

고압수전설비의 고조파에 관한 대책

The Countermeasure about Harmonics of the High Voltage Power Facilities

김주찬* · 신수한* · 이충식** · 고희석*

Ju-Chan Kim* · Su-Han-Sin* · Chung-Sik Lee** · Hee-Seog Koh*
Daewon Science College** · Kyungnam Univ*

대원과학대학** · 경남대학교*

Abstract - This paper presents the result of survey of case study for harmonics in electrical installations of buildings. Recently, many power electronic equipments(power converter, computers, air conditioners electronic ballasts for fluorescent lamps and so on) are used in office buildings, and harmonic current from them influence the other equipments in a distribution line. Notably, voltage distortion or voltage harmonics may approach or exceed is allowable level in power distribution system. Individual electric power consumers and end-users and responsible for reducing current harmonics while companies or utilities are responsible for reducing voltage harmonics at the point of common coupling in distribution system.

As for harmonics, which one of the electric power qualities, it becomes important to obtain harmonic voltage/current distribution of the power system precisely because the use of power electronic apparatus is increasing. To suppress harmonics in electrical installations of buildings, one of many methods suggest that resonance frequencies are controlled by modulating the capacities of high-voltage customer's capacitors.

1. 서 론

고조파 문제에 대해서는 관계학회등에서 검토가 진행되어 저압회로에 있어서 고조파의 발생, 피해, 대책등에 관한 조사연구를 실시하고 전기학회 등에서는 전력계통의 고조파의 실태와 장애 예측, 고조파억제 목표수준과 억제대책, 고조파환경의 기지관리 및 고조파에 관한 시험, 평가방법에 대해서 정리하고, 이후 관계방면에서 연구성과에 따라서 개발, 개량, 홍보 등의 대책이 다루어질 것으로 기대된다. 한편, 특정 수요가에서의 고조파발생원이 많은 전력 전자 기기를 주체로해, 또한 수전용 변압기 2차측에 놓여지고 있는 것을 고려하면, 그 대책을 될 수 있는한 고조파 발생원 가까이에서 행해져야 한다. 더욱이, 실제계통에서는 고조파의 종합외형은 전력계통의 고조파 환경 수준 목표치에 도달하지 않음에도 불구하고, 고조파에 의한 사고가 증가하고 있다. 또한, 그 대부분이 특정수요가의 수전용 변압기의 일차측에 설치된 액플개선용 전력콘덴서(SC) 및 직렬 리액터(L)에서, 전력회사의 배전용 변압기

및 배전용 계통의 인덕턴스 및 SC와 L과의 축소적 공진현상에 중점을 두고 검토했다. 물론 고조파대책은 중.장기적 관점에 입각해, 현시점에서 고조파 전류 발생기의 보급률, 수요예측을 고려해, 고조파억제 대책을 추진화합과 동시에 접속되는 기기의 고조파 전압내량과의 관계에 착안해 합리적, 적합성을 확보하는 고조파방출에 대한 제조명을 시작할 필요가 있다.

제2장 왜형파의 조파분석과 성질

2.1 왜형 파형의 표현

정형파 이외의 파형을 외형파이라고 총칭하고 있지만, 왜형파은 주기적인 것이라면 그 순서치

$y(wt)$ 는,

$$\begin{aligned} y(wt) &= A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nwt + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin nwt \\ &= A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(nwt + \varphi_n) \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\text{단, } A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \varphi_n = \tan^{-1} \frac{a_n}{b_n}$$

와 같이 직류분 A_0 와 교류분의 합으로서 나타내고, 교류분을 기본파((2.1)식에서 $n=1$ 의 성분과 기본파의 정수배의 주파수 성분과에서 구성되고 있다. 이 기본파의 정수배의 성분을 고조파라고 칭하고 있지만, 파형외형의 고조파 성분으로서 실제로 다루는 경우에 40차 정도까지의 고조파를 대상으로 하는 것이 일반적이다. 외형파형이 어떠한 성분에서 구성되고 있는가를 분석하는 것을 파형분석(진폭만을 분석하는 경우에는 조파 분석이라고 말한다)이라고 부르지만, 실제로 있어서는 종래부터 있는 것으로서 파형 분석기 등 다양한 측정기가 시판되고 있다. 더욱, 왜형파형을 (2.1)식과 같이 푸리에급수로 전개해 나타낸 경우의 각주파수 성분의 유효분과 유효분의 진폭 a_n , b_n 은 외형파형의 주기는 T이므로 각각 다음 식에서 구할 수 있다.

