

중성선 영상고조파 전류 측정사례와 저감대책 ③

<마지막회 >

(주)피에스디테크 대표이사/ 기술사 강 창 원



목 차

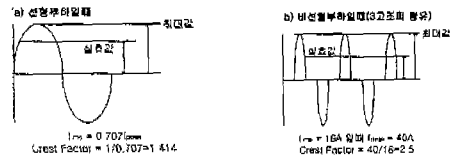
1. 영상고조파 전류의 발생원리와 발생원
2. 영상고조파 전류의 측정사례
3. 영상고조파 전류의 영향
 - 가~ 바. 생략
 - 사. ACB/MCCB 동작
4. 영상고조파 전류 저감기기 소개
 - 가. 영상 고조파전류 저감장치 개요
 - 나. 영상 고조파전류 저감원리
5. 설치 전후 측정비교
 - 가. ○○○ 경기장 전광판 ZED 설치 전 · 후 측정비교
 - 나. ○○ 빌딩 부하 ZED 설치 전 · 후 측정비교
 - 다. 영상 고조파전류 저감장치 외관
6. 결과고찰
 - 가. ○○○ 경기장 전광판 부하
 - 나. ○○ 빌딩 부하

사. ACB/MCCB 동작

중성선에 영상고조파전류가 흐르면 차단기 정격용량이 줄어들어 오동작을 일으킬 수 있다. 차단기의 정격용량은 다음의 과전류 보호장치에 대한 내용에서 잘 표현하고 있다.

과전류 보호장치의 시간-전류 특성은 고조파 전류에 의해 특성곡선이 이동되어 Trip될 수 있다.

특히, 전자력을 이용한 TYPE은 실효값에 영향을 받지 않고 피크 전류값에 의해 영향을 받게 된다. 다음은 선형부하와 비선형 부하의 Crest Factor를 보여주고 있다.



$$D \cdot F = \frac{\sqrt{2}I_{rms}}{I_{peak}} = \frac{\sqrt{2}I_{rms}}{\sqrt{2}I_{rms}} = 1 \quad D \cdot F = \frac{\sqrt{2}I_{rms}}{I_{peak}} = \frac{\sqrt{2}I_{rms}}{2.5I_{rms}} = 0.57$$

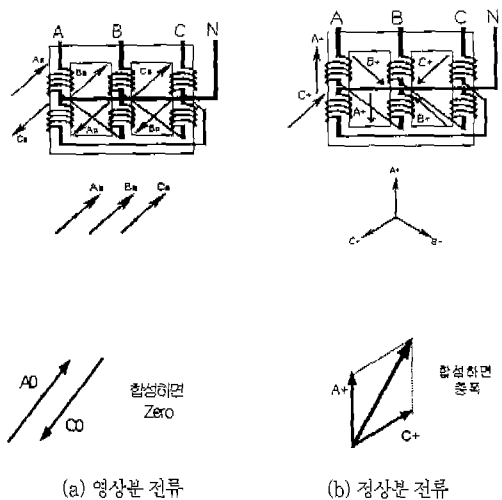
(그림 8) 선형부하와 비선형 부하의 Crest Factor

그러므로, 중성선 영상고조파가 많이 포함된 계통의 ACB/MCCB는 정격용량 이하의 전류가 흐른다고 하여도 Trip될 수 있으므로 항상 충분한 여유율을 고려해야 한다.

4. 영상고조파 전류 저감기기 소개

영상고조파 전류가 흐르기 때문에 생길수 있는 여러 가지 현상에 대해서 알아보았다. 이러한 영상고조파 전류는 Surge, Sag, 등 다른 전원 품질 문제와는 다르게 항상 중성선에 흐르고 있는 상황이므로 크게 문제가 되지 않았다고 해서 방치해 둘 수 있는 성질의 것이 아니다. 이러한 중성선 영상 고조파 전류가 지속적으로 흐르므로써 가져올 수 있는 문제들을 미연에 방지하는 것이 최선책이라고 하겠다. 이러한 영상고조파 전류를 저감하기 위한 기기로 ZED(Zero Harmonics Eliminating Device)를 소개한다.

