

신 배전자동화시스템의 배전선로 고장처리 알고리즘

하복남, 이중호, 조남훈
한전 전력연구원

The Algorithm for Feeder Automation in the New Distribution Automation System

Bok-Nam Ha, Jung-Ho Lee, Nam-Hun Cho
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The second project of the development of distribution automation system was started recently in Korea. We will use two algorithms for feeder automation in this project. The one is Yes/No logic and it will be applied in large city. Yes/No logic determined the faulty section by fault current following information of the fault indicators of each switches. The other is automatic closing process of switches, and it will be applied in rural area. In the latter method, each switches close systematically, and it can find and separate the faulty section, the computer system treats only the feeder reconfiguration finally.

1. 서 론

배전자동화시스템이 구현하는 중요한 기능중의 하나가 배전선로에서 발생한 고장을 처리하는 것이다. 고장을 신속하게 인지하고, 고장구간을 정확하게 판단하며, 건전구간을 빨리 복구하는 기능이 고장처리 기능인데 본 논문에서는 고장을 인지하여 고장구간을 판단하는 여러 가지 방법을 먼저 비교하여 설명하고, 현재 개발중인 신 배전자동화시스템에서 대도시 및 소도시 등 도시의 규모에 따라 다르게 적용할 예정인 각각의 고장처리 방식에 대하여 기술하고자 한다.

2. 다양한 고장처리 알고리즘

배전선로에서 발생한 고장을 인지하여 고장구간을 판단하는 방식은 일본 및 유럽에서 많이 사용하는 순송방식과 한국형 배전자동화시스템에서 채택한 고장표시기의 고장전류 통전정보를 비교하여 고장구간을 판단하는 Yes-No 방식이 대표적이다. 또 국내에서 처음으로 제안한 파이롯트 와이어 방식과 배전선로에 차단기를 고속으로 순차투입하면서 고장구간을 찾아내는 고속순송방식 등도 있다.

2.1 순송방식

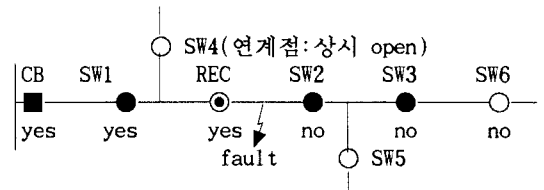
수십 년 동안 배전자동화사업을 추진해온 일본과 최근 들어 배전자동화 사업을 활발하게 확대되고 있는 이태리를 비롯한 유럽에서 주로 사용하고 있는 배전선로의 고장처리 방식이다. 초기에는 고장구간의 인지, 확인, 구분 및 건전구간의 역송까지 개폐기가 자체적으로 수행할 수 있도록 되어 있었으나 근래에는 자동화개폐기는 고장구간의 인지 및 구분만을 담당하게 하고, 그 후에 중앙 제어장치가 현장기기의 정보를 수집하여 고장구간을 확인한 후 부하용량 프로그램을 수행하여 최적 개폐기 조합순서를 작성한 후 원격 명령에 의해 현장기기를 제어하도록 하고 있다.

순송식 개폐기는 자동화개폐기의 일반적인 기능 외에 타이머 기능을 가진다. 선로 고장시에 변전소의 CB가 투입되어 무전압이 되면 이를 감지하여 해당선로의 모든

개폐기가 무전압 상태에서 자동으로 개방되고, 전원측에서 CB가 투입되어 전원이 가압되면 이때부터 타이머가 동작하여 일정시간 후에 자동화개폐기들이 순차적으로 투입되도록 하고 있다. 만약 고장구간 바로 전원단의 자동화개폐기가 투입되면 변전소에서 보호계전기가 이것을 감지하여 차단기가 다시 개방되는데, 개폐기가 투입된 후 정해진 시간동안 전압 가압상태를 유지하는지 여부와, 전원측에서 전압이 가압되어 온 후 투입용 타이머가 돌아가는 도중에 다시 전원측의 정전으로 전압이 없어지는 지의 여부를 확인하여 고장구간이 어디인지를 판단하는 시간계수 기능을 기본적으로 갖고 있다.

