

다기능개폐기를 이용한 선로운전자동화

송 병 권 홍 순 학 하 복 남

한 전 기술연구원 배전연구실

The feeder automation using the switches with multi functions

Byong-Kwon Song Soon-Hak Hong Bok-Nam ha
Power Distribution Dept. of KEPCO Research center

Abstract

The distribution automation functions include feeder automation, data acquisition and processing, remote meter reading and load management. This report explains the function of feeder automation and the accomplishment method of feeder automation using the switches of distribution system with multi functions.

1. 서론

고도 정보화 사회의 도래와 사회전반에 걸쳐 전력에 대한 의존도가 증대함에 따라 정전이나 전압, 주파수 등의 변동이 없는 양질의 전력공급에 대한 사회적인 요구가 높아지고 있다. 이러한 사회적 환경에 대처하기 위해 전력회사마다 전력계통의 자동화를 위한 연구와 투자를 계속해오고 있는데 한편에서도 지금까지 발전 및 송전계통의 EMS(Energy management system), 변전계통의 SCADA(Supervisory control and data acquisition) 시스템을 운용중에 있고, 수용가와 직접 연결되어 있는 배전계통의 자동화를 위한 DAS (Distribution Automation system)에 대해서도 실증시험 및 개발연구가 활발하게 진행되고 있다.

2. 배전자동화의 개요

가. 배전자동화의 주요기능

최근 국내의 할 것 없이 전력사업에서 큰 관심을 끌고 있는 배전자동화는 크게 4가지의 기능을 가지고 있다. <표1>에 각 기능과 효과에 대해서 요약하였는데 한편에서는 이 기능들을 모두 가지고 있는 미국 시스템 I조를 도입하여 실증시험 중에 있으며 한국전기연구소에서는 한편의 지원하에 한국형 배전자동화시스템을 개발하는 연구를 진행중에 있다.

나. 선로운전자동화의 개요

배전선로의 개폐기를 원격에서 감시하고 제어하는 것에 대한 관심이 매우 높아져 가고 있다. 전력공급의 신뢰도 향상을 위해 오래전부터 그 중요성이 인식되었지만 기술적인 문제로 구현되지 못하다가 근래 80년대 중반에 들어서면서 통신, 컴퓨터 및 관련 전력전자기술의 발전에 힘입어 뛰어난 기능을 가진 자동화시스템이 개발되고 있다. 배전자동화의 기능중에서 선로운전자동화는 한편에서 가장 관심을 가지고

<표1> 배전자동화의 기능 및 효과

기능	내용	효과
선로운전자동화	- 개폐기상태 감시 - 고장구간 분리 및 역송 - 작업정전 부하 절제	- 정전구간 축소 - 정전시간 단축 - 설비이용률 향상
배전관리정보자동수집	- 선로부하계측 - 전압계측 - 사고예지정보 수집	- 배전손실 경감 - 과부하 예방
부하집중제어	- 냉, 난방 부하제어 - 공장부하 피크제어 - 공장부하 피크	- peak cut - 발전설비 투자지연
자동원방검침	- 전력량계 자동검침 - 시간대별 전력량계측 - 부하분석	- 전력설비 이용 검침 - 수용가 양방향 서비스 - 검침시스템 다양화

있고, 또한 가장 먼저 구현될 것으로 예상되는 기능으로써 선로사고시의 고장구간의 분리 및 건전구간의 역송을 신속하게 수행하는 것을 그 목적으로하여 개폐기의 감시 및 제어, 배전선로의 전압, 전류, 역송등 데이터의 원격계측, 전압제어 등을 수행한다. 선로운전자동화는 크게 과거의 Recloser와 Sectionalizer, Loop switch 등을 이용한 협의의 선로자동화와 통신수단과 컴퓨터를 이용하여 고장구간 분리 및 건전구간 송전을 행하는 포괄적인 선로자동화로 구분 할 수 있다.

(1) 협의의 선로자동화

(가) Recloser - 전류계수식 Sectionalizer

이 방식은 미국의 Macgraw-Edison이 구체화한 방법으로 Recloser가 고장전류를 차단하는 동안 Sectionalizer는 고장 전류의 통전회수를 계수하여 정정된 회수가 되면 무전압 상태에서 고장구간 전단의 개폐기는 차단되고 건전구간은 Recloser의 재폐로에 의해 회복된다.

(나) 전압-시간식 Reclosing Sectionalizer

이 방식은 미국의 JOSLYN 또는 일본의 순송식 제어방식으로 구체화 된 것으로 양자간에 약간의 차이는 있지만 무전압이 되면 구간의 전개폐기를 개방해두고 전압이 회복되면

순차적으로 투입하여 투입하는 순간에 고장전류가 통전되는 것을 통하여 고장구간을 찾아내는 방법이다.