가. 영상 고조파전류 저감장치 개요



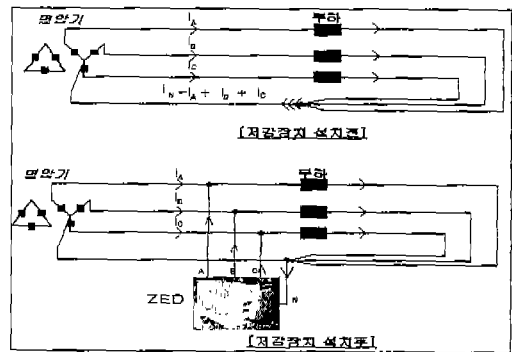
(그림 9) 영상분 저감원리

중성선 영상 고조파전류 저감장치(이하 ZED : Zero Harmonics Eliminating Device라고 호칭)는 [그림 9]와 같이 같은 철심에 2개의 권

선을 반대 방향으로 감은 것으로 영상분 전류는 위상을 상호 반대로 하여 Cancel되게 하였으며 정상, 역상분 전류는 벡터합성이 크게 되게 한 것이다. 즉 영상임피던스는 작게하여 영상분 전류를 ZED로 잘 흐르게 하고 정상 및 역상임피던스는 크게하여 정상, 역상분 전류가 ZED로 흐르지 않게 한 것이다.

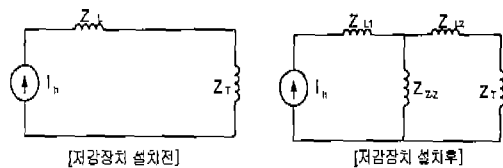
나. 영상 고조파전류 저감원리

[그림 10]은 ZED를 설치 했을경우와 설치하지 않은 것을 비교한 것이며 ZED를 설치하지 않았을 때는 중성선에 영상분 전류가 많이 흐르는데 비해 ZED를 설치하면 영상분전류는 영상 임피던스가 작은 장치로 흐르고 정상 및 역상분 전류만 중성선을 통하여 흐르게 됨을 알 수 있다.



(그림 10) 저감장치 설치전후 전류분포

저감장치 설치 전·후를 등가회로로 표시하면 다음과 같다.



[저감장치 설치전]

[저감장치 설치후]

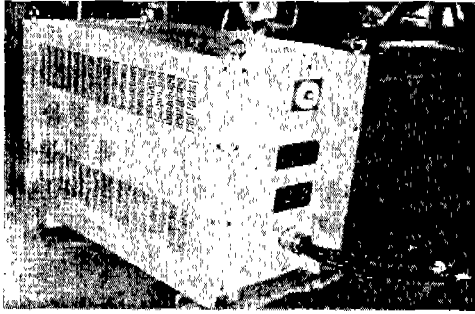
$$\text{유출전류} = \frac{Z_T - Z_0}{Z_T - Z_0 + (Z_{0z} + Z_T)} I_0$$

주. 고조파 유출전류를 작게 하기 위해서

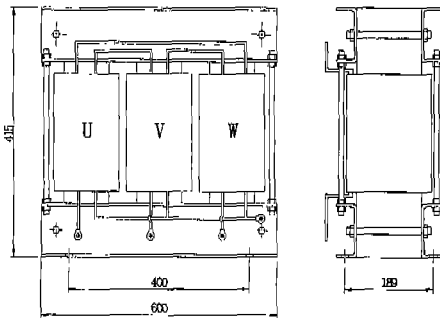
- I) 고조파 저감장치 Z_{T-0} 의 임피던스를 작게
- II) 저감장치를 부하측에 가깝게 설치하여 Z_{0z} 의 임피던스를 작게 하여야 한다.

(그림 11) 저감장치 설치전후 등가회로

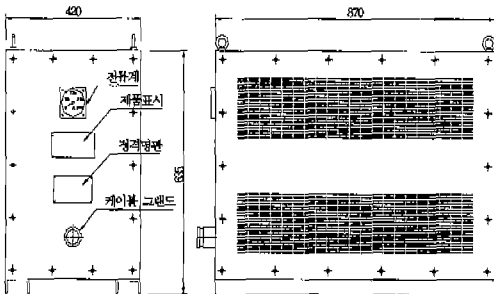
다. 영상 고조파전류 저감장치 외관



(사진 1) 완성 조립제품



본체 조립도



측 조립도

(그림 12) 영상고조파전류 저감장치 조립도

다음장에는 ZED의 설치 전후를 비교하여 설명하도록 한다.

