

정전자동복구시스템의 개발 및 한전 실계통 적용

홍순천*, 추진부, 이남호
한전 전력연구원

Development of Automatic Power Restoration System And Operation in KEPCO Real Power System

Soon Chun Hong*, Jin Boo Choo, Nam Ho Lee.
KEPRI

Abstract - Recently, according to a rapid increase of the power demand, the KEPCO's 154kV lines are continuously expanded and become to the more complex loop system. As a result of increase of the fault capacity and the unbalance of power load flow, the circuit breaker have been exceeding the capacity limit of those in the loop power system. To solve this problem, APRS application will be necessary more and more.

1. 서 론

우리나라의 전력계통은 765kV - 345kV - 154kV를 기본으로 구성되어 있으며 매년 급속한 수요성장과 전력의 안정적인 공급을 위해 345kV와 154kV의 계통은 환상망 계통을 원칙으로 하고있다. 그러나, 환상망 계통은 방사상 계통에 비하여 전력공급의 신뢰도가 높다는 장점이 있음에도 불구하고, 고장용량의 지속적인 증가로 차단기 차단용량 초과 개소가 점차 증가하고 있다. 그 대책의 일환으로 154kV 계통은 전력공급의 신뢰도 저하를 감수하고 모선분리와 선로분리 등에 의한 Loop 분리 운전방식을 점차 확대 적용(00.8기준 59개소)하고 있다.

본 논문은 154kV Loop 분리 운전 계통에서 송전선로 고장 등에 의한 정전구간이 발생하였을 때에 고장 발생전의 계통상태를 분석하여 최적의 연결선로를 이용한 정전구간 자동복구방안을 언급하고자 한다.

2. 본 론

2.1 정전 자동복구 개요

전력설비에 고장이 발생한 경우 보호계전기가 동작하여 고장구간이 건전계통으로부터 자동적으로 분리되며 일부 보호계전기가 오·부동작한 경우는 고장구간을 포함한 일부 건전계통도 분리되어 정전계통이 확대되기도 한다. 이때 계통운영자는 고장구간이나 설비를 찾아내어 고장구간이나 설비를 제외한 정전계통을 건전계통에 신속히 연결하여 정전부하를 복구하여야 한다.

이러한 정전 부하복구는 그 해결방법에서의 다양성이나 조합적인 문제 등으로 인하여 자동화가 이루어지지 않고 있으며, 현재는 계통 운영자의 지식이나 경험적 판단에 의존하고 있다. 그러나 경험이 많은 계통 운용자라도 정확한 계통상태 판단과 복구작업을 위해서는 어느 정도의 시간이 소요되게 되고, 이는 수용가의 정전시간과 직결되게 된다. 그러므로 154kV Loop 분리 운전계통에서 계통운전원을 대신하여 송전선로 보호계전기 동작사항과 연계된 정전 자동복구 방법의 개발과 실계통 적용이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 154kV Loop 분리 운전계통에서 송전선로 고장이 발생한 경우에 이를 검출하여 고장 발생전의 계통상태 및 사고내용을 판단하고 분석함으로

써 정전부하를 건전계통으로 자동으로 절체하여 정전을 복구할 수 있는 자동복구 알고리즘을 제안하고자 한다. 송전선로 고장등으로 인한 Loop 분리운전계통 정전 자동복구 방법은 표 1과같이 크게 고장상황 인식, 고장구간 판단, 고장구간 분리 그리고 자동복구 과정으로 나뉘어진다.

표 1. APRS의 고장 복구 제어 과정

Step 1	DAU가 설치된 4개 S/S의 운전상태인 아날로그 및 상태 데이터를 실시간 온라인으로 취득하여 상시 감시한다.
Step 2	DAU에서 주장치로 전송된 보호계전기 동작 및 차단기 상태변화 정보등으로 고장구간을 판정한다.
Step 3	고장구간을 분리한다.
Step 4	건전구간으로 절체하여 정전구간을 복구한다. 만약 정전부하 절체시 선로 과부하가 예상되면 부분복구를 수행한다.

