

현장엔지니어시리즈 1

단락전류 억제 기술의 신기술

역/대한전기기사협회 기술실

머 리 말

전력계통 규모의 확대와 계통의 광역 연계의 강화에 따라 단락전류가 해마다 증가하고 있는데, 그 경향은 발전소 규모의 증대와 전원입지의 집중화에 따라 더욱 증대되고 있어 계통 안정도와 함께 전력계통의 계획·운용상 중요한 과제가 되고 있다.

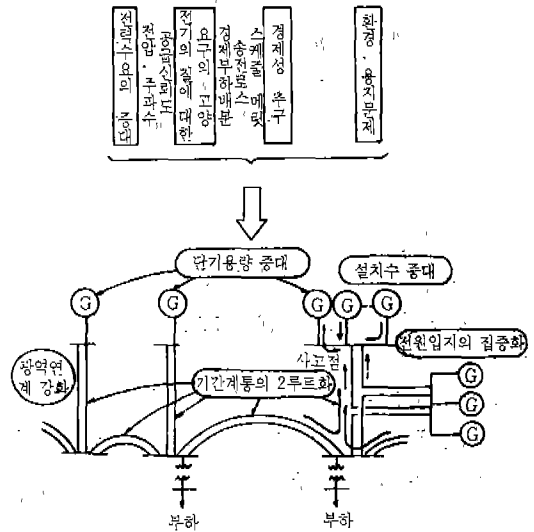
미국과 같이 대용량 차단기의 개발에 의해 이에 대응하고 있는 예도 있지만 시설 코스트·전자유도장해 등과 같은 여러 문제도 고려할 필요가 있으며, 장래 계통의 변천을 바라 본 종합적인 대응책이 세워져야 한다.

여기서는 단락전류 증대의 원인과 이에 수반되는 문제점 및 단락전류 억제기술의 현상에 대해서 언급하기로 한다.

1. 단락전류 증대의 요인

전력 수요는 해마다 증가 일로를 더듬고 있다. 또한 눈부신 성장을 계속하는 고도 정보화사회에 있어서는 전기에의 의존도는 상당히 높아 무정전 공급은 물론이고 전압이나 주파수 변동이 적은 질이 높은 전기에 대한 요구가 한층 높아지고 있다.

전기설비 및 수송설비의 계획·운용에 있어서는 이와 같은 양과 질에 대한 요구에 대응하면서 경제성을 추구한 대응책이 세워지고 있지만 <그림 1>과 같이 결과적으로는 단락전류를 증대시키는 요인이 되고 있다.



<그림 1> 단락전류증대의 요인

(1) 전원설비

(a) 발전기의 단기용량 증대

열 효율이 높은 대용량 화력·원자력을 주류로 하여 전원이 개발되어 단기용량이 커지고 있다. 또, 베이스 부하용으로서의 상기 전원을 효과적으로 운전시킬 목적으로 양수발전소가 건설되었다.

(b) 전원입지의 집중화

본래 전력 수요의 분포에 맞추어 전원의 과대한 집중을 피하고 적절한 분산 배치가 바람직하지만 지역사회의 환경 보전이나 안전성에 대한 의식이 높아

저 용지 확보가 곤란해지고 있다. 이 때문에 1발전소당의 발전기 설치 대수의 증가와 발전소의 편재화(집중화) 경향으로, 특히 발전소 근방의 단락전류가 증대하고 있다.

(2) 수송설비

(a) 기간계통의 2회선 2루트화

전원입지의 집중화에 따라 기간계통은 전력 수송의 굵은 파이프로서 중요한 역할을 담당하고 있으며, 공급 신뢰도, 전원 운용의 효율화면에서 2회선 2루트화에 의한 연계가 추진되었다.

(b) 광역 연계의 강화

계통 연계의 강화는 전국의 전력계통을 교류 또는 직류 연계한 하나의 큰 계통으로서 운용되고 있다.

