

전력설비의 고조파진단에 관한 연구

이 범*, 김용하**, 최상규***, 김종국****

* 여수대 전기공학과, ** 인천대 전기공학과, *** 안양과학대 전기제어과, **** 서울지하철공사

A Study on Harmonics Detection for Power Equipments

Buhm Lee*, Yong-ha Kim**, Sang-kyu Choi***, Jong-kuk Kim****

* Yosu National Univ., ** Incheon Univ., *** Anyang Technical College, **** Seoul Metro. Subway Corp.

Abstract

This paper presents the methodology which analyze the effects of harmonics in power system. Considering the effect of less-harmonics, economic life and system loss, we have made the comprehensive countermeasure. According to the results of studying harmonics diagnosis and countermeasure, the following problems are pinpointed: protection of power system, double investment, space of the field. Therefore, in the initial stage, the countermeasure of harmonics trouble are set up. As a results, the following work has been done: ① Generation source of harmonics and it's effect into the power system, ② Review of law related to harmonics, ③ Countermeasures to reduce the harmonics

1. 서론

최근 전력전자설비 등의 급속한 보급과 함께 고조파가 사회문제화 되고 있다. 이러한 전력전자설비는 다량의 고조파를 발생시켜 수용가내의 기기에 장애를 발생시킬 뿐만 아니라, 전력계통측에도 유출되어 동일계통에 접속된 다른 수용가에도 악 영향을 끼친다. 이러한 전력계통에서의 왜형파 증가는 여러 부분에 큰 손실을 가져다 줄 수 있으므로 시급한 개선대책이 여러 방면에서 검토되고 있지만, 아직 까지 특수한 영역에만 국한되어 있는 실정이다. 앞으로 더욱 전력전자 설비들이 사용이 증가할 것이 예상되며, 또한 전력부하 사용형태의 다양화로 인한 전력기기의 비선형 특성 영역에서의 운전 기회가 증대될 것이므로 이로 인한 전력품질상의 문제는 점차 심각하게 대두 될 것이다. 따라서, 전력계통에 파급되는 고조파의 발생원인과 발생기구 및 발생량을 파악하여 그 대책수립에 관련한 연구는 양질의 전력공급을 확보한다는 의미에서 매우 중요하다 할 수 있다.

본 연구에서는 실제 건설하여 운용하여야 할 인천국제공항의 전력계통을 근거로 계통모델을 구성하고, 분석하여 한국전력공사의 고조파억제기준뿐만 아니라 영국, 프랑스, 미국 등 선진 외국에서의 고조파억제기준 등 구체적인 관리시책에 대하여 검토한 후 관리기준을 설정하여 전력계통 운영단계에서 고조파

발생원을 파악하고 발생하는 고조파가 각 설비에 미치는 영향을 중점적으로 분석하였으며, 또한 고조파를 제거하기 위한 종합적인 대책을 강구하였다. 즉, 전력계통에 파급되는 고조파의 발생원인을 파악하여 그 대책을 수립함으로써 보다 양질의 전력을 공급할 수 있도록 하였다.

2. 고조파의 영향

수용가 설비에서 고조파를 발생는 주요기기로는 전력변환장치, 공업용전기로 및 가전·범용품의 기기 등을 들 수 있다. 최근에는 대형빌딩이 고조파 발생원인과 동시에 피해설비가 되는 경향이 있다.

고조파라 할 수 있는 비정현파 전류가 흐르는 주된 원인은 전원보다도 부하에 있는 경우가 대부분이다. 이러한 부하는 스스로 문제가 되는 이외에도 인근에 있는 다른 기기에 문제를 파급시키게 되는데, 서로 다른 부하들이 선로상에서 공통으로 접속되는 지점을 Point of common coupling(이하 PCC)이라 한다. 여기서, 왜곡된 전류를 발생하는 기기와 인근 기기가 같은 급전선로를 공유하고 있다고 하면 공통 접속점 상위의 선로에 흐르는 전류는 왜곡된 부하전류를 포함하게 되므로 인근 기기에 왜곡된 전압이 공급된다. 이러한 현상은 공유하는 급전선의 비중이

클수록 크게 나타난다. 따라서 전류의 왜곡을 일으키는 부하가 인근 기기에 영향을 미치는 현상은 공통 접속점의 위치에 따라 달라질 수 있으며 두 기기간의 거리가 가까울수록 그 영향이 크다. 비정형파의 전류는 퓨리에 급수를 통해 계통의 기본 주파수 성분과 기본주파수의 정수배 주파수를 갖는 고조파 성분들의 조합으로 나타낼 수 있는데, 기본파에 비하여 왜형성분이 얼마나 되는지를 나타낸 것을 총왜형율, 혹은 THD(total harmonic distortion)라 부르며 파형의 왜곡정도를 나타내는 지표로 사용한다.

$$THD = \frac{\text{왜형성분의실효치}(I_D)}{\text{기본파성분의실효치}(I_1)} \times 100(\%) \quad (1)$$

고조파 성분이 전체 파형에서 얼마만큼의 비중을 차지하고 있는가를 나타내는 것이 고조파 스펙트럼으로 나타낼 수 있는데, 실제계통에서 영향을 미치는 것은 대부분 저차 고조파에 집중되어 있으며 또한 주로 홀수고조파로 구성되어 있다.

