전기설비 트러블 사례 ①

Power Seven 컨설팅 대표/기술사/이 성우
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
2.1 그라운드 루프형성으로 트러블 발생
2.2 범용인버터(PWM방식)에서 전원측으로 노이즈 누설
2.3 인버터 설치 후 누전차단기 오동작
2.4 전위차에 의한 트러블 발생
2.5 UPS 출력측 전원문제
2.6 지락사고 시 건전상의 대지전위 상승
2.7 중성선의 과전류 억제
2.8 저압차단기 (ACB) 트립

1. 전력문제와 전력품질의 조사 계획

1.1 조사단계

- ○ 조사계획 세우기
- ○ 조사를 위한 준비
- ○ 장소(위치) 조사
- ○ 전력시설물 관찰
- ○ 전력 모니터링 및 데이터 분석
- ○ 전력문제 규명하기
- ○ 대책 방안

1.2 조사계획 세우기

어떤 전력의 품질조사는 품질조사가 사전에 잘 계획되지 못했기 때문에 확실한 대책 없이 수개월 동안이나 계속되기도 한다. 조사 계획은 2개의 주요 요소로 구성된다.

① 조사 대상

조사 대상의 선정은 조사를 수행하기 위해서 얻어져야 할 자원(전력모니터, 요원 등)을 정의하는데 도움을 준다.

② 활동 범위 : 활동범위는 언급된 대상을 직접적으로 따른다.

1.3 조사를 위한 준비

문서와 데이터 수집 및 전력의 품질조사를 위한 필요한 Tool의 윤곽을 말한다.

① 문서와 데이터 수집

[표 1] 설비 돌발사고 로그

DATE	DAY	TIME	DESCRIPTION	UNUSUAL EVENTS

② 조사를 위한 Tool

a. 전력 모니터

b. 회로 시험기 : 중성선 및 접지선 등의 배선 에러규명에 사용

c. True RMS(Root Mean Square) 멀터미터와 악세서리

d. Clamp - on 전류 프로브(홀 효과 전류 프로브) : 2000A까지 사용하며 DC, AC 혹은 DC와 AC 합성전류를 측정, 전자기장에 민감

e. 적외선 스캐너 : 일반적으로 전체 전기시설에 대한 배전 시스템의 광범위한 조사를 위해 사용함

f. 카메라

1.4 위치 조사

위치 조사는 육안조사와 물질적인 조사로 2가지의 활동을 수반한다.

① 육안조사

전기시설의 내부조사는 장해 원인이 되는 설비를 규명하고, 배전 시스템에서 명백한 문제가 되는 장소를 찾아낸다. 주요한 전기 부하의 예는 다음과 같다.

- 가변속도 드라이브 · UPS 시스템 · 엘리베이터 · 공기 압축기 · 용접기 · 밧데리 충전기 · 제어회로 · 커패시턴스

② 물리적인 조사

조사과정은 중요한 부하에서 전기시설 인입구까지의 배선을 조사하기 위해서 시설의 재확인과정이 필요하다. 다음의 [표2]는 배선에 의해 야기되는 심각한 전력문제를 보여주고 있다.

[표 2] Wire Problems Cause Power Problems

PROBLEM	EFFECNT
Loose Connections	Impulses, Voltage Drop-out
Faulty(Hot) Breakers	Impulses, Voltage Drop-out
Neutral-to-Ground Tie	Ground Current
Neutral and Ground Reversal	Ground Current
High Impedance Neutral(Open) in Poly-Phase Circuit	Extreme Voltage Fluctuation (High or Low), Neutral-to-Ground Voltage Fluctuation
High Impedance Neutral-to-Ground Bond at Transformer	Voltage Fluctuation, Neutral-to-Ground Voltage Fluctuation
High Impedance Neutral-to-Ground Bond at Service Entrance	Voltage Fluctuation, Neutral-to-Ground Voltage Fluctuation
High Impedance(Open) Circuit Grounding	Neutral-to-Ground Voltage Fluctuation

a. 전기 배전반

Location :

Panel board# :

Manufacturer :

Type/Rating

Pole Positions :

