

SPS의 보호동작과 우리나라 계통보호설비 현황

박종영, 박종근, 추진부, 장병대, 강계희, 양정재
 서울대학교, 전력연구원, 한국전력거래소

Protection Actions of SPS and SPS in Korea Power System

Jong-young Park, Jong-keun Park, Jin-bu Chu, Byung-tae Jang, Gye-hee Kang, Jung-jae Yang
 Seoul National Univ., Korea Electric Power Research Institute(KEPRI), Korea Power Exchange(KPX)

Abstract - 긴급보호제어시스템(SPS, Special Protection System)은 일반적인 보호동작 범위를 벗어난 외란에 대해서 계통 전지역의 보호를 목적으로 하는 광역시스템 보호기술이다. 따라서 SPS는 외란 시에 계통 장비의 보호보다는 계통을 보호함으로써 전력 공급능력 향상에 주안점을 두게 된다. SPS는 자주 동작하지 않고 평소에는 대기 상태로 있으며, 긴급한 동작이 요구되기 때문에 많은 경우에 그 동작이 미리 결정되어 있다. SPS는 입력변수나 전력계통에의 영향에 따라 분류할 수 있는데, 입력변수에 따라서는 계통 응답에 기초한 SPS와 사고에 기초한 SPS로 나눌 수 있다. 발전기 탈락, 부하 차단이 SPS의 주요 보호 동작이며 이 외에 가스터빈이나 양수발전기 기동, AGC 제어, HVDC 고속전력변환, 분로기기의 자동스위칭 등의 제어 동작이 있다. 우리나라의 경우에는 주로 동기탈조 방지를 위한 발전기 탈락의 동작을 하는 SPS가 설치, 운전되고 있다.

센터와 변전소간 통신 채널이 필수적이다. 또 SPS는 운용자의 조작이 없이 모든 동작을 자동으로 수행한다. SPS의 사용 목적을 살펴보면 다음과 같다. SPS를 사용함으로써 앞서 말한 바와 같이 전력 계통의 안정도를 유지하면서 송전 전력의 한계를 증가시킬 수 있고, 이를 통해 계통의 경제성과 효율을 향상시키게 된다. 또한 송전 한계를 넘어서는 외란에 대한 일시적인 보상이 가능하며, 계통 붕괴를 야기하는 사고에 대해서 계통의 안정도를 높이는 역할을 한다. 설비 건설의 지연이 생길 경우에는 SPS를 통해서 설비 건설이 완료될 때까지 계통 운전의 한계를 보상하게 된다.

1. 서 론

현대의 전력계통에 있어서 전력계통의 규모가 커지고 복잡화, 광역화됨에 따라 발전, 송배전 설비 등 수많은 요소가 유기적으로 운전되고 있고, 이에 따라 송전선로 고장, 발전기 탈락 등의 외란이 생겼을 때 광역전전 발생의 가능성이 높아지고 있다. 이와 같은 위험성에 대한 대비와 기술 환경의 변화에 따라서 보호대상을 대규모 전력계통 시스템으로 확대하는 추세이며, 이에 따라 긴급보호제어시스템(SPS, Special Protection System) 등이 등장하고 있다. 우리나라의 경우를 살펴보면, 전력산업구조 개편에 따라서 설비 투자에 대한 감소가 예상되며, 설비 부족에 의해 계통 한계점에서의 운전 비중이 현재보다 높아질 것으로 보인다. 그 결과로 인해 사고나 기타 이유에 의한 외란이 발생할 경우 안정도의 문제나 고장파급의 가능성이 더욱 문제가 될 것으로 보인다.

현재 SPS는 캐나다, 유럽, 일본 등에서 운전되고 있으며, 각 전력계통의 특성에 따라 매우 다양한 모습을 보이고 있다. 그리고 급속도로 발전하고 있는 통신기술과 기존 보호 기술 및 새로운 전력 기기의 협조를 통해 더욱 복잡하고 효율적인 시스템이 설계, 운용되고 있다. 이 논문에서는 기본적인 SPS의 보호 동작을 살펴보고, 우리나라에서 운용되고 있는 SPS에 해당하는 보호 시스템에 대해 살펴보고자 하겠다.