2.1.1 고장구간 인식

고장상황 인식의 전체적인 흐름은 그림 1과 같다. 선로 고장의 인식은 차단기 상태의 변화와 이에 수반되는 계전기의 동작정보를 이용한다. 계통상태에 대한 데이터(Status Data)를 검색하여 차단기의 상태 변화가 있었는가를 검색한다. 차단기 상태의 변화가 없는 경우에는 계통에 변화가 없었다는 것을 의미한다. 만일 차단기의 상태가 변경된 것이 있다면 계전기 정보를 검색한다. 계전기 정보가 없는 경우는 계통운영자가 운용상 필요에 의하여 차단기를 조작한 것으로 인식하여 이 차단기에 대한 불필요한 조작이 없도록 이 차단기에 대해서는 조작 불능상태로 둔다.

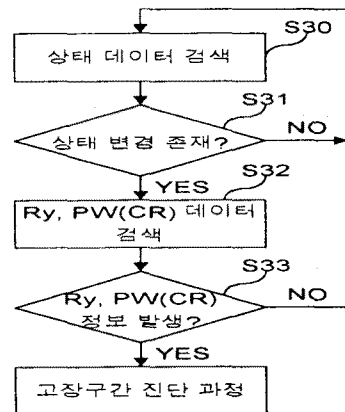


그림 1. 고장상황 인식과정에 관한 흐름도

차단기 상태변화와 더불어 단락 및 지락 주보호계전기 또는 후비보호계전기의 동작상태가 감지된 경우, 선로고장으로 인식한다. 또한, 모선고장도 선로고장과 같이 차단기 동작은 계전기의 동작에 의해 이루어진다. 따라서 이 경우에도 차단기의 상태변화가 있으면 이에 상응하는 계전기의 동작이 있는가를 보아서 고장인지 아닌지를 판단한다. 모선 보호계전기의 동작은 모선고장과 계전기 지령에 대하여 차단기 동작이 실패한 경우에 발생하게 된다. 외부 계통과의 연결선로 고장 또는 전원측 고장으로 인한 정전발생 보호범위내의 변전소간 연결선로가 아닌 보호범위내의 변전소와 전원측 변전소간의 선로 또는 모선고장으로 인하여 보호범위내의 변전소가 정전이 된 경우에도 건전계통으로의 정전부하 절체를 수행한다. 이 경우 저전압계전기의 정보를 이용한다.

2.1.2 고장구간 판정

고장구간의 진단과정의 흐름은 그림 2 와 같다. 고장구간의 진단에 있어 우선적으로 계통에 발생한 고장이 모선고장인지를 판단한다. 모선보호계전기가 동작한 경우에 해당 모선에 연결된 모든 차단기를 조작불가능상태(자동절체 조작에 의해 투입되지도 않고 개방되지도 않는 상태)로 둔다.

송전선로에 고장 발생시 고장선로 및 고장구간을 찾는 과정은 다음과 같다. 우선 동작된 보호계전기에 대하여 그 보호계전기의 보호범위를 찾아 고장후보로 둔다. 즉 주보호계전기가 동작했다면 주보호계전기의 보호범위인 선로를 고장후보로 두고, 후비보호계전기가 동작했다면 후비보호계전기의 보호범위내의 모든 요소를 고장 후보로 둔다. 다음은 이들 각 계전기를 동작 가능하게 하는 선로인 고장후보간의 중복구간을 찾으면 그곳이 바로 고장구간이라 할 수 있다.