Phase Amperage :

Neutral Amperage :

Ground Bus :

Isolated Ground Bus :

Voltage Measurements

A-N	A-B	A-G
B-N	B-C	B-G
C-N	C-A	C-G
		N-G

Does any phase voltage vary 5% or more?*
Yes No

Does any phase-to-neutral voltage vary more than 2% from phase-to-ground voltage?**
Yes No

Does neutral-to-ground voltage exceed 2 voltage?***
Yes No

COMMENTS

Current Measurements

A	N
B	G
C	

Is the current for any conductor 80% or greater than the amperage rating of the wire or circuit breaker?
Yes No

1	4	7	10
2	5	8	11
3	6	9	12

Are any ground currents excessive?
Yes No

1	4	7	10
2	5	8	11
3	6	9	12

* Check cause of voltage variation
** Check transformer grounding and neutral current
*** Check transformer neutral-to-ground bond

b. 변압기

Location :

Transformer :

Manufacturer :

Impedance :

Type :

kVA

Voltage :

Voltage Measurements

H1-G	X1-N	X1-X2
H2-G	X2-N	X2-X3
H3-G	X3-N	X3-X1
	X1-G	X0-N
	X2-G	N0-G
	X3-G	

Does any phase voltage vary 5% or more?*
Yes No

Does any phase-to-neutral voltage vary more than 2% from phase-to-ground voltage?**
Yes No

Does neutral-to-ground voltage exceed 2 voltage?***
Yes No

COMMENTS

Current Measurements

H1	N
H2	G
H3	X0
X1	X0 TO BLDG
X2	X0 TO ENCL
X3	

Observations

Does X0-to-enclosure current exceed 2 amperes? Yes No
(Larger current levels can mean wiring errors)

Does X0 current equal neutral current?
(X0 current larger than neutral means wiring errors) Yes No

Is X0 reference a conductor?
(Parity conductor sizing is preferred)
Yes No

Is safety ground conductor parity to phase conductor? Yes No
(Parity conductor sizing is preferred)

Is safety ground parallel in power feeders?
(NEC recommends symmetrical power feeders)
Yes No

*Check cause of voltage variation
**Check transformer grounding and neutral current
***Check transformer neutral-to-ground bond

c. 전기시설 인입구

Location :

Panel board# :

Manufacturer :

Type/Rating :

Pole Positions :

Phase Amperage :

Neutral Amperage :

Ground Bus :

Isolated Ground Bus

Voltage Measurements

A-N	A-B	A-G
B-N	B-C	B-G
C-N	C-A	C-G
		N-G

Does any phase voltage vary 5% or more?*
Yes No

Does any phase-to-neutral voltage vary more than 2% from phase-to-ground voltage?**
Yes No

Does neutral-to-ground voltage exceed 2 voltage?***
Yes No

COMMENTS

Current Measurements

A	N
B	G
C	

Is the current for any conductor 80% or greater than the amperage rating of the wire or circuit breaker?
Yes No
(Note and mark for repair)

1	3	5	7
2	4	6	8

Is the current in any service grounding connections excessive?
Yes No
(Note and mark for repair)

Earth Electrode____ Water Pipe****____
Building Steel____ Neutral-to-Ground Bond*****____

Is current in any feeder grounding conductor excessive?
Yes No
(Note and mark for repair)

1	3	5	7
2	4	6	8

* Check cause of voltage variation
** Check transformer grounding and neutral current
*** Check transformer neutral-to-ground bond
**** Check the water meter for bond and bypass jumper
***** Larger amounts of current indicates either a wiring error or a parallel bond in the supply transformer

1.5 전력 모니터링

가장 좋은 절차는 모든 배선보정이 완료된 후 모니터하는 것이다. 설비 운용자의 문제를 해결하려는 절박함이나 스케쥴 상의 어려움은 모니터링 과정을 반복하게 하거나 시행착오를 유발하여 곤경에 처하는 경우가 발생하기도 한다.

① 기본적인 전압과 전류를 측정한다.

② 전력문제를 도출하기 위해서 전압을 관찰하며, 원인을 발견하기 위해서 전압과 전류를 관찰한다.

