

# 전기설비의 고조파 장애 및 대책기술 ③

글/ 유 상 봉(쌍용안전기술사업단 설비진단팀장 부장, 기술사)  
김 세 동(한국건설기술연구원 선임연구원, 기술사)

## 목 차

1. 고조파 발생의 기본개념
2. 왜형파와 푸리에 급수
3. 전압 찌그러짐 현상
4. 고조파 발생원
5. 직렬 및 병렬공진
6. 고조파 영향
7. 고조파 대책
8. 고조파 계산 실례
9. 결 론



## 8. 고조파 계산 실례

### 8-1. 시설개요

공조·위생설비 및 엘리베이터 설비가 설치된 일반적인 빌딩으로서 부하설비의 개요 및 수전설비 단선 결선도는 그림 8-1과 같다.

#### - 고조파 발생기기

- AHU: 17.7kVA × 2대
- 위생 펌프 : 21.8kVA × 1대
- 엘리베이터 : 11.9kVA × 4대, 19.5kVA × 1대

### 8-2. 고조파 발생기기 명세

표 8-1과 같이 각 기기의 정격 입력용량, 대수,

6펄스 환산계수를 기입하고 6펄스 등가용량을 산출한다.

#### - 계산예

AHU: 3상 브리지(DCL)부  $K_i=1.8$

정격입력용량: 17.7kVA, 대수 : 2대

$P_i=17.7 \times 2=35.4(kVA)$

6펄스 등가용량:  $P_i \times K_i=35.4 \times 1.8$

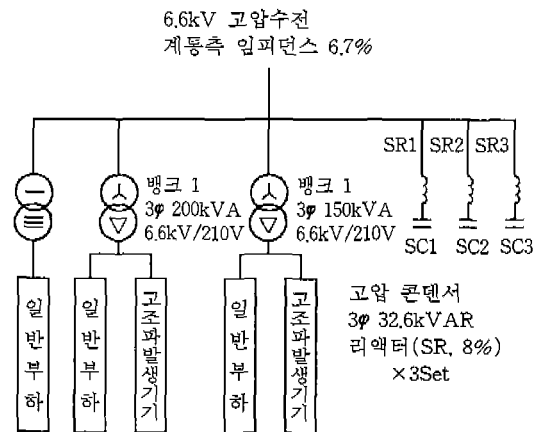
$=63.72$

다른 기기에 대해서도 동일한 방법으로 등가용량을 산출하고 6펄스 등가용량 합계  $P_o$ 를 구한다.

$P_o=331.1kVA$

(참 고) 인버터 기기의 정격입력용량

정격입력용량의 산출방법은 다음중 하나를 사용한다.



<그림 8-1> 단선결선도



<표 8-1> 고조파 발생기기 명세

| ① 고조파 발생기기      |    |       | 상수 | ② 정격<br>입력용량<br>(kVA) | ③ 대수 | ④ (②×③)<br>합계용량Pi<br>(kVA) | ⑤ 6펄스<br>환산계수<br>Ki | ⑥ (④×⑤)<br>6펄스 등가용량[Ki×Pi]<br>(kVA) |
|-----------------|----|-------|----|-----------------------|------|----------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| No              | 뱅크 | 기기명칭  |    |                       |      |                            |                     |                                     |
| 1               | 1  | AHU   |    | 17.70                 | 2    | 35.40                      | 1.80                | 63.72                               |
| 2               | 2  | 위생 펌프 |    | 21.80                 | 1    | 21.80                      | 1.80                | 39.24                               |
| 3               | 1  | 엘리베이터 |    | 11.90                 | 2    | 23.80                      | 3.40                | 80.92                               |
| 4               | 1  | "     |    | 11.90                 | 2    | 23.80                      | 3.40                | 80.92                               |
| 5               | 1  | "     |    | 19.50                 | 1    | 19.50                      | 3.40                | 66.30                               |
| 6펄스 등가용량합계 : Pi |    |       |    |                       |      |                            |                     | 331.10                              |

가) 정격입력용량 =  $\sqrt{3} \times V \times I \times 1.0228 \times 10^{-3}$

단, V: 200V 또는 400V

I: 기본과 전류

(주) 1.0228은 6펄스 변환기에서 실효치 전류와 기본과 전류의 비를 나타낸 수치임.

나) 정격입력용량 = 전동기 정격출력 × 1.25

이상과 같은 관계를 고려하여 범용 인버터의 교류측 입력치를 구할 수 있다.

