

보호계전의 기초

— 고장 사고시 전류의 흐름 관계 —

남 재 경 (주)파워 토스 기술이사, 기술사

김 세 동 두원공과대학 교수/공학박사, 기술사

1. 머리말

전력계통에는 수많은 발전소, 변전소, 송배전설비 및 부하설비가 서로 복잡하게 연계되어 있기 때문에 전력계통의 어느 지점에서 고장이 발생하였을 경우 신속하게 이 고장 구간을 계통으로부터 분리시키지 않으면 과도한 고장 전류가 흐르고, 이상전압이 발생하거나 위상이 변동되어서 전력설비가 크게 손상될 뿐만 아니라 고장이 인접 구간으로 파급되어 사고의 범위가 확대되어 나간다. 특히 초고압 송·변전설비 또는 대용량 발전기로의 파급이 연속적으로 진전될 경우 전력계통 붕괴의 위험이 따르게 된다.

따라서 발전기, 변압기, 송·배전설비 및 부하 설비 등 모든 전력설비에는 그 설비의 이상 상태를 항시 감시하고 고장이 발생될 때에는 고장을 검출하여 그 설비를 전력계통으로부터 신속하게 분리시키는 보호계전 설비를 갖추어서 고장이 발생한 선로 구간이라든지 기기는 될 수 있는 대로 빨리 계통으로부터 분리해서 고장을 제거해 주도록 하고 있다.

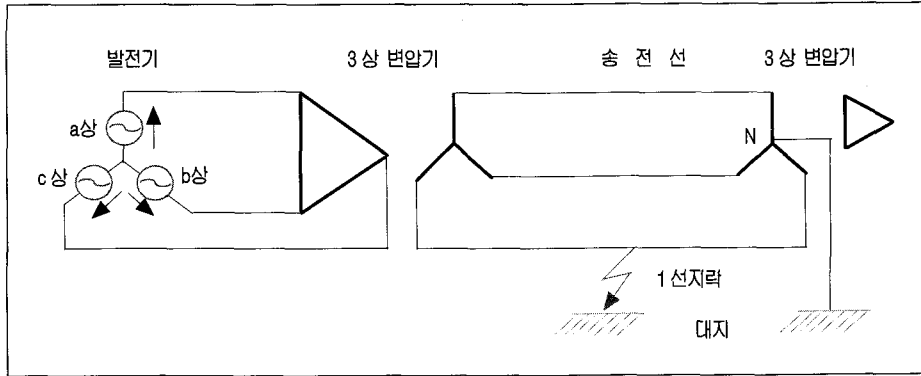
이 경우 자동으로 동작하는 차단기에 의해 고장이 제거되는 것은 물론이지만 고장의 종류, 고장 전류와 전압, 고장점의 위치 등을 정확하게 검출해서 고장구간을 고속도로 선택 차단하는 지령을 내리는 등 계통 보호를 위한 기

능을 다하기 위해서 설치된 것이 보호계전기이다.

그러나 보호계전기는 그 종류도 많고, 또한 그것을 조합시킨 여러 가지 장치가 있으며, 나아가서는 전자형이나 트랜지스터형, 디지털형 등 그야말로 다종 다양하다. 더욱이 보호계전기와 관련하여 CT(계기용 변류기), PT(계기용 변압기), 차단기 등이 그물처럼 배선되어 있는 것이 보통이기 때문에 이해하기가 어렵고, 또 우선 어렵다고 생각하는 것이 당연할지도 모른다.

이들 보호계전기가 조금은 복잡 다양하게 보여도 전력계통의 기본적인 이상 상태를 발견하는 방법이라든가, 이것을 간략하게 규격화하는 방법 등은 대개의 경우 공통적으로 되어 있다. 어떤 종류의 보호계전기라 할지라도 보호 대상인 변압기라든가 송전선 등의 전력계통, 즉 3상 회로의 이상 상태에 대한 특징을 요령있게 판별하여 발견할 수 있도록 한 것에 지나지 않는다.

