○							
M.TR 2차유효전력(MW)			○			○				○
M.TR2차무효전력(MVAR)			○							○
M.TR 2차 3상전압(V)			○			○	단상		○	단상
MTR ULTC Position			○							○
D/L 각상전류			○			○	단상		○	단상
MTR 2차 CB	○						○			
MTR 2차 DS	○						○			
23kV Bus-Tie CB	○						○			
23kV Bus-Tie DS	○						○			
23kV Bus-Section CB	○						○			
23kV Bus-section DS	○						○			
23kV CB	○	○		○			○			×
23kV DS	○						○			
재폐로 ON/OFF (79Ry)	○	○					○			×
23kV OCR (I)	●						●			
23kV OCR (T)	●						●			
23kV OCGR (I)	●						●			
23kV OCGR (T)	●						●			
23kV D/L 79Ry Lockout	●						●			

2.2 리클로저 동작정보 취득

배전선로에서 고장이 발생하면 리클로저가 동작하게 되고, 이러한 상태변경 정보는 개폐기 제어함 내에 내장된 FRTU(Feeder Remote Terminal Unit)가 즉각 인지하여 중앙장치로 통보하게 된다. 리클로저의 상태가 변경되었을 때의 통신흐름은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 리클로저 상태변경시의 통신흐름도

2.3 자동화개폐기 고장표시기 동작정보 취득

배전선로에서 고장이 발생하였을 때 고장구간을 정확하게

파악하기 위해서는 자동화개폐기마다 고장전류 통전유무 정보를 표시하는 고장표시기(Fault Indicator; F.I)를 내장하게 되는데, 고장전류가 흐른 상(A, B, C, N)을 표시하며, 자동모드와 수동모드가 있어서 자동모드는 영구고장 구간을 판단하는데 사용되고, 수동모드는 순간고장 발생구간을 판단하는데 사용되도록 설계되어 있다. 여기서 자동모드는 고장이 발생하였다가 재폐로 성공 등의 사유로 정상적인 공급상태로 복귀되었을 때 자동으로 복구되는 고장표시기 동작모드이며, 수동모드는 고장전류가 통전되어 일단 동작하면 중앙장치에서 Reset 명령이 내려올 때까지 복구되지 않는 동작모드이다.

수동모드의 F.I는 정정치 이상의 고장전류가 흐른 후 무전압이 되면 Set 준비를 하고, 순간고장 발생으로 후비측에서 재폐로가 성공하여 전압이 가압된 후 일정시간(1~180초 가변가능/Default 2초)이 경과하면 동작하여 Set되며, 중앙장치의 원격제어명령에 의해서만 Reset 된다. 영구고장일 경우에는 수동F.I는 Set되지 않는다.

자동모드의 F.I는 고장전류가 흐른 후 무전압이 되면 Set될 준비를 하였다가 후비측에서 재폐로가 성공하거나 투입하여 정상전압이 가압되면 일정시간(Default 2초) 후 자동 해제된다. 따라서 정상적으로 부하전류가 공급되는 경우에는 자동F.I는 동작정보를 제공하지 않는다. 그러나 영구고장의 경우에 자동 F.I는 고장전류를 경험하고 무전압(또는 무전류)이 된 시점으로부터 후비보호장치가 정정된 동작회수의 모든 동작책무를 마치고 Lockout 될 때 까지 대기시간(1~180초 가변가능/Default 25초)을 기다린 후 Set 된다.

개폐기의 수동투입 또는 원격제어 명령에 의한 자체 투입하는 경우와 고장전류를 경험하지 않고 무전압이 되었다가 후비측의 보호기기(CB, 리클로저, 개폐기)의 투입으로 가압되면서 흐르게 되는 돌입전류에 의해 F.I가 Set 되지 않도록 일정시간(0.1~3초/Default 1초) 동안 동작을 지연시키는 Cold Load Pickup 기능을 가지고 있다. 자동모드의 F.I 및 수동모드의 F.I가 동작한 경우 일체형 단말장치는 중앙장치에게 자기가 동작하였다는 Exceptional Report를 전송하도록 되어 있다.