(참 고) 기기 최대가동률 산정

고조파 발생기기의 최대가동률은 고조파 발생기기의 총용량과 실가동중인 기기가 최대로 될 때의 용량과의 비를 말하는 데 통상 고조파 발생기기가 많이 설치되어 있는 경우는

$$\text{최대가동률} = \text{수요율} \left( = \frac{\text{최대사용전력치}}{\text{전 설비용량}} \right)$$

과 같이 종합적인 수요율을 사용해도 좋다. 또한, 빌딩의 규모가 커질수록 종합가동률이 점점 작아지기 때문에 기기 최대가동률의 표준치를 계약전력에 따라 보정해서 계산하여도 좋다.

8-3. 고조파 전류 발생량 산정

(1) 수전전압 환산 정격 전류치의 산출

$$\text{수전전압 환산의 정격전류(mA)} = (\text{기기정격용량} \times 1000) / (\sqrt{3} \times 6.6)$$

- 계산예

AHU에 대하여 계산하면,

기기정격용량: 17.7kVA, 대수: 2대

$$\text{수전전압 환산의 정격전류} = (17.7 \times 2 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 6.6) = 3096.7(\text{mA})$$

(2) 차수별 고조파 유출전류의 산출

차수별 고조파 유출전류(mA) = 정격전류치 × 가동률 × 고조파 전류 발생률

① AHU에 대하여 계산하면,

정격전류치: 3096.7mA

기기 최대가동률: 55%

고조파 전류 발생률: 30%(5차), 13%(7차)

5차 고조파 유출전류:  $3096.7 \times 0.55 \times 0.3 = 511(\text{mA})$

7차 이상에 대해서도 동일하게 계산한다.

(3) 고조파 유출전류 상한치의 산출

계약전력 1kW당의 고조파 전류 상한치에 계약전력을 곱하면 고조파 유출전류 상한치를 구할 수 있다.

고조파 유출전류 상한치(mA)

$$= \text{계약전력 } 1\text{kW당 고조파 유출전류 상한치} \times \text{계약전력}$$

예를들어 5차 고조파 유출전류 상한치를 구하면,

수전전압 6.6kV의 경우의

상한치는 3.5mA/kW, 계약전력은 270kW

따라서,

5차 고조파 유출전류 상한치

$$= 3.5 \times 270 = 945(\text{mA}) \text{가 된다.}$$

(주) 고조파 유출전류 상한치

전력변환장치의 향후 보급동향 등을 고려하여 장래의 고조파전압 왜형률을 예측하고, 2010년까지 고조파 환경 목표레벨을 유지하기 위하여 필



<표 8-2> 고조파 전류발생량 산정

계약전력 ① 270KW

| No           | 뱅크 | 기기명칭  | ⑦ (④×K)<br>수전전압<br>환산의 정격<br>전류치(mA) | ⑧ 기기<br>최대 가동률<br>(%) | ⑩ (⑦×(a)×⑧)<br>차수별 고조파 유출전류(mA)<br>[정격전류치×가동률×고조파전류 발생률] |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|----|-------|--------------------------------------|-----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |    |       |                                      |                       | 5차   | 7차    | 11차   | 13차   | 17차   | 19차   | 23차   | 25차   |
| 1            | 1  | AHU   | 3096.7                               | 55                    | 511.0  | 221.4 | 143.1 | 85.2  | 80.0  | 54.5  | 51.1  | 37.5  |
| 2            | 2  | 위생 펌프 | 1907.0                               | 30                    | 171.6  | 74.4  | 48.1  | 28.6  | 26.9  | 18.3  | 17.2  | 12.6  |
| 3            | 1  | 엘리베이터 | 2082.0                               | 25                    | 338.3  | 213.4 | 44.2  | 40.1  | 22.4  | 16.1  | 13.5  | 9.4   |
| 4            | 1  | "     | 2082.0                               | 25                    | 338.3  | 213.4 | 44.2  | 40.1  | 22.4  | 16.1  | 13.5  | 9.4   |
| 5            | 2  | "     | 1705.8                               | 25                    | 277.2  | 174.8 | 36.2  | 32.8  | 18.3  | 13.2  | 11.1  | 7.7   |
| ⑪ 합계         |    |       |                                      |                       | 1636.4   | 897.4 | 315.9 | 226.8 | 170.0 | 118.3 | 106.4 | 76.5  |
| ⑫ ((a)×①) 차수 |    |       |                                      |                       | 5차   | 7차    | 11차   | 13차   | 17차   | 19차   | 23차   | 25차   |
| 전류 상한치       |    |       |                                      |                       | 945.0  | 675.0 | 432.0 | 351.0 | 270.0 | 243.0 | 205.2 | 189.0 |
| 대책여부 판정      |    |       |                                      |                       | 요  | 요     | 부     | 부     | 부     | 부     | 부     | 부     |

- (a) : 개별기기의 고조파 발생량(률)
- (b) : 계약전력 1kW당 고조파 유출전류 상한치
- (c) 수전전압환산 정격전류 산정을 위한 환산계수

요한 고조파 전류의 유출 상한치를 일본 전기협 동연구회(고조파 대책 전문위원회:'90년 6월) 에서 계산 검토된 수치임.

