

# 고조파저감기술 조사전문위원회 조사보고

고조파저감기술 조사전문위원회 위원장 임 한 석 (건 국 대)

제 1분과위원회 위원장 신중린(건국대)

제 2분과위원회 위원장 박종근(서울대)

제 3분과위원회 위원장 홍순찬(단국대)

## 1. 서 론

19C 후반부터 사용되어 온 교류전력계통에는 다양한 부하 즉 변압기, 회전기 등을 비롯한 기계식 설비나 근래의 전력전자기기와 같은 반도체 설비들로 인하여, 실제로 여러가지 형태의 비선형 특성이 나타난다. 이러한 비선형 부하의 유형이나 양이 증대하면, 교류계통측에 많은 고조파 전류가 흐르게 되고 따라서 전압의 왜형이 발생하여 다른 설비에까지 악영향을 미친다. 뿐만 아니라 무효전력의 증가로 역을까지 저하되는 등 전력품질에 질적저하가 초래된다. 그 중에서도 특히 최근 에너지 사용의 합리화 및 효율성 향상을 목적으로 인버터 등의 반도체 전력변환장치의 사용이 크게 늘어나고 있으며 또한 그 용량까지 대형화되고 있어 문제의 심각성은 더욱 커지고 있다.

이러한 고조파로 인하여 크게는 역을보상용 콘덴서 및 직렬 리액터와 같은 조상설비의 손상, 전동기의 토크진동, 케이블의 절연파괴 및 차단기, 계전기와 계기류의 오동작 등의 문제들이 발생된다. 그리고 작게는 컴퓨터시스템 및 통신계통의 유도장해, TV, VTR 등과 같은 가전기구나 FAX의 신호장해 등도 무시하기 어려운 만큼 심각해지고 있다.

이미 선진 각국에서는 이러한 문제들에 관하여 많은 관심을 갖고 연구 및 대책마련에 노력하고 있다. 우리나라에서도 그간 약간의 연구가 수행된 바 있지만 그 기반이 미약하며 특히 산업쪽에서는 아직 관심도가 매우 낮아 관련 분야에 대한 인식이 거의 전무한 상태이다. 21세기에 돌면서 전력전자설비들이 더욱 증대될 것이며 이로 인한 전력품질상의 문제가 심각하게 대두될 것이므로, 사전대책이 이루어 지지 않는다면 여러가지로 어려움을 겪게 될 것이다. 특히 산업체의 경우 생산공정의 신뢰도가 크게 저하될 수 있으며, 더 나아가서는 생산시스템의 동작불능 상태까지 이르게 될 것이다.

본 고조파 저감기술 조사위원회는 이러한 우려에 대비하여 관련분야에 대한 문제의 심각성을 인식시키고 또한 고조파에 대한 현황 분석과 저감대책의 조사를 목적으로 학계를 중심으로 설치된 것이다. 본 조사위원회에는 다수의 관련 산업계 실무자도 함께 참여하고 있다. 급변 그간의 중간 활동상황을 보고하고 향후 조사내용 및 방향을 소개하고자 한다.

## 2. 기술조사전문위원회의 활동

### (1) 위원회 구성 및 활동

고조파저감기술조사전문위원회는 1년의 조사기간을 통하여 보다 효율적이면서 체계적으로 조사활동을 수행하기 위해 3개의 분과위원회로 나누어 다음과 같이 분과별로 조사목적을 두고 각 업무를 분담하였다.

- 1) 제1분과 : 전력시스템 영향 분석 및 평가
- 2) 제2분과 : 고조파발생요인 조사 및 분석
- 3) 제3분과 : 고조파저감기술 및 대책 조사

1992년 1월부터 활동을 개시한 본 위원회는 그간 7차례의 전체 및 분과별회의를 통해 업무분담, 활동계획 및 조사활동을 수행하였다.

### (2) 분과위원회별 분담업무

각 분과위원회의 분담업무는 다음과 같다.