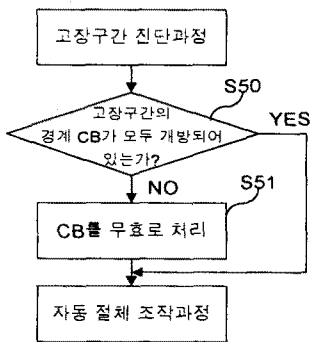


그림 2. 고장구간 분리과정에 관한 흐름도

154kV Loop 분리운전 계통에서는 1회선 선로가 고장이 나거나 혹은 2회선중 1회선 정지시에 전력공급선로에 고장이 발생한 경우에는 전원단 변전소 차단기 및 계전기만 동작한다. 이러한 경우에는 이 선로를 중복 보호하는 계전기가 없기 때문에 중복구간이 나타나지 않는다. 따라서 1회선 선로의 고장이거나 2회선 중 1회선이 정지 중인 때의 선로고장은 중복구간이 없어도 고장구간으로 인식한다. 주보호 정보가 없어 복수개의 선로가 고장범위로 판단되는 경우가 있다. 이때에는 Carrier 동작정보를 이용하여 Carrier가 동작한 선로는 고장범위에서 제외함으로써 고장범위를 찾을 수 있다. Carrier가 블로킹신호(Blocking Signal)를 발송했다는 것은 그 선로를 벗어나 고장이 났다는 것을 의미하기 때문이다. 고장후보범위는 반드시 동작한 다른 보호계전기의 보호범

위와 중복된다. 그러나 다중고장의 경우는 트립된 어느 차단기의 보호범위가 트립된 또 다른 차단기의 보호범위와 중복되지 않는 경우가 발생한다. 이 경우 타계전기의 보호범위와 중복이 가능한 것끼리 묶어 중복구간을 구하면, 복수개의 선로구간이 도출되고, 이들 각각은 중고장으로 인하여 발생한 고장구간이라고 할 수 있다. 모든 정보를 사용했음에도 복수개의 선로가 고장범위로 인식되는 경우가 있을 수 있다. 다시 말하면, 후비보호계전기만 동작한 경우에는 정확한 고장구간은 선로순서를 통하지 아니하고서는 알 수 없다. 그러나 이 경우에도 정전구역이 발생할 가능성이 있으므로 고장범위일 수 있는 모든 선로를 건전계통으로부터 분리할 수밖에 없다.

2.1.3 고장구간 분리

고장구간 분리과정은 자동복구 조작에 의하여 정전지역에 전력공급을 재개할 때, 고장점에 송전을 재개하는 일이 없도록 고장구간을 미리 건전구간으로부터 분리하는 과정이다. 앞 단계인 고장구간 진단과정에서 도출된 고장구간의 트립되지 않은 차단기를 개방함으로써, 고장구간을 건전계통으로부터 분리할 수 있다. 그 흐름도는 그림 3 과 같다. 분리된 고장구간에 대해서는 향후 복구작업이 시작될 것이므로, 자동복구 시스템이 차단기에 대하여 더 이상의 조작을 내리는 일은 없어야 한다. 따라서 차단기의 상태를 조작 불가능 상태로 규정해 두어야 한다.

2.1.4 고장구간 복구

정전지역의 부하를 건전계통으로 복구하는 과정의 흐름은 그림 3과 같다. 정전그룹과 건전그룹을 연결하는 선로 (현재 개방되어있는 상태임)를 찾는다. 다음에 건전계통과 연결했을 때 선로에 부담을 가장 적게 주는 선로를 찾아 그 선로로 정전부하를 절체하는 것이다. 정전지역의 한 변전소에서 건전계통의 한 변전소와 연결되는 선로중 1회선만 가능한 경우는 1회선만을, 2회선이 가능한 경우는 2회선 모두를 접속했을 계통의 전력조류를 미리 계산해서 각 선로의 송전용량 대비 전력조류값 중 가장 큰 값을 계산해 둔다. 정전지역에서 건전계통으로의 모든 연결선로로 결정한다.