2. SPS의 개념과 목적

SPS는 사고 등에 의한 외란이 발생했을 때 계통 장비의 보호보다는 계통 보호를 통하여 전력계통 공급능력 향상에 주안점을 둔 보호시스템으로서, 일반적인 보호동작 범위를 벗어난 외란에 대해 계통 보호를 시행하는 시스템이다.[1] 또한 통신을 통한 다중 신호 제어의 협조로 계통 전지역에서 운용할 수 있는 광역시스템으로서 계통 전지역을 그 보호 대상으로 한다. 최근의 추세는 계통보호와 제어 기능을 병합하는 추세이며, 따라서 중앙 제어

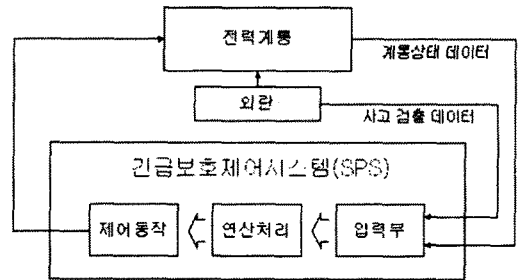


그림 1. SPS의 일반적인 구조

위 그림은 SPS의 일반적인 구조를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이, SPS는 계통의 상태나 또는 외란의 직접적인 검출을 통해서 사고를 판단한 다음 연산을 통하여 동작을 결정해 계통에 대한 보호 동작을 실행하게 된다.

3. SPS의 보호동작의 종류

SPS의 제어 동작은 전력계통 제어의 거의 모든 동작을 포함한다고 말할 수 있다. 그 중에서 추가 되는 동작은 동기탈조 방지를 위한 발전기의 탈락과 전압 붕괴등을 예방하기 위한 부하 차단이라고 할 수 있다.[1] 대표적인 제어 동작들에 대해서 알아보자.

3.1 발전기 탈락

발전기 탈락은 널리 사용되는 SPS의 제어동작 중의 하나이다. 선로 사고 등에 의해 발전기 주변의 송전용량이 급격히 작아지는 경우 선로 과부하나 발전기의 동기탈조가 일어날 수 있는데, 이것을 방지하기 위해 발전기를 탈락시켜서 계통에 투입되는 전력을 줄이게 된다. (그림 2) 이 때 부족한 부하량은 계통의 예비력을 통해서 충당하게 된다. 이렇게 발전기탈락을 통해서 송전계통의 일정한 부분으로의 전력전송량을 감소시켜 과부하나 전압안정도 문제를 해결하게 된다. 발전기 탈락의 문제점은 발전기의 전기적, 기계적 부하에 갑작스런 변화가 생겨 이로 인해 발전기의 수명 단축을 야기할 수 있다. 이 밖에 이너서가 크지 않은 화력발전기의 경우 터

빈고속밸빙(Turbine Fast Valving)을 이용하기도 한다.

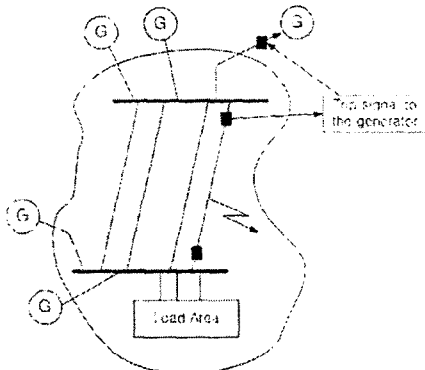


그림 2. 선로 고장시 발전기 탈락

3.2 부하 차단 시스템

부하차단은 가장 일반적인 SPS의 제어동작이라고 할 수 있으며, 크게 저주파수 부하차단 시스템 (Under Frequency Load Shedding, UFLS)와 저전압 부하차단 시스템 (Under Voltage Load Shedding, UVLS)의 두가지 시스템이 있다.