그래서, 보호 계전 기술에 대해 깊이 있게 이해하기 위해서는 3상 회로의 이상 상태에 어떠한 성질이 있는지를 감각적으로라도 좋으니까 피부로 느끼도록 하는 것이 무엇보다도 중요한 일이다. 이러한 점에 있어서 전기 회로의 공식을 잘 기억하는 것보다 그 식에 포함되어 있는 전기의 성질을 우선 이해하는 것이 무엇보다 중요한 일이다. 전기의 성질을 이해하면서 보호계전기의 동작 원리를



〈그림 1〉 3상 회로에서 1선 지락고장의 예

파악한다든가 또는 회로의 이해, 더 나아가서는 실무적인 검토를 하는 것이 보호 계전 기술을 마스터하는데 무엇보다도 빠른 길이 될 것이다.

본고에서는 보호 계전 기술의 기초를 이해하기 위해서 먼저 송전선로의 1선 지락사고시 고장 전류의 흐름 관계가 어떻게 이루어지는가를 설명하고, 변압기 비율차동계전기의 회로 점검 방법 및 배전선 1선 지락 고장시의 DOGR 회로 점검 방법에 대해서 설명하고자 한다.

2. 송전선로의 1선 지락사고시 고장전류의 흐름

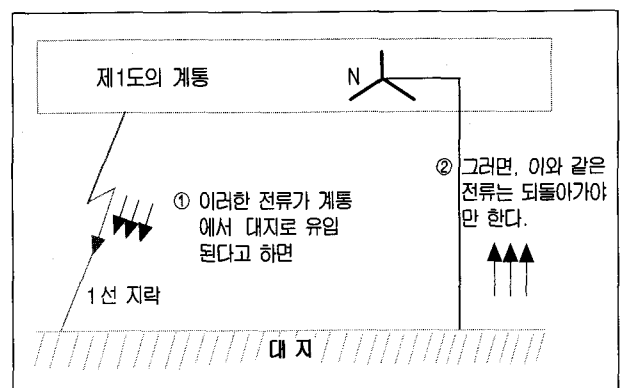
보호계전기에 대해서 알고 싶은 사람들에게 있어서 우선 3상 회로, CT회로 및 계전기의 접속회로 등에서 전류가 어떻게 흐르는가를 판별하는 것이 필요하다. 예를 들면 그림 1과 같은 송전선 계통에서 1선 지락이 발생되었을 때 전류가 어떻게 흐르는지 알아보자. 이것을 알아보는 데에는 1선 지락 사고의 계산 방법 등이 필요하겠지만, 먼저 전기에 관한 기초적 원리를 간단히 순서에 따라 생각하면 된다.

(1) 전류는 연속이다

키르히호프의 제1법칙($\sum i = 0$)에 의하면, 전기회로

의 임의의 접속점에서 들어오는 전류는 반드시 들어온 전류의 크기만큼 흘러 나간다는 것을 이해하고 있다. 이 원리를 그림 1에 적용하면, 1선 지락으로 인하여 생긴 전류는 계통에서 대지로 유입된다고 생각하면 이것은 대지로부터 또한 계통으로 되돌아가야만 한다. 이 상태를 자세히 나타내면 그림 2와 같다. 계통으로부터 대지로 흐르는 3개의 화살표와 같은 크기의 전류는 변압기의 중성점 N 점으로 흘러 들어오게 된다.

다음에는 변압기의 중성점 N점에 전류가 흘러 들어온다고 하면 변압기 3상의 각각의 코일에는 어떻게 흐르게 될까 하는 것이 문제가 된다. 전류가 3개의 화살표 모두



〈그림 2〉 고장사고시의 전류의 흐름도

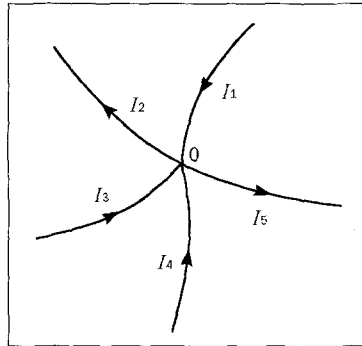
<알아보기>

임의의 분기점에 유입 또는 이로부터 유출되는 전류의 대수합은 각 순간에 있어서 0이다. 즉 분기점에 있어서 유입되는 총전류는 유출되는 총전류와 같다. 그림 3에서 분기점 0에 유입되는 전류를 정(+)으로 하고, 유출되는 전류를 부(-)로 하면 식 (1)이 성립한다.

$$I_1 - I_2 + I_3 + I_4 - I_5 = 0 \tag{1}$$

일반적으로는 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \tag{2}$$



<그림 3> 키르히호프의 전류 법칙

고장난 상(相)쪽으로 흐를까? 아니면 3개의 코일로 복잡하게 나누어져 흐를까? 그러나 이것도 그리 어렵게 생각하지 않아도 된다. 다음의 원리를 생각하여 사용하면 간단히 알 수 있다. 그것은 변압기에 흐르는 전류를 알아보는 것은 먼저 변압기에 관한 원리를 이해하여야 한다.