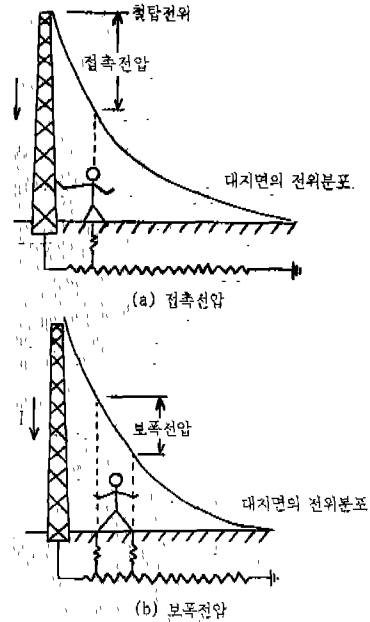
2. 단락전류 증대에 수반되는 문제점

(1) 건설비의 증대

단락전류가 증대하면 차단기, 단로기, 계기용 변류기(CT) 등의 직류기구나 모선 등이 대전류에 견디도록 대형화하고 이를 지지하는 철구도 대형의 것이 필요해져 건설비가 증대한다.

(2) 통신선예의 전자유도장해의 증가

단락전류가 증대하면 2선 지락 등 지락을 수반하



<그림 3> 철탐부근의 접촉전압·보폭전압

는 단락사고시의 지락전류도 증대한다. 이 때문에 <그림 2>와 같이 지락전류가 기유도 전류가 되어 전력선과 병행하고 있는 통신선예의 전자유도장해가 증가한다.

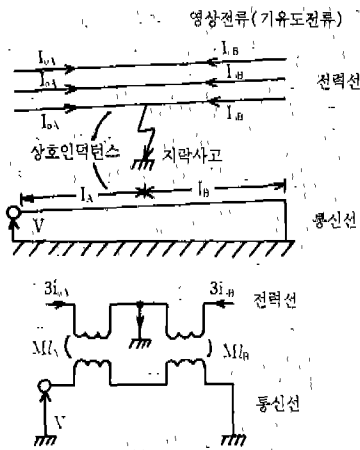
(3) 철탐 부근의 접촉전압, 보폭전압의 증가

<그림 3>과 같이 철탐 부근의 접촉전압 및 보폭전압은 지락전류에 비례하므로 지락전류가 증대하면 인축에 위해를 줄 우려도 생기게 된다.

(4) 가공선 도체의 온도 상승, 클램프 부분의 과열 고장전류의 증대에 의해 가공송전선 도체(가공지선도 포함)의 온도 상승, 클램프 부분의 과열이 생긴다.

(5) 고장지점의 손상 증대

가공선에 있어서는 고장지점의 손상이 커지고 애자의 파손이나 전선 용단 등의 우려가 증대한다. 또한 지중전선로에 있어서는 케이블의 손상이 커져 복구에 큰 시간이 요하는 외에 다른 지하 매설시설예의 사고 파급의 우려가 증대한다.



단, M: 단위당 상호인덕턴스
<그림 2> 전자유도장해

3. 단락전류 억제기술의 현상

전력계통의 단락전류가 증대하면 상기한 바와 같은 여러가지 문제가 생기므로 어떠한 적절한 억제대책이 필요해지는데, 계통 안정도, 공급 신뢰도 등과 밀접한 관계가 있으므로 이것들을 종합적으로 감안한 대책으로 할 필요가 있다. 구체적으로는 아래와 같은 대책이 세워지고 있다.

(1) 고 임피던스 기기의 채택

발전기나 변압기의 임피던스를 높게 하여 단락전류를 억제하는 방법이다. 발전기의 임피던스를 증가시키면 단락비가 작아지고 갭이 좁은 동기계(銅機械)가 된다. 동기계는

- (i) 계통의 전압 변동률이 커진다.
- (ii) 평상시의 내부 위상각 증가에 의해 안정도가 저하한다.

(iii) 누설자속이 증가하고 초기과도 임피던스, 과도 임피던스가 증가함과 동시에 GD^2 가 작아지므로 과도 안정도가 저하한다.

등과 같은 단점이 있지만

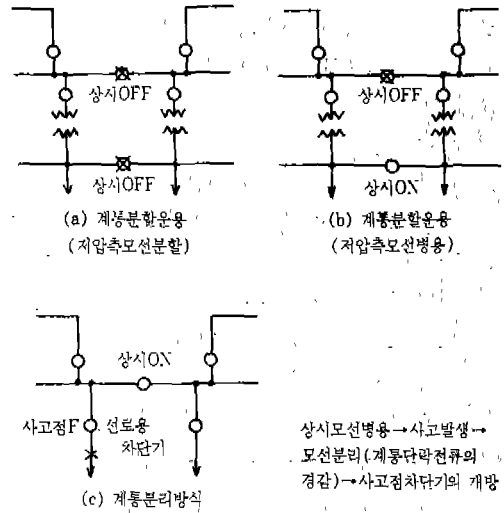
- (i) 기기가 소형이 되기 때문에 여자손, 철손, 풍손 등의 무부하손이 작아진다. 그리고 가격이 싸진다.
 - (ii) 여자기 용량이 작아진다
- 등과 같은 장점도 있으므로 이것들을 종합해서 임피던스를 결정하여야 한다.

