

# 불평형 고장해석시 대칭좌표법을 이용한 정상회로의 해석

김세동<두원공과대학 교수/공학박사, 기술사> · 남재경<(주)파워 토스 기술이사, 기술사>

## 1 개 요

가공송전선로 또는 지중송전선로이건 간에 사고를 전혀 일으키지 않고 운전한다는 것은 불가능한 일이다. 특히 가공송전선로는 직접 자연에 노출되어 모든 기상 조건의 영향을 받게 되므로 뇌해, 풍수해, 설해, 염진해, 기타 등으로 사고를 일으킬 우려가 많다.

송전선로에서 발생하는 사고중 가장 많은 것은 1선 지락이지만, 이밖에 선간 단락, 2선 지락, 심할 경우에는 3선 지락(단락)으로까지 진전되는 사고가 있을 뿐만 아니라 때에 따라서는 단선 사고까지 발생하는 경우도 있다.

송전선에 지락 또는 단락 사고가 발생하면 얼마만한 크기의 지락 전류 또는 단락 전류가 흐를 것인가 하는 것을 미리 알아둔다는 것은 매우 중요한 일이다. 왜냐하면 고장에 대비한 차단기의 용량 결정 또는 차단기를 동작시키기 위한 보호 계전기의 정정 등에 이를 전류값이 사용되기 때문이다.

또, 지락 전류가 대지에 흐르게 되면 이 전류에 의해서 전력선 부근을 통과하고 있는 통신선에 유도 장애를 일으키기 때문에 사전에 그 영향이 어느 정도에 달할 것인가도 알아둘 필요가 있다.

이러한 의미에서 고장 계산은 송전 계통에서 고장시의 상태를 해석하여 지락 전류라든지 건전상의 전압 상승 등을 수치 계산으로 구함으로써 고장시의 상

황에 대처할 수 있게 하는 것이라 하겠다.

3상 단락 고장처럼 각 상이 평형된 고장에서는 고장점을 중심으로 여기에 인가된 전압과 임피던스를 구해서 쉽게 고장 해석할 수 있다. 그러나, 각 상이 불평형되는 1선 지락과 같은 불평형 고장에서는 각 상에 걸리는 전압을 따로 따로 구해야 하는데, 실제적으로 고장 계산이 매우 복잡해져 대칭좌표법을 빌리지 않고서는 3상 회로의 불평형 문제를 다룰 수 없다. 즉, 비대칭성의 불평형 전압이나 전류를 대칭성의 3성분으로 분해하여 해석하는 대칭좌표법(method of symmetrical coordinate)을 이용하면 보다 용이하게 회로 해석을 할 수 있는 경우가 많다.

대칭좌표법이란 한마디로 말해서 3상 회로의 불평형 문제를 푸는 데 사용되는 계산법이다. 이것은 불평형인 전류나 전압을 그대로 취급하지 않고, 대칭적인 3개의 성분으로 나누어서 각각의 대칭분이 단독으로 존재하는 경우의 계산을 실시한 다음, 마지막으로 그들 각 성분의 계산 결과를 중첩시켜서 실제의 불평형인 값을 알고자 하는 방법이다.

그러므로, 계산 도중에는 언제나 평형 회로의 계산만 하게 되고, 각 성분의 계산이 끝난 다음 이들을 중첩함으로써 비로소 불평형 문제의 해가 얻어지게 되는 것이다. 그림 1은 대칭 좌표법을 사용해서 불평형 고장 문제를 푸는 개념도를 나타낸 것이다.

각의 성분으로 분해할 수 있음을 보여주고 있다.

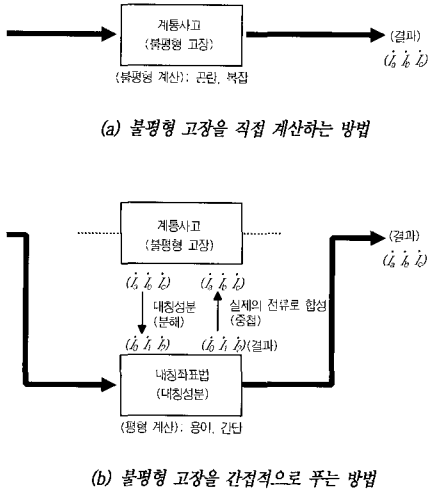


그림 1. 대칭좌표법을 이용한 계산법의 개념도

대칭좌표법이 보호 계전의 동작 관계 및 불평형 회로의 고장 계산을 검토하는데 매우 큰 도움을 주고 있으며, 본고에서는 보호 계전 기술의 기초를 이해하기 위해서 대칭좌표법의 개념과 3상 평형 상태에서의 정상 회로에 대해서 살펴 보고, 정상 상태에서의 전자 유도 및 정전 유도에 대해서 설명하고자 한다.

## 2. 대칭좌표법의 개념과 회로의 이해

### 2.1 대칭좌표법의 개념

그림 2는 상순이 abc인 평형 3상 전압 ( $V_{a1}, V_{b1}, V_{c1}$ )과 상순이 이와 반대인 평형 3상 전압 ( $V_{a2}, V_{b2}, V_{c2}$ ) 및 방향과 크기가 같은 3개의 전압 ( $V_{a0}, V_{b0}, V_{c0}$ )을 a, b, c의 같은 상(相)끼리 합성하여 하나의 불평형 3상 전압 ( $V_a, V_b, V_c$ )을 얻는 방법을 보여 주고 있다. 그러나, 이를 역으로 생각하면 그림 (d)의 불평형 3상 전압  $V_a, V_b, V_c$ 를 그림 (a), (b), (c)의 각

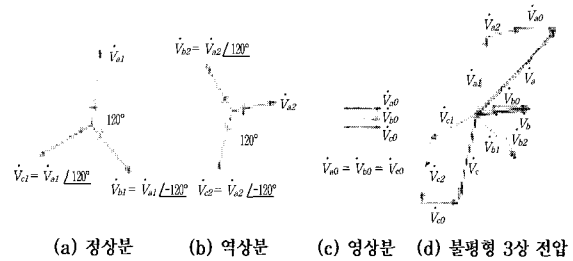


그림 2. 대칭좌표법의 개념

이제 불평형 전압  $V_a, V_b, V_c$ 로부터 기준이 되는 3 성분인  $V_{a0}, V_{a1}, V_{a2}$ 를 구하면 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \\ V_b &= V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \\ V_c &= V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \end{aligned} \quad (1)$$