현재 고조파 환경 목표레벨은 배전계통에서 5%, 특고계통에서 3%를 목표로 하고 있음.

(4) 대책여부 판정

각 차수마다 고조파 유출전류 및 고조파 유출전 류 상한치를 구하여 표로 만들면 표 8-2와 같으 며, 대책여부 판정은

고조파 유출전류 > 고조파 유출전류 상한치  
: 대책 요망

이 예에서는 5차 및 7차 고조파 유출전류가 상

한치를 상회하기 때문에 대책이 필요한 것을 알 수 있다.

8-4. 고조파 유출 억제대책

(1) 고압측에 콘덴서를 설치할 경우

일반적인 수변전설비에서 콘덴서는 거의 고압 (6.6kV) 모선에 접속되어 있으며 그림 8-2와 같 이 고조파 발생기기로부터 발생하는 고조파 전류 는 직렬 리액터와 콘덴서의 직렬회로와 전원측으 로 분류하게 된다.

제5고조파에 대해서 계산해 보면 다음과 같다.

① 계통측 임피던스의 계산

기본과 임피던스의 계산

$$\%X_s = j \frac{\text{기준용량(MVA)}}{\text{수전점 단락용량(MVA)}} \times 100$$

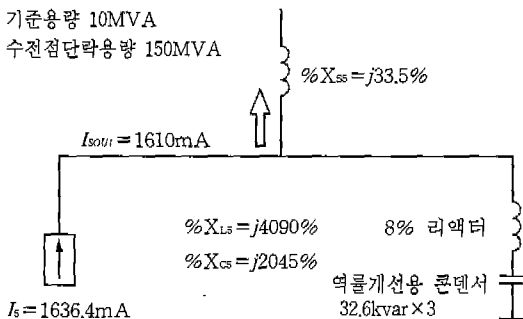
$$= j \frac{10(\text{MVA})}{150(\text{MVA})} \times 100 = j6.7(\%)$$

제5고조파 임피던스의 계산

$$\%X_{s5} = \%X_s \times 5 = j33.5(\%)$$

② 콘덴서 임피던스의 계산

기본과 임피던스의 계산



<그림 8-2> 콘덴서 고압측 설치 (제5고조파 임피던스 회로)



$$\begin{aligned} \%X_c &= -j \frac{\text{기준용량(MVA)}}{\text{콘덴서 용량의 합계(MVA)}} \times 100 \\ &= -j \frac{10}{0.326 + 0.326 + 0.326} \times 100 \\ &= -j10224.9(\%) \end{aligned}$$

제5고조파 임피던스의 계산  
 $\%X_{cs} = \%X_c \div 5 = -j2045(\%)$

③ 리액터 임피던스의 계산

기본파 임피던스의 계산  
 $\%X_L = |\%X_c| \times \text{직렬리액터 용량비}$   
 $= j10225 \times 0.08 = j818(\%)$

제5고조파 임피던스의 계산  
 $\%X_{L5} = \%X_L \times 5 = j818 \times 5 = j4090(\%)$

④ 제5고조파 유출전류의 산출

유출전류( $I_{sout}$ )는 제5고조파 발생전류( $I_s$ )에 분류비를 곱하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_{sout} = I_s \times \frac{\%X_{L5} + \%X_{cs}}{\%X_{ss} + (\%X_{L5} + \%X_{cs})} \text{ (mA)}$$

각 임피던스의 수치를 대입하면

$$\begin{aligned} I_{sout} &= 1636.4 \times \frac{j4090 - j2045}{j33.5 + (j4090 - j2045)} \\ &= 1636.4 \times 0.984 = 1610 \text{ (mA)} \end{aligned}$$

⑤ 대책여부 판정

앞에서 작성된 표 8-2에서 제5고조파 유출전류의 상한치는 945mA이다. 따라서 다른 대책을 강구할 필요가 있다. 일반적으로 고압측에 콘덴서를 설치할 경우 억제효과는 수 %에서 10% 정도 밖에 되지 않기 때문에 ACL, DCL 등과 조합할 경우 효과가 있을 수 있다고 생각된다.