$$a_n = \frac{2}{T} \int_T^0 y(wt) \cdot \cos nwt dt \quad (2.2)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_T^0 y(wt) \cdot \sin nwt dt \quad (2.3)$$

2.2 외형파형의 실효치와 외형의 표시방법

교류전압 전류의 크기는 통상 실효치로 나타내지만 외형파형의 실효치Y는

$$Y = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T y(w)^2 \cdot dw} = \sqrt{A_0^2 + (A_0^2)/2 + \sum(A_n^2)/2} \quad (2.4)$$

이와 같이 직류분과 교류 각주파수 성분 실효값의 이 승합의 평방근값에서 구해지고 실측에 있어서도 전력용의 측정기에서는 외형파의 실제의 실효치를 지시하는 형태의 것이 많아져가고 있다. 또한 그 파형이 정현파에 대해서 어느 정도 차이가 있는가를 나타내는 척도로서 외형파의 실효치에 대한 전 고조파 성분의 실효값에 비해서 (2.5)식에서 정의된 외형율이 있지만 그 파형에 특정차수의 고조파가 어느 정도 함유되고있는가를 기본파 성분 대한 제 n 차와 성분의 크기의 비(백분율)을 취해 제 n 차의 고조파 함유율로서 나타내는 경우도 잘 있다.

$$DF = \frac{\sqrt{\sum Y_n^2}}{Y} \times 100\% \quad (2.5)$$

제3장 전력회로에 있어서 고조파전류 전압

3.1 발생원의 분류

50 Hz 또는 60 Hz의 정현파의 전압을 인가한 경우에도 정현파에서 없는 파형을 한 직류가 흐르는 기기가 존재한다. 이들의 기기에서는 고조파전류가 발생해 계통에 유출하고 있다. 고조파전류의 발생원을 크게 나누면 다음과 같은 것이 있다.

- 위상제어에 의한 교류전력조정기에 의한 것
- 정류회로등의 전력변환에 의한 것
- 가전제품등의 진상콘덴서 인버터형 전원회로에 의한 것.
- 변압기등의 자기포화에 의한 것
- 기타

3.2 위상제어에 의한 교류전력 조정기에 의한 것.

대표적인 것에 대해서 파형을 보면, 전기 각도나 조명의 광량조정기의 전원회로에 쓰여지고 있는 싸이리스터 위상제어 회로를 갖는 교류 전력 조정기에 부하로서 저항을 사용시의 전류 전압 파형을 그림 3-1과 같이 된다. 이 전류에 포함되는 각차조파의 전류는 그림 3-2과 같이 된다.

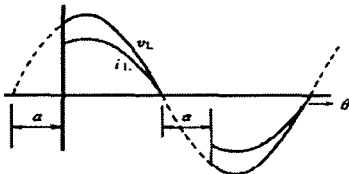


그림 3-1 전력조정기에 의한 전압전류파형

그림 3-1에서 제어각이 180도에 가까워짐에 따라서 $n=1$ 즉 기본파 전류가 작게 되므로, 각차조파 전류의 함유율(기본파에 대한 비율)을 그림 3-5와 같이 크게 된다.

