

## 비선형 부하의 고조파로 인한 배전계통의 영향 분석

이호림, 김현수, 여상민, 김철환  
성균관대학교

### Analysis of Harmonic Effects due to Non-linear Load in Distribution Systems

Ho-Rim Lee, Hyoun-Su Kim, Sang-Min Yeo, Chul-Hwan Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - An increasing of non-linear loads such as power electronic equipment in distribution systems is the reason for the greater concern about harmonics in recent time. A harmonic current and voltage in distribution systems can cause many problems such as malfunction of protective equipment. In this paper, Total Harmonic Distortion(THD) of voltage according to magnitudes and measurement locations of the non-linear loads was calculated and analyzed with Electro-Magnetic Transients Program(EMTP).

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100[\%] \quad (2)$$

#### 1. 서론

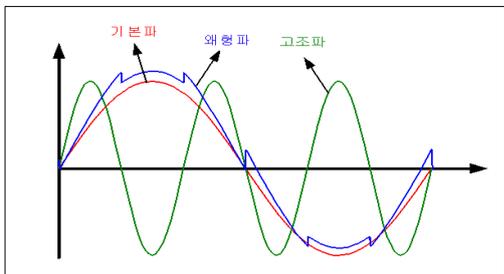
최근 전기기기에서는 효율성을 높이기 위해서 전력전자 소자와 같은 비선형부하의 사용이 급증하고 있다. 이와 같은 비선형부하는 전력계통의 전력품질을 저하시키는 고조파 발생의 주요한 원인이 되고 있다. 전력계통에서의 고조파 영향에 대비하기 위해 이미 배전계통의 고조파 전압 계획레벨 및 고조파 유출 전류 제한치를 제정하여 이를 기반으로 전체 전력계통의 체계적인 전력품질 관리가 이루어지고 있다. 그러나 이와 같은 배전계통 고조파 관리기준의 세부적인 제정을 위해서는 고조파 수준, 배전계통의 특성, 고조파 발생원의 분포, 부하의 형태 등 많은 사항을 고려해야 하기 때문에 합리적인 고조파 관리기준을 제정하는 것은 쉽지 않은 일이다[1].

오늘날 많이 쓰는 전력변환기인 컨버터는 고조파 발생원으로써 전압 파형을 왜곡시킨다. 이런 현상으로 인해 배전계통에서의 각종 계전기의 오동작, 정밀 전자기기의 손상, 전동기의 과열 및 손상, 통신선 유도장해의 원인이 될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 비선형 부하 중 하나인 3상 컨버터를 배전계통에 투입하여 비선형 부하의 크기와 측정위치에 따라 전압의 왜형률(THD)을 비교 분석하였다.

#### 2. 고조파

##### 2.1 고조파의 정의

왜곡된 60[Hz] 파형에는 기본 주파수 성분과 다른 주파수 성분이 포함 되어 있다. 이러한 왜곡된 파형의 성분에서, 기본 주파수의 정수배의 주파수 성분을 고조파(Harmonics)라 한다[2]. 공급계통의 정현파 전압을 비선형부하에 인가하면 정현파의 전원전압은 왜형파가 되고, 일반적으로 왜형파는 다음 그림 1과 같이 기본파와 고조파로 분해할 수 있다.



〈그림 1〉 고조파 분해 및 합성의 원리

##### 2.2 고조파의 왜형률

고조파 평가 기준은 종합왜형률(THD: Total Harmonic Distortion)로 나타낼 수 있다. 왜곡된 파형에 대한 전압의 왜형률을 나타내는 식 (1), 전류의 왜형률을 나타내는 식 (2)와 같이 표현된다. 본 논문에서는 식 (1)을 이용해서 배전계통에서의 전압의 왜형률을 분석하였다[3].

여기서,  $V_1, I_1$  : 기본파(60Hz)의 전압, 전류  
 $V_n, I_n$  : 각 차수별 고조파 전압, 전류

##### 2.3 고조파의 영향

고조파로 인한 영향은 다음 표 1과 같이 분류할 수 있다.

