

특집 : 고조파 감소

아파트에서의 고조파 측정과 실태

이 기 흥 <대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원>
추 성 두 <대한주택공사 주택도시연구원 과장연구원>

1. 서 론

산업의 고도화와 국민 생활의 향상에 대한 요구가 날로 증대되어 감에 따라 모든 산업의 원동력으로서 뿐만 아니라 현대 생활을 풍요롭게 하는 에너지원으로서 전기는 그 역할과 중요성을 더해가고 있다. 특히 최근의 정보화 추세에 맞추어 첨단 정보통신기기 및 고정밀 산업시스템들이 서로 네트워크화, 대형화 되어 감에 따라 이들의 안정된 운전을 뒷받침 할 수 있는 고품질의 전원공급은 정보화 시대에 있어서 매우 핵심적인 사항이라 할 수 있다.

여기에서 고품질의 전원이란 일반적으로 무정전, 정전압, 일정주파수, 깨끗한 정현파 등을 말한다.

그동안의 기술개발과 설비투자에 의해 무정전, 정전압, 일정주파수 문제의 경우 국내의 기술은 이미 선진국수준에 도달되어 있지만 깨끗한 정현파 공급의 문제는 그렇지 못한 것이 현실이다.

전력설비에서 깨끗한 정현파 공급의 문제라는 것은 고조파 문제를 일컫는다. 이러한 고조파 문제는 다양한 반도체 전력변환설비들이 급격히 보급됨에 따라 앞으로도 크게 확산될 것으로 예상되어 이에 대한 철저한 분석과 대책이 절실하게 요구되고 있다.

선진 외국에서는 이러한 필요성을 이미 인식하고

고조파 규제 관리 기준 등을 설정하여 전력설비에서의 고조파를 관리하는 한편, 고조파를 억제하기 위한 다양한 기술 개발에도 노력을 기울이고 있다.

하지만 고조파는 다양한 요소에 의해 발생되기도 하고, 영향을 받기도 하므로 간단한 수식이나 시뮬레이션만을 가지고는 정확한 고조파 분석이나 평가를 기대하기 어렵다. 따라서 각 현장에서 직접 측정 장비를 이용하여 고조파를 실측하고 그 결과를 분석하여 각 현장에 알맞은 대책을 마련하는 것이 훌륭한 고조파 대처 방안이라 할 수 있다. 그러나 이러한 고조파 실측과 실태에 대한 실제적인 사례나 보고서들이 부족하여 현장에서는 고조파에 대한 막연한 추측과 불안감을 가지고 있는 것이 현실이다. 따라서 다양한 현장에서의 고조파 관리 및 대처 방안들에 대한 보고 및 발표 사례들은 고조파 문제 해결에 크게 기여할 것으로 판단된다.

이와같은 배경하에 본고에서는 전력설비에서의 고조파 측정과 실태에 대한 실례의 하나로서, 아파트의 전력설비를 대상으로 한 고조파 측정 방법과 아파트 전력설비에서의 전압 고조파 측정 결과를 정리하였다.

2. 고조파의 측정

2.1 고조파의 규제 동향

선진외국에서는 일찍이 고조파 문제를 인식하고 다양한 관련 규격 등을 수립하여 고조파 문제 해결에 노력하고 있다. 특히 유럽에서는 각 수용가에서 전력계통으로 내보내는 고조파 전류를 억제하기 위한 규격 제정을 조기에 착수하여 「IEC1000-3-2」를 제정, 1996년 1월 1일부터 적용하고 있다.

또한 일본은 통상성에서 1994년에 「고압 또는 특별고압으로 수전하는 수용가의 고조파 억제 가이드라인」 및 「가전·범용품의 고조파 억제 가이드라인」을 제정, 고시하였다. 여기에서 「가전·범용품의 고조파 억제 가이드라인」은 「IEC1000-3-2」와의 정합을 고려하여 전기·전자기기로부터 발생하는 고조파 전류의 한계치를 규정하고 있다. 한편 「고압 또는 특별고압으로 수전하는 수용가의 고조파 억제 가이드라인」은 수전점에서 고조파 유출 전류의 한계치를 규정하고 있다.

