

22.9kV 수용가 전력계통별 고조파 발생실태 및 관리기준 조사분석

이은춘*, 신강욱, 홍성택, 홍영재, 박영춘, 임재일
한국수자원공사

To examine of management standard by the harmonics measured and analyzed in 22.9kV Power lines

Eun-Chun Lee, Gang-Wook Shin, Sung-Taek Hong, Young-Jae Hong, Young-Chun Pak, Jae-Il Lim
Korea Water Resources Corporation

Abstract At the water supply field, high voltage induction motor is main facility of a load equipment. The motor is often out of order and its noise, generated heat, loss etc occurred occasionally. especially, transmission motor for flux control generates an amount of the harmonics then have a bad influence upon the electric power system.

In this study, to analyze the total harmonics distortion of the water supply field receiving high voltage, the harmonics measured and analyzed using the PQA(Power Quality Analyzer) according to the electric power system and electrical load and the reduction method presented.

1. 서 론

수도사업장의 경우 고압전동기를 많이 사용하는 취수장 및 가압장과 저압 동력설비가 많은 정수장으로 크게 분류할 수 있다.

본 연구에서는 전원품질분석기(Power Scope)를 이용하여 22.9kV수용장소를 대상으로 수전측부터 부하단단의 저압측까지 전력계통별로 고조파 발생실태를 측정, 분석하였다.

또한, 각 계통별로 측정된 값을 대상으로 국내·외 고조파 관리기준과 비교하고, 각각의 규정에서 제시하는 고조파 관련 용어를 정리하였다.

2. 고조파 발생원 및 유출·입 경로

2.1 고조파 발생원 및 영향

고조파(Harmonics)는 정출력의 선형부하에서는 발생하지 않고 전력전자소자(반도체)를 사용하는 비선형부하(Non Liner Load)에서 많이 발생한다.

최근에 자동화 및 무인화가 활발히 진행되면서 반도체를 이용한 자동화기기가 많이 보급되어 산업현장에서 고조파 발생량이 급증하고 있으며, 이에 따른 피해도 속출하고 있다. 또한, 정출력 선형부하인 회전기의 기동시와 변압기의 초기 여자시 일시적으로 고조파가 발생하지만 지속성이 없기 때문에 설비 및 계통에 미치는 영향은 작다고 볼 수 있다.

이와 같은 고조파가 전기설비 및 계통에 미치는 악영향은 다음과 같다.

- 임피던스 직렬공진에 의한 전류확대(발열)
- 임피던스 병렬공진에 의한 전압상승(절연열화)
- 소음, 진동발생
- 통신선의 유도장해
- 제어계통의 오, 부동작 발생
- 회전기의 토오크 감소
- 중성선 과전류에 의한 발열
- 계통 역률저하

2.2 고조파 유출·입 경로

수용장소내의 전력계통에서 고조파 전류의 흐름특성은 계통의 임피던스에 따라 달라진다. 즉 주파수의 영향을 받는 교류 임피던스는 전류의 흐름을 방해하므로 임피던스가 낮은 쪽으로 흐르게 되며, 리액턴스가 유도성일 경우는 주파수에 비례하여 임피던스가 커지고, 용량성일 경우는 주파수에 반비례하므로 주파수가 높아질수록 임피던스가 작아진다. 이와 같이 고조파 전류는 계통의 등가임피던스에 따라 유출 및 분류특성이 달라지며 그 예는 그림 2.1과 같다.

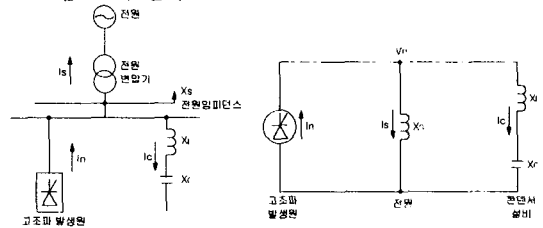


그림 2.1 고조파 전류의 유출 및 분류특성

3. 고조파 관리기준

3.1 국제기준

고조파 관리기준은 국제전기전자기술자위원회(IEEE)가 중심으로 되어 가이드 라인을 책정하고 있으며, 이제까지의 전압 계급별로 정해진 총합왜형율의 허용량 대신에 PCC(Point of Common Coupling)에서의 부하전류와 단락전류의 비(SCR ; Shot Current Ratio)에 의하여 고조파 전류의 허용량을 정한 새로운 표준이 제안되었다.