또한, 3상 3선식 전력계통에서는 3상이 평형이라고 가정하였을 때, 즉 3개 상전류가 위상차만 날 뿐 동일한 파형일 때는 3배수 고조파는 나타나지 않는다. 따라서 3상 3선식의 평형 전력계통에서는 홀수차 중에서도 5, 7, 11, 13차 등만이 나타나게 된다. 그러나 3상 4선식은 독립적인 단상 3개가 공통의 귀로선을 공유하고 있는 것에 해당하므로 단상에서와 마찬가지로 3배수 고조파가 존재할 수 있다. 이때 각 상의 3배수 고조파성분은 공통귀로선에서 합하여져 흐르게 되는데 경우에 따라서는 이 전류의 실효치가 각 상에 흐르는 전류의 실효치를 상회할 수도 있다. 따라서, 실제 사무실 건물 등에서 3상 4선식으로 여러 개의 단상부하에 전력을 공급할 때 공통귀로선의 과열로 인한 문제가 발생할 수 있다.

3. 고조파 억제 대책

3.1 고조파 억제 방법

비선형 부하가 발생하는 고조파전류가 상한치를 초과하는 경우, 고조파를 줄이는 적절한 방법이 강구되어야 한다. 이의 억제대책으로 ① 리액터(ACL, DCL)설치, ② 역률 개선용 콘덴서 설치, ③ 변환기의 다펄스화, ④ PWM 컨버터 채택, ⑤ Phase Shift Tr. 설치, ⑥ 필터 설치 등이 있으며, 이중 효율적으로 고조파를 억제할 수 있는 방법으로 Filter의 설치를 들 수 있다.

(1) 수동필터

수동필터를 구성하는 주 요소는 인덕터와 캐패시터이며, 적절한 감쇄효과를 주기 위하여 저항이 사용된다. 인덕터는 고조파가 흐르는 회로 내에 직렬로 삽입되어 높은 주파수의 고조파에 대하여 큰 임피던스로 작용하여 고조파가 회로 내에 흐르는 것을 억제하는 역할을 하며 캐패시터는 고조파성분에 대하여 낮은 임피던스를 가지므로 고조파 발생원 인근에

병렬로 삽입하여 고조파 전류를 바이패스하는 역할을 할 수 있다. 수동필터는 이론적으로 매우 단순하지만 실제 시스템에 적용하는데 상당한 주의 필요하다. 그 주된 이유는 수동필터가 계통 내에서 공진을 유발할 수 있는 단점이 있다.

(2) 능동필터

능동필터는 기존의 수동필터가 갖는 성능상 제약을 극복하기 위한 대안으로서 연구되어 왔다. 능동필터는 그 자체가 시스템의 공진을 야기하거나 공진에 의해 성능상 영향을 받을 위험성을 갖지 않으며 적절한 제어를 통해 전원측의 구조상 변동이나 기타 운전조건변동에도 일정한 성능을 기대할 수 있다는 점, 그리고 고조파 억제 이외의 여타 부가적인 기능을 수행하기가 용이하다는 점등이 장점으로 작용한다. 그러나 아직까지는 수동필터에 비해 설비비가 높아 전반적인 경제성이 떨어진다고 볼 수 있다. 다만 고조파 억제의 필요성이 크면서도 수동필터만으로는 대응이 어려운 상황에서는 경제성의 한계를 뛰어 넘어 적용될 수 있는 가능성은 충분하다.

3.2 고조파 억제 기준

외국의 경우 오래 전부터 고조파에 대한 억제기준치를 마련하여 사용해 오고 있다. 우리나라의 한국전력공사에서는 영업업무처리지침(1990. 7. 1, 한국전력공사)을 작성하여 다음과 같이 시행하고 있다.