또한,  $1 \angle 120^\circ = e^{j\frac{2}{3}\pi} = a$ 라 하면,  $1 \angle -120^\circ = e^{j\frac{4}{3}\pi} = a^2$ ,  $1 \angle 0^\circ = e^{j0} = a^3$ 인 관계가 있으므로 이를 이용하면 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \\ V_a &= V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2} \\ V_c &= V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $1 + a + a^2 = 0$ 인 관계가 있으므로 식 (2)의 세 식을 합하면, 우변의 제2열, 제3열의 합은 0이 되므로  $V_a + V_b + V_c = 3V_{a0}$ 로부터 식 (3)을 계산할 수 있다.

## 기술해설

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad (3)$$

그리고, 식 (2)의 제2식에  $a$ 를, 제3식에  $a^2$ 을 곱한 다음 세 식을 합하면, 우변의 제1열과 제3열의 합이 0이 되므로  $V_a + aV_b + a^2V_c = 3V_{a1}$ 로부터 식 (4)를 계산할 수 있다.

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (4)$$

또, 식 (2)의 제2식에  $a^2$ 을, 제3식에  $a$ 를 곱한 다음, 세 식을 합하면 우변의 제1열, 제2열의 합은 0이 되므로  $V_a + a^2V_b + aV_c = 3V_{a2}$ 로부터 식 (5)를 계산할 수 있다.

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (5)$$

이와 같이  $V_{a1}$ ,  $V_{a2}$ 가 결정되면  $V_{b1}$ ,  $V_{b2}$ 와,  $V_{c1}$ ,  $V_{c2}$ 는 120°씩의 위상차만을 고려하면 된다.

식 (2)에서 세 상의 공통 성분인  $V_{a0}(=V_{b0}=V_{c0})$ 를 영상분(零相分)이라 하며,  $V_{a1}$ ,  $V_{b1}$ ,  $V_{c1}$ 은 원래의 전압(불평형 전압)과 상순이 같으므로 정상분(正相分),  $V_{a2}$ ,  $V_{b2}$ ,  $V_{c2}$ 은 원래의 전압과 상순이 반대이므로 역상분(逆相分)이라 한다. 그리고, 이들 영상분, 정상분, 역상분을 총칭하여 대칭분이라고 한다.

특히, 세 전압  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$ 의 합이 0이 되는 경우에는 식 (3)으로부터 영상분은 0이 되며,  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$ 가 상순이  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 인 평형 전압의 경우  $V_b = a^2V_a$ ,  $V_c = aV_a$ 를 식 (3), (4), (5)에 대입해 보면,  $V_{a0}=0$ ,  $V_{a1}=V_a$ ,  $V_{a2}=0$ 이 됨을 알

수 있다.

이것은 평형 전압에는 영상분과 역상분의 전압이 포함되지 않음을 의미한다. 한 상의 세 성분이 결정되면 다른 상의 성분도 결정되므로 통상 불평형 전압이나 전류의 대칭분이라 하면 한 상에 대한 대칭분을 의미하기도 한다.

대칭좌표법에 의한 계산에서는 행렬이 많이 사용되므로 식 (3) ~ (5)을 행렬로 표시하면 식 (6)과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (6)$$

그리고, 식 (2)를 행렬로 표시하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

불평형 3상 전압이나 전류에는 영상분과 역상분이 포함되는 것이 보통이며, 역상분과 정상분의 크기의 비로서 불평형의 정도를 나타내는 불평형률(unbalanced factor)을 정의한다. 즉, 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{불평형률} &= \frac{|V_2|}{|V_1|} \times 100 \quad [\%] \quad \text{또는} \\ &= \frac{|I_2|}{|I_1|} \times 100 \quad [\%] \quad (8) \end{aligned}$$

## 2.2 불평형 고장사고에 대칭좌표법의 적용

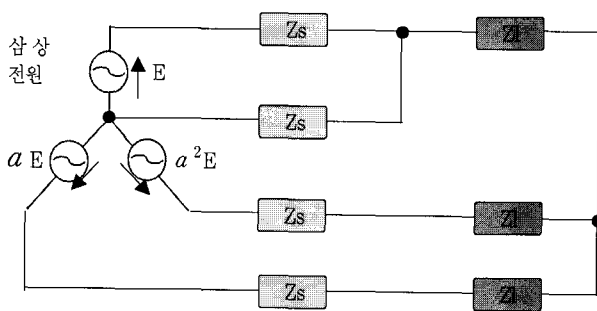
불평형 고장 사고에 대칭좌표법을 이용하는 주요 인을 들면 다음 2가지로 요약할 수 있다.

- (1) 3상 회로를 단상 회로로 치환하여, 계산이나 회로의 이해를 아주 쉽게할 수 있다.

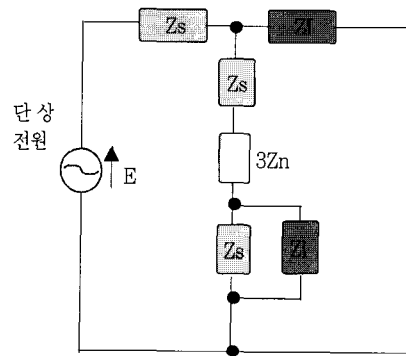
3상 회로에서 반드시 유기 전압은 A 상, B 상 및 C 상의 각각의 전압을 갖고 있다. 이와 같이 회로 중에 유기 전압이 많으면 연립방정식의 수가 많아져 복잡해진다. 대칭좌표법은 이 유기 전압을 1 상분(정상분)만을 고려한다. 그림 3에서 보는 바와 같이 3개의 유기 전압을 갖는 3상 회로를 1개의 유기 전압을 가지는

단상 등가 회로로 표현할 수 있기 때문이다.