국내에서는 한국전력공사의 영업업무처리지침(1990.7.1)에서 고조파를 규제하고 있으며, 미국에서는 IEEE Std 141-1993, IEEE Std 141-1993 등에서 고조파를 규제하고 있다.

2.2 고조파 측정기의 요구사항

유럽의 「IEC1000-3-2」 및 이에 상응한 일본의 「가전·범용품 고조파 억제 대책 가이드라인」에는 고조파 측정 회로 및 측정기에 요구되는 사항들이 기재되어 있다. 즉, 단상 2선식 기기, 단상 3선식 기기 및 3상 기기들의 고조파 측정 회로들이 제시되어 있으며, 측정기는 그 종류, 파형 해석 기법 등에 대해서는 특별히 한정하고 있지 않지만 측정에 사용되는 측정기의 사양은 결정되어 있다. 즉 측정기기의 측정오차에 대한 허용범위, 입력임피던스의 제한치 등이 제시되어 있다. 또한 정상상태와 고조파가 변동하는 상태 등에서의 고조파 측정에 필요한 사항들도 제시되고 있다.

2.3 고조파 측정 방법

수변전설비에서 고조파를 측정하는 목적은 다음과 같이 크게 세가지로 분류할 수 있다. 즉,

- 수변전설비 전체에서의 고조파 현황을 측정하고자 하는 경우

- 수변전설비 수전점에서 고조파 유출 및 유입의 경향을 측정하고자 하는 경우

- 간선 및 분기회로에 있는 부하설비에서 발생하는 고조파 전류를 측정하고자 하는 경우 등이다.

이와같이 서로 다른 측정 목적에 따라 고조파를 측정할 때에는 측정 장소, 측정기간, 측정기기 등과 같은 측정 요인도 서로 다르게 된다. 이들 각각의 측정 목적에 따라 고조파를 측정하는 방법과 주의점을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

2.3.1 수변전설비 전체에서의 고조파 현황을 측정하고자 하는 경우

수변전설비 전체에서의 고조파 현황을 측정하기 위해서는 수전점에서의 전압·전류 고조파와 콘덴서 및 각 간선에서의 고조파를 측정하여야 한다. 따라서 대형의 수변전 설비에서는 간선의 수가 많으므로 다수 대의 측정기기가 필요하다. 이때 다수 대의 측정기기를 여러 측정점에 설치하고 동시에 고조파를 측정하는 것이 중요하다. 하지만 이들 개별적인 측정기기를 정확한 시각에 일률적으로 동시에 측정하는 것은 어렵다. 따라서 이들 측정기기를 서로 연계하여 종합적으로 동시에 측정할 수 있는 소프트웨어가 필요하다. 일본에서는 이러한 목적에 맞게 「고조 선생」이라는 고조파 해석 소프트웨어가 개발되어 다수의 측정기기를 가지고 여러 지점에서 동시에 종합적으로 고조파를 측정할 수 있는 시스템이 개발되어 현재 사용되어 지고 있다.

측정 기간은 평일과 휴일의 부하 조건이 다르므로 토요일, 일요일을 포함하여 1주간 연속으로 측정하는 것이 바람직하다. 이때 사용되는 측정기기는 전압 2점 이상·전류 다수점 이상의 입력을 시계열적으로 측정할 수 있는 기능이 필요하다.

2.3.2 수변전설비 수전점에서 고조파 유출 및 유입의 경향을 측정하고자 하는 경우

수전점에서 고조파 유출 및 유입의 경향을 측정하고자 할 경우에는 수전점에서 전압 및 전류를 각각 2점 이상씩 측정하는 것이 좋다. 그것은 전압, 전류를 각 1점씩만 측정하면 부하 전류가 불평형인 경우 측정 결과에 오차가 생길 수도 있기 때문이다. 또한 수전점에서 측정 할 때에는 일반적인 고압 수변전설비에서의 전력측정과 똑같은 방법으로 측정하면 된다. 이때 VT의 극간을 단락하지 않을 것, CT의 1차, 2차 단자간을 개방하지 않을 것, 각 단자의 극성(RST상) 등과 같은 사항들에 충분히 주의하여야 한다.