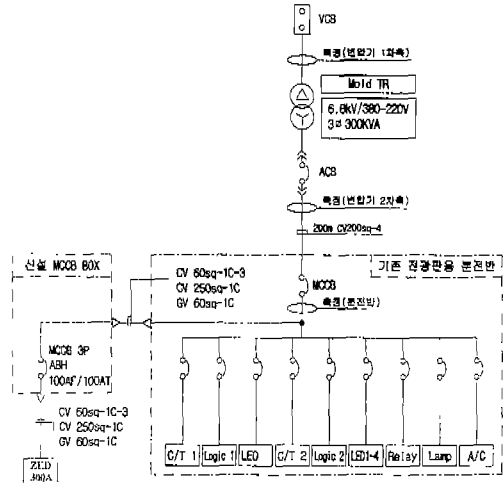
5. 설치 전 · 후 측정비교

설치 전후의 측정데이터는 여러 가지 경우가 있겠으나 여기서는 전류의 양이 비교적 많은 경기장부하와 빌딩부하의 측정전후에 대한 자료를

소개하고자 한다.

가. 000 경기장 전광판 ZED 설치 전 · 후 측정비교

(1) 단선도 및 측정방법



(그림 13) 전광판 단선도

각 상의 최대전류가 200A 정도, 이때의 중성선 전류는 250A 정도 되는 부하로서 전광판에서 표현되는 화면의 내용에 따라 부하(전류)가 변동하는 설비이나, 성능시험 및 효과분석을 위하여 일정한 화면으로 부하전류를 안정시킨 상태에서 전력분석기로 [그림 13]과 같이 변압기 2차측과 분전반에서 ZED의 설치 전 · 후를 측정 비교하였다.

- 전 원 : 3상4선식 380V 60Hz
- 설치장소 : 전광판용 분전반 Main MCCB 2차측
- 설치사양 : 3상 380V 300A ZED 1대
- 측정위치 : 변압기 2차측, 분전반
- 측 정 기 : ALPTEC 7000 (3 Phase Network Analyzer)

(2) 측정방법

전력분석기(ALPTEC 7000)에 전압원과 전류원을 3상4선식으로 결선하며 PT비, CT비,

상방향을 확인하고 측정한다. 이때 전력분석기의 입력 PT비 및 CT비는 도면 및 전압, 전류계를 확인하여 입력한다. [사진 2]는 변압기 2차측의 ACB반에서 측정하고 있는 장면이며, [사진 3]은 전광판 부하의 분전반 2차측에 연결된 ZED의 사진이다.



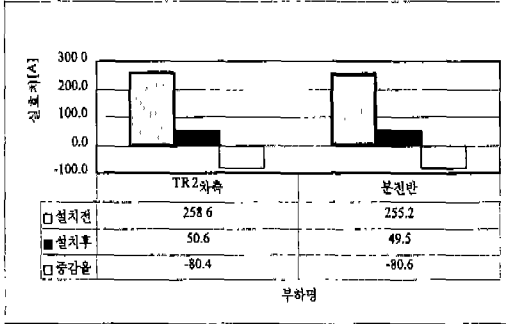
[사진 2] 변압기 2차측 측정



[사진 3] ZED의 설치

(2) 측정결과

[표 12] 중성선의 영상 고조파전류(3차+9차) 측정 결과



[표 13] 변압기 2차측 측정 결과 요약

항 목	설치 전	설치 후	증감율	효 과
중성선 영상 고조파전류	258.6A	50.6A	-80.4%	중성선 과열방지 및 통신선 유도장해 최소화
중성선 전류	259.9A	68A	-73.8%	
3상 전류	561.1A	535.8A	-4.5%	선로손실 저감
전압 왜형률	3.6%	2.8%	-22.2%	전원 품질 향상
전류 왜형률	54.2%	39.9%	-26.4%	
역률	0.84	0.91	8.3%	전력손실 감소 및 설비효율 향상
유효전력	108.9kW	107.8kW	-1.0%	
무효전력	69.9kvar	48.7kvar	-30.3%	
피상전력	129.5kVA	118.3kVA	-8.6%	