저주파수 부하차단 시스템은 계통 주파수의 감소를 유발시킬 수 있는 외란에 대해서 계통의 안전도(security)를 유지하기 위한 방법이다. 발전력의 손실이나 전력을 받아들이는 송전선의 손실이 생길 경우, UFLS 기법은 가용 발전력 내에서 안전하게 공급할 수 있는 수준까지 부하를 줄이게 된다. 부하차단은 주파수 값이 미리 지정된 임계값 이하로 떨어지거나 df/dt 값이 지정된 값을 넘으면 동작하도록 설계된 계전기에 의해 이루어진다.

대규모의 계통에 있어서 부하차단에 의한 급격하고 심각한 수급불균형은 큰 문제를 야기시킬 수 있기 때문에 UFLS 기어의 조정이 필수적이다. 따라서 전기 사업사이에 적절한 부하 차단을 제공하는 통일된 주파수 계획이 상호연결된 계통들에게 적용되어야 한다. 여러 가지 부하 차단 장비들 중에서 가장 빠른 장비만 동작하는 것을 막기 위해서 그 운전시간이 규격화 되어야 한다.

UFLS의 동작 후 계통에 과도 차단에 의해 전력과잉이 생겨나면 계통주파수가 상승하여 발전 유닛들이 과속 방지장치에 의해 분리될 수 있으므로 차단량이 잘 결정되어야 한다. 그리고 계통의 차단된 부분의 분로커패시터는 심각한 과전압을 야기시킬 수 있으므로 분로커패시터에 자동 과전압 방지 장치를 설치하거나 UFLS 시스템에 통합되어서 트립되어야 할 것이다.

과부하가 있고, 무효전력 공급에 한계가 있는 전력계통의 경우 전압불안정에 취약할 수 있다. 이런 계통에서 다른 보호 방법이 모두 실패해서 전압붕괴에 임박한 경우 UVLS에 의한 부하차단은 계통의 안정성을 유지하게 해준다. UVLS는 UFLS와 유사하며, 비교적 작은 비용으로 계통붕괴를 막아주는 수단이라 할 수 있다. 보통 UVLS는 변전소에서 저전압계전기를 이용해서 동작하게 된다. UVLS는 UFLS에 비해 차단되어야 하는 부하의 특성과 위치가 중요하므로, 차단 부하의 종류를 신중하게 선택해야 한다.

3.3 계통분리

제어계통의 분리는 발전손실을 수반하는 심각한 외란에 대해서, 또는 두 지역 간의 불안정 가능성이 있을 때 전력계통을 보호하기 위한 최후의 수단이라 할 수 있다. 지역 간의 불안정은 보통 그 사이의 연결 선로의 조류량의 갑작스런 변화로부터 알 수 있다. 그러나 연결된 계

통의 규모가 커짐에 따라서 적절한 분리점을 찾기가 어렵고, 다른 모든 계통의 제한 조건들을 위배하지 않는 분리가 어렵기 때문에 계통보호의 방법으로서 계통보호가 널리 쓰이고 있지는 않다.

계통분리는 부하 차단 시스템이 계통주파수 감소 등을 처리하는데 실패했을 때 실행되게 되는데, 계통분리를 실행했을 경우 가장 중요한 것은 분리된 각 시스템이 병렬적으로 잘 운전되어야 한다는 것이다. 분리된 각 시스템의 설비들은 연결된 두 시스템을 안전하게 운전하는데 중요한 역할을 할 것이기 때문에, 되도록이면 계통을 분리하지 않는 것이 바람직하다. 그러나 계통 운영자가 연결된 상태로 운전하는 것이 계통을 위협하게 한다고 판단하면, 자신의 계통을 보호하기 위해 필요한 동작을 하게 될 것이다.