(2) 변압기의 하나의 코일에 전류가 흐르기 위해서는 같은 변압기의 다른 코일에 같은 암페어턴의 상쇄 전류가 흐른다

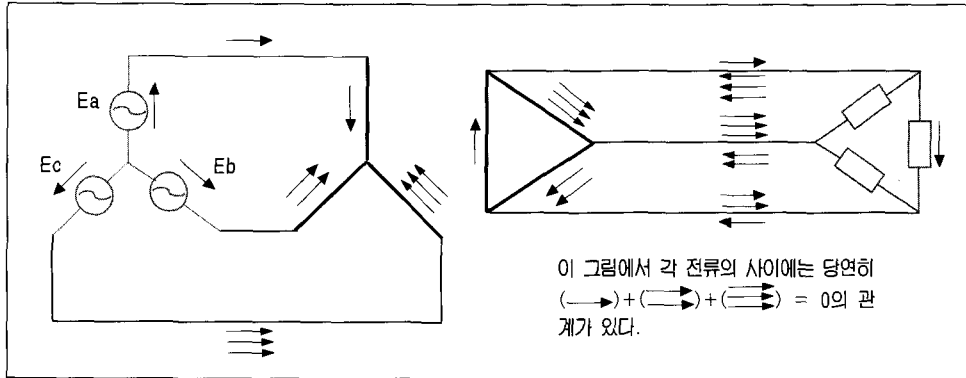
그림 4는 3상 변압기 각 상의 전류 흐름의 예를 나타낸 것이다. 3상변압기의 1차코일의 제1상에 →, 제2상에 ⇨, 제3상에 ⇩의 전류가 흐른다고 하면 2차측에도 같은 상에 상쇄되는 같은 전류가 흐른다고 생각하면 된다. 다시 말해서, 1차/2차의 권수비에 의한 전류 크기의

비는 각 상이 같은 비율이기 때문에 일반적으로는 이 권수비에 신경쓰지 않고 같은 화살표로 전류의 흐름을 구하는 편이 편리하다. 만약에 변압기의 권수비가 다를 경우에는 나중에 1차, 2차 사이나 다른 코일간에 그 권수비 환산을 하면 된다.

교류회로의 암페어턴의 법칙에서는 변성기의 여자전류를 무시할 수 있는 일이 많다. 특히 계전기 회로에서는 CT, PT, 변압기류의 회로에 널리 이용할 수 있는 기본적인 원리를 사용하게 된다.

그러면, 그림 4에서 3상 변압기의 ㄱ-△ 권선의 중성점 N에 유입된 전류는 어떻게 흐르게 되는가를 알아본다.

- ① 그림 4와 같은 전류가 흐르기 위해서는 변압기 1차 코일의 어느 방향으로 전류가 흐르지 않으면 안된다.
- ② 1차 코일에 전류가 흐르기 위해서는 2차 코일에 상



〈그림 4〉 3상 변압기 각 상의 전류 흐름의 예

왜 전류가 흐르지 않으면 안된다.