변압기에 대해서는 종래 초고압용으로서 10[%], 12[%]의 것이 사용되고 있었으나 이것을 표준값 11[%], 14[%]로 통일하거나 대용량 화력, 원자력 승압용 주변압기의 임피던스로서 20[%]를 이용하는 방법이다.

(2) 변전소 모선 분할 등의 계통구성의 변경

변전소의 모선 분할 등에 의해 계통을 나누어 운용하여 계통 임피던스를 증가시켜 단락전류의 경감을 도모하는 것으로서 <그림 4>와 같이 크게 나누면 계통분할 운용과 계통분리방식의 두가지 방식이 있다.

(a), (b)는 공히 상시 모선을 분리해 두는 계통분



<그림 4> 계통구성의 변경에 의한 단락전류의 경감

할 운용으로 저압측 모선의 운용상태가 상이할 뿐이다. 단락전류의 억제대책으로서 가장 확실하고 간단한 방법이지만 계통 연계에 의한 이점이 손상받게 된다.

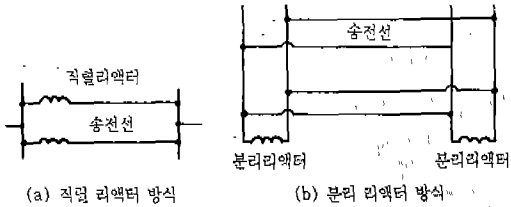
(c)는 상시 모선을 병용하고 사고가 발생했을 때 우선 모선을 분리하여 단락전류를 경감시키고 그 후에 사고점의 차단점을 개방하는 것이다.

이 방식은 계통 연계의 이점은 상실되지 않지만 모선을 분리했을 때 변전소뱅크간의 부하배분이 불평형이 되어 일부뱅크가 과부하되거나 심한 경우에는 기기 손상 등과 같은 사고를 야기시킬 우려가 있다.

또한 송전선 근처의 사고라도 모선의 분리를 기다려 사고점을 제거하게 되므로 사고 시간이 계속 길어지는 결점이 있다. 이 때문에 상시의 계통 운용상태와 보호협조에 대해서 충분한 검토가 필요하다.

(3) 한류 리액터의 채택

한류 리액터에 의해 단락전류를 억제하는 방식으로서 <그림 5>의 (a)와 같이 송전선에 직렬로 리액터를 삽입하는 방식과 (b)와 같이 모선을 몇 개



<그림 5> 한류 리액터에 의한 단락전류의 억제

로 분할하여 분리 리액터를 삽입하는 방식이 있다.

전자는 상시 부하전류가 통과하므로

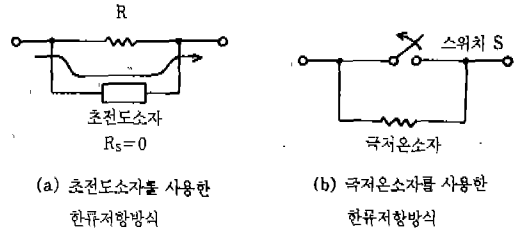
- (i) 리액터의 소요 용량이 크다.
 - (ii) 무효전력의 손실이 크다.
 - (iii) 계통 안정도의 면에서 보면 송전거리가 길어진 것에 상당하므로 엄격해지는 경향이 있다.
- 등과 같은 결점이 있지만 계통 운용상 생기는 제약은 특별히 없다.

후자는 부하 배분이 밸런스가 되어 있으면 상시의 통과전류가 작기 때문에 리액터 용량이 작아도 되지만 모선이나 송전선 정지시의 계통운용이 복잡해진다.

<표 1>은 한류 리액터가 갖는 불리한 점을 개선하기 위한 연구 예인데, 모두 상시의 리액터를 거

<표 1> 리액터스에 의한 한류방식

| | | |
|--------|--|---|
| 간이연계방식 | | 상시는 직렬 리액터의 전압강하를 각각분전압으로 보상하여 동작적으로 리액터스를 영으로 하지만 사고시에는 X_1 과 위상기의 리액터스로 단락전류를 억제한다. |
| 직접분할방식 | | 상시는 X_1 과 X_2 를 직렬 공진시켜 임피던스를 영으로 하지만 사고시에는 스위치 S를 투입하여 병렬 공진시켜 X_1/R 로 단락전류를 억제한다. |
| 특수인계장치 | | 상시는 직류 편자에 의해 리액터를 저 임피던스로 하지만 사고시는 교류분 전류가 증대되고 전심이 비포화되어 단락전류를 억제한다. |



<그림 6> 저항에 의한 한류방식

의 영으로 유지하고 대전류가 흘렀을 때만 한류효과를 갖게 하는 것이다.