필자의 경험으로는 수변전설비에 있는 VTT와 ATT 등에서 각 단자의 극성이 실제의 RST상과 틀리게 결선되어 있는 것도 있어 고조파 전류의 방향 판정이나, 전력, 역률 등의 측정결과가 신뢰할 수 없게 된 경우도 있었다. 특히 VT 2차측의 부족 전압 계전기는 VTT의 측정용 단자를 삽입한 순간 동작하는 경우가 있으므로 VTT의 함내측에 클램프 등을 사용하여 부족 전압 계전기가 동작하지 않도록 주의하여야 한다. 또한 측정기간은 일주일 정도 측정하는 것이 바람직하며 측정기기는 전압, 전류 각 2점의 입력을 시계열적으로 측정할 수 있어야 한다.

2.3.3 간선 및 분기회로에 있는 부하설비에서 발생하고 있는 고조파를 측정하는 경우

부하설비에서 발생하는 고조파량을 측정하기 위해서는 측정기의 클램프를 직접 배선에 걸어서 측정하면 된다.

측정기간은 순시로도 좋지만 고조파 전류의 변동을 고려하여 1분간의 샘플링으로 10분간 정도 측정하는 것이 바람직하다. 또한 측정기기는 전압, 전류 각 1점 이상의 입력이 가능하며 FFT를 내장하고 전압, 전류의 파형, 스펙트럼 등을 해석할 수 있는 기능이 있는 것이 좋다.

3. 아파트 수변전 설비에서의 고조파 실태

아파트의 전원계통은 대부분 그림 1과 같이 세대 내에 전력을 공급하는 전등전열변압기와 엘리베이터와 같은 공용부하에 전력을 공급하는 동력변압기를 중심으로 전력계통이 구성된다.

따라서 전등전열변압기에 나타나는 고조파는 대부분 세대내의 가전기기에서 발생하는 고조파로서 주로 TV, 냉장고, 컴퓨터, 세탁기, 조명기기, 식기세척기들이 고조파의 발생원이 된다.

이들 고조파 발생원의 특징은 대부분 콘덴서 입력형 전원장치를 가지므로 다른 차수의 고조파보다도 제 5고조파가 많이 나타나며 고조파 발생부하 용량 또한 점점 대용량화 되어 간다는 특징이 있다.

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

고조파 측정은 그림 1에서와 같이 각 아파트의 수변전 설비에서 수전점인 모선과 전등전열 변압기 2차측, 동력변압기 2차측, 각종 고조파 발생 부하의 간선 등에서 측정하였다.

측정기간은 약 1주 단위로 측정하였으며 측정에는 여러대의 전력분석기(UPM 6000, HIOKI 3166, HIOKI 3195 등)를 사용하였다. 고조파 측정 내용은 각상의 전압 고조파와 전류 고조파를 25차수까지 측정하였다.

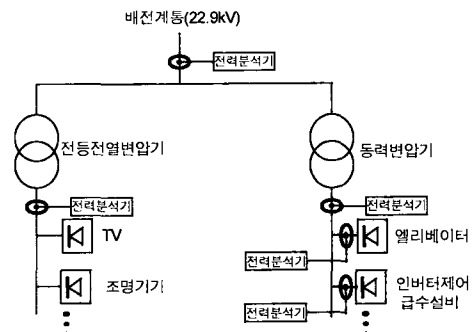


그림 1. 아파트의 전원계통과 고조파 측정점

3.1 아파트 수변전설비의 인입선

인입선에서의 고조파는 배전계통에서 아파트 전력 계통으로 인입하는 고조파와 그 역방향의 고조파가 모두 나타날 수 있다. 고조파의 방향까지 판정하기 위해서는 전압·전류간의 위상각도 측정되어야 하지만 본 측정에서는 측정 방법을 간단히 하기 위하여 고조파의 크기만 측정하였다.

측정은 특별고압(22.9 [kV])에서 측정하여야 하므로 사진1과 같이 VTT, ATT를 이용하여 고조파를 측정하였다. 이와같은 방법으로 아파트 수전설비의 인입선에서 고조파를 측정한 결과의 한 예를 나타내면 그림 2와 같다. 표 1에서는 동일한 방법으로 여러 아파트 단지의 수전점에서 측정한 고조파의 전압 종합 왜형률(THD : Total Harmonic Distortion) 실태를 정리하여 나타내었다.



