



전기설비의 고조파 대책기술(하)

유 상 봉 쌍용엔지니어링(주) 부장
김 세 동 한국전설기술연구원 수석연구원



7. 고조파 대책

고조파 전류가 상한치를 초과하는 경우에는 고조파 유출전류를 저감하여 상한치 이내로 억제하기 위한 대책이 필요하다. 이러한 억제대책에는 기기로부터 발생하는 고조파 전류 등을 저감시키는 방법과 기기로부터 발생한 고조파 전류를 분류시켜 유출전류를 저감시키는 방법으로 크게 2종류로 대별할 수 있다. 일반적으로 고조파 대책은 다음과 같이 여러 방법을 고려할 수 있다.

- 1) 리액터(ACL, DCL)의 설치
- 2) 콘덴서 설치(고압측 또는 저압측)
- 3) 변환기의 다펄스화 : 출력상수 증가
(정류기의 다상화)
- 4) Filter 설치
 - 수동 Filter
 - 능동 Filter(Active Filter)
- 5) 계통분리, 고조파내량 증가, 단락용량의 증대
- 6) 기 타

가. 리액터(ACL, DCL) 설치

그림 7-1 과 같이 고조파 발생 부하장치의 1차 측에 ACL을 취부해서 轉流리액터를 크게 하여 고조파 발생률을 저감하거나, 또는 DCL을 고조파 발생 부하장치의 직류회로에 삽입하여 직류파형의 리플을 작게 하여 고조파 발생률을 저감할 수 있다. 3상 브리지(콘덴서 평활)의 고조파 전류 발생량은 표 7-1과 같으며, ACL이 있는 경우 고조파 발생량을 약 50% 저감하고 있고, 또한 DCL이 있는 경우는 없는 경우보다 고조파 발생량을 55% 이상 저감하고 있는 것을 알 수 있다.

〈표 7-1〉 3상 브리지(콘덴서 평활)의 고조파 전류 발생량

차 수	5	7	11	13	17	19	23	25
리액터 無	65.0	41.0	8.50	7.70	4.30	3.10	2.60	1.80
ACL 有	38.0	14.5	7.40	3.40	3.20	1.90	1.70	1.30
DCL 有	30.0	13.0	8.40	5.00	4.70	3.20	3.00	2.20

(단위 : %)

나. 역률개선 콘덴서에 의한 억제대책

콘덴서는 역률개선을 목적으로 수변전설비에 설치되어 있는데 역률개선 콘덴서는 발생고조파 전류를 분류시켜 유출전류를 억제한다. 역률개선 콘덴서는 리액터와 콘덴서가 직렬로 접속되어 있기 때문에 수동 필터의 특성을 가지고 있다.

(1) 고압측 설치의 경우

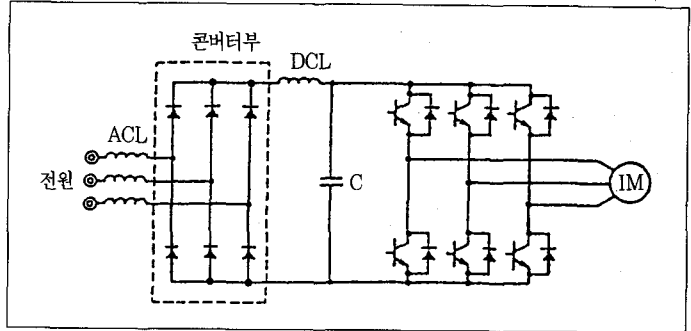
그림 7-2 에서 발생고조파 전류를 제5차 고조파 전류 : 20A라 하면

① 임피던스를 기준용량 10MVA PU로 변환

$$\text{임피던스} : Z_{sn} = j 20\% / 100\% = j 0.2$$

② 기본파에 의한 계산

$$Z_{cn} = -j 10MVA / SC\text{용량}$$



〈그림 7-1〉 ACL, DCL의 접속

$$= -j 10MVA / 0.2MVA = -j 50$$

$$Z_{Ln} = Z_{cn} \times \text{직렬 리액터의 리액턴스}$$

$$= j 50 \times 0.06 = j 3$$

③ 5차 유출전류의 계산

· 유출전류

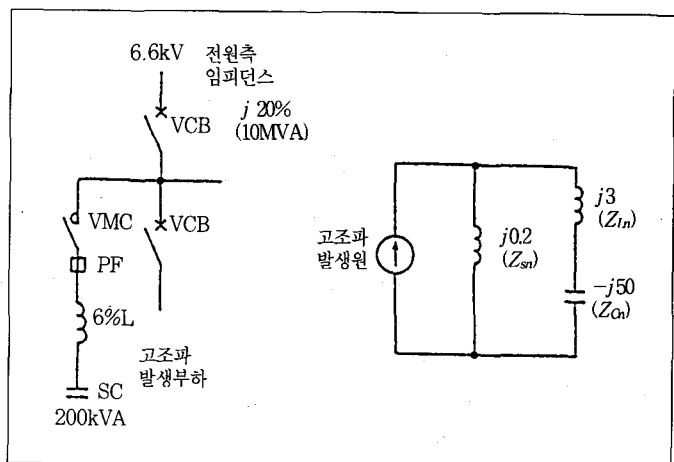
$$= \text{발생전류} \times (Z_{Ln} + Z_{cn}) / (Z_{Ln} + Z_{cn} + Z_{sn})$$

