

아파트 전기설비에서의 고조파 실태 분석 연구

(A Study on the Harmonic of the Electrical Installations in Apartment Housing)

이기홍* · 성세진**

(Ki-Hong Lee · Se-Jin Seong)

요 약

본 연구에서는 아파트의 각종 전력설비에서 고조파 실태와 영향을 파악하기 위하여 이를 측정하고 분석하였다. 그 결과 세대에 전력을 공급하는 전등전열변압기에서는 제5고조파, 동력변압기에서는 제5고조파 및 제7고조파가 많이 발생되는 것으로 분석되었다. 또한 아파트 수변전설비의 인입점에서 측정한 전압의 종합왜형률(THD)은 평균 2.4[%]로서 비교적 양호한 것으로 나타났으나, 향후 가전기기의 대용량화 추세에 따라 아파트의 전력설비 계획에서도 고조파에 대한 고려가 필요한 것으로 분석되었다.

Abstract

To analysis the effect by the Harmonics through Power facilities in Apartment housing, This paper measured the Harmonics at Lighting Transformer, Power Transformer and Services-entrance Conductors of electrical installation in apartment housing. The measured result is following as : 1) The Harmonics at Lighting Transformer is generated in the large of the 5th Harmonics. 2) The Harmonics at Power Transformer is generated in the large of the 5th and 7th Harmonics. And then 3) The THD at the Services-entrance Conductors is average 2.4[%], which is compared to the measuring Voltage, this meaning value is good condition until now against Harmonics effect. But, So the large capacitance of household electrical appliances with rectifiers in the future considered the effect of Harmonics at the Electric Power planning in apartment Housing.

1. 서 론

최근 정류회로를 갖는 수많은 반도체 응용기기의 개발과 보급이 이루어지고 있다. 이에 따라 가정에서도 반도체 응용기기들인 각종 가전제품들이 급속히 보급되고 있다[1].

또한 최근 주거문화의 중심이 되고 있는 아파트에서는 공용설비들에 있어서도 고품질 서비스 제공 및 고효율운전을 위하여 인버터를 비롯한 다양한 반도체 응용기기들이 적극적으로 도입되고 있다. 즉, 인버터 승강기, 인버터를 이용한 급수시스템, 고효율 조명기기 등이 널리 보급되고 있는 것이 현실이다[2]. 그러나 이러한 가전제품 및 설비들은 고효율 운전 및 고품질 서비스라는 긍정적인 측면을 제공하고 있는 반면에 전력설비에 악영향을 미치는 고조파도 동

* 정회원 : 대한주택공사 주택연구소 연구원

** 정회원 : 충남대학교 전기과 교수

접수일자 : 2001년 3월 7일

시에 발생시키고 있다. 특히 가전기기에 널리 적용되고 있는 콘덴서 입력형 정류회로와 각종 공용설비에 적용되고 있는 인버터에서는 정현파 전압을 인가할 지라도 현저하게 왜곡된 전류가 흐르게 된다[3].

이러한 가전기기 및 공용설비들이 개별적으로 발생하는 고조파량은 매우 작지만 같은 시간대에 동시에 사용되므로 계통 전체를 고려하였을 때에는 전압 파형에 매우 나쁜 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 대책수립에 관심이 고조되고 있다[4].

따라서 본 연구에서는 아파트설비에서 가전기기의 대용량화 및 다양화에 의해 계속적으로 증가되고 있는 고조파 문제의 현실태를 측정하고 분석함으로써 전력계통에서의 고조파 대책과 아파트 전력설비 계획에 필요한 기초자료를 제시코자 한다.

2. 고조파의 개요

2.1 고조파의 정의와 발생원

고조파는 기본파에 대하여 그의 정수배인 주파수를 말하는 것으로 일반적으로 왜형파는 기본파와 고조파의 합으로 나타낼 수 있다[5].

