전기설비 트러블 사례 ②

Power Seven 컨설팅 대표/기술사/이 성우
E-mail : lsoosl@hanmail.net
오성종합기술주식회사 대표이사/김 진곤
TEL : 02)3296-3304

최근에는 설비 전반에 걸쳐 전력전자 소자의 광범위한 응용으로 복잡화, 첨단화, 자동화 및 고정밀화 되고 있는 추세이며, 전력품질(Power Quality)의 중요성이 더욱 요구되어 지고 있다. 그러나 대다수의 사용자는 그들이 경험한 "전력문제의 빈도수"와 "전력품질"을 동일시한다. 문제가 없다면 전력의 품질은 좋은 것이며, 문제가 있다면 전력의 품질은 나쁜 것으로 평가하는 경향이 있다. 그러나 이것은 전력 사용자에 대한 근사적 평가 수준이지만 전력의 품질에 책임이 따르는 전문가에게 "전력문제"와 "전력품질"에 대한 정의는 더욱 복잡하게 평가되어져야 한다.

본론에서는 "전력품질"을 모니터링하는 절차에 있어서 엔지니어들이 빈번하게 반복하는 시행착오를 최소하도록 "전력문제"의 "물리적인 조사" 서식과 트러블 사례를 간략히 정리하여 소개한다.

목 차

1. 전력문제와 전력품질의 조사계획
2. 트러블 사례모음
2.5 UPS 출력측 전원문제
2.6 지락사고 시 건전상의 대지전위 상승
2.7 중성선의 과전류 억제
2.8 저압차단기 (ACB) 트립
2.9 노이즈 측정과 EMI 필터 설치 효과
2.10 저압 비접지 계통의 영상전압 발생
2.11 비상용 발전기의 중성점 접지방식
2.12 낙뢰 발생시 대지전위 상승과 패러데이-홀 법칙

2.6 지락사고 시 건전상의 대지전위 상승

1) 개요

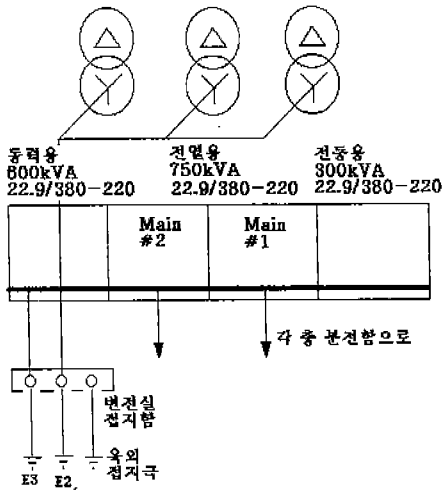
① 건축물 리모델링 이후 ACB 지락요소 동작으로 동력, 전열, 전등의 ACB Trip Source를 제거하여 사용 중임

② 동력용 변압기의 분기회로에서 1선 지락이 발생하였으나 전열용 변압기의 전원으로부터 사용되는 2~9층의 케이블 TV 변환부 소자가 모두 파손하였으며, 월 1~2회 정도 누전차단기가 동시 다발적으로 차단되고 있음

2) 점검 내용

① 접지시스템 파악

② 전압 측정

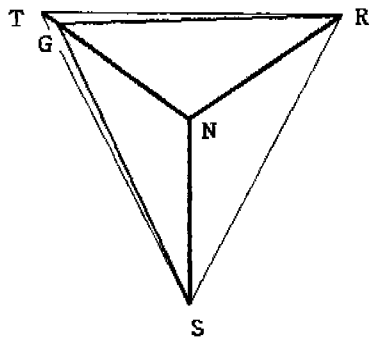


[그림 16] 저압 계통접지 구성도

a. 전열용 회로 전압 측정

[표 9] 11층 P/L

선간전압(V)		상 전압(V)		~ 대지간	
R-S	399	R-N	233	R-G	396
S-T	402	S-N	229	S-G	385
T-R	405	T-N	233	T-G	21
				N-G	217