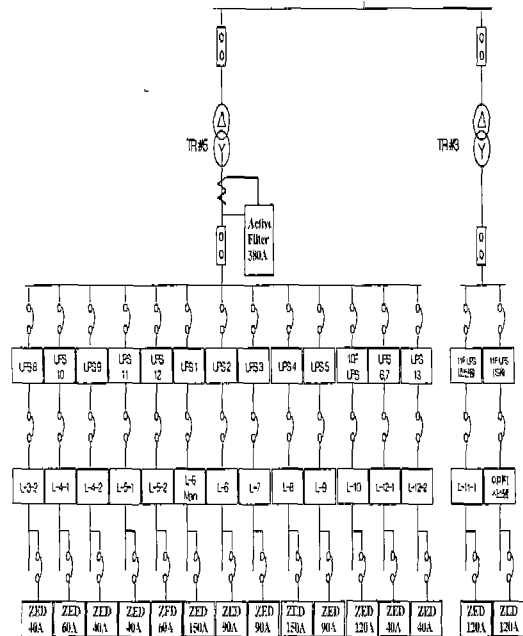
나. OO 빌딩 부하 ZED 설치 전 · 후 측정비교

(1) 개요

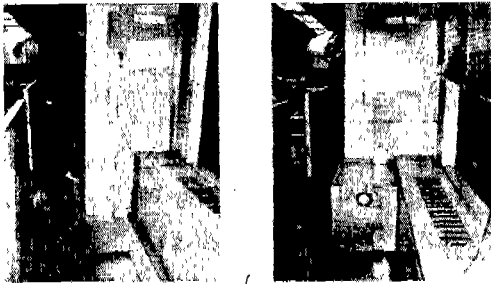
빌딩의 경우 각 층마다 분전반으로 분기되어 있고, 각 분전반에서의 ZED용량 선정을 위한 중성선 전류의 측정을 하였으며, 전체 계통을 검토한 결과 필요한 ZED는 총 15대로 40A부터 150A의 용량을 가진다.

- 전 원 : 3상 4선식 380V 60Hz
- 설치장소 : 총 13대 (사무실 및 EPS실 Main 분전반 2차측)
- 설치사양 : 3상 380V 40A-5대, 60A-2대, 90A-3대, 120A-1대, 150A-2대
- 측정위치 : 변압기 1차측 및 2차측, 각 분전반
- 측정 기 : BMI 3030A PowerProfiler

빌딩부하의 경우에는 부하를 일정하게 유지하면서 측정하는 것은 거의 불가능 하다. 오차범위는 대략 5~10% 정도로 볼 수 있으며, 측정방법은 전광판 부하의 경우와 같다.

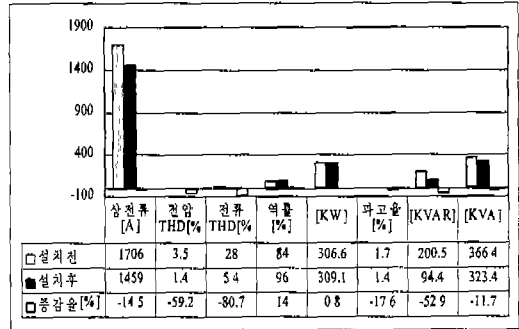


[그림 14] 빌딩부하의 설치 단선도



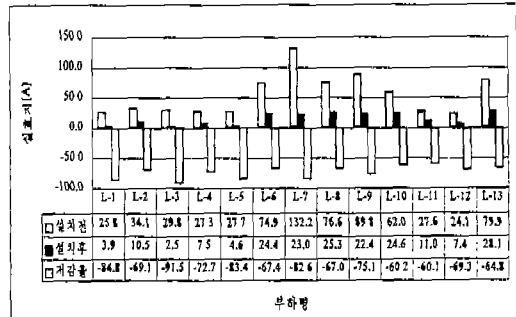
(a) ZED설치전 (b) ZED설치후
[사진 4] 사무실내의 ZED 설치 전, 후

[표 15] TR 2차측 측정 결과



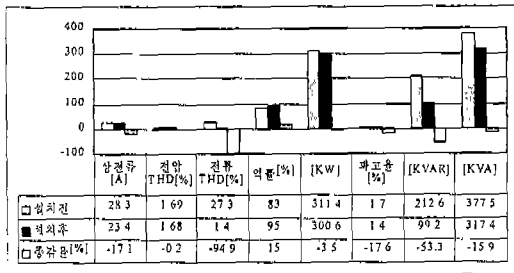
(a) ZED설치전 (b) ZED설치후
[사진 5] EPS실내의 ZED 설치 전, 후

[표 16] 영상 고조파(3차, 9차)전류 측정 결과



(2) 측정결과

[표 14] TR 1차측 측정 결과



[표 17] 변압기 2차측 측정 결과 요약

항목	설치 전	설치 후	증감율	효과
3상 전류	1706A	1459A	-14.5%	선로손실 저감
중성선 전류	711.8A	195.2A	-72.6%	
전압 왜형률	3.56%	1.4%	-59.2%	전원 품질 향상
전류 왜형률	28%	5.4%	-80.7%	
역률	0.84	0.96	14%	전력손실 감소 및 설비효율 향상
유효전력	306.6kW	309.1kW	0.8%	
무효전력	200.5kvar	94.4kvar	-52.9%	
피상전력	366.4kVA	323.4kVA	-11.7%	

사람은 먼저 자기 자신을 통솔할 줄 알아야 한다. 자기 한 몸을 통솔하지 못하고 어떻게 남을 통솔할 것인가? 노여움, 그 밖의 격렬한 폭발적인 감정 따위는 모두 자기를 통솔하지 못한 증거이다. 사람은 남한테 저항하는 것보다 먼저 내 자신에게 저항해야 한다. 내 자신을 극복하는 것이 남을 이기는 길이다.