(2) 저압측에 콘덴서를 설치할 경우

그림 8-3과 같이 콘덴서를 저압측에 설치하는 경우는 계통측 임피던스에 변압기 임피던스가 직렬로 삽입되는 것으로 되기 때문에 계통측으로의 분류비가 대폭 감소된다. 이 때문에 저압측에 콘덴서를 설치할 경우 고조파 유출전류는 약 50%의 억제효과를 거둘 수 있다고 본다.

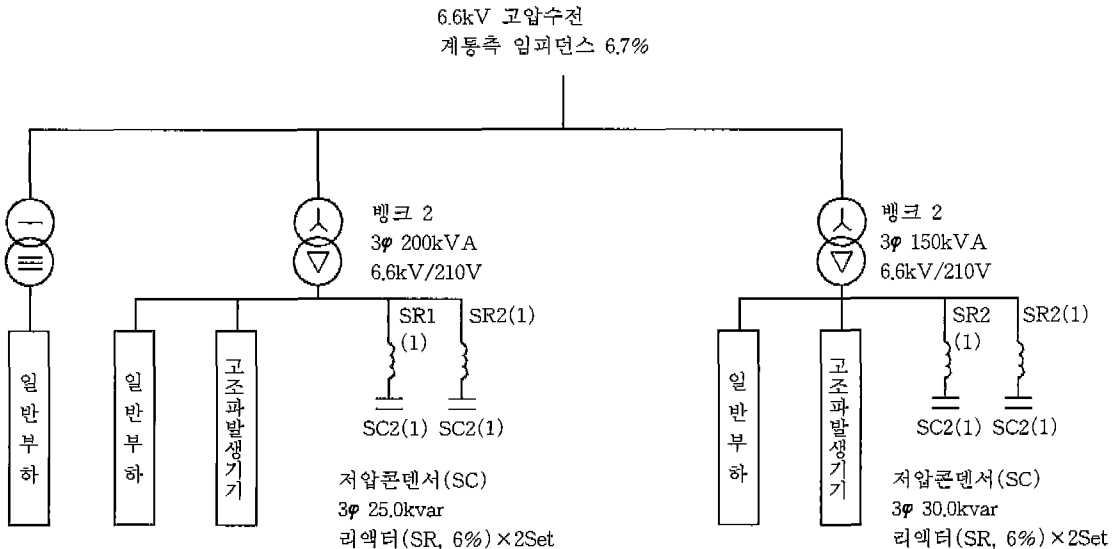
① No. 1 Bank의 제5고조파 임피던스

계통측 임피던스:  $\%X_{ss} = j33.5(\%)$

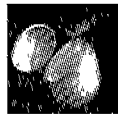
제5고조파 발생전류:  $I_s = 1187.6 \text{ mA}$

• 변압기 임피던스

$$\%X_{Ts} = j \frac{\text{기준용량(MVA)}}{\text{변압기용량(MVA)}} \times \%Z \times 5(\%)$$



<그림 8-3> 단선결선도(콘덴서 저압측 설치)



<표 9-1> 계통전압 파형왜율 억제목표

(단위 : %)

| 차 수  | 3   | 5   | 7   | 11  | 13  | 17  | 19  | 23  | 25~29 | 계(종합) |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| 배전계통 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0   | 5.0   |
| 특고계통 | 2.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5   | 3.0   |

$$=j\frac{10}{0.2}\times 5\times 5=j1250(\%)$$

- 콘덴서 임피던스 : %X<sub>CS</sub> = -j3333.3%
- 리액터 임피던스 : %X<sub>LS</sub> = -j5000%

③ No. 1 Bank에서 고압측으로 유출하는 제5고조파 전류

$$I_{sOUT} = I_s \times \frac{\%X_{L5} + \%X_{CS}}{(\%X_{S5} + \%X_{T5}) + (\%X_{L5} + \%X_{CS})}$$

$$= 1187.6 \times \frac{(j5000 - j3333.3)}{(j33.5 + j1250) + (j5000 - j3333.3)}$$