- ① 제1분과 ; 고조파로 인해 전력시스템이 받는 영향을 분석 및 평가하기 위한 기술을 조사함.
  - 고조파에 의한 전력시스템 영향 평가기술조사
  - 고조파발생설비의 전력시스템 영향평가 조사
  - 전력회사의 고조파관리 운영기술조사
- ② 제2분과 ; 고조파가 발생하는 설비의 종류나 유형별로 요인을 분석, 고조파피해 및 대처현황을 조사함.
  - 고조파요인 현황조사 ; 설비 종류 및 유형과 분포
  - 전력수용가의 고조파 피해현황 조사
  - 고조파관리 및 저감방안조사 ; 고조파발생기기 제조업체, 운용업체 및 전력회사 관련
- ③ 제3분과 ; 고조파 저감을 위해 현재 적용하고 있는 기술이나 대책과 미래형 저감대책을 조사함.
  - 고조파저감기술 및 억제 대책기술 현황조사
  - 고조파발생원에 대한 국내 대처현황 조사
  - 미래지향적 고조파저감대책기술 조사

### 3. 조사내용 및 진행사항 보고

#### (1) 기초조사

최초로 보고된 전력계통의 고조파에 의한 영향은 1920년대 초반 미국 Salt Lake 시에 있는 구리정련소에서 일어났고, 정류기 운전에 따른 전파의 심한 잡음이 발생되었다. 당시 이 문제는 전력회사, 전화회사 및 제조업체, 3자간의 연구 결과 전력선에 의해 노출된 전화선로의 유도장해로 밝혀졌고, 전화선로의 노출 억제가 당시의 대책이었다.

그후 고조파 발생량이 증가하고 계통에 대한 영향이 더욱 커지기 시작하면서 그 중요성이 인식되었다. 최초로 1933년 E.W. Schilling에 의하여 250-mile 220-kV 송전선로 송전단 및 수신단에서의 고조파전압 및 역률, 그리고 유도전동기의 영향 등이 연구되었다.

교류계통의 고조파는 계통의 회로적 특성, 고조파발생원의 위치 및 성질 등에 따라 매우 달라지며, 현재 계통에 가장 크게 지장을 주는 고조파는 대체로 5[kHz] 이하이다.

고조파가 전력계통에 영향을 미치는 양상을 살펴보면, 가 수용가에서 발생한 크고 작은 고조파가 전력계통에 유입되어 발전기나 송전선, 조상설비의 정전용량성분에 일부는 흡수되고, 흡수되지 못한 것이나 흡수될때까지의 고조파가 모든 전압계급에 그 전압계통의 특성에 따라 나타나게 된다. 부하측에서 발생한 고조파 전류가 전력계통에 존재하는 정전용량성분 C (역률개선을 콘덴서, 송전선로의 대지정전용량 등)에 유입되어 소멸할 때, 그 계통의 리액탄스 성분 L (변압기나 선로의 임피던스 등)과 병렬 회로를 이루어 L, C의 조건에 따라 양단의 고조파 전압은 오히려 국소적으로 증가하는 경우도 있다.

이러한 L, C 조건은 수요형태 및 그에 대응하는 계통구성특성에 따라 변하기 때문에, 고조파가 나타나는 상황은 늘 변한다. 그러므로 모든 수용가에 늘 고조파의 영향을 받지 않도록 하는 것은 거의 불가능 하다. 다만 그 영향을 합리적으로 최소화하는 방안의 모색이 목표인 것이다. 발생한 고조파는 인근의 다른 수용가에 장해를 일으키게 되는데, 대체적으로 알려진 고조파에 의한 장해 및 그 원인은 표 1. 과 같다.

고조파발생원은 변압기 및 회전기와 같은 기계식 설비에서부터 근래 많이 사용되고 있는 전력전자 설비에 이르기 까지 그 종류와 형태가 매우 다양해지고 있다. 그중에서도 최근 고효율 장치, 특히 인버터 등과 같은 반도체 전력변환장치의 사용 증가로 고조파문제는 더욱 심화되고 있다. 특히 일본의 경우 1970년대 반도체 전력변환장치는 매년 10[%]의 신장율로 증가되어 1980년에 와서는 46만대정도로 늘어났다. 그리고 사무용 및 가정용 기기나 장비도 대부분 반도체 회로화되고, 이러한 추세는 전세계적으로 동일할 것으로 생각된다. 더구나 장치의 용량까지 증대됨으로써 각종 반도체 전력변환장치들에 의한 절대적인 고조파발생율은 더욱 가속될 것이다.