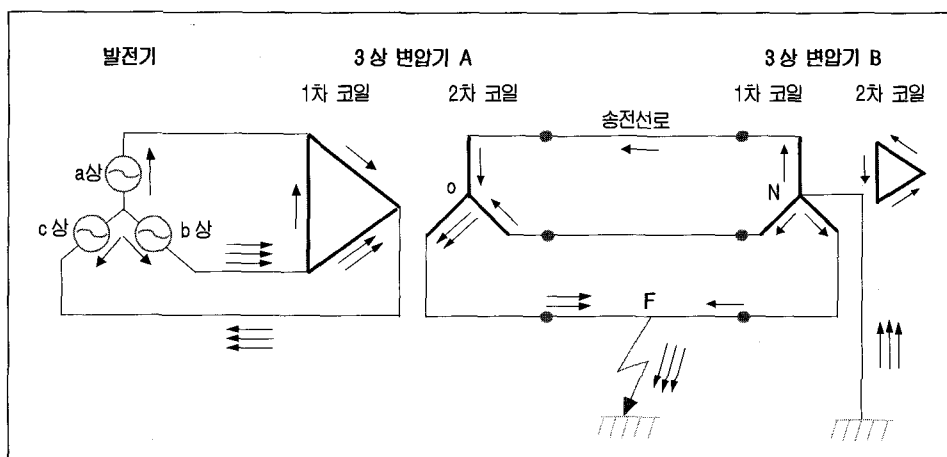
- ③ 2차 코일에 전류가 흐르려면 2차 코일 각상이 Δ 결선이고, 또 외부로 흘러갈 곳이 없기 때문에 Δ 결선 내를 지락전류와 같은 크기인 하나의 전류가 순환하는 길 밖에 없다.

따라서, 언급한 내용에 따라 그림 5와 같이 3상 변압기 B의 1차 코일 각 상에 동등하게 흐를 수 밖에 없게 되며, 3상 변압기 B의 1차에서 각 상으로 흘러나간 전류는 고장점으로 우측의 송전선을 따라 당연히 같은 전류가 각 상에 흐르게 된다. 그림 5는 그림 2에서 전류의 흐름에

대한 상세도를 나타낸 것이다.

1선 지락 사고점인 F점에서는, 즉 고장 상에서 화살표 전류 3개가 지락점으로 흘러나가고, 우측 송전선에서는 1개의 화살표 전류가 유입되기 때문에, 좌측에서는 2개의 화살표 전류가 유입되게 된다. 이것은 그대로 3상 변압기 A의 2차 코일의 중성점 O에도 똑같이 전류 연속의 원리가 성립된다.

여기서, 3상 변압기 A의 2차 코일의 전류를 알게 되면, 1차 코일에 흐르는 전류의 흐름도 알 수 있고, 또한 발전기측의 전류도 간단히 알 수 있다.



〈그림 5〉 그림 2에서의 전류의 흐름에 대한 상세도

(3) 전류는 유기전압에 따라서 생겨나고, 그 유기전압에서 흘러 나와 그 유기전압으로 되돌아간다

따라서, 그림 5와 같이 발전기 및 변압기(A) 각각에 대한 전류의 흐름을 알 수 있으며, 결국 고장점에 전류를 흘려주는 전류원은, 발전기 B-C상에서 발생한 힘에 의해 흘러나온다고 할 수 있다. 이것은 중요한 체크포인트로서 유기전압을 갖지 않는 회로에 있어서는, 결코 전류는 흐르지 않는다는 음의 법칙에 기초한 것이다.