(1) 총합 고조파왜형률(THD : Total Harmonics Distortion)

총합 고조파함유율은 식 (1), (2)에서와 같이 고조파 전압(전류)실효치와 기본파 전압(전류) 실효치의 비로서 나타내며, 고조파 발생의 정도를 나타내는데 사용한다.

① 전압 고조파 왜형율

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% \dots (1)$$

여기서, V_n : 제 n 차 고조파 전압의 실효치
 V_1 : 기본파 전압의 실효치

② 전류 고조파 함유율

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100\% \dots (2)$$

여기서, I_n : 제 n 차 고조파 전류의 실효치
 I_1 : 기본파 전류의 실효치

(2) 전류 총수요 왜형률 (TDD : Total Demand Distortion)

전압의 경우는 부하율에 따라 변화율이 작은 관계로 고조파 함유량에 큰 변화가 없다. 그러나 전류의 경우 부하율에 따라 전류의 변화가 거의 직선적으로 변화하기 때문에 고조파 함유량도 달라진다. 따라서 전류크기에 따라 고조파의 함유량을 달라지는 문제점이 있으므로 전류에서는 THD를 사용하지 않고, 식 (3)과 같이 최대 부하전류대비 고조파 함유량을 표시하는 TDD를 사용하고 있다.

$$I_{TDD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_L} \times 100\% \dots\dots(3)$$

여기서, I_L : 평균최대부하전류(원평균이상)
 I_n : 각 차수별 고조파 전류

(3) 등가방해전류(EDC : Equivalent Disturbing Current)

전력계통에서 발생한 고조파는 인접해 있는 통신선로에 영향을 주며, 통신선로에 영향을 미치는 고조파 전류의 한계를 등가방해전류를 EDC라하며 식 (4)와 같이 표시한다.

$$EDC = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (S_n^2 \times I_n^2)} \dots\dots(4)$$

여기서, S_n : 통신유도계수
 I_n : 영상 고조파 전류

(4) 고조파 관리기준

표 3.1, 3.2, 3.3 및 3.4는 IEEE std-519에서 정한 고조파 규제값을 나타내고 있다.

표 3.1 배전계통(120V~69kV)의 고조파 전류 왜형률

개개의 고조파 수(총수차 고조파)(h 에 대한 %표시)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	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	20.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 <1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

I_{sc} : Maximum Short Circuit Current at PCC
 I_L : Maximum demand Load Current

표 3.2 배전계통(69kV~161kV)의 고조파 전류 왜형률

개개의 고조파 수(총수차 고조파)(h 에 대한 %표시)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	2.0	1.00	0.75	0.30	0.15	2.5
20 <50	3.5	1.75	1.25	0.50	0.25	4.0
50 <100	5.0	2.25	2.00	0.75	0.35	6.0
100 <1000	6.0	2.75	2.50	1.00	0.50	7.5
> 1000	7.5	3.50	3.00	1.25	0.70	10.0

표 3.3 배전계통(161kV이상)의 고조파 전류 왜형률

개개의 고조파 수(총수차 고조파)(h 에 대한 %표시)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<50	2.0	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
>50	3.0	1.50	1.15	0.45	0.22	3.75

표 3.4 배전계통에서 고조파 전압 왜형률

계통접속점 전압	개별고조파 왜형률(%)	총합왜형률 THD(%)
69 kV이하	3.0%	5.0%
69 ~ 161 kV	1.5%	2.5%
161 kV 초과	1.0%	1.5%

3.2 국내 기준

우리나라의 경우 고조파에 대한 기준은 자세히 명시하지 않았으며, 부분적으로 KS에 명시하고 있다.