사진 1. 수전점에서의 고조파 측정 장면

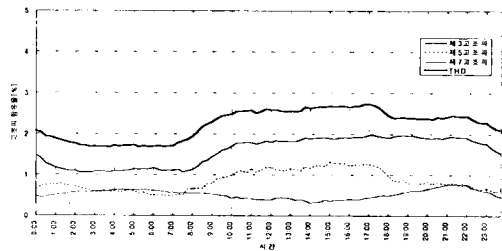


그림 2. 아파트 전력 수전점에서의 고조파 실태 예

표 1. 아파트 전력 수전점에서 측정한 전압 종합왜형률(THD)의 실태(%)

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	-	-

3.2 전등전열 변압기

아파트의 전등 전열변압기는 세대에 전력을 공급하는 변압기로서 이 변압기에 나타나는 고조파는 대부분 세대내의 가전제품에 의해 발생하는 고조파로 추정할 수 있다. 고조파 측정점은 변압기의 2차측이며 이와같이 전등 전열 변압기에서 측정한 전압 고조파의 한 예를 그림 3에 나타내었다. 각 차수의 고조파 크기에 대한 시계열적인 곡선은 일반적인 주택의 전력사용 부하곡선과 매우 흡사한 모양을 하고 있으며 종합 고조파 전압 왜형률의 최대크기는 약 4.3%로서 매우 크게 측정되었다. 따라서 향후 가전기기의 보급이 더욱 확산되고 대용량화됨에 따라 이에 대책을 마련할 필요성이 있는 것으로 판단된다. 또한 고조파를 차수별로 분석하면 가전기기의 전원에 일반적으로 사용되는 콘덴서 입력형 전원장치와 TV에서 많이 발생하는 제 5고조파가 매우 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

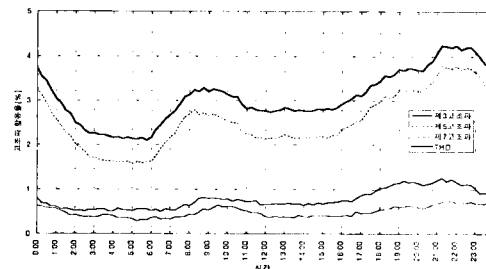


그림 3. 전등전열변압기에서의 고조파 실태(C 단지)

기타 다른 아파트 단지의 전등 전열변압기에서 측정된 차수별 전압 고조파의 크기와 종합 왜형률(THD)를 표 2와 표 3에 나타내었다.

표 2. 전등전열변압기에서의 전압고조파 함유율 실태 [%]

고조파 단지	제3고조파			제5고조파			제7고조파		
	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소
A단지	20	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 3. 전등전열 변압기에서의 전압 종합왜형률(THD) 실태[%]

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 동력변압기

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

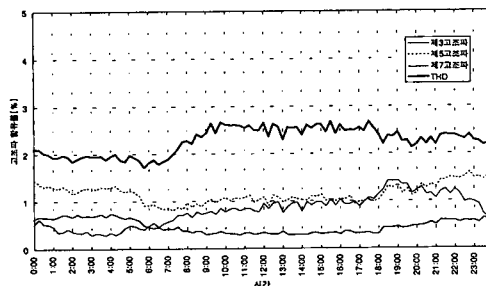


그림 4. 동력변압기에서의 고조파 실태(D단지)

변압기와 같이 변압기 2차측에서 측정하며, 그림 4에 이와같이 측정된 전압고조파의 한 예를 나타내었다. 측정결과 동력부하들이 대부분 3상 전원의 정류회로가 부착된 인버터 기기가 많이 사용되므로 제 5, 7고조파가 많이 발생하는 것으로 측정되었다.