$$= 20A \times (j 3 + j 50) / (j 3 + j 50 + j 0.2 \times 5)$$

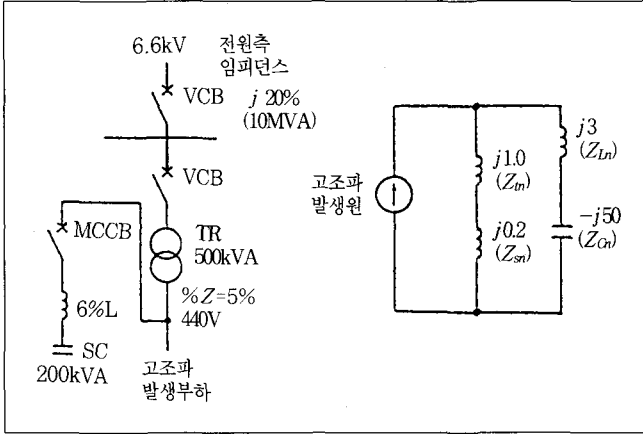
$$= 20A \times j 5 / j 6 = 16.64$$

· 효과 : 억제율은 $(20A - 16.64) \times 100 / 20A$

$$= 17\% \text{가 된다.}$$



〈그림 7-2〉 고압측 콘덴서 설치 예



〈그림 7-3〉 저압축 콘덴서 설치 예

다. 변환기의 다펄스화

펄스수는 정류기 등의 변환장치에 있어서 「전원전압의 1Cycle 중에 독립하여 생기는 轉流의 수」로 정의하고 있으며, 실제로는 직류전압에 포함되어 있는 맥동 펄스의 수와 같다. 예를 들면 3상 브리지 접속의 펄스 수는 6이 되고, 이 펄스의 수가 커지면 교류전류에 포함되어 있는 고조파 차수가 높게 되고, 동시에 고조파 전류의 크기도 감소된다. 즉,

$$I_n = K_n \cdot \frac{I_1}{n}$$

에서 출력상수가 높으면 I_n 이 작아진다.

(2) 저압축 설치의 경우

그림 7-3에서 발생고조파 전류를 제5차 고조파 전류 : 20A라 하면

① 임피던스를 기준용량 10MVA PU로 변환

$$\text{임피던스} : Z_{sn} = j 20\% / 100\% = j 0.2$$

② 기본파에 의한 계산

$$Z_{ln} = j 10MVA \times 5\% / 0.5MVA \times 100\% = j 1.0$$

$$Z_{cn} = -j 10MVA / 0.2MVA = -j 50$$

$$Z_{Ln} = j 50 \times 0.06 = j 3$$

③ 5차 유출전류의 계산

· 유출전류

$$= \text{발생전류} (Z_{Ln} + Z_{cn}) /$$

$$(Z_{Ln} + Z_{cn} + Z_{sn} + Z_{tn})$$

$$= 20A \times (j 3 \times 5 - j 50/5) /$$

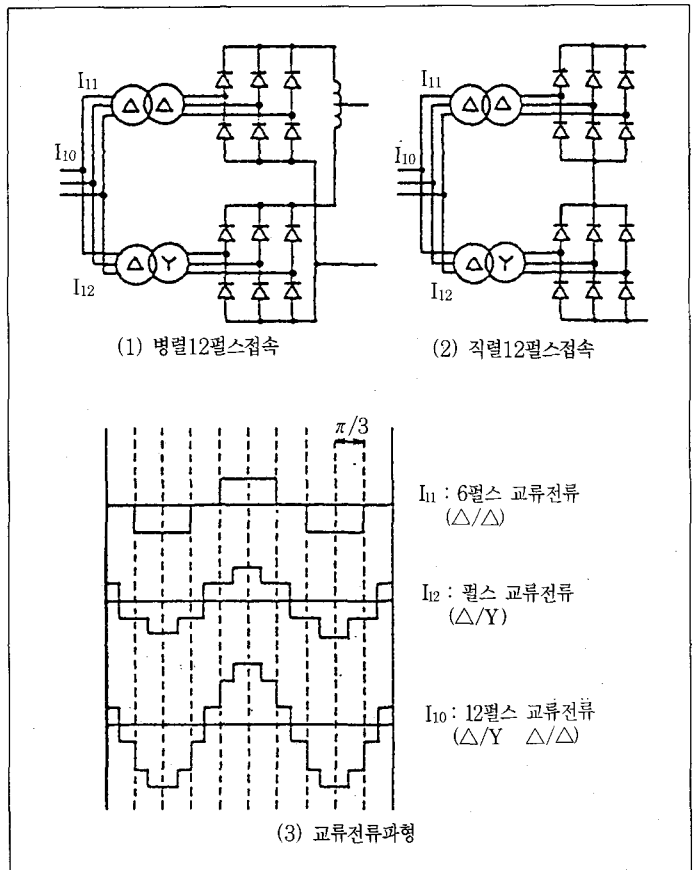
$$(j 5 + j 0.2 \times 5 + j 1 \times 5)$$

$$= 20A \times j 5 / j 11 = 9.09A$$

· 효과 : 억제율은 $(20A - 9.09A) \times 100 / 20A$

$$= 54.5\% \text{가 된다.}$$

이상과 같이 역률개선 콘덴서를 저압축에 설치하면 5차 고조파를 50% 이상 억제가 가능하다.



〈그림 7-4〉 12펄스 접속도

단, K_n : 고조파 저감계수

n : 발생 고조파의 차 ($n = mP \pm 1, m = 1, 2, \dots$)
출력상수 P가 증가할수록 최저차 고조파의 차수가 높아짐

그림 7-4는 3상 브리지의 12펄스 접속을 나타낸 것으로, 전압의 위상을 30° 차이 나도록 한 2대의 변환장치를 직류측에 직렬 또는 병렬로 접속하였다. 이 경우 전압 위상을 30° 차이 나도록 하기 위해 변환기의 $\Delta - \Delta$, $\Delta - Y$ 결선을 사용하고 있다. 고조파 발생차수는 $12m \pm 1$ 이 되고, 이론 고조파로서는 5, 7차 발생량은 0이 되나, 실제 고조파 측정시에는 어느 정도 발생하고 있다. 3상 브리지의 경우 고조파 발생량은 표 7-2와 같으며 펄스수가 커질수록 고조파 발생률이 현저하게 저감되는 것을 알 수 있다.

<표 7-2> 3상 브리지의 고조파 전류 발생량

(단위 : %)

차 수	5	7	11	13	17	19	23	25
6 펄스	17.5	11.0	4.50	3.00	1.50	1.25	0.75	0.75
12 펄스	2.00	1.50	4.50	3.00	0.20	0.15	0.75	0.75

라. 수동 Filter에 대한 억제대책

수동 Filter는 교류 Filter, L-C Filter, Passive Filter라고 부르며 여기에는 그림 7-5와 같이 동조 Filter와 고차수 Filter가 있다. L-C 필터의 기본적인 회로는 L과 C의 공진현상을 이용한 것으로 n차 고조파에서 $nX_L - \frac{X_C}{n} = 0$ 로 함으로써 n차 고조파 전류는 대부분 여기에 흡수되고, 유출전류를 저감시킬 수 있다.