[그림 18] T상 1선 지락사고 벡터도

[표 10] 6층 P/L

선간전압(V)		상 전압(V)		~ 대지간	
R-S	402	R-N	234.3	R-G	395
S-T	404	S-N	231.3	S-G	383
T-R	407	T-N	234	T-G	21.2
				N-G	217

[표 11] 3층 P/L

선간전압(V)		상 전압(V)		~ 대지간	
R-S	402	R-N	233.8	R-G	395
S-T	403	S-N	230.5	S-G	384
T-R	406	T-N	233.2	T-G	21.2
				N-G	217.6

[표 12] 2층 P/L

선간전압(V)		상 전압(V)		~ 대지간	
R-S	401	R-N	234	R-G	396
S-T	403	S-N	231.5	S-G	384
T-R	407	T-N	234.1	T-G	20.5
				N-G	217.8

[표 13] ACB Main #1

선간전압(V)		상 전압(V)		~ 대지간	
R-S	401	R-N	233.3	R-G	397
S-T	403	S-N	231.1	S-G	385
T-R	406	T-N	234.5	T-G	20.8
				N-G	218

[표 14] ACB Main #2

선간전압(V)		상 전압(V)		~ 대지간	
R-S	401	R-N	233.3	R-G	397
S-T	403	S-N	231.1	S-G	385
T-R	406	T-N	234.5	T-G	20.8
				N-G	218

3) 분석 결과

[그림18]은 변압기 결선이 △-Y 일 때 계통지락사고가 발생하면, 대지 전위가 상승하는 것을 보여주고 있다. [표15]는 동력용 변압기 T상이 지락되었을 때 동력용, 전열용 및 전등용 회로의 건전상 대지전위가 모두 상승되는 값을 기록한 것이다.

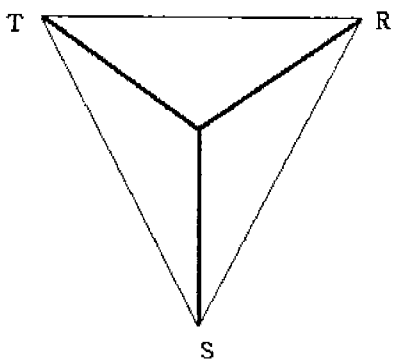
[표 15] 동력용 변압기 분기회로 지락사고의 경우

용도 \ 전압	측정전압(V)									
	R-S	S-T	T-R	R-N	S-N	T-N	R-G	S-G	T-G	N-G
동력용	378	380	380	217	213	218	381	371	9	215
전열용	403	400	404	231	226	233	394	382	20	216
전등용	395	398	401	229	228	231	390	383	16	214

즉 변압기 결선이 △-Y방식에서 변압기 제2종 접지와 3종 접지를 분리할 때, 지락차단이 곤란하여 1선 지락사고가 지속되는 경우 건전상의 대지전위가 모두 상승하는 것을 볼 수 있으며, 동력용 변압기로부터 사용되는 쿨링타워 T상의 지락 점을 제거한 후 [표16]과 같이 동력용, 전열용 및 전등용 회로의 대지전위 상승이 정상적으로 회복되었다.

[표 16] ACB Main #1

선간전압(V)		상 전압(V)		~ 대지간	
R-S	403	R-N	235	R-G	234.7
S-T	405	S-N	232.1	S-G	232.1
T-R	408	T-N	235	T-G	235
				N-G	1.04



[그림 17] 정상상태의 벡터도

4) 국내 기준의 문제점 및 향후 검토 방향

국내의 기술기준은 과거 JIS 기준과 유사하고 국제기준과는 많은 차이가 있으며, 신규는 물론 본 사례와 같이 건축물을 리모델링하는 과정에서 접지전극을 건축물 구조와 본딩(Bonding)하지 않고, 별도로 독립시켜 시공하는 경우, 사고의 양상에 따라 지락차단이 곤란함은 물론 향후 건축물의 다양한 용도를 고려할 때 빈번한 사고와 그 피해가 예측되고 있다. 현장에서 나타나는 이러한 결과는 기술기준과 내선규정의 접지관련 규정이 최근의 접지동향과 국제기준에 일치하지 않는 부분이 많아서 설계 · 시공 · 검사 등의 시행착오를 유발하고 있는 것으로 사료된다.