2.2 고장표시기의 Yes-No 동작정보 이용방식

강동지점에 설치하여 운용중인 배전자동화시스템에서 적용한 선로자동화 고장처리 알고리즘이다. 변전소의 CB와 배전선로에 설치된 자동화개폐기가 각각 고장표시기(Fault Indicator) 동작회로를 가지고 있고, 배전선로에 고장이 발생하여 정정치 이상의 큰 고장전류가 흐르면 고장표시기는 동작하게 된다. 중앙제어장치는 이 고장표시기의 동작 정보를 취득하여 Yes로 대답하는 개폐기와 No로 대답하는 개폐기 사이에서 고장이 발생한 것으로 판단하는 방식이다. 중앙제어장치는 고장표시기의 정보를 가능하면 빨리 알아야 하므로 매우 빠른 주기로 변전소의 CB 정보를 Polling 방식으로 Scan하여 어느 선로에 고장이 발생하였는지를 파악하며, 고장선로가 파악되면 당해 선로에 설치되어 있는 모든 자동화개폐기의 고장표시기 정보를 확인하여 고장구간을 판단한다. 간단하게 Yes-No 방식의 고장처리 절차를 아래에 설명한다.



(그림 1) 배전계통 구성도(4분할 3연계)

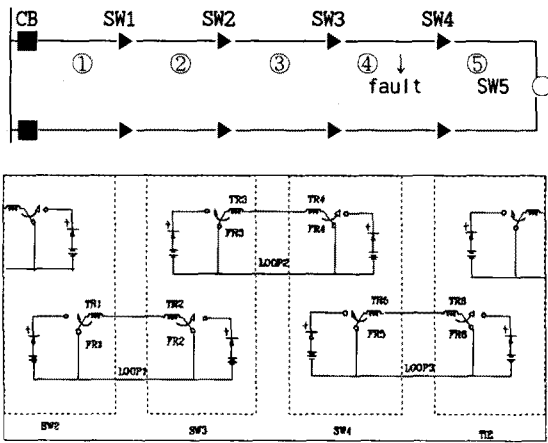
- ① 중앙제어장치는 평상시 변전소 CB와 리클로저에 대해 투입/개방 동작 여부와 고장표시기의 고장전류 통전정보(Fault Indicator)를 계속해서 감시하고 있음.
- ② 감시중 특정 선로에서 고장이 발생하여 차단기가 개방되고, 고장표시기가 Set되었으며, 재폐로 동작이 실패하여 Lockout되는 정보를 취득함.
- ③ 중앙제어장치는 해당 선로의 각 자동화개폐기에 고장전류가 흘렀는지 고장표시기 동작정보(Yes/No 정보)를 문의함.
- ④ Yes로 응답하는 개폐기와 No로 응답하는 개폐기 사이의 구간에서 고장이 발생한 것으로 판정함.
- ⑤ 부하용량 프로그램에 의한 계산작업을 수행하여 고장

복구 조작순서를 중앙장치가 작성한 후 모니터 화면에 나타냄.

- ⑥ 보선사령원이 조작순서를 확인한 후 복구를 위한 일괄조작 명령을 컴퓨터에 지시하면 고장지점 부하측의 건전구간에 대한 부하절체가 자동으로 이루어짐.
- ⑦ 전원측 건전구간의 복구를 위해서 급전지령실에 CB 투입을 의뢰하여 CB가 투입되면 고장구간을 제외한 모든 구간이 복구됨.

2.3 파이롯트 와이어 이용방식

파이롯트 와이어를 이용한 고장처리 방식을 요약하면 다음과 같다. 먼저 회로를 구성하기 위해서 인접해 있는 개폐기간에 고장전류 통전정보와 투입/개방 상태정보를 주고받을 수 있는 통신회선 2조(4가닥)가 필요하며 제어회로를 구동시킬 수 있는 직류전원이 각 개폐기마다 내장되어야 한다. 기본원리를 설명하기 위해서 간단한 계통구성도 및 파이롯트 와이어 연결 회로도들 <그림 2>에 보였으며, 구간④에서 고장이 발생한 경우의 처리 절차를 아래에 설명한다.