① 동조 필터(공진분로필터)

R-L-C의 직렬회로에 의해 구성 단일 고조파에 공진, 공진 주파수에서 저저항 특성을 가지며 n차 고조파 필터의 임피던스는

$$Z_n = R_n + j \left(\omega L_n - \frac{1}{\omega C_n} \right)$$

공진 주파수에서 $\omega_n^2 \cdot L_n \cdot C_n = 1$

$\therefore Z_n = R_n$ 이 된다.

② High Pass Filter

$$Z_n = \frac{1}{\omega C_n} + \frac{1}{\frac{1}{R_n} + \frac{1}{\omega L_n}}$$

공진이 발생하면 임피던스가 0이 되기 때문에 순저항을 집어 넣어 회로 전류를 제한하고 있다. 이때 순저항의 저항치는

$$R = \frac{X_n}{Q} (\Omega)$$

(단, Q : 공진의 첨예도로 통상 20~40)

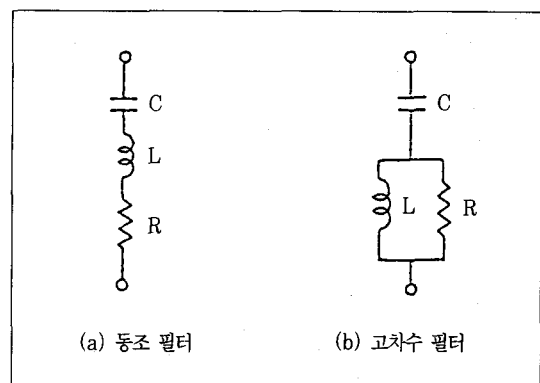
로 구할 수 있다.

그림 7-6과 같은 수동 Filter의 용량 및 설치효과를 계산하면 다음과 같다.

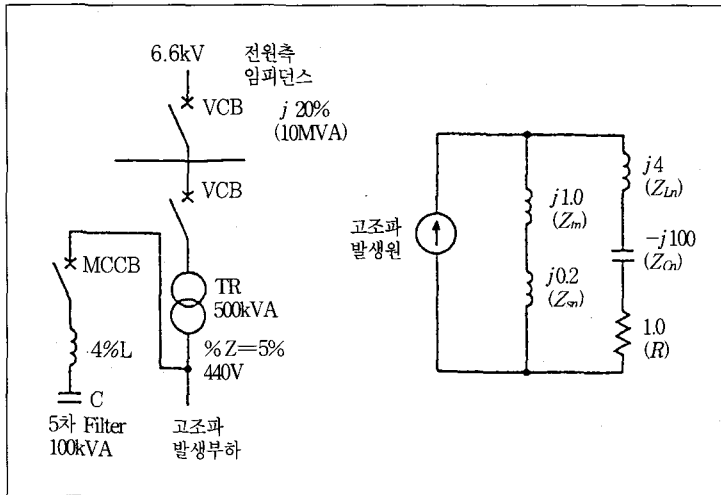
(1) 수동 Filter의 용량선정

- 5차 고조파 전류의 상한치=3.5A
- 5차 고조파 발생전류=7.0A, 전압 6.6kV, 가동률 50%일 때
- 5차 Filter의 용량

$$= \sqrt{3} \times (7A - 3.5A) \times 6.6KV \times \frac{1}{0.5}$$



<그림 7-5> 고조파 필터



〈그림 7-6〉 수동 Filter 설치 예

= 80KVA → 100KVA

(2) 설치효과

발생고조파 전류 : 제5차 고조파 전류를 7A라 하면

- ① 임피던스를 기준용량 10MVA PU로 변환하여 계산
 임피던스 : $Z_{sn} = j 20\% / 100\% = j 0.2$

② 기본파에 의한 계산

$$Z_m = j 10MVA \times 5\% / 0.5MVA \times 100\% = j 1.0$$

$$Z_{cn} = -j 10MVA / 0.1MVA = -j 100$$

$$Z_{Ln} = -j 100 \times 0.04 = -j 4,$$

$$R = 4 \times 5 / 20 = 1.0$$

③ 5차 유출전류의 계산

유출전류

$$= \text{발생전류} \times (Z_{Ln} + Z_{cn} + R) / (Z_{Ln} + Z_{cn} + R + Z_{sn} + Z_m)$$

$$= 7A \times 1.0 / (1.0 + j 1 + j 5)$$

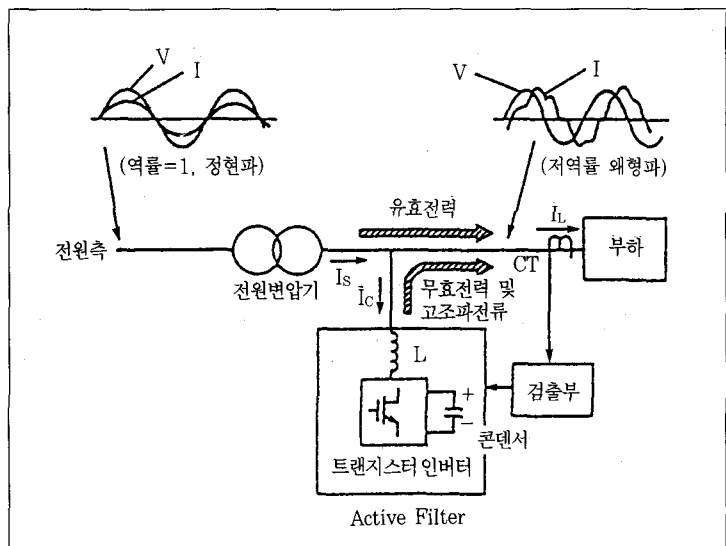
$$= 7A \times 0.16 = 1.12A$$

- ④ 효과 : 억제율은 $(7A - 1.12A) \times 100 / 7A = 84.0\%$ 가 된다.