$$= 1187.6 \times 0.5649 = 670.9(\text{mA})$$

④ 동일하게 No. 2 Bank에 대해서도 계산하면

$$I_{sOUT} = 242.6\text{mA}$$

⑤ 계통측으로 유출전류는

$$I_{sOUT} = 670.9 + 242.6 = 913.5(\text{mA})$$

⑤ 대책여부 판정

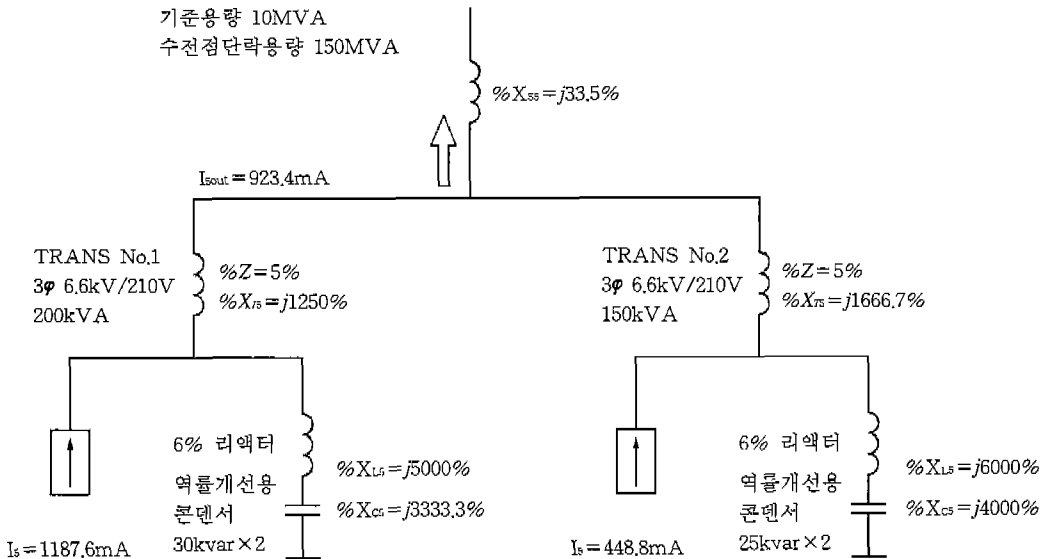
표 8-2에서 계산된 제5고조파 유출전류의 상한치 945mA 이하이므로 별도의 대책은 불필요하다.

제7고조파에 대해서도 동일한 계산을 하여 대책여부를 판정한다. 제7고조파 유출전류는 계산에 의하면 641mA로서 상한치 675mA 이하이므로 만족함을 알 수 있다.

9. 결 론

고조파 전류가 상한치를 초과하는 경우에는 고조파 유출 억제대책이 필요한데, 이러한 억제대책에는

- (1) 기기에서 고조파 전류 발생량을 억제
- (2) 고조파 발생원에서 다른 부하기기로 고조파 전류의 흐름 억제



<그림 8-4> 콘덴서 저압측 설치(제5고조파 임피던스 회로)



(3) 전력수용가 및 계통측에서의 대책 등 다각적인 고조파 대책이 필요하다.

특히 반도체 응용기기, 아크로 등 특정설비를 가진 수용가는 전력계통측에 고조파 전류가 방출되지 않도록 어떤 수준 이하에서 관리하여야 할 필요가 있으며, 일반적으로 표 9-1과 같이 배전계통에서의 종합 파형왜율은 5% 이내로 관리하고 있다.

또한 고조파 유출전류의 저감효과는 크게 역률

개선용 콘덴서 및 수동 필터에 의한 흡수효과, Active Filter에 의한 상쇄효과(취소효과)로 나눌 수 있다. 이러한 고조파 문제해결은 기기제조사, 전력수용가, 전력회사의 상호 협력하에 종합적인 관리가 필요하며, 이런 측면에서 볼 때 전력계통에서의 고조파 환경수준, 고조파 전류 억제목표값, 기기의 고조파 내량수준 등에 대한 목표값을 구체적으로 설정하여 엄격한 관리 및 지도, 개선이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 경 력 변 경 신 고 업 무 안 내

### 1. 경력 변경신고 대상

- 가. 협회에 경력 등록을 필한 회원으로써 직장을 옮긴 후 경력 변경신고를 하지 아니하는 회원
- 나. 회원(경력) 자료상의 직장이 현재 근무처와 일치하지 아니하는 회원
- 다. 전력기술인(또는 감리원) 경력확인서에 현재 근무처가 나타나지 아니하는 회원

### 2. 경력 변경신고시 구비서류

- 가. 경력 변경신고서(근무처 변경 및 기술경력 변경관을 상세하게 기재)
- 나. 전직장 퇴직증명서
- 다. 현 근무처 재직증명서

### 3. 제출방법

구비서류를 갖추어 협회 경력등록과로 우편 발송

### 4. 참고사항

- 가. 서식 : 각 지부에 비치
- 나. 수수료 : 없음
- 다. 설계업 및 감리업체에 등록된 회원들은 경력확인서 발급 신청전에 각 지부에 경력사항을 조회한 후 변경 신고하시기 바람.