보호계전기 동작 관계를 검토하는데, 통상 1 개의 유기 전압으로 계산하여도 이상이 없으며, 이 경우에는 키르히호프 법칙을 이용한 연립방정식을 세우지 않고, 단순한 옴의 법칙만을 적용하여 계산하는 것으로 충분하다.



(a) 3상회로 (1 전원에서 3개의 유기전압을 갖는 경우)



(b) 좌측등가 단상회로 (1개의 유기전압) 의 예

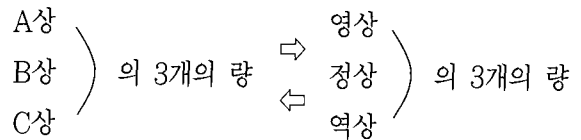
그림 3. 3상 회로와 등가인 단상회로

(2) 3상분 각 상의 양을 이해하기 쉬운 성분으로 치환하여 현상의 이해를 높일 수 있다.

3상 회로에서 3개의 양(A상, B상 및 C상)은 전류나 전압이나 회로에 고장이 없을 때에는 어떤 1상의 양을 알면 다른 상의 양은 규칙성이 있기 때문에 바로 정확하게 알 수 있다. 그러나, 회로에 고장이 발생하였을 때에는 3상 각각의 상에 있어서 측정하거나 계산하거나 하여 구하지 않으면 각 상의 전기량을 구할 수 없다.

또한, 3상 회로에서 각 상의 전류 및 전압의 크기, 위상을 복잡하게 구하였다가 하더라도 어느 정도 대지로 흐를 것인가 또는, 발전기나 전동기에 어떠한 영향을 줄 것인가 하는 등의 현상을 분석하는데 있어 이것만으로는 거의 도움이 되지 않고 또한 해결책이 되지 못한다. 그래서, 3상 회로에서는 아래와 같이 다

른 3개의 양으로 치환하여 생각할 수 있다.



이와 같은 치환은 그림 4에 표시한 것처럼 생각할 수 있다. 그림 (a)는 평면 벡터를 나타낸 것이며, 항상 1개의 벡터는 2개의 양을 취급하고 있고, 이 2개의 양을 그림의 X축, Y축의 성분으로 표현된다. 그림 (b)는 페이저도이며, 각도  $\theta$ 와 길이  $r$ 의 2개의 양으로 표현한 것이며, 평면 벡터를 페이저로 치환해서 취급하여도 똑같은 벡터라고 하는 현상이다. 같은 의미로 3상의 A상, B상 및 C상의 3개의 양을 별도의 영상, 정상 및 역상의 3개의 양으로 치환하여 취급함으로써 보다 이해하기 쉽고 알기 쉽게 표현한다.

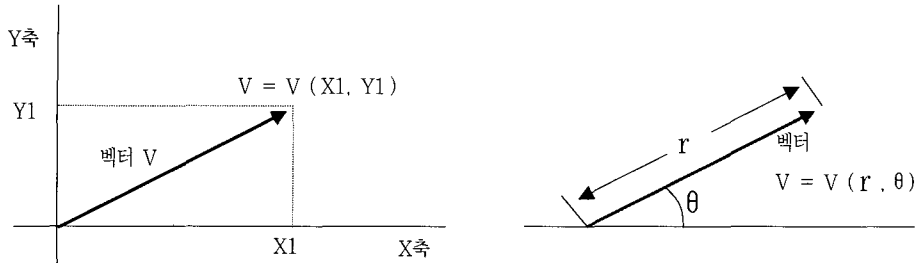


그림 4. 평면벡터의 페이지 표현

일반적으로 보호계전기의 동작 관계를 이해하는데 있어서 앞에서 설명한 A 상, B 상 및 C 상을 영상, 정상 및 역상의 3개의 양으로 치환하여 주로 많이 사용한다.

### 3. 대칭좌표법에서 정상의 개념

3상 회로의 유기 전압은 각 상의 크기가 같고, A 상, B 상 및 C 상의 순서로  $120^\circ$  ( $360^\circ/3$ ) 씩 늦다. 이것을 평형 3상 전압이라고 한다. 그래서, 이 유기 전압은 3상 회로에 어떠한 고장, 예를 들면 1선 지락 고장이나 2상 단락 혹은 1선 단선 등이 발생하여도 변하지 않는다(자세히 설명하면, 계통의 고장시

에 발전기는 시간과 함께 회전수가 변동하거나, 발전기의 자동전압조정기 (AVR)의 동작 등에 따라 변화하는 일은 있다. 그러나, 이것은 보호계전기의 동작 검토에 필요한 고장 계산에는 중요하지 않으며, 또 대칭좌표법을 이용할 경우에도 관계가 없는 문제이다.)

따라서, 3상 평형인 유기 전압의 경우는 A 상의 유기 전압을 알면 다른 2상의 유기 전압도 알 수 있다. 즉, 그림 5와 같이 3상 평형인 경우 B 상이 A 상보다  $120^\circ$  위상이 늦고, 또 C 상이 B 상보다  $120^\circ$  위상이 늦다. 이와 같은 상회전이 정방향이며, 3상 평형에서 상회전이 정상인 성분을 정상분이라 한다.

