Technical Tips

대칭(Symmetry)과 평형(Balance)

최 규 하
(건국대학교 전기공학과 교수)

전기회로의 뒷부분에 가면 으레 3상 시스템을 볼 수 있다. 3상에 대한 첫 설명부터 3상 '대칭' 전원, 그리고 곧 이어 3상 '평형' 회로 등의 표현이 나타나는데, 여기서 '대칭'과 '평형'이라는 용어가 서로 엄연히 다른 정의를 갖고 있는데도 불구하고 실제로 같은 용어처럼 쓰이고 있다. 대부분의 전문서적에서조차 실제 혼동해 쓰고 있다. 앞으로 두 용어는 분명히 달리 쓰여져야 하고 이번에 여기서 명확하게 구분해 보기로 하자.

다상 계통(polyphase system)에서 대칭과 평형을 다음과 같이 정의하고 있는데 그중 우선 대칭의 정의를 살펴 보자.

1. 대 칭

먼저 3상계통의 경우에서 3상의 각 상의 페이서(phasor)전압을 $\boldsymbol{V}_a$, $\boldsymbol{V}_b$, $\boldsymbol{V}_c$라고 할 때 다음의 조건, 즉 세 전압벡터의 합이 0으로 되는 조건을 만족하면

$$\boldsymbol{V}_a + \boldsymbol{V}_b + \boldsymbol{V}_c = \boldsymbol{0}$$

여기서 어느 두 벡터가 주어져 있다면 나머지 한 벡터를 다음 식과 같이 간단하게 결정할 수 있다.

$$\boldsymbol{V}_c = -(\boldsymbol{V}_a + \boldsymbol{V}_b)$$

이러한 관계는 그림 1(a)와 같은 경우를 예로써 든다면 이 경우 벡터합이 0인 조건을 만족하더라도 크기가 다르고 위상차 역시 같지 않아 비대칭으로 판정된다. 일반적으로 세 벡터의 합이 0으로 되는 경우는 무수히 많다. 여기에 각 상의 전압의 크기가 같다는 조건 즉 $|\boldsymbol{V}_a| = |\boldsymbol{V}_b| = |\boldsymbol{V}_c|$을 부가해야만 완전하게 대칭의 조건이 충족된다. 바로 그림 1(b)는 우리가 흔히 보는 3상 전압의 벡터선도인데, 그림에서와 같이 각 상 전압의 크기가 같고 상전압의 벡터합이 0으로 되면 그 3상 계통은 대칭이라고 정의한다.

일반적으로 다상 교류계통에서 각 상의 페이서(phasor)전압을 $\boldsymbol{V}_1$, $\boldsymbol{V}_2$, $\boldsymbol{V}_3$ K $\boldsymbol{V}_n$이라고 할 때 이들의 벡터합이

$$\boldsymbol{V}_1 + \boldsymbol{V}_2 + \boldsymbol{V}_3 + \mathrm{L} + \boldsymbol{V}_n = \boldsymbol{0}$$

되면서 그 크기가 같으면, 즉 $|\boldsymbol{V}_1| = |\boldsymbol{V}_2| = \mathrm{L} = |\boldsymbol{V}_n|$와 같이 전압의 크기가 같으면 그 다상 계통은 대칭(symmetry)으로 된다.

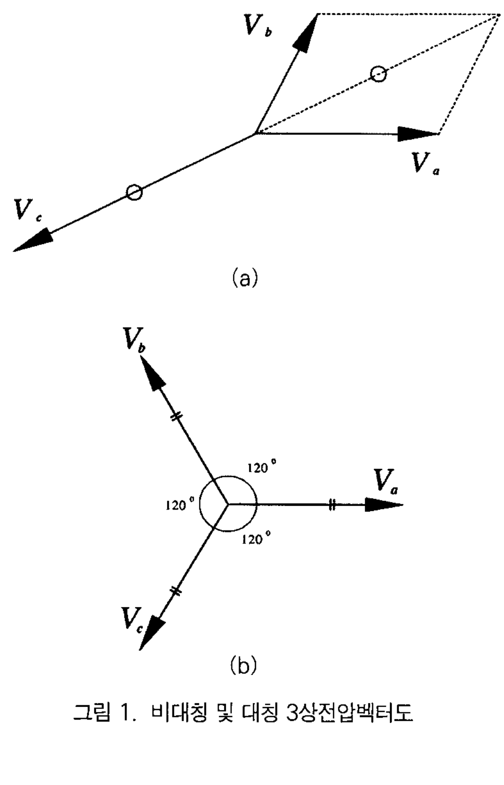


그림 1. 비대칭 및 대칭 3상전압벡터도

2. 평 형

앞의 대칭과 혼용하고 있는 평형은 그 정의부터가 전혀 다르다. 3상계통에서 지금 각 상의 순시전압 $v_a(t)$, $v_b(t)$, $v_c(t)$가 다음과 같이 주어져 있고,