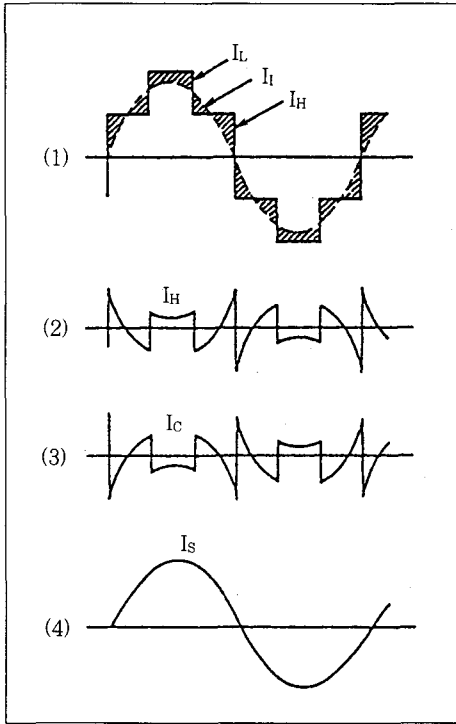
마. Active Filter(능동 Filter)에 의한 억제대책

Active Filter는 수동 Filter와 같이 공진 특성을 사용하지 않고, 인버터 응용기술에 의하여 역위상의 고조파를 소거하기 위한 이상적인 Filter이다. 그림 7-7은 Active Filter의 접속도를 나타냈으며 그림 7-8에 동작파형을 그려 보았다.

그림과 같이 Active Filter는 고조파 발생부와 병렬로 접속한 것으로, 부하전류 I_L 을 CT에서 검출하고, 부하전류에 포함된 고조파 전류성분 I_H 를 끄집어 낸다. 이 I_H 는 전류제어의 기준 신호로서 인버터에 흐르는 전류를 제어하는 것으로, I_H 와 역위상의 전류 I_C 를 Active Filter로 흐르게 함으로써 전원전류에 포함된 고조파 전류성분을 상



〈그림 7-7〉 Active Filter 접속도

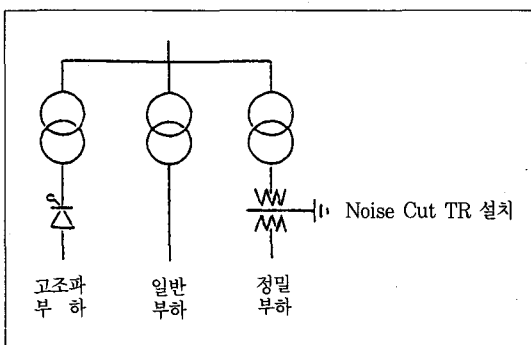


〈그림 7-8〉 동작파형

왜하기 때문에 전원 전류 I_s 는 정현파가 되는 것이다.

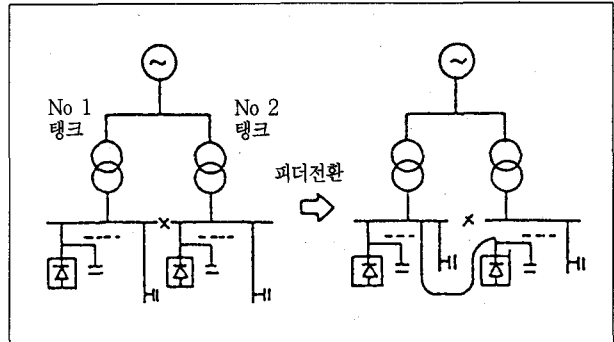
바. 계통분리

(1) 고조파 부하 분리



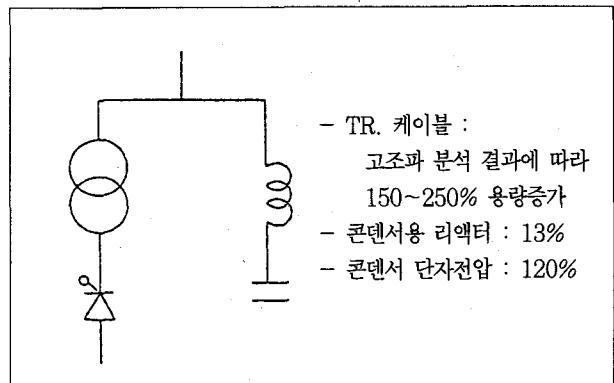
〈그림 7-9〉

(2) 계통의 변경



〈그림 7-10〉

사. 고조파 내량증가



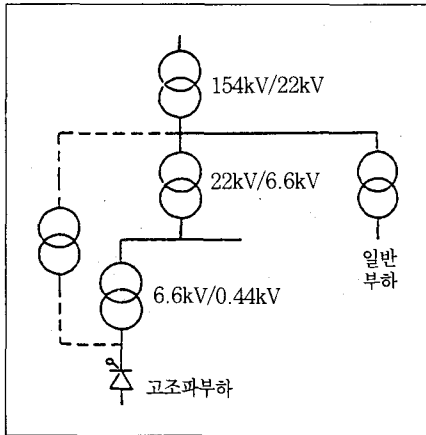
〈그림 7-11〉

아. 단락 용량 증대

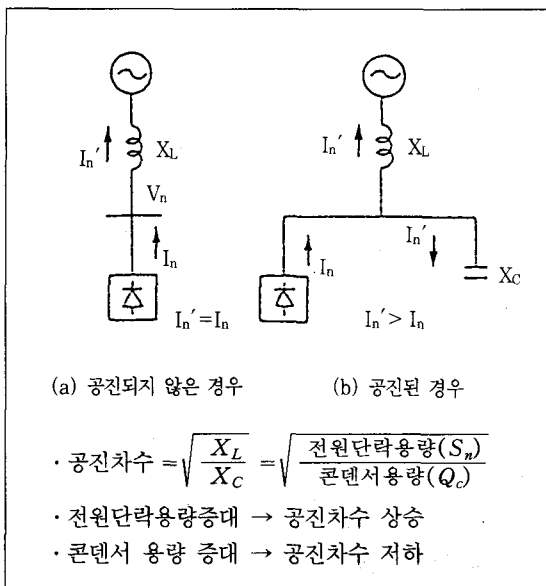
(1) 고조파 부하를 단락용량이 큰 계통에 연결 (전원측 임피던스를 작게) (그림 7-12 참조)

(2) 전원 단락 용량의 증대

부하의 고조파 발생량 I_n 은 고조파 전압 V_n 과 같이 비례하고 ($V_n = n \cdot X_L \cdot I_n$), 전원의 단락용량을 크게 하면 역비례하여 작아진다(그림 7-13 참조).