- 힐티(스위스 철학자, 공법학자, 정치가, 1833~1909) -

6. 결과 고찰

위의 결과에서 알 수 있듯이 중성선 영상고조파 전류가 저감되면서 역률증가, 전력 감소, 파형개선이 되어진 것을 알 수 있다. 사례별로 살펴보면 다음과 같다.

가. 000경기장 전광판 부하

중성선 전류는 무려 74%의 정도로 저감되었다. 이것은 중성선에 가장 많이 포함되어 있는 영상 고조파전류를 80% 정도 저감시킴으로써 가능했던 것이다. 전압왜형율의 경우에는 변압기 2차측에는 22% 저감되었다.

고조파가 무효전력원으로 역률을 저하시켰기 때문에 ZED설치 후에 고조파의 저감에 따른 역률의 증가를 가져왔다. 이에 따른 무효전력량은 30% 정도의 저감을 나타내었다.

에너지 손실 저감과 관련된 유효전력에서는 선로손실 저감으로 인한 변압기 2차측에서 1%의 저감효과를 가져왔고, 중성선 전류 저감 및 영상고조파 전류 저감에 의한 변압기 손실 저감을 고려한다면 변압기 1차측에서는 2%이상의 손실저감을 예상할 수 있다.

나. 00빌딩부하

전반적으로 예상했던 효과들을 얻었으나 L-5 분전반에서 중성선 전류가 증가되는 현상이 일어났는데, 이것은 다른 곳의 분전반에서 불평형 전류들이 유입된 현상으로 기본파 전류가 크게 증가되었으나 영상 고조파전류는 감소하여 전체 중성선 전류의 실효치는 대략 9%(28.4A → 32.2A) 정도 증가되었다.

각 분전반에서의 개선 효과, 중성선 영상고조파전류 저감, 전압/전류 왜형율, 역률, 대지전위(N-G), 파고율 등의 개선되는 정도가 조금씩 차이를 가지고 있는데, 이에 대한 원인으로서는 계통의 임피던스, 부하의 종류, 선로의 종류 및 거리 등에 영향을 받기 때문이다.

위의 결과들을 에너지 저감면에서 살펴보면 다

음과 같다.

- 000 경기장 전광판 부하

변압기 1차측에서 2%의 유효전력(kW) 절감시 전기요금 절감 예상

- 전력손실절감(변압기1차측):
 $(108.9-106.7)\text{kW} \times 12\text{hr/일} \times 300\text{일/년} \times 125\text{원/kWh} = 990,000\text{원}$
- 기본요금절감
 $(108.9-106.7)\text{kW} \times 6,780\text{원/kW} \times 12\text{개월/년} = 178,000\text{원}$

중성선 영상 고조파전류 저감으로 1,168,000 원/년 전기요금 절감

- 00 빌딩부하

변압기 1차측에서 3.5%의 유효전력(kW) 절감시 전기요금 절감 예상

- 전력손실절감(변압기1차측):
 $(311.4-300.6)\text{kW} \times 12\text{hr/일} \times 300\text{일/년} \times 125\text{원/kWh} = 4,860,000\text{원}$
- 기본요금절감
 $(1311.4-300.6)\text{kW} \times 6,780\text{원/kW} \times 12\text{개월/년} = 878,688\text{원}$

중성선 영상 고조파전류 저감으로 5,738,688 원/년 전기요금 절감

이상에서와 같이 중성선 영상고조파 전류의 영향에 대해 측정사례를 중심으로 알아보고 저감기기를 소개하였고, 측정전후 비교를 해서 중성선 영상고조파 전류가 저감되었을 때 가져올 수 있는 효과도 살펴보았다.

이후 전기사용개소에서 중성선 영상고조파 전류에 대한 정밀한 진단과 철저한 대책마련을 통하여 전기안전, 에너지 저감, 효율개선을 통한 전원의 안정적인 운영을 기할 수 있기를 바란다.

(끝)