③ 3단계별 모니터링

- 스코프 모드의 전압크기와 파형을 관찰한다.
- 모니터를 민감한 수준(Sensitivity)으로 설정하고 수분(15~30분)동안 관찰하며 이상 징후의 요약 로그를 작성 및 자료를 저

장한다.

· 중요한 돌발 사고를 기록하며, 돌발 사고를 잡거나 원인을 분석하기 위해 필요에 따라 모니터를 재설정한다.

1.6 분석

· 배선환경의 재조사는 [표2] Wire Problems Cause Power Problems를 참조한다.

· 돌발 사고를 요약한다.

· 설비상의 이상 징후와 전력품질간의 관계는 [표4]와 같다.

· [표1]의 설비돌발사고 로그에 전력문제를 비교한다.

· 전력문제와 설비동작의 특성을 비교한다. 설비의 주요한 특성은 제한전압, 임펄스, 중성점과 접지 전압의 한계와 전압강하 등을 모니터 데이터와 비교한다. 일반적인 설비동작 표준은 [표3]과 같다.

· 중요한 전력 돌발 사고를 분류한다. 중요한 전력 돌발 사고를 일반적인 범주로 분류함으로써 분석을 향상시킬 수 있다.

· 원인을 규명한다.

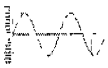
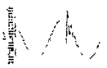
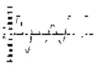
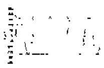
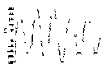
[표 3] 일반적인 설비동작특성

	NORMAL TOLERANCE	CRITICAL TOLERANCE
Voltage Fluctuations	105-132VAC (-12% to +10%)	114-126VAC (-5% to +5%)
Frequency Deviation	47-63Hz	59.5-60.5Hz
Impulses	100-300Volts (1~3 × Normal)	50-100Volts (0.5~1 × Normal)
Voltage Drop-outs	20milliseconds	4milliseconds
N-G Voltage	3-5Volts	1Volts
Harmonic Distortion (Voltage)	10-20% Max. THD	3-10% Max. THD

[표 4] 이상 징후와 전력품질간의 관계

Suspected Interference	Voltage Sag	Impulse	Voltage Distortion	Outage	N-G Voltage	Repetitive Disturbance	Overvoltage	Remarks
Hard Disk Crash		Yes		Yes			Yes	
Semiconductor Failure		Yes				Yes	Yes	
AC Detect Activation	Yes		Yes	Yes			Yes	
Lock Up/Memory Scramble	Yes	Yes				Yes	Yes	
Soft Errors		Yes			Yes	Yes	Yes	
Breaker Trip	Yes		Yes					
Reset/Reboot	Yes			Yes	Yes			
Measurement Error		Yes	Yes		Yes	Yes		
Poor Signal to Noise Ratio		Yes			Yes	Yes		
Speed or Setting Drift		Yes				Yes		
Power Supply Failure		Yes		Yes		Yes	Yes	

[표 5] Voltage Terminology Differences

	과도현상	전압변동	
주기	0.07초 이하	0.07~2초 (미국 0.067~1초)	2초 이상
구분	Voltage Impulse Notching  Surge 	Voltage Sag  Interuption  Voltage Swell 	

2. 트러블 사례 모음

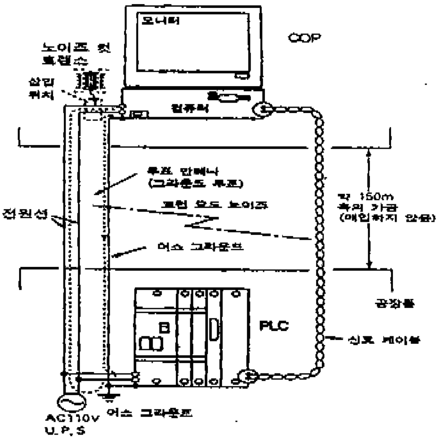
2.1 그라운드 루프 형성으로 트러블 발생

1) 트러블 개요

[그림1]은 생산현장의 자동화 시스템에서 발생한 장해 사례로서, 공장동에 설치된 PLC와 약 150m 떨어진 COP 컴퓨터와의 사이에 트러블이 발생함.

