

工學碩士學位論文

비선형 불평형 부하를 갖는 3상 UPS의 중성선전류 및 출력전압 특성 해석

指導教授 魯 義 哲

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함



釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

朴 武 燮

이 論文을 朴武燮의 工學碩士
學位論文으로 認准함

2004 年 6 月

主 審 工學博士 金 千 德  (印)

委 員 工學博士 金 榮 學 

委 員 工學博士 魯 義 哲 

목 차

그림목차.....	iii
표목차.....	v
Abstract.....	vi
제1장 서론.....	1
제2장 3상 UPS의 부하 특성 및 불평형 분석.....	3
2.1 부하 종류 및 입출력 특성.....	3
2.2 국별 UPS 입출력 특성.....	9
제3장 3상 UPS 중성선 전류 해석.....	11
3.1 평형 부하의 경우.....	12
3.2 불평형 부하의 경우.....	20
제4장 3상 UPS 출력전압 특성 해석	27
4.1 평형 부하의 경우.....	27
4.2 불평형 부하의 경우.....	31
제5장 3상 UPS 출력전압 특성개선	32
5.1 평형 부하의 경우.....	32
5.2 불평형 부하의 경우.....	40
제6장 결론	58
참고문헌.....	60

그림 목 차

그림 2.1 3상 UPS system의 기본회로도	3
그림 2.2 각상 전압과 전류	5
그림 2.3 R상 전압, 전류, THD	6
그림 2.4 S상 전압, 전류, THD	7
그림 2.5 T상 전압, 전류, THD	8
그림 3.1 3상 4선식 UPS 시뮬레이션 회로도	11
그림 3.2 각 상전류와 중성선 전류(1kW)	13
그림 3.3 중성선 전류의 고조파 성분	13
그림 3.4 각 상전류와 중성선 전류(2kW)	14
그림 3.5 중성선 전류의 고조파 성분	15
그림 3.6 R상 전류와 중성선 전류(3kW)	16
그림 3.7 중성선 전류의 고조파 성분	16
그림 3.8 중성선 전류(4kW)	17
그림 3.9 중성선 전류의 고조파 성분	17
그림 3.10 중성선 전류(5kW)	18
그림 3.11 중성선 전류의 고조파 성분	18
그림 3.12 중성선 전류(6kW)	19
그림 3.13 중성선 전류의 고조파 성분	19
그림 3.14 중성선 전류(7kW)	20
그림 3.15 중성선 전류의 고조파 성분	20
그림 3.16 각 경우의 중성선 전류 파형(10kW)	23
그림 3.17 각 경우의 중성선 전류 파형(20kW)	26
그림 4.1 R상 상전압 파형	30

그림 5.1 필터를 설치한 회로도	32
그림 5.2 필터가 없는 경우(7kW 평형 부하)	35
그림 5.3 1mH 필터가 있는 경우(7kW 평형 부하)	37
그림 5.4 5mH 필터가 있는 경우(7kW 평형 부하)	39
그림 5.5 필터가 없는 경우(10kW 불평형 부하)	44
그림 5.6 1mH 필터인 경우(10kW 불평형 부하)	47
그림 5.7 5mH 필터인 경우(10kW 불평형 부하)	49
그림 5.8 필터가 없는 경우(20kW 불평형 부하)	53
그림 5.9 1mH 필터인 경우(20kW 불평형 부하)	55
그림 5.10 5mH 필터인 경우(20kW 불평형 부하)	57

표 목 차

표 2.1 입력 품질 측정값	4
표 2.2 출력 품질 측정값	4
표 2.3 국별 UPS 입출력 특성	9
표 3.1 10kW 급 부하의 불평형	21
표 3.2 20kW 급 부하의 불평형	24
표 4.1 부하 불평형시 각 상전압의 크기(10kW)	31
표 4.2 부하 불평형시 각 상전압의 크기(20kW)	31
표 5.1 고조파 제거용 L 필터의 파라미터	32
표 6.1 평형 부하시 중성선 전류 고조파	58
표 6.2 중성선 전류 변동 범위(A)	59

Analysis of neutral line current and output voltage characteristics of a 3-phase UPS with nonlinear unbalanced loads

Moo-Sub Park

Department of Electrical Engineering

Graduate School of Industry

Pukyong National University

Abstract

UPS (Uninterruptible Power Supply) is widely used to provide the clean electric power for critical loads. The critical loads include personal computers, measurement equipments, electric control systems, etc. Usually the input stage of the above mentioned loads is constructed with diode bridge rectifier. Therefore, there are large pulsed currents around the peak voltage of the UPS output, which results in a distorted voltage waveform. The larger current the severe distortion. The harmonic components of the distorted voltage may cause malfunctions of relays, communication equipments, and control systems.

KT Busan Center has 103 set of UPS and the total power rating is 4,350 kVA. The majour loads of the UPS are IDC, optic transmission, CAMA, business, LCR, M/W, DRC, etc. Most of the loads have nonlinear characteristics like diode rectifier. Thus, in some cases, the THD of the UPS output voltage is over 5 %.

This paper deals with the analysis of the output voltage and the

reduction of the THD. The output voltage is analysed with the variation of loads and load unbalance. One of the cost-effective methods for the reduction of the THD is the insertion of an inductor in the neutral line of the UPS. The simulation results show that an inductor of several mH can reduce the THD significantly. This results will be helpful in the design and upgrade of the UPS.

제 1 장 서 론

디지털 시스템의 급속한 발달 및 보급에 따라 통신장비, 의료용 장비, 정밀 계측장비 등 전원에 매우 민감한 부하들의 사용이 급증하고 있다. 이에 따라 이들 정밀 기기에 공급하는 전원의 신뢰성에 대한 요구가 점점 증가하고 있다.

또한 공급 전원의 외란이 순간적으로 발생하는 경우에도 심각한 피해를 초래할 수 있기 때문에 전원의 이상 현상에 대비한 무정전 전원장치(UPS: Uninterruptible Power Supply)의 사용은 계속 증가하고 있다. UPS 시스템은 전원외란이나 전원 공급 계통의 이상 발생시에도 일정 기간 동안 부하에 일정한 크기와 주파수를 갖는 정현파 전압을 공급하는 기능을 갖추며, UPS의 성능은 출력 전압의 총 고조파 왜곡(THD)과 과도응답 특성으로 평가될 수 있다[1].

UPS의 부하가 정류기를 포함하는 비선형 부하인 경우에는 UPS 출력 전압의 점두 부분에서 펄스 형태의 전류가 흐르게 되며, 펄스의 크기가 크면 클수록 UPS 출력전압의 왜형은 증가하게 된다. 이로 인한 고조파 성분은 통신계통이나 제어계통에 전자유도 장애를 발생하거나 각종 계전기의 오동작을 유발하고 전동기 소음 및 토크 맥동의 원인으로 작용한다.

따라서 UPS의 출력전압 파형을 개선하기 위하여 제안된 제어 시스템에는 전압 제어루프 안에 전류제어루프가 삽입된 2중 제어기법[2], 데드비트 제어기법[3-5], 전류 변화 예측 보상기법[6-8], 반복제어기법[9], 2중 디지털 제어기법[10] 등이 있으며 여러 대의 UPS를 병렬로 제어하는 기법[11]도 제시되고 있다.

한국 통신(KT)에서 사용되고 있는 전원장치는 크게 교류 전원 장치와 직류 전원장치로 나뉘어진다.

통신시스템에 대한 전력의 공급은 직류전원방식을 기본으로 하고 있으나, 디지털교환기의 주변장치용 전원 및 미니컴이나 퍼스컴 또는 계측, 제어장치나 전송, 통신기기에 의한 각종 정보처리, FA, OA 시스템 등이 고도화되고 보급이 일반화됨에 따라 이러한 시스템 가운데 무정전의 고신뢰도 교류전력에 대한 요구가 점점 증가되어 가고 있다.

KT에 설치된 UPS는 잠시도 정전 또는 전압변동 등을 허용할 수 없는

중요한 부하기기에 상용전원이 정전 또는 긴급사고가 발생하였을 경우 부하 측 전원에 차단 또는 전압변동이 되지 않도록 대단히 짧은 시간 내에 대기중인 비상전원에 의해 양질의 전원을 공급하도록 되어있다.

초기의 무정전 교류공급방식은 회전형 무정전전원장치(3EG, MGG, PMG)가 주류를 이루고 있었다. 이후 정보처리장치의 급속한 진전에 대응하여 SCR을 주변소자로 사용해서 효율성 및 신뢰성 향상을 도모한 정지형 교류전원장치가 보급되었다. 최근에는 SCR 대신에 전류회로가 불필요한 GTO, FET, Transistor 또는 IGBT를 사용함으로써 효율의 향상, 소형화, 경량화를 도모하고 있다.[12]

KT의 UPS적용은 통신기에 무순단(10ms이내)의 교류전원이 요구되는 부하로서 무정전 “가”급으로 분류된다. 위성지구국의 위성통신용, 전산국의 과금 관련 전산기기용, 정보통신망장비 중 전국망 장비용 및 기타 통신용 장비 중 전국망 장비용 등 전원으로 사용된다.[13]

KT부산본부 내 보유 UPS는 103대를 사용하고 있으며 총용량은 4,350[KVA]이다. 이중에 3상용은 54대 3,810[KVA]이고, 단상용은 49대 540[KVA]이다. UPS 종류는 3상용으로 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200[KVA]용이 있고, 단상용으로는 5, 10, 15, 30[KVA]용 UPS가 있다. UPS의 주요 용도를 보면 IDC, 정보통신, 광전송, CAMA, 영업전산, LCR, M/W, DRC 및 기타 용도로 사용하고 있다.

본 논문에서는 이러한 UPS들의 비선형 부하가 불평형인 경우에 대한 중성선 전류와 출력전압 전고조파 왜형을 등을 해석하고자 한다. 해석 대상으로는 3상 UPS중에서 가장 많이 사용되고 있는 30KVA급 UPS를 선정하였으며, 부하는 10kW와 20kW에 대하여 각상의 불평형 정도를 각각 10%, 20%, 30% 씩 설정하였다. 출력 전압의 왜형율을 감소시키기 위하여 중성선에 L-필터를 추가한 경우에 대한 해석도 수행함으로써 UPS 출력전압 파형 개선을 위한 하드웨어적 방안을 검토하였다.

제2장 3상 UPS의 부하특성 및 불평형 분석

2.1 부하 종류 및 입출력 특성

그림 2.1은 KT 부산본부 내에 운영 중인 3상 UPS system의 기본회로도이다. UPS의 입력은 3상 380V 교류전원이며 3상 다이오드 전파 정류기를 통하여 직류로 변환된다. 변환된 직류전원은 축전지를 충전하고 또한 3상 인버터의 입력 전원으로 작용한다. 3상 인버터는 IGBT를 사용한 PWM 인버터이며 인버터의 출력은 Δ-Y 결선의 3상 변압기에 연결된다. 3상 변압기 2차측은 3상 4선식으로 중성선을 인출하였으며, 선간전압은 380V, 상전압은 220V이다.

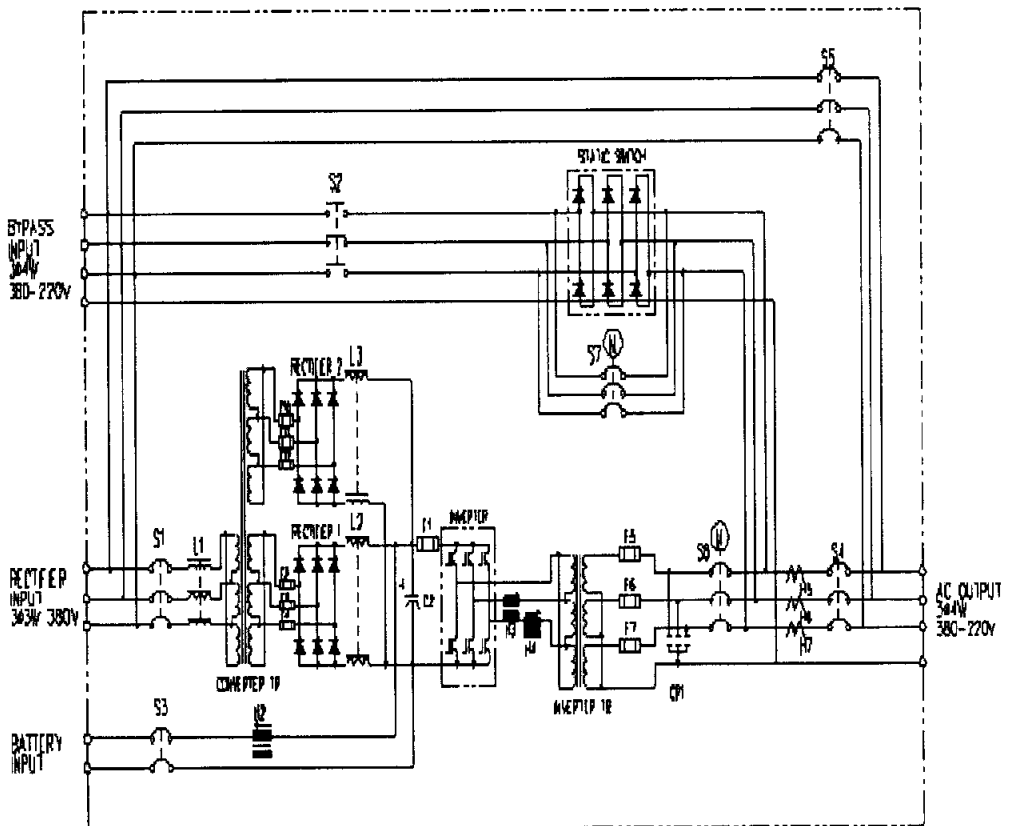


그림 2.1 3상 UPS system의 기본회로도

3상 UPS 출력측 부하의 종류로는 요금판독기, 전자교환기 I/O용 PC, ROUTER, 선로시험대, HUB장비, 중계 I/O용 PC, 초고속 국간망 등이 있다. KT 부산본부에 보유 UPS 중에서 중부산지점에 설치되어 운용중인 30[KVA]급 3상 UPS에 대한 입출력 품질 특성과 출력파형 및 왜형율을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 입력품질측정

표 2.1 입력 품질 측정값

구 분	전압(V)	전류(A)	주파수(Hz)	왜형율(%)	부하용량(KVA)	비 고
R 상	210.4	31.7	60	7.99	6.7	
S 상	212.5	29.5	60	7.84	6.3	
T 상	212.3	30.6	60	8.34	6.5	

(2) 출력 품질측정

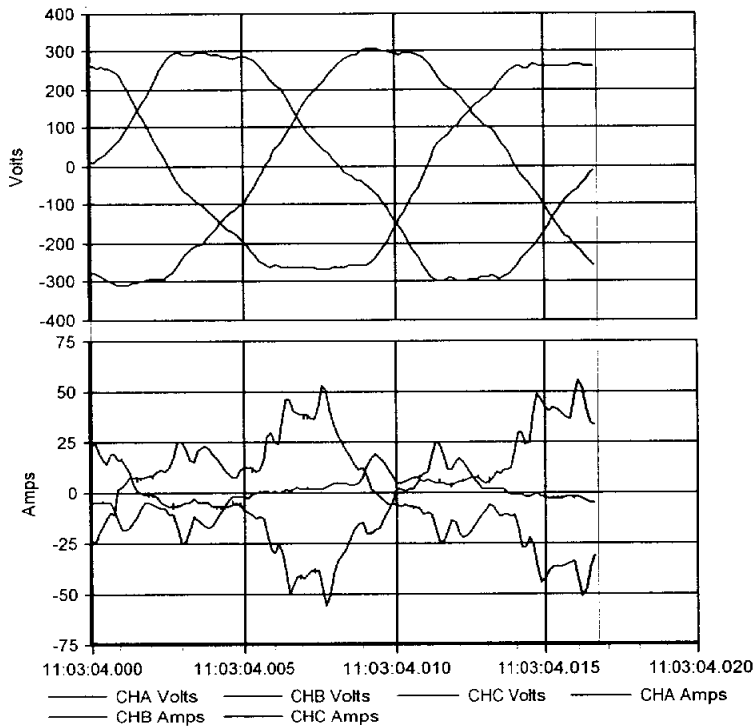
표 2.2 출력 품질 측정값

구 분	전압(V)	전류(A)	주파수(Hz)	왜형율(%)	부하용량(KVA)	비 고
R 상	208.2	23.2	60	9.95	4.8	
S 상	214.0	9.2	60	4.52	2.0	
T 상	207.8	24.4	60	11.97	5.1	

(3) 출력파형 및 왜형율(R, S, T상)

Unit	A	B	C	ABC
V	208.2	214.0	207.8	210.9
I	23.2	9.2	24.4	56.8
kVA	4.8	2.0	5.1	5.8
Vthd	9.95	4.52	11.97	11.97
Ithd	54.50	56.12	45.54	56.12
Hz	60.0	0.0	0.0	

Event waveform/detail



Snapshot event at 2003-10-02 11:03:04.000

그림 2.2 각상 전압과 전류

(4) 출력파형 및 왜형율(R상)

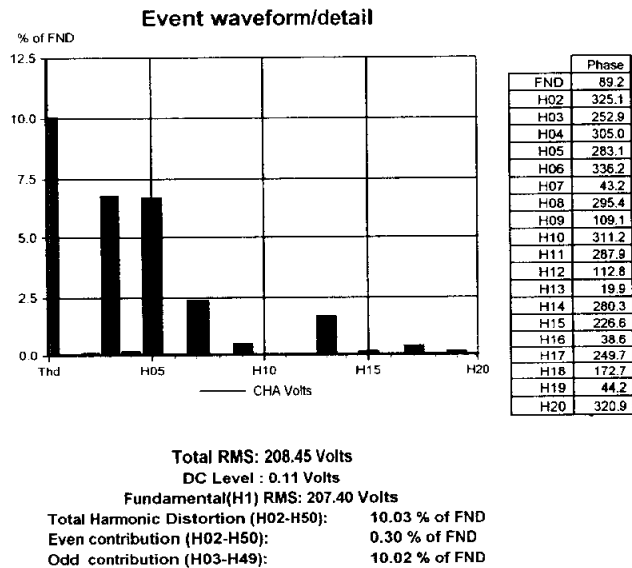
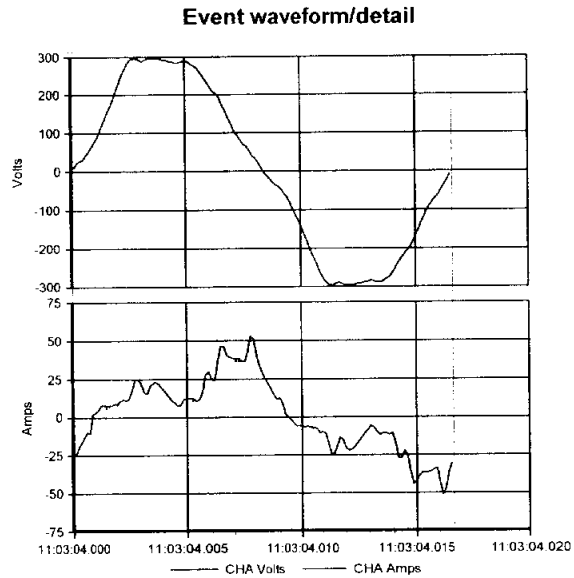
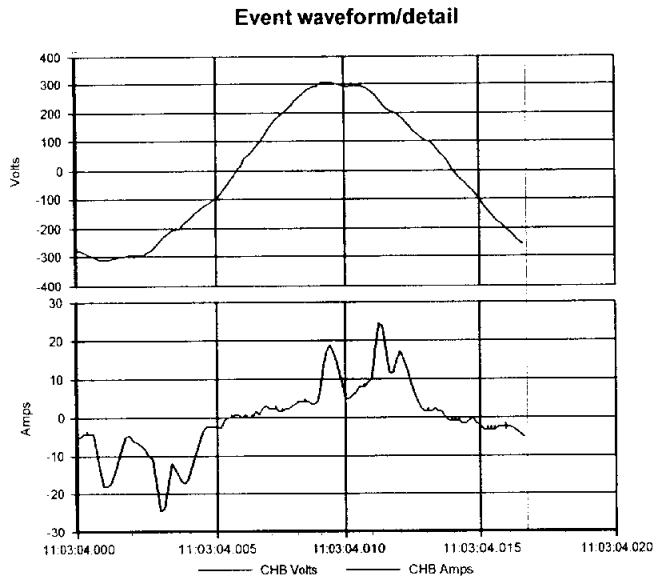
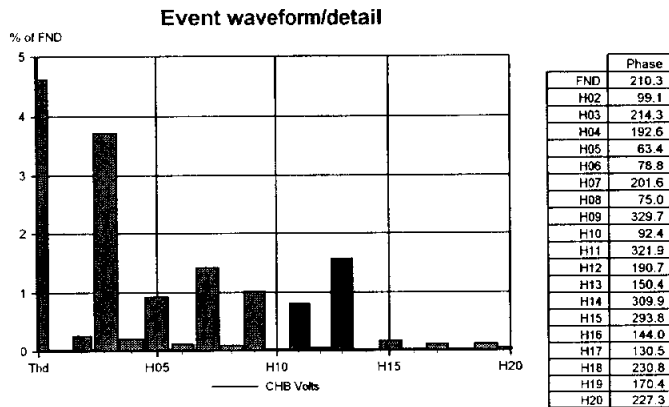


