

고조파에 의한 중성선 과전류 개선사례 ②

글 / 강 창 원 (주)피에스디테크 대표이사/기술사
 이 진 석 (주)피에스디테크 기술이사
 ☎ 02)592-4598

Hook-On Meter로 중성선전류를 측정하면 큰 전류가 흘러 현장의 담당자를 어리둥절하게 만든다(중성선전류가 선전류보다 큰 경우가 있음).

대부분의 기술자는 이 경우 누전에 의한 것이 아닌가 하는 의구심을 갖게 되나, 실은 영상분 고조파에 의한 것임을 밝혀준다. 최근 OA기기를 많이 쓰는 빌딩은 전부 이 문제를 가지고 있다. 이 영상분 고조파는 변압기, 케이블, MCCB 과열의 원인이 되고(외국에서는 화재사고로 이어진 사례가 있음) 대지전위상승 등 Noise 원인으로 작용해 큰 피해가 우려된다.

5. 영상분 고조파와 중성선 과전류와의 관계

평형상태의 R, S, T 상은 120°의 위상차를 가지고 있어 그 중성선은 R, S, T 각 상의 벡터합 즉, $\dot{I}_R + \dot{I}_S + \dot{I}_T = 0$ 이다.

그러나 그림 3과 같이 R상에 흐르는 제3고조파, S상에 흐르는 제3고조파, T상에 흐르는 제3고조파의 위상이 같기 때문에 중성선에는 벡터합이 아니고 각각의 합이 흐르게 된다.

이러한 이유로 중성선에 흐르는 전류는 0이 아니고 상전류보다 큰 값이 되어 전류가 확대된다.

$$\begin{aligned}\dot{I}_{R1} &= I_m \sin \omega t \\ \dot{I}_{S1} &= I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ \dot{I}_{T1} &= I_m \sin(\omega t - 240^\circ)\end{aligned}$$

로 표시되며, 전류의 합은

$$\begin{aligned}\dot{I}_{R1} + \dot{I}_{S1} + \dot{I}_{T1} \\ = I_m \sin \omega t + I_m \sin(\omega t - 120^\circ) + I_m \sin(\omega t - 240^\circ) = 0\end{aligned}$$

이 되고, 동위상인 제3고조파 전류는

$$\begin{aligned}\dot{I}_{R3} &= I_m \sin 3\omega t \\ \dot{I}_{S3} &= I_m \sin 3(\omega t - 120^\circ) = I_m \sin 3\omega t \\ \dot{I}_{T3} &= I_m \sin 3(\omega t - 240^\circ) = I_m \sin 3\omega t\end{aligned}$$

로 표시되며, 전류의 합은

$$\begin{aligned}\dot{I}_{R3} + \dot{I}_{S3} + \dot{I}_{T3} \\ = I_m \sin 3\omega t + I_m \sin 3\omega t + I_m \sin 3\omega t \\ = 3I_m \sin 3\omega t\end{aligned}$$

가 된다.

