

## 전력계통 과부하 발생 메커니즘 최소화에 관한 연구

**김기일, 정규원, 이명희, 이청학, 이봉희**  
한국전력공사

### A Study on minimized the power system over load mechanism

Gi-il Kim, Kyu-won Jeong, Myeong-hee Lee, Chong-hak Lee, Bong-hee Lee  
Korea Electric Power Corporation (KEPCO)

**Abstract** - 본 논문에서는 전력계통 운영 중에 일어나는 송변전설비 고장시 송전선로 및 주변압기에 과부하가 발생하였을 때, 과부하 해소방법에 대해 논하였다. 또한, 주요계통의 루트단절 고장시 과부하 및 계통 저전압 방지를 위한 고장파급방지시스템 적용을 위해 울진원자력 계통을 면밀히 분석하였으며, 울진원자력 발전운전조건에 따른 과부하 해소 방안을 제시하였다.

이를 방지하기 위해서 사고파급방지 계전시스템을 설치하여 광범위, 장시간에 걸쳐 정전이 일어나지 않도록 대책을 강구하고 있다. 본 논문에서는 사고파급방지 기술 중 과부하보호 RELAY 시스템에 대하여 연구하였다.

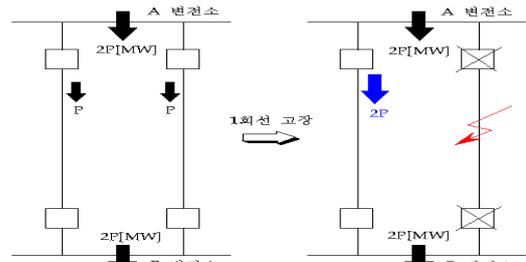
#### 1. 서 론

전기는 안전성과 편리성을 겸비한 깨끗한 에너지이고, 산업발전에 필수적으로 필요하다. 급격하게 증가하는 전력수요에 맞추어 전력설비는 대용량화, 복잡화되고 있다. 최근의 전력산업 환경은 고품질 및 고신뢰도의 전기공급을 요구하고 있는 추세이다. 우리나라에서는 이제까지 경제발전에 따른 전력수요의 신장에 대응하기위해 새로운 발전소의 신증설 및 송전선과 변전소의 증강을 진행해 왔다. 그리고 이러한 전력계통의 증강과 조절을 도모하면서 보호계전 시스템에 의한 고장파급방지 대책을 수립하여 전력계통의 안정운영에 만전을 기해왔다.

#### 2.2 과부하 발생의 메커니즘

전력설비는 장래의 수요증가나 발전소의 신증설, 폐지 등을 검토한 후, 필요한 용량을 확보하여 정상시는 상시 용량 이내에서 사용되고 있다. 그러나 전력설비는 폭풍우나 낙뢰 등의 자연현상에 노출되어 있는 경우도 있어, 때로는 사고가 발생하여 정지하는 경우도 있다. 설비의 일부가 정지하면 해당설비를 흐르고 있던 조류가 다른 건전설비에 우회하여 흘러, 이것에 의해 과부하에 이르는 경우가 있다. 전형적인 예로는 아래에 나타난 그림 2~4와 같은 상황이 발생한다.

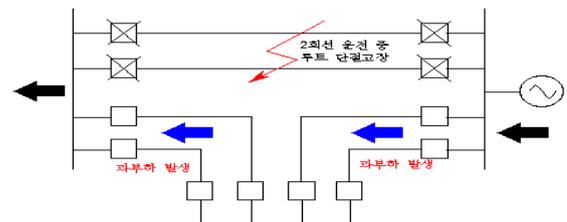
그러나 2004년의 북미 대정전 및 이탈리아 전지역 정전 등 국외에서 정전사례와 제주 HVDC 송전선로고장에 의한 제주지역 정전사고, 과천 송전선로 고장에 의한 과급고장 등과 같은 대형복합고장이 지속적으로 발생하고 있는 것을 감안하면 전력계통을 안정적으로 운용하기 위한 계통운용기술, 보호제어기술 사고파급방지기술은 매우 중요한 기술과제이다.