(2) 현대의 선로운전자동화

선로운전자동화의 궁극적인 목표는 고장구간의 최소화과 건전구간의 최단시간 회복이라고 요약된다. 통신과 컴퓨터기술의 발전은 과거의 보호협조방식으로는 불가능했던 구간의 무한한 세분화, 고장구간의 양단분리, 다중 back-up에 의한 loop 운전, 원방감시 및 제어, 부하의 용통절제 등을 기대하게 했다.

이것을 미국에서는 개폐기에 설치된 Fault indicator의 고장 유무 정보를 판단하는 YES-NO logic algorithm 을 이용하여 구체화 되었으며 최근에는 Recloser와 Sectionalizer에 의해 대구간을 분리, 회복시키고 고장구간을 다시 세분하는 용도에 YES-NO logic 을 적용하는 방향으로 수정되고 있다. 그러나 이 방식은 방사상 선로의 적용에는 효과적이거나 loop 선로에는 적용에 문제점이 있다.

또한 일본에서는 50년대 말부터 개폐기의 순차 투입에 의한 고장구간 자동검출 방식으로 출발하여 컴퓨터와 통신기술이 조합된 오늘의 집중감시제어 시스템으로 발전되었다.

2. 외국의 선로운전자동화 방식

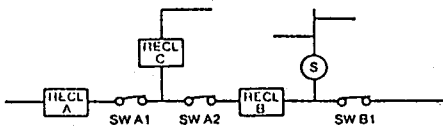
가. 미국의 선로운전자동화

미국이나 유럽은 오래전부터 선로운전자동화보다는 경제성 면에서 유리한 부하집중제어와 배전선로의 캐패시터 뱅크에 의한 무효전력제어에 중점을 두어 왔다. 선로자동화로서는 자동으로 고장 구간을 분리할 수 있는 Recloser와 Sectionalizer를 오래전부터 사용하여 오다가 근래에 와서 점차 운전원 제어하에 컴퓨터의 통제를 받는 원방감시제어 시스템에 대한 연구와 개발 시스템을 일부 전력회사에서 적용하고 있는데 공급지역이 넓은 관계로 자동화용으로 전용통신선을 이용하는 방법보다는 전력선방송 및 전화선이나 무선 을 이용하는 경우가 많다. 아래에 미국의 대표적인 선로자동화방식을 소개한다.

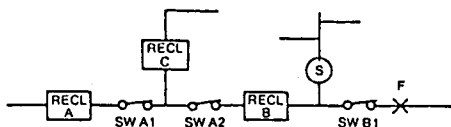
(1) Cooper Power System 방식

고장 판별능력을 가진 개폐기와 Recloser를 사용하여 방사상선로에서 무선에 의한 신호전송으로 선로자동운전을 행하는 방식이다.

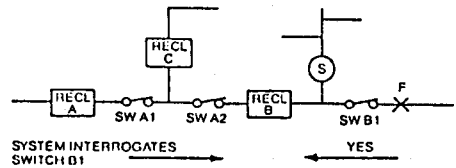
a. 정상운전상태에서는 모든 Recloser와 Sectionalizer 및 개폐기는 투입되어 있고 그 상태에서 선로전류를 감시하고 있다.



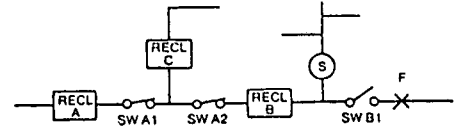
b. F점에서 고장이 발생했을 때 Recloser B는 트립되어 고장을 해소한다.



c. 중앙장치는 신호를 전송하여 Recloser의 동작상태 및 각 개폐기의 고장전류 통전유무를 확인한다.



d. 개폐기 B에 고장전류가 흘렀음을 확인하므로써 고장구간이 B, 이후 구간임을 인식하고 B 개폐기를 open 한 후 Recloser B를 원격으로 투입하여 건전구간을 정상회복 시킨다.



이 방식은 원격조작 Recloser와 고장판별회로를 가진 개폐기를 조합하므로써 수분안에 건전구간을 회복시킬 수 있는데 주로 무선으로 신호전송을 한다. Recloser를 사용하기 때문에 정전구간을 큰 범위로 빠르게 한정시킬 수 있는 반면에 loop선로에서 보호협조상의 어려움을 가지는 단점이 있다.