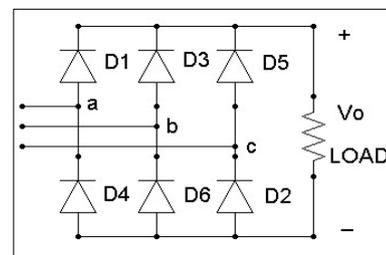
〈표 1〉 고조파로 인한 영향의 분류

기기명	영 향
변압기	철손, 동손의 증가와 함께 용량 감소 철심의 자화현상으로 소음 발생, 손실 증가
보호계전기	설정레벨의 초과 또는 위상 변화에 따른 오동작 각종 계기오차 증대
케이블	고조파 전류에 의해 과열
유도전동기	정상 진동 토오크 발생에 의해 회전수의 주기적 변동 철손, 동손 등의 손실 증가
배전용차단기	오동작 발생
통신선	전자유도에 의해 잡음 발생 및 유도전압 증가

#### 3. 사례 연구 및 분석

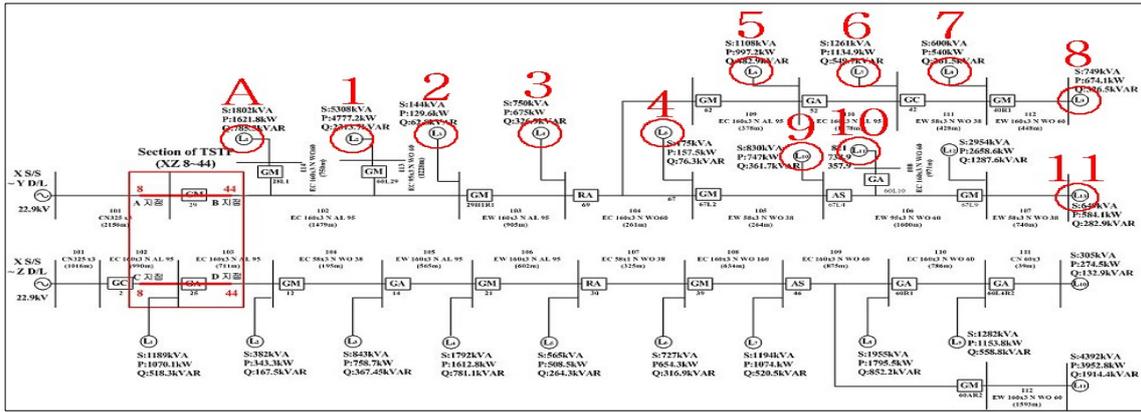
##### 3.1 모의 조건

배전 계통에서의 고조파 영향을 분석하기 위한 비선형 부하의 모델링은 다음 그림 2와 같이 EMTP 내에서 다이오드 스위치 6개를 이용해서 3상 전파 컨버터를 모델링하였다[4,5].



〈그림 2〉 3상 전파 컨버터 모델링

다음 그림 3은 모의시험을 위한 배전 계통도이다. 비선형 부하인 3상 컨버터를 그림 3에서 A지점에 투입하였으며, 1~11은 고조파의 측정 지점을 표현하였다. 본 논문에서는 다음과 같이 두 가지 조건을 모의 시험하였다. 비선형 부하인 컨버터의 부하 크기 변화와 측정 위치에 따라 모의 및 비교하였다.



〈그림 3〉 배전 계통도

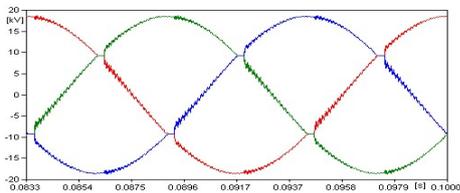
### 3.2 비선형 부하의 크기에 따른 모의 결과

다음 표 2는 비선형 부하의 크기에 따른 고조파 차수의 전압 크기와 THD(왜형율)이다. 표 2에서 Case 1은 비선형 부하인 컨버터 부하의 용량이 1802[kW]이고, Case 2와 Case 3은 Case 1의 부하 300%(5406[kW]), 500%(9010[kW])이다.