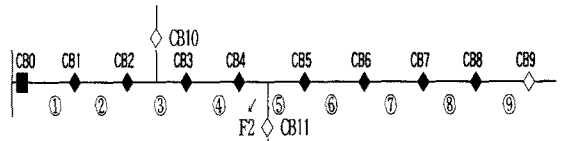
<그림 2> Pilot-wire 방식 개락회로 구성도

- ① 모든 FR(Fault Relay)은 고장전류 통전여부를 감시하고 고장전류 통전회수를 계수 하는 기능을 가지고 있음. 만약에 고장이 발생하고 변전소의 차단기나 리클로저보다 보통 1회 적게 정정되는 회수에 도달하면 FR은 동작하여 접점이 작동하도록 함.
- ② LOOP 1에서 FR1과 FR2는 고장전류를 모두 감지하였기 때문에 동시에 응동함. 그러나 TR1(Trip Relay)과 TR2는 공급하는 DC전압의 극성이 반대이기 때문에 전원으로서의 역할을 하지 못하여 구동하지 않음.
- ③ LOOP 2에서는 FR3는 고장전류를 켜어 구동하지만 FR4는 고장전류가 흐르지 않았으므로 동작하지 않음. TR3와 TR4는 FR3 하나만 동작하므로써 제어회로가 연결되면서 DC전압이 전원역할을 하여 구동하게 되고, 따라서 SW3와 SW4는 개방되며 고장구간이 배전계통에서 분리되게 됨. 이 후에 변전소의 차단기나 리클로저가 재폐로 하면 고장구간 전원측의 건전구간에는 송전이 됨.
- ④ LOOP3에서는 고장전류가 흐르지 않았으므로 FR5와 FR6는 구동하지 않음. 따라서 TR5와 TR6도 동작하지 않음.
- ⑤ 상시 연계점에 있는 SW5는 중앙장치의 명령에 의해서 투입되므로써 고장구간을 제외한 전 구간에 전기가 공급되게 됨.

2.4 고속순송 차단방식

이 방식을 적용하기 위해서는 자동화개폐기 대신 자동화차단기만으로 배전계통을 구성하여야 한다. 고속순송의 의미는 개폐기의 투입시간을 2초 정도로 하여 보통 7~8초인 순송식 개폐기의 투입시간보다 빠르게 고장을 처리한다는 것을 말한다. 한 선로에 여러 대의 차단기가 설치되면 T-C커브의 시간차에 의한 보호협조를 하는 것은 불가능하므로 고장구간에 투입되는 차단기만 고장전류를 감지하여 차단되고 이미 건전구간에 투입된 차단기는 고장전류를 감지하여도 차단되지 않도록 Holding 기능을 가져야 한다.

<그림 3>은 공장이 긴 배전선로를 예를 든 것으로 한 선로의 간선에 8대의 자동화차단기를 설치한 경우를 가정하여 F2점 사고시의 고장처리 절차를 설명한다.



※ ◆ 고속순송차단기(구간용), ◇ 고속순송차단기(연계용)

<그림 3> 고속순송방식 배전계통 구성도(예)

- ① 고장을 인지하여 변전소의 CB0가 트립됨.(1회 무전압시는 선로의 차단기는 무전압 개방되지 않음)
- ② CB0가 0.5초 후에 재폐로 됨.
- ③ 영구고장 지속으로 CB0가 다시 트립됨.
- ④ CB0가 재트립되어 무전압이 되면 0.25초내에 해당 선로의 고장전류를 경험한 CB1~CB4가 무전압 상태에서 개방됨.
- ⑤ CB0가 15초 후에 2차 재폐로 됨.
- ⑥ 2초 후 CB1이 순송투입됨.
- ⑦ 2초 후 CB2가 순송투입됨.
- ⑧ 2초 후 CB3가 순송투입됨.
- ⑨ 2초 후 CB4가 순송투입됨.
- ⑩ 고장을 감지하여 CB4가 개방되면서 Lockout 됨.
- ⑪ 전압이 전원측에서 가압되었으나 2초 이내에 다시 개방되었으므로 자기 바로 전원측 구간에서 고장이 발생하였음을 판단하여 CB5 및 CB11이 개방되면서 Lockout됨.
- ⑫ 중앙장치가 고장구간을 파악하고 부하용량 계산 프로그램을 수행하여 역송할 수 있는 상시 개방점의 차단기(CB9)를 투입하도록 하는 부하용량 解를 제시함.
- ⑬ 중앙장치의 명령에 의하여 CB9가 투입됨.
- ⑭ CB9가 투입되면 CB8, CB7, CB6는 개방되지 않은 상태이므로 고장구간 이후의 전 구간이 단번에 가압됨.