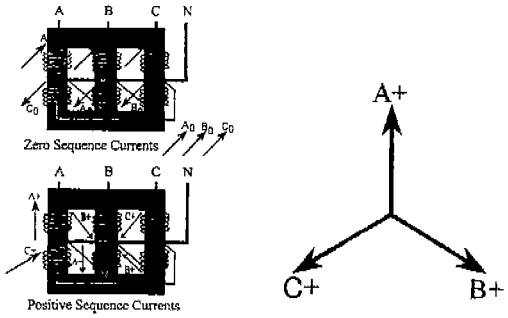
따라서 조속히 국내의 접지관련규정이 세부적으로 재 · 개정 보완되어져야 할 것이며, 전력기술인은 다음의 사항에 유의하여야 할 것으로 사료된다.

① 접지전극 형상의 설계
② 부하측 시스템에 따른 저압 계통접지방식의 분류 및 적용기술
③ 저압 계통접지방식별 지락차단장치 및 보호협조
④ 등전위 본딩 기술
⑤ 3상 4선에서 영상분 고조파 억제 및 중성선(N)과 대지간(G) 전압은 2~3V이하로 유지

2.7 중성선의 과전류 억제(제 3고조파 전류)

1) NCE 원리 및 결선도

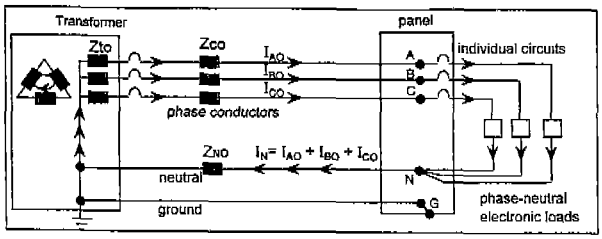
NCE는 [그림19]와 같이 같은 철심에 2개의 권선을 반대방향으로 감은 것으로 영상분 전류는 위상을 같게 하여 Cancel 되게 하였으며, 정상 및 역상분 전류는 벡터합성이 크게 되게 한 것이다. 즉, 영상 임피던스는 작게 하여 영상분 전류를 NCE로 잘 흐르게 하고 정상 및 역상임피던스는 크게 하여 정상 및 역상분 전류가 NCE로 흐르지 않게 한 것이다.



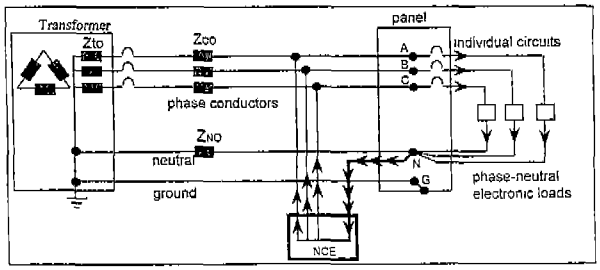
[그림 19] NCE 결선 및 벡터합성

[그림20]은 NCE를 설치하기 전과 설치 후를 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.

a. 설치 전



b. 설치 후



[그림 20] NCE 설치시 영상분 전류 흐름

2) NCE 설치 후 개선 효과

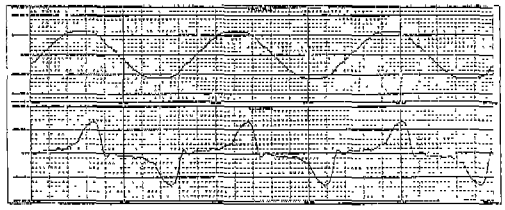
다음 [표17], [그림21], [그림22]는 서울시 소재 빌딩에서 NCE를 설치하여 영상분 고조파를 개선한 사례이다.