그림 2.3 R상 전압, 전류, THD

(5) 출력파형 및 왜형율(S상)



Snapshot event at 2003-10-02 11:03:04.000

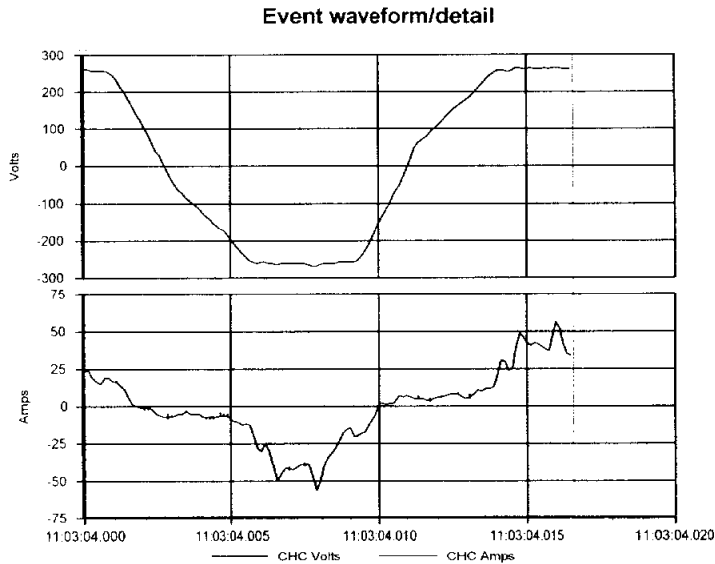


Total RMS: 214.14 Volts
 DC Level : 0.17 Volts
 Fundamental(H1) RMS: 213.90 Volts
 Total Harmonic Distortion (H02-H50): 4.62 % of FND
 Even contribution (H02-H50): 0.41 % of FND
 Odd contribution (H03-H49): 4.60 % of FND

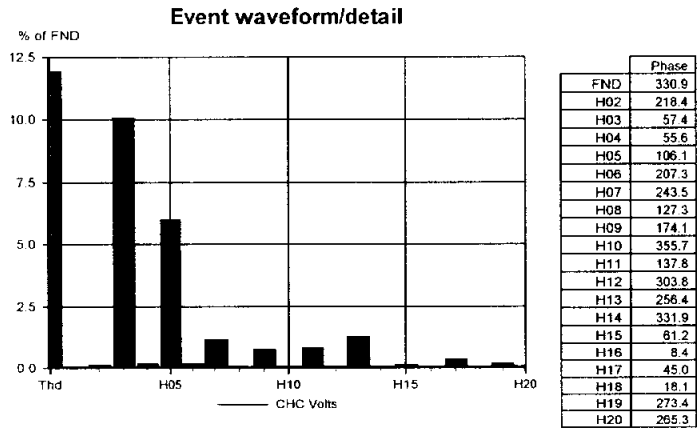
Snapshot event at 2003-10-02 11:03:04.000

그림 2.4 S상 전압, 전류, THD

(6) 출력파형 및 왜형율(T상)



Snapshot event at 2003-10-02 11:03:04.000



Total RMS: 207.97 Volts

DC Level : 0.43 Volts

Fundamental(H1) RMS: 206.50 Volts

Total Harmonic Distortion (H02-H50): 11.92 % of FND

Even contribution (H02-H50): 0.35 % of FND

Odd contribution (H03-H49): 11.91 % of FND

Snapshot event at 2003-10-02 11:03:04.000

그림 2.5 T상 전압, 전류, THD

2.2 국별 UPS 입출력 특성

KT 부산본부내 운영중인 UPS의 대표적인 경우를 예로 들어 입출력 전압, 입출력 전압 왜형율, 부하 용량을 살펴보면 다음의 표 2.3과 같다.

표 2.3 국별 UPS 입출력 특성-1

국 별	용 량 [KVA]	상	입력전압 [V]	입력전압 왜형율 [%]	부하용량 [KVA]	출력전압 [V]	출력전압 왜형율 [%]	부하용량 [KVA]
중부산	30	R	210.4	7.99	6.7	208.2	9.95	4.8
		S	212.5	7.84	6.3	214.0	4.52	2.0
		T	212.3	8.34	6.5	207.8	11.97	5.1
서부산	150	R	214.0	6.00	24.8	222.7	5.52	26.4
		S	215.1	5.18	21.4	222.2	5.02	17.6
		T	215.4	5.25	24.8	222.1	5.12	24.9
	100	R	215.4	5.50	19.8	222.7	5.52	26.4
		S	216.0	5.12	17.7	222.2	5.02	17.6
		T	216.4	5.14	19.5	222.1	5.12	24.9
	75	R	215.4	5.50	19.8	222.7	5.52	26.4
		S	216.0	5.12	17.7	222.2	5.02	17.6
		T	216.4	5.14	19.5	222.1	5.12	24.9
영 도	50	R	370.6	3.87	7.2	212.8	5.67	2.0
		S	370.6	4.35	7.9	213.2	10.17	4.1
		T	368.2	4.08	8.8	209.9	6.45	4.1
동 삼	50	R	388.0	4.04	8.5	208.3	5.88	5.8
		S	388.6	3.94	9.0	208.0	9.99	4.7
		T	384.6	3.83	9.1	210.8	9.65	3.3
	50	R	394.6	3.91	8.6	208.3	5.88	5.8
		S	394.6	3.92	8.8	208.0	9.99	4.7
		T	391.0	3.88	9.6	210.8	9.65	3.3

표 2.3 국별 UPS 입출력 특성-2

국 별	용 량 [KVA]	상	입력전압 [V]	입력전압 왜형율 [%]	부하용량 [KVA]	출력전압 [V]	출력전압 왜형율 [%]	부하용량 [KVA]
송신소	50	R	223.8	2.71	6.5	209.2	2.63	2.0
		S	219.9	4.52	7.5	210.2	3.52	1.3
		T	214.8	2.93	3.8	207.9	3.36	1.9
북부산	30	R	208.9	2.37	12.7	206.0	3.62	10.4
		S	207.6	2.98	12.2	207.4	5.05	9.2
		T	206.8	2.78	12.4	208.7	3.88	7.3
사 하	30	R	206.2	6.27	7.0	210.7	4.95	3.0
		S	205.8	5.98	6.5	208.0	5.00	5.4
		T	205.7	6.00	7.4	209.7	2.75	5.3
금 곡	30	R	379.9	2.58	6.7	381.0	0.86	2.3
		S	381.3	2.24	2.3	381.7	0.75	1.4
		T	381.0	2.45	8.1	381.1	0.73	0.1
구 포	20	R	375.7	2.14	2.5	218.4	1.8	4.5
		S	374.3	2.14	2.9	—	—	—
		T	373.5	1.91	2.9	—	—	—
덕 포	10	R	216.7	4.8	2.7	222.8	10.46	1.7
장 립	10	R	214.5	6.4	4	220.2	1.81	1.5
강 서	10	R	217.7	1.88	4.4	217.9	4.01	4.0

제3장 3상 UPS 중성선 전류 해석

3상 4선식 UPS의 중성선에 흐르는 전류를 해석하기 위하여 그림 3.1과 같이 회로를 구성하여 시뮬레이션 하였다.

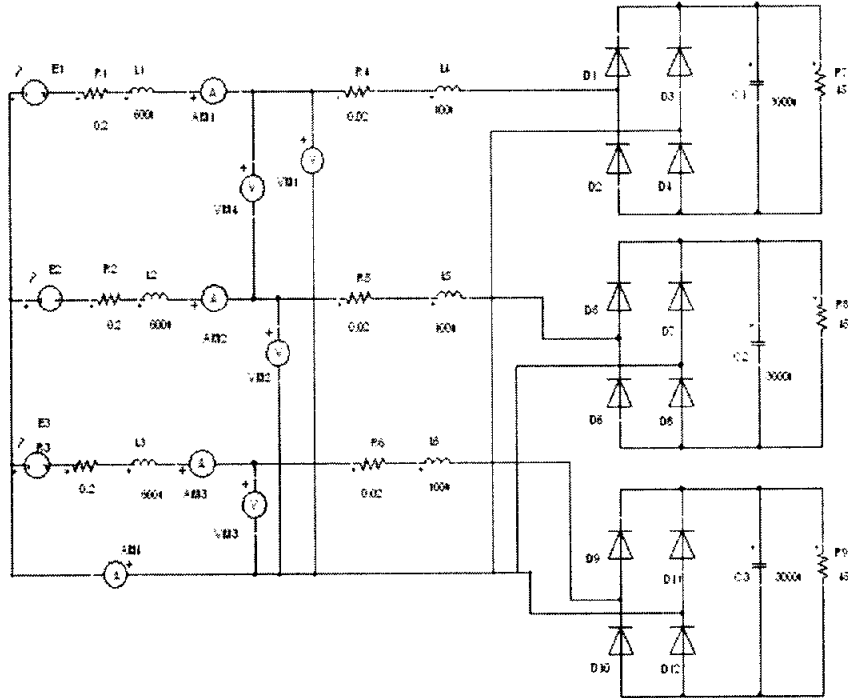


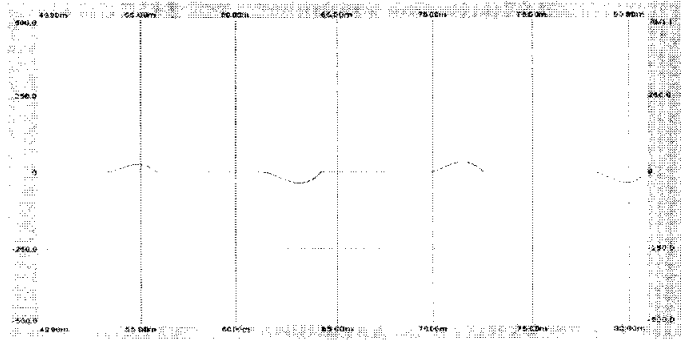
그림 3.1 3상 4선식 UPS 시뮬레이션 회로도

중성선 전류는 비선형 부하일 경우 심각하게 많은 전류가 흐르므로 부하는 최악의 상황을 고려하여 정류기 부하로 하였다. 대부분 UPS의 부하는 컴퓨터 또는 주요 전기전자 기기이고 이들의 입력단은 다이오드 정류기인 경우가 많기 때문에 UPS의 부하를 정류기로 한 것이다. UPS 용량은 30kVA로 하였으며 UPS 내부 임피던스를 약 5%로 보고 시뮬레이션 파라미터를 산정하였다. 부하는 3상 평형 부하인 경우와 불평형 부하인 경우로 나누어서 분석하였으며 각 상의 부하용량을 1kW, 2kW, 3kW, 4kW, 5kW, 6kW, 7kW의 7단계로 나누어서 비교하였다. 불평형 정도는 각 상의 부하가 서로 10%, 20%, 30% 불평형 되도록 하였다.

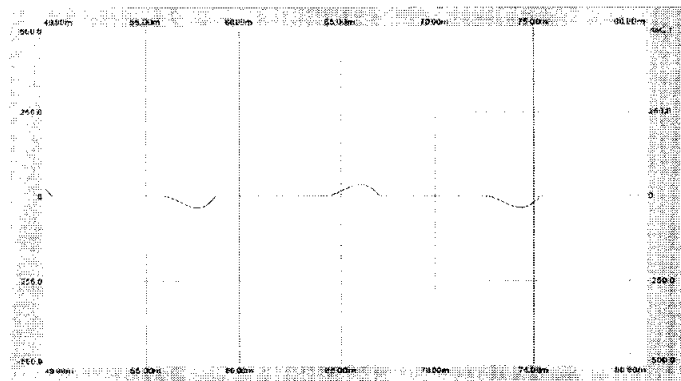
3.1 평형 부하의 경우

3.1.1 1kW 부하

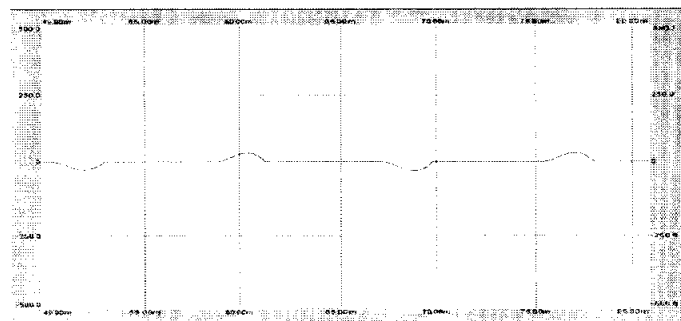
각 상전류 i_R , i_S , i_T 와 중성선 전류 i_N 의 파형은 그림 3.2와 같다.



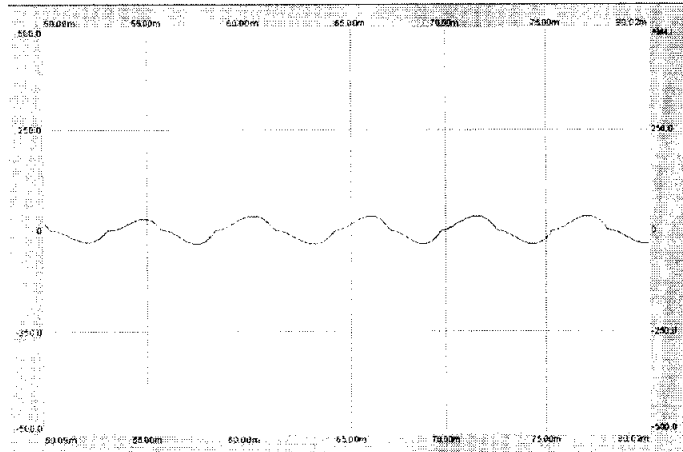
$$i_{Rpeak} = 21A$$



$$i_{Speak} = 21A$$



$$i_{Tpeak} = 21A$$



$$i_{Npeak} = 21A$$

그림 3.2 각 상전류와 중성선 전류(1kW)

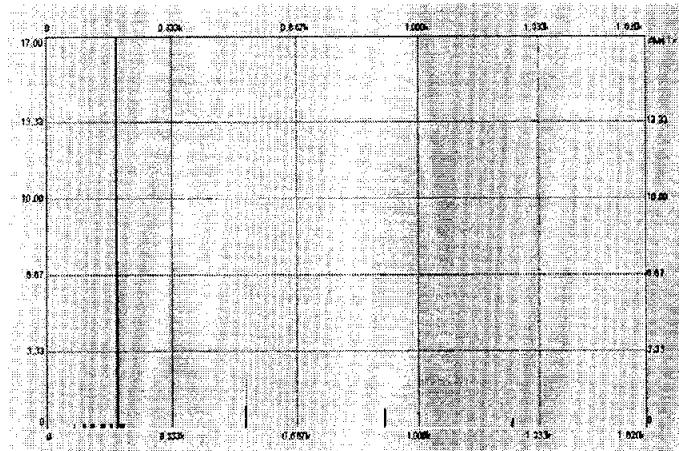
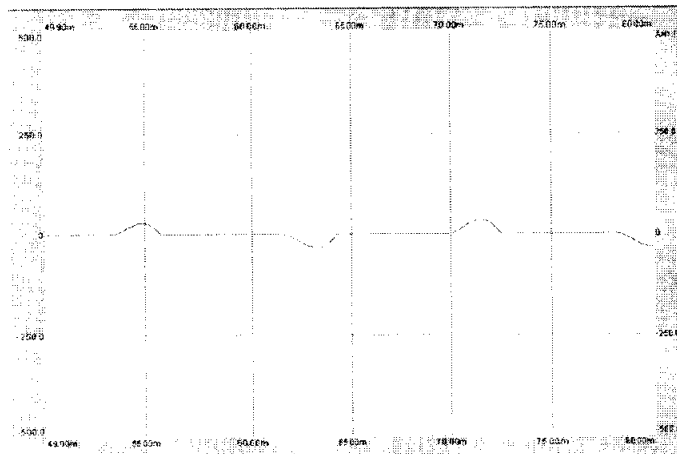


그림 3.3 중성선 전류의 고조파 성분

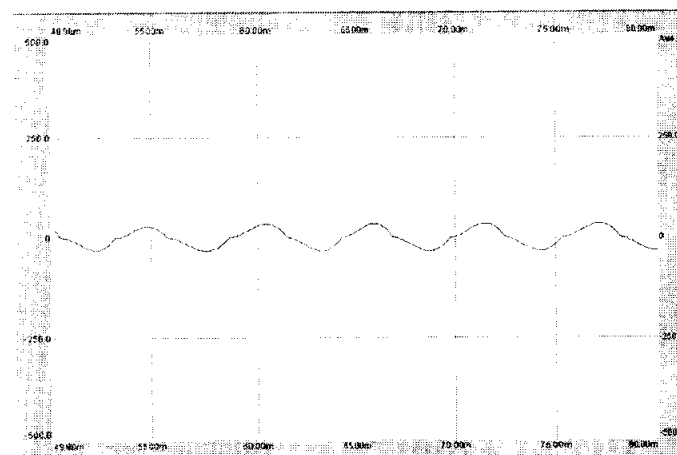
그림 3.3은 중성선 전류의 고조파 성분의 크기를 나타낸다. 180Hz, 540Hz, 900Hz, 1260Hz에서 각각 크기는 17A, 2.1A, 820mA, 425mA임을 알 수 있다.

3.1.2 2kW 부하

그림 3.4는 상전류 i_R 과 중성선 전류 i_N 의 파형을 나타낸다. 상전류 i_S 와 i_T 의 크기는 상전류 i_R 과 동일하며 각각의 위상차는 120° 이다.



$$i_{Rpeak} = 31A$$



$$i_{Npeak} = 31A$$

그림 3.4 R상전류와 중성선 전류(2kW)

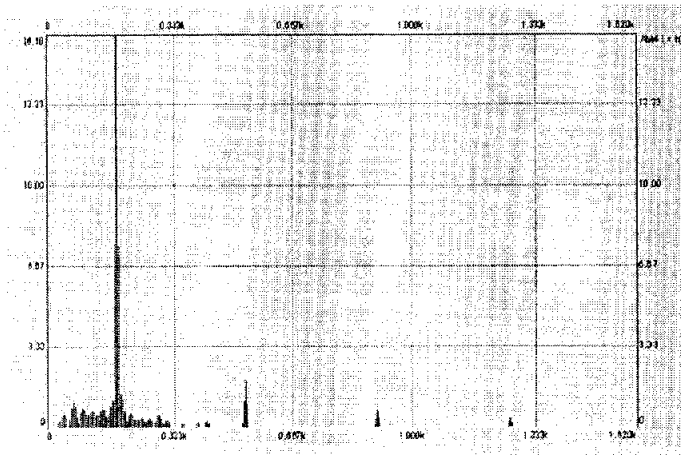
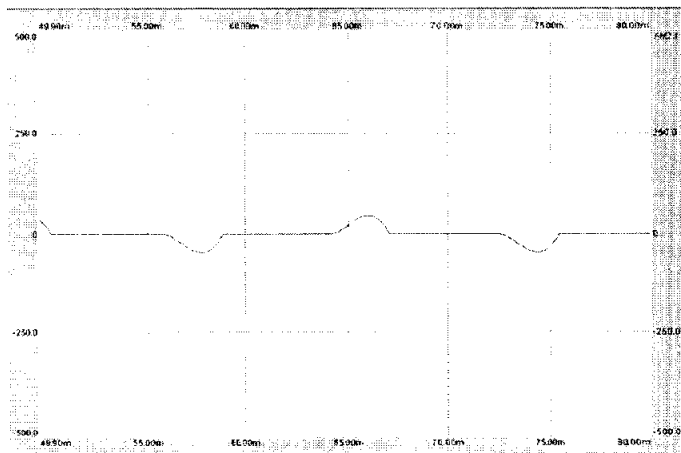


그림 3.5 중성선 전류의 고조파 성분

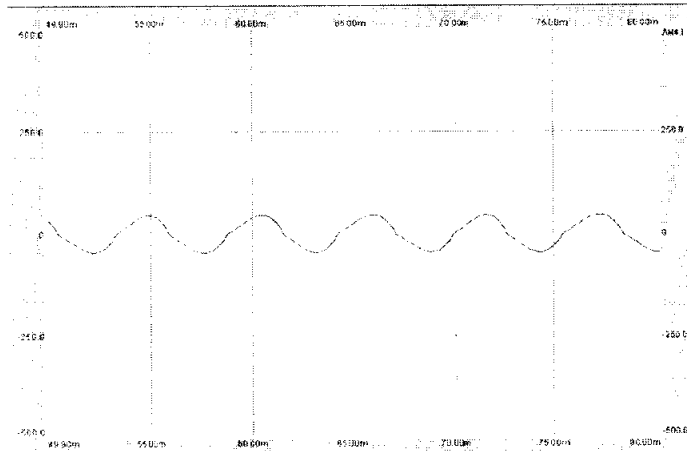
그림 3.5은 중성선 전류의 고조파 성분의 크기를 나타낸다. 180Hz, 540Hz, 900Hz, 1260Hz에서 각각 크기는 16.9A, 1.9A, 750mA, 330mA임을 알 수 있고 60~300Hz에서도 많은 고조파 성분을 확인할 수 있다.