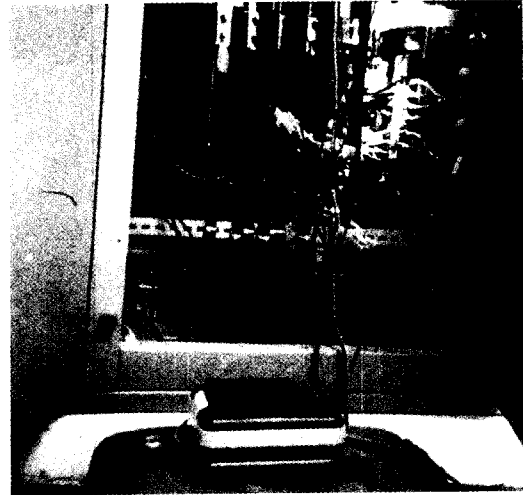


사진 2. 고조파 측정장면

3.4 엘리베이터

최근의 엘리베이터는 대부분 인버터 제어 방식의 엘리베이터가 채택되고 있으며 이들 엘리베이터의 운전 특성은 간헐 운전 특성을 갖는다. 이들 엘리베이터에서의 고조파 측정은 인버터 앞단에서 발생하는 고조파의 순시치를 측정하는 방법과 다수대의 엘리베이터에 전원을 공급하고 있는 전력 간선에서 시계열적으로 고조파를 측정하는 방법이 있다.

인버터 앞단에서의 고조파 순시치 측정은 사진 3과 같이 고조파의 순시치를 측정할 수 있는 측정기(HIOKI 3195)를 가지고 아파트 현장에 설치되어 운행 중인 엘리베이터가 정격부하 상태에서 상승 운전 시 아파트의 중간 층을 통과하는 시점에서 측정하였다.

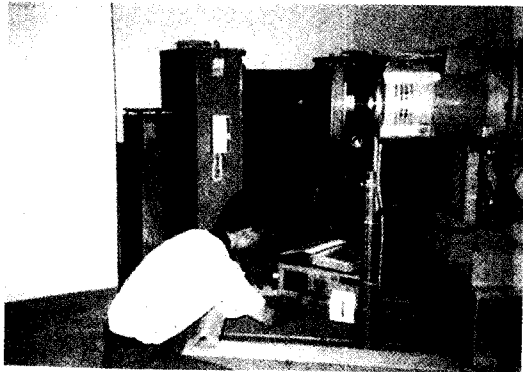


사진 3. 승강기 전원에서의 고조파 측정 장면

이와같이 인버터제어 엘리베이터를 제조사별, 기종별로 측정한 전압 고조파 종합 왜형률(THD)의 순시적인 발생량을 정리하여 나타내면 표 4와 같이 나타낼 수 있는데, 이들 측정 결과에서 알 수 있듯이 엘리베이터의 제조사에 따라 고조파의 발생량이 크게 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다.

표 4. 제조사별, 기종별 인버터제어 승강기의 전압 고조파의 종합왜형률

	속도 [m/min]	A사 THD[%]		B사 THD[%]		C사 THD[%]		D사 THD[%]	
		V	A	V	A	V	A	V	A
13인승	60	3.1	49			2.7	87	1.0	46
	90	3.0	34	2.8	93	3.6	84	3.3	59
15인승	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
17인승	60	1.6	38	2.3	101	2.7	88	3.0	33
	90			4.6	75	3.1	85		

한편 다수 대의 엘리베이터에 전력을 공급하는 전력 간선에서 고조파 측정은 전력 간선에 직접 클램프를 걸어서 측정한다. 이때 사용된 측정기기는 시계열적인 측정이 가능한 측정기(UPM 6000, HIOKI 3166 등)이며 측정기간은 약 1주일 정도 측정하였다.

이와같은 방법으로 엘리베이터 3대에 전력을 공급하는 전력 간선에서 측정한 전압 고조파의 발생량의 한 예를 그림 5에 나타내었다. 측정 결과에서 제 5고

조파가 크게 발생되고 있음을 알 수 있다.