표 1 한전전기공급규정

구분	지중선로가 있는 S/S에서 공급하는 수용		가공선로만 있는 S/S에서 공급하는 수용	
	전압	전압왜형율	동기방해전류	전압왜형율
66kV이하	3 %	-	3 %	-
154kV이상	15 %	3.8 A	15 %	-

현재 고조파 제한의 기준으로 널리 사용되고 있는 IEEE Std 519-1992에서는 120V~69,000V계통과 69,000V~161,000V계통에 대한 고조파 전류 및 전압의 규제를 정하고 있으며, 이중 고조파전류 왜형률의 규제치는 다음과 같다.

표 2 고조파 전류 왜형률 규제치(기본파 전류에 대한 %)

SCR = Isc/IL	h<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	THD
20이하	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20~50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50~100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100~1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
1000이상	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Isc : 단락전류(120V~69KV 일 경우) IL : 부하전류
h : 고조파 차수 THD : 종합 왜형률

각국에서의 고조파 법령이란 고조파로부터 시스템을 보호하기 위한 최소의 과정이라 할 수 있다. 본 연구에서는 각국의 고조파 규제에 대한 법령을 참조하여 전력계통이 건설되었을 때 발생할 수 있는 제반 문제점을 분석할 수 있도록 하였다.

4. 사례연구

본 연구에서는 우리나라의 고조파규제기준 미정립으로 세계 각국의 고조파규제기준 검토 결과 IEEE Std 519 규격을 적용하여 고조파를 계산하고, PCC에서의 고조파와 관련된 문제점을 분석하였다. 대상계통으로 인천국제공항의 배전계통을 정하였으며, 발생할 수 있는 고조파의 계산·저감대책을 강구하였다. 이의 방법으로 ① 6 Pulse Converter 설치시, ② 여러 부하모선에 고조파발생원이 있을 경우, ③ Filter 설치시, ④ Cable 용량증설 및 12Pulse Converter 적용시에 대하여 고조파특성을 비교·분석하였다.

(1) 6 Pulse Converter 설치시

6 Pulse Converter 용량을 변화시켜 가면서 시뮬레이션을 하였으며, 이의 결과는 다음과 같다.

① 6 Pulse Converter (용량 600KVA) 적용시:
전력계통의 특고압 모선뿐만 아니라 저압 전 모선 모두 전압, 전류왜형이 IEEE-519를 만족시키고 있다.

② 6 Pulse Converter (용량 800KVA) 적용시:
본 연구에 적용한 PCC, 특고압 모선에서 전압왜형이 IEEE-519를 만족하고 있으나 380V 배전계통(HPANEL1, HLOAD1)에서 전압왜형이 IEEE-519를 초과하고 있다.

③ 6 Pulse Converter (용량1000KVA) 적용시:
특고압 모선을 제외한 380V 배전계통(전 저압모선)에서 전압, 전류왜형이 IEEE-519를 초과하고 있다.

따라서 6 Pulse Converter는 고조파 측면에서 용량 600KVA 이하로 유지하는 것이 타당하다 하겠다.

(2) 여러 부하모선에 고조파발생원이 있을 경우

6 Pulse Converter(용량 1000KVA)를 B1-6, B1-7 2개의 모선에 설치한 경우와 B1-6, B1-7, B1-8 3개의 모선에 설치한 경우를 비교 분석한 결과 특고압 모선, 저압모선 모두 B1-6 모선 1개에 고조파 발생원이 있는 경우와 비교해서 전압왜형변화가 매우 작다. 또한 용량 변화시, 여러 모선에 발생원이 있는 경우 모두 특고압 모선에 고조파의 영향이 나타나지 않았다. 따라서, 여러개의 Converter를 사용해도 특고압모선에 영향이 없고, 저압측 모선에만 영향이 있음을 알 수 있었으며, 고조파발생원을 분산 배치함으로써 고조파저감효과가 있음을 알 수 있었다.

(3) Filter 설치시 저감특성

① 단일동조 Filter(5조파 제거용)

본 연구에서 적용한 PCC(HBS1)에서 전압, 전류 왜형 IEEE-519 기준치를 만족하고 있다. 따라서 단일동조 Filter 설치시 고조파 저감효과가 상당히 크다고 사료되나, HPANEL1, HLOAD1 모선에서 IEEE-519 기준치를 초과하고 있으므로 모든 저압모선에 기준치를 만족시키기 위한 다중 Filter를 설계 설치하는 것이 바람직하다고 사료됨.

② 5, 7조파 30% 제거용 다중 Filter 설치

30% 저감용 다중필터를 설치하여 시뮬레이션 한 결과 단일동조필터(5조파 제거용)를 설치했을 때 보다 약 3%정도 전압왜형이 증가했으나 본 연구에 적용한 PCC에서 IEEE-519 기준치를 만족하고 있다.