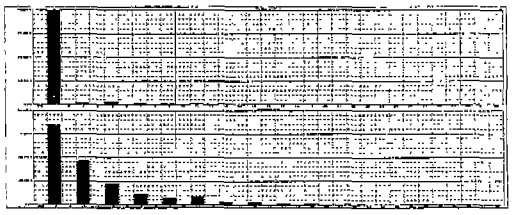
[표 17] NCE 설치효과

구분	설치 전	설치 후
N상 전류	208A	25A
중성선 대지전위	3V	0.25V
전압 고조파	5.3%	4.9%
전류 고조파	66.3%	31.7%
역률	0.8	0.96
피상 전력	97.3KW	80.8KVA
유효 전력	77.9KW	75.7KW
무효전력	57.6Kvar	18.8Kvar

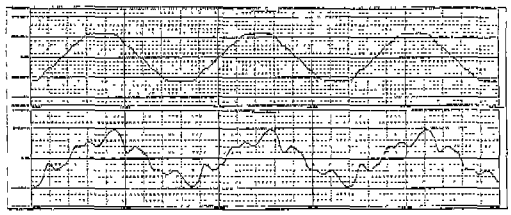
① 중성선 전류 감소
② 중성선의 대지전위 감소
③ 역률 개선 및 유효전력이 감소되어 에너지 절약효과
④ 변압기 소음 및 온도상승이 현저하게 감소
⑤ MCCB 및 케이블 중성선의 발열 감소

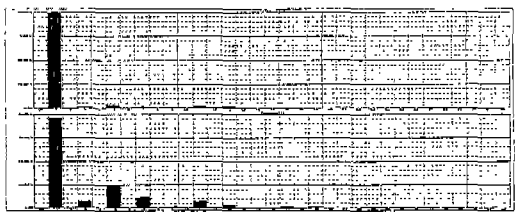
a. 개선 전





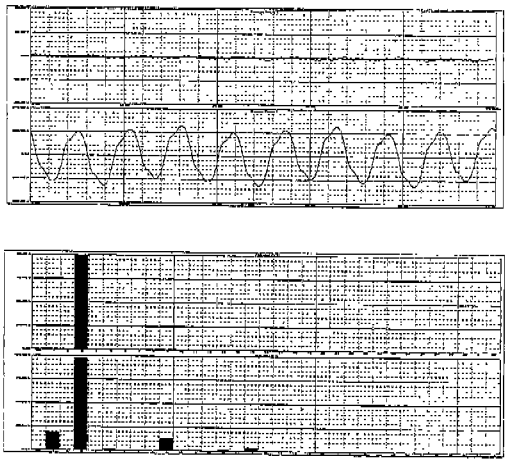
b. 개선 후



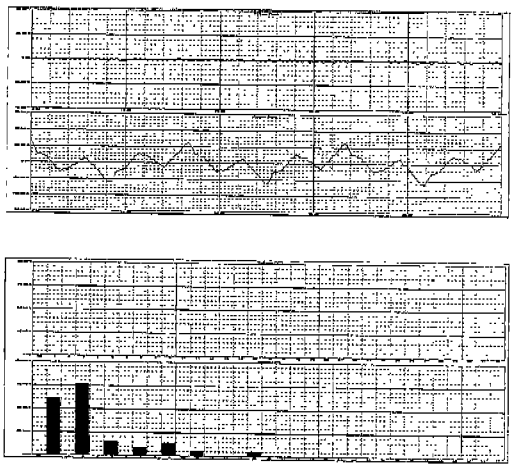


[그림 21] R상 고조파 측정 파형

a. 개선 전



b. 개선 후



[그림 22] N상 고조파 측정 파형

2.8 저압 차단기(ACB) 트립

1) 개요

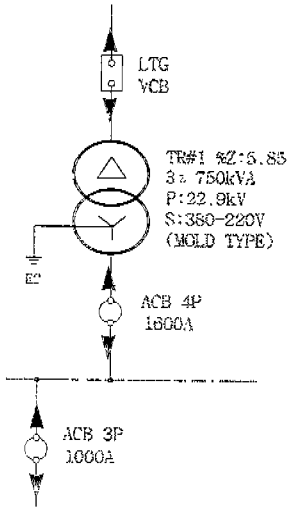
○건축물 내 변전실의 분기 차단기(ACB) 트립 사고가 발생하여 정전이 지속된 사례이며, 시설팀에서는 원인 규명이 곤란하여 차단기 Type을 변경 후 사용 중임