〈그림 7-12〉



〈그림 7-13〉

자. 기 타

억제효과는 미미하지만, 선로 임피던스는 저항, 리액턴스, 정전용량으로 구성되어 있기 때문에 고조파 전류를 각각 분류시킬 수 있으며 또한

고조파 발생부하와 유도전동기 부하가 동일 Feeder에 접속되어 있는 경우에 있어서는 고조파를 유도기 부하에 분류시켜 유출고조파 전류를 억제하는 방법이 있다. 이 경우도 마찬가지로 전원측의 임피던스보다 유도기 부하의 임피던스보다 유도기 부하의 임피던스가 매우 크기 때문에 고조파 억제효과는 매우 작다고 볼 수 있다.

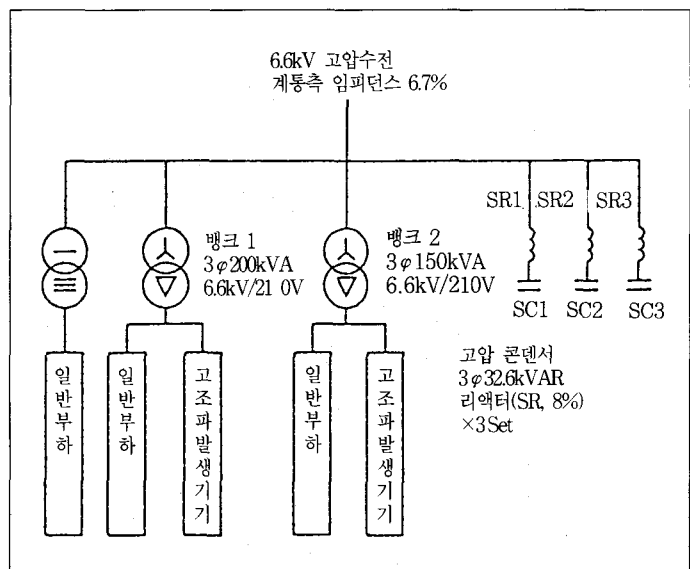
8. 고조파 계산의 실례

가. 시설개요

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

- 고조파 발생기

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



〈그림 8-1〉 단선결선도

나. 고조파 발생기기 명세

표 8-1 과 같이 각 기기의 정격 입력용량, 대수, 6펄스 환산계수(부록 : 별표 1 참조)를 기입하고, 6펄스 등가용량을 산출한다.

▶ 계산 예

AHU : 3상 브리지(DCL)부

$$K_i = 1.8$$

정격입력용량: 17.7kVA

대수 : 2대

$$P_i = 17.7 \times 2 = 35.4(\text{kVA})$$

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.

$$P_o = 331.1\text{kVA}$$

〈표 8-1〉 고조파 발생기기의 명세

①고조파 발생기기			상수	② 정격 입력용량 (kVA)	③ 대수	④(②×③) 합계용량 P _i (kVA)	⑤6펄스 환산계수 (K _i)	⑥(④×⑤) 6펄스등가용량 (K _i ×P _i) (kVA)
No	뱅크	기기명칭						
1	1	AHU		17.70	2	35.40	1.80	63.72
2	2	위생Pump		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
6펄스등가용량합계: P _o								331.10

(참고) 인버터 기기의 정격입력용량
정격입력용량의 산출방법은 다음 중 하나를 사용한다.

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

단, V : 200V 또는 400V

I : 기본파 전류

(주) 1.0228은 6펄스 변환기에서 실효치 전류와 기본 파전류의 비를 나타낸 수치임.

$$\text{나) 정격입력용량} = \text{전동기 정격출력} \times 1.25$$

이상과 같은 관계를 고려하여 범용 인버터의 교류측 입력치를 구하면 (부록 : 별표 2)와 같다.

다. 고조파 전류 발생량 산정

(1) 수전전압 환산 정격 전류치의 산출

$$\begin{aligned} &\text{수전전압 환산의 정격전류 (mA)} \\ &= (\text{기기정격용량} \times \sqrt{3} \times 6.6) \end{aligned}$$

▶ 계산예

AHU에 대하여 계산하면,

기기정격용량 : 17.7kVA,

대수 : 2대로서

수전전압환산의 정격전류

$$\begin{aligned} &= (17.7 \times 2 \times 100) / (\sqrt{3} \times 6.6) \\ &= 3096.7(\text{mA}) \end{aligned}$$

(2) 차수별 고조파 유출전류의 산출

차수별 고조파 유출전류 (mA)

$$= \text{정격전류치} \times \text{가동률} \times \text{고조파전류 발생률}$$

① AHU에 대하여 계산하면,

정격전류치 : 3096.7mA

기기 최대가동률 : 55%

고조파전류발생률: 30%(5차), 13%(7차),

(부록 : 별표 3 참조)

$$\begin{aligned} &5\text{차 고조파 유출전류} : 3096.7 \times 0.55 \\ &\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \times 0.3 = 511(\text{mA}) \end{aligned}$$

7차 이상에 대해서도 동일하게 계산한다.

(참고) 기기 최대가동률 산정

고조파 발생기기의 최대가동률은 고조파 발생기기의 총용량과 실가동중인 기기가 최대로 될 때의 용량과의 비를 말하는데 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.

(3) 고조파 유출전류 상한치의 산출

(부록 : 별표 4)를 참조하여 계약전력 1kW당의 고조파 전류 상한치에 계약전력을 곱하면 고조파 유출전류 상한치를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{고조파 유출전류 상한치(mA)} \\ &= \text{계약전력 1kW당 고조파 유출전류 상한치} \\ &\quad \times \text{계약전력} \end{aligned}$$

예를 들어 5차 고조파 유출전류 상한치를 구하면, 수전전압 6.6kV의 경우의 상한치는 3.5mA/kW이므로 5차 고조파 유출전류 상한치 = 3.5 × 270 = 945(mA)가

된다.