이러한 왜형파의 질을 나타내는 수치로는 총합왜형률(THD : Total Harmonic Distortion)로 나타내며 전압의 총합왜형률과 전류의 총합왜형률은 다음과 같이 나타낸다.

$$\text{전압 THD} = \sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2} / V_1$$

$$\text{전류 THD} = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} / I_1$$

단, V_1, I_1 : 기본파 전압 및 전류의 실효치

V_n : 제 n 차 고조파 전압의 실효치

I_n : 제 n 차 고조파 전류의 실효치

또한 이러한 고조파 함유율은 어떤 차수의 고조파 성분 실효치의 기본파 성분 실효치에 대한 비율로서 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{V_n}{V_1} \times 100(\%) \text{ 또는 } \frac{I_n}{I_1} \times 100(\%)$$

단, V_1 : 기본파 전압의 실효치

I_1 : 기본파 전류의 실효치

이러한 고조파 전류의 발생원은 대부분 전력변환 장치가 있는 반도체 응용기기들과 변압기와 같이 철심의 포화에 기인하여 고조파를 발생하는 기기들로 크게 분류할 수 있다.

특히 가정에서 고조파를 발생하는 가전기기들로서는 TV, 전자식 조명기기, 컴퓨터, 냉장고, 식기세척기 등을 들 수 있으며 아파트 공용설비에서는 인버터 승강기, 인버터 가압급수시스템 등을 대표적인 고조파 발생부하로 분류할 수 있다.

2.2 고조파 영향과 관리기준

고조파 전류의 증대는 진상 콘덴서 등에 장애를 야기시킬 뿐만 아니라, 다음과 같이 여러 가지 기기에 나쁜 영향을 미친다[6].

- 콘덴서, 직렬리액터의 과열·과전압 발생
- 발전기나 회전기, 변압기의 손실 증대로 인한 과열
- 이상공진에 의한 고조파 과전압의 발생
- 보호계전기의 오동작이나 각종 계기류의 오차
- 통신회로에의 잡음 및 유도장해

이와같이 고조파는 다양하게 전력설비에 악영향을 미치는데 특히 콘덴서 및 리액터가 크게 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.

특히, 전력용 콘덴서에서 중요한 것은 전원과 콘덴서 회로의 임피던스가 고조파 전류에 의해 병렬공진을 일으킬 수 있다는 것이다. 병렬공진을 일으키면 고조파 전류의 증폭 뿐만 아니라 계통전체에 대해 전압 왜곡을 일으킨다. 이때 전력용 콘덴서에 리액터가 설치되어 있지 않거나 리액터용량이 작으면 콘덴서에 많은 전류가 유입하게 되어 소손될 수 있다.

따라서 이러한 고조파의 영향을 최소화하기 위하여 각국에서는 고조파 발생률을 규제하고 있다.

국내에서는 한국전력의 전기공급 규정에서 표.1과 같이 전압왜형률을 규정하고 있으며 일본에서는 표. 2와 같이 규정하고 있다. 또한 IEEE(IEEE 519)에서는 표. 3과 같이 고조파전압을 제한하고 있다[7].

표 1. 한전전기공급규정에서의 고조파전압 제한기준
Table 1. Guideline of Voltage Harmonics in K. E. P. CO

전압	구분	지중선로가 있는 S/S에서 공급		가공선로만 있는 S/S에서 공급	
		전압 왜형률 (%)	등가방해 전류 (A)	전압 왜형률 (%)	등가방해 전류 (A)
66kV 이하		3	-	3	-
154kV 이하		1.5	3.8	1.5	-

단, 등가방해전류(EDC :Equivalent Disturbing Current) : 전력계통에서 발생하는 고조파가 통신선에 영향을 주는 고조파전류의 한계치.