$$v_a(t) = \sqrt{2}V_S \ \sin\ wt$$
$$v_b(t) = \sqrt{2}V_S \ \sin\ (wt - 120°)$$
$$v_c(t) = \sqrt{2}V_S \ \sin\ (wt + 120°)$$

그림 5의 부하 Z에 의해 각 상의 전류가 다음과 같이 흐른다고 하자.

$$i_a(t) = \sqrt{2}I_S \ \sin\ (wt - \phi)$$
$$i_b(t) = \sqrt{2}I_S \ \sin\ (wt - 120° - \phi)$$
$$i_c(t) = \sqrt{2}I_S \ \sin\ (wt + 120° - \phi)$$

이로부터 각 상에서 공급하는 순시전력을 $p_a(t)$, $p_b(t)$, $p_c(t)$라고 하면 3상 계통에서 공급하는 총 순시전력 $p_{3\phi}(t)$는 다음과 같이 이들의 합으로 된다.

$$p_{3\phi}(t) = p_a(t) + p_b(t) + p_c(t)$$

위의 전압 및 전류의 표현을 대입하여 정리하면

$$p_{3\phi}(t) = 3V_s I_s \cos\phi$$

로 간단하게 얻어지는데, 순시전력의 총합이 바로 3상 계통의 평균전력과 같은 값을 가짐을 알 수 있다. 즉 3상 계통이 평형되면 순시전력의 총합이 매순간 일정하게 출력됨을 의미한다. 예컨대, 3상 교류전동기의 경우 순시전력의 총합이 일정한 것은 전동기의 회전력이 변동없이 일정하게 유지됨을 뜻한다.

일반적으로 다상 계통에서 각 상에서 출력되는 순시전력의 총합을 구하여 그 결과가 일정한지를 조사하면 평형여부를 판단할 수 있다. 이것이 평형(balance)의 정의이다.

3. 대칭과 평형의 차이점

평형과 대칭의 개념을 그림 2의 시소(seesaw)에서 찾아보자. 시소에 무게가 실려 있지 않는 상태에서는 양쪽이 평형을 유지하고 있다. 이것이 대칭이다. 그런데 어느 한쪽에만 무게가 실리면 그 대칭적 구조는 무너져서 더 이상 평형을 이루지 못한다. 그러나 다시 다른 편에 같은 무게를 실으면 시소는 평형을 되찾게 되고 다시 양쪽이 대칭적 구조를 갖게 된다. 여기서 어떤 무게도 없이 시소가 평형을 이루고 있는 것이 회로적으로는 바로 대칭의 개념이 되고 또한 무게가 실리더라도 균형을 잃지 않고 대칭적 구조가 유지될 경우 이것이 평형으로 대비된다.