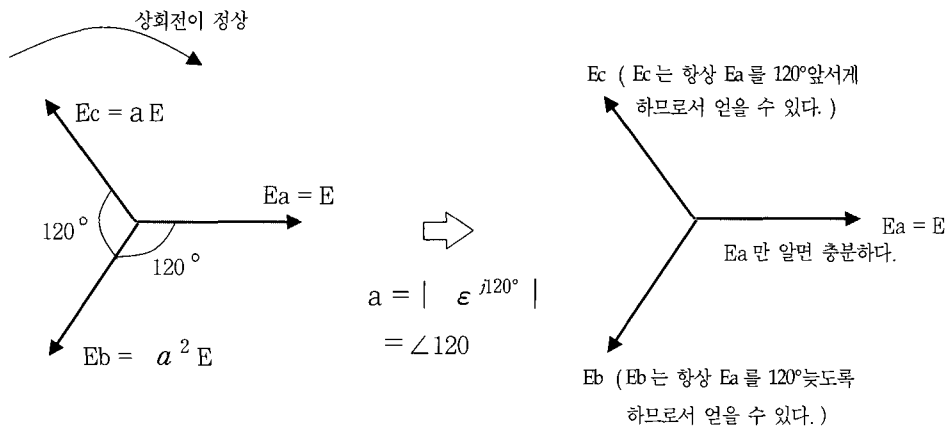


그림 5. 평형 3상 회로의 성질

정상분은 3상회로 중의 전압이나 전류에 대해서도 크기가 같아서 상회전이 정상인 성분만을 다루는 것이고, 정상이란 그것이 대전제이기 때문에 역시 제 1

상을 대표적으로 한 개의 양만을 다루면 충분한 것이다. 정상의 의미를 정리하면 다음과 같다.

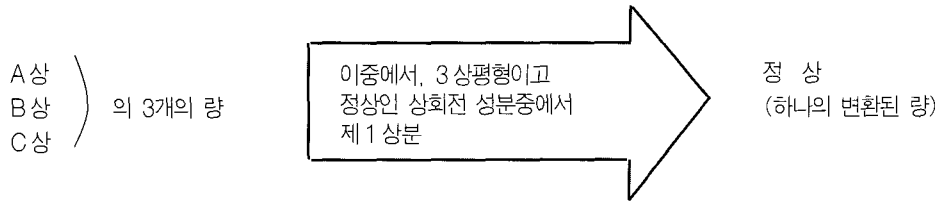


그림 6은 3상 평형 회로의 계통을 보여 주고 있다. 이 회로에는 정상분의 전압이나 전류만이 존재하는 경우(고장이 없는 3상 회로는 항상 이와 같은 경우

이다)는 그림 7과 같이 간단한 단상 회로(제 1상의 A상 전압, 전류만 나타낼 수 있는 성분)로 치환해서 생각하더라도 전혀 지장이 없다.

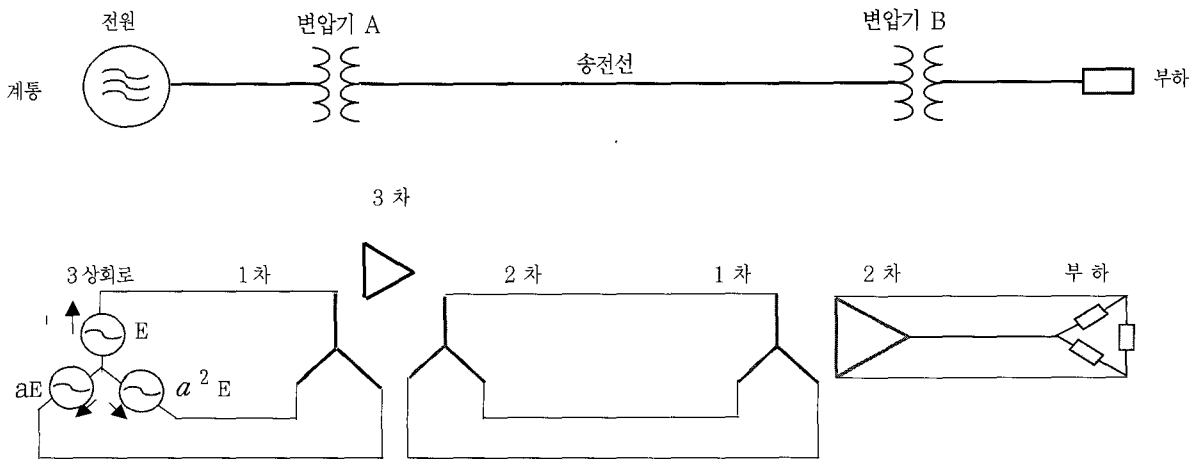


그림 6. 3상 평형회로의 계통

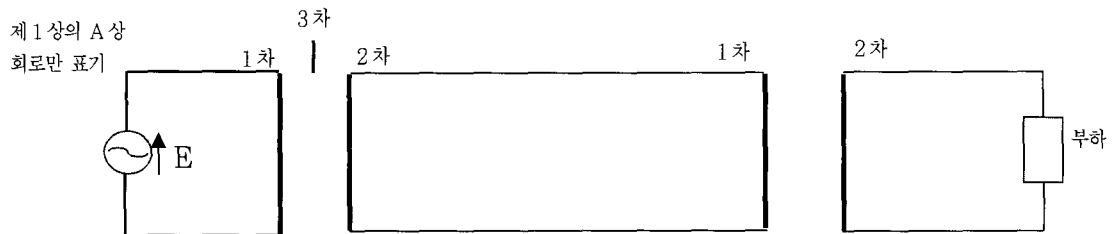


그림 7. 그림 6의 회로에서 1상분만의 등가회로

왜냐 하면, B 상의 전압이나 전류값을 알고 싶으면 그림 7에서의 전압 및 전류값을 계산하여 위상만을  $120^\circ$  늦게 함으로 구할 수 있으며, 이것은 정상분의 정의에서 전제된 것이기 때문에 아무런 문제가 없는 것이다.

지금까지 설명한 것처럼 3상 평형 상태에서 상회전이 정상인 성분을 정상이라 하고, 이것을 대칭좌표법의 하나의 변환량으로 하면 유기 전압은 반드시 100% 정상분으로 3상의 3개조로 되어있는 유기 전압을 1개의 유기 전압으로서 취급함을 알 수 있다. 따라서, 3상 회로의 고장 계산을 아주 쉽게 해석할 수 있다.

#### 4. 3상 평형상태에서의 정상회로

3상 회로가 주어졌을 때 그 3상 회로에 정상분의 전류가 흐르고, 또 정상분의 전압만 존재하는 회로(주어진 3상 회로의 제1상인 A 상분만의 회로)를 정상 회로라 한다. 이 정상 회로는 3상 회로가 주어지면 어떻게 될까? 또, 어떤 의미를 가질까?에 대해서 개념을 이해한다는 것은 아주 중요하다. 또, 대칭좌표법의 정상 성질을 알고 있더라도 기초 지식으로서 중요하다. 여기에서 예제를 통해 정상 회로를 구하는 방법을 생각해 본다.