[표 18] 차단기 트립사고 후 TYPE 변경

	제작사	특성
변경 전	○	① 용량 : 3P 1000A ② 형태 : 표준형 ③ 지락요소 : 없음 ④ 표시기 : 없음 ⑤ 과전류 트립장치 : 과전류 트립특성
변경 후	○	① 용량 : 3P 1000A ② 형태 : 표준형 ③ 지락요소 : 없음 ④ 표시기 : 있음 ⑤ 과전류 트립장치 : 과전류 트립특성

2) 고조파 측정

중성선에 과다한 전류가 흐르고 있어 이에 대한 영향을 분석하기 위해 고조파를 측정한 결과 전류 파형의 왜곡과 전형적인 제 3고조파가 합성된 것을 알 수 있다.

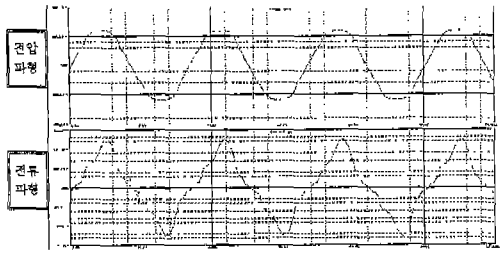


[그림 23] 계통 구성도

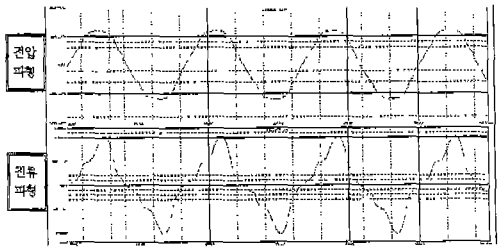
[표 19] 고조파 실측결과

측정 개소	전압 THD		전류 THD		비고
	기준	측정치	기준	측정치	
LTG ACB 1600A	5%	5.08	8~12%	24.85	중성선 과전류 흐름 : 400A
LTG ACB 1000A	5%	5.02	8~12%	29.13	중성선 과전류 흐름 : 380A

a. Main 회로



b. 분기 회로



[그림 24]

3) 분석

① 관련 기술자료(EC & M Books)

a. 과전류 보호장치의 고조파 영향

Thermal over current protective devices, such as fuses and inverse-time circuit breakers, are affected by increased skin-effect heating at the higher harmonic current levels.

This excess heating can cause shift in the devices time-versus-current characteristics, older circuit breaker operation depended on electromagnetic force proportional to the square of peak current, not rms current.

A high 3rd harmonic current could cause these breakers to trip prematurely. Most new circuit breakers with electronic trip devices respond only to true rms current and not peak current.

※ 과전류 보호장치의 시간-전류 특성은 고조파 전류에 의해 특성곡선이 이동되어 트립될 수 있다. 특히, 전자력을 이용한 Type은 실효값에 영향을 받지 않고 피크 전류값에 의해 영향을 받게 된다. 다음은 선형부하와 비선형 부하의 Crest Factor를 보여주고 있다.

b. Crest factor

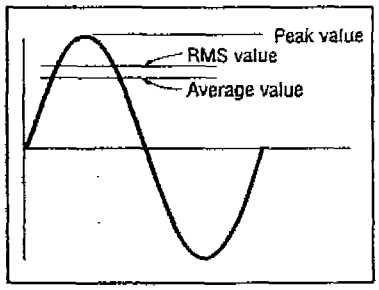


***Fig. 9.4.** Values (sine wave only):*
V_{rms} or I_{rms} =0.707 ' peak value
=1.11 ' average value
Crest factor =peak/rms =1/0.707 =1.414