3.1.3 3kW 부하

각 상전류 i_R , i_S , i_T 와 중성선 전류 i_N 의 파형은 그림 3.6과 같다.



$$i_{Rpeak} = 45A$$



$$i_{Npeak} = 45A$$

그림 3.6 R상전류와 중성선 전류(3kW)

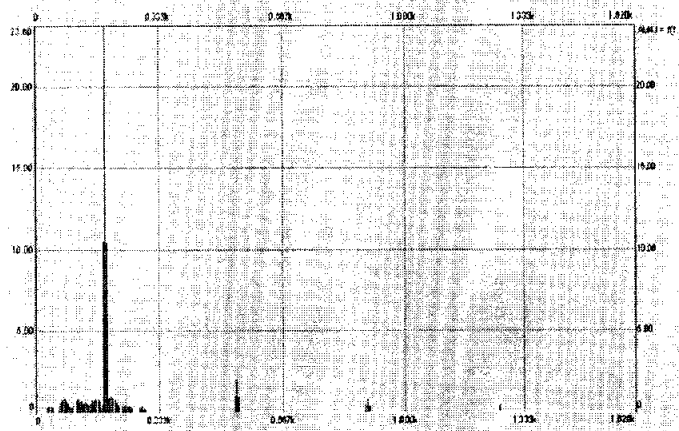


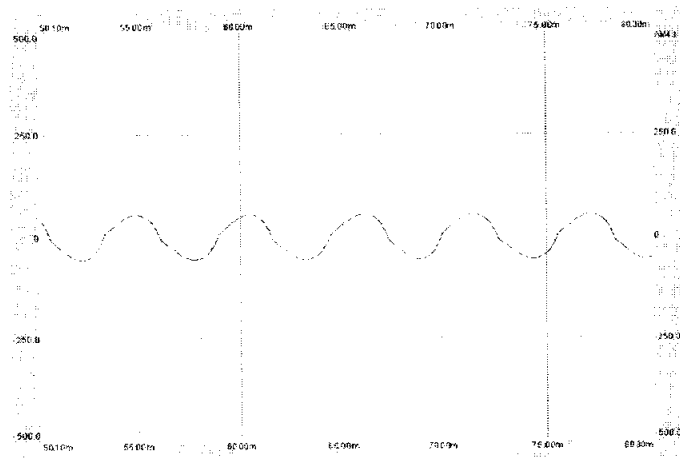
그림 3.7 중성선 전류의 고조파 성분

그림 3.7은 중성선 전류의 고조파 성분의 크기를 나타낸다. 180Hz, 540Hz, 900Hz, 1260Hz에서 각각 크기는 16.18A, 1.95A, 740mA, 330mA임을 알 수 있고 서브 하모닉 성분이 더욱 증가함을 알 수 있다.

3.1.4 4kW 부하

각 상전류의 모양은 그림 3.6과 비슷하며 피크값이 55A이다. 중성선 전류 i_N 의 파형은 그림 3.8과 같다. 중성선 전류의 피크값은 57A로서 각

상전류의 합이 연속모드로 흐르는 것을 알 수 있다.



$$i_{Npeak} = 57A$$

그림 3.8 중성선 전류(4kW)

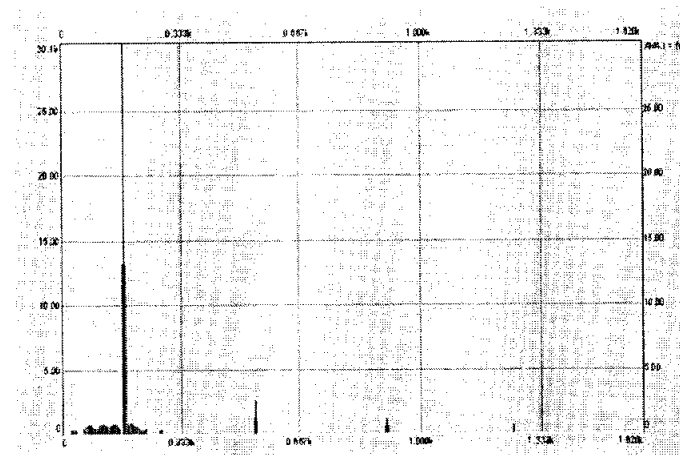


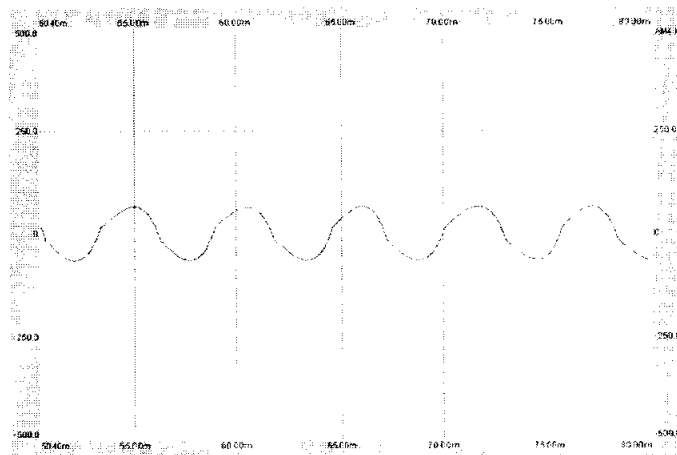
그림 3.9 중성선 전류의 고조파 성분

그림 3.9은 중성선 전류의 고조파 성분의 크기를 나타낸다. 180Hz, 540Hz, 900Hz, 1260Hz에서 각각 크기는 30.1A, 2.5A, 1.2A, 500mA임을 알 수 있다. 고조파 성분의 급격한 증가를 알 수 있다.

3.1.5 5kW 부하

이 경우도 각 상전류의 모양은 그림 3.6과 비슷하며 피크 값이 65A이

다. 중성선 전류 i_N 의 파형은 그림 3.10과 같으며 피크 값은 66A이다.



$$i_{Npeak} = 66A$$

그림 3.10 중성선 전류(5kW)

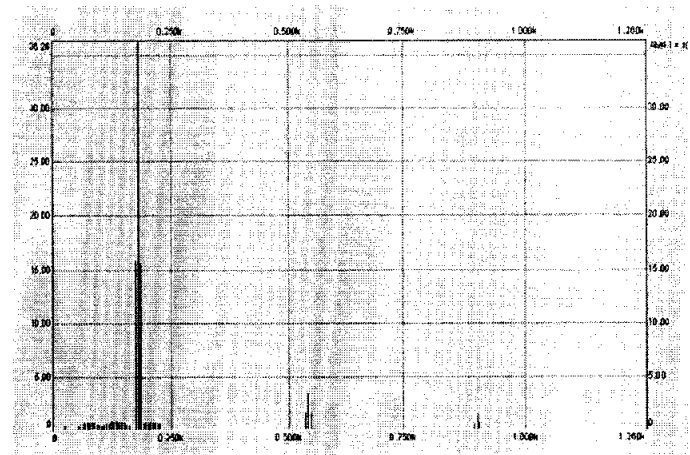
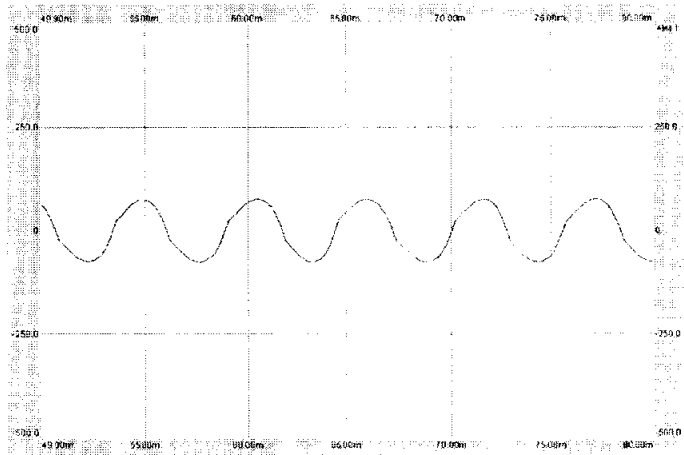


그림 3.11 중성선 전류의 고조파 성분

그림 3.11은 중성선 전류의 고조파 성분의 크기를 나타낸다. 180Hz, 540Hz, 900Hz에서 각각 크기는 36.2A, 3.5A, 1.4A임을 알 수 있다.

3.1.6 6kW 부하

각 상전류의 모양은 그림 3.6과 비슷하며 피크 값은 74A이다. 중성선 전류 i_N 의 파형은 그림 3.12과 같으며 피크 값은 76A이다.



$$i_{Npeak} = 76A$$

그림 3.12 중성선 전류(6kW)

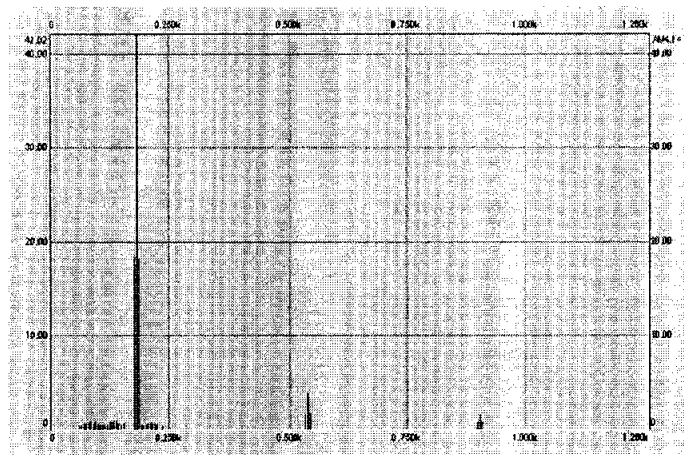
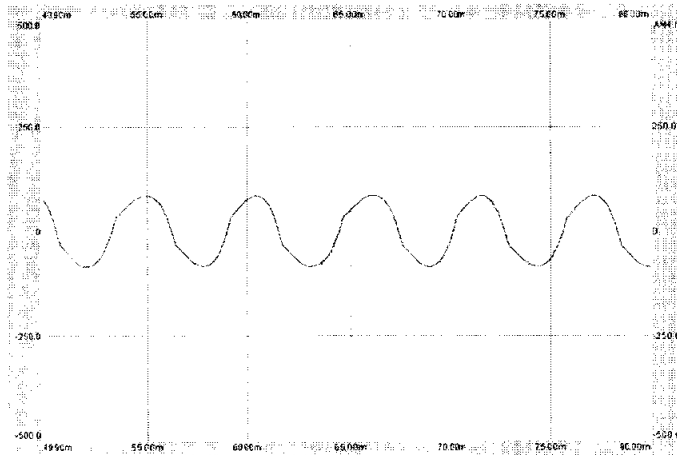


그림 3.13 중성선 전류의 고조파 성분

그림 3.13은 중성선 전류의 고조파 성분의 크기를 나타낸다. 180Hz, 540Hz, 900Hz에서 각각 크기는 42A, 3.75A, 1.5A임을 알 수 있다.

3.1.7 7kW 부하

각 상전류의 피크 값은 84A이며 중성선 전류 i_N 의 파형은 그림 3.14과 같고 피크 값은 85.4A이다.



$$i_{Npeak} = 85.4A$$

그림 3.14 중성선 전류(7kW)

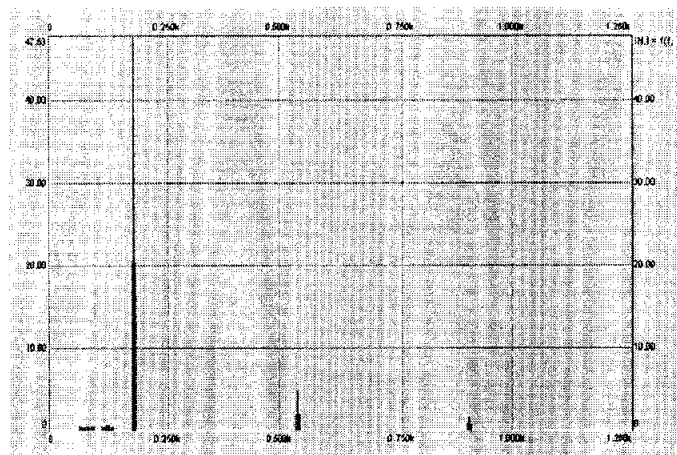


그림 3.15 중성선 전류의 고조파 성분

그림 3.15은 중성선 전류의 고조파 성분의 크기를 나타낸다. 180Hz, 540Hz, 900Hz에서 각각 크기는 47.53A, 4.75A, 1.6A임을 알 수 있다.

3.2 불평형 부하의 경우

불평형 부하에서는 총 부하 용량이 약 10kW와 20kW인 경우로 나누어서 분석하였다.

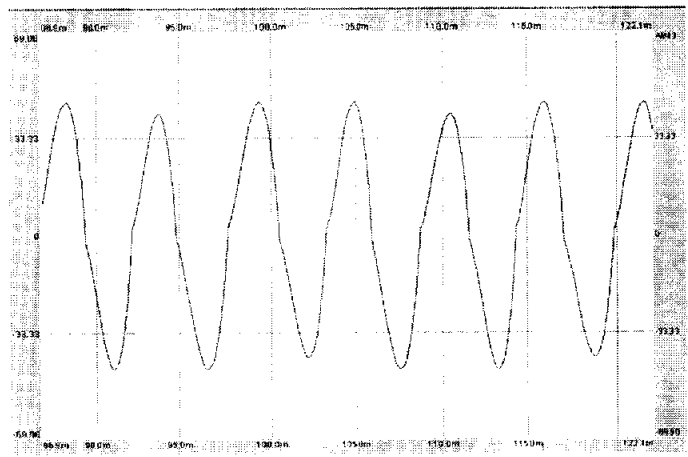
3.2.1 10kW급 부하

불평형의 정도는 표 3.1 과 같이 5가지 경우로 나누어서 분석 하였다.

표 3.1 10kW 급 부하의 불평형

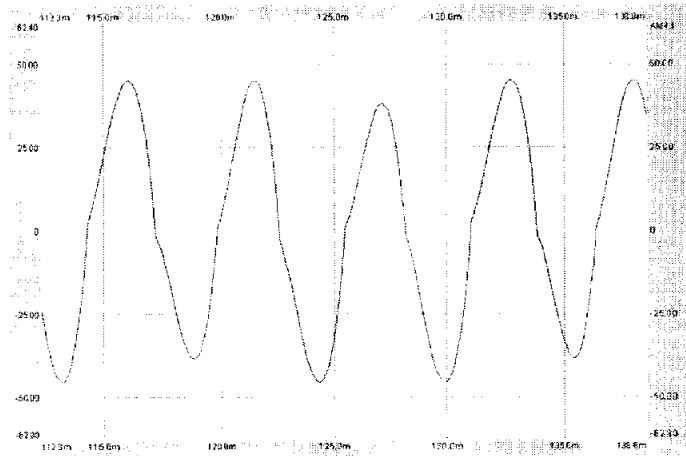
CASE	R상		S상		T상		중 부하 (KW)
	부하(KW)	%	부하(KW)	%	부하(KW)	%	
1	3	100	3	100	2.7	90	8.8
2	3	100	3	100	2.4	80	8.4
3	3	100	3	100	2.1	70	8.1
4	3	100	2.7	90	2.4	80	8.1
5	3	100	2.4	80	2.1	70	7.5

그림 3.16에 각 CASE에서의 중성선 전류를 나타내었다.



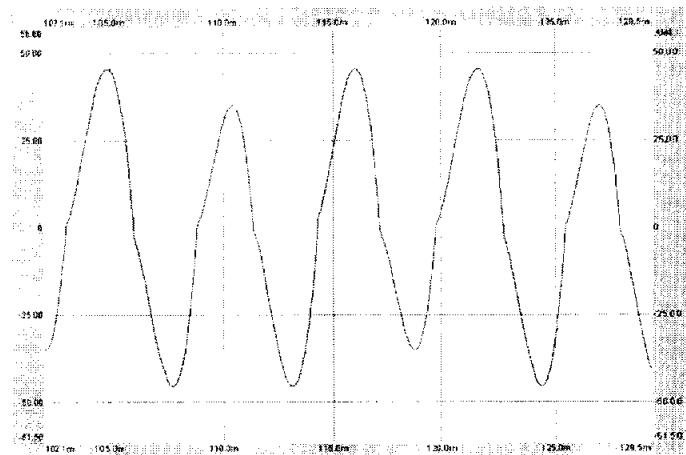
$$i_{peak} = 41 \sim 45.5A$$

(a) CASE-1



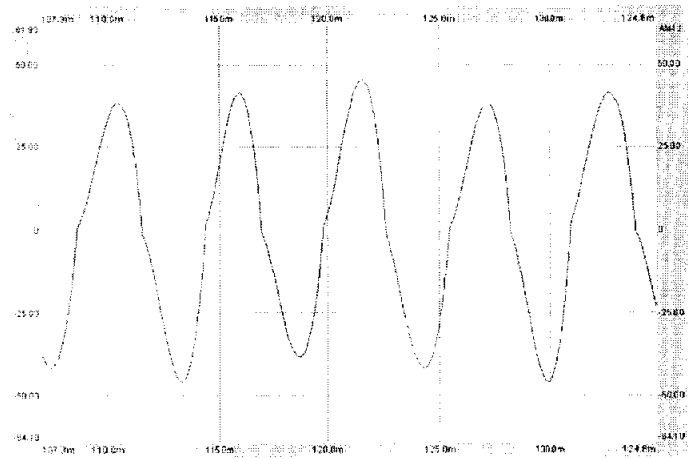
$$i_{\text{peak}} = 38.5 \sim 45\text{A}$$

(b) CASE-2



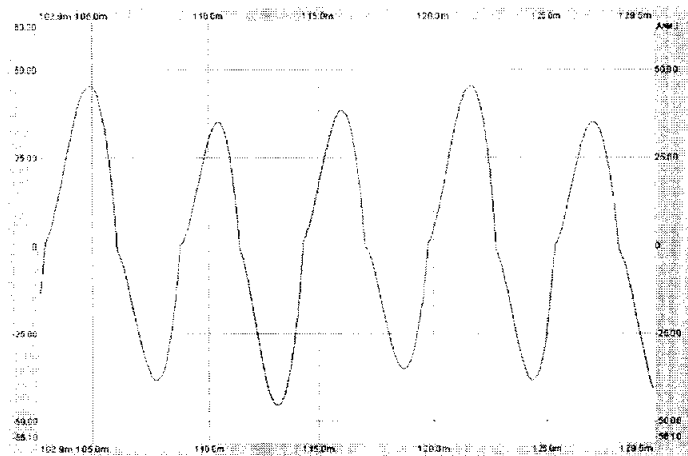
$$i_{\text{peak}} = 35 \sim 45\text{A}$$

(c) CASE-3



$$i_{\text{peak}} = 38 \sim 41 \sim 45\text{A}$$

(d) CASE-4



$$i_{\text{peak}} = 34 \sim 38 \sim 45\text{A}$$

(e) CASE-5

그림 3.16 각 경우의 중성선 전류 파형(10kW)

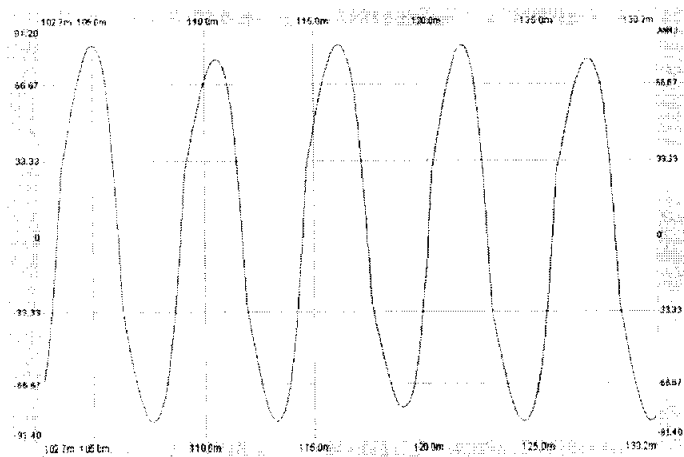
3.2.2 20kW급 부하

20kW급 부하인 경우 불평형 정도는 표 3.2 와 같이 분류하였다.