(1) 무정전전원공급장치

KSC 4310에서 무정전 전원공급장치(UPS)를 1999년 개정판에 명시되어 있으며, 그 내용은 표 3.5와 같다.

표 3.5 무정전전원공급장치 고조파 규제값

구 분	전류 THD(%)				
	무부하	25%부하	50%부하	75%부하	100%부하
UPS입력	15 % 이하				
UPS출력	5 % 이하				

(2) 전자식 안정기

KSC 8100에서 형광램프용 전자식 안정기의 고조파 규제치를 명시하고 있으며, 그 내용은 표 3.6과 같다.

표 3.6 전자식안정기 고조파 규제값

구 분	전류 THD(%)
저 고조파 함유형	20 % 이하
고 고조파 함유형	30 % 이하

(3) 한국전력 전기공급 약관

한국전력의 경우 송, 배전계통에서 전압성분에 대한 고조파 함유량을 주로 하여 나타내고 있으며, 국제규격인 IEEE보다 약간 강화하여 규제하고 있다. 내용은 표 3.7과 같다.

표 3.7 한국전력 고조파 규제값

전압	계통 항목	지중선로 S/S에서 공급하는 수용가		가공선로 S/S에서 공급하는 수용가	
		전압 왜형률(%)	등가 방해전류(A)	전압 왜형률(%)	등가 방해전류(A)
66kV 이하		3		3	
154kV 이상		1.5	3.8	1.5	

4. 고조파 측정 및 분석

4.1 측정일반

고조파 측정대상은 22.9kV 수용장소 몇 개소를 선정하여 측정하였으며, 대상 사업장의 특성을 고려하여 고조파가 많이 발생하는 곳을 분석대상으로 하였다.

4.2 측정결과

(1) 특별고압(22.9kV) 수전계통
22.9kV 수전 사업장을 몇 개소 선정하여 고조파를 측정된 결과 발생량은 아주 적게 나타나, 국제규격을 만족하고 있었으며, 그 결과는 그림 4.1과 같다.

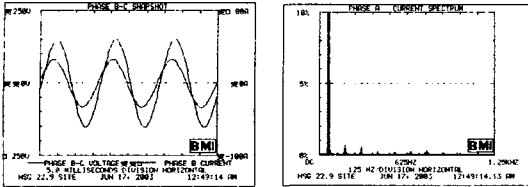


그림 4.1 특별고압측 고조파 파형 및 스펙트럼 분석

(2) 고압모선(3.3kV 또는 6.6kV) 계통
정속용 고압전동기를 많이 사용하는 고압모선계통의 고조파를 측정된 결과 그림 4.2와 같이 전압, 전류파형이 깨끗한 정현파를 유지하고 있다. 본 계통의 경우도 국제규격을 만족하고 있다.

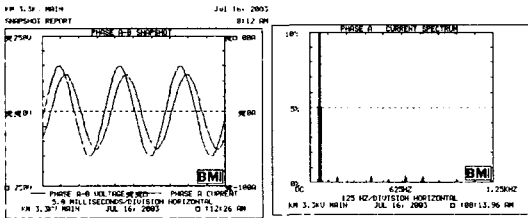


그림 4.2 고압모선측 고조파 파형 및 스펙트럼 분석

(3) 고압변속모타 전력계통
취수장에서 취수물량 조절용으로 사용중이 고압 변속모타 운전계통을 대상으로 고조파를 측정된 결과 인버터를 채용한 관계로 다량의 고조파가 발생하였고, 그 발생량이 국제규격값을 훨씬 상회하고 있었다. 측정결과를 그림 4.3과 같다.

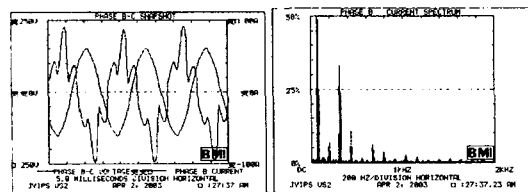


그림 4.3 고압변속모타 파형 및 스펙트럼 분석

고압 변속모타의 전원측을 대상으로 고조파를 측정된 결과 표 4.1과 같이 전압성분은 국제규격을 만족하고 있으나, 전류성분은 고조파가 많이 함유되어 초과 할 것으로 판단된다.