2) 원인

제어전원은 무정전 전원장치(UPS)에서 공급되고 있는데, 이 전원선의 2선과 시스템 공통의 접지선(어스 그라운드선) 간에 큰 루프(그라운드 루프라고 함)가 생기며 이것이 루프 안테나가 되어 이것에 병행하여 공중에 가설된 신호케이블에 코먼모드 노이즈가 유도되어 장해를 주고 있는 것이 판명됨



[그림 1] 노이즈 컷 트랜스 설치로 아이솔레이트 및 그라운드 루프 제거

3) 대 책

노이즈 컷 트렌스를 [그림1]과 같이 삽입하고 안테나로 되어 있는 그라운드 루프를 끊어(아이솔레이트) 장해를 해결한다. 이것은 아이솔레이트형의 방지부품이 아니면 해결할 수 없는 사례로써 절연 트랜스를 삽입해도 장해를 방지할 수가 없었던 것이다.

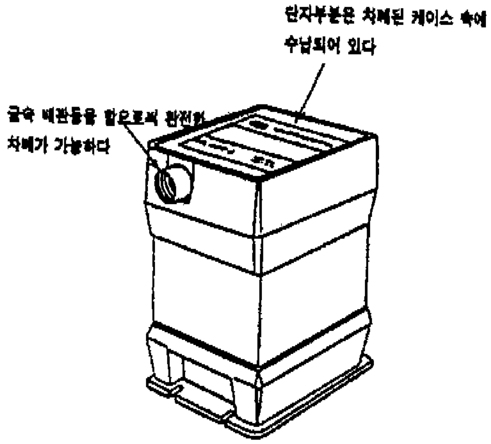
※ 노이즈 컷 트랜스

일반 절연트랜스는 1차, 2차 코일간의 부유용량이 수백~수천 pF 이기 때문에 용량결합에 의해 고주파 노이즈는 2차 측에 전달된다. 실드 트랜스는 코일간에 차폐 판을 설치하고 정전 실드를 하고 있기 때문에 저주파 코먼모드 노이즈의 전파를 방지하는 기능을 갖지만 노멀모드 노이즈에 대해서는 본래의 전자 유도작용에 의해 2차 측에 전파한다.

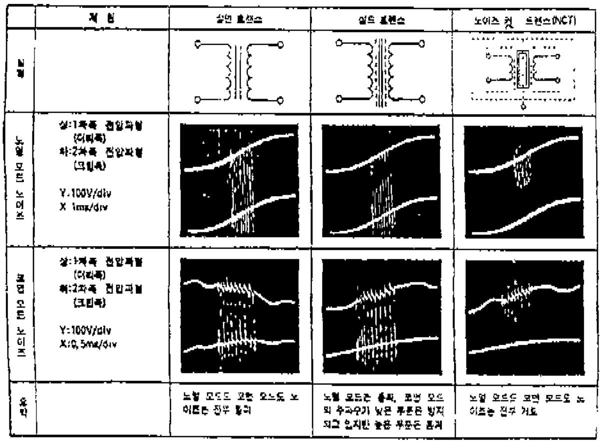
노멀모드와 코먼모드 노이즈의 2차 측으로 전파를 방지하는 것을 목적으로 한 것은 노이즈 컷 트랜스가 있다. 절연 트랜스의 구조를 기본으로 하여 다중 전자 차폐 판을 설치하는 동시에 고주파 노이즈의 자속이 쇄교하지 않도록 코어와 코일 재질, 형상에 대한 연구를 한 것이다.

노이즈 컷 트랜스(Noise Cut Transformer) [그림3]과 같이 특성이 쌍방향으로 효과가 있기 때문에 노이즈를 발생하는 장치에 부착, 외부에 노이즈를 내지 않는 대책으로 사용하는 일도 가능하지만, 전원 측에서 장치에 침입해 오는 라인 노이즈도 동시에 방지할 수 있기 때문에 이 장치가 외부에서 거꾸로 받는 노이즈 장해에도 도움이 된다.