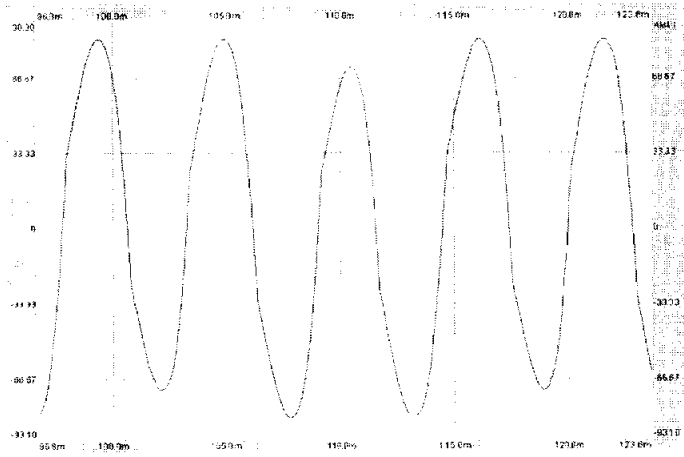
표 3.2 20KW급 부하의 불평형

CASE	R상		S상		T상		총 부하 (KW)
	부하 (KW)	%	부하 (KW)	%	부하 (KW)	%	
1	7	100	7	100	6.3	90	20.3
2	7	100	7	100	5.6	80	19.6
3	7	100	7	100	4.9	70	18.9
4	7	100	6.3	90	5.6	80	18.9
5	7	100	5.6	80	4.9	70	17.5

이 경우의 중성선 전류는 그림 3.17과 같다.

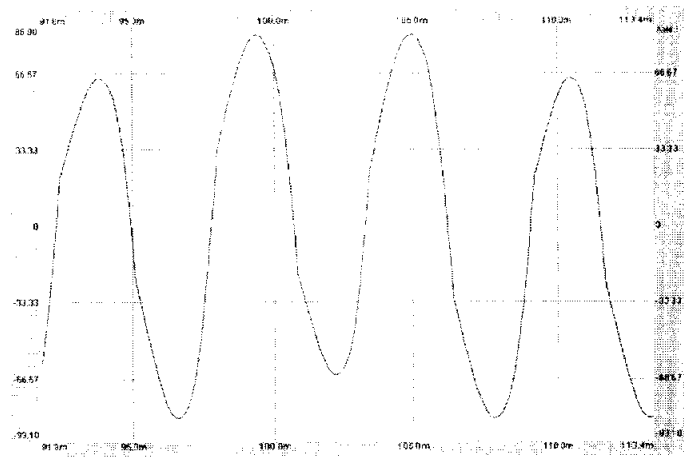


$i_{peak} = 77 \sim 83A$
(a) CASE-1



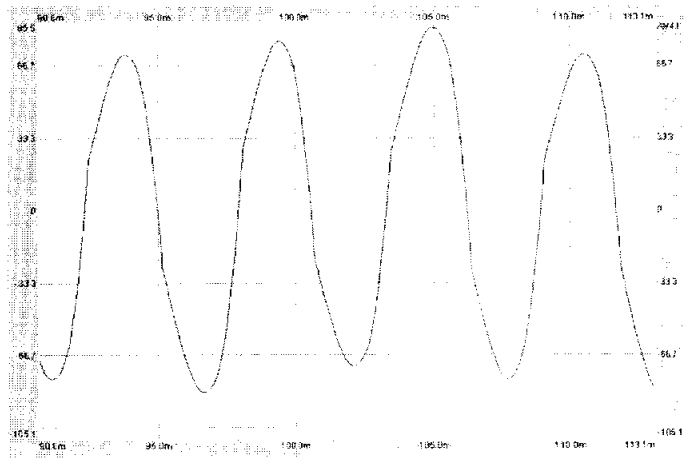
$$i_{\text{peak}} = 71 \sim 83 \text{ A}$$

(b) CASE-2



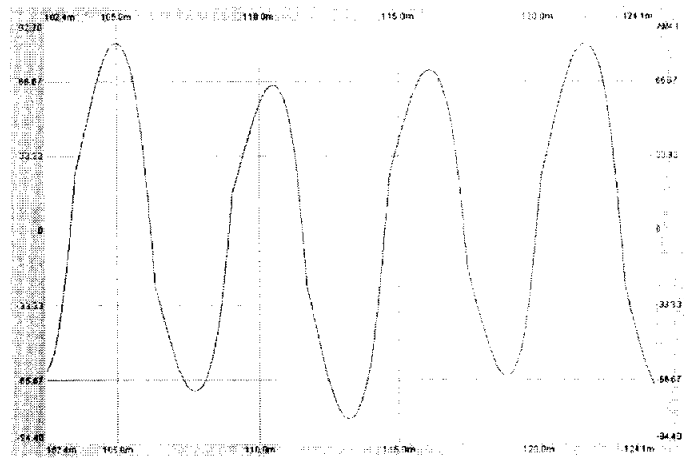
$$i_{\text{peak}} = 64 \sim 83 \text{ A}$$

(c) CASE-3



$$i_{\text{peak}} = 71 \sim 77 \sim 83\text{A}$$

(d) CASE-4



$$i_{\text{peak}} = 64 \sim 71 \sim 83\text{A}$$

(e) CASE-5

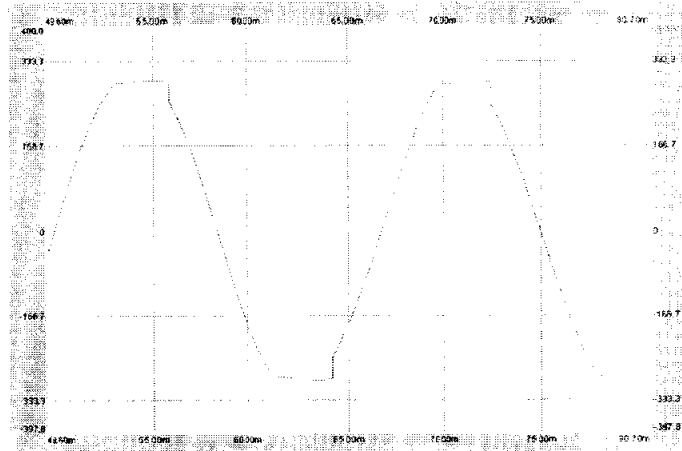
그림 3.17 각 경우의 중성선 전류 파형(20kW)

제4장 3상 UPS 출력전압 특성 해석

3장에서와 동일한 조건으로 시뮬레이션 하여 3상 UPS 출력 전압 특성을 살펴보면 다음과 같다.

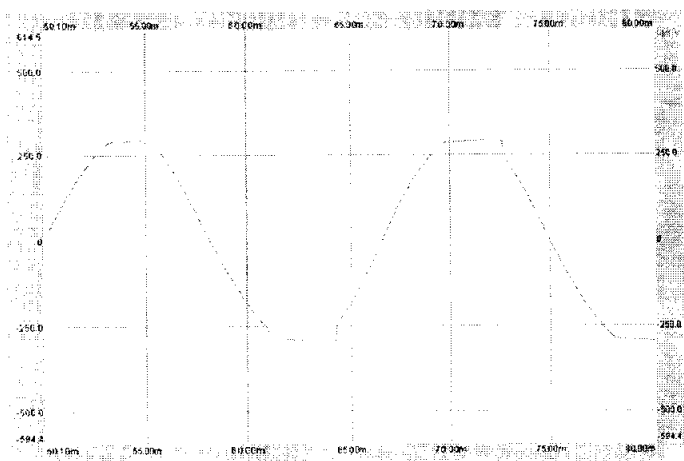
4.1 평형 부하의 경우

부하를 1kW에서 7kW까지 1kW씩 증가시켰을 때 R상 상전압 파형은 그림 4.1과 같다. S상과 T상 상전압의 크기와 모양은 R상과 동일하며 각각 위상차만 120° 씩 존재한다.

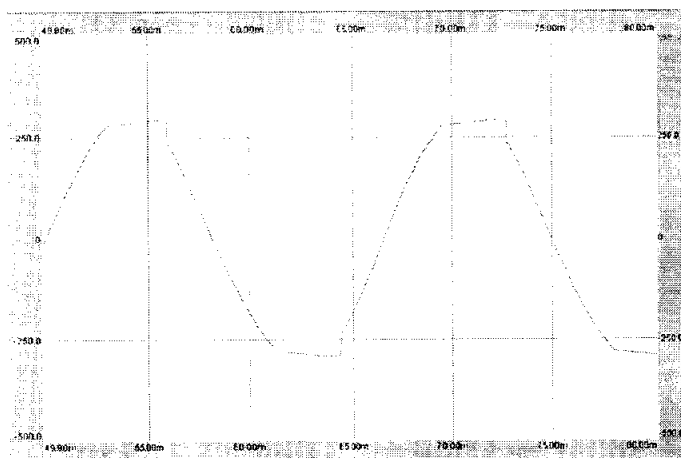


$$V_{Rpeak} = 296V$$

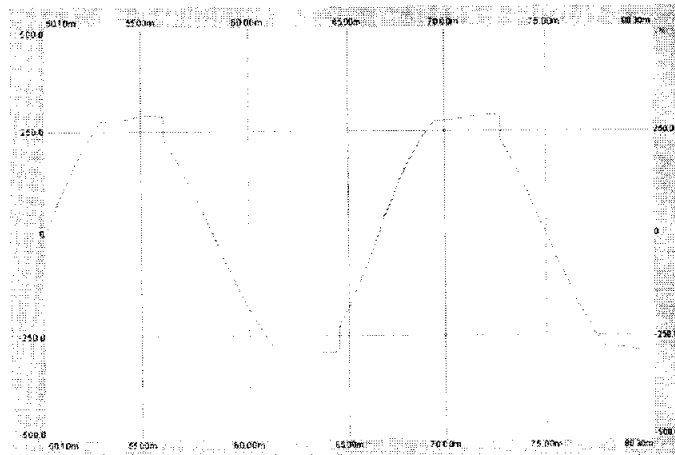
(a) 1kW 부하시



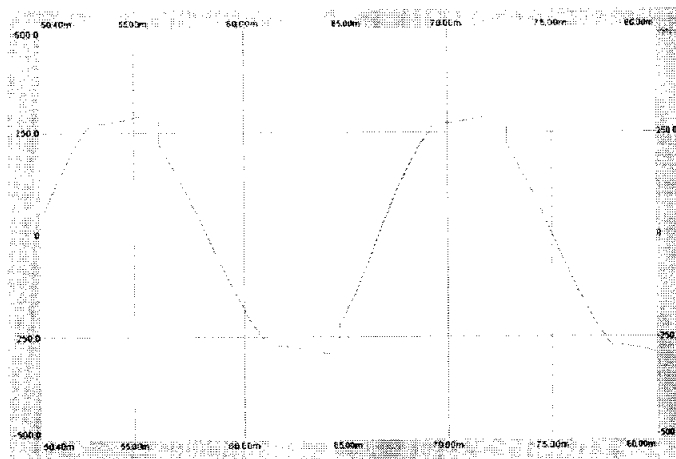
$V_{Rpeak} = 288V$
(b) 2kW 부하시



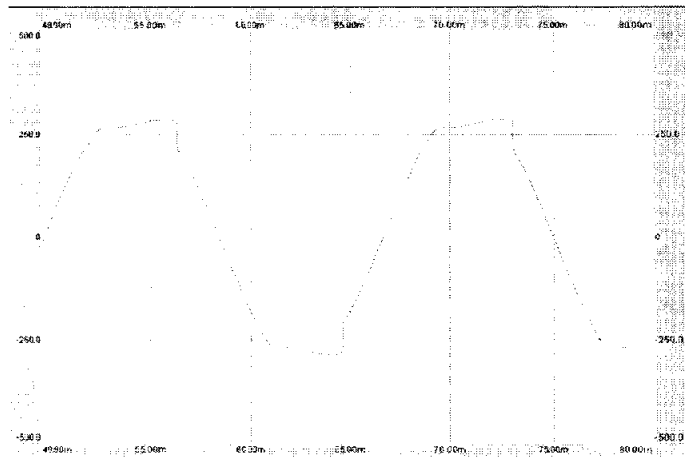
$V_{Rpeak} = 288V$
(c) 3kW 부하시



$V_{Rpeak} = 285V$
(d) 4kW 부하시

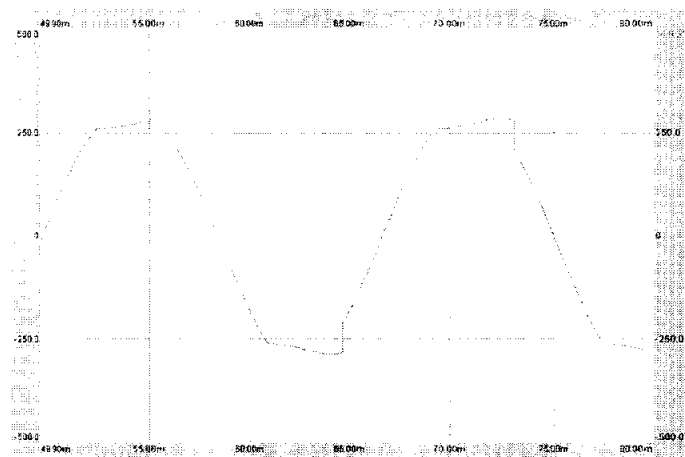


$V_{Rpeak} = 285V$
(e) 5kW 부하시



$$V_{Rpeak} = 283V$$

(f) 6kW 부하시



$$V_{Rpeak} = 282V$$

(g) 7kW 부하시

그림 4.1 R상 상전압 파형

부하가 증가할수록 각 상전압의 크기는 감소함을 알 수 있으며 피크 값이 1kW에서 296V이며 7kW에서는 282V로서 4.7% 감소한다.

4.2 불평형 부하의 경우

불평형 조건은 3장에서와 동일하다.

4.2.1 10kW급 부하

표 3.1의 10kW급 부하의 불평형 조건에 대한 시뮬레이션 결과는 표 4.1과 같다. 각 상전압 파형은 그림 4.1과 유사하다.

표 4.1 부하 불평형시 각 상전압의 크기(10kW)

CASE	각 상전압 피크 값 (V)		
	R상	S상	T상
1	285	285	285
2	285	285	289
3	285	285	290
4	285	287	289
5	285	289	290

4.2.2 20kW급 부하

표 3.2의 20kW급 부하 불평형 조건에 대한 시뮬레이션 결과는 표 4.2와 같으며 각 상전압 파형은 그림 4.1과 유사하다.

표 4.2 부하 불평형시 각 상전압의 크기(20kW)

CASE	각 상전압 피크 값 (V)		
	R상	S상	T상
1	286.1	286.1	286.1
2	286.1	286.1	286.1
3	286.1	286.1	285
4	286.1	287.1	286.1
5	286.1	289.1	290.1

제 5 장 3상 UPS 출력전압 특성 개선

IEEE 446 표준 규정에 의하면 컴퓨터 전원의 전력품질은 출력전압의 THD를 5% 미만으로 규정하고 있다. 이를 바탕으로 시스템의 THD 분석 및 필터를 삽입하였을 경우의 THD를 비교 분석한다. 각 경우는 필터가 없을 경우와 1mH, 5mH 필터를 삽입했을 경우에 대해 분석하였다.

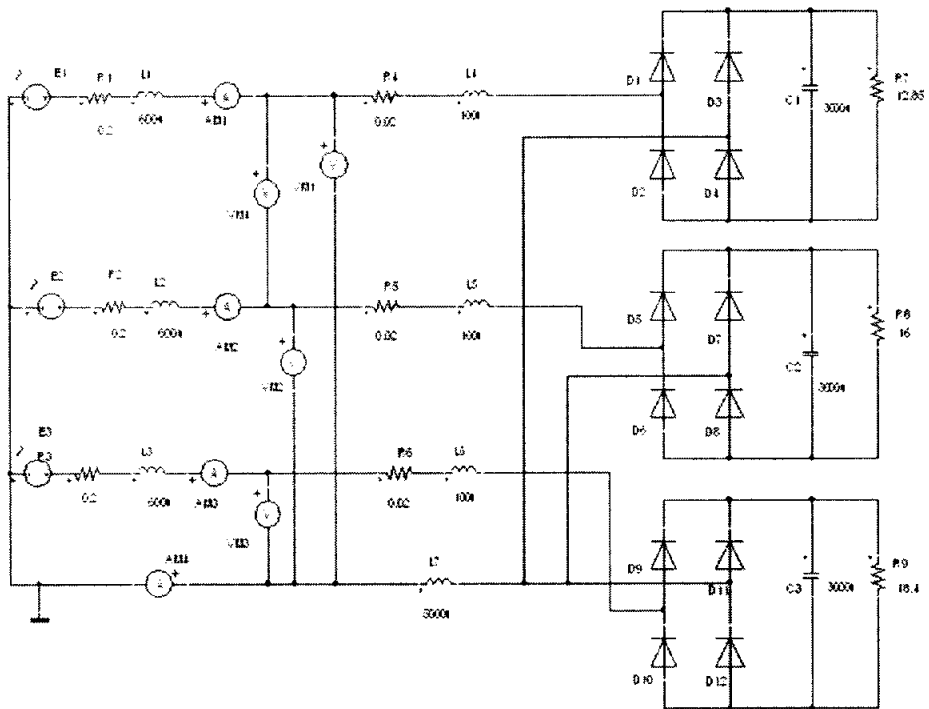


그림 5.1 필터를 설치한 회로도

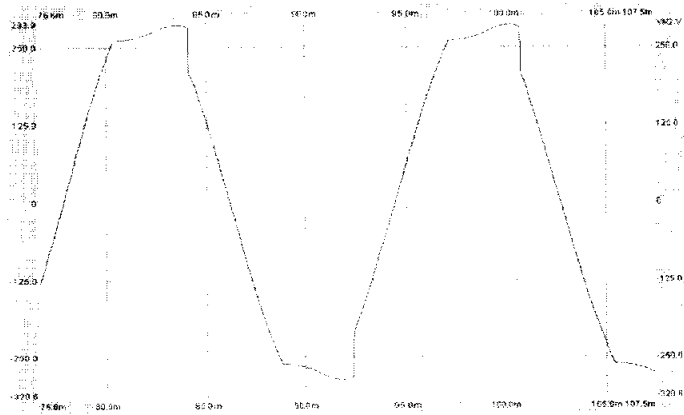
표 5.1 고조파 제거용 L 필터의 파라미터

파라미터		
고조파제거용	L(리액턴스)	1mH
	L(리액턴스)	5mH

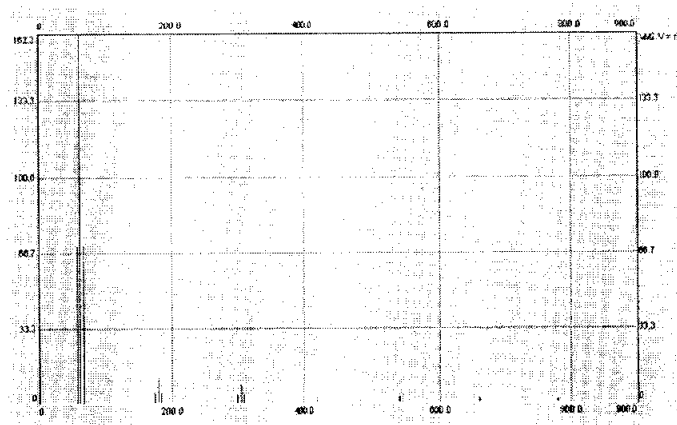
5.1 평형 부하의 경우

5.1.1 평형부하 7kW

1) 필터가 없는 경우(7kW 평형부하)