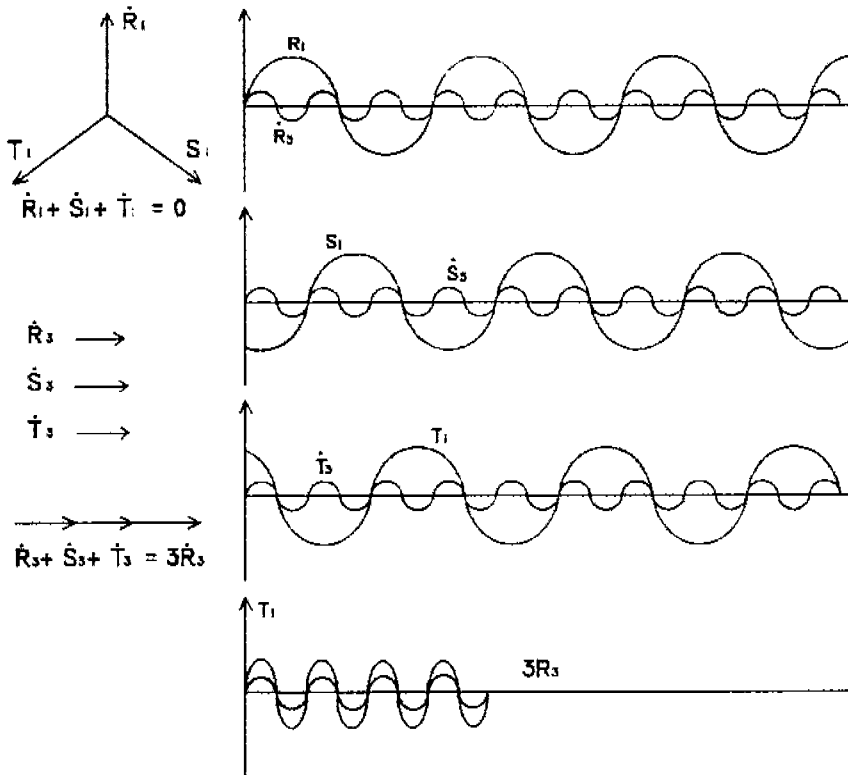


그림 3 중성선의 제3고조파 전류 확대현상

6. 중성선에 영상분 고조파가 많이 흐르면?

하게 됨을 알 수 있으며 이는 변압기의 와전류 손실 및 표피효과에 의한 영향에 증폭되어 변압기의 열화를 촉진하게 된다.

가. 변압기 과열

비선형 부하에서 발생되는 고조파는 전원측으로 유출된다고 가정하면 그림 4에서와 같이 유출되는 영상분 고조파는 변압기 1차로 변환되어 삼권선내를 순환하게 된다.

이 순환하는 전류가 열로 바뀌게 되어 열이 많이 발생하게 되는데 빌딩에서 사무용기기(단상정류기)를 많이 사용할수록 열이 많이 발생

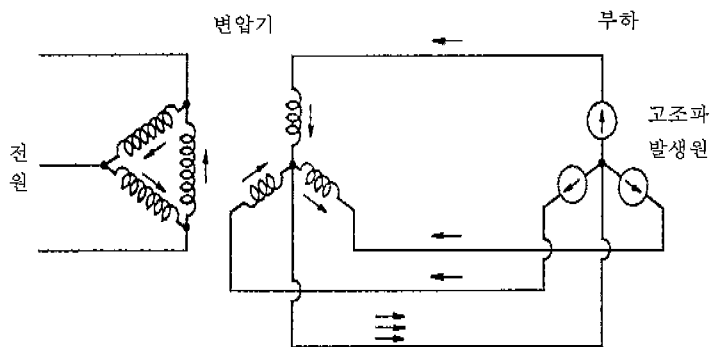


그림 4 변압기 삼권선을 순환하는 영상분 고조파 전류

나. 케이블 중성선 및 MCCB 과열

일반적으로 중성선의 굵기는 다른 상에 비하여 같거나 가늘게 선정하고 있는데 그림 5와 같이 영상분 고조파에 의하여 중성선에 많은 전류가 흐르게 되면 케이블이 과열된다.

또한, 제3고조파는 기본파의 3배인 180Hz의 주파수 성분을 갖기 때문에 표피효과에 의해 케이블의 유효단면적을 감소시켜 저항의 증가

현상으로 과열현상은 더욱 크게 된다.

다. 중성선 대지전위 상승

중성선에 제3고조파 전류가 많이 흐르면 중성선과 대지간의 전위차는 중성선전류와 중성선리액턴스의 3배의 곱

$$V_{N-G} = I_n \times (R + j3X_L)$$

이 되어 큰 전위차를 갖게 된다.

*balanced fundamental currents sum to 0,
but balanced third-harmonic currents coincide*