(2) JOSLYN 방식

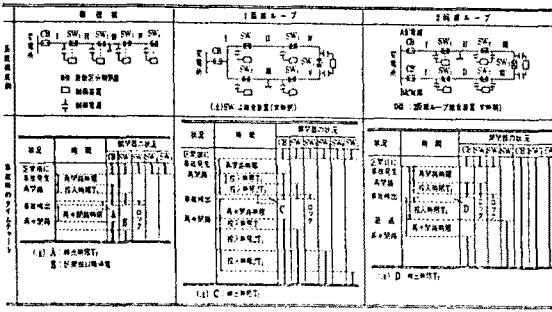
배전선로에 고장이 발생하면 후비보호장치(CB)가 차단된 후 전 구간의 개폐기를 개방하고 전압이 회복되면 순차적으로 투입하여 고장구간을 확인하는 방식으로 close time과 lockout time이라는 개념을 이용하고 있다. 이 방법은 협조하는데 시간이 오래 걸리고 개폐기의 동작회수가 많으며 역송시 건전선로의 정전을 유발하는 문제를 안고 있지만 이론적으로는 협조 가능한 선로개폐기의 숫자에 제한이 없다는 장점을 가지고 있다.

나. 일본의 선로운전자동화

순송식이라 일컬어지는 선로운전자동화 방식으로 미국의 JOSLYN 방식과 같이 고장이 발생하면 후비보호장치가 차단된 후 선로의 전 개폐기를 개방해 두고 전압이 회복되면 순차적으로 투입하여 고장전류의 흐름으로 고장구간을 확인하는 것으로써 비접지 계통에서 분기선로가 없는 경우 고장구간의 양단 개폐기를 lock out 시킬 수 있어 loop 선로에서 역송으로 공급시 건전선로의 정전을 유발시키지 않게 된다는 것이 JOSLYN 방식에 비해 한 단계 발전한 것이다. 이 방식은 변전소의 차단기와 선로의 개폐기만이 상호 협조하는 방식으로 Recloser와 같은 보호기기를 사용하지 않으며 신호전송방식으로는 전송속도가 빠른 전용통신선을 이용한다.

<그림1>은 계통구성별 사고시의 동작상황을 타임차트로 나타낸 것이다. 이 방식에서 개폐기수를 늘리면 늘릴수록 분리되는 정전구간은 적어지지만 여러대를 직렬 협조해야 하므로 총 동작시간이 길어진다. 최근에는 건전구간은 아예 정전을 일으키지 않는 방식을 연구중에 있다.

일본의 선로자동화 방식은 수동원방제어 시스템 → 수동원방제어 시스템과 사고구간 자동구분방식과의 조합시스템 → 시퀀스제어 시스템 → 컴퓨터제어 시스템순으로 발전하여 왔으며 일본 각 전력회사의 배전자동화 추진현황은 <표2>와 같다.



<그림1> 계통구성별 사고시의 타임차트

<표2> 일본의 전력회사별 선로운전자동화 추진현황

전력회사	北海道	東北	東京	中部	北陸	關西	中國	四國	九州	
단순원격(년)	76	86	55	-	66	83	65	67	57	
수	전산제어(년)	88	88	82	84	86	89	86	86	75
제어수준	단순원방제어	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	자동분리	○	-	-	-	○	-	-	○	-
전송방식	고정	○	-	-	-	○	-	-	○	-
	가변	-	○	○	○	-	○	○	-	○
전송방식	전력선반송	-	○	○	-	-	○	-	○	○
	통신선	페어	○	○	○	○	○	○	○	○
광		◇	◇							
개폐기원격제어율	12	1	1	5	36	11	13	27	57	

* '90.3현재 현황 (○:실용화, ◇:시범운영)

3. 다기능 개폐기를 이용한 선로운전자동화

선로운전자동화를 위한 계통구성 및 보호협조 방식은 나라마다 계통의 특성에 따라 다르다. 앞서서도 언급했듯이 미국은 전부터 운영해오던 Recloser와 Sectionalizer를 그대로 사용하면서 무선을 이용한 개폐기의 원격조작을 통해 더 향상된 선로자동운전을 구축중에 있고, 일본은 개폐기를 이용한 순송방식을 발전시켜 컴퓨터와 결합하고 향후에는 광통신을 이용할계획에 있다. 우리도 우리의 계통 실정에 맞는 방식을 선택해야 할 단계에 있으므로 적용가능한 몇가지 방안을 기술한다.