〈그림 2〉 2회선 송전선로 중, 1회선 고장시

따라서 본 논문에서는 이와 같은 배경에 입각하여 보호계전시스템에 의한 사고파급방지기술 중, 과부하보호기술에 대한 국내외의 보호기술을 분석하였으며, 이러한 기술을 적용하여 운전 중인 울진원자력 계통의 과부하 해소 방안을 제시하고자 한다.

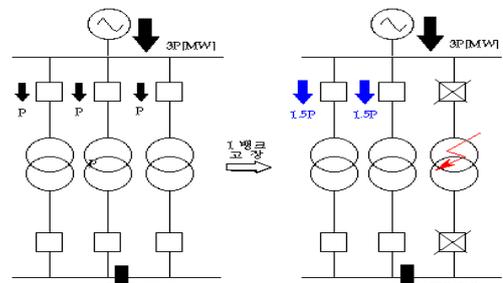
#### 2. 본 론



〈그림 3〉 루프계통에 있어서의 루트단절 고장의 예

#### 2.1 개요

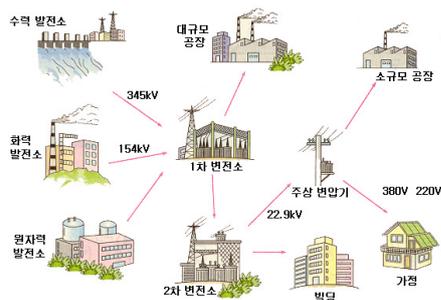
전기에너지는 그림 1에 나타난 것처럼 발전소, 변전소, 송배전선으로 구성된 전력계통에 의해 수용가에 전해진다. 전력계통에 단락이나 지락 사고가 발생했을 때에 빠르게 사고를 제거하여 공중 안전 확보, 사고설비의 손상 경감과 계통의 안정운영지속을 도모하기 위해 보호계전시스템이 설치된다.



〈그림 4〉 병렬뱅크 중 1뱅크 고장시

보호계전시스템은 사고 제거 계전시스템과 사고파급방지 계전시스템으로 크게 나뉜다. 이중 사고제거 계전시스템은 사고구간을 계통으로부터 빠르게 분리하는 것을 목적으로 송전선이나 변압기 등의 설비마다 설치하고 있다.

차단기 부동작이나 주보호RELAY 부동작 등에 의한 사고제거지연 또는 송전선 루트단절사고 등 계통구성이 사고 전과 대폭으로 변화하는 경우에는 계통탈조, 과부하, 전압불안정, 주파수 이상 등의 여러가지 이상현상을 야기시켜, 이것을 방지해두면 대규모정전으로 확대될 우려가 있다.



〈그림 1〉 전력계통의 구성

#### 2.3 과부하의 영향

과부하 현상은 전압 불안정 현상이나 주파수 이상 현상 등과 다르게 현상 그 자체에 의한 전력품질 영향은 없다. 그러나 과부하를 방지하면 온도상승에 의해 설비에 악영향이 발생, 더욱이 허용 온도를 초과한 상태에서 사용을 지속하면 설비손상이 발생하여 광범위한 정전을 일으키는 경우도 생각할 수 있다.

### 2.3.1 가공송전선

가공송전선을 과부하 운용하면 온도상승에 의해 전선이 가열된 것이 서서히 식혀지는 소둔현상으로 전선의 인장 강도가 저하하여, 사용할 수 없게 될 우려가 있다. 또한, 온도상승에 의해 전선이 늘어나 느슨해짐에 따라 공중보안상 필요로 하는 최저지상고의 확보가 곤란해져, 공중제해가 발생할 우려가 있다.

### 2.3.2 변압기

변압기의 절연물은 운전 중의 온도, 수분, 산소에 의해 노화한다. 변압기를 과부하 운용하는 것에 의해 권선 및 절연유의 온도가 상승하여 이것에 따라 변압기의 수명이 저하한다. 권선의 온도가 상승하면 절연지에 포함된 수분이 증발하려고 해서 절연유중에 기포를 만들어 절연성능이 저하될 우려가 있다.