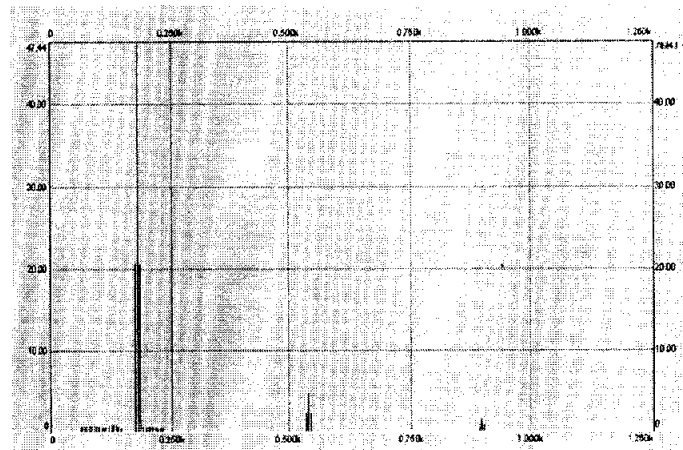
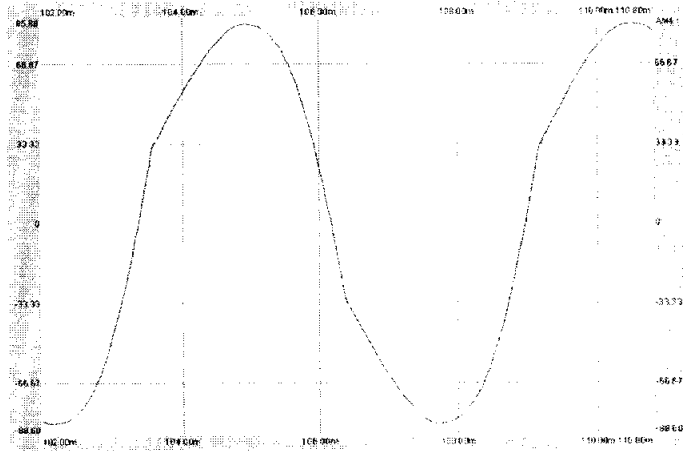
(a) V_s 상 전압



(b) V_s 상의 FFT

	f(Hz)	VM2 V	Phi(rad)	Phi(deg)	% (Max)
Minimum	55	1.8059	0.54237	31.076	1.1127
Maximum	0.9k	0.1823k	6.1989	0.35517k	0.1k
0	55	69.389	5.2119	0.29852k	42.753
1	60	0.1823k	2.0705	0.11863k	0.1k
2	65	69.404	5.2127	0.29857k	42.762
3	0.175k	4.8999	3.7089	0.2125k	3.0606
4	0.18k	11.108	0.54237	31.076	6.6441
5	0.185k	4.9808	3.7045	0.21225k	3.0688
6	0.295k	3.8765	4.1944	0.24032k	2.3884
7	0.3k	8.3988	1.1232	64.354	5.1748
8	0.305k	3.8432	4.1851	0.23979k	2.368
9	0.42k	2.9082	0.92962	53.263	1.7918
10	0.54k	3.2174	6.1989	0.35517k	1.9823
11	0.66k	2.2177	6.046	0.34641k	1.3684
12	0.78k	1.8059	5.0991	0.29216k	1.1127
13	0.9k	1.8262	4.7751	0.27359k	1.1252

(c) 각 주파수대 V_s 의 전압



	f(Hz)	AM(%)	Phi(rad)	Phi(deg)	%Max
Minimum	60	0.49203	0.16364	9.3761	1.0372
Maximum	1.26k	47.44	5.2817	0.35991k	0.1%
0	60	0.52535	1.1725	67.179	1.1074
1	65	0.59951	0.95966	54.986	1.2537
2	70	0.66049	0.73017	41.936	1.2923
3	75	0.70721	0.49005	28.078	1.4907
4	80	0.73599	0.24449	14.009	1.5514
5	85	0.74497	0.2817	0.35991k	1.5703
6	90	0.72823	0.376	0.34593k	1.535
7	95	0.68517	0.5054	0.33263k	1.4443
8	0.1k	0.61652	0.6099	0.32143k	1.2996
9	0.105k	0.53867	0.5016	0.31522k	1.1355
10	0.11k	0.50896	0.5328	0.31701k	1.0686
11	0.115k	0.59943	0.5452	0.31772k	1.2636
12	0.12k	0.76591	0.5371	0.3058k	1.6145
13	0.125k	0.98557	0.4979	0.28528k	1.8667
14	0.13k	0.90247	0.45663	0.26163k	1.9023
15	0.135k	0.83279	0.41649	0.23863k	1.7565
16	0.14k	0.7142	0.378	0.21858k	1.5055
17	0.145k	0.57794	0.3406	0.19515k	1.2183
18	0.15k	0.537	0.5418	0.31752k	0.379
19	0.16k	0.4744	0.24124	0.13822k	0.1k
20	0.165k	0.422	0.5277	0.31671k	0.3047
21	0.19k	0.50473	0.6874	0.22273k	1.0839
22	0.195k	0.55242	0.5337	0.20247k	1.1645
23	0.2k	0.58438	0.31959	0.18254k	1.2318
24	0.205k	0.60319	0.28405	0.16275k	1.2715
25	0.21k	0.60904	0.24946	0.14293k	1.2838
26	0.215k	0.60389	0.21442	0.12285k	1.2729
27	0.22k	0.59861	0.17823	0.10212k	1.2365
28	0.225k	0.55241	0.4087	0.711	1.1644
29	0.23k	0.49203	0.1047	58.714	1.0372
30	0.535k	2.1394	4.7884	0.27321k	4.5098
31	0.54k	4.7551	1.6174	32.67	10.023
32	0.545k	2.1193	4.74	0.27158k	4.4672
33	0.895k	0.7352	0.33001	0.18908k	1.5497
34	0.9k	1.5724	0.18384	9.3761	3.3145
35	0.905k	0.72484	0.2605	0.18581k	1.5275
36	1.26k	0.62407	0.45925	0.26313k	1.3154

(f) 각 주파수 대 중성선 전류 i_n

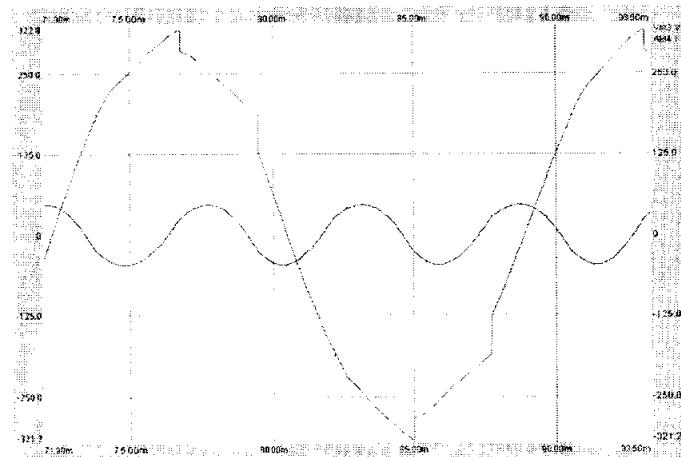
그림 5.2 필터가 없는 경우(7kW 평형부하)

(A) V_s 상의 THD는

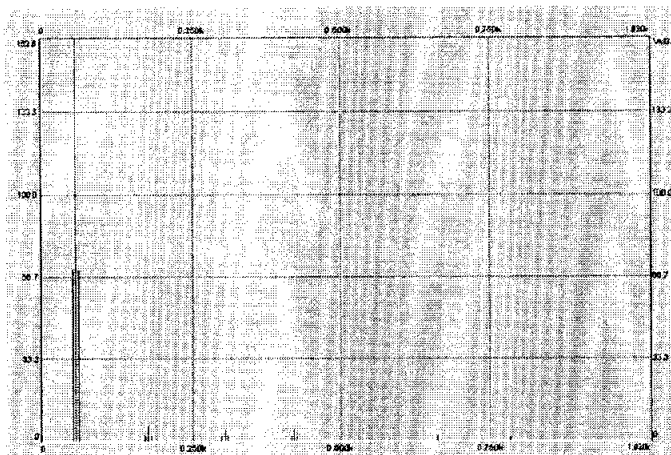
$$\begin{aligned}
 THD_{V_s} &= \frac{\sqrt{(4.999+11.108+4.9808)^2 + (3.876+8.398+3.843)^2 + 2.908^2 + 3.2174^2 + 2.2172^2 + 1.805^2 + 1.826^2}}{220\sqrt{2}} \\
 &= \frac{27.078}{311} \times 100 = 8.7\%
 \end{aligned}$$

2) 필터가 있는 경우

a) 필터가 1mH인 경우(7kW 평형부하)



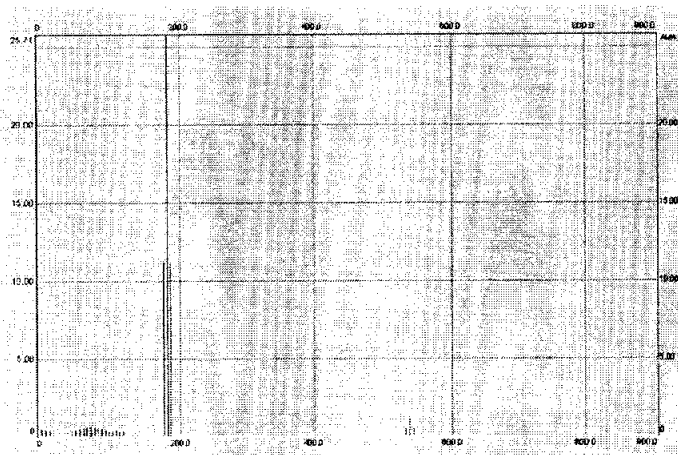
(a) V_T 상 전압과 중성선 전류 i_N



(b) V_T 상의 FFT

	f (Hz)	VM3 V	Phi (rad)	Phi (deg)	%Max
Minimum	55	1.6617	0.6982	40.004	1.0218
Maximum	1.02k	0.16262k	8.2437	0.35774k	0.1k
0	55	69.478	1.0315	59.102	42.722
1	80	0.16262k	4.1722	0.23905k	0.1k
2	65	69.431	1.0336	59.22	42.695
3	0.175k	2.4553	2.9712	0.17023k	1.5098
4	0.18k	6.2915	6.2048	0.35555k	3.8676
5	0.185k	2.4363	2.9307	0.16792k	1.4981
6	0.295k	2.2933	6.1448	0.35206k	1.4102
7	0.3k	4.6846	3.0013	0.17196k	2.8693
8	0.305k	2.2722	6.0941	0.34917k	1.3972
9	0.415k	2.2043	3.9144	0.22428k	1.3555
10	0.42k	5.0053	0.6982	40.004	3.0779
11	0.425k	2.1851	3.6639	0.22139k	1.3437
12	0.66k	2.4433	6.2437	0.35774k	1.5074
13	0.78k	1.9918	3.4375	0.19595k	1.2248
14	1.02k	1.6617	2.5208	0.14443k	1.0218

(c) 각 주파수 대 V_T 의 값



(d) 중성선 전류 i_N 의 FFT

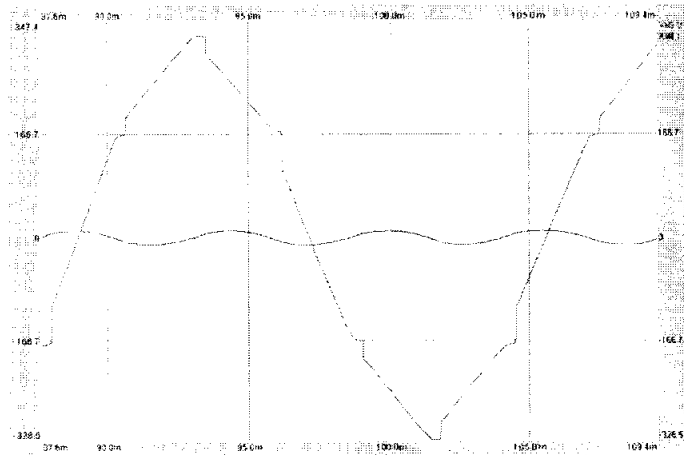
	f[Hz]	Amplitude	Phi[rad]	Phi[deg]	% (Max)
Minimum	5	0.28415	49.956m	2.8622	1.1051
Maximum	0.9k	25.714	6.0744	0.34804k	100
0	5	0.48891	0.84802	54.317	1.8236
1	10	0.37492	0.4696	26.806	1.4581
2	15	0.30605	49.956m	2.8622	1.1902
3	45	0.31305	2.3438	0.13429k	1.2175
4	50	0.39141	1.8467	0.10581k	1.5222
5	55	0.46619	1.3982	80.111	1.813
6	60	0.52852	0.87756	56.01	2.0593
7	65	0.57544	0.57331	32.848	2.2379
8	70	0.59768	0.17798	10.198	2.3244
9	75	0.58913	6.0744	0.34804k	2.2911
10	80	0.54492	5.6986	0.32551k	2.1192
11	85	0.45767	5.369	0.30762k	1.7799
12	90	0.35601	5.1892	0.29732k	1.3845
13	95	0.32364	5.2177	0.29895k	1.2586
14	0.1k	0.36776	5.0897	0.29162k	1.4302
15	0.105k	0.37689	4.7845	0.27413k	1.4657
16	0.11k	0.3359	4.5043	0.25808k	1.3063
17	0.115k	0.28415	4.312	0.24706k	1.1051
18	0.125k	11.21	4.8866	0.27988k	43.595
19	0.18k	25.714	1.7533	0.10046k	100
20	0.165k	11.137	4.8721	0.27915k	43.313
21	0.535k	0.5095	1.819	0.10422k	1.9814
22	0.54k	1.1417	4.9495	0.28358k	4.4401
23	0.545k	0.48688	1.7936	0.10276k	1.8324
24	0.9k	0.43299	1.589	89.9	1.6839

(e) 각 주파수대 i_N 전류

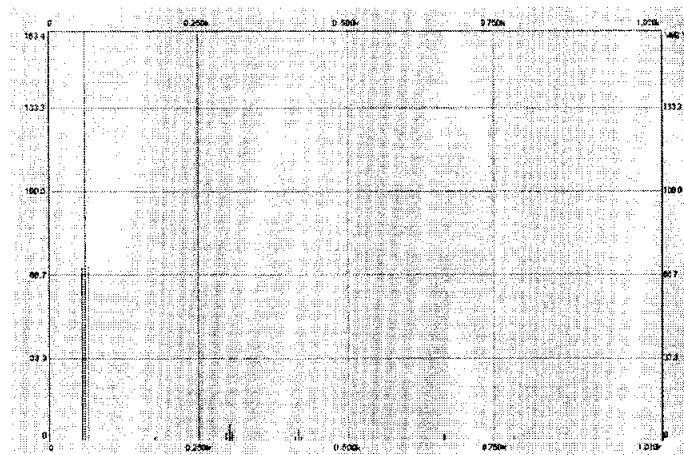
그림 5.3 1mH 필터가 있는 경우(7kW 평형부하)

$$\begin{aligned}
 (B) \quad THD_{V_i} &= \frac{\sqrt{(2.4553+6.2815+2.463)^2 + (2.2933+4.6646+2.2722)^2 + (2.2043+5.0053+2.1851)^2 + 2.4433^2 + 1.9918^2 + 1.6617^2}}{220\sqrt{2}} \\
 &= \frac{17.92}{311} \times 100 = 5.76\%
 \end{aligned}$$

b) 필터가 5mH인 경우(7kW 평형부하)



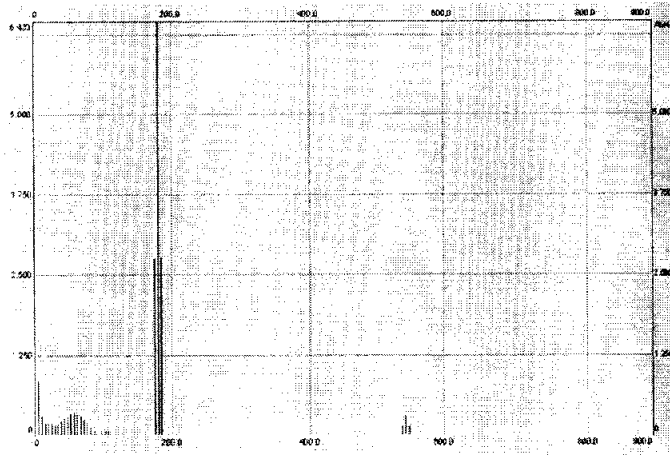
(a) V_S 전압 및 중성선 전류 i_n



(b) V_S 전압의 FFT

	f [Hz]	V [V]	Phi [rad]	Phi [deg]	% (Max)
Minimum	55	1.8549	0.44779	25.656	1.0128
Maximum	1.02k	0.18342k	5.2891	0.35919k	0.1k
0	55	89.795	1.0285	59.929	42.708
1	60	0.18342k	4.1693	0.23899k	0.1k
2	65	69.79	1.0315	59.103	42.705
3	0.19k	1.6549	6.2691	0.35919k	1.0126
4	0.295k	3.3941	5.6722	0.32499k	2.0769
5	0.3k	7.0586	2.473	0.14169k	4.3192
6	0.305k	3.4328	5.6001	0.32086k	2.1096
7	0.415k	1.9597	3.8881	0.21017k	1.1986
8	0.42k	4.3821	0.44779	25.656	2.6814
9	0.425k	1.9932	3.5957	0.20602k	1.1585
10	0.66k	2.8007	5.4251	0.31084k	1.7138
11	0.79k	1.7431	2.5835	0.14698k	1.0666
12	1.02k	1.9075	1.5806	91.136	1.1672

(c) 각 주파수 대 V_S 전압의 크기



(d) 중성선 전류 i_n 의 FFT

	f [Hz]	AM [A]	Phi [rad]	Phi [deg]	% (Max)
Minimum	5	68.384m	0.11781	6.75	1.0531
Maximum	0.9k	6.4327	6.265	0.35896k	0.1k
0	5	0.86119	0.11781	6.75	13.388
1	10	0.30934	5.8034	0.33251k	4.8089
2	15	0.20893	5.8063	0.33268k	3.2479
3	20	0.19892	5.5308	0.31889k	3.0923
4	25	0.1936	5.1004	0.29223k	3.0096
5	30	0.19685	4.5606	0.26131k	3.0601
6	35	0.20887	3.8292	0.22513k	3.2469
7	40	0.23558	3.2506	0.18625k	3.6622
8	45	0.27566	2.5865	0.14648k	4.2852
9	50	0.31828	1.8678	0.10701k	4.8478
10	55	0.35246	1.2085	69.24	5.4752
11	60	0.36934	0.57582	32.992	5.6784
12	65	0.35383	6.265	0.35896k	5.4974
13	70	0.31851	5.7041	0.32682k	4.9514
14	75	0.2666	5.1789	0.29673k	4.1476
15	80	0.2032	4.6876	0.26858k	3.1589
16	85	0.13351	4.256	0.24385k	2.0755
17	90	89.073m	4.0579	0.2325k	1.0738
18	0.1k	68.384m	4.7355	0.27132k	1.0631
19	0.105k	80.271m	4.4043	0.25235k	1.2479
20	0.11k	73.985m	4.023	0.2305k	1.1501
21	0.175k	2.7657	4.7885	0.27436k	42.995
22	0.18k	6.4327	1.6482	94.435	0.1k
23	0.185k	2.772	4.7818	0.27398k	43.091
24	0.535k	0.14166	1.375	78.781	2.2021
25	0.54k	0.32583	4.4686	0.25603k	5.0651
26	0.545k	0.1434	1.3404	76.801	2.2292
27	0.9k	96.029m	0.60341	39.156	1.4928

(e) 각 주파수 대 중성선 전류 i_n 의 크기

그림 5.4 5mH 필터가 있는 경우(7kW 평형부하)

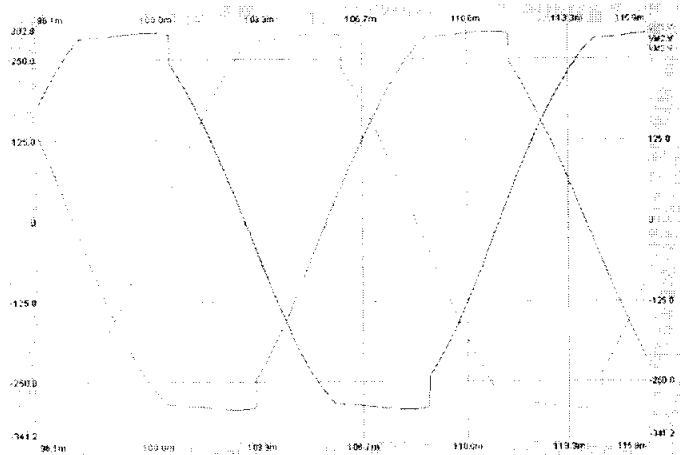
(C)

$$\begin{aligned}
 THD_{V_i} &= \frac{\sqrt{1.6549^2 + (3.3941 + 7.0586 + 3.4328)^2 + (1.9587 + 4.3821 + 1.8932)^2 + 2.8007^2 + 1.7431^2 + 1.9075^2}}{230/2} \\
 &= \frac{16.67}{311} \times 100 = 5.35\%
 \end{aligned}$$