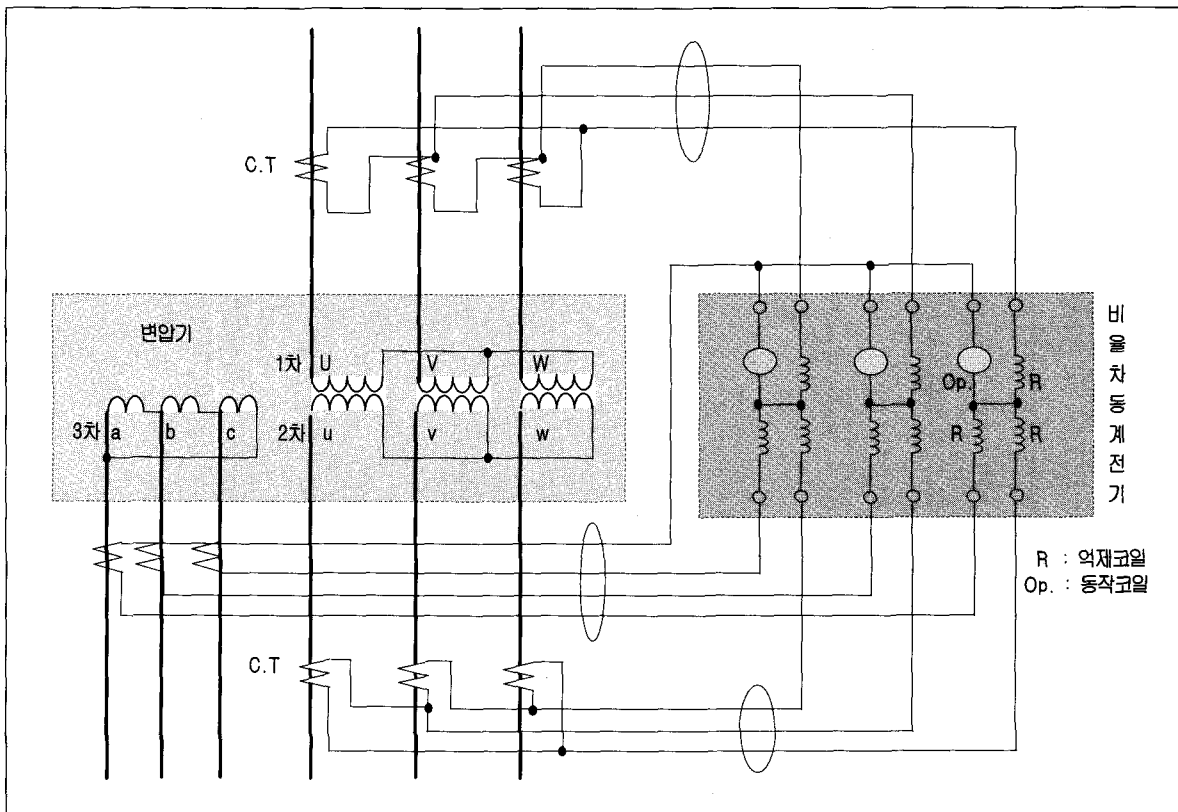
전력계통에서의 1선 지락에 의한 지락전류는 위에서 설명한 바와 같이 3상회로에 흐르는 전류는 (1), (2) 및 (3)의 원리를 이용해 보면 전류의 흐름과 흐름의 방향을 체크할 수 있다. 아무리 복잡한 회로라도 이와 같은 방법에 의해 전류의 흐름을 구할 수 있으며, 반드시 이 방법을

활용하도록 권장한다. 이 방법은 보호계전의 동작 원리를 이해하는 데 도움을 준다.

3. 변압기 비율차동계전의 회로 점검

비율차동계전은 2개 또는 그 이상의 상, 동종의 전류의 벡터차(차전류)와 출입하는 전류(부하 전류)의 비가 예정값(%)을 초과하였을 때 동작하는 계전을 말하며, 발전기 및 변압기 등의 내부 고장 보호용으로 사용되고 있다.

그림 6은 3상 3권선 변압기의 비율차동계전기 회로를 나타낸 것이며, 이 계전기 회로가 정확한지 아닌지를 점검하는 경우를 생각해 본다. 그림 6에서 변압기 1차의 U코일, V코일 및 W코일에 \rightarrow , \Rightarrow , $\Rightarrow\Rightarrow$ 의 전류가