그림 8은 3상 회로에서의 등가 정상 회로를 나타낸 것이며, 그림의 (a)에서 계통도의 A 점, B 점, C 점에 해당되는 3상 회로도(그림 b)의 각 점을 ( $A_a, A_b, A_c, A_n$ ), ( $B_a, B_b, B_c, B_n$ ) 및 ( $C_a, C_b, C_c, C_n$ ) 등으로 표시하는 것으로 한다. 그러면, 그림 (c)의 정상 회로는 3상 회로의 정상분 전류의 흐름을 얻을 수 있는 개소나 정상분 전압이 생기는 개소를 충실하게 표현해야만 된다.

예를 들면, 그림과 같이 계통도 A점은 정상 회로의 ( $A_a, A_n$ )으로 표현하여 3상 회로의 1상만을 물리적으로 같게 하여 사용하면 된다. 그림 8의 (b)의 3상 회로도에서 회로의  $A_n$ 과  $B_n$ 사이에는 전선이

직결되어 있지 않지만, 그림의 (c)의 정상 회로도에는 전선으로 직결되어 있다.

이것은 물리적으로는 아주 같아서 3상 회로에서 전선이  $A_n - B_n$  사이에 없더라도 정상분이 흐를 수 있는 것으로  $A_n - B_n$  간의 직결과 같은 의미인 것이다. 역으로 정상 회로의  $A_n - B_n$  사이의 전선을 없애면  $A_n - B_n$  사이는 개방 상태와 같게 되어 3상 회로의 정상분에 대해 전혀 다른 회로가 되어 버린다. 이러한 관계를 그림 9에서 보여 주고 있다.

또, 그림 8의 (a)에서 계통도 C점은, 그림 8의 (b)에서 3상 회로도의 변압기 3차 권선에 정상분 전류는 흐르지 않는데, 그림 8의 (c)의 정상 회로에서 ( $C_a, C_n$ )으로 표시하고 있는 것은 어떤 의미일까? 3상 회로 C점에는 우선 첫째로, 정상 전압이 나타나는 것이고, 이 3상 회로의 변압기 3차 권선 측에 정상 전압이 나타나는 성질이 있는 것을 그림 (c)의 정상 회로에서 임의로 무시하는 것은 이미 등가성을 상실하게 된다.

반대로, C점에서 3상 단락이 생긴 경우 C점에는 정상분 전류가 흘러 변압기의 3차 권선에 정상 전류가 흐르게 되고, 이 3차 권선의 정상 전류를 흘리는 성질이 있는 회로가 존재하는 것을 무시하는 것은 불편하기도 하기 때문이다. 흔히 고장 계산의 교과서 등에서는 정상 회로의 등가 회로에서 계산할 때 흐르지 않는 불필요한 회로를 무시하고 필요한 임피던스만으로 계산하고 있는 경우가 있다. 이것은, 원래 3상 회로의 등가 정상 회로를 나타내고 있는 것이 아니라 원래의 3상 회로의 등가 정상 회로 중에 해당 고장 계산에 필요한 부분만으로 간략화한 등가 정상 임피던스에 지나지 않기 때문이다. 따라서, 이 경우는 각각의 전압, 전류를 검토할 경우, 원래의 3상 회로에서 다른 고장 조건시 또는 고장이 없을 경우의 중성점 접지 회로는 어떤 경우에도 정상 전류나 정상 전압도 생기지 않기 때문에 정상 회로에 넣는 것은 의미가 없다.