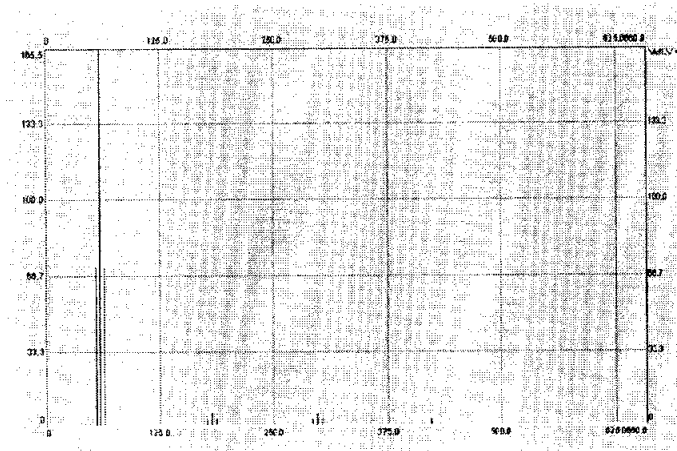
4.2 불평형 부하의 경우

1) 10kW급 불평형 부하(R상=3kW, S상=2.4kW, T상=2.1kW)

a) 필터가 없는 경우(10kW 불평형)



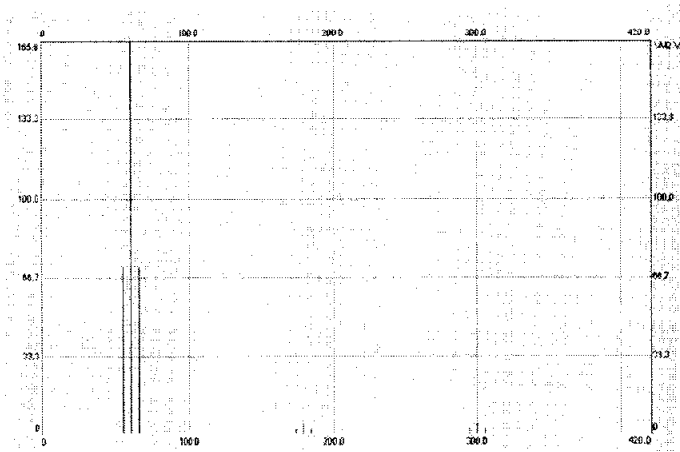
(a) 각상 전압



(b) V_R 상 FFT

	f(Hz)	VM1(V)	Phi(rad)	Phi(deg)	% (Max)
Minimum	55	1.7859	0.11291	6.4691	1.0792
Maximum	0.68k	0.16549k	6.2715	0.35933k	0.1k
0	55	70.565	3.1316	0.17943k	42.634
1	60	0.16549k	6.2715	0.35933k	0.1k
2	65	70.434	3.1348	0.17961k	42.561
3	0.175k	2.649	3.7331	0.21389k	1.6007
4	0.18k	5.418	0.65169	37.338	3.274
5	0.185k	2.6443	3.5713	0.20462k	1.5979
6	0.295k	2.6609	0.27397	15.697	1.6079
7	0.3k	5.4601	3.3508	0.19198k	3.2994
8	0.305k	2.623	0.11291	6.4691	1.585
9	0.42k	3.2644	5.854	0.33541k	1.9726
10	0.65k	1.7859	2.8135	0.1612k	1.0792

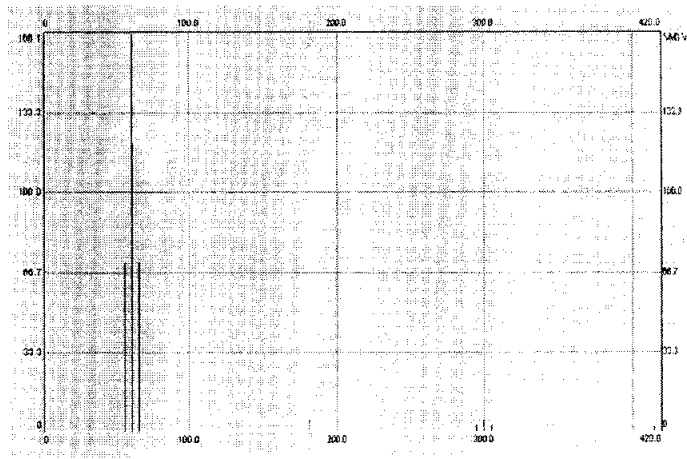
(c) 각 주파수대 V_R 상 전압



(d) V_S 상 FFT

	f(Hz)	VM2(V)	Phi(rad)	Phi(deg)	% (Max)
Minimum	55	2.1477	0.61077	34.995	1.2954
Maximum	0.42k	0.1658k	5.228	0.29954k	0.1k
0	55	70.871	5.227	0.29948k	42.745
1	60	0.1658k	2.0955	0.11949k	0.1k
2	65	70.869	5.228	0.29954k	42.744
3	0.175k	2.1591	3.621	0.21893k	1.3016
4	0.19k	4.4916	0.61077	34.995	2.7091
5	0.185k	2.1477	3.7972	0.21699k	1.2954
6	0.295k	2.3055	4.3669	0.25021k	1.3905
7	0.3k	4.7987	1.3363	76.566	2.8943
8	0.305k	2.2836	4.3217	0.24761k	1.3773
9	0.42k	3.2945	1.7756	0.10174k	1.9871

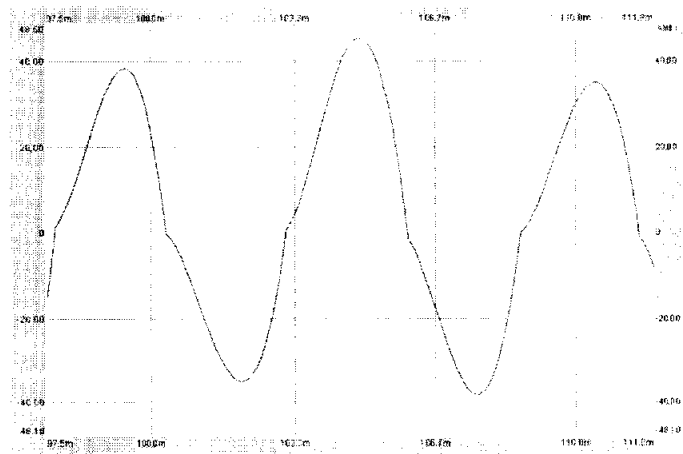
(e) 각 주파수대 V_S 상 전압



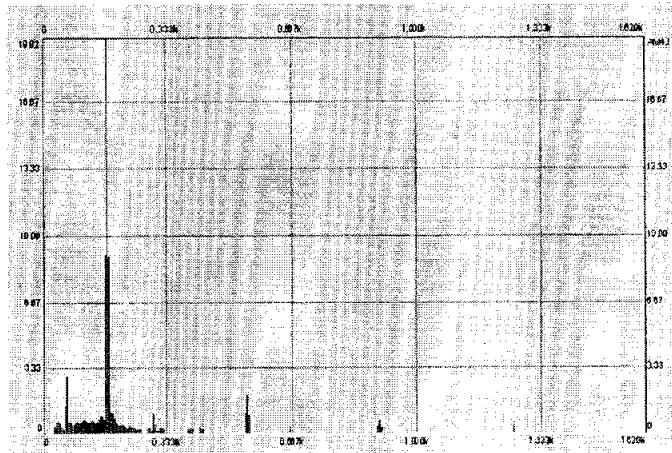
(f) V_T 전압의 FFT

	f(Hz)	VM3V	Phi(rad)	Phi(deg)	% (Max)
Minimum	55	1.6872	0.62933	36.058	1.0157
Maximum	0.42k	0.16611k	5.5055	0.31544k	0.1k
0	55	71.014	1.0388	59.519	42.751
1	60	0.16611k	4.1808	0.23954k	0.1k
2	65	70.837	1.0427	59.742	42.644
3	0.19k	4.1879	0.62933	36.058	2.5211
4	0.295k	2.072	2.5221	0.14451k	1.2474
5	0.3k	4.3134	5.5055	0.31544k	2.5967
6	0.305k	2.067	2.217	0.12707k	1.2444
7	0.415k	1.6872	0.89515	51.288	1.0157
8	0.42k	2.876	3.9313	0.22525k	1.7073

(g) 각 주파수대 V_T 상의 전압



(h) 중성선 전류 i_N



(i) i_k 전류의 FFT

	f (Hz)	AM41	Phi(rad)	Phi(deg)	% (Max)
Minimum	25	0.20886	66.214m	3.7938	1.054
Maximum	1.62k	19.516	6.2621	0.35879k	0.1k
0	25	0.36639	2.8979	0.16603k	1.8489
1	30	0.59341	2.1041	0.12056k	2.9945
2	35	0.68093	1.3235	75.831	3.4362
3	40	0.56883	0.50597	28.99	2.8705
4	45	0.3865	5.7348	0.32858k	1.4458
5	50	0.23577	3.205	0.18363k	1.1898
6	55	1.4347	2.819	0.16152k	7.1894
7	60	2.9488	0.3114	17.842	14.871
8	65	0.61899	2.4142	0.13832k	3.1237
9	70	0.62075	0.19529	11.19	3.1326
10	75	0.44701	0.12504	6.9925	2.2558
11	80	0.47731	0.24174	13.861	2.4087
12	85	0.57858	66.214m	3.7938	2.3197
13	90	0.59681	6.0896	0.34891k	3.0118
14	95	0.57452	5.9337	0.33980k	2.8993
15	0.1k	0.61321	5.8302	0.33405k	3.0945
16	0.105k	0.68835	5.6167	0.32181k	3.4737
17	0.11k	0.70717	5.326	0.30518k	3.5687
18	0.115k	0.65165	5.0754	0.2909k	3.2885
19	0.12k	0.58406	4.9439	0.28326k	2.9979
20	0.125k	0.60559	4.8624	0.27859k	3.061
21	0.13k	0.66482	4.6814	0.26823k	3.3549
22	0.135k	0.68586	4.4104	0.2527k	3.4511
23	0.14k	0.63167	4.1488	0.23771k	3.1876
24	0.145k	0.5548	4.0364	0.23127k	2.7997
25	0.15k	0.60617	4.0344	0.23115k	3.059
26	0.155k	0.79725	3.7896	0.21713k	4.0232
27	0.16k	0.95421	3.2777	0.1878k	4.8153
28	0.165k	0.95154	2.5946	0.14809k	4.8018
29	0.17k	0.78068	1.6876	96.63	3.9386
30	0.175k	9.0287	5.8783	0.32534k	45.562

	THD	AM41	Phi rad	Phi Ideal	% (Max)
Minimum	75	0.20886	68.214m	3.7938	1.054
Maximum	1.62k	19.816	8.2821	0.35879k	0.1k
30	0.175k	9.0287	5.6783	0.32534k	45.582
31	0.18k	19.816	2.4897	0.14265k	0.1k
32	0.185k	0.9505	5.512	0.31581k	45.168
33	0.19k	1.1263	3.403	0.19498k	5.6839
34	0.195k	1.0752	2.7029	0.15496k	5.4258
35	0.2k	0.85349	2.1235	0.12167k	4.307
36	0.205k	0.57369	1.7554	0.10057k	2.8951
37	0.21k	0.40531	1.7509	0.10032k	2.0453
38	0.215k	0.41951	1.7891	0.10245k	2.117
39	0.22k	0.45472	1.5724	90.09	2.2947
40	0.225k	0.42803	1.2952	74.208	2.18
41	0.23k	0.36948	1.1105	63.625	1.8645
42	0.235k	0.34287	1.0387	58.573	1.7292
43	0.24k	0.38175	0.91528	52.442	1.8255
44	0.245k	0.3747	0.85084	37.29	1.8909
45	0.25k	0.33832	0.34364	19.689	1.7073
46	0.255k	0.26727	0.14786	8.4604	1.3487
47	0.26k	0.22898	0.18726	9.5834	1.1555
48	0.265k	0.24746	0.10409	5.964	1.2489
49	0.27k	0.24543	6.1187	0.35057k	1.2385
50	0.285k	0.24286	6.1935	0.35486k	1.2256
51	0.29k	0.31396	5.7247	0.328k	1.5844
52	0.295k	0.21475	0.55035	31.533	1.0837
53	0.3k	1.0929	4.4695	0.25608k	5.5152
54	0.305k	0.44905	1.4431	82.682	2.2661
55	0.31k	0.21719	0.32725	18.75	1.096
56	0.315k	0.33209	5.8125	0.33303k	1.6758
57	0.32k	0.34695	5.108	0.29255k	1.7509
58	0.325k	0.26477	4.4662	0.2559k	1.3361
59	0.385k	0.22508	4.0799	0.23147k	1.1359
60	0.39k	0.2703	3.4684	0.19873k	1.364

61	0.395k	0.24341	2.8082	0.18096k	1.2293
62	0.415k	0.33614	3.4748	0.19909k	1.8963
63	0.42k	0.20886	1.2747	73.035	1.054
64	0.425k	0.24782	2.6822	0.15253k	1.2506
65	0.525k	1.0236	0.18392	9.3822	5.1856
66	0.54k	1.9172	3.2131	0.1841k	9.6749
67	0.545k	0.94175	6.2621	0.35879k	4.7524
68	0.66k	0.38408	3.4588	0.19823k	1.8373
69	0.895k	0.3671	5.6841	0.31994k	1.8525
70	0.9k	0.70124	2.3484	0.13444k	3.5387
71	0.905k	0.3416	5.3448	0.30624k	1.7238
72	1.26k	0.35874	1.4409	82.558	1.8003
73	1.62k	0.21	0.48528	27.803	1.0598

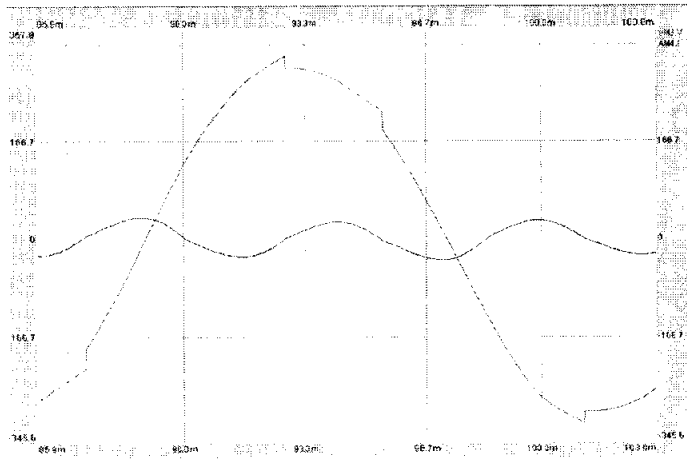
(j) 각 주파수대 in 전류

그림 5.5 필터가 없는 경우(10kW 불평형부하)

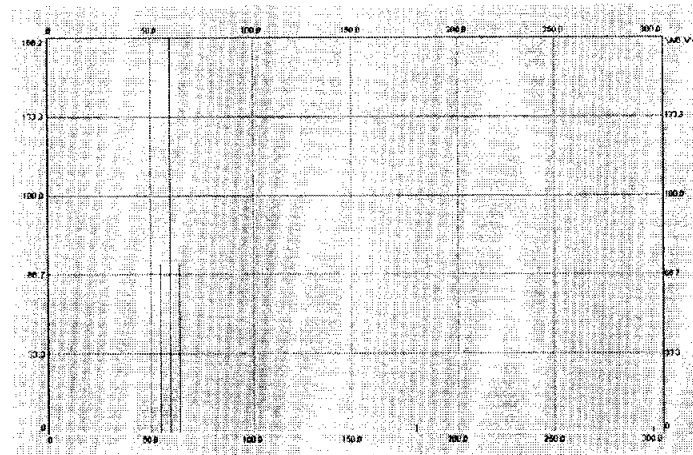
$$(D) \quad THD_{v_r} = \frac{\sqrt{4.1875^2 + (2.072 + 4.314 + 2.067)^2 + (1.6872 + 2.836)^2}}{220\sqrt{2}} \times 100 = 3.36\%$$

b) 필터를 설치한 경우

1) 필터가 1mH인 경우(10kW 불평형)



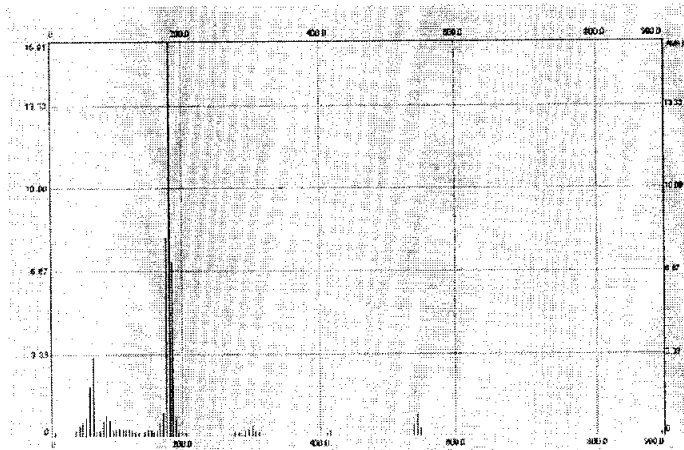
(a) $V_{Tpeak}=310$ $i_{Npeak}=30$



(b) V_T 전압의 FFT

	f[Hz]	VM3V	Phi[rad]	Phi[deg]	%[Max]
Minimum	55	1.828	31.593m	1.8102	1.0985
Maximum	0.3k	0.16623k	4.4257	0.25357k	0.1k
0	55	71.097	1.0398	59.579	42.77
1	60	0.16623k	4.1839	0.23972k	0.1k
2	65	70.636	1.0488	60.093	42.613
3	0.16k	3.2481	31.593m	1.8102	1.954
4	0.295k	1.826	1.505	86.231	1.0985
5	0.3k	2.9041	4.4257	0.25357k	1.747

(c) 각 주파수 대 V_T 전압의 FFT



(d) 중상선 전류 i_N 의 FFT

	f(Hz)	AM(%)	Phi(deg)	Phi(deg)	%Max
Minimum	5	0.1612	84.075m	3.6712	1.0131
Maximum	0.6k	15.911	6.0084	0.34425k	0.1k
0	5	0.22835	1.0584	60.844	1.4351
1	35	0.27826	0.97793	56.031	1.7551
2	40	0.41993	64.075m	3.6712	2.6392
3	45	0.55427	5.1255	0.29367k	3.4835
4	50	0.80748	3.6662	0.21006k	5.0749
5	55	2.0142	2.5982	0.14886k	12.659
6	60	3.2158	0.24869	14.249	20.211
7	65	0.25799	4.4231	0.25342k	1.5214
8	70	0.25408	4.0043	0.22943k	1.5969
9	75	0.63629	0.92806	53.174	3.993
10	80	0.90215	6.0084	0.34425k	5.6699
11	85	0.64348	5.063	0.29008k	4.0442
12	90	0.25507	4.8294	0.27671k	1.6031
13	95	0.28731	5.2694	0.30181k	1.8057
14	0.1k	0.32223	5.0018	0.29658k	2.0252
15	0.105k	0.31071	4.8147	0.27586k	1.9520
16	0.11k	0.31146	4.5959	0.26333k	1.9574
17	0.115k	0.28671	4.3524	0.24937k	1.8019
18	0.12k	0.25829	4.1784	0.23941k	1.6233
19	0.125k	0.23798	3.98	0.22804k	1.4957
20	0.13k	0.18967	3.7863	0.21694k	1.182
21	0.14k	0.21461	4.0594	0.23258k	1.3488
22	0.145k	0.28138	3.6784	0.21076k	1.7684
23	0.15k	0.27647	3.1711	0.18168k	1.7376
24	0.155k	0.19465	2.8523	0.16342k	1.2233
25	0.16k	0.24347	3.1718	0.18173k	1.5302
26	0.165k	0.56215	2.4655	0.14126k	3.5331
27	0.17k	0.92843	1.1921	68.305	5.835
28	0.175k	8.0313	5.1013	0.29228k	50.476
29	0.18k	15.911	1.8651	0.10886k	0.1k
30	0.185k	7.0375	4.7998	0.27501k	44.23
31	0.19k	0.72022	1.7811	0.10205k	4.5265
32	0.195k	0.19179	0.83219	47.681	1.2054
33	0.205k	0.1612	1.0441	59.825	1.0131