표 2. 일본에서의 고조파전압 제한 기준
Table 2. Guideline of Voltage Harmonics in Japan

[단위 : %]

구분	고조파치수	고조파치수				총합
		3	5	7	11	
배전계통		3.0	4.0	3.0	2.0	5.0
특고계통		2.0	2.5	1.5	1.5	3.0

표 3. 일본에서의 고조파전압 제한 기준
Table 3. Guideline of Voltage Harmonics in Japan

[단위 : %]

회로전압	각 고조파 성분의 최대	최대종합 왜형률(THD)
69kV 이하	3.0	5.0
115~161kV	1.5	2.5
161 kV 이상	1.0	1.5

3. 고조파 실태 측정 및 결과

3.1 아파트의 전력 계통과 고조파 발생부하

아파트의 전원계통은 대부분 그림 1과 같이 세대 내에 전력을 공급하는 전등전열변압기와 공용부하에 전력을 공급하는 동력변압기를 중심으로한 전력계통으로 구분할 수 있다.

따라서 전등전열변압기에 나타나는 고조파는 대부

분 세대내의 가전기기에서 발생하는 고조파로서 주로 TV, 냉장고, 컴퓨터, 세탁기, 조명기기, 식기세척기들이 고조파의 발생원이다.

이들 고조파 발생원의 특징은 대부분 콘덴서 입력형 전원장치를 가지므로 다른 차수의 고조파보다도 제 5고조파가 많이 나타나고 고조파 발생부하가 점점 대용량화 되어 가는 특징이 있다.

반면에 동력변압기에서 측정되는 고조파는 인버터 승강기, 인버터 가압급수시스템, 공용부분의 조명기기, 각종 회전기기 등에 의해 발생하는 고조파이다. 따라서 3상 정류기에 의해 제 5고조파 및 제 7고조파가 많이 발생된다.

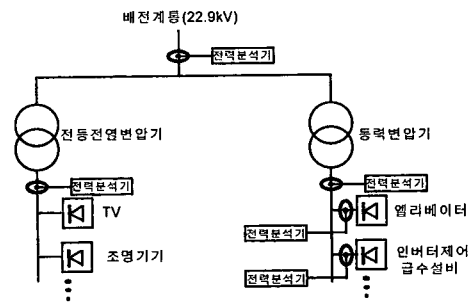


그림 1. 아파트의 전원계통과 고조파 측정점
Fig. 1. Power Supply Line Skelton and Harmonic measuring point in Apartment Housing

3.2 측정방법

고조파 측정은 그림 1에서와 같이 각 아파트의 수변전 설비에서 모선과 전등전열 변압기, 동력변압기, 각종 고조파 발생부하의 간선 등에서 측정하였다.

측정기간은 약 1주 단위로 측정하였으며 측정에는 전력분석기(UPM 6000, HIOKI 3166)를 측정하였다. 고조파 측정내용은 각상의 전압고조파와 전류고조파를 25차수까지 측정하였다.

고조파의 방향까지 판정하기 위해서는 전압전류간의 위상각도 측정하여야 한다. 하지만 고조파의 시간적 발생량의 패턴과 부하의 운전패턴을 비교하여도 고조파의 방향을 판정할 수 있으므로 본 연구에서는 고조파의 방향을 측정하지 않고 크기만 측정하였다.

3.3 고조파 측정결과

3.3.1 인입선

아파트 전기설비에서의 고조파 실태 분석 연구

인입선에서의 고조파는 배전계통에서 아파트 전력계통으로 인입하는 고조파와 그 역방향의 고조파가 모두 나타날 수 있다. 일반적으로 인입선에서의 고조파 측정결과와 아파트 수전설비에서의 부하곡선이 비슷하면 아파트에서 배전계통으로 방출되는 고조파이고 비슷하지 않으면 배전계통에서 수변전설비로 인입하는 고조파로 판단할 수 있다.

그림 2는 중앙난방방식을 채택하고 있는 아파트수전설비의 인입선에서 고조파를 측정한 결과이다.

이 측정결과는 아파트에서의 전력부하곡선과 비슷하므로 아파트에서 방출되는 고조파임을 알 수 있다.