표 2.은 전력전자기기의 대표적인 회로별 고조파특성을 나타내고 있으며, 전술한 것과 같이 입력전류에는 많은 고조파전류가 존재함을 볼 수 있다. 그림 1.은 일본과 한국의 경우 주택지역의 일간 전압왜형률의 변화를 나타낸다. 측정연도상의 차이는 있으나 총왜형률의 크기나 추이가 아주 유사함을 알 수 있고, 오전 7시와 밤 10시 전후가 가장 고조파발생율이 심하고 그림 2.를 보면 이러한 왜형은 제5고조파에 주로 관계됨을 알 수 있다. 표 3.은 고조파에 의한 장해를 받는 기기 및 유형을 조사한 것으로 조상설비로서의 전력용 커패시터가 가장 많은 손상을 입으며, 전체 장해사례의 약 80[%]를 점유하고 있다.

표 1. 고조파 장해 및 그 원인

관 련 기 기	장해양상	장 해 원 인
전력용 콘덴서 - 전력용 콘덴서 - 전력용 콘덴서의 직렬리액터	과열소손 이상음	고조파에 의한 전류 실효치의 증대 ⇒ 고조 파 전자력에 의한 이상 음 발생
유도전동기 (공업용)	진동, 이상음	고조파전류에 의한 진동 토오크 발생
조광기가 있는 조명기구	형광등의 분산	고조파 전자유도 잡음 ⇒ 전자회로 오동작
각종 제어기기	제어회로의 부조화 원인 - 컴퓨터 - 압연기 - 에어컨 등의 정지	파형변화에 의한 상용 주파 주기 변화 ⇒ 제어회로 위상변화 로 인한 오동작

고조파를 제거하기 위한 대책에는 여러가지가 있는데, 통신선로의 경우 연기시키거나 차폐 및 격리시킴으로써 개선하고, 변압기의 경우 Δ결선을 통해 고조파의 유출을 막는 방법도 있다. 또한 고조파에 내성이 강한 장치를 개발하는 것도 제조업체에서 생각할 수 있는 한 방법이다. 그리고, 3상 정류기에서는 변압기에 의한 상수증대법도 가능하다. 그러나 이들은 특수한 경우에만 적용할 수 있고 일반적이지 못하므로 별도의 필터의 개발이 필요하다.

필터에는 수동필터와 능동필터가 있고 아직까지는 수동필터를 많이 사용하고 있다. 수동필터는 고조파발생원이 갖는 특정차수의 고조파만을 저감할 수 있는 동조필터와 지정차수이상의 고조파를 모두 억제시키는 고역통과필터가 있다.

전자의 동조필터에서는 공진주파수의 설정이 중요하고, 고역통과필터에서는 공진주파수와 고조파주파수의 관계와 Q값의 선정이 중요하다. 만약 Q값이 매우 커지면 고역통과필터는 L-C동조필터특성과 유사해진다.

기존에 많이 사용되어 왔던 이상의 수동필터는 다음과 같은 그 특성이 전원 임피던스의 크기와 밀접한 관련을 가지므로 전원측 임피던스변동에 대한 대처가 어려워 일정한 성능이 보장되지 않는다. 그리고 고조파전류에 의해 특정주파수에서 전원측 임피던스와 직렬공진이나 병렬공진이 일어나 고조파대전압상이 초래될 수 있다. 그리고 설치단가가 높은 등의 단점이 있다.