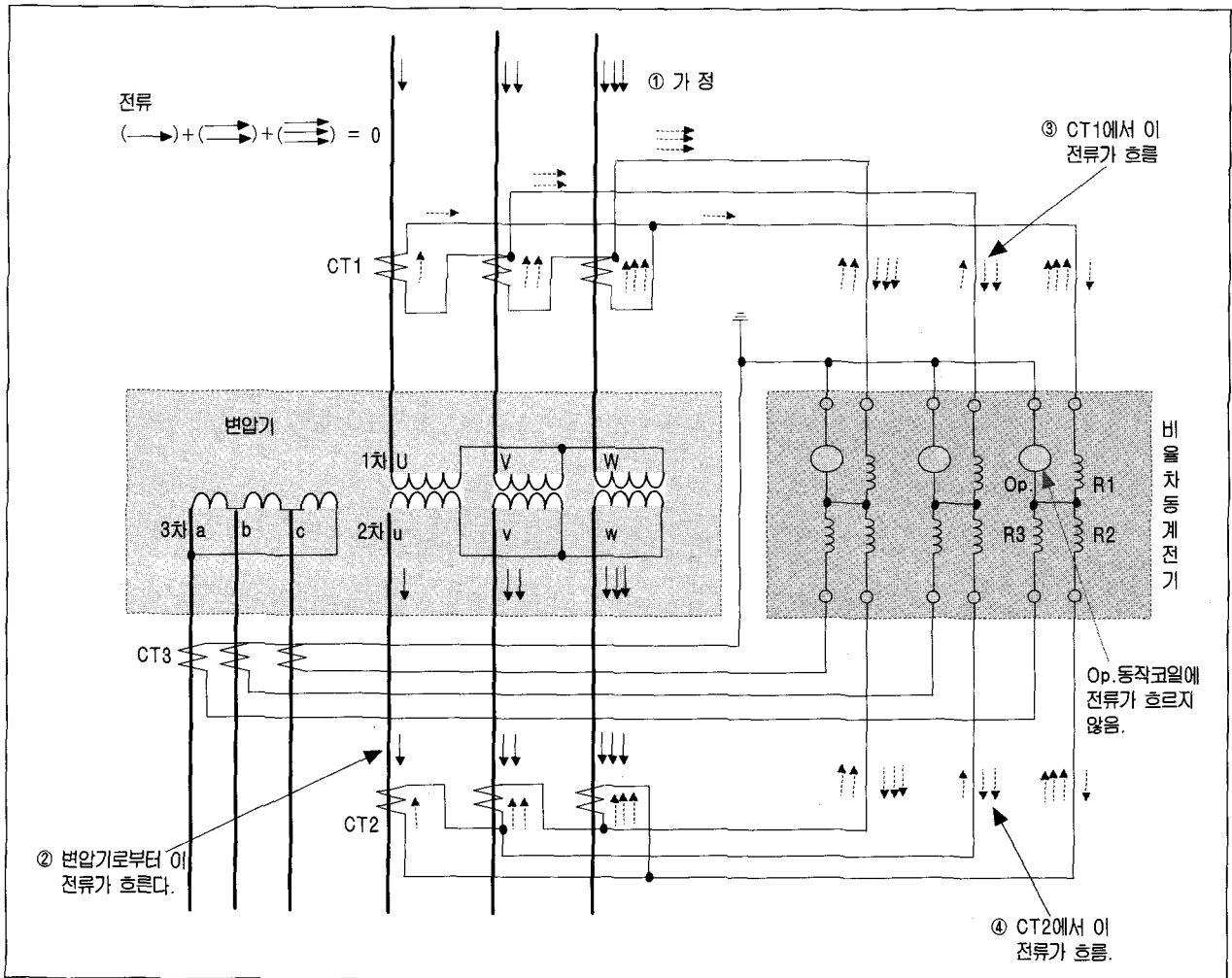


〈그림 6〉 비율차동계전의 회로 예

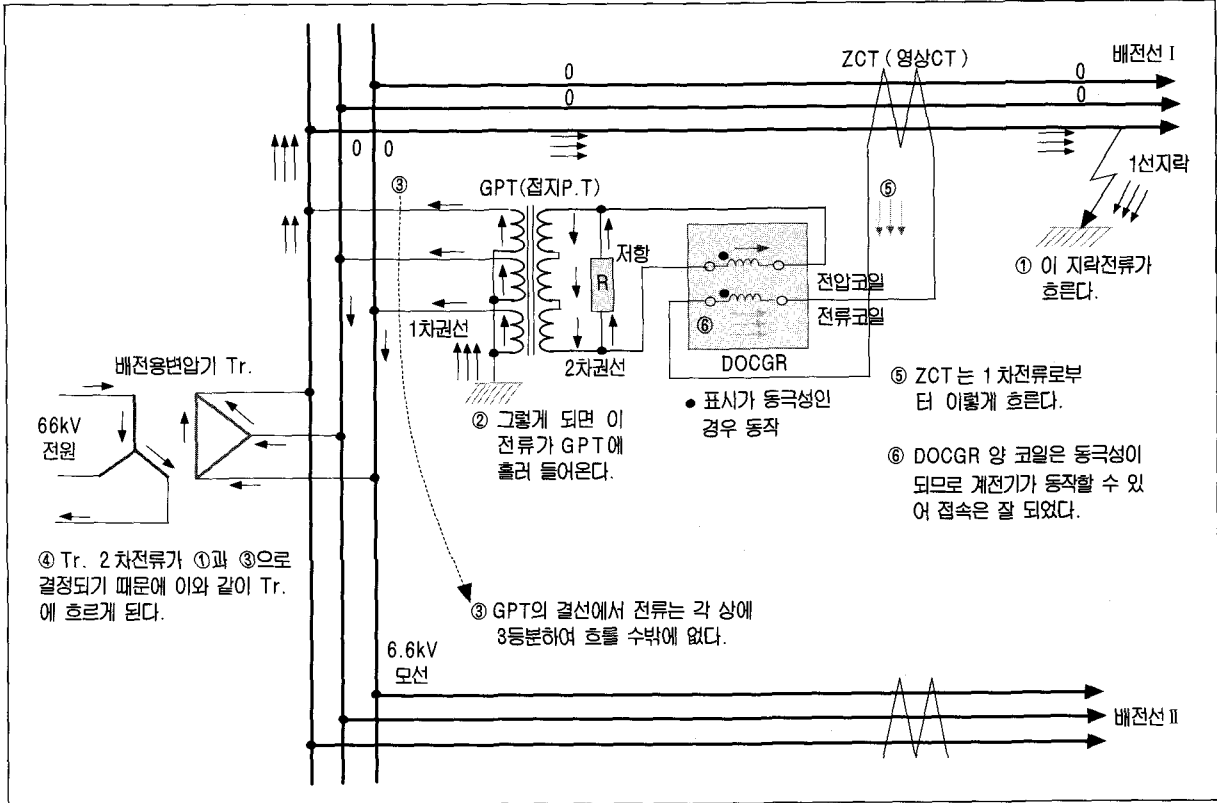
그림 7과 같이 화살표 방향으로 흐른다고 하면 변압기에 고장이 없을 경우 2차 또는 3차에는 이 전류를 상쇄하는 상쇄전류가 흘러야만 한다.