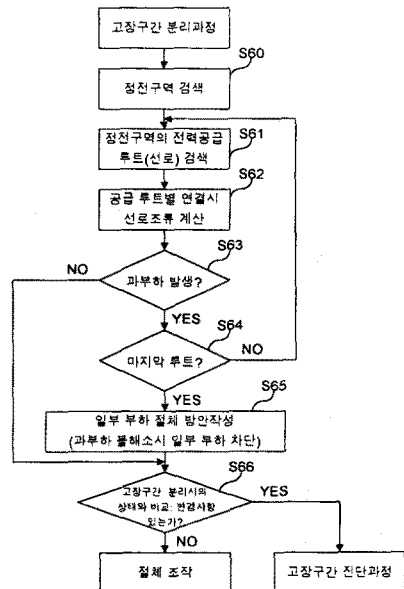


그림 3. 절체조작 과정의 흐름도

만일, 이러한 과정에서 어떠한 연결선로로 건전계통과 접속하더라도 과부하선로가 발생하는 것을 피하지 못할 때는 정전지역을 분할하여 각각을 다른 건전계통에 접속하도록 한다. 이 방법으로도 과부하선로의 발생을 피할 수 없는 경우에는 정전지역 중 일부 부하만을 건전계통으로 절제한다.

자동절제 조작을 수행하기 전에 계통의 상태가 고장의 진행 등에 의해 또 한번 변했다면 계통의 조류상태 및 차단기의 조작가능상태 등이 변하게 되므로, 고장진단과정으로 되돌아가서 변화된 상태를 고려하여 다시 자동복구과정을 밟아야 한다.

2.2 실계통 적용

2.2.1 시스템 개요

정전 자동복구 알고리즘을 구현하기 위하여 하나의 Main System과 Loop 분리변전소를 중심으로 4개의 데이터취득장치(Data Acquisition Unit)를 설치하였으며 각종데이터 취득 및 제어명령을 위해 전송 데이터 신뢰도를 높이기 위해 T1급(1.544Mbps) 광통신회선을 이용하였다. 시스템의 개요는 그림 4와 같다.

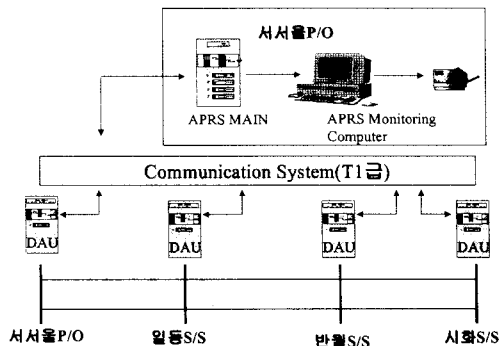


그림 4. 정전 자동복구 시스템 개요도

그림 4와 같이 4개변전소의 계통정보(CB,DS ON/OFF 상태, 보호계전기 동작, T/L조류, M.TR MW, 154kV 모션전압)를 실시간으로 취득하여 Main System으로 전송하며, 시스템은 이러한 계통정보를 상시 감시하다가 보호계전기 동작 및 차단기 상태변동과 정전구간 발생시 정전복구 절차를 자동적으로 수행한다.

2.2.2 적용사례

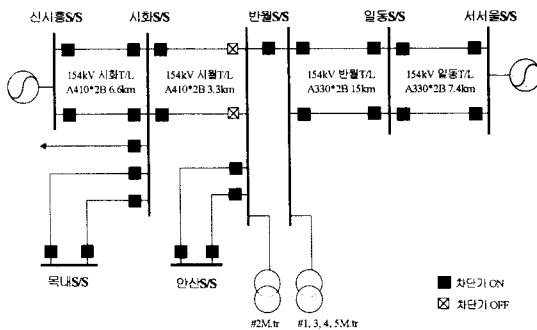


그림 5. 반월변전소 선로분리 운전 계통도

한전의 154kV 계통에서 사용중인 차단기는 정격 차단용량이 31.5kA 와 50kA인 2가지 종류의 차단기를 사용하고 있다. 특히, 154kV 계통에서 고장용량 초과로 모션분리운전중인 18개 지역이 31.5kA 차단기 48