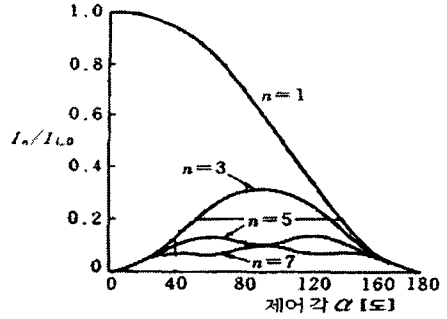


그림 3-2 전력조정기의 고조파 전류

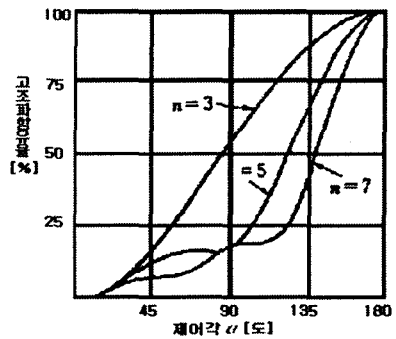


그림 3-3 고조파 전류 함유율

3.3 전력변환기에 의한 것

대용량의 반도체 대용기기로서는 3상정류기등의 교직변환기기가 고조파전류의 큰발생원인 중의 하나로 생각된다.

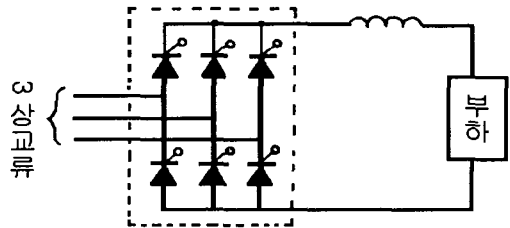


그림 3-4 6상 전력 변환장치

변압기의 일차측과 이차측의 권선의 권선이 그림 3-5(a)와 같은 경우의 일차측 선로 전류를 i_a , 3-5(b)와 같이 다른 경우의 일차측 선로 전류를 i_b 라고 하면 각각(3.1) (3.2)식으로 된다.

$$i_a = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\cos \omega t - \frac{1}{5} \cos 5\omega t + \frac{1}{7} \cos 7\omega t - \frac{1}{11} \cos 11\omega t + \frac{1}{13} \cos 13\omega t + \dots \right) \quad (3.1)$$

$$i_b = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\cos \omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \frac{1}{7} \cos 7\omega t - \frac{1}{11} \cos 11\omega t + \frac{1}{13} \cos 13\omega t + \dots \right) \quad (3.2)$$

12상 전력변환장치는 그림3-5(a) 및(b) 두개의 변압기결선을 그림3-5(c)와 같이 조합해 만들어 두개의 평균으로 되므로 하단과 같은 파형으로 된다. 실제의 변압기에서는 직류리액턴스는 유한의 값이고 전류리액턴스도 0이 아니므로 전류는 완전히는 그림3.5와 같은 방형파를 짜맞춘형으로 되지 않고 고조파 성분은 적게 된다. 이와 같이 전압에 대해서 전류가 선형으로 대응하지 않는 비선형부하에서는, 정현파의 전압이 걸려도 정현파의 전류가 흐르지 않으므로, 부하 전류중에 고조파 전류가 포함된다. 이 고조파 전류가 흐르는 것이 원인이므로 전압의형이 발생한다. 콘덴서 입력형의 기기를 사용하면 전압의 피크부분에서만 전류가 흐르기 때문에 전압강하는 전압의 정현파의 중심부분 안에서 일어나고, 정현파의 산의 중심부분이 꺼진 그림 3-6와 같은 파형으로 된다. 이 외형된 전압파형은, 정현파 전압파형에서, 각각의 차수의 고조파 전류 성분에 의한 전압강하를 뺀 것에 상당한다. 이 고조파 전류원에서 전력 계통에 유입한 고조파 전류를 각 차수마다에 음의 법칙과 키르히 호프의 법칙을 만족, 계통 각점에서 유입하는 고조파 전류가 계통의 어드미턴스에 비례해 분류하여 전압강하를 일으키고, 계통 전체로서 전압의형으로 된다.

3.4 변압기 등의 자기포화에 의한 것

기전력 e 를 발생시키기 위해서 여자전류 i_n 가 흐르지만, 변압기 철심의 변압기 철심의 자화 특성은 직선으로는 아니고 또한 히스테리시스 현상이 있기 때문에, 그림 3-7과 같이 정현파의 전압은 발생시키기 위해서는 여자전류는 정현파로서 있을 수 없다. 따라서, 변압기가 존재 하면 반듯이 고조파를 포함한 전류가 흐르게 된다.