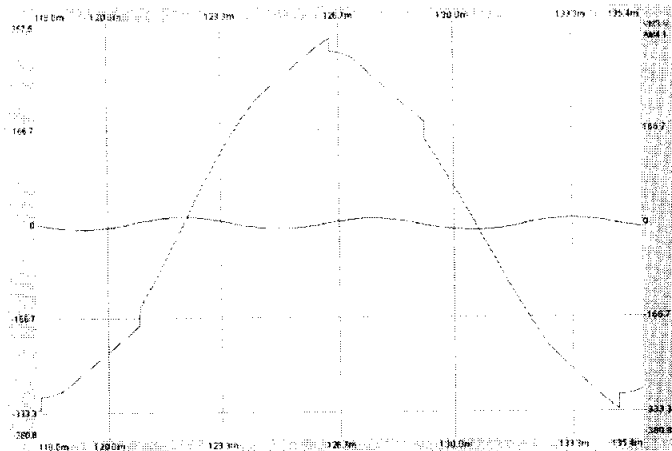
33	0.205k	0.1612	1.0441	59.625	1.0131
34	0.275k	0.19051	4.8933	0.28037k	1.1373
35	0.28k	0.18229	3.4564	0.19804k	1.1456
36	0.285k	0.18466	1.4295	81.907	1.0349
37	0.29k	0.25337	5.7796	0.33115k	1.5924
38	0.295k	0.30527	4.4749	0.2564k	1.9186
39	0.3k	0.48919	2.9071	0.16857k	2.9498
40	0.305k	0.26037	1.1158	63.931	1.6364
41	0.31k	0.18564	0.11259	6.451	1.1667
42	0.41k	0.18639	4.0125	0.2299k	1.1715
43	0.415k	0.24547	2.3664	0.13559k	1.5429
44	0.535k	0.48612	3.8259	0.21921k	3.0552
45	0.54k	0.8802	0.60821	34.848	5.4062
46	0.545k	0.34442	3.5617	0.20407k	2.1645
47	0.895k	0.18856	1.4085	80.703	1.0594
48	0.9k	0.24157	4.5643	0.26151k	1.5193

(c) 각 주파수 대 i_N 전류

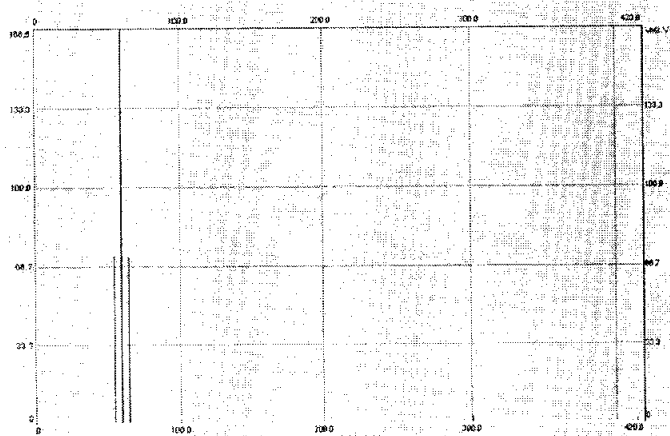
그림 5.6 1mH 필터인 경우(10kW 불평형 부하)

$$(E) \quad THD_{V_r} = \frac{\sqrt{3.2841^2 + (1.826 + 2.9041)^2}}{220\sqrt{2}} \times 100 = 1.85\%$$

2) 5mH 인 경우(10kW 불평형)



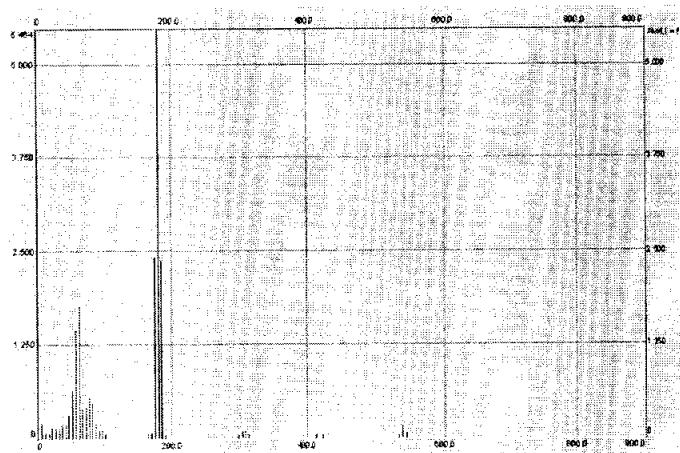
(a) $V_{Tpeak} = 327V$ $i_{Npeak} = 10A$



(b) V_T 전압의 FFT

	f [Hz]	VM3.v	Phi [rad]	Phi [deg]	% (Max)
Minimum	55	1.6964	1.0232	58.625	1.0187
Maximum	0.42k	0.16652k	4.7027	0.26945k	0.1k
0	55	71.296	1.0391	59.537	42.815
1	60	0.16652k	4.1839	0.23977k	0.1k
2	65	70.975	1.0493	60.118	42.622
3	0.3k	2.3374	2.8009	0.16048k	1.3406
4	0.415k	1.6964	4.7027	0.26945k	1.0187
5	0.42k	2.4464	1.0232	58.625	1.4691

(c) 각 주파수 대 V_T 전압



(d) i_N 전류의 FFT

	THD	AM4	Phi (rad)	Phi (deg)	% (Max)
Minimum	5	59.1m	20.301m	1.1632	1.0815
Maximum	0.9k	5.4642	6.0389	0.346k	0.1k
0	5	0.21519	1.4769	84.62	3.9381
1	10	93.051m	0.36829	21.101	1.7029
2	15	90.678m	1.4177	81.228	1.6595
3	20	0.15624	0.75685	43.364	2.9593
4	25	0.13566	0.21088	12.083	2.4828
5	30	0.14336	20.301m	1.1632	2.6337
6	35	0.17555	5.7587	0.33001k	3.2126
7	40	0.18595	5.2787	0.30245k	3.4031
8	45	0.32788	4.7168	0.27025k	6.0006
9	50	0.62438	3.5969	0.20609k	11.427
10	55	1.4371	2.3316	0.13359k	26.301
11	60	1.7548	37.534m	2.1505	32.115
12	65	0.38532	4.8567	0.284k	7.0518
13	70	0.42236	2.9751	0.17046k	7.7295
14	75	0.53251	0.48609	27.851	9.7472
15	80	0.45385	5.256	0.30115k	8.3062
16	85	0.20228	4.4174	0.2531k	3.7019
17	90	0.12883	4.5374	0.25997k	2.354
18	95	0.12346	4.1833	0.23969k	2.2594
19	0.1k	82.173m	3.8085	0.21621k	1.5038
20	0.165k	66.981m	2.631	0.15075k	1.224
21	0.17k	79.031m	1.2911	73.402	1.4463
22	0.175k	2.4145	4.9209	0.27622k	44.19
23	0.18k	5.4642	1.6493	94.499	0.1k
24	0.185k	2.5721	4.7395	0.27156k	43.412
25	0.19k	81.582m	1.7698	0.10312k	1.127
26	0.295k	62.244m	3.2854	0.18524k	1.1391
27	0.3k	0.10336	1.7909	0.10261k	1.8915
28	0.305k	0.10289	6.0769	0.346k	1.683
29	0.31k	88.145m	4.6998	0.26928k	1.2471
30	0.415k	69.826m	0.93299	53.457	1.2779
31	0.425k	59.1m	4.6809	0.26619k	1.0816
32	0.535k	68.73m	2.0473	0.1173k	1.2578
33	0.54k	0.18124	5.2788	0.30234k	3.3187

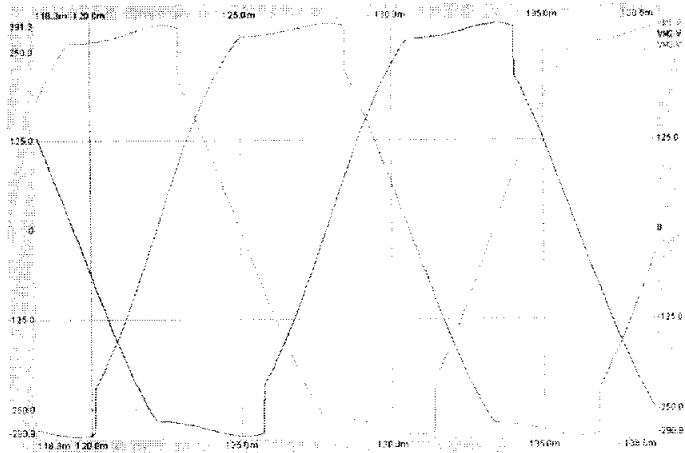
(e) 각 주파수 대 i_N 진류

그림 5.7 5mH 필터인 경우(10kW 불평형 부하)

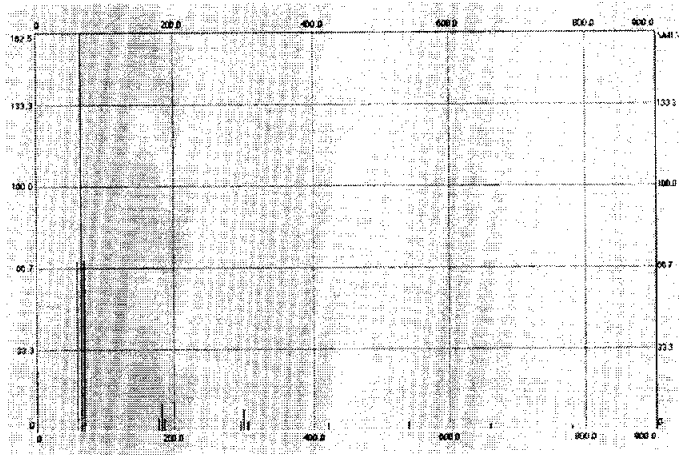
$$(F) THD_{v_r} = \frac{\sqrt{2.2324^2 + (1.6964 + 2.4464)^2}}{220\sqrt{2}} \times 100 = 1.513\%$$

2) 20kW급 불평형 부하 (R상=7kW, S상=5.6kW, T상=4.9kW)

a) 필터가 없는 경우(20kW 불평형)



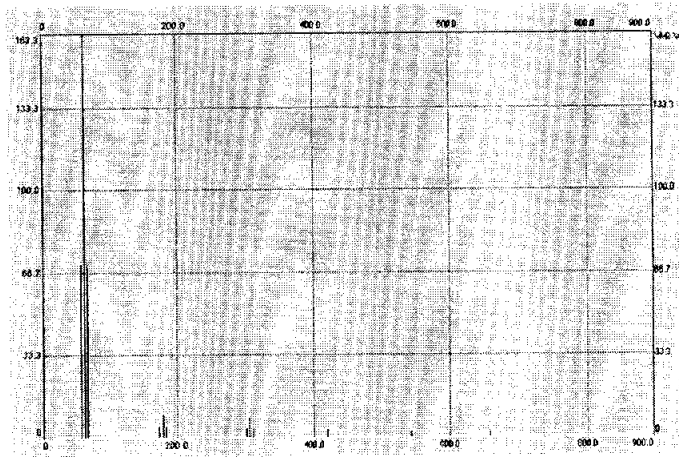
(a) 각 상 전압



(b) V_R 전압의 FFT

	f(Hz)	VM1.V	Phi(rad)	Phi(deg)	%Max
Minimum	55	1.7976	32.464m	1.8861	1.1064
Maximum	0.9k	0.16247k	6.2583	0.35857k	0.1k
0	55	69.244	3.1196	0.17874k	42.62
1	60	0.16247k	6.2583	0.35857k	0.1k
2	65	69.219	3.1212	0.17883k	42.605
3	0.175k	5.0062	3.6537	0.20934k	3.0814
4	0.19k	11.113	0.57155	32.748	6.8401
5	0.195k	4.959	3.628	0.20787k	3.0523
6	0.295k	3.7733	57.464m	3.2936	2.3225
7	0.3k	8.4083	3.1967	0.19316k	5.2334
8	0.305k	3.7408	32.464m	1.8601	2.3025
9	0.42k	2.6902	5.1086	0.2927k	1.779
10	0.54k	3.2393	6.2261	0.35873k	1.9938
11	0.66k	2.3065	1.8808	0.10776k	1.4197
12	0.78k	1.821	3.0317	0.17371k	1.1208
13	0.9k	1.7976	4.8134	0.27578k	1.1064

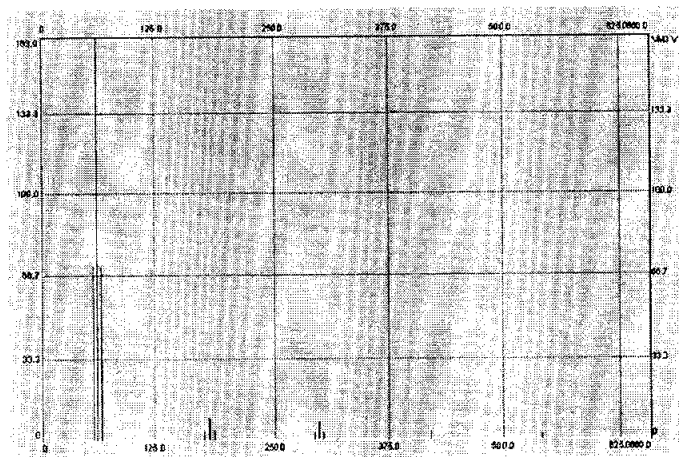
(c) 각 주파수대 V_R 전압



(d) V_s 전압의 FFT

	f [Hz]	VM [V]	Phi [rad]	Phi [deg]	% Max
Minimum	55	1.734	57.654m	3.3034	1.0819
Maximum	0.9k	0.1633k	5.2171	0.29892k	0.1k
0	55	69.813	5.2163	0.29887k	42.751
1	60	0.1633k	2.0748	0.11888k	0.1k
2	65	69.826	5.2171	0.29892k	42.759
3	0.175k	4.2414	3.7247	0.21341k	2.5973
4	0.18k	9.3478	0.55275	31.67	5.7243
5	0.185k	4.2255	3.7181	0.21303k	2.5876
6	0.295k	3.5816	4.2293	0.24232k	2.1932
7	0.3k	7.7137	1.1639	66.565	4.7236
8	0.305k	3.5488	4.2164	0.24158k	2.1732
9	0.42k	3.1204	1.2081	69.217	1.9108
10	0.54k	2.6071	0.1307	7.4886	1.5965
11	0.66k	2.2904	57.654m	3.3034	1.4026
12	0.9k	1.734	5.1256	0.29367k	1.0819

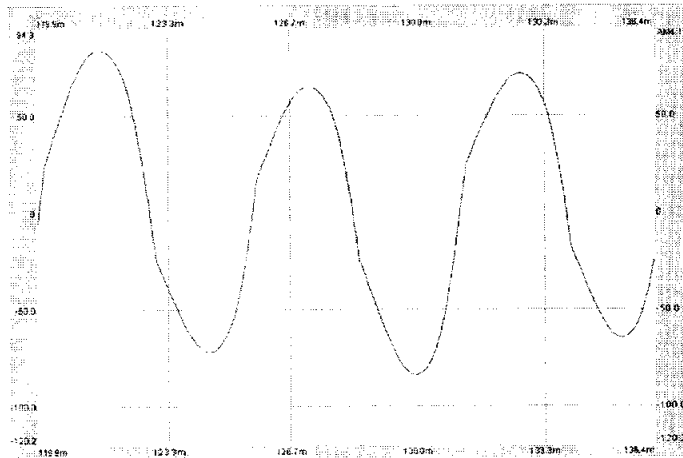
(e) 각 주파수 대 V_s 전압



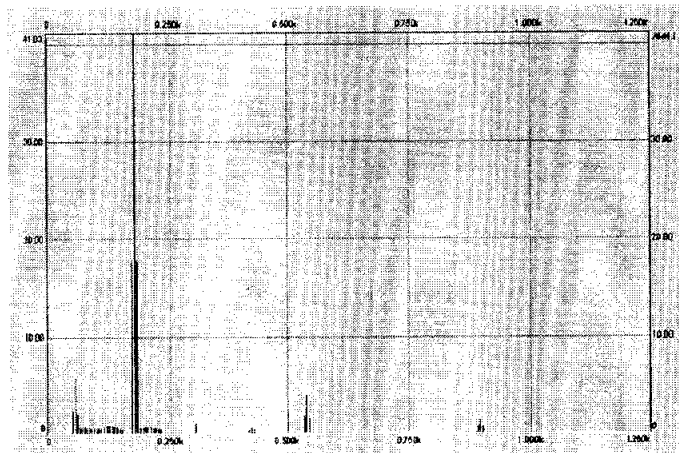
(f) V_T 전압의 FFT

	f(Hz)	Vm3V	Phi(deg)	Phi(deg)	%Max
Minimum	55	2.2748	0.28342	16.239	1.388
Maximum	0.66k	0.16389k	5.3534	0.30673k	0.1k
0	55	70.029	1.0307	58.055	43.729
1	60	0.16389k	4.1712	0.23889k	0.1k
2	65	69.983	1.0323	58.146	43.702
3	0.175k	3.4373	3.7345	0.21397k	2.0974
4	0.18k	8.6949	0.56775	32.53	5.3054
5	0.185k	3.4513	3.6976	0.21186k	2.1059
6	0.295k	3.1962	2.2273	0.12762k	1.9502
7	0.3k	7.3783	5.3534	0.30673k	4.502
8	0.305k	3.208	2.1856	0.12523k	1.9574
9	0.42k	3.0582	3.4121	0.1955k	1.868
10	0.54k	2.278	0.28342	16.239	1.39
11	0.66k	2.2748	4.4217	0.25335k	1.388

(g) 각 주파수 대 V_T 전압



(h) 중성선 전류 i_N



(i) 중성선 전류 i_N 의 FFT

	THD	AM41	Phi(trd)	Phi(ide)	% (Max)
Minimum	55	0.42768	0.17078	9.7852	1.0424
Maximum	1.26k	41.03	6.2651	0.35896k	0.1k
0	55	2.2789	3.0337	0.17382k	5.5541
1	60	5.7987	0.18718	10.725	14.133
2	65	1.9616	3.0263	0.17339k	4.7808
3	70	0.62703	0.62599	35.867	1.5282
4	75	0.63113	0.38713	22.181	1.5382
5	80	0.62194	0.17078	9.7852	1.5158
6	85	0.60525	6.2651	0.35896k	1.4751
7	90	0.59152	6.1009	0.34958k	1.4417
8	95	0.5839	5.9508	0.34096k	1.4231
9	0.1k	0.58159	5.807	0.33272k	1.4175
10	0.105k	0.5832	5.6678	0.32474k	1.4214
11	0.11k	0.59124	5.5493	0.31795k	1.441
12	0.115k	0.63394	5.4394	0.31165k	1.545
13	0.12k	0.72194	5.271	0.30201k	1.7595
14	0.125k	0.82313	4.9996	0.28646k	2.0062
15	0.13k	0.87603	4.6562	0.26878k	2.1351
16	0.135k	0.86506	4.2876	0.24566k	2.1083
17	0.14k	0.80245	3.9147	0.2243k	1.9558
18	0.145k	0.70455	3.5343	0.2025k	1.7172
19	0.15k	0.58154	3.1398	0.17889k	1.4173
20	0.155k	0.44214	2.71	0.15527k	1.0776
21	0.175k	17.823	5.5532	0.31818k	43.438
22	0.18k	41.03	2.4223	0.13879k	0.1k
23	0.185k	17.718	5.5317	0.31694k	43.182
24	0.19k	0.5675	3.8505	0.22862k	1.3831
25	0.195k	0.63359	3.4557	0.198k	1.5442
26	0.2k	0.67491	3.0723	0.17603k	1.6449
27	0.205k	0.68297	2.6947	0.15439k	1.6889
28	0.21k	0.68736	2.3224	0.13307k	1.6752
29	0.215k	0.6612	1.9546	0.11199k	1.6115
30	0.22k	0.61597	1.5896	91.078	1.5013
31	0.225k	0.55111	1.2296	70.449	1.3432
32	0.23k	0.468	0.88404	50.652	1.1406
33	0.2k	1.081	4.2672	0.2445k	2.5346
34	0.415k	0.4528	2.503	0.14341k	1.1036
35	0.42k	0.58613	5.4953	0.31486k	1.3798
36	0.425k	0.42768	2.3465	0.13444k	1.0424
37	0.535k	1.7778	4.957	0.28402k	4.3328
38	0.54k	3.9363	1.7903	0.10258k	9.5937
39	0.545k	1.7682	4.9192	0.28188k	4.3119
40	0.895k	0.67452	3.6132	0.20702k	1.6439
41	0.9k	1.4521	0.46871	26.855	3.539
42	0.905k	0.66855	3.5724	0.20468k	1.6294
43	1.25k	0.56524	5.2628	0.30154k	1.3776