가. 배전자동화용 계통구성을 위한 기본요건

(1) 과도고장 제거

우리계통은 다중접지 배전방식을 채용하고 있어 수목 접지나 조류접촉등과 같은 과도고장시에도 지락전류가 매우 커서 이를 신속히 제거하지 않으면 영구고장으로 진전하게 되므로 접지사고의 80% 정도를 점유하는 과도고장을 공급신뢰도 측면에서 Recloser를 사용하여 제거하는 것은 반드시 필요하다. 또한 Recloser의 설치위치에 따라서 건전구간의 정전방지를 도모할 수 있다.

(2) 고장구간 검출 및 분리

영구사고시 신속한 고장구간의 분리 및 건전구간의 회

복을 위해 각 보호기와 개폐기의 적절한 협조가 필요하며 이것이 가능하도록 각 기기의 기능보강이 필요하다.

(3) 전력용용시 보호협조방안 수립

Recloser나 Sectionalizer는 직렬협조를 원칙으로 하므로 설치위치에 따라 정정치가 다르기 때문에 고장분리후 역송시에는 보호기기의 재정정이 필요하며 그것이 여의치 못할 경우 동작을 lock 시키는 것도 고려되어야 한다. 또한 효과적인 보호협조를 위해 설치대수의 제한 또는 Sectionalizer의 사용배제등도 고려되어야 한다.

나. 다기능개폐기를 이용한 선로운전자동화 방식

(1) 대도시형

구성 : 컴퓨터, 전용통신선, Recloser, A형 개폐기

우리나라의 6대도시는 설비 및 부하량이 전체의 반정도를 차지하고 있으며 위성도시까지 합치면 80% 정도를 차지한다. 따라서 이들 도시에서의 정전은 심각한 문제를 야기하므로 빠른 속도로 조치를 취하기 위해서 신호전송속도가 가장 빠른 전용통신선을 이용하는 것이 바람직하며 향후에는 광통신을 이용해야 할 것이다. 이 방식은 배전선로에서 고장이 발생시 Recloser에 의해 대구간을 분리하고 소구간에 설치되어 있는 개폐기의 고장전류 통전유무를 컴퓨터에 의한 신호전송을 통하여 확인(YES-NO logic)하여 고장구간을 판별하고 컴퓨터에 의한 용통계산을 통하여 건전구간을 절제하는 방식이다. 여기에 적용될 개폐기들이 가져야 할 기능은 다음과 같다.

- 고장검출기능

각 개폐기들은 선로에 고장이 발생하면 고장전류의 통전유무 정보를 제공할 수 있어야 하고 자동과 수동동작을 선택할 수 있어야 하며 돌입전류에 외해서는 오동작하지 않아야 한다.

- 전압, 전류 계속 기능

선로개폐기는 내부에 전압, 전류를 계속할 수 있는 구조로 하여 개폐기 제어장치에 정보를 전달 할 수 있어야 한다.

- 원방투입 개방기능

선로개폐기는 원방의 명령에 의하여 투입 또는 개방될 수 있어야 하고 필요시 투입 및 개방 상태에서 lock 될 수 있어야 한다.

- 개폐기 상태 정보제공

선로 개폐기는 개폐기의 상태를 중앙에서 파악 할 수 있도록 상태 접점을 제공하여야 한다.

- 정전시 자체전원으로 조작 가능

정전에 의해 외부 전원이 살아오지 않아도 on/off 조작이 가능하여야 한다.

(2) 지방형

구성 : 컴퓨터, 배전선반송, Recloser, B형 개폐기

인구 밀집도가 낮고 배전선로의 길이가 긴 지방의 중소도시 및 농어촌지역은 변전소 단위의 공급대상 설비가 적고 정전에 대한 영향도 대도시에 비해 크지 않으므로 신뢰성보다 경제성에 우선순을 두는 것이 타당하다. 따라서 넓은 지역에 전용통신선을 설치하기 보다는 속도는 조금 늦지만 전력

선을 통신로로 이용하는 배전선 반송방식을 적용하는 것이 바람직하며 이것을 보완하는 방안으로 개폐기 자신이 고장구간 확인 및 분리를 감당할 수 있는 기능을 가져야 한다. 배전선로에 고장이 발생하면 Recloser에 의해 대구간을 분리하고 Recloser나 차단기와 협조하는 개폐기에 의해 고장구간을 소구간으로 분리한 후 컴퓨터의 용통계산에 의해 건전구간은 회복시킨다. 그러기 위해서는 다음과 같은 기능을 갖는 것이 효과적이다.