(주) 고조파 유출전류 상한치

전력변환장치의 향후 보급동향 등을 고려하여 장래의 고조파전압 왜형률을 예측하고, 2010년까지 고조파 환경 목표레벨을 유지하기 위하여 필요한 고조파 전류의 유출 상한치를 일본 전기협동연구회(고조파 대책 전문 위원회 : '90년 6월)에서 계산 검토된 수치임.

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

(4) 대책여부판정

각 차수마다 고조파 유출전류 및 고조파 유출전류 상한치를 구하여 표로 만들면 표 8-2와 같으며, 대책여부판정은

고조파 유출전류 > 고조파 유출전류 상한치 : 대책요
이 예에서는 5차 및 7차 고조파 유출전류가 상한치를 상회하기 때문에 대책이 필요한 것을 알 수 있다..

<표 8-2> 고조파 전류발생량 산정

(계약전력 ① 270kW)

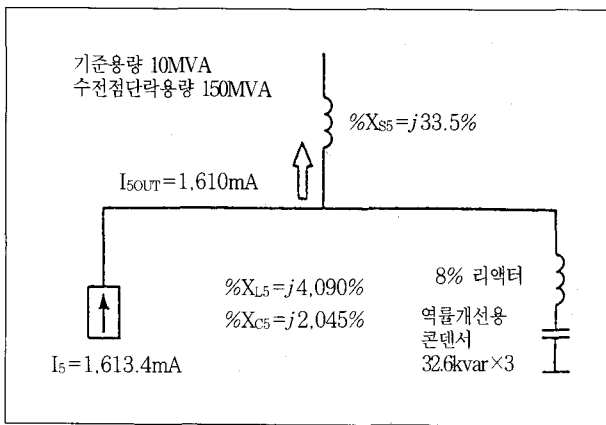
No	뱅크	기기명칭	①(④×k)수전전압 환산의 정격전류치 (mA)	⑧ 기기최대가동률 (%)	⑩(⑦×(a)×⑧) 차수별 고조파 유출전류(mA) (정격전류치×가동률×고조파전류 발생률)							
					5차	7차	11차	13차	17차	19차	23차	25차
1	1	AHU	3096.7	55	511.0	221.4	143.1	85.2	80.0	54.5	51.1	37.5
2	2	위생 Pump	1907.0	30	171.6	74.4	48.1	28.6	26.9	18.3	17.2	12.6
3	1	엘리베이터	2082.0	25	338.3	213.4	44.2	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
⑩ 합 계					1636.4	897.4	315.9	226.8	170.0	118.3	106.4	76.5
⑩ ((a)×⑩)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
대책여부판정					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

라. 고조파 유출 억제대책

(1) 고압측에 콘덴서를 설치할 경우

일반적인 수변전설비에서 콘덴서는 거의 고압(6.6kV) 모선에 접속되어 있으며 그림 8-2와 같이 고조파 발생기로부터 발생하는 고조파 전류는 직렬 리액터와 콘덴서의 직렬회로와 전원측으로 분류하게 된다.



〈그림 8-2〉 콘덴서 고압측 설치
(제5고조파 Impedance Map)

제5고조파에 대해서 계산해보면 다음과 같다.

① 계통측 임피던스의 계산

· 기본과 임피던스

$$\begin{aligned} \%X_S &= j \frac{\text{기준용량}(MVA)}{\text{수전점단락용량}(MVA)} \times 100 \\ &= j \frac{10(MVA)}{150(MVA)} \times 100 = j 6.7(\%) \end{aligned}$$

· 제5고조파 임피던스의 계산

$$\%X_{S5} = \%X_S \times 5 = j 33.5(\%)$$

② 콘덴서 임피던스의 계산

· 기본과 임피던스

$$\begin{aligned} \%X_C &= -j \frac{\text{기준용량}(MVA)}{\text{콘덴서용량의합계}(MVA)} \times 100 \\ &= -j \frac{10}{0.326+0.326+0.326} \times 100 \\ &= -j 10224.9(\%) \end{aligned}$$

· 제5고조파 임피던스

$$\%X_{C5} = \%X_C \div 5 = -j 2045(\%)$$

③ 리액터 임피던스의 계산

· 기본과 임피던스의 계산

$$\begin{aligned} \%X_L &= |\%X_C| \times \text{직렬리액터 용량비} \\ &= j 10225 \times 0.08 = j 818(\%) \end{aligned}$$

· 제5고조파 임피던스

$$\%X_{L5} = \%X_L \times 5 = j 818 \times 5 = j 4090(\%)$$

④ 제5고조파 유출전류의 산출

유출전류(I_{50UT})는 제5고조파 발생전류(I_5)에 분류비를 곱하여 다음과 같이 구할 수 있다.

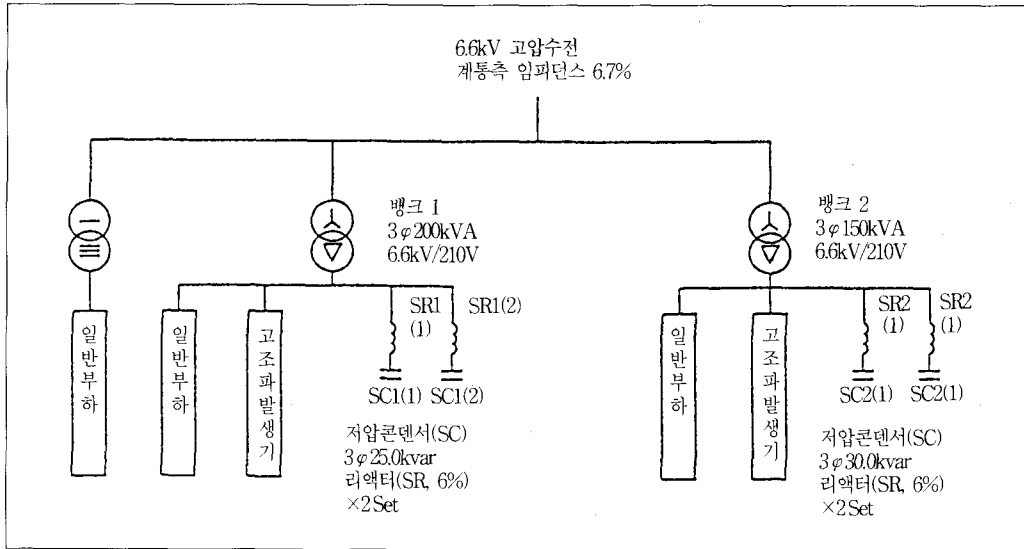
$$I_{50UT} = I_5 \times \frac{\%X_{L5} + \%X_{C5}}{\%X_{S5} + (\%X_{L5} + \%X_{C5})} (mA)$$

각 임피던스의 수치를 대입하면

$$\begin{aligned} I_{50UT} &= 1636.4 \times \frac{j 4090 - j 2045}{j 33.5 + (j 4090 - j 2045)} \\ &= 1636.4 \times 0.984 = 1610(mA) \end{aligned}$$

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% 정도밖에 되지 않기 때문에 ACL, DCL 등과 조합할 경우 효과가 있을 수 있다고 생각된다.