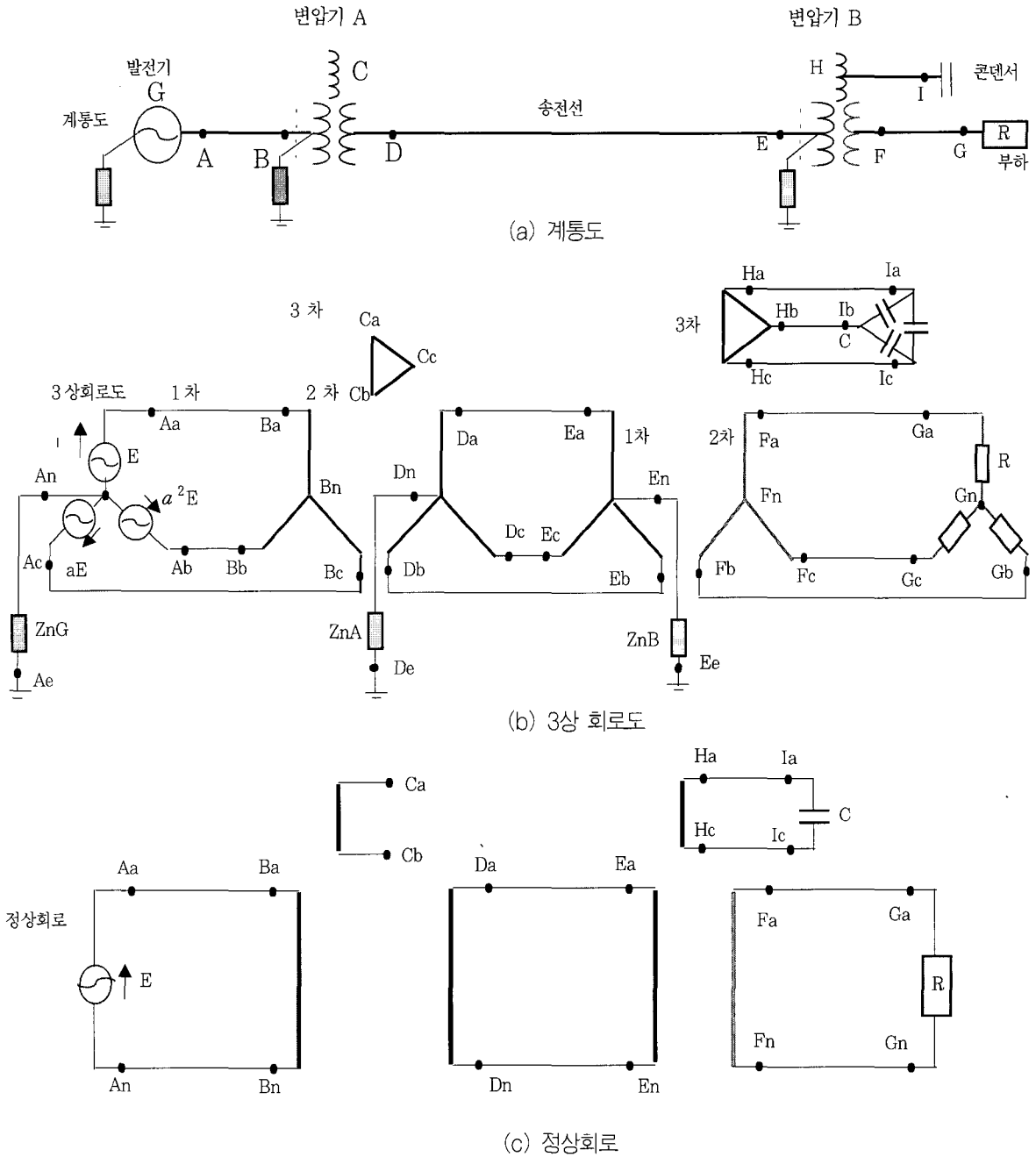


그림 8. 3상회로에서의 등가정상회로도



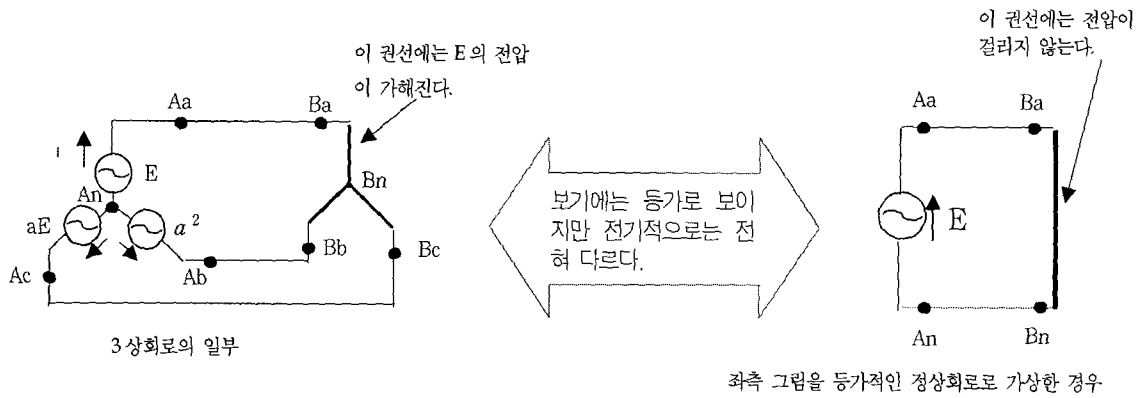


그림 9. 3상회로의 1상을 등가인 정상회로로 가정한 경우

### 5. 3상 회로에서 정상성의 성질

3상 평형 회로에서는 항상 3상이 하나의 조가 되고, 대칭좌표법도 마찬가지로 3상분의 3개의 량을 1조로 해서 취급한다. 그래서, 3상 평형 회로에서 발전기, 변압기 및 송전선에 있어서도 하나의 회로(3상분을 1조로 하여), 즉 임의의 A상, B상 및 C상의 조합 회로(코일이나 전선)에 대해 생각해 보면

전술한 정상 성분만의 전류가 흐를 경우에는 이 회로의 각 상 전류의 합은 항상 0이 된다.

이것은 그림 10과 같이 어떤 상에서나 흐르고 있는 전류는 반드시 다른 상으로 되돌아 간다는 것이고, 이 회로의 내부에서만 전류가 왕복할 수 있다는 것이다.

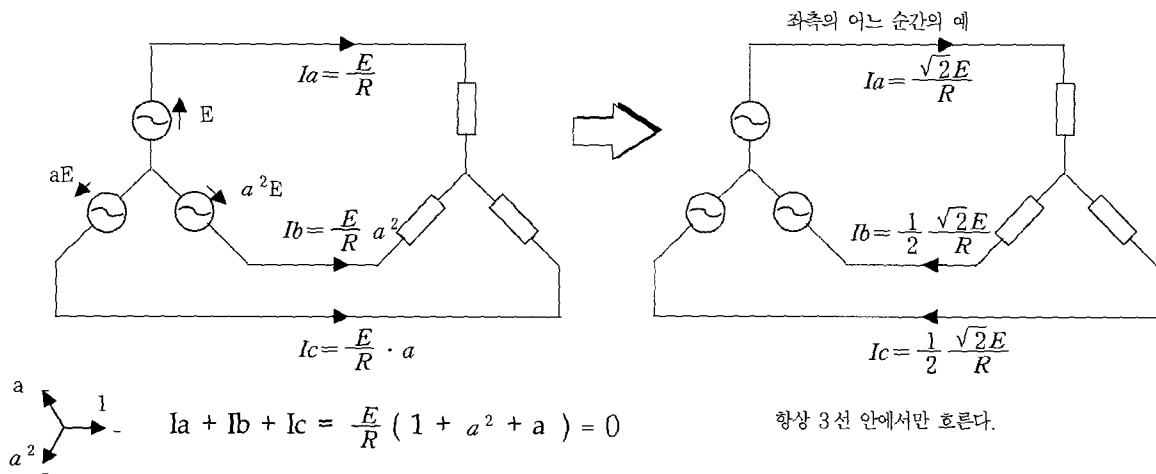


그림 10. 정상분 전류가 3상회로에서 외부로 흘러나가지 않는 이유

따라서, 정상분만의 전류는 결코 3상 회로에서 외부로 흐르지 않고, 발전기에서 부하까지 혹은 발전기에서 사고점까지, 나아가서는 발전기 상호간의 3상 회로를 직렬로 내부만을 통과하는 성질이 있다고 할 수 있다. 그렇기 때문에 정상 전류는 결코 중성점 접지 회로나 대지에는 흐르지 않게 된다.