또한 <그림 6>과 같이 리액터 대신 저항으로 단락전류를 억제하는 방식도 연구되고 있다.

(a)는 초전도 소자를 사용하는 것으로, 상시는 초전도 소자($R_s=0$)에 전류를 흘리지만 사고시에는 초전도 소자에 자계를 가하여 상전도로 이행시킴으로써 전류를 억제하는 것이다.

(b)는 극저온 소자를 사용하는 것으로, 사고시 스위치 S를 열고 극저온 소자에 전류를 흘려 발열에 의해 저항값이 증가하여 전류를 억제하는 것이다. <표 1>, <그림 6>의 대부분의 방식이 연구의 영역을 벗어나지 않고 있는 흥미있는 시도이다.

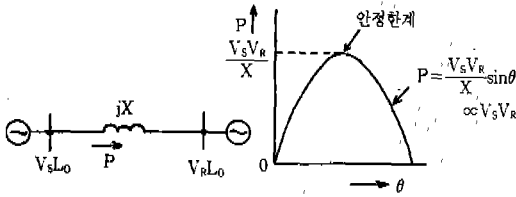
(4) 상위 전압계급 도입에 의한 계통의 분할

전술한 (1)~(3)의 대책이 잠정적 내지는 국부적인 효과를 기대하는 것인데 비해 상위 전압계급을 도입하여 종래 계통을 분할하는 방법은 발본적인 대책으로서 가장 효과가 기대되는 것이다.

단락전류 억제만을 위해 상위 전압계급을 도입한다면 건설비가 추가되어 이점이 적지만 <그림 8>과 같이 계통 안정도가 향상되어 송전선의 1루트당의 송전 전력을 비약적으로 증가시킬 수 있기 때문에 계통규모의 확대에 맞추어 단락전류 억제와 계통 안정도의 확보 두가지를 겨냥한 대책으로서 채택되고 있다.

(5) 직류 송전기술의 도입에 의한 계통의 분할

직류 송전은 유효전력은 공급하지만 무효전력은



<그림 8> 송전전압과 계통안정도

전달하지 않는다.

단락전류의 대부분은 무효전력이므로 무효계통 일부에 직류계를 채택하여 계통용량을 증강하면 단락전류의 증가가 없다.

교직 연계계통으로서 교류계 사고시에 직류전류를 제어함으로써 단락전류 억제효과를 더욱 높일 수가 있다. 또한 기존의 교류계통을 얼마만큼의 적정규모를 분할하여 직류계통으로 연계하면 전체로서의 계통용량을 바꾸지 않고 단락전류를 억제할 수가 있다.

후자의 경우 동일 구내에 순·역 변환장치를 설치하고 직류 송전선 내지 양 변환장치를 접속하는 이

른바 back-to-back 접속이 유력하다. 직류 연계는 교환장치가 필요하므로 설비가 더 드는 결점이 있지만 장래적으로는 사이리스터 등의 전력용 반도체소자의 보급 확대나 GTO, SI 사이리스터의 기술 향상 등에 의해 코스트가 저하할 것으로 기대된다.

맺음말

전력계통의 단락전류 증대 요인과 이에 수반되는 문제점 및 단락전류 억제기술의 현상에 대해서 설명하였다.

단락전류를 억제하는 발본적 기술로서는 상위 전압계급의 도입과 직류 연계 등이 있지만 계통분할, 한류 리액터의 채택 등은 모두 잠정적 또는 국소적인 기술로서 계통 연계의 이점을 약간 희생하고 있으며 충분하다고는 할 수 없다.

금후 <표 1>이나 <그림 6>에서 소개한 것과 같은 상시는 계통 연계의 이점을 저해하지 않고 단락사고시에만 임피던스 소자로서 작용하여 전류를 억제하는 기술이 연구 개발되어 전력설비의 계획, 운용에 있어 유력한 무기가 될 것을 기대한다. ©

<다음호에 계속...>

너도나도 사전점검
재해없는 우리고장