〈그림 8-3〉 단선결선도(콘덴서 저압측 설치)

(2) 저압측에 콘덴서를 설치할 경우

그림 8-3 과 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

$$\%X_{SS} = j 33.5(\%)$$

· 제5고조파 발생전류 $I_5 = 1187.6 \text{ mA}$

- 변압기 임피던스

$$\%X_{T5} = j \frac{\text{기준용량}(MVA)}{\text{변압기용량}(MVA)} \times \%Z \times 5(\%)$$

$$= j \frac{10}{0.2} \times 5 \times 5 = j 1250(\%)$$

- 콘덴서 임피던스 $\%X_{C5} = -j 3333.3\%$

- 리액터 임피던스 $\%X_{L5} = -j 5000\%$

② No. 1 Bank에서 고압측으로 유출하는 제5고조파 전류

$$I_{5OUT} = I_5 \frac{\%X_{L5} + \%X_{C5}}{(\%X_{SS} + \%X_{T5}) + (\%X_{L5} + \%X_{C5})}$$

$$= 1187.6 \times \frac{(j 5000 - j 3333.3)}{(j 33.5 + j 1250) + (j 5000 - j 3333.3)}$$

$$= 1187.6 \times 0.5649 = 670.9(mA)$$

③ 동일하게 No. 2 Bank에 대해서도 계산하면

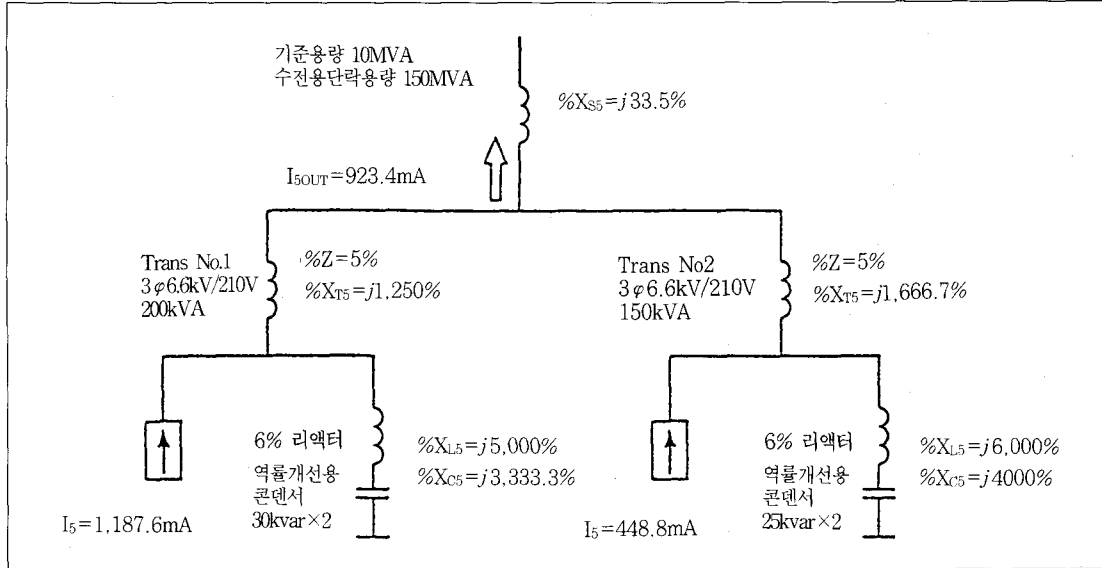
$$I_{5OUT} = 242.6(mA)$$

④ 계통측으로 유출전류는

$$I_{5OUT} = 670.9 + 242.6 = 913.5(mA)$$

⑤ 대책여부 판정

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



<그림 8-4> 콘덴서 저압측 설치(제5고조파 Impedance Map)

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 필요한 데, 이러한 억제대책에는

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

<표 9-1> 계통전압 파형왜율 억제목표

(단위 : %)

차 수	3	5	7	11	13	17	19	23	25~29	계(총합)
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

의 흐름억제

- (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 9-1 과 같이 배전계통에서의 종합 파형왜율은 5% 이내로 관리하고 있다.

또한, 고조파 유출전류의 저감효과는 크게 역률개선용 콘덴서 및 수동 Filter에 의한 흡수효과, Active Filter에 의한 상쇄효과(Cancel효과)로 나눌 수 있다. 이러한 고조파 문제해결은 기기제조사, 전력수용가, 전력회사의 상호 협력하에 종합적인 관리가 필요하며, 이런 측면에서 볼 때 전력계통에서의 고조파 전류 억제목표값, 기기의 고조파 내량 수준 등에 대한 목표값을 구체적으로 설정하여 엄격한 관리 및 지도, 개선이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

〈부 록〉

〈별표 1〉 환산계수

회로분류	회로종별		환산계수 Ki	이 용 예
1	3상 브리지	6펄스 변환장치	K11=1	· 직류 전철변전소 · 전기화학 · 기타
		12펄스 변환장치	K12=0.5	
		24펄스 변환장치	K13=0.25	
2	단상 브리지	직류 전류 평활	K21=1.3	· 교류식 전기철도차량
		혼합 브리지	K22=0.65	
		관일 브리지	K23=0.7	
3	3상 브리지 (콘덴서 평활)	리액터 無	K31=3.4	· 범용 인버터 · 엘리베이터 · 냉동공조기 · 기타
		리액터 有(교류측)	K32=1.8	
		리액터 有(직류측)	K33=1.8	
		리액터 有(교·직류측)	K34=1.4	
4	단상 브리지 (콘덴서 평활)	리액터 無	K41=2.3	· 범용 인버터 · 냉동공조기 · 기타
		리액터 有(교류측)	K42=0.35	
5	차여 3상 브리지 (전압형 PWM 제어) (전류형 PWM 제어)	-	K5=0	· 무정전 전원장치 · 통신용 전원장치 · 엘리베이터 · 계통연계용 분산전원
6	차여 3상 브리지 (전압형 PWM 제어)	-	K5=0	· 통신용 전원장치 · 교류식 전기철도차량 · 계통연계용 분산전원
7	교류 아크로	단독 운전	K9=0.2	· 제강용
8	기 타		K10:申告値	