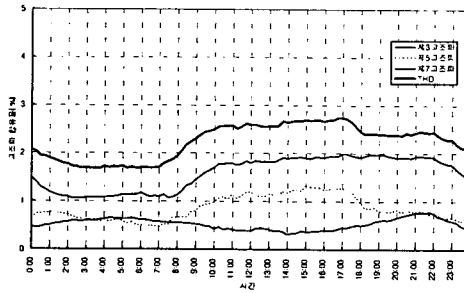


그림 2. 인입선에서의 고조파 실태 (A 단지)
Fig. 2. The actual condition of harmonic at Services-entrance Conductors (A apartment)

그림 3은 지역난방 아파트의 인입선에서 측정된 결과이다. 이 그림 3은 고조파 왜형률 곡선이 일반 아파트에서의 전력부하곡선과 정반대의 모양을 나타내고 있다. 따라서 배전계통의 고조파가 아파트의 수변전 설비로 인입되고 있음을 알 수 있다.

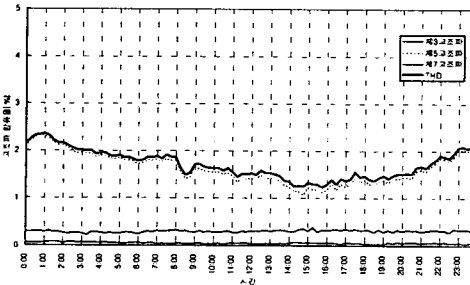


그림 3. 인입선에서의 고조파 실태 (B 단지)
Fig. 3. The actual condition of harmonic at Services-entrance Conductors (B apartment)

이와 같은 방법으로 여러아파트 단지의 전력 인입선에서 측정된 고조파 실태를 나타내면 표 4와 같다.

표 4. 인입선에서의 전압 종합왜형률 (THD) 실태
Table 4. The actual condition of Voltage THD at Services-entrance Conductors

단지명	THD			난방 방식	측정기간
	최대	평균	최소		
A 단지	3.1	2.2	1.6	중앙	1.14-1.19
B 단지	2.0	1.5	1.0	중앙	12.1-12.5
C 단지	2.1	1.7	1.1	지역	12.12-12.14
D 단지	2.5	2.1	1.8	지역	1.5-1.8
E 단지	4.7	4.4	4.1	개별	1.28-2.1
평균	2.9	2.4	1.9	-	-

3.3.2 전등전열 변압기

아파트의 전등 전열변압기는 세대에 전력을 공급하는 변압기로서 이 변압기에 나타나는 고조파는 대부분 세대내의 가전제품에 의해 발생하는 고조파이다. 이 고조파의 측정점은 변압기 2차측이다.

그림 4는 전등전열 변압기에서 측정된 고조파를 나타내고 있다. 종합고조파왜형률의 곡선은 주택의 전력사용부하곡선과 매우 흡사한 모양을 하고 있으며 그 최대크기도 약 4.3%로서 매우 크게 측정되었다. 따라서 가전기기의 보급이 더욱 확산되고 대형화됨에 따라 대책을 마련할 필요성이 요구되는 것으로 분석된다. 한 고조파의 차수별로 분석하면 가전기기의 전원에 일반적으로 사용되는 콘덴서 입력형 전원장치와 TV에서 많이 발생하는 제 5고조파가 매우 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

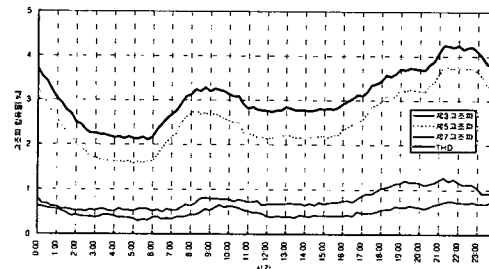


그림 4. 전등전열변압기에서의 고조파 실태 (C 단지)
Fig. 4. The actual condition of harmonic at Lighting Transformer (C apartment)

기타 다른 아파트 단지의 전등전열변압기에서 측정된 차수별 고조파의 크기를 나타내면 표 5와 같으며, 종합왜형률(THD)은 표 6과 같다.