위에 설명한 개폐기와는 약간 다르게 리클로저나 가압차단기, 다회로차단기와 같은 능동적으로 동작하는 차단기의 F.I는 고장전류가 흐르면 이것을 감지하여 스스로 동작하는 능력을 가지고 있기 때문에 고장전류의 통전정보만을 가지고는 동작하지 않고 고장전류 통전정보와 개방 동작이 같이 일어날 때만 F.I 동작정보를 제공하도록 되어 있다.

3. 고장분석

외부로부터 고장처리(Feeder Automation) 프로그램에 입력되는 각종 정보 가운데서 리클로저나 개폐기와 같은 보호기기의 투입/개방 상태변경과 같은 중요한 정보가 입력되면 FA에서는 배전선로에 고장이 발생했다고 간주하고 고장분석 작업을 시행한다.

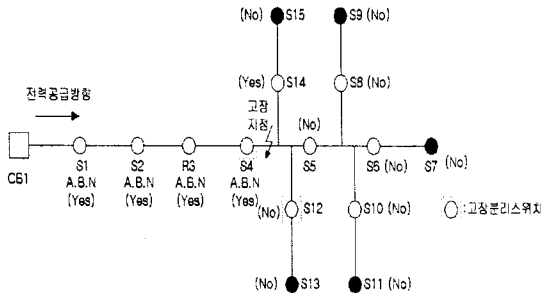
3.1 고장표시기의 동작정보 이용

리클로저나 개폐기의 동작정보가 들어왔을 때 보호기기의 협조를 통해 재폐로에 성공하면 일시적인 고장으로 간주할 수 있으므로 고장처리프로그램(FA)에서는 고장 인지 후 약 30초간(3회의 재폐로 시간)을 기다리다가 리클로저나 개폐기의 Lockout 유무를 다시 확인하게 된다. 재폐로에 성공하면 Lockout 되지 않으므로 일시적인 고장으로 판단하고, 실패하면 Lockout이 되므로 영구고장으로 판단하여 고장표시기의 동작정보를 이용하여 고장

선로를 찾는 알고리즘을 수행한다.

배전선로에서 고장이 인지되면 피더의 전원측으로부터 고장이 발생한 선로의 전원 측 고장 분리개폐기까지 개폐기의 고장표시기(F.I)는 Set되고 나머지 부하측의 개폐기는 모두 Reset 상태를 유지하는 원리를 이용하여 고장구간을 판단한다.

FA에서는 트리 계통에서 리클로저나 개폐기의 조작 정보가 들어오면 고장이 인지된 것으로 판단하여 해당 피더의 모든 개폐기에 대한 F.I 정보를 검색하여 'YES'로 Set된 개폐기와 'NO'로 표시된 개폐기 사이의 선로를 고장구간으로 판단한다.



<그림 3> Yes/No 방식의 고장판단을 위한 계통(예)

위의 <그림 3>에서는 고장 선로에의 전원측 개폐기는 Yes로 'A,B,N'상의 정보가 Set되며 나머지 고장구간의 분리 개폐기들의 F.I 정보는 'N'상이 Set된 S14와, S5와 S12는 'No'로 표시된 경우이다. 실제 배전계통의 고장 분리 개폐기들은 이와 같이 고장분리 개폐기의 F.I 정보가 Set 될 수도 있고, 안될 수도 있기 때문에 이러한 경우에도 고장구간을 정확히 찾아내는 알고리즘이 필요하다. 따라서 FA에서는 다음과 같이 세 가지의 경우로 나누어 생각한다.

- 배전계통에 'N'상이 Set된 개폐기가 없는 경우
- 배전계통에 'N'상이 Set된 개폐기가 한 개인 경우
- 계통에 'N'상이 Set된 개폐기가 두 개 이상인 경우

<그림 3>의 경우에는 'N'상이 Set된 개폐기가 한 개인 경우이므로 2번 경우에 해당한다. 위의 세 가지 경우가 모두 전원 측 고장 분리 개폐기를 찾아내면 그 개폐기의 하단 선로를 고장선로 판단하고 연결된 모든 개폐기를 찾아 고장 분리개폐기로 판정하면 된다. 따라서 위의 어떤 경우에도 전원측 고장 분리 개폐기를 찾아내기만 하면 된다.