[그림 25] 선형 부하일 때

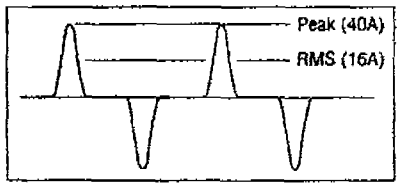
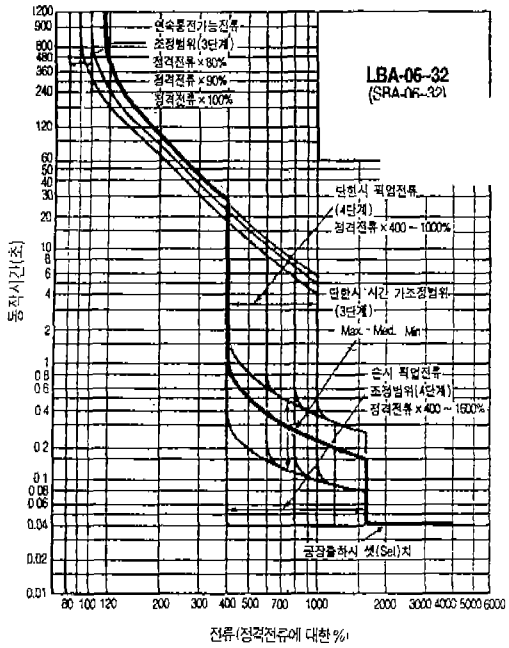


***Fig. 9.5.** Values for nonsinusoidal voltage or current rms or peak values are obtained by measurement; values will change with pulse shape, duration, frequency, and peaks. For example, if*
peak = 40A and rms =16; then
Crest factor = 40/16 = 2.5

[그림 26] 비선형 부하일 때

② ACB 동작 특성



[그림 27] ACB 동작 특성곡선

[그림27]은 일반적인 ACB 동작 특성을 나타내고 있으며, 최근 부하특성상 고조파 전류에 의한 영향을 받을 경우 [그림26]의 Crest Factor에서 보여주는 것처럼 전자력을 이용한 Type의 차단기는 동작 특성이 변화할 수 있음을 알 수 있다.

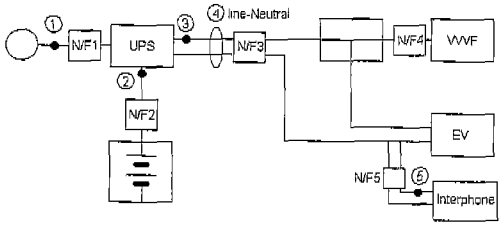
ACB는 아니더라도 배선용 차단기 400A에 고조파 전류 영향으로 200A정도의 전류가 흐를 때 차단기 접속단자와 외부가 심하게 발열되는 경우를 경험할 수 있다. 따라서 차단기 용량선정 시 주의가 필요하며 부득이 한 경우 고조파 억제 대책이 요구된다. ACB의 경우는 지락 보호요소의 기능추가와 정상상태에서 잘못 동작하지 않도록 정정이 요구되며, 분기회로 사고 시는 후비 보호를 할 수 있도록 고려한다.

또한 3상 4선식에서 중성선에 제 3고조파 전류가 과다하게 흐르는 경우는 중성선의 전압강하를 초래하여 중성점 대 접지간에 전압이 상승되어 전자장비의 정상적인 동작을 방해하기도 한다.