(j) 각 주파수 대 i_N 전류

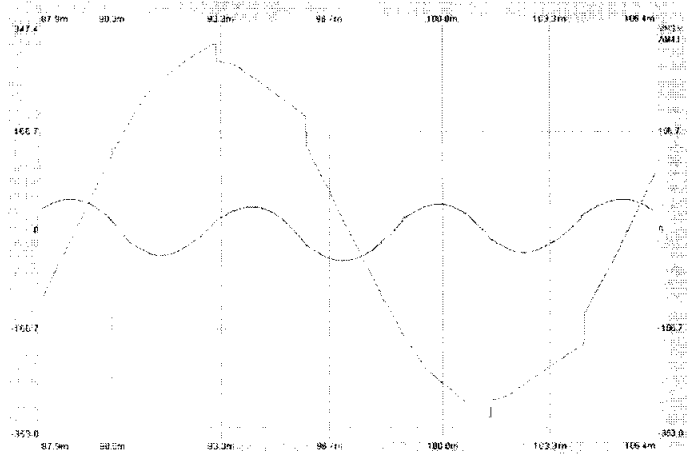
그림 5.8 필터가 없는 경우(20kW 불평형 부하)

(G)

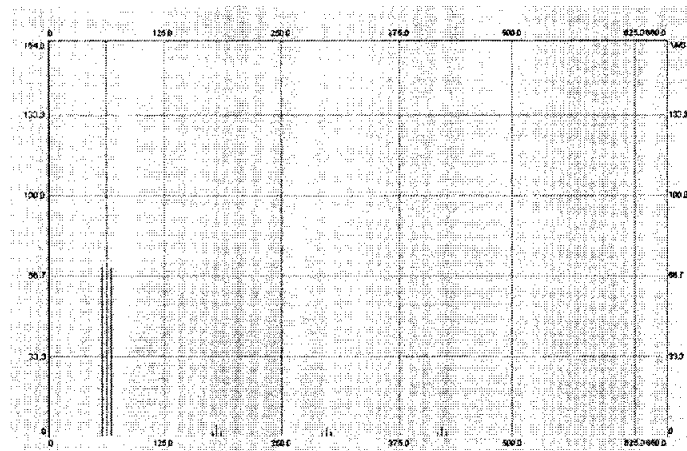
$$THD_{V_r} = \frac{\sqrt{(3.4373+8.6949+3.4513)^2 + (3.196+7.378+3.208)^2 + 3.058^2 + 2.278^2 + 2.274^2}}{220/2} \times 100 = 6.8\%$$

b) 필터가 있는 경우

1) 1mH(20kW 불평형)



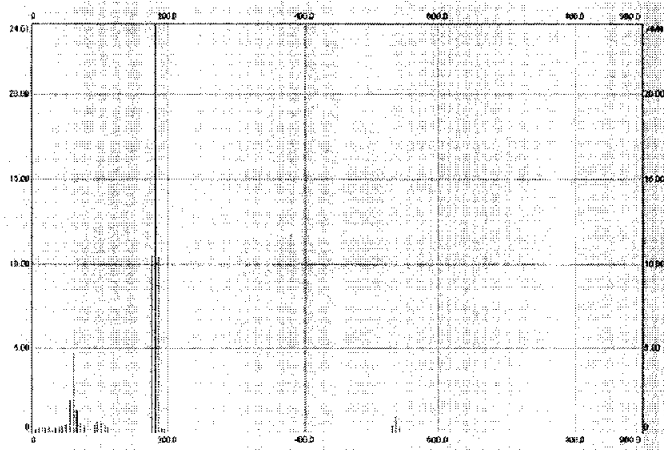
(a) $V_{Tpeak}=317V$ $i_N=36A$



(b) V_T 전압의 FFT

	$f(Hz)$	V_{M3V}	$\Phi(f,rad)$	$\Phi(f,deg)$	$\%I_{Max}$
Minimum	55	1.8164	0.10576	6.0593	1.1073
Maximum	0.66k	0.16404k	6.2011	0.3553k	0.1k
0	55	70.071	1.0358	59.347	42.717
1	60	0.16404k	4.1771	0.23933k	0.1k
2	65	69.994	1.0388	59.52	42.67
3	0.175k	2.1036	2.9767	0.17049k	1.2824
4	0.18k	5.2988	6.2011	0.3553k	3.2302
5	0.185k	2.0864	2.8706	0.16447k	1.2719
6	0.295k	1.8266	0.21192	12.142	1.1745
7	0.3k	3.7385	3.3601	0.19252k	2.2791
8	0.305k	1.8917	0.10576	6.0593	1.1532
9	0.415k	1.8798	4.1772	0.23933k	1.1459
10	0.42k	4.0215	0.91857	52.688	2.4516
11	0.425k	1.8164	4.0672	0.23303k	1.1073
12	0.66k	2.3168	0.45398	26.011	1.4124

(c) 각 주파수 대 V_T 전압



(d) 중성선 전류 i_N 의 FFT

	f(Hz)	AM4	Phi(rad)	Phi(deg)	% (Max)
Minimum	5	0.24557	0.17108	9.8022	1.0269
Maximum	0.9k	24.012	6.2388	0.35746k	0.1k
0	5	0.24557	1.9304	0.1108k	1.0269
1	10	0.3464	1.3007	74.524	1.4426
2	15	0.36718	0.72944	41.794	1.5292
3	20	0.35908	0.17108	9.8022	1.4954
4	25	0.33762	5.9518	0.33526k	1.4061
5	30	0.31469	5.1601	0.29565k	1.3105
6	35	0.31035	4.3676	0.25025k	1.2925
7	40	0.34463	3.5376	0.20269k	1.4352
8	45	0.41589	2.7692	0.15866k	1.7362
9	50	0.50596	2.088	0.11964k	2.1072
10	55	1.9725	2.6761	0.15333k	8.2148
11	60	4.6759	6.2388	0.35746k	19.473
12	65	1.3253	2.7429	0.15716k	5.5194
13	70	0.56831	6.0941	0.34917k	2.371
14	75	0.42501	5.5828	0.32045k	1.7742
15	80	0.45756	6.2181	0.35627k	1.9056
16	85	0.53903	5.5774	0.31956k	2.6613
17	0.1k	0.62327	4.9372	0.28288k	2.5957
18	0.105k	0.47881	4.4344	0.25407k	1.9941
19	0.11k	0.32866	4.1486	0.2377k	1.3729
20	0.175k	10.557	4.9024	0.28089k	43.987
21	0.18k	24.012	1.7562	0.1012k	0.1k
22	0.185k	10.448	4.8764	0.2784k	43.513
23	0.19k	0.28563	3.2043	0.18359k	1.1895
24	0.195k	0.25353	2.671	0.15304k	1.0558
25	0.535k	0.44328	2.2144	0.17668k	1.8461
26	0.54k	0.97025	5.3568	0.30692k	4.0407
27	0.945k	0.41681	2.1737	0.12454k	1.7442
28	0.9k	0.41632	2.1022	0.12044k	1.7338

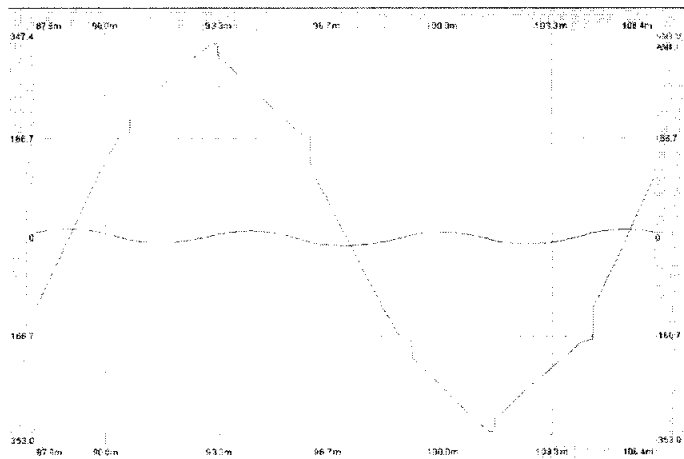
(e) 각 주파수 대 i_N 전류

그림 5.9 1mH 필터인 경우(20kW 불평형 부하)

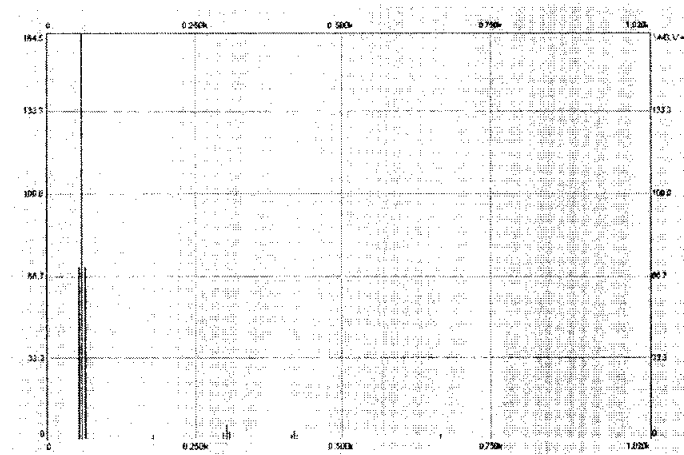
(H)

$$THD_{V_r} = \frac{\sqrt{(2.1036+5.2988+2.0864)^2 + (1.9266+3.7385+1.8917)^2 + (1.8798+4.0215+1.8164)^2 + 2.3168^2}}{220\sqrt{2}} \times 100 = 4.68\%$$

2) 5mH인 경우(20kW 불평형)



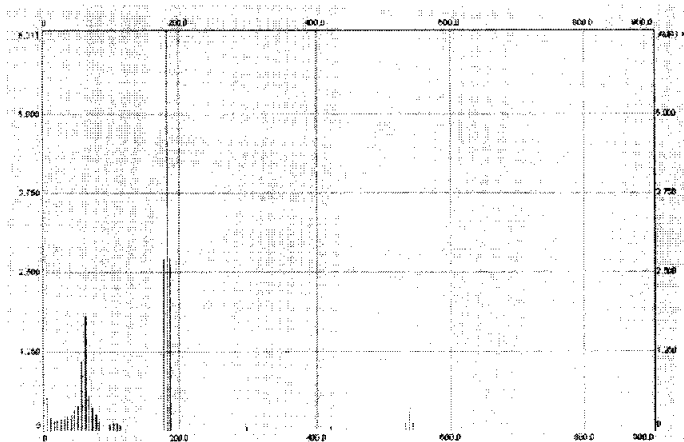
(a) $V_{T,peak}=329$ $i_N=11A$



(b) V_T 전압의 FFT

	f [Hz]	Vm[V]	Phi [rad]	Phi [deg]	%Max
Minimum	55	1.7729	0.53104	30.426	1.0779
Maximum	1.02k	0.16449k	5.8031	0.33249k	100
0	55	70.241	1.0348	59.289	42.701
1	60	0.16449k	4.1763	0.23928k	100
2	65	70.211	1.0369	59.523	42.683
3	0.16k	2.0343	5.7542	0.32969k	1.2367
4	0.295k	3.0242	5.8031	0.33249k	1.8395
5	0.3k	5.9884	2.5816	0.14792k	3.6405
6	0.305k	3.0534	5.6728	0.32503k	1.8563
7	0.415k	1.8888	3.7893	0.21711k	1.1482
8	0.42k	3.9825	0.53104	30.426	2.421
9	0.425k	1.7729	3.6453	0.20888k	1.0778
10	0.66k	2.6255	5.7133	0.32735k	1.5961
11	1.02k	1.9045	1.9325	0.11073k	1.1578

(c) 각 주파수 대 V_T 전압



(d) 중성선 전류 i_N 의 FFT

	f(Hz)	AM(A)	Phi(rad)	Phi(deg)	% (Max)
Minimum	5	67.169m	0.21215	12.155	1.0643
Maximum	0.9k	6.3109	6.2287	0.35688k	100
0	5	0.52862	0.21215	12.155	8.3762
1	10	0.19963	6.2296	0.35641k	3.1633
2	15	0.1769	6.2287	0.35688k	2.8031
3	20	0.17945	5.9335	0.33997k	2.8435
4	25	0.18553	5.5112	0.31577k	2.9398
5	30	0.19721	4.9889	0.28584k	3.1249
6	35	0.22143	4.3706	0.25042k	3.5087
7	40	0.26412	3.6656	0.21002k	4.1851
8	45	0.32487	2.9154	0.16704k	5.1478
9	50	0.39516	2.147	0.12301k	6.2615
10	55	1.0978	1.8935	0.10849k	17.395
11	60	1.8003	5.6071	0.32128k	28.527
12	65	0.54711	1.5625	89.522	8.6692
13	70	0.36801	5.4643	0.31308k	5.7995
14	75	0.26045	4.786	0.27422k	4.127
15	80	0.14402	4.1314	0.23671k	2.282
16	85	0.10649	5.3506	0.30656k	1.6872
17	90	0.12337	4.7573	0.27257k	1.9548
18	0.105k	0.11098	4.2272	0.24272k	1.7586
19	0.11k	85.863m	3.7902	0.21716k	1.3605
20	0.175k	2.716	4.7845	0.27414k	43.036
21	0.18k	6.3109	1.6414	94.043	100
22	0.185k	2.7258	4.7746	0.27356k	43.192
23	0.3k	67.169m	1.4425	82.651	1.0643
24	0.42k	70.588m	2.2672	0.12881k	1.1185
25	0.535k	0.12822	1.4242	81.601	2.0317
26	0.54k	0.29958	4.5252	0.25827k	4.7469
27	0.545k	0.13115	1.3986	80.132	2.0781
28	0.9k	83.841m	0.9409	48.174	1.3285

(e) 각 주파수 대 i_N 전류

그림 5.10 5mH 필터인 경우(20kW 불평형 부하)

(h)

$$THD_{V_T} = \frac{\sqrt{2.043^2 + (3.0242 + 5.9884 + 3.0534)^2 + (1.888 + 3.9925 + 1.7729)^2 + 2.6255^2 + 1.9045^2}}{220\sqrt{2}} \times 100 = 4.75\%$$

제 6 장 결 론

본 논문에서는 KT 부산 본부에서 운영중인 3상 UPS의 비선형 및 불평형 부하에 대하여 중성선 전류와 UPS의 출력전압 특성에 대해 고찰하였다. UPS의 부하로서는 대부분 정보통신 관련 기기가 사용되며 이들 기기는 다이오드 정류기를 입력으로 하는 경우가 많다. 따라서 UPS 출력에서 볼 때에 부하는 다이오드 정류기가 대부분이어서 비선형 부하 특성을 갖는다. 또한 KT 부산 본부에서 운영중인 3상 UPS 출력은 3상 4선식으로 각 상에 단상 부하가 접속되는 형태이므로 상간 부하 불평형을 피할 수 있다. 사용중인 3상 UPS의 용량은 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200kVA로 다양하게 분포되어 있는데, 본 논문에서는 30kVA를 대상으로 하여 분석하였다.

중성선 전류에 대해서는 평형 부하와 불평형 부하로 나누어서 해석하였으며 평형 부하는 1 ~ 7kW 범위에서 1kW 단위로 증가시켜가면서 살펴 보았고 불평형 부하는 10kW와 20kW에 대해 10%, 20%, 30% 부하 불평형이 되도록하여 살펴 보았다. 평형부하의 경우 180, 540, 900, 1250Hz 성분이 주로 나타나며 각 성분의 크기는 표 6.1과 같다.

표 6.1 평형 부하시 중성선 전류 고조파

부하(kW)	고조파 성분(A)			
	180(Hz)	540(Hz)	900(Hz)	1250(Hz)
1	17	2.1	0.82	0.425
2	16.9	1.9	0.75	0.33
3	16.18	1.95	0.74	0.33
4	30.1	2.5	1.2	0.5
5	36.2	3.5	1.4	—
6	42.0	3.75	1.5	—
7	47.53	4.75	1.6	—

10kW와 20kW 부하시 불평형인 경우의 중성선 전류 변동은 표 6.2와 같다.

표 6.2 중성선 전류 변동 범위(A)

CASE	10kW	20kW
1	41-45.5	77-83
2	38.5-45	71-83
3	35-45	64-83
4	38-45	71-83
5	34-45	64-83

불평형 정도가 심할수록 중성선 전류 변동 범위도 증가한다. 출력 전압도 평형부하인 경우와 불평형 부하인 경우로 나누어 해석하였으며 평형 부하인 경우 개루프 동작 조건에서 1kW-7kW로 부하가 증가할 때 출력 전압의 크기는 피크값이 296, 288, 285, 285, 283, 282V로 점점 감소함을 알 수 있다.

7kW 부하에서 출력전압의 THD를 분석한 결과 8.7%로서 규정치인 5%를 초과하였다. 불평형의 경우는 10kW 부하시 T상 전압의 THD는 3.36%, 20kW 부하시 T상전압의 THD는 6.8%이었다.

중성선에 1mH L-필터를 추가하여 출력전압의 THD를 분석한 결과 7kW 평형 부하에서는 5.76%, 10kW 불평형 부하에서는 1.85%, 20kW 불평형 부하에서는 4.68%로서 필터가 없는 경우보다 각각 34%, 45%, 31% THD가 감소하였다. 5mH 필터를 추가한 경우는 THD가 각각 5.25%, 1.513%, 4.75%로서 필터가 없는 경우보다 각각 39%, 55%, 30% 감소하였다. 따라서 중성선에 수 mH 정도의 인덕터를 추가함으로써 UPS 출력 전압의 THD를 규정값인 5% 이내로 관리할 수 있음을 파악하였다. 정확한 인덕터의 값은 부하 용량과 불평형 정도에 따라 결정할 수 있으며 본 연구에서 얻어진 결론은 현재 KT 부산 본부에서 운영중인 3상 UPS의 출력 전압 파형 개선에 크게 기여할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 조준석, 이승요, 김홍성, 최국하, “3상 UPS의 정전압 출력특성 향상을 위한 개선된 데드비트 디지털 제어기의 설계,” 전력전자학회 논문지, 5권 1호, pp. 1-10, 2000.
- [2] N.M.Abdel-Rahim and J.E.Quaicoe, “Analysis and Design of a Multiple Feedback Loop Control Strategy for single-phase Voltage Source UPS Inverters,” IEEE Trans. on PE, vol. 11, No. 4, pp. 532-541, 1996.
- [3] K.P.Gokhule et al, “Deadbeat microprocessor control of PWM inverter for sinusoidal output waveform synthesis,” IEEE-PESC, pp. 28-36, 1985.
- [4] A.Kawamura et al, “Deadbeat controlled PWM inverter with parameter estimation using only voltage sensor,” IEEE Trans. PE, vol. 3, No. 2, pp. 118-125, 1988.
- [5] 김병진, 최재호, Amit Jain, “연산지연시간 및 민감성을 고려한 UPS 인버터용 2차 데드비트 제어기,” 전기학회 논문지, vol. 50B, No. 4, pp. 170-177, 2001.
- [6] T.Kawabata et al, “Deadbeat control of three-phase PWM inverter,” IEEE Trans. PE, vol. 5, No. 1, pp. 21-28, 1990.
- [7] 박형진, 정승기, “무정전 전원공급 장치의 전류제한을 통한 용량 절감에 관한 연구,” 전력전자학회 학술대회 논문집, 1999.
- [8] 정환명, 최재호, “초전도 플라이휠 에너지 저장시스템을 이용한 UPS 설계,” 전력전자학회 논문지, 5권 6호, pp. 610-619, 2000.
- [9] 성병모, 강필순, 박성준, 김철우, “병렬 제어기법을 이용한 UPS 출력전압의 개선,” 전력전자학회 논문지, 7권 2호, pp. 158-164, 2002.
- [10] 박지호, 노태균, 김춘삼, 안인모, 우정인, “UPS 인버터의 성능 개선을 위한 강인한 2중 디지털 제어기의 설계,” 전력전자학회 논문지, 8권 2호, pp. 116-127, 2003.
- [11] 조준석, 한재원, 최규하, “독립제어구조를 갖는 N+1 모듈형 UPS 시스템의 병렬운전,” 전력전자학회 논문지, 7권 5호, pp. 499-508, 2002.

- [12] 김태우, “무정전 전원장치 운용,” KT 현장훈련교제, 35-40-110, pp, 2, 2002.
- [13] 김태우, “무정전 설계 및 시공,” KT 현장훈련교제, 35-40-130, pp, 4-11, 2002.