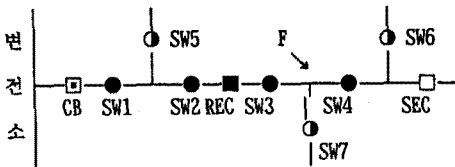
- 개폐기 스스로 고장구간 판단하여 분리
후비보호장치로 변전소의 차단기 또는 Recloser와 협조할 수 있어야 한다. 후비보호장치가 고장전류에 의해 동작하면 구간내의 전 개폐기는 모두 개방되고 하나씩 투입되는데 고장구간 바로 앞의 개폐기가 투입될 때는 고장전류가 흐르게 되므로 이 개폐기는 다시 개방되면서 lock 되고 후비보호장치는 개방되었다가 다시 투입되므로써 건전구간은 정상 복구된다.
- 전압, 전류 계속 기능 : 대도시형과 같음
- 원방 투입, 개방 기능 : "
- 개폐기 상태 정보 제공 : "
- 정전시 자체 전원으로 조작 가능 : "

(3) 간이형

구성 : Recloser + C형 개폐기

농어촌 지역이나 도서지방은 부하밀도가 낮고 정 전이 되어도 큰 영향은 없으므로 배전자동화의 우선적인 대상에서 제외되나 개폐기의 고기능을 가진다면 컴퓨터 또는 신호전송 없이 고장구간 분리 및 건전구간 회복이 가능하다. 그러나 원방에서 조작이나 동작상태의 확인은 곤란한 단점이 있으나 이 방식을 설치한 후필요시에 컴퓨터와 신호전송망을 갖추면 앞에 언급한 지방형의 시스템으로 전환이 가능하므로 선로자동운전의 간이형으로 적용해도 무리가 없다. 개폐기의 기능은 다음과 같다.

- 개폐기 스스로 고장구간 판단하여 고장구간 분리 및 건전구간 역송기능
고장구간 분리까지는 앞의 지방형과 같으나 역송을 위하여 고장구간 후단의 개폐기들은 일정시간이 지나면 자동으로 투입되도록 하되 고장구간 바로 인접 개폐기는 lock 된 채로 투입되어서는 안된다.
- 정전시 자체 전원으로 조작 가능기능 : 대도시형과 같음



- 자동하용 개폐기(normal close)
- 자동화용 개폐기(normal open)
- Recloser
- Sectionalizer

<그림2> 선로자동화 계통구성도 (예)

<표3> F점 사고시 고장분리 및 역송과정

Recloser	개 폐 기
Recloser 1회 트립	모든 개폐기 투입상태 유지하면서 count 1
Recloser 1회 재폐로	과도고장이면 정상회복 영구고장이면 REC 2차트립
Recloser 2회 트립	구간내 개폐기 count 2 완료후 모두 개방 (SW3, SW4, SEC)
Recloser 2회 재폐로	전압이 회복된 개폐기부터 순차 투입 SW3 투입시 REC 3회 트립
Recloser 3회 트립	SW3 무전압상태에서 open 되면서 lock out SW4 무전압 감지후 lock out 타 이며 start
Recloser 3회 재폐로	(SW3 전단까지 송전) SW4 lock out SW6 lock out SW7 자동으로 투입(SW4 까지 송 전)

4. 결 론

우리 계통에는 고장구간을 자동으로 구분하여 분리 할 수 있는 Recloser가 설치되어 있으므로 선로운전자동화를 위하여 Recloser를 이용하는 것은 효과적이며 설치위치는 역송시의 협조상 선로의 중간에 1대정도를 설치하여 역송시 2대 정도가 직렬로 협조하는 것이 바람직해 보인다. 그대신 자동화용으로 쓰일 개폐기는 구간을 작게 구분할 수 있도록 여러대 설치하되 많은 기능이 추가된 고기능 개폐기로 바뀌어져야 한다. 위에 언급한 방식들은 실제로 제품이 생산되고 실계통 실증시험을 통하여 다양한 성능평가가 이루어지며 경제성 등도 비교하여 우리 계통에 적합한 선로운전자동화가 채택되어야 하겠다.

참 고 문 헌

1. 한전 기술연구원 "배전자동화 알고리즘 정립 및 표준화 연구" 중간보고서 pp. 9-16, '92.6
2. 日本 配電自動化硏究會 "配電自動化システム入門" オ-ム社, pp.1-20, '91.3
3. G.E company "Guidelines for Evaluating Distribution Automation" pp.s-1 - s-15, '84.11
4. 한전 기술연구원 "배전자동화 기술세미나" pp. 101-152 '92.3
5. 日本 電力中央硏究所硏究調査資料 "配電總合自動化に求められる機能と技術課題" pp. 1-20, '90.4