알기 쉽게 하기 위해서, 우선 먼저 이 전류의 전부가 변압기의 2차측에 흐른다고 가정하면, 변압기 전류는 2차코일 u, v 및 w 권선에 그림 7과 같이 흐르게 된다. 이들 1차, 2차 코일에 흐르는 전류는 그대로 1차측, 2차측의 CT 1차측에 흐르기 때문에 각각의 CT 2차측에는 역시 그림 7과 같이 전류가 흐름을 알 수 있다.

그러면, 비율차동계전기의 1차, 2차 억제코일에는 화살표 전류가 흐르는데 계전기의 억제 코일 R1, R2에 똑같이 관통할 뿐으로 계전기 동작코일 Op에는 어느 상의 계전기에도 전류가 흐르지 않게 된다(변압기의 1차측 및 2차측에서 나오는 전류는 당연히 그 크기도 같기 때문이다). 이것은 올바른 접속이라는 것을 증명하는 것으로 변압기에 고장이 없는 것을 전제로, 변압기 1차, 2차 사이에만 흐르는 전류는 비율차동계전기의 동작 코일에는 전혀 흐르지 않는다.



<그림 7> 변압기가 정상이고, 전류가 변압기의 1차, 2차에만 흐를 경우



〈그림 8〉 배전선 1선 지락고장시 DOCGR 회로의 전류 흐름도

따라서, 계전기 1차, 2차 권선의 결선상에서는 오동작의 우려가 없음을 나타낸다. 같은 모양으로 변압기 1차 전류가 전부 3차 코일에 흐른 경우를 체크해 보면 3차 코일의 계전기 CT 결선이 정확한가를 판명할 수 있다. 이렇게 하여 상당히 복잡한 계전기, CT 회로, 복잡한 3차권선 그리고 3상변압기 결선과의 관계를 용이하게 점검할 수 있다.

4. 배전선 1선지락 고장시 DOCGR 회로의 전류 흐름

2회선 이상의 배전선을 가지고 있는 변전소에서 지락 사고를 일으킨 배전선만을 검출하는 데에는 지락 전류의

크기만으로는 할 수 없다. 전압과 전류를 이용하여 전류의 흐름 방향을 알아야 하기 때문에 모선에 연결된 접지 변압기(GPT)에서 영상 전압을 잡고 각 회선에 설치한 영상 변류기(ZCT)에서 지락 전류를 잡아 지락 방향계 전기를 동작시킨다.

그림 8은 널리 이용되고 있는 배전선 지락보호용 DOCGR 회로의 예이다. 이 DOCGR은 해당 DOCGR을 설치하여 어느 배전선의 지락고장인 때에만 동작하도록 DOCGR의 전압코일의 전압과 전류코일에 흐르는 전류의 위상에 의해 동작력이 변화하도록 하고 있다.