따라서 전원 선에 노이즈 컷 트랜스를 장착하고 라인 노이즈를 차단하면 제어전원에서 발생하는 노이즈를 감쇄시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. [그림3]은 절연트랜스, 실드 트랜스, 노이즈 컷 트랜스의 노이즈 방지효과를 나타낸 것이다.



[그림 2] 노이즈 컷 트랜스



[그림 3] 트랜스의 상호 비교

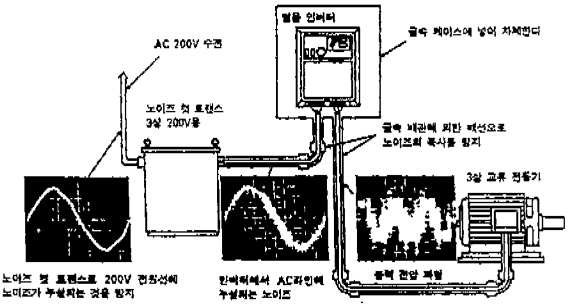
2.2 범용 인버터(PWM 방식)에서 전원측으로 노이즈 누설

1) 트러블 개요

- 모터의 회전이 가장 저 회전일 때와 가장 고 회전일 때는 노이즈가 발생하는 빈도가 낮고 30~70% 회전시가 가장 노이즈 발생빈도가 높아지는 경향을 볼 수 있다. [그림4] 참조
- 100kHz 전후의 감쇠진동 파형이 측정된다.
- 운전 중에는 노이즈가 연속해서 발생

2) 대 책

노이즈 컷 트랜스 설치로 전원 선에 노이즈가 누설되는 것을 방지함



[그림 4] 범용 인버터의 노이즈 발생 대책

2.3 인버터 설치 후 누전차단기 오동작

1) 트러블 개요

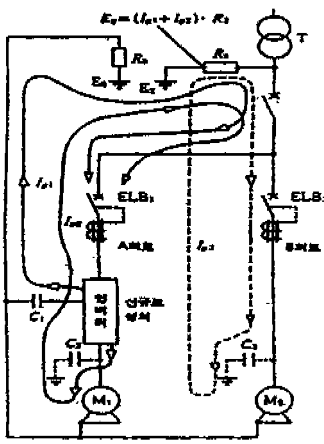
신규로 인버터를 설치했는데 인버터를 운전하면 [그림5]와 같이 인버터를 사용하고 있지 않은 B회로의 누전차단기(ELB2)가 동작하였다.

B회로의 누설전류를 조사한바 통상적으로는 2mA밖에 흐르지 않지만 인버터를 운전하면 고주파를 포함한 누설전류가 25mA나 흘러 이 전류에 의해 누전차단기가 동작한 것이었다.

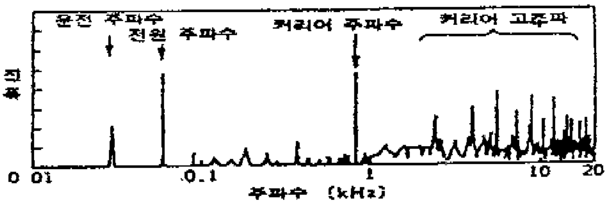
2) 원인

인버터는 높은 스위칭 주파수에 의한 파형 제어를 하기 때문에, 특히 인버터의 부하측 누설전류에 고주파성분이 많이 포함되어 있어 [그림 6]과 같이 인버터 운전시의 주파수 3~10kHz 정도(캐리어 주파수)를 중심으로 수 100kHz 이상의 고주파 누설전류가 관측되는 경우가 있다.

[그림5]에서 인버터의 필터 회로(C_1)를 거친 누설전류(Ig_1)와 선로 대지간의 정전용량(C_2)를 거친 누설전류(Ig_2)가 흘러 이 누설전류(Ig_1과 Ig_1)와 접지저항(R_2)에 의해 대지간에 전압(Eg)이 발생한다. 이 전압(Eg)에 의해 인버터를 사용하고 있지 않은 B회로에는 선로와 대지간의 정전용량(C_3)을 거쳐 누설전류(Ig_3)가 흐른다. 이 고주파 누설전류(Ig_3)로 누전차단기(ELB_2)가 오동작하는 것이다.