3. 대도시 및 중도시용 Yes-No 방식 고장처리

신 배전자동화시스템에서 대도시 또는 중규모 도시에 적용할 Yes-No 방식의 고장처리 절차를 설명한다. 우선, 변전소의 정보는 배전자동화용으로 별도의 정보취득장치를 변전소 구내에 설치하지 않고, SCADA시스템이 제공하는 차단기의 투입/개방 상태정보와 단상 전압/전류 정보만으로 고장을 판단하게 된다. 그리고 배전선로에는 리클로저나 자동화차단기와 같은 고장을 능동적으로 차단할 수 있는 보호기기를 배전선로 중간에 1대 정도를 설치한다.

또 하나의 특징은 통신방식으로 무선 PCS의 SMS (Short Message Center)를 이용하므로 현장상태를 확인할 수 있는 빠른 주기의 계속적인 Polling 통신이 불가능하기 때문에, 배전선로에 설치되어 있는 현장기기가 자체적으로 판단하고 이상정보를 송신하는 기능을 가진다. 감시하는 기기의 상태(status)가 바뀐 경우 해당 정보를 중앙장치로 송신하는 Exceptional reporting

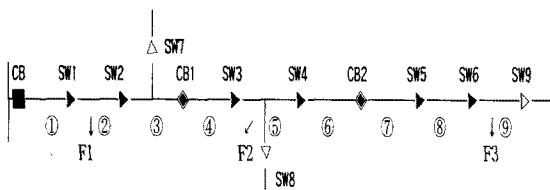
방식을 적용한다. 배전계통은 <그림 1>과 같으며, 리클로져 이후 구간④에서 고장이 발생한 경우의 처리 절차를 설명한다.

- ① 고장구간이 REC 이후 구간이므로 변전소의 CB는 동작하지 않고, 리클로져가 고장전류를 감지하여 동작하므로 고장구간을 구분함. 리클로져는 투입/개방 상태가 변경되었고 고장전류를 경험하였으므로 중앙장치에 이러한 정보를 송신하게 되는데, 순간고장인지 영구고장인지를 판별할 수 있도록 단말장치가 타이머 기능을 가져서 리클로져의 동작체무를 다 수행한 후에 무전압상태가 된 영구고장 상태의 고장 표시기 정보(Yes) 인지, 순간고장으로 고장이 회복된 상태에서의 고장 표시기 정보(Yes) 인지를 구분하여 제공할 수 있어야 함.
- ② SW2도 무전압 상태가 되었고 고장 표시기가 동작하였으므로 중앙장치로 상태변경 정보를 송신함.
- ③ 중앙장치는 REC와 SW2로부터 접수된 상기 정보를 인지한 후 SW3에 대하여 고장 표시기의 동작정보(Yes 또는 No)를 확인함. 여기서 SW3는 고장전류가 흐르지 않았으므로 No로 답할 것임.
- ④ 중앙제어장치는 REC가 제공한 정보와 SW2, SW3의 응답정보를 비교하여 SW2와 SW3사이에서 고장이 발생한 것으로 판정함.
- ⑤ 중앙제어장치는 부하측 건전구간인 ⑤구간에 역송을 하기 위한 부하용통 계산을 수행하여 부하절체를 위한 조작순서를 모니터에 나타냄. 이때 부하용통 계산 결과는 SW2와 SW3를 Open하고 REC와 상시 개방점인 SW6를 투입하도록 조작순서를 제시할 것임.
- ⑥ 배전사령원이 조작순서를 확인한 후 컴퓨터 상에서 일괄조작 명령을 내리면 고장구간 분리 및 건전구간 역송을 위한 부하절체가 자동으로 이루어짐.

이상의 절차를 통한 고장처리 시간은 근무자가 신속한 대응을 한다면 대략 부하측 건전구간의 복구까지 약 1~2분 정도가 소요되고, 전력측 건전구간의 복구까지는 약 2~3분 정도가 소요될 것으로 예상된다.

4. 소도시 및 농어촌용 순송방식 고장처리

소도시 및 농어촌 지역과 같이 공장이 긴 배전선로는 보통 리클로져나 자동화차단기 두 대를 직렬로 사용하여도 변전소의 CB 및 차단기간에 협조가 가능하며, 선로가 길기 때문에 자동화개폐기를 많이 설치하여 고장구간을 축소할 수 있다. <그림 4>는 공장이 긴 배전선로에 자동화차단기 2대, 구간용 자동화개폐기 6대를 설치한 예로서 구간 ⑤에서 고장이 발생한 경우의 처리 절차를 아래에 보인다.