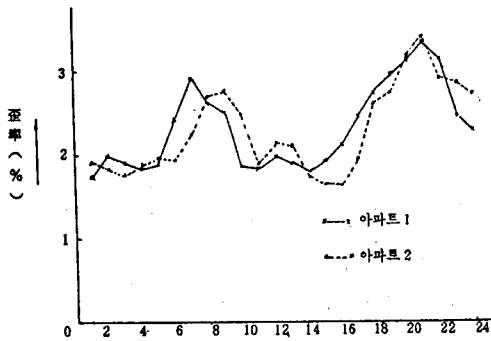
이러한 문제점들을 극복하기 위한 방법으로서 1970년대에 능동필터의 개념이 도입된 이래 80년대부터 주로 일본을 중심으로 고조파능동필터기술에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

현재까지 제안되어 실용화의 가능성을 보이고 있는 능동필터의 기법으로서는 크게 다음의 두 가지가 있다.

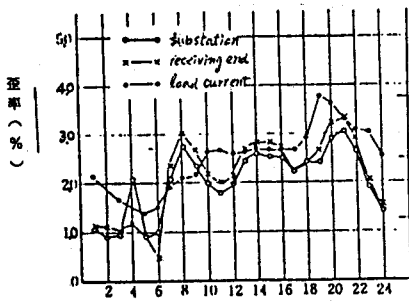
① 병렬형 능동필터: 고조파전류 주입형태로 고조파발생원에 병렬로 접속시키고 전원측으로 고조파보상전류를 주입하여 전원측 전류를 정현파로 만드는 방식이다. 적용에 용용성이 크고 고조파보상 뿐 아니라 무효전력의 보상 역할까지 확대 사용할 수

표 2. 대표적인 고조파발생원의 예시

전원회로종별	교류속입력 전류파형	입력전류파형의 고조파분석	응용분야
상상 전류회로			· 전회용커패시터 (리액터 있음) · 전기철도 · 일반직류전원
			· 교류가변속구동 · CVCF장치 · 고조파가열장치
전력 조정회로			· 조장기 · 일기기의 온도조정
			· 교류가변속구동 (일차전압계어) · 전기로의 가열계어
커패시터부하			· 음악기기 (TV, 라디오등) · 전자조리기 · 컴퓨터
인버터회로			· 태양광발전, 연료전지발전과 교류계통연계



(a) 한국의 경우

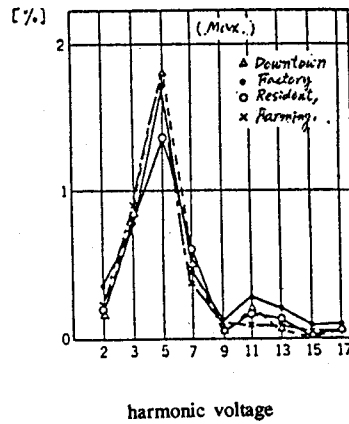


(b) 일본의 경우

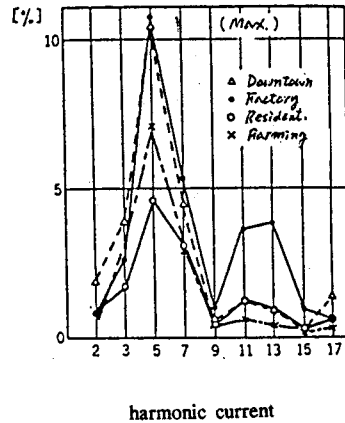
그림 1. 주택용 전압왜형율의 일간 변화

표 3. 기기의 고조파장애 유형

장해를 받은 기기류	장해의 종류	건수	비율(%)	
조상용 기기	전력용커패시터 (리액터 있음)	1	2.4	
	전력용커패시터 (리액터 없음)	29	70.8	
	커패시터용 리액터	3	7.4	
기타	소스	1	2.4	
	과전류계전기	오동작	1	2.4
	배전용차단기	오동작	1	2.4
	번압기	올림	4	9
누전차단기	오동작	1	2.4	
합 계		41		



harmonic voltage



harmonic current

그림 2. 차수별 전압 및 전류 스펙트럼

있다. 이러한 병렬형 필터는 다시 사용컨버터의 종류에 따라 전압형과 전류형으로 분류된다. 전압형은 응답성이 다소 저하되지만 제어가 매우 용이하며 전류형에 비하여 손실이 작아 주로 증소용량에 적합하고 특히 병렬운전이 쉬우므로 대용량의 적용이 용이하다. 반면 전류형 필터는 응답성은 좋은 편이나 제어가 다소 복잡하며 손실이 크지만 장차 초전도코일의 기술이 실용화될 때 그 활용가능성이 크게 기대된다.