절연유의 온도상승에 의해 기기 탱크 내압이 상승하여 붓싱 유밀부, 콘서베이터 및 방압장치 등에서의 누유가 이어지면서 환경 면에서 문제를 야기할 우려가 있다. 그리고 통전전류의 증가에 따라 탱크로의 누설자속 유입량이 증가하여 진동이 증대하여 소음에 의한 문제 발생할 우려가 있다.

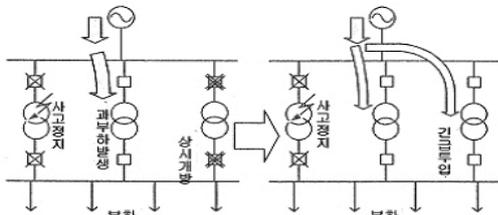
## 2.4 과부하 해소 방안

전력설비는 과부하에 의한 온도상승이 있어도 직접 손상을 입는 것이 아니라 최고허용온도를 넘지 않는 한, 설비의 수명손실을 약간 허용하는 것에 의해 수분 ~ 수 시간 정도는 과부하 운용이 가능하다. 따라서 이 사이에는 신속하게 조류를 조정하여 과부하를 해소함으로써 정전확대를 방지할 수 있다.

과부하해소를 위한 조류조정에는 몇 가지 방법이 있으나, 실제로는 계통구성이나 계통운용 상태에 따라 취할 수 있는 방법이 제한되어진다. 복수의 방법이 있는 경우에 대해서는 가능한 한 공급지장이나 발전지장을 수반하지 않는 방법을 우선하는 것이 기본이다. 또, 과부하 운용이 허용되는 시간이나 조류조정에 필요한 시간대 개개의 설비에서 다르기 때문에 계통 운용자에 의한 계통조작으로 대응 가능한 경우와 불가능한 경우가 있어, 후자의 경우에는 과부하 보호 RELAY시스템으로 적절한 제어를 실시할 필요가 있다.

### 2.4.1 변압기 병렬

변압기에서의 전력손실을 절감 할 목적으로 경부하시에 일부 변압기를 정지하여 운용하는 경우가 있고, 긴급시는 이것을 병렬하는 것으로 과부하를 경감, 해소한다.



〈그림 5〉 변압기 병렬에 의한 과부하 해소

### 2.4.2 가공송전선 모선병용

단락용량을 초과하는 등의 이유에 의해 상시, 모선을 분리운용하고 있는 경우로 한쪽 모선측의 설비에서 과부하가 발생하여 다른 한 쪽의 모선측 설비의 여력이 있는 경우는 모선을 병용하는 것으로 부하를 분산하여 과부하를 경감, 해소한다.

### 2.4.3 계통변환

부하를 타 계통으로 절제하는 것이 가능한 계통구성으로 절제하려는 계통에 여력이 있는 경우는 부하의 일부 또는 전부를 절제하여 과부하를 경감, 해소한다.

### 2.4.4 양수기차단

양수발전소는 전력수요가 낮은 심야의 양수운전으로 물을 못의 상류로 끌어올려두어 전력수요가 큰 낮 동안에 끌어올린 물을 이용해 발전하고 있다. 양수운전 중에는 많은 전력을 소비하고 있어, 긴급시에는 양수기를 차단하는 것으로 과부하를 경감, 해소한다.

### 2.4.5 발전기 출력 억제 및 차단

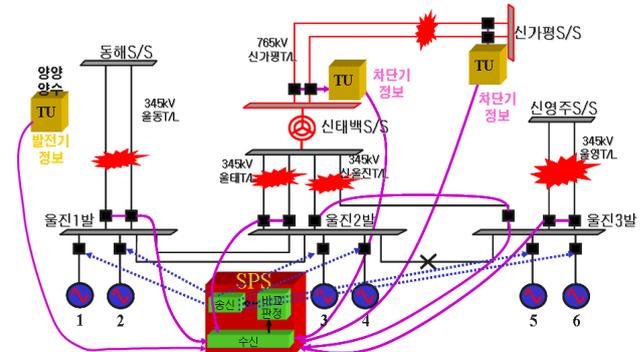
과부하조류가 흘러드는 측에 발전기가 있는 경우는 이 발전기의 출력을 증가하거나 발전기의 병렬이 가능하다면 이것을 병렬하는 것으로 과부하를 경감, 해소한다. 또는 이와 반대로 과부하조류를 흘려보내는 쪽에 발전기가 있는 경우는 이 발전기출력을 억제, 또는 차단하는 것으로 과부하를 경감, 해소한다.