- ① 'N'상 개폐기가 하나도 없는 경우에는 피더의 개폐기에서부터 개폐기의 F.I정보를 검색하여 'No'로 표시된 개폐기들을 모두 스택에 저장하고 그 중에 하나를 꺼내어 개폐기를 키(Key) 값으로 배전 트리 계통을 역 추적하여 가장 처음 만나는 정상 동작 개폐기 S4가 전원측 고장분리 개폐기이다. 따라서 이 개폐기의 부하측이 고장구간이며 이 구간에 연결된 개폐기는 모두 고장구간을 분리해야 할 개폐기이다.
- ② 'N'상 개폐기가 한 개인 때에도 없는 경우와 마찬가지로 'N'상 개폐기를 키 값으로 계통을 역 추적하여 처음 만나는 개폐기가 전원측 분리 개폐기이다.
- ③ 'N'상 개폐기가 두 개 이상일 때에는 해당 선로의 개폐기에서부터 탐색하여 스택에 저장해 놓고, 그 중에 하나를 꺼내어 그 개폐기를 키 값으로 트리를 역 추적하여 처음 만나는 개폐기를 전원측 고장 분리 개폐기로 판단한다.

위의 세 가지 경우는 모두 F.I가 정상적으로 동작한 경우에 관해서만 고려한 것이고, 개폐기와 전원측 고장 분리 개폐기 사이에 오동작하거나 통신불량인 개폐기가 있는 경우에는 고장구간을 판단하지 않고 F.I 정보와 함께 오류 메시지를 출력하여 사용자의 판단에 맡긴다.

3.2 고장유형 분석

현장기기가 제공하는 정보를 비교하여 배전자동화 시스템은 순간고장과 영구고장, 단락고장과 지락고장, 고장이 발생한 상이 어떤 상인지 등 고장유형을 구분한다.

3.2.1 순간고장/ 영구고장

최초 고장인지는 변전소의 경우 OCR, OCGR의 트립접점 및 개폐장치의 개방정보를 이용하고, 리클로저의 경우는 개폐기 상태가 개방된 것을 기준으로 한다. 영구사고와 순간사고는 해당 보호기기가 정해진 재폐로 시퀀스를 완료하고 Lockout 되었는지를 기준으로 구분한다. 재폐로 시간은 정정치에 따라 다르지만 최대 30초 이내에는 완료되므로 이 시간이 경과할 때까지 변전소측 재폐로 계전기와 선로측 리클로저의 Lockout 정보가 입력되면 영구사고라고 판단하고 그렇지 않으면 순간사고라고 판단한다.

3.2.2 발생상별 구분

고장이 인지되었을 때 고장이 발생한 상을 구분하는 방법은 아래와 같이 오직 개폐기의 고장표시기가 동작한 상 정보를 비교하는 방법을 이용한다.

- ① 상 1개 + N = 해당상 지락사고 (예, F.I 정보 A,N: A상 지락)
- ② 상 2개 + N = 해당상 선간 단락사고 (예, F.I 정보 A,B,N: A, B상 선간 단락)
- ③ 상 3개 = 3상 단락사고
- ④ N상 = 부하 불평형

4. 결론

배전선로의 고장을 신속하게 인지하고, 고장구간을 정확하게 파악하며, 고장현상을 확실하게 분석하는 것은 배전자동화 시스템이 구현해야 하는 매우 중요한 기능중의 하나이다. 이 기능을 수행하기 위해서는 배전자동화용 개폐기의 투입/개방 동작정보 제공이 정확해야 하고, 특히 자동화개폐기의 고장표시기가 돌입전류의 유입 등을 구분하여 정확하게 동작해야 한다. 이 정보취득이 정확하게 이루어진다면 그 다음은 고장처리 프로그램이 현장기기가 제공하는 여러 가지 정보를 비교하여 잘못된 오정보를 걸러낸 후 고장구간을 정확하게 파악하여 건전 정전구간에 대한 부하용동 해를 제시하게 된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 하복남 외, "신 배전자동화 시스템 개발연구 2차년도 중간보고서", 전력연구원, pp.12, 74~80, 1999. 9
- [2] 문영현 외, "신 배전자동화 시스템 개발연구 2차년도 중간보고서 별책부록", 2장 pp32~35, 1999. 9