표 4.1 고압 변속모타 고조파 분석값

측정개소	총합왜형률(THD) %	
	전압	전류
고압 변속모타	2.9	40.2

이와 같은 이유는 고조파 필터가 제 기능을 다하지 못하기 때문으로 판단되며, 이를 개선하기 위하여 전원측 임피던스를 고려한 정확한 필터 설계기술이 요망된다.

(4) 저압모선(삼상 380V) 전력계통
2단 강압으로 운영되는 저압계통에서 고조파를 측정된 결과 전압의 경우는 정현파를 유지하고 있었으나 전류파

형에는 고조파가 많이 함유되어 파형이 심하게 왜곡되어 있음을 알 수 있다. 측정결과는 그림 4.4와 같다.

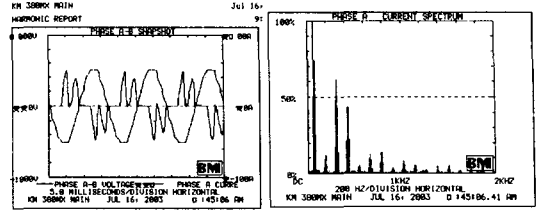


그림 4.4 저압모선 전압, 전류파형 및 스펙트럼

표 4.2 저압계통 고조파 분석값

측정개소	총합왜형률(THD) %	
	전압	전류
고압 변속모타	3.7	79.9

저압계통에서 고조파가 다량으로 발생하는 이유는 정수처리용 인버터장치와 UPS때문으로 판단된다. 실제로 조정 및 일반 선형부하 계통을 대상으로 고조파를 측정된 결과 미세하게 발생하였고 대부분이 인버터와 UPS가 연결된 계통에서 많이 발생하였다.

(5) 저압(단상 220V)계통
단상 220V UPS의 1차측에서 고조파를 측정된 결과는 그림 4.5와 같다. 본 계통의 경우도 전압은 안정적인지만 전류파형이 많이 왜곡되어 있음을 알 수 있다.

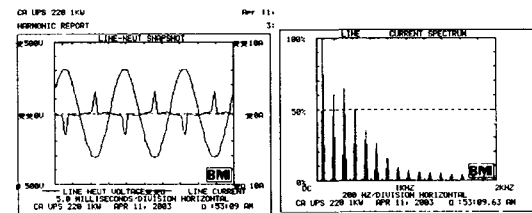


그림 4.5 저압단상 UPS 1차측 파형 및 스펙트럼

5. 결론

- 22.9kV 수용가를 대상으로 각 전압계통별 고조파를 측정된 결과 수전측은 고조파 발생량이 적고, 부하측에 가까울수록 고조파 발생량이 많은 특성을 보였다.
- 이와 같은 원인은 저압계통에 고조파를 다량으로 발생하는 인버터, UPS 및 정류기 등의 비선형부하가 설치되어 있기 때문으로 분석되었다.
- 고조파 관리기준에 대하여 국내·외 규정을 검토한 결과 국내규정의 경우 일부 설비에 국한하여 제정되어 있는 반면에, 국제규정에서는 전압, 계통별로 상세하게 제시되어 있다. 따라서 우리나라 고조파 관련 규정 제정이 시급하다.
- 국내에서 고조파 기준제정시 WTO/TBT협정 준수의 차원에서 국제규격(IEEE)을 준용하는 것이 바람직하며, 앞으로 고조파 발생량 증가에 따라 설비 피해 및 전력손실이 예상되므로 규정제정은 물론 저감기술 개발에 적극적인 노력이 필요하다.

[참고 문헌]

- 유상봉, "고조파 및 noise 방지대책", 2001.
- IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System, IEEE std 519, 1992.