③ 5, 7조파 60%제거용 다중 Filter 설치

PCC에서 IEEE-519기준치를 만족하고 있으나 30% 저감용 필터와 마찬가지로 HPANEL1, HLOAD1 부하모선에서 기준치를 초과하고 있다. 그러나 필터를 설치하지 않았을 때 보다 전 부하모선에서 약 30%정도의 고조파 저감효과가 있으므로 고조파 저감대책으로 효과가 크다.

④ 5, 7조파 90%저감용 다중필터 설치시

전 부하모선에서 40%이상 고조파 저감효과가 있으나 HPANEL1, 모선에서 IEEE-519 기준치를 초과하고 있다. 따라서 5, 7조파를 100% 저감할 수 있는 필터 설치가 필요할 것으로 사료된다.

⑤ 5, 7조파 100%제거용 다중필터 설치

5,7조파를 100% 제거한 필터를 설치하여도 HPANEL1모선에서 IEEE-519기준치를 초과하고 있다.

⑥ 5, 7, 11조파 제거용 다중필터 설치

380V 배전계통 전 부하모선에서 IEEE-519 기준치를 만족하므로 고조파 저감 측면에서 5, 7, 11조파 저감용 다중필터가 최적의 필터라 사료된다.

(4) Cable 용량증설 및 12Pulse Converter 적용시 저감특성

① Cable 용량증설

경제성을 고려한 고조파 저감 방법을 찾고자 케이블을 증설시, 12 Pulse Converter 적용시, 시뮬레이션 한 결과, 고조파 저감 효과가 약 10%정도 있다. 그러나 380V 배전계통 전 모선에서 전압, 전류왜형이 IEEE-519 기준치를 초과하고 있으므로 효과적인 고조파 저감 대책이라 할 수 없다.

② 12 Pulse Converter 적용시 :

6 Pulse Converter 에 비해 고조파 저감 효과가 약 50%정도 있으며, 380V 배전계통 전 부하모선에서 전압, 전류왜형이 IEEE-519 기준치를 만족하고 있다. 따라서 고조파 저감효과, 경제성, 시스템 손실등 모든 것을 고려했을 때 가장 바람직한 방법이라 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 고조파의 발생원인과 특성, 고조파 억제제의 주요한 방법 등을 제시하였으며, 실제제통인 인천국제공항의 전력제통을 대상으로 시뮬레이션을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 일반적으로 사용되는 6 Pulse Converter 대신 12 Pulse방식을 채용하여 고조파를 저감시킬 수 있었다.
- (2) 각 MCC로부터 Converter를 분산 배치함으로써, 제통에 유입하는 고조파를 제한할 수 있었다.
- (3) 필터를 설치하여 제통에 유입되는 고조파를 저감시킬 수 있다.
- (4) 여러 종류의 필터로 시뮬레이션 한 결과 5, 7, 11 조파 제거용 다중필터의 저감효과가 가장 컸다.
- (5) 배전제통에 Cable을 중설함으로써 고조파의 저감효과를 기대할 수 있었다.

이 이외에도 변압기를 다중화하여 결선방식을 서로 각각 다른 위상차로 설계하는 것도 고조파 저감대책의 한 방법이었다.

후 기

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 여수대학교 설비자동화 및 정보시스템 연구개발센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] 村岡, "進化する電力用コンランサ", J. IEE Japan, Vol.117, No.6, pp.374-377, 1997
- [2] 月刊電氣, "구미제국의 고조파 억제대책의 상황", 通卷 第95 號 pp.46-50, 1996
- [3] 한국전기안전공사, 이은철, "전기사용장소의 고조파 장애 분석 연구", 1996
- [4] 日本電設工業, "電力系統における高調波の現状と高調波障害の防止について", pp.92-97, 4. 1996
- [6] 한국전선공업, "특집 고조파 사고와 대책", pp.86-149, 3. 2000
- [7] 전력 전자 학회지, "계통 고조파현상의 원인 및 대책", pp.29-37, 2. 2000
- [8] IEEE Industry Applications Society & Power Engineering Society, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System, IEEE Std 519-1992
- [9] S. G. Jalali, R. H. Lasseter, "Harmonic of Power System with Static Switching Circuits", IEEE PESC 91, pp.330-337, 1991
- [10] IEEE Working Group on Power System Harmonics, "Power System Harmonics: An Overview", IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol. PAS-102, pp. 2455-2460, Aug. 1983
- [11] Pileggi, D. J., Harish Chandra, N., and Emanuel, A. e.(1981), "Prediction of Harmonic Voltage in Distribution Systems", IEEE Trans.,

PAS-100, 1307-1315

[12] "Study of Distortion System Surge and Harmonic Characteristics", EPRI Report EL-1627, Project 1021-1, 1980