3.4 HVDC 제어

HVDC는 제어가 매우 용이한 기기이며, 이러한 특성은 AC 시스템의 과도안정도를 향상시키는데 이용될 수 있다. HVDC를 통해 전달되는 전력조류는 컨버터의 제어를 통해 변환시키게 되는데, 이러한 HVDC의 변환은 각 컨버터를 통한 유효, 무효전력의 투입을 통해 강력한 안정화장치의 역할을 가능하게 한다.

선로사고 등이 일어났을 경우 발전기는 가속력에 의해 변화된 각도로 진동 현상이 일어나게 되는데, 이러한 진동이 감소되지 않으면 계통에 불안정 현상이 일어나게 된다. 이러한 과도 안정도의 향상을 위해, DC 전력의 급속한 변화나 또는 연속적인 제어를 통해 댐핑을 향상시킬 수 있다. AC 시스템에서 DC 변환의 이점은 발전기 탈락이나 부하차단의 결과와 유사하다. HVDC의 전력 변환의 제어를 통해 무효전력의 조절, 동적 AC전압 유지, 주파수 진동 감소, 과도 안정도 향상 등을 할 수 있다.

HVDC를 통한 전력 전송의 문제점은, 한 쪽의 AC 시스템의 외란이 다른 쪽에도 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 다시 말하면 한 쪽의 외란이 다른 쪽에서는 급격한 부하의 변동으로 나타나게 된다. 어떠한 보상이 주어지지 않는 한 사고가 나지 않는 계통에서는 다른 계통의 외란을 공유하기를 원치 않을 것이다. 또한 전력의 급속한 변환이 일어날 경우 DC 전력조류의 변환 동안 적절한 전압을 유지하기 위해서 각 컨버터 부근의 AC 계통에서 그에 해당하는 무효전력보상 용량을 필요로 하게 된다.

3.5 기타

SPS의 보호동작에는 위에서 언급한 보호동작 외에도 가스터빈 발전기나 양수발전기 등의 기동, AGC의 제어, 원격부하차단, 분로기기의 자동 스위칭, 계동저항 스위칭 (Braking Resistor), ULTC의 동작 등이 있다. 현재 외국에서 운전되고 있는 SPS를 보면 이들 여러 가지 보호 동작 중에서 1개, 또는 2개 이상의 동작들을 협조 운용하여 계통의 보호를 실시하고 있다.

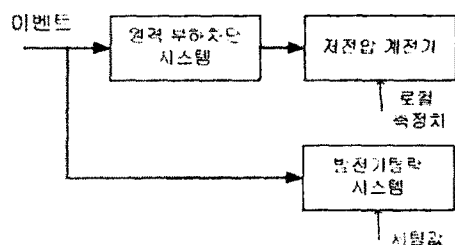


그림 3. Hydro-Quebec SPS의 개념도

외국의 SPS의 예를 살펴보면 다음과 같다. 그림 3은

캐나다에 2000년 Hydro-Quebec에 새로 설치된 SPS의 구조도이다. 이 SPS는 구조가 간단하고 신뢰할 수 있는 자동측정을 통해서 계통의 완전성을 높이고, 더욱 많은 경우의 상정사고에 대처해서 계통의 강인성을 높이기 위해 설치되었다. 이 새로운 SPS는 저주파수 계전기, 원격 부하차단시스템, 발전기탈락 시스템이 그림 3과 같이 구성되어 있다.