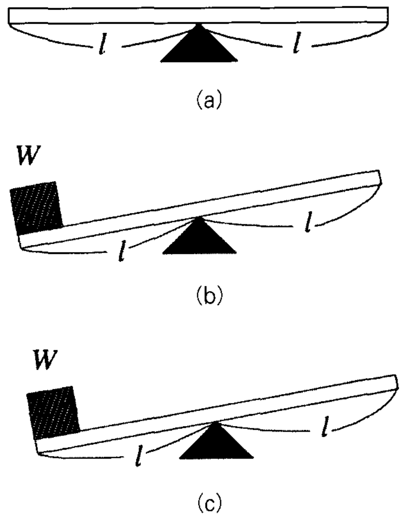


그림 2. 단상에 대비시킨 시소의 대칭, 불평형 및 평형

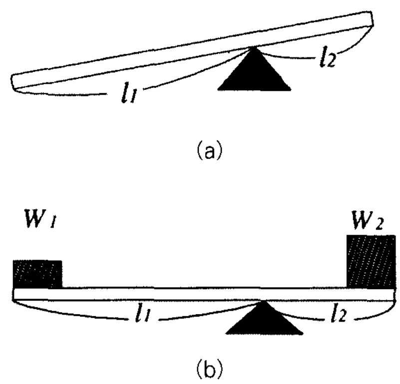
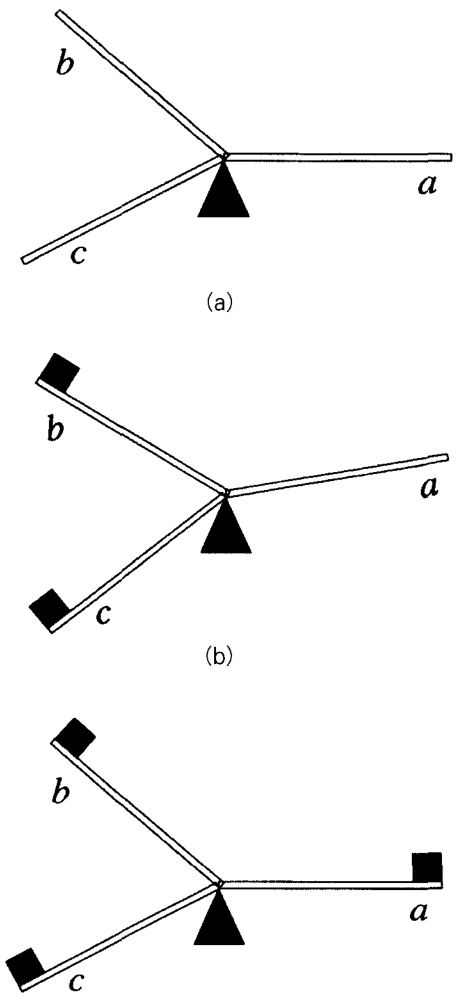


그림 3. 비대칭적 구조에 의한 평형

그림 3(a)와 같이 무게가 없을 경우에 비대칭적 구조로 있다가 평형이 유지될 수 있도록 적절한 무게를 올려놓을 수 있을 것이다. 그러나 이러한 것은 받침대를 중심으로 서로 힘의 팔 길이가 서로 다른 경우이므로 즉 비대칭의 경우이므로 대칭 자체의 정의에서 어긋나 그 범주에 넣어 생각할 수 없다.

이번에는 그림 4와 같이 3개의 무게를 실을 수 있는 시소를 생각해 보자. 아무런 무게도 실려 있지 않을 경우의 대칭

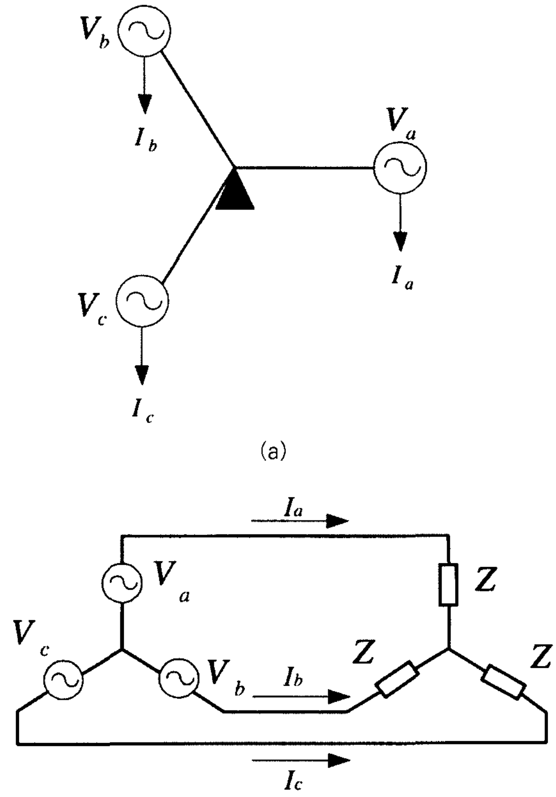


(a)
(b)
(c)

그림 4. 3상에 대비시킨 시소의 대칭, 불평형 및 평형

적 구조는 회로적 관점에서 볼 때 주어진 3상 전원의 상전압 사이에서 나타나는 대칭의 조건과 같다. 여기서 시소의 어느 한 위치 또는 두 위치에만 무게를 실어 놓으면 그림(b)처럼 무게가 실리지 않은 쪽과 반대편으로 기울어 질 것이다. 즉 회로적으로 3상이 불평형 상태에 놓이게 되고 실제 3상 3선식에서 어느 두 선으로부터 단상을 출력시키는 경우와 같다. 그러나 세 위치에 모두 동일한 무게를 실으면 시소는 또다시 완전히 대칭적 구조를 가질 것이고 이때 회로적으로는 완전히 평형이 되었다고 한다. 그림 4(c)는 이러한 경우를 나타내고 있다.