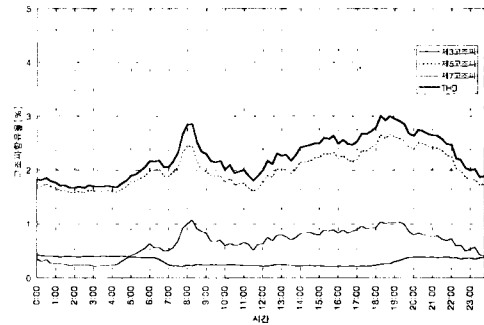


그림 5. 엘리베이터 전력간선에서의 전압고조파 함유율(15인승 엘리베이터 3대)

3.5 인버터 가압급수 시스템

아파트에서 급수를 공급하는 방식은 지하저수조에 있는 물을 옥상의 물 탱크에 퍼 올려서 옥상에 있는 물의 위치에너지를 이용하여 각 가정에 물을 공급하는 고가수조 방식과 지하저수조에 있는 물을 인버터 등을 이용하여 물 사용량 변화에 따라 일정한 배관 내 압력을 유지시켜 줌으로서 직접 각 가정에 물을 공급하는 인버터 가압 급수 방식이 있다.

기존에는 고가수조 방식의 급수시스템이 일반적으로 보급되었으나 최근에는 고품질의 급수 및 유지보수의 편리성 등을 들어 옥상에 물탱크가 없는 인버터 가압 급수 방식이 급속히 보급되고 있다.

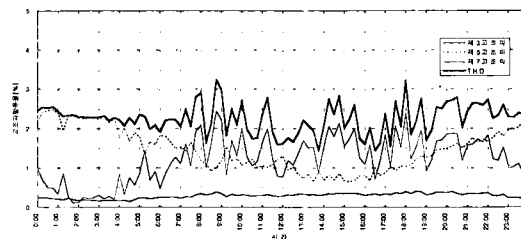


그림 6. 인버터제어 가압급수시스템에서의 발생된 전압 고조파

인버터 가압급수 시스템에서의 고조파 측정 방법은 다수대의 엘리베이터에 전원을 공급하는 전력 간

선에서의 고조파 측정 방법과 동일하다. 이와같은 방법으로 인버터 가압 급수시스템에서 고조파를 측정 한 결과의 한 예를 그림 6에 나타내었으며, 그림에서 제 7고조파 함유율이 부하변동 변화에 따라 크게 변화되고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

다양한 반도체 전력변환설비들이 급격히 보급됨에 따라 앞으로 전력설비에서의 고조파 문제는 간과할 수 없게 되었다. 따라서 이러한 문제를 예견하고 다양한 분야에서 철저한 대책을 마련하는 지혜가 필요하다. 수용가의 경우 최근에 고조파를 항상 관측할 수 있는 전자식 배전반이 일부 개발·보급되고 있어 고조파 문제 해결에 도움이 되고 있지만, 아날로그 배전반을 채택하고 있는 대부분의 수용가에서는 고조파 문제 해결을 위해서 직접 고조파를 측정하여야 하는 어려움이 있다.

이러한 고조파 문제와 관련하여 본고에서는 아파트를 대상으로한 수용가에서의 고조파 측정 방법과 이에 대한 측정 결과들을 제시하였다. 그러나 고조파의 측정에도 측정 계기의 오차, 변류기(CT)의 오차, 변성기(PT)의 오차 등 다양한 원인에 기인한 오차들이 발생될 수 있으므로 이들 값이 절대적이라 할 수 없다. 따라서 측정 결과와 함께 관련 소프트웨어 등을 함께 이용함으로써 정확한 분석과 대책을 마련할 수 있을 것이다.

또한 전력계통 및 부하는 다중 다양하여 고조파의 문제는 그 나타나는 현상이 복잡하므로 수용가에서 뿐만 아니라 전력계통, 산업체 등에서의 상호 협조와 이해를 통하여 고조파 문제를 해결해 나가야 할 것으로 판단된다.

◇ 著 者 紹 介 ◇



이 기 흥(李起弘)

1962년 11월 17일생. 1988 충남대학교 공대 전기과 졸. 1990 동 대학원 졸(석사). 2000 동 대학원 졸(박사). 현재 대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원, 당 학회 편수위원.



주 성 두(秋成斗)

1960년 7월 28일생. 1984년 동국대학교 공대 전기과 졸. 현재 대한주택공사 주택도시연구원 과장연구원.