### 2.4.6 부하제한 및 차단

위의 방법에 의해도 과부하해소가 곤란한 경우에는 부하의 일부를 제한하여 과부하를 경감, 해소하여 광범위한 사고파급, 대규모정전을 방지한다. 그럼에도 불구하고 과부하가 해소되지 않는 경우는 설비 손상에 따른 정전 범위 확대와 복구의 지연(장기화)을 피하기 위해 최종적으로 과부하 설비를 차단한다.

## 2.5 고장파급방지시스템의 적용

대규모의 과부하 등은 2.4항과 같은 과부하 해소 방안으로 고장파급방지시스템을 적용하고 있다.



〈그림 6〉 울진원자력 관련 전력계통 현황

우리나라 계통에서 부하차단 방법은 크게 주요 간선계통 고장 발생시 과부하에 의한 전압불안정 방지를 위하여 부하를 차단하는 방법과 대용량 발전소 연계용 송전선로 고장 발생시 발전기의 과도불안정을 해소하기 위하여 발전기를 차단하는 방법을 적용하고 있다. 그림6은 발전기 과도불안정 해소를 위하여 발전기를 차단하는 시스템 중의 하나인 울진원자력 발전소를 연계하는 송전선로 고장시 발전기 운전 조건에 따라 일부 발전기를 차단하여 발전기의 과도안정도를 향상시키고 있다.

울진원자력 발전소는 총6기로 5,900MW의 발전력을 상시 발전하여 동해S/S(울동T/L)로 1,600MW, 신영주S/S(울영T/L)로 1,600MW, 신태백S/S(울태, 신울진T/L)로 2,300MW를 송전하고 있다. 표1은 상정고장시 울진원자력 발전소의 발전기 운전 조건에 별 인출 송전선로 과부하 해소와 발전기 과도안정도 향상을 위한 조치내용을 나타내었다.

〈표 1〉 울진원자력 발전기 운전조건에 따른 과부하 해소 방안

발전기 운전대수	상 정 고 장	조 치 내 용
울진 6대 운전	765kV 신태백#1,2T/L Trip	울진,2중 1대, 3,4중 1대 차단
	345kV 울동#1,2T/L Trip	울진 1,2중 1대 차단
	345kV 울영#1,2T/L Trip 또는 신울진#1,2T/L Trip	울진 5, 6중 1대 차단 울진 1~4중 1대 차단
울진6대, 양양양수 4대	345kV 동해#1,2T/L Trip	양양양수 1대 차단
울진 5대 운전	765kV 신태백#1,2T/L Trip	울진 3,4중 1대 차단
	345kV 울영#1,2T/L Trip	울진 5,6중 1대 차단

위와 같은 고장파급장치의 오동작 또는 부동작은 대규모 공급지장과 광역계통으로 고장이 파급되므로 시스템의 안정성을 위해 장치반의 규격을 표준화하여 구매규격을 제정하였으며, 시스템 입력요소인 CT, PT, CB 접점, 통신장치, 전송로 등을 2계열화하였다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 전력계통 운영 중에 일어나는 송전선설비 고장시 송전선로 및 주변압기에 과부하가 발생하였을 때, 과부하 해소방법에 대해 논하였다. 또한, 주요계통의 루트단절 고장시 과부하 및 계통 저전압 방지를 위해 고장파급방지시스템 적용을 위해 울진원자력 계통을 면밀히 분석하였으며, 울진원자력 발전운전조건에 따른 과부하 해소 방안을 제시하였다. 고장파급장치의 신뢰성 제고를 위해 전력계통 특성을 보다 면밀히 분석하고 운전 중 오작동에 의한 정전 발생치 않도록 특별한 관리와 운전방법이 필요하다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 일본 전기학회 기술보고서 제1069호 (2006.10월)
- [2] 울진원자력계통 고장파급방지시스템 설치 (한전, 2003.11월)