표 5. 전등전열변압기에서의 전압고조파 함유율 실태

Table 5. The actual condition of Voltage harmonic at Lighting Transformer

단지	고조파		제3고조파			제5고조파			제7고조파		
	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소		
A단지	2.0	1.6	1.1	1.3	0.9	0.5	0.8	0.5	0.3		
B단지	1.3	0.8	0.5	3.8	2.5	1.6	0.7	0.5	0.3		
D단지	1.9	1.7	1.6	1.1	0.8	0.7	0.4	0.3	0.2		
평균	1.7	1.4	1.1	2.1	1.4	0.9	0.6	0.4	0.3		

표 6. 전등전열 변압기에서의 전압 종합 왜형률(THD) 실태

Table 6. The actual condition of Voltage THD at Lighting Transformer

단지명	THD			난방 방식	측정기간
	최대	평균	최소		
A 단지	4.3	2.9	1.7	중앙	1.14-1.19
B 단지	4.4	3.1	2.0	중앙	12.1-12.5
D 단지	3.2	2.4	1.8	지역	1.5-1.8
평균	4.0	2.8	1.8	-	-

3.3.3 동력변압기

아파트의 동력변압기는 공용부분에 시설되어 있는 각종 동력부하들에게 전력을 공급하는 변압기로서 고조파를 발생하는 주요 동력부하는 엘리베이터, 인버터제어 가압급수시스템, 각종 회전기기, 공용부분의 조명부하 등이다.

그림 5는 D단지의 동력변압기 2차측에서 고조파를 측정된 결과이다. 동력부하에서 3상 전원의 정류회로가 부착된 인버터기기가 많이 사용되므로 제5,7고조파가 많이 발생되는 것으로 측정되었다.

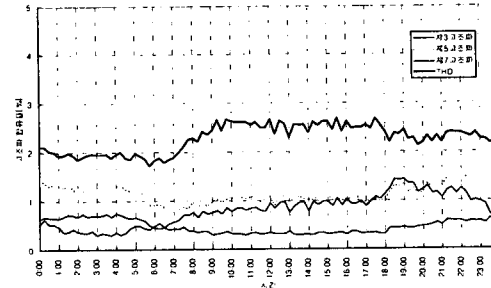


그림 5. 동력변압기에서의 고조파 실태 (D단지)
Fig. 5. The actual condition of harmonic at Power Transformer

3.3.4 엘리베이터

제조사별, 기종별로 측정된 인버터 승강기에서의 종합 고조파(THD) 발생량은 표 7과 같다.

표 7에서와 같이 승강기의 제조사에 따라 고조파의 발생량이 크게 다르게 나타나고 있다.

일부 제조사의 경우 고조파가 크게 발생되고 있음을 알 수 있다.

표 7. 기종별 인버터제어 승강기의 종합왜형률
Table 7. The Harmonic of Inverter Controlled Elevator

	속도 [m/min]	A사 THD[%]		B사 THD[%]		C사 THD[%]		D사 THD[%]	
		V	A	V	A	V	A	V	A
13인 승	60	3.1	49	-	-	2.7	87	1.0	46
	90	3.0	34	2.8	93	3.6	84	3.3	59
15인 승	60	2.6	53	3.4	91	2.6	85	1.4	42
	90	2.9	34	4.7	81	3.7	74	2.3	76
17인 승	60	1.6	38	2.3	101	2.7	88	3.0	33
	90	-	-	4.6	75	3.1	85	-	-

또한 그림 6은 승강기 3대에 전력을 공급하는 전력간선에서 측정된 고조파 실태를 나타내며 제 5고조파가 크게 측정되고 있음을 알 수 있다.

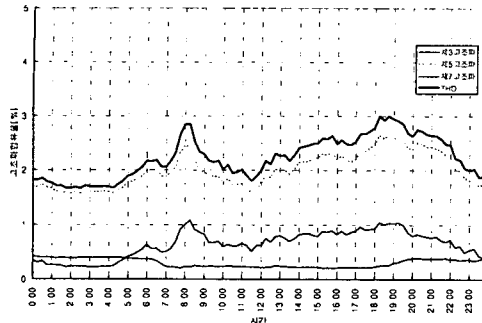


그림 6. 엘리베이터 전력간선에서의 고조파함유율 (15인승 엘리베이터 3대)
Fig. 6. The actual condition of harmonics at Power Supply Line for Elevator

3.3.5 인버터 가압급수 시스템

급수시스템은 옥상에 물탱크가 있는 기존의 고가수조방식에서 벗어나 물탱크가 필요없는 인버터제어 가압급수방식이 많이 적용되고 있다.