<그림 4> 공장이 긴 농어촌 배전선로 구성(예)

- ① 영구고장을 감지하여 변전소 차단기(CB)가 트립되기 전에 배전용 자동화차단기 CB1이 트립됨.
- ② CB1 부하측의 모든 개폐기는 1회 무전압시는 개방되지 않음.
- ③ 2초 후에 CB1이 1차 재폐로 됨.
- ④ 영구고장이 지속중이므로 다시 CB1이 트립됨.

- ⑤ 자동화용 개폐기 SW3~SW6 및 CB2는 선로전압이 2번째 무전압이 되고 0.25초가 지나면 자동으로 개방됨.
- ⑥ CB1이 2초 후에 2차 재폐로 됨.
- ⑦ 투입시간(8초) 후에 SW3가 순송 투입되나, 영구고장 구간에 투입되었으므로 CB1이 다시 트립되고, SW3는 투입된 후 정해진 투입Lockout시간(5초) 동안 가압상태를 유지하지 못했기 때문에 무전압 개방되면서 Lockout됨.
- ⑧ SW4와 SW8은 SW3가 투입되면서 전력측에서 가압된 후 정해진 투입시간(8초) 이전에 다시 무전압이 되었으므로 자기 바로 앞에서 고장이 발생한 것으로 판단하여 개방상태에서 Lockout되므로 고장구간이 양단이 분리되었음.
- ⑨ CB1이 15초 후 3차 재폐로 되어 건전구간까지 송전을 마침.
- ⑩ 이때부터 중앙장치는 해당 선로의 개폐기 정보를 파악하여 고장 구간을 확인하고 고장구간 부하측의 역송을 하기 위한 부하용통 계산을 수행하여 역송이 가능한 개폐기를 선택하되, 인근 역송선로의 부하공급 예비력과 전압강하, 전력손실 등을 감안하여 투입할 적정 개폐기인 SW9를 선택함.
- ⑪ 중앙장치의 명령에 의하여 SW9 투입.
- ⑫ SW9가 투입된 후 8초 후에 SW6이 투입되고 다시 8초 후에 SW5의 투입, 다시 8초 후에 CB2가 순차적으로 자동 투입되어 건전구간의 송전을 마침.

<표 1> F2점 고장 발생시의 타임차트

상황	시간	개폐기의 동작상황																
		CB	SW1	SW2	CB1	SW3	SW4	CB2	SW5	SW6	SW7	SW8	SW9					
· 구간중에서 사고발생	CB1 트립(순시)																	
· CB1 1회 재폐로	재폐로 시간 (2초)																	
· CB1 재트립	TC커브(순시)																	
· 무전압 개방	0.25초																	
· CB1 2회 재폐로	재폐로 시간 (2초)																	
· SW3 순송 투입	투입시간 T1(8초)																	
· CB1 재트립	TC커브(지연)																	
· 무전압 개방	0.25초																	
· SW3, SW4, SW8 Lockout																		
· CB1 3차 재폐로	재폐로 시간 (15초)																	
· 중앙장치 고장판단 및 부하용통 계산																		
· SW9 투입명령																		
· SW6 순송투입	투입시간 (8초)																	
· SW5 순송투입	투입시간 (8초)																	
· CB2 순송투입	투입시간 (8초)																	

5. 결론

여러 가지 고장처리 방식을 비교한 결과 신 배전자동화시스템에서는 적용도시의 규모에 따라 대도시나 중규모 도시에서는 고장 표시기의 고장전류 통전정보를 이용하는 Yes-No 방식을 선택하였고, 소도시 및 농어촌지역에서는 순송방식이 적당한 것으로 평가되었다. 각각의 고장처리 방식에 대해서는 고장 배전실증시험장에서 향후 2년간에 걸쳐 실증시험을 수행한 후 국내 환경에 적합한 방식을 최종적으로 확정할 예정이다.

[참고 문헌]

[1] 하복남 외 "국산 배전자동화시스템 설계용 실증 연구 최종 보고서", 전력연구원, pp.22~25, pp.221~223, 1997
 [2] 일본 배전자동화연구회 "배전자동화시스템 입문", 성안당, pp.15~26, 1992