제4장 고조파의 장애 사례와 요인분석

고조파에 대한 장애에는, 진상 콘덴서나 직렬 리액터의 과열 또는 소손, 변압기의 이상음, 과전류 차단기의 불필요한 동작, 3상 4선식 배선의 중성선의 과전류, OA기기류의 정현파형 이상에 의한 트라블 등의 사례가 보고되고 있으며, 증가의 경향을 보여주고 있다. 여기에서는, 장애사례가 많은 진상 콘덴서의 설비의 사고 사례와 요인 해석 등에 대해서 논한다.

4.1 고압 진상 콘덴서 설비의 장애 사례와 요인 해석

도시 상업지역의 고압 수요가에 설치된 6.6KV - 6% 직렬 리액터의 진상 콘덴서 설비(150kvar×4 병구 구성)에서 평일의 21:00 경, 운전중의 1대의 직렬

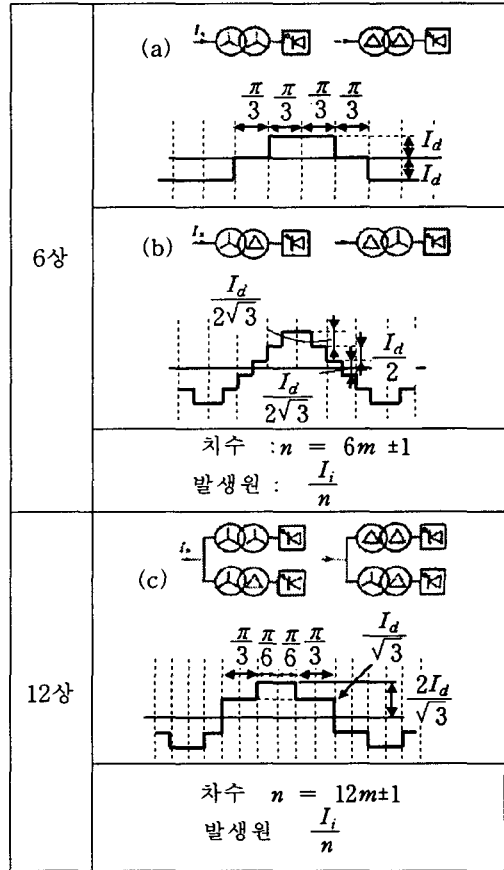


그림 3-5 3상 정류기의 교류측 전류파형

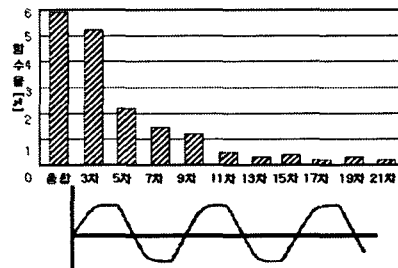


그림 3-6 콘덴서 입력형 전원 회로의 기기에 의한 전압 외형

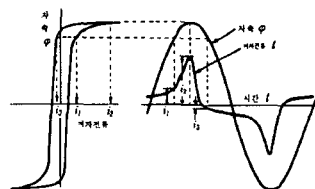


그림 3.7 여자 전류 파형

리액터가 돌연 이상 음을 발생해 내부의 절연 파괴에 의한 지락 사고의 장애사례가 있었다.