또, 3상 회로에서 정상분 전압 밖에 나타나지 않는 경우(이것은 결국, 전류도 정상분 전류밖에 흐르지 않는 경우이다)는 역시, 각 상의 전압의 합은 항상 0이 된다. 그래서 이 전압은 3상 회로의 중성점에 대한 각 상의 전위이고, 또 정상분의 정의가 의미하는 바와 같이 각 상의 전압이 같은 크기의 평형 상태이기 때문에, 그림 11에서 보는 바와 같이 중성점 전류는 각 상의 전위가 중성점에서 평형 상태로 유지된다.

그래서, 이 중성점 전위는 그대로 3상 회로의 중성점 접지 회로에서 대지와 전기적으로 직결되어 있는지, 아니면 비접지 회로에서나 각 상 평행된 대지 정전용량에 의해 중성점이 등가적으로 접지되는 등의 이유로 대지전위와 동전위로 유지된다.

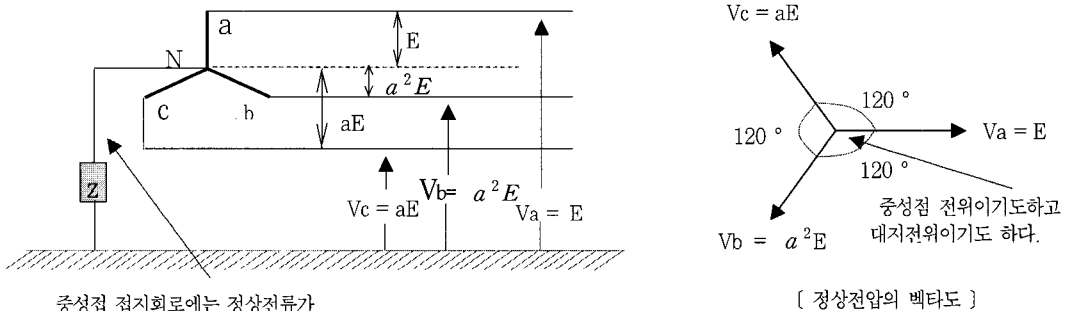


그림 11. 정상전압의 성질

이상에서 정상분만의 전압은 대지에 대해 0 전위를 유지하며, 각 상의 전압으로 나타나는 성질을 갖고 있다고 할 수 있다. 지금까지 설명한 내용에 대해서 정상분의 전류와 전압의 성질을 종합 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 정상분의 성질

분석 사항	정 상 전 류	정 상 전 압
계통 및 3상회로 내의 전기적 성질	각 상의 전류의 합은 항상 0이며, 반드시 3상회로 안에서만 흐른다. 따라서 A상, B상, C상 이외의 중성점 접지회로나 대지 측에는 회로가 고장중이라 할지라도 정상분 전류는 결코 흐르지 않게 된다.	반드시 3상회로의 각 상의 전압만이 생긴다. 따라서 A상, B상, C상 이외의 중성점이나, 중성점 접지회로, 대지 등에는 회로가 고장 중이라 할지라도 전위는 생기지 않아서 항상 영전위를 유지한다.
계통 및 3상회로가 고장인 경우	일반적인 부하 전류가 정상 전류이다. 그러나, 계통이나 3상 회로에 세롭게 외부에 회로가 생기게 되는 고장(1선 지락, 2선 지락, 2상 단락, 3상 단락, 3선 지락)에서는 회로 내의 전류는 고장시 급증한다(단, 정상분의 전력은 급감한다). 반면에 단선 사고에서의 전류는 감소한다.	상시 나타나는 전압이 전부 정상 전압이 된다. 그리고 착측과 같은 경우에서 회로의 전압은 저하한다.(착측과 같은 경우에서, 회로의 전압이 한쪽에서는 조금 상승하지만, 다른 한쪽에서는 저하한다.)
외부 회로에의 영향	3상분의 합성 전류가 0이 되는 성질이 있어서 전자 유도는 본질적으로 생기지 어렵다. 특히 각 상과의 전자 결합이 동등하다고 간주되는 외부 회로에서의 전자 유도가 발생하지 않는다.	3상 각 상의 전위의 합성이 0이 되는 성질이 있어서 정전 유도는 본질적으로 생기지 어렵다. 특히 각 상과의 정전 결합이 동등하다고 간주되는 외부 회로에서의 정전 유도가 생기지 않는다.
회전 자계를 갖는 회전기(동기기, 유도기)에의 영향	부하전류가 정격 전류 이내이고, 정상 운전 범위내이면 아무런 문제가 없고, 과전류인 경우에는, 열적 허용 한도 및 전자력의 기계적 강도 허용 한도 범위 내에서 리만 특별한 문제는 발생하지 않는다.	일반적으로, 정격 전압 이내에서만 생각한다면, 정상 전압의 크기만으로 회전기에 지장을 초래하는 일은 없다. 그러나 정상전압이 기기의 정격 전압보다 저하할 때는 과전류를 발생하거나 회전수의 저하가 생겨 악영향이 발생하기도 한다.

## 6. 전자기유도와 정전유도

앞에서 설명한 정상분의 성질에서 3상 회로부터 다른 전기 회로에 미치는 전자 유도 및 정전 유도가 어떻게 되는지 검토해 보자.

그림 12는 정상 전류에 의한 전자 유도 현상을 나타낸 것이다. 3상 회로의 각 상이 평행된 회로로 간주될 정도로 피유도 전선이 떨어져 있는 경우에는 결국 각 상의 정상 전류에 의한 유도 전압은 동등하고, 위상이 120° 씩 늦기 때문에 합성하면 무유도에 가깝게 됨을 알 수 있다.