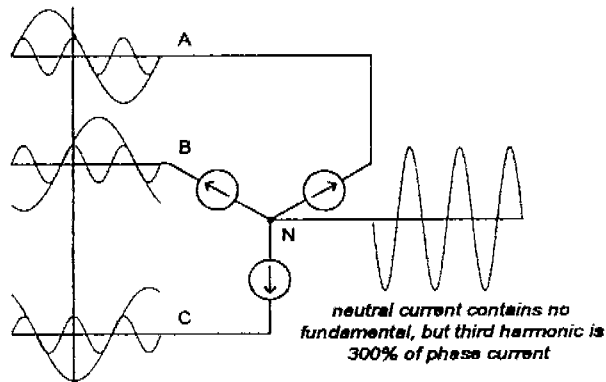


그림 5 중성선 과열

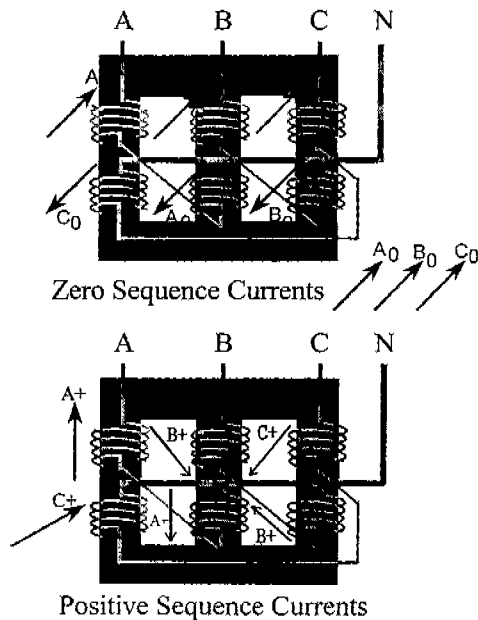
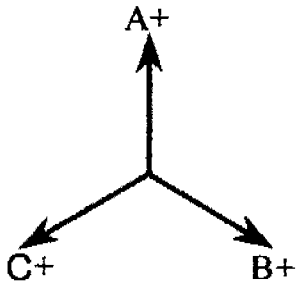


그림 6 NCE 벡터합성 및 결선

7. 영상전류 제거장치 NCE (Neutral Current Eliminator)

NCE는 그림 6과 같이 같은 철심에 2개의 권선을 반대방향으로 감은 것으로 영상분 전류는 위상을 같게 하여 Cancel 되게 하였으며 정상, 역상분 전류는 벡터합성이 크게되게 한 것이다. 즉, 영상임피던스는 작게하여 영상분 전류를 NCE로 잘 흐르게 하고 정상 및 역상임피던스는 크게하여 정상, 역상분 전류가 NCE로 흐르지 않게 한 것이다. 그림 7은 NCE를 설치하지 않은 것과 설치한 것을 비교한 것이며 NCE를 설치하지 않았을 때는 중성선에 영상분 전류가 많이 흐르는데 비해 NCE를 설치하면 영상분 전류는 NCE로 흐르고 정상 및 역상분 전류만 중성선을 통하여 흐르게 됨을 알 수 있다.

8. NCE 설치 후 영상분 전류 개선사례

다음 표 4 및 그림 8, 그림 9는 서울시 소재 빌딩에서 NCE를 설치하여 영상분 고조파를 개선한 사례이다.

표 4 NCE 설치효과

구 분	설치전	설치후
N상 전류	208A	25A
중성선대지전위	3V	0.25V
전압고조파	5.3%	4.9%
전류고조파	66.3%	31.7%
역률	0.8	0.96
피상전력	97.3kVA	80.8kVA
유효전력	77.9kW	75.7kW
무효전력	57.6kVar	18.8kVar