2.9 노이즈 측정과 EMI 필터 설치 효과

1) 개요

[그림28]의 측정 포인트에서 EMI 필터 설치전후의 Noise를 측정하여 필터의 기능을 확인함

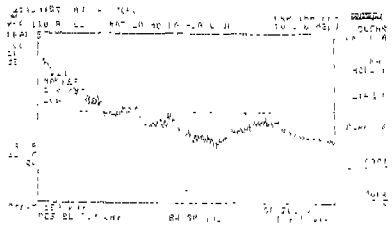


[그림 28] SYSTEM의 Block diagram

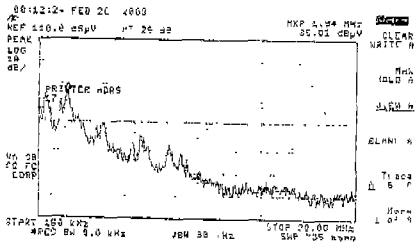
2) 분석 및 대책

① Filter 설치 이전과 이후의 EMI 비교

a. 측정 Point ①



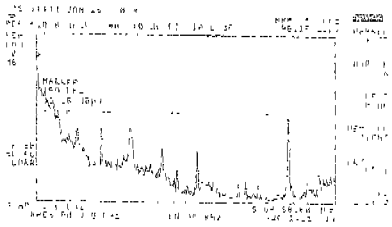
[그림 29] Filter 설치 전



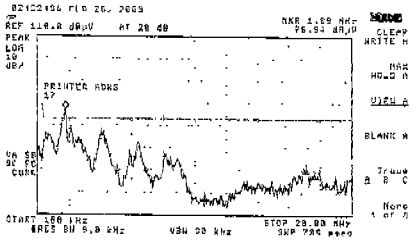
[그림 30] Filter 설치 후

[그림29]와 [그림30]은 UPS 전원측 Main 전원에서 EMI를 측정한 것으로 Filter를 설치 전에는 EMI Level이 최대 106.26[dB] 정도로 발생되었으나 필터 설치 이후에는 최대 Level이 85.92[dB]로 20.34[dB]의 감쇄를 보이고 있다. 또한 150kHz~10MHz에 걸쳐 분포하던 Noise가 전반적으로 줄어들었음을 알 수 있다.

b. 측정 Point ⑤



[그림 31] Filter 설치 전



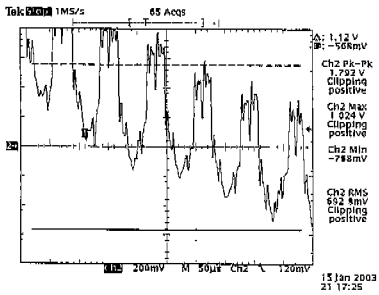
[그림 32] Filter 설치 후

[그림31]과 [그림32]는 승강기내 Inter-phone 입력전원에서의 EMI를 측정한 것으로 Filter를 설치 전에는 Noise가 최대 98.15[dB] 발생되었으나 설치 이후에는 76.94[dB] 정도가 발생하여 21.21[dB]의 감쇄를 보이고 있다

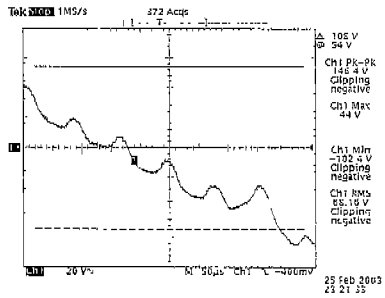
UPS와 그 밖의 System에서 발생한 Noise가 승강기 전원부까지의 선로에 전도 혹은 복사되어 나타나던 Noise를 다시 한번 Filtering하여 줌으로써 Inter-phone의 소음, 제어부의 오동작 등의 문제가 개선되었다.

② Filter 설치 전후의 전압파형 비교

a. 측정 Point ①



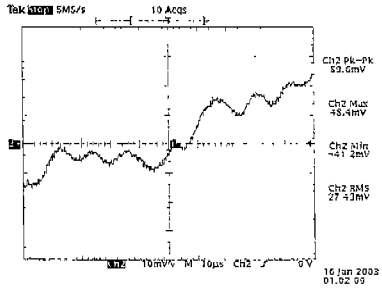
[그림 33] Filter 설치 전



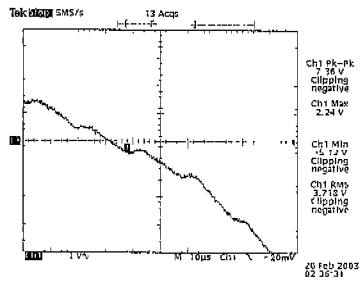
[그림 34] Filter 설치 후

[그림34]는 UPS 전원측 Main 전원에서의 전압과 Inter-phone의 입력 전압 파형을 나타내며 Filter를 설치 전에 발생되던 12kHz의 과도전압이 상당부분 감쇄된 것을 알 수 있다.

b. 측정 Point ⑤



[그림 35] Filter 설치 전



[그림 36] Filter 설치 후

[그림36]은 Inverter의 Switching 주파수인 12kHz 가량의 파형과 그 안에 실려 있는 60~75kHz의 Noise 전압이 Filter로 인해 전체적으로 줄어든 것을 나타낸다. 이는 UPS나 System에서 발생한 Noise 전압이 승강기나 다른 System에 영향을 주는 것을 억제하여 Noise로 인한 소음이나 오동작을 방지하게 된다.

다음호에 계속됩니다