그림 8에서 위상 관계가 동상인 때는 동작하고, 상이 다를 때에는 부(不)동작하게 되는 것을 이용하게 된다. 이 경우에 대해 CT 회로와 PT 회로의 결선이 정확한 지

를 점검하여 본다.

그림 8에 표시한 ①의 점에서 3개의 화살표로 표시한 고장 전류가 흐른다고 하자. 이것은 처음에 답을 알 수 없기 때문에 가정해 보는 것으로, 이 가정에서 차례 차례로 앞에서 언급한 방법에 의해서 전류의 연속 원리에 적합하도록 순차적으로 회로 각 개소의 전류를 구해 나간다.

①의 전류가 대지로 흘러들기 때문에 당연히 대지로부터 같은 전류가 이 배전 계통으로 되돌아오게 되어 ②의 전류가 GPT 1차 권선 중성점 측에서 각 1차 권선으로 흘러 들게 된다. 그리고 GPT 각 상 각 권선의 전류는 GPT의 1차측에 전류가 흘러 들기 위해서는 GPT의 2차 권선에 전류가 흐르지 않으면 안되고, 또 2차 전류는 GPT의 결선에서 각 상으로는 균등하게 흐르기 때문에, 1차측도 전류가 3등분되어 결국 그림 8의 ③과 같이 흐르게 된다.

그렇게 되면 배전용 변압기의 2차 전류가 전술한 ①의 전류와 ③의 전류로 자동적으로 결정되게 되어 66kV 계통의 전원에 의해 배전용 변압기의 2상의 철심 코일을 통해 전류가 흘러 들어옴을 알 수 있다. 따라서 이 배전 계통의 전류는 그림 8의 분포에 따라 흐르는 것이 확실해진다.

이 전류 분포에 의해서 ZCT의 2차측 전류 및 GPT 저항의 전압 강하에 의해 GPT 오픈델타 회로에 생기는 전압을 통해서 DOCGR의 동작 가능성을 알 수 있다. 그림 8의 ⑤와 ⑥에서 DOCGR의 양코일에 동극성의 전압, 전류가 주어지게 된다. 따라서 이 예제에서는 접속은

잘 되었다고 볼 수 있다.

5. 맺음말

본고에서는 보호 계전 기술의 기초를 이해하기 위해서 우선적으로 고장 사고 발생시에 전류의 흐름 관계가 어떻게 이루어지는가를 설명하고, 변압기 비울차동계전기의 회로 점검 방법 및 배전선로 1선 지락 고장시의 DOCGR 회로 점검 방법에 대해서 설명하였다.

보호계전기의 중요성은 사고가 발생하였을 때 만일에 동작하지 않을 경우를 상정한다면 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 사고점의 손상이 커질 뿐만 아니라 건전한 부분에도 그 영향이 미치게 되어 정전시키지 않아도 되는 범위까지 전력 공급 중지라는 피해를 주게 된다.

이와 같이 인체의 신경 조직과 비유될 수 있는 보호계전기 시스템은 산업 현장에서 매우 중요하게 취급되고 있는 반면에 전기기술자들로 하여금 보호 계전 기술을 습득할 수 있는 교육 여건이 매우 부족한 것으로 지적되고 있다.

그래서, 보호 계전 기술에 대해 깊이 있게 이해하기 위해서는 3상 회로의 이상 상태에 어떠한 성질이 있는지를 파악하는 것이 무엇보다도 중요한 일이다. 이러한 점에서 전기의 성질을 이해하면서 보호계전기의 동작 원리를 파악하거나 또는 회로를 이해, 더 나아가서는 실무적인 검토를 하는 것이 보호 계전 기술을 마스터하는데 무엇보다도 빠른 길이 될 것이다.

〈참 고 문 헌〉

1. 유근수, 남재경, PROTECTION RELAY TEST REPORT, (주) POWER TOS, 2001
2. 송길영, 최신 송배전공학, 동일출판사, 2001
3. 백영기 외, 전력계통 보호계전 시스템 기술의 현황과 전망, 대한전기학회 기술조사보고서, 1999
4. 신대승 편저, 보호계전시스템 기술, 기다리출판사, 1993
5. 이종률 편저, 보호 계전기 독본, 성안당, 1999
6. 植木久之, 母線と電力器機の保護繼電, 日本電氣書院, 1976