전력회사의 배전 계통에 발생하는 고조파의 측정 결과에 의하면, 아침 및 저녁시각에서 야간, 또한 휴일 등의 TV의 시청률이 높은 시간대에 고조파 전압 왜형 현상이 크게 되는 것이 확인되고 있다. 이러한 시간대에 있어서는 가전제품 등의 사용율이 높고 한편 수요 부하가 감소해 부하설비에서의 고조파의 소비가 작아지게 되므로, 송전선이나 변전소, 배전선등의 전력계통의 구성, 또한 고조파 전류를 흘리기 쉬운 직열 리액터 없는 진상 콘덴서의 설치상황(24시간 연속 사용)에 의해서, 배전 계통에 발생하는 고조파 전압이 확대하는 것이다. 배전계통의 고조파 전압이 확대해, 그 구성분인 제 5 조파 전압이 약 3.5%이상으로 상승하면 6%의 직열리액터부의 경우, 제 5 조파 전류는 $3.5\% \div 0.1 = 35\%$ 로 된다. 더욱이 계통의 전압이 상승하거나 고조파 전압이 확대하면 6% 직열리액터부의 진상 콘덴서 설비에 직열 리액터 철심의 자기 포화를 수반하여 직열 공진 현상이 일어나는 것이다. 이때에는, 진상 콘덴서 전류가 3~4배로 확대하고, 많은 고조파 전류를 포함하는 것으로 되므로 직열 리액터가 이상음을 발생해 단시간에 과연소에 의한 손상에 이르는 것으로 생각된다.

4.2 보호계 전기의 오동작

전원기기에서는 선로의 단락, 과 부하, 지락 보호, 과전압부족전압에서 기기를 보호하기 위하여, 각종의 계전기가 사용된다. 이러한 계전기에는, 종래 유도원판형이나 전자형의 기계형이 주로 사용된다. 이들의 주파수 특성은, 기본파에 대한 강도가 가장 좋고 고조파에 대해서는 응답하기 어려운 구조이다. 한편 트랜지스터를 이용한 정지형 계전기나 디지털형 계전기는 내진동 특성 내구성 CT.PT의 저부하의 점에서 사용이 증가 하고 있다. 일반 빌딩용의 전원에는 대소의 차가 있지만, 고조파가 포함되고, 또한 그의 정량적인 분석은 반듯이 실태와는 일치하지 않는 것이므로 정지형을 채용하는 경우는, 고조파 대책부의 계전기로 지정 할 필요가 있다.

4.3 배선용 차단기의 오르립

배선용 차단기 (이하, MCCB라고 한다.)은 동작원리에서 열동, 전자식, 완전 전자식, 전자식의 3종류로 나눌수 있지만, 고조파의 영향에서는 각 종별로 약간의 차이가 있다. 고조파를 포함하는 선로에의 MCCB의 적용에 대해서는 수납반내의 온도 보정뿐만이 아니고, 전류과형 왜형에 의한 특성별화와 온도상승을 관리해, 정격전류를 부하전류에 대해서 여유를 갖도록 할 필요가 있다. 보통, 안전하게 통전할 수 있는 부하 전류는 여러 요인을 고려해, MCCB의 정격전류의 70~80이하에서 선정하는 것을 추천하고 있다.

4.4 가열 현상

(1) 진상 콘덴서의 가열

진상 콘덴서 회로의 고조파 전류는 주파수가 높아 질수록 유입하기 쉽게 되고, 기본파에 고조파가 중첩하기 때문에 유전체에 손실 증가에 의한 온도 상승 및 전류 실효치의 증대에 의한 부상이나 리더선의 과열이 생각되어진다. 진상 콘덴서의 정격 현상은, 정격 전압 및 정격 주파수에서의 무효 전력이고, 과부하의 사용조건에서도 최대 허용 전류가 정격 전류의 130%로 규정되고 있다.계통에 고주파가 함유되면 그 정도, 합성 전류의 실효치가 상승해 과부하로 되어 기기를 과열하는 것으로 된다.

(2) 직열 리액터의 과열

직열리액터는 그 기능 및 구조상, 연속 사용시의 고조파 유입량의 허용한도는 전압적으로는 대부분 영향을 받는 것이 없고, 오히려 철심의 과열, 권선이나 기류의 온도 상승의 증대 등이 발생하고 있다.

4.5 이상음

(1) 변압기에서의 이상음

변압기의 소음은 다음과 같은 것이라고 여겨진다.