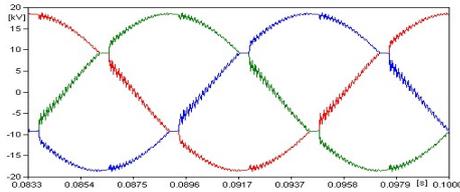
〈표 2〉 비선형 부하의 크기에 따른 고조파 차수의 전압 크기와 THD

고조파 차수 Case	5th [V]	7th [V]	11th [V]	13th [V]	17th [V]	19th [V]	23th [V]	25th [V]	THD [%]
Case 1	120	84.4	102.1	85.03	93.35	81.19	84.91	74.84	1.460
Case 2	356.1	235.5	285.3	215	233	176.8	179.5	133.8	3.711
Case 3	582.6	367.4	435.8	304.1	312.9	216.6	205.6	135.9	5.461

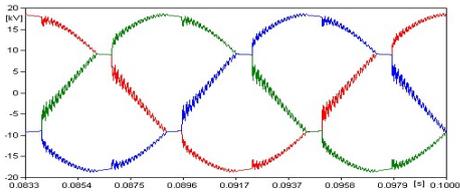
다음 그림 4~6은 Case 1~3에 대한 전압 파형이다. 표 2와 그림 4~6의 사례 연구 결과로부터 비선형 부하가 증가함에 따라 고조파 차수의 전압 크기가 커져 왜형율이 증가하고 전압 파형의 왜곡이 심해짐을 알 수 있다.



〈그림 4〉 전압 파형(Case 1)



〈그림 5〉 전압 파형(Case 2)



〈그림 6〉 전압 파형(Case 3)

### 3.3 측정 위치에 따른 모의 결과

다음 표 3은 Case 2에 대한 측정 위치에 따른 고조파 차수의 전압 크기와  $V_{THD}$ 이다. 모의 결과, 비선형 부하의 투입점인 A에서 고조파의 영향이 가장 크게 측정되었고, 다른 측정 위치(1~11)에 대한 모의 결과에서는 거의 일정한 것을 확인할 수 있다.

〈표 3〉 측정 위치에 따른 고조파 차수의 전압 크기와 THD

고조파 차수 측정 위치	5th [V]	7th [V]	11th [V]	13th [V]	17th [V]	19th [V]	23th [V]	25th [V]	THD [%]
A	356.1	235.5	285.3	215	233	176.8	179.5	133.8	3.711
1	232.4	154.2	186.9	140.7	153	115.9	118	88.1	2.422
2	233.1	154.7	187.5	141.2	153.4	116.3	118.4	88.34	2.424
3	232	153	187.2	139.8	153.7	115.7	118.7	88.79	2.426
4	231.4	152.1	187	139	153.8	115.3	118.8	88.99	2.426
5	231	151.5	186.9	138.5	153.8	115.1	118.8	89.08	2.426
6	230.9	151.4	186.8	138.4	153.8	115	118.8	89.11	2.425
7	230.9	151.2	186.9	138.2	153.9	115	118.9	89.17	2.426
8	230.8	151.1	186.8	138.2	153.9	114.9	118.9	89.18	2.426
9	231	151.5	186.9	138.5	153.8	115.1	118.8	89.08	2.426
10	230.9	151	187	138.1	154.1	115	119.1	89.39	2.427
11	230.9	151.1	187.1	138.1	154.1	115	119.1	89.39	2.427

## 4. 결 론

본 논문에서는 비선형 부하인 3상 컨버터를 배전 계통에 투입하여 비선형 부하의 크기와 측정위치에 따라 전압의 왜형율(THD)을 비교 및 분석하였다. 사례 연구 결과, 비선형 부하의 증가로 인하여 전압의 왜형율이 증가함을 확인하였다. 또한, 비선형 부하 투입지점에서 가장 크게 고조파 영향이 나타났으며, 측정위치에 따른 왜형율은 거의 일정한 것을 확인할 수 있었다. 보다 효과적인 고조파 대책과 고조파에 의한 전력설비의 영향을 분석하기 위해서는 지속적이고 체계적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

### 참고 문헌

- [1] 이해기, "고조파 장애의 진상에 관한 연구", 한국안전학회지, 제13권, 제4호, pp.162-171, 1998.
- [2] 대한전기학회편, "최신 배전 시스템 공학", 북스힐, 2006.
- [3] IEEE std.519, "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", 1992.
- [4] Daniel W. Hart, "PSPICE를 활용한 전력전자공학", 인터비전, 2002.
- [5] "Alternative Transients Program ATP Rule Book", EEU, Canadian/American EMTF User Group.