대를 사용중이다. 만약 이 지역에 50kA 차단기를 구입하여 설치한다면 대당 약 1.6억원으로 총 76억원의 비용이 필요한 실정이다. 한편, 계통구성이 복잡해지면서 50kA 차단기로도 용량이 초과되는 지역이 점차 증가하고 있다. 따라서, 이러한 지역에 선별적으로 APRS를 적용함으로써 투자의 최소화와 투자시기의 조절로 금융 부담 경감을 기할 수 있다. 현재 개발된 system의 적용대상지역은 상기 18곳 중 시급하고 효과가 큰 곳으로 우선 적용 대상 지역으로 정하였다. 그림 5에서 보여주는 것과 같이 적용대상지역은 가공송전선로 계통으로서 한쪽은 345kV 서서울S/S와 연결되어 한쪽계통 고장으로 인한 반월변전소 정전시 타계통으로 절제하여도 송전선로 공급능력이 충분하며 가공송전선로 계통으로서 2회선 동시고장으로 인한 정전발생 가능성이 매우 높은 지역이다.

3. 결 론

본 논문에서는 변전소 정전자동복구 알고리즘을 이용하여 고장용량 초과 등으로 인한 154kV Loop 분리 계통에서 불시의 정전발생시 운전원을 대신하여 자동으로 정전을 복구하는 방법을 제시하였다.

알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 반월계통에서 GPS를 이용하여 다양한 모의시험을 시행한 결과 고장 구간 판정 및 분리, 정전복구작업이 정확히 이루어짐을 알 수 있었다. 또한 '00.12.26 반월S/S에서 약 7,000kW 부하의 정전을 이용한 실계통 실증시험 결과 10초만에 정전이 자동으로 복구되어 알고리즘 및 시스템의 신뢰성을 입증하였다. 154kV급 이상 대규모 전력 계통에서의 정전 자동복구시스템 실계통 실증시험 성공은 국내 최초이며 이와 같은 상황에서 변전소 근무자가 조작하였다면 수 분내지 십 여분 이상의 정전시간이 발생되었을 것이다.

본 시스템을 반월 계통에 운전함으로써 반월, 일동, 안산 지역의 광역정전 시 신속한 복구로 이 지역 전력공급 신뢰도 향상에 크게 기여할 수 있게 되었다. 그리고 반월S/S 차단기 교체비용 6.4억원을 절감하는 경제적 성과를 올렸다. 추후 유사계통에 확대 적용 시 신속복구에 따른 이득은 상당할 것이다. 또한 154kV 계통 고장용량의 지속적인 증가로 모션분리 및 선로분리 운전개소가 늘어나는 추세이므로 본 시스템의 실계통 시범적용 결과가 큰 도움을 줄 것으로 기대된다. 향후 반월 계통 시범 적용 결과에 따라 타 지역에 확대 보급될 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 전력연구원, "154kV 방사상 운전방식 적용에 따른 공급신뢰도 향상방안 연구(최종보고서)", pp.113-120, 1996.10
- [2] 전력연구원, "송전선로 자동복구 시스템 표준화 및 적용기술에 관한 연구 (최종보고서)", pp.52-59, 2000.2
- [3] G. Morin, "Service Restoration Following a Major Failure on the Hydroquebec Power System", IEEE Trans. PWRD - 2, NO 2, 454(April, 1987)
- [4] 추진부, 홍순천외5, "Development and Testing of an Automatic Power Restoration System: Application of a Real-time Power System Simulator", International Electric Research Exchange workshop 1999.9
- [5] M. M. Adibi, "Power System Restoration - The Second Task Force Report", IEEE Trans. PWRD - 2, NO 2, 927(Nov. 1987)