그림 5의 3상 회로에서 각 상전압이 대칭의 조건을 만족하고 있고 이를 전제로 동일한 3상 부하가 연결될 경우에만 회로 전체가 평형의 조건을 만족하게 된다.



(a)
(b)

그림 5. 3상 대칭전원과 3상 평형부하

4. 2상 시스템

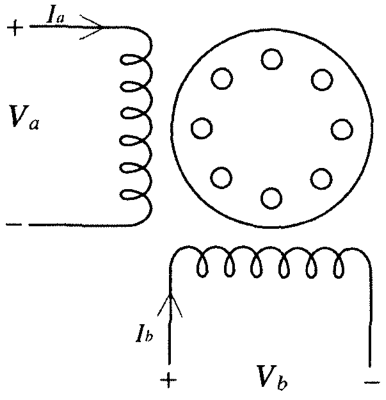
2상 교류계통에 대해 대칭 및 평형여부를 조사해 보자. 우선 2상(two-phase)은 같은 크기를 갖는 2상의 전압이 90° 상차를 갖는 경우를 말하는데, 그림 6(a)와 같이 단상유도전동기가 그 대표적인 예가 된다. 2상의 경우 각 상전압이 180°의 상차가 나면 서로 상쇄되어 무의미하므로 그림(b)와 같이 90° 의 상차를 지정하고 있다.

2상의 경우 앞에서 언급한 대칭과 평형의 정의를 그대로 적용해 보면

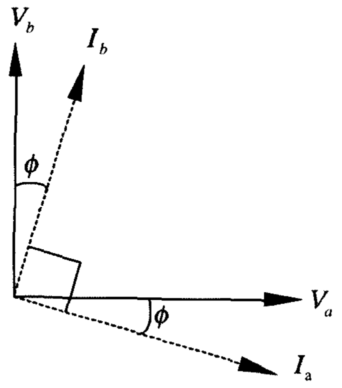
1) 대칭성 : 각 상전압의 크기는 같더라도 두 벡터의 합은 $\mathbf{V}_a + \mathbf{V}_b \neq \mathbf{0}$ 이므로 대칭이 될 수 없다. 즉 2상 시스템은 '비대칭' 으로 된다.

2) 평형성 : 각 상의 순시전력에 대한 총합을 구하면 다음과 같이 일정해 진다.

$$p_{2\phi}(t) = p_a(t) + p_b(t) = 2V_S I_S \cos\phi$$



(a)



(b)

그림 6. 2상 시스템과 벡터선도

즉 2상 시스템은 순시전력의 합이 일정한 값으로 되어 '평형' 으로 된다.

요컨대 상전압이 서로 같고 90° 상차를 갖는 2상 계통은 비대칭이면서 평형이 되는 특수한 경우가 된다. 이것은 처음 2상의 정의부터가 특수하게 출발되었기 때문이다. 이러한 2상 시스템 때문에 대칭과 평형의 개념이 더더욱 혼용되어서는 안된다는 것이다. 지금까지 대칭과 평형에 대한 정의와 그 물리적 의미를 살펴보았다. 관점에 따라 서로 유사한 개념으로 볼 수 있어 다소 혼동의 여지도 있다. 그러나 적어도 회로에서 대칭과 평형의 용어는 향후 명확하게 구분되어 쓰여졌으면 하는 바램이다.

〈저 자 소 개〉

최규하(崔圭夏)

1978년 서울대 전기공학과 졸업, 1980년 동 대학원 졸업(석사). 1986년 동 대학원 졸업(공박). 1987년~1988년 미국 오레곤 주립대 Post-Doc. 1997년~1998년 건국대 연구처장. 현재 건국대 전기공학과 교수 및 전력전자신기술연구센터 소장.