다음 표1은 1992 IEEE-CIGRE에서 조사한 SPS의 비율을 나타내고 있다.[3]

표 1. 주요 SPS의 비율

Types of SPS	Percentage
Generator Rejection	21.6
Load Rejection	10.8
Underfrequency Load Shedding	8.2
System Separation	6.3
Turbine Valve Control	6.3
Load & Generator Rejection	4.5
Stabilizers	4.5
HVDC Controls	3.6
Out-of-Step Relaying	2.7
Discrete Excitation Control	1.8
Dynamic Braking	1.8
Generator Runback	1.8
Var Compensation	1.8
Combination of Schemes	11.7
Others	12.6

4. 우리나라의 SPS

현재 우리나라에 설치되어 있는 SPS를 살펴보면 고장 파급방지시스템이라는 이름으로 약 8개의 SPS가 운용되고 있다. 이들 시스템을 살펴보면 계통 전지역의 보호와 안정도 유지를 목적으로 하는 본격적인 SPS라고 말하기는 어렵고, 주로 선로사고 등의 외란이 발생했을 때 국부적인 전력계통의 상태를 관찰하여 발전기의 동기탈조 방지나 선로 및 기기의 과부하 방지를 위한 시스템이다. 대표적인 예를 들어보면 다음과 같다.

4.1 신당진 S/S - 태안, 당진 T/P 간 고장파급방지장치

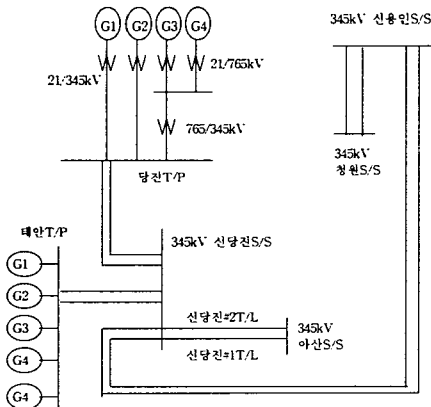


그림 4. 신당진 S/S - 태안, 당진 T/P간 계통도

이 고장파급방지장치는 그림 4의 계통에서 345kV 신

당진 #1,2 전송라인이 사고에 의해 2회선 동시 정지되었을 때 송전선로의 부족으로 인해 태안, 당진 T/P의 발전기의 출력이 나가지 못해 동기탈조가 생기는 것을 방지하기 위해 설치된 시스템이다.

이 고장방지시스템의 운전 개요는 다음과 같다. 사고가 일어났을 때 345kV 신당진 #1,2 T/L의 계전기가 동작한 후 100msec 이내에 태안 T/P나 당진 T/P의 발전기 중 일부가 상황에 따라서 적당한 개수가 결정되어 탈락되게 된다. 앞에서 살펴본 태안 T/P의 고장파급방지장치 외에도 평택 T/P, 울진 N/P, 삼천포 T/P, 제천 S/S, 영광 N/P 등 대규모 발전단지 근처에서 고장파급방지장치가 운전되고 있다.

5. 결 론

지금까지 SPS의 개념에 대해서 정리한 다음, SPS가 어떠한 동작을 통해 사고시 계통을 보호하는지 알아보았다. SPS의 보호 동작에는 발전기 트립, 부하 차단, 계통 분리, HVDC 제어 등이 있었고 이 밖에도 여러 가지 보호 동작이 있었다. 보통 현재 외국에 설치되어 있는 SPS는 이 동작들 중 2개 이상이 협조 운용되고 있는 시스템이 많다. 현재 우리나라에는 고장파급방지 시스템이라는 이름의 SPS가 운영되고 있는데, 본격적인 SPS라고 말하기는 어렵고, 주로 선로사고 등의 외란이 발생했을 때 국부적인 전력계통의 상태를 관찰하여 발전기의 동기탈조 방지나 선로 및 기기의 과부하 방지를 위한 시스템이다.

(참 고 문 헌)

- [1] *System Protection Schemes in Power Networks*, CIGRE Task Force 38.02.19
- [2] Prabha Kundur, *Power system stability and control*, McGraw-Hill, 1994
- [3] J. D. McCalley, Weihui Fu, "Reliability of Special Protection Systems," *IEEE Transactions on Power System*, November 1999, pp.1400-1406
- [4] Pierre Cote, Marc Lacroix, "Benefits of special Protection systems in Competitive Market", *PICA 2001 conference*, pp. 192-195