[그림 5] 인버터 설치 개요도

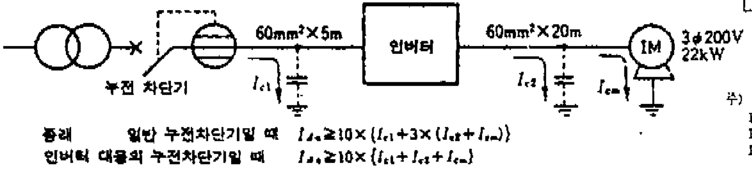


[그림 6] 인버터 누설전류의 스펙트럼

3) 대책

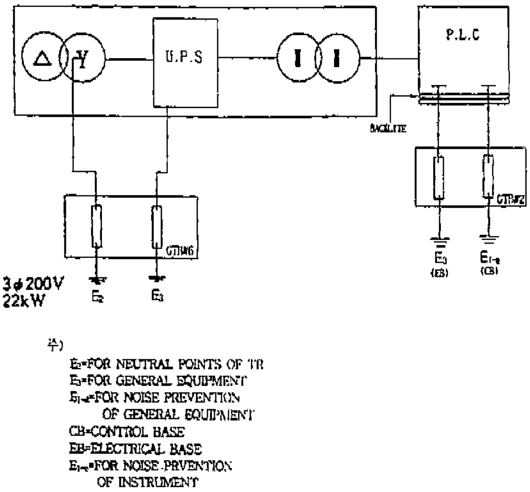
부하에 인버터가 있는 경우에는 Ig_1, Ig_2에 의한 오동작을 방지하기 위해 누전차단기의 정격

감도전류를 일반부하 경우의 3배 정도의 둔한 것으로 선정하거나, 고조파나 고주파에 대한 대책을 강구한 누전차단기를 선정하는 것이 바람직하다. 참고로 〔표6〕은 일반 누전차단기와 인버터 대응 누전차단기의 정격감도전류 선정 예를 나타낸 것이다.



[주] CV케이블 $60mm^2$ 사용시의 대지 누설전류는 금속관 배선일 때 64mA/km

[그림 7]



[그림 8] UPS System 접지 구성도

[표 6] 누전차단기의 정격 감도전류 선정 예

구 분	전선의 대지 정전용량을 고려한 경우(200V)	
	인버터 대응의 누전차단기의 경우	종래부터의 일반 누전차단기의 경우
1차측 대지누설전류 I_{c1}	$64[mA]\times\frac{5[m]}{1000[m]}=0.32[mA]$	$64[mA]\times\frac{5[m]}{1000[m]}=0.32[mA]$
2차측 대지 누설전류 I_{c2}	$64[mA]\times\frac{20[m]}{1000[m]}=1.28[mA]$	$64[mA]\times\frac{20[m]}{1000[m]}=1.28[mA]$
모터 정전용량에 의한 누설전류 I_{cm}	$0.72mA$	$0.72mA$
정격감도전류 $I_{\Delta n}$의 선정	$I_{\Delta n}\geq 10\times(I_{c1}+I_{c2}+I_{cm})$ $=10\times(0.32+1.28+0.72)$ $=23.2[mA]$ 30mA를 선정	$I_{\Delta n}\geq 10[I_{c1}+3\times(I_{c2}+I_{cm})]$ $=10\times[0.32+3\times(1.28+0.72)]$ $=63.2[mA]$ 100mA를 선정

2.4 전위차에 의한 트러블 발생

1) 개 요

인버터 System 등 자동화설비의 오동작, 제어 불안정, 기판 소손 등이 발생하고, 전원공급용 UPS와 PLC간의 접지 전위차 발생으로 순환전류가 흐른다.

2) 문제점

① 개별 접지에 의한 전위차 발생 : 순환전류가 흘러 노이즈 발생원인이 됨.