〈별표 2〉 범용 인버터의 교류측 입력치

전동기 용량 (kW)	입력정격용량(kVA)		기본파 입력전류(A)		기본파 입력용량 전동기 용량	전동기 용량 (kW)	입력정격용량(kVA)		기본파 입력전류(A)		기본파 입력용량 전동기 용량
	200V	400V	200V	400V			200V	400V	200V	400V	
0.4	적용 제기 외종	0.57	적용 제기 외종	0.81	1.425	90	104	293	147	1.156	
0.75		0.97		1.37	1.293	110	127	357	179	1.155	
1.5		1.95		2.75	1.30	132	대	153	대	216	1.159
2.2		2.81		3.96	1.277	160		183		258	1.144
3.7		4.61		6.50	1.246	200		229		323	1.145
5.5		6.77		19.1	9.55	1.231		220		252	355
7.5	9.07	25.6	12.8	1.210	250	286		403		1.144	
11	13.1	36.9	18.5	1.191	280	319	상	상	450	1.139	
15	17.6	49.8	24.9	1.173	315	359			506	1.140	
18.5	21.8	61.4	30.7	1.178	355	405			571	1.141	
22	25.9	73.1	36.6	1.177	400	456			643	1.140	
30	34.7	98.0	49.0	1.157	450	512			723	1.138	
37	42.8	121	60.4	1.157	500	570	외	외	804	1.140	
45	52.1	147	73.5	1.158	530	604			852	1.140	
55	63.7	180	89.9	1.158	560	638			900	1.139	
75	87.2	245	123	1.163	630	718			1,013	1,140	
									1,013	1,140	

〈별표 3〉 개별기기의 고조파 전류 발생량

1. 3상 브리지

(단위 : %)

차 수	5	7	11	13	17	19	23	25
6펄스 변환장치	17.5	11.0	4.5	3.0	1.5	1.25	0.75	0.75
12펄스 변환장치	2.0	1.5	4.5	3.0	0.2	0.15	0.75	0.75
24펄스 변환장치	2.0	1.5	1.0	0.75	0.2	0.15	0.75	0.75

2. 단상 브리지

(단위 : %)

차 수	5	7	11	13	17	19	23	25
직류전류평활	19	13	7.0	5.5	3.0	-	-	-
혼합 브리지	6.3	8.7	3.2	1.0	2.3	-	-	-
균일 브리지	8.8	6.2	3.8	2.6	2.2	-	-	-

- 제어각 : 60도
- 교류 리액턴스 : 15%
- 직류 리액턴스 : 150%상당(전원 주파수 환산)
- 부하 : 100%

3. 3상 브리지(콘덴서 평활)

(단위 : %)

차 수	5	7	11	13	17	19	23	25
리액터 無	65	41	8.5	7.7	4.3	3.1	2.6	1.8
리액터 有 (교류측)	38	14.5	7.4	3.4	3.2	1.9	1.7	1.3
리액터 有 (직류측)	30	13	8.4	5.0	4.7	3.2	3.0	2.2
리액터 有 (교·직류측)	28	9.1	7.2	4.1	3.2	2.4	1.6	1.4

- 교류측 리액터 : 3%
- 직류측 리액터 : 축적에너지가 0.08~0.15ms 상당 (100% 부하환산)
- 평활 콘덴서 : 축적에너지가 15~30ms 상당(100% 부하환산)
- 부하 : 100%

4. 단상 브리지(콘덴서 평활)

(단위 : %)

차 수	5	7	11	13	17	19	23	25
리액터 無	50	24	5.1	4.0	1.5	1.4	-	-
리액터 有 (교류측)	6.0	3.9	1.6	1.2	0.6	0.1	-	-

- 교류측 리액터 : 20%
- 평활 콘덴서 : 축적에너지가 15~30ms 상당(100% 부하환산)

5. 교류 아크로

(단위 : %)

차 수	5	7	11	13	17	19	23	25
용해로	4.3	1.7	-	-	-	-	-	-

- 회로 리액턴스 45~60%
- 부하 : 100%
- 대수 : 1대

〈별표 4〉 계약전력 1kW당 고조파 유출 상한치

(단위 : mA/kW)

수전전압	5차	7차	11차	13차	17차	19차	23차	23차초과
6.6kV	3.5	2.5	1.6	1.3	1.0	0.9	0.76	0.70
22kV	1.8	1.3	0.82	0.69	0.53	0.47	0.39	0.36
33kV	1.2	0.86	0.55	0.46	0.35	0.32	0.26	0.24
66kV	0.59	0.42	0.27	0.23	0.17	0.16	0.13	0.12
77kV	0.50	0.36	0.23	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10
110kV	0.35	0.25	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.07
154kV	0.25	0.18	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05
220kV	0.17	0.12	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
275kV	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02

참 고 문 헌

1. 日本電氣協會, 電氣技術基準調査委員會, “高調波制御對策技術指針”, JEAG 9702-1995
2. 日本電氣設備學會誌, “特集 : 高調波 流出制御技術”, 제16권 4호, 1996. 4
3. 韓國電氣安全公社 電氣設備 安全點檢 結果報告書, “고조파에 의한 장애 및 대책”, 1995. 3
4. 大韓電氣學會 기술조사보고, “고조파 저감기술 현황과 전망”, 제7호, 1993. 8
5. 송연빈, “전기설비의 고조파 발생원인과 대책” 1996.
6. B. K. Bose, “Power Electronics & AC Drives”
7. N. Mohan. “Power Electronics”
8. 技多利, “電氣設備 技術計算 핸드북”