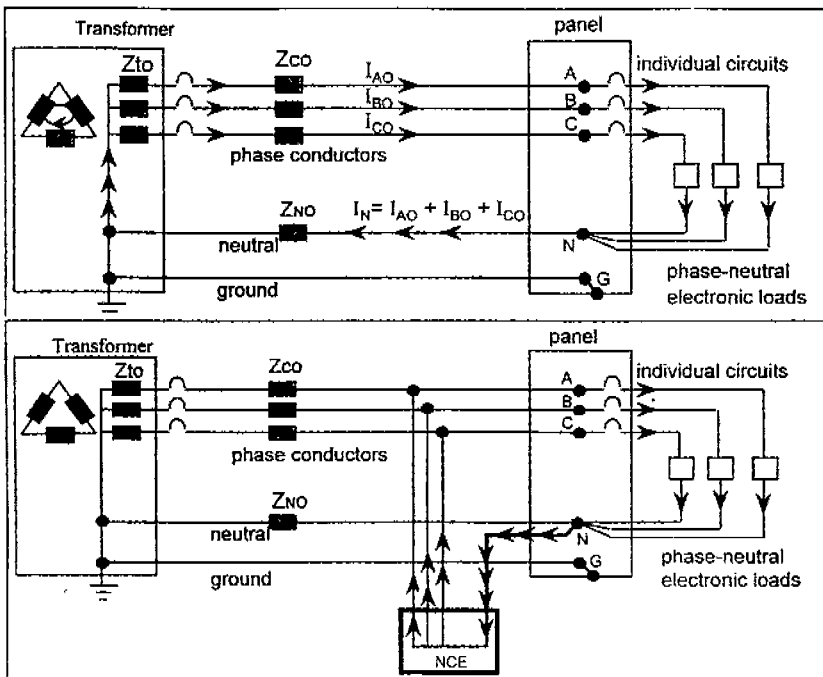


그림 7 NCE 설치시 영상분 전류 흐름

- 중성선(N상)에 흐르는 208A가 NCE 설치 후 25A로 줄어들었다. 영상분 고조파는 거의 감소되었으나 각 상의 불평형 전류에 의하여 25A 정도 흐르는 것으로 분석되었다.
- 중성선의 대지전위가 3V에서 0.25V로 감소되었다.
- 역률 및 유효전력이 감소되어 에너지 절약효과도 있다.
- 변압기 소음 및 온도상승이 현저하게 줄어들음을 알 수 있다.
- MCCB 발열 및 케이블 중성선의 발열이 줄었다.

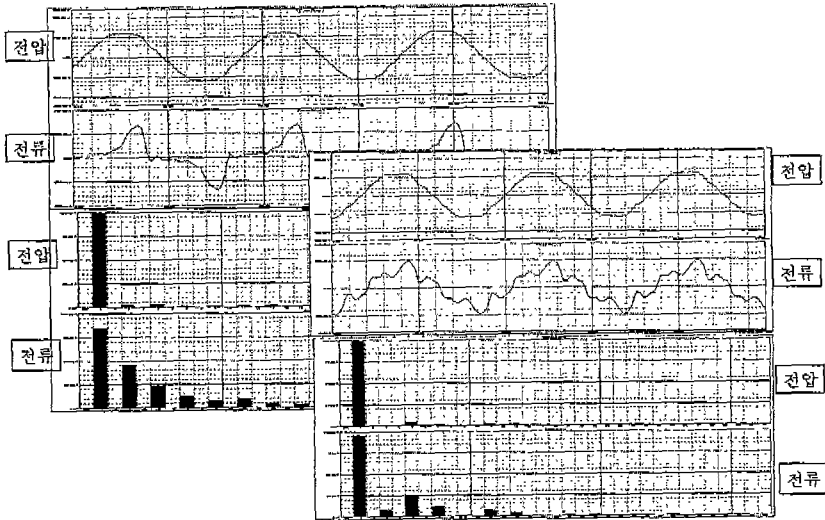


그림 8 R상 고조파 측정파형

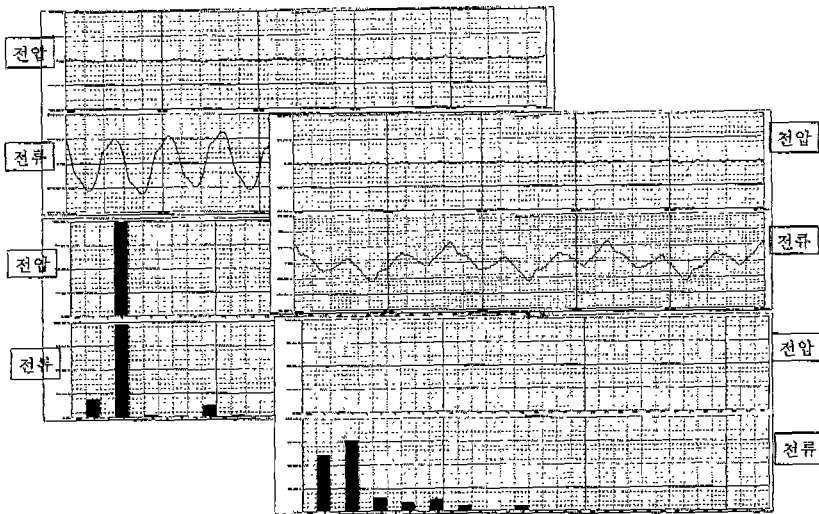


그림 9 N상 고조파 측정파형