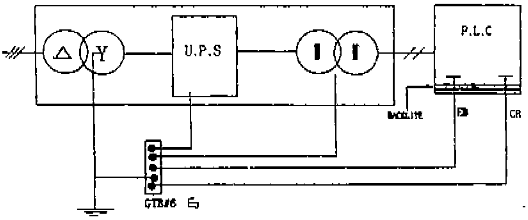
- UPS 중성점과 Frame
- PLC, CB와 EB

② 접지선이 길게 포설됨 (약 300m)

3) 대책

① UPS와 PLC 간의 전위차가 발생하지 않도록 접지 Common

② 현 #GTB2 → #GTB6 E3 소자에서 인출 일점 접지 실시(위치 변경)



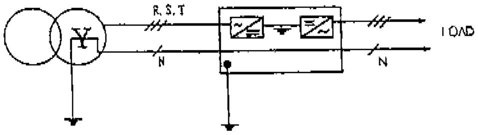
* 접지저항 2Ω이하

[그림 9]

2.5 UPS 출력측 전원문제

1) 개요

핵심공정의 자동화 설비에서 통신 Error에 의한 Halt, Upset 등 조업중 원인 불명의 고장으로 인하여 생산이 중단되는 사태가 발생하므로 원인을 측정, 분석하여 대책을 수립 실시함

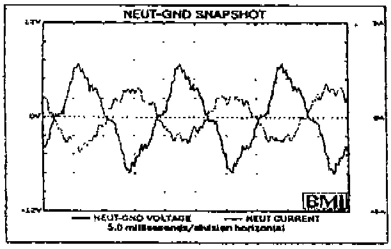


[그림 10] UPS전원 One-Line Diagram

2) RPC (Remote Peripheral Control) 전원 분석

[표 7] Status Report

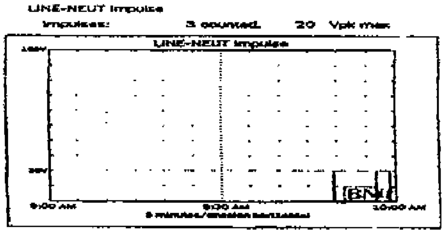
H-N 전압	N-G 전압	H 전류	G 전류
220.1 Vrms	4.3 Vrms (Sine Wave 형에 HFN가 겹침)	0.7 Arms	1.0 Arms 누설순환전류



[그림 11] N-G 전압파형과 Ground 전류

[표 8] High Frequency Noise

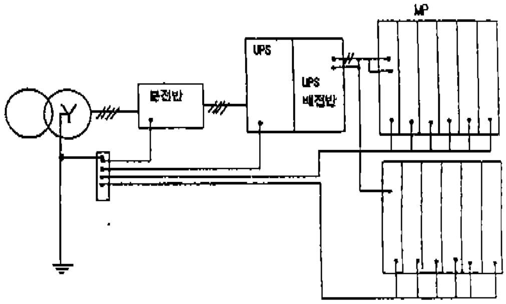
H - H	N - G	비 고
4.9 Vpp ~ 6.1 Vpp	0.8 Vpp ~ 1.7 Vpp	관리기준은 5Vpp이하이나 UPS로 부터 먼 거리에 있으므로 방사, 전도 노이즈가 전원을 타고 들어옴



[그림 12] Impulse 발생 (H-N : 3회 발생)

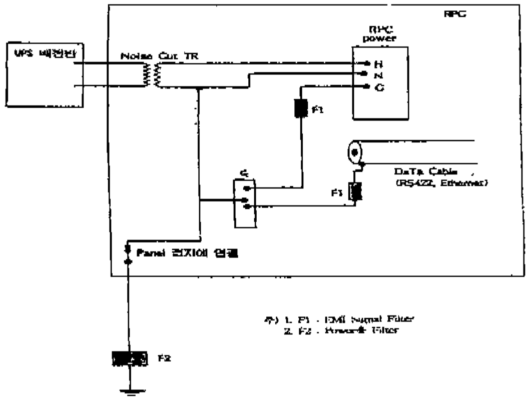
3) 대책

① 전원접지 개선도



[그림 13]

② RPC Noise Cut TR 설치 및 접지 개선도



[그림 14]

다음호에 계속됩니다