- ① 코일도체 또는 코일간의 전자력에 의한 진동
- ② 철심의 성층간에 작용하는 전자력에 의한 진동
- ③ 규소 강판의 자기 외형 현상에 의한 진동

이 중, 주된 요인은 ③의 자기 외형 현상에 의한 것이고, 규소 강판이 교번 자계에 의해 신축 운동을 일으켜 소음의 원인으로 되고 있다. 이 소음을 인가 전압 주파수의 2배를 기본파로 한 정수차조파의 성분을 갖고 있다. 고조파 성분에 의한 자기 외형의 쪽이, 기본파보다도 크게 작용하므로, 근소한 고조파 성분은 함유한 여자에서도 소음이 크게 된다. 사람귀에는 음압 레벨에 의해 다르지만, 보통 1000Hz정도의 음이 잘 들을 수 있는 것이 알려지고 있다. 한편 인버터 부하의 변압기소음은 소음계의 A특성으로 측정할 일례를 보면 2[kHz]이상의 주파수 영역에서 소음이 크게 되고 있다.

(2) 진상 콘덴서에서의 이상음

진동음으로서의 콘덴서 소자의 전극부분의 진동과 리더 선이나 케이스의 전자 진동이나 전달에 의한 공진 진동으로 생각되어 진다. 이와 같은 이상음이 발생한 경우는 고조파 전류의 증가가 고려되어지므로, 고조파 성분 등의 측정이 필요하다.

(3) 직열 리액터에서의 이상음

직열 리액터의 소음의 발생을, 철심의 갭 부분의 자기 흡입력이 주 원인이고, 이것이 철심, 꺾대기 방열기 등에 전달되고 공진, 반사등의 현상을 수반해 전달된다. 고조파 전류의 유입에 의한 진동이 증가해, 음압 수준도 높아지므로, 진동음이 증가한다.

제 5 장 빌딩부하에 고조파 발생원에 따른 고조파 대책

고조파 전압·전류를 저감하기 위해서는 빌딩부하에 고조파 전류 발생원이 있는 경우와 없는 경우에서 각각 대책이 다르지만 양자에 공통인 대책도 있으므로 이들을 정리해 열거한다.

5.1 진상콘덴서의 직렬리액터를 8%로 한다(고압측에 진상콘덴서를 설치하는 경우)

진상콘덴서의 직렬리액터는 6%의 것이 널리 사용되고 있지만 이것은 다음의 이유에서 제5조파 전압의 영향을 받기 쉽다. ① 진상콘덴서와의 직렬공진 차수가 4.08에서 제5조파의 직렬공진 차수에 가깝고 제5조파에 대한 임피던스는 직렬리액터가 없는 경우의 임피던스에 비해 1/2로 낮다. 이 때문에 큰 제5조파 전류가 유입한다. ② 제5조파 전압이 높게되면 (5%이상) 철심 자속 밀도가 적당하지 않는 경우 8%를 채용하면 자속 밀도 1.1T에 있어서도 비선형 진동을 일으키지 않는다.

5.2 경부하시에 진상콘덴서를 개방한다(진상콘덴서가 고압측에 설치되어 있는 경우)

배전계통의 제5조파 전압은 휴일 혹은 심야 등의 경부하시에 상승하는 개소가 많다. 진상콘덴서 개폐용의 차단기가 있으며, 역률조정을 실시하고 있는 개소에서는 이 제5조파 전압의 상승에 의해 장애를 방지하기 위하여 전류검출 릴레이를 설치하여 진상콘덴서를 개방한다. 또한 진상콘덴서는 개폐용 차단기가 없고 경부하시에 배전계통의 제5조파 전압이 3.5% 이상으로 상승하는 개소에는 고조파 장애를 피하기 위해 진상콘덴서 개폐기를 설치하는 것이 바람직하다.

5.3 진상콘덴서를 수전용변압기의 저압측에 설치한다.

6% 직렬리액터부 진상콘덴서를 변압기의 저압측에 설치하는 것에 의해 진상콘덴서에 인가되는 고조파전압을 배전계통에 존재하는 고조파전압보다 낮게 할 수 있고 고조파장애의 회로에 도움이 된다. 또한 저압측 부하에 고조파전류 발생원이 존재하는 경우에는 발생한 제5조파 전류의 일부를 진상콘덴서가 흡수하므로 배전계통에 유출하는 고조파전류 저감대책에도 도움이 된다.