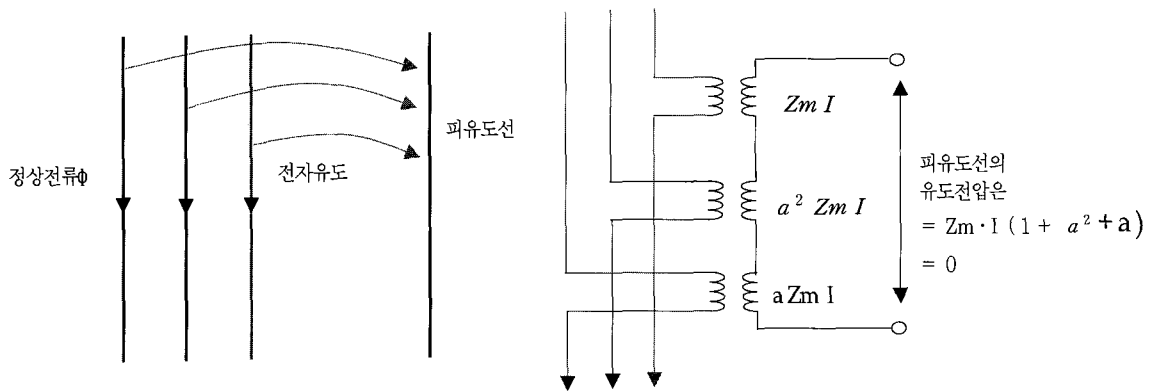


그림 12. 정상전류의 전자유도

마찬가지로, 그림 13과 같이 정상 전압의 정전 유도에 있어서도 각 상을 합성하면 무유도에 가깝게 됨을 알 수 있다.

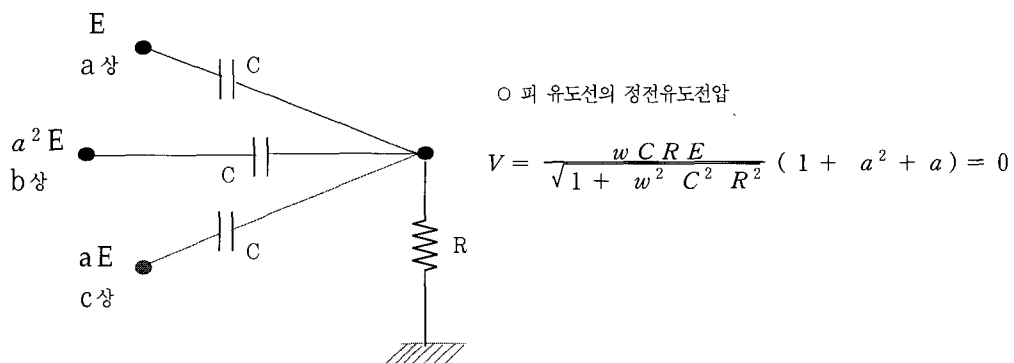


그림 13. 정상전압에 의한 정전유도

이와 같이 정상분의 전류, 전압은 해당 3상 회로나 그 이외의 전기 회로에 유도가 생기기 어렵게 하는 성질이 있다고 할 수 있다. 그리고, 정상분의 전압은 상회전이 100% 정상이기 때문에 그 크기가 적절하면 발전기나 전동기( 동기전동기, 유도전동기 ), 또는 회전 조상기에는 아주 정상적인 회전자계를 만들게 되며, 또 이들 회전에 다소 큰 정상 전류가 흘러도 그것에 의한 고조파 성분의 발생 혹은 국부 과열 발생과 같은 특이한 현상을 유발할 우려가 없는 성질을 갖고 있다.

## 7. 맺음말

본고에서는 보호 계전 기술의 기초를 이해하기 위해서 대칭좌표법의 개념과 3상 평형 상태에서의 정상 및 정상 회로에 대해서 살펴 보고, 정상 상태에서의 전자 유도 및 정전 유도에 대해서 설명하였다.

대칭좌표법이 보호 계전의 동작 관계 및 불평형 회로의 고장 계산을 검토하는데 매우 큰 도움을 주고 있으며, 표 1에서 설명하고 있는 정상분의 성질을 잘 이해하게 되면 불평형 고장 사고 해석 및 보호계전기의 동작 관계를 이해하는 데 매우 유리함을 알 수 있다.

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 전기 기술자들로 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 점에 있어서 전기의 성질을 이해하면서 보호계전

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

## 참 고 문 헌

- [1] 남재경, 김세동, 보호계전의 기초, 전기저널, No. 3, 대한전기협회, 2002.
- [2] 유근수, 남재경, PROTECTION RELAY TEST REPORT, (주) POWER TOS, 2001.
- [3] 송길영, 최신 송배전공학, 동일출판사, 2001.
- [4] 백영기 외, 전력계통 보호계전 시스템 기술의 현황과 전망, 대한전기학회 기술조사보고서, 1999.
- [5] 신대승 편저, 보호 계전 시스템 기술, 기다리출판사, 1993.
- [6] 이종률 편저, 보호 계전기 독본, 성안당, 1999.
- [7] 植木久之, 모선과 전력 기기의 보호 계전 시스템, 일본전기서원, 1976.

## ◇ 저 자 소 개 ◇



### 남 재 경(南在京)

1957년 2월 18일생. 1990년 2월 대전공업대학교 전기공학과 졸업. 1976. 10~1994. 8 한국전력공사 근무. 1994. 8 ~ 2001. 3 한국전기안전공사 전력설비 검사처 근무. 2001. 3 ~ 현재 (주)파워토스 기술이사 근무중, 발송배전기술사. 관심분야 : 전력계통 보호 제어. 전력기기 절연진단.



### 김 세 동(金世東)

1956년 3월 3일생. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동대학원 졸업(석사). 2000년 서울시립대 전기전자공학부 대학원 졸업(박사). 한국전력공사(1979~1984) 근무. 한국건설기술연구원(1984~1997.2) 수석연구원 역임. 현재 두원공과대학 전기과 교수. 전기설비기술사, 본학회 학술이사. 관심분야 : 전력설비 진단 및 DSP. 전기설비 최적설계.