따라서 급수방식에서도 인버터를 채용하므로써 그림 7과 같이 고조파가 발생하는 것으로 측정되었으며 제 7고조파 함유율은 부하변동 변화에 따라 변하는 것으로 나타났다.

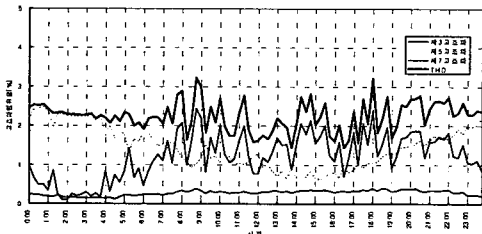


그림 7. 인버터제어 가압급수시스템에서의 고조파
Fig. 7. The harmonic of Inverter Controlled Water Supply System

3.3.6 조명기기

가로등 및 보안등으로 사용되는 메탈할라이드에서 발생하는 고조파는 표 8과 같이 측정되었다.

표 8. 메탈할라이드램프의 전압고조파
Table 8. The actual condition of Voltage harmonic in Metalarc Lamps

고조파차수	3	5	7	9	11	13
크기[%]	0.4	2.2	0.4	0.3	0.8	0.7

4. 결론

본 연구에서는 아파트의 각종 전력설비에서 고조파 실태를 측정하고 분석하였다. 그 결과 세대에 전력을 공급하는 전등전열변압기에서는 제5고조파, 동력변압기에서는 제5고조파 및 제 7고조파가 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 아파트 수변전설비의 인입점에서 측정된 전압의 종합왜형률(THD)은 평균 2.4[%]로 나타나 비교적 양호한 것으로 나타났으나, 향후 가전기기가 대용량화되고 다양화됨에 따라 아파트에서 발생하는 고조파량은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

또한 정보화시대의 도래에 따라 고품질 전원의 요구는 더욱 증가하고 있어 아파트의 전력설비 계획에 있어서도 고조파에 대한 고려가 필요하며, 아파트의 보급이 더욱 확산됨에 따라 앞으로는 전력계통의 고조파 대책수립에서도 아파트에서 발생하는 고조파를 고려하여야 할 것으로 분석된다.

참고 문헌

1. 한국전력공사 "가전기기 사용행태조사·연구", p.13, 1999, 6.
2. 이기홍, 성세진 "아파트의 동력변압기 용량 최적화 연구", 조명·전기설비학회논문지, Vol.15 No. 1, pp78~80, 2000년 1월호.
3. 한국전기안전공사 "전기사용장소의 고조파 장해분석 연구", p.31, 1996, 12.
4. 전기설비학회지 "半導體應用家電器機の普及に對する高調波電力シミュレーション", P2, 1994.10월호.
5. 대한전기학회 "고조파 저감기술 현황과 전망", 기술조사보고, p.84, 1993.8.
6. 한국전력공사 기술연구원 "전력계통의 고조파 대책 연구" p.24, 1988, 9.
7. 유상봉 "전기설비에서의 고조파 대책기술", 조명·전기설비학회지, p.47, 제 13권 제4호 1999.12.

◇ 저자 소개 ◇

이 기 홍 (李起弘)

1962년 11월 17일생, 1988년 충남대 공대 전기과 졸업(학사), 1990년 동 대학원 졸업(석사), 1999년 동 대학원 박사과정 수료, 현재 대한주택공사 주택연구소 연구원.

성 세 진 (成世鎭)

1948년 7월 15일생, 1973년 서울대 공대 공업교육과 졸업(학사), 1975년 동 대학원 졸업(석사), 1988년 일본 동경공업대 대학원 졸업(박사), 현재 충남대 공대 전기공학과 교수.