5.4 고조파전류 발생원의 교류입력 회로측에 직렬리액터 또는 타이변압기를 삽입해 轉流 리액턴스를 크게 한다.

고조파 전류 발생원이 전류리액턴스를 증가시키면 전류의 급준한 상승 혹은 하강이 원활하게 되고 고차수의 고조파전류 및 전압에 의한 전압 왜형의 억제에 도움이 된다.

5.5 LC 필터를 설치한다

5.6 능동필터를 설치한다

5.7 회로자체에서 고조파 발생을 억제한다

제 6 장 결 론

빌딩전기설비에 있어서 고조파의 발생상황 파악을 위해, 대표적인 설비구성의 수요가의 고조파조사를 행해 그 결과를 정리하였다. 또한 지침에 의거한 고조파억제대책을 행한 수요가를 조사대상으로 선정 저압콘덴서설비의 대책의 효과를 확인하였다. 고조파 억제대책으로서 변압기의 다상화나 필터를 설치한 수요가동의 측정이 행해지고 있다. ① 전력계통의 고조파전류는 장래에도 기기의 정전력화에 의한 반도체 이용의 확대나 OA기기등의 급격한 보급에 수반해 더욱 증가해 갈것으로 예상된다. 이 때문에 이후 기기의 고조파저감기술의 개발, 고조파에 의한 장애방지를 위한 보호방식등 software기술의 개발등이 요구된다. ② 또한 고조파 대책에는 각각 장단이 있고, 어느것이 나 단독으로는 완전한 대책이 될 수 없다. 사고를 완전히 방지하려면 기기가 현실에 입각한 경제적인 대책과 실용적인 타협점을 찾아낼 필요가 있다. 고조파 억제대책은 전력회사·기기제조사·수요자·행정등이 일체로 되어 대처하지 않으면 효과적인 대책이 행해지지 않는다. 또한 많은 노력과 자금을 투입한 경우에도 충분한 효과로서 나타나지 않을 뿐만 아니라, 수요가 설비전체에서 보면, 고조파분포의 불평형에 의한 고조파장애를 보다 강하게 받는 수요가가 생길 위험도 있다. 따라서 이후도 항상 이들 각자가 서로 협력해 조사 연구를 진행하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 이상근·유재근·전청재 “DSP를 이용한 고조파 측정 및 분석” 2002년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A권 pp 178-180.
- [2] 이상근·유재근·전청재 “전기설비의 고조파 분석을 위한 측정 시스템 개발” 2002년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A권 pp 259-261.
- [3] 정형환 왕용필 이정필 박희철 “고조파상태 추정 에 있어서 유전 알고리즘을 이용한 최적 위치 선정” 2002년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A권 pp 298-300.
- [4] 김병진 조철희 이보인 김정환 “고조파 왜곡을 고려한 디지털 보호계전기의 설계” 2002년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A권 pp 566-567.
- [5] 박석훈 유인근 “Dimmer회로에서의 고조파 발생과 저감에 관한 연구” 2000년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A권 pp 252-254.
- [6] “고조파 억제용 수동필터의 현장적용화 연구” 한국전기안전공사 1999년 12월.
- [7] “전력계통의 고조파 장애 분석” 한국전기안전공사 1994년 12월.
- [8] “전기설비사고 예방을 위한 고조파 감시시스템 연구” 산업자원부 2001년 12월.
- [9] “고압수용가이 고조파 장애·억제대책 사례Q&A” 성안당·日本용사 공동출간
- [10] 日本 社團法人 電氣協同研究會 第37卷 第3号. 배전계통의 고조파 장애 방지대책
- [11] 日本 社團法人 電氣協同研究會 第54卷 第2号 “고압수전설비에 있어서 고조파문제의 현상과 대책”
- [12] 日本 社團法人 電氣協同研究會 第46卷 第2号 “전력계통에 있어서 고조파의 그와 대책”