② 직렬형 능동필터: 고조파의 차단형태로 수동필터와 전원 사이에 삽입되어 고조파에 대해서만 큰 임피던스로 작용하며 전원과 수동필터사이를 차단하여 공진이 일어나지 않도록 하는 보조적인 역할을 한다. 이 방식은 능동필터의 용량을 상대적으로 매우 작게 할 수 있어서 경제적이며 장치의 효율이 높다.

## (2) 현장조사를 위한 방안

그 간의 수차례에 걸친 분과위원회를 통하여, 향후 전력시스템에 대한 고조파 영향의 분석 및 평가를 위한 기초자료를 얻기 위한 한 가지 방안으로, 주요 수용가 또는 고조파 관련 제조업체에 대한 양케이트를 실시하기로 하였다. 현재까지 검토된 양케이트 조사내용의 기본 골격은 아래와 같다.

### ① 고조파에 대한 인식 또는 지식 정도 조사

- 고조파란 용어를 들어본 경험
- 들어본 적은 있지만 알고 있는 사례는 없다.
- 고조파의 구체적 사례(간접 경험 포함)

### ② 고조파에 의한 영향 경험

- 당시 유형 : 손상, 과열 등 구체적인 실제 예시
- 그 원인은 ? 고조파, 플리커 등
- 당시 사용기기는 ?
- 피해정도:
- 당시 대처방안의 유형 및 효과 여부

### ③ 산업기기별 고조파 발생 원인 및 사례조사 (기술적 측면)

- 설비 종류와 분포
- 전력수용가의 고조파 피해 및 대처현황
- 발생 빈도
- 발생 시간

### ④ 고조파관련기기 보유실태조사

- 고조파발생 기기보유  
종류 및 용량[KVA]  
총 합산용량[KVA]

- 고조파민감 기기보유  
종류 및 용량[KVA]  
총 합산용량[KVA]

### ⑤ 전원설비 용량 (단위:[KVA])

- 전원방식 Y-A
- 접지방식

### ⑥ 조사 대상의 전력시설 규모

- 사용부하의 종류
- 일부하 형태

### ⑦ 고조파 관련, 측정 경험 및 기록 유무

### ⑧ 향후 고조파에 대한 대처방안의 확보의지 여부

- 고조파저감기술 및 억제 대책기술 조사
- 고조파측정 실적 또는 기기 보유(임대 포함)
- 고조파규제의 필요성 여부

### ⑨ 제안 및 요망사항

- 학계
- 전력회사
- 제조업체
- 관련 정부기관부서

## 5. 향후 추진계획

본 기술조사전문위원회가 지금까지 수행한 작업은 성공적인 조사사업을 위한 조사방향설정 및 업무분담, 그리고 수차례에 걸쳐 논의된 후 이루어진 양케이트 기초문안작성 등이 주된 것이다.

이러한 기본적인 조사결과를 바탕으로 남은 기간동안 구체적인 양케이트 문항을 설계한 후 각 기업체로 발송, 그 회신된 결과를 평가분석하여 국내의 기기별 및 유형별 고조파실태를 분류, 정리하고자 한다. 이러한 현장자료의 분석결과를 토대로 유형별 적절한 고조파 저감대책이 제안될 수 있을 것이며, 필요시 또는 요청에 따라 몇 개의 기업체에 대한 현장답사 및 확인 과정을 가질 계획이다. 관련 산업체의 많은 협조와 호응이 요망된다.

이상과 같은 고조파 저감기술 조사사업은 이제 하나의 시작에 불과하다. 본 조사사업이 완료된 후에도 전력계통의 고조파 문제에 대한 충분한 인식과 지속적인 참여의식 내지 연구풍토가 조성 되었으면 한다.