

配電系統에 있어서의

高調波와 高調波 障害의 實態

最近의 電氣技術의 急速한 發展과 에너지節約 機運의 高潮에 따라 다이리스터 등을 應用한 電力制御技術의 多樣化·大容量化가 進展되어 配電系統에 있어서의 高調波問題의 重要性은 今後 더욱 增大할 것으로 豫想되고 있다.

여기에서는 配電系統에 있어서의 高調波의 實態와 高調波에 의한 障害實態에 對해서 日本의 경우를 들어 그 概要와 最近의 狀況을 記述하기로 한다.

1. 配電系統에 있어서의 高調波의 實態

(1) 高調波의 測定方法

日本의 9個 電力會社의 配電線을 地域特性 및 負荷密度에서 繁華街(10MW/km² 以上), 工場地域(1~10MW/km²), 住宅地域(1~10MW/km²), 農村地域(1MW/km² 以下)의 4個地域으로 分類하여 그가운데 大容量의 高調波發生 負荷가 없는 것으로 생각되는 配電線을 各地域에 따라 하나씩 合計 36個 配電線을 골라 測定을 했다.

測定項은 變電所의 피어터電流, 線間電壓 및 當該 配電線 末端의 線間電壓으로 했다. 測定은 AD 샘플링·패에리解析에 의한 測定器를 사용, 1時間 間隔으로 24時間에 걸쳐 實施했다.

그리고 큰 高調波發生 負荷가 있는 경우의 變電所의 線間電壓 및 當該피어터電流波形的의 一例를 그림 1에 表示한다.

(2) 地域別의 實態

表 1은 地域別로 變電所의 電壓歪曲率 및 高調波 電流實効值의 最大値를 그 發生時刻과 함께 表示한 것이다.

住宅, 農村地域의 高調波는 거의 19~21시에 最大를 表示하나, 繁華街, 工場地域에서는 深夜부터 午前中에 걸쳐 最大를 나타내는 것이 많은데 그 平均値의 差는 甚하다.

歪曲率: 次式으로 定義된다.

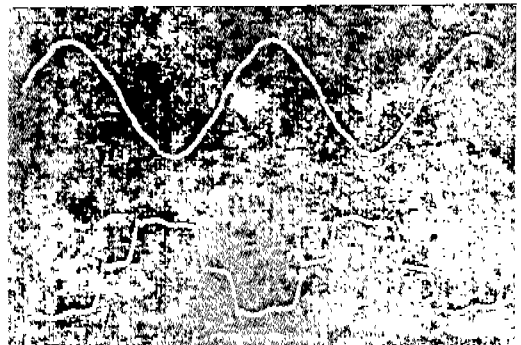
$$\text{歪曲率} = \frac{\text{高調波만의 實効值}}{\text{基本波의 實効值}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} C_n^2}}{C_1}$$

여기서는, C_n : 第 n 次 高調波 實効值

* 高調波含有率: 次式으로 定義된다

$$\text{高調波含有率} = \frac{n\text{次高調波의 實効值}}{\text{基本波의 實効值}} = \frac{C_n}{C_1}$$

여기에서, C_n : 第 n 次 高調波 實効值



〈그림 1〉 高調波 電壓·電流波形

〈表-1〉 電壓・電流의 地域別 最大歪曲

電力會社	高調波電壓		高調波電流	
	最大電壓歪曲 [%] (時刻)	最大含有次數 [次] (%)	實効值最大値 [A] (時刻)	最大含有次數 [次] [A]
A社	1.82 (8°)	5 (1.58)	4.5 (13°)	3 (2.7)
B社	2.45 (20°)	5 (2.26)	13.4 (24°)	5 (10.7)
C社	1.24 (21°)	5 (1.06)	3.7 (8°)	7 (3.5)
D社	2.78 (8°)	5 (2.73)	12.7 (8°)	5 (12.6)
E社	1.42 (8°)	5 (1.41)	4.3 (22°)	5 (3.4)
F社	2.44 (9°)	5 (2.41)	8.3 (9°)	5 (9.2)
G社	1.70 (7°)	5 (1.59)	14.7 (8°)	5 (13.9)
H社	1.04 (20°)	5 (0.85)	7.1 (20°)	19 (5.9)
I社	3.11 (20°)	5 (2.21)	20.9 (8°)	5 (20.0)
平均	2.00	—	10.1	—

(a) 繁華街

高調波電壓		高調波電流	
最大電壓歪曲 [%] (時刻)	最大含有次數 [次] [%]	實効值最大値 [A] (時刻)	最大含有次數 [次] [A]
2.23 (21°)	5 (2.2)	15.7 (7°)	3 (12.4)
1.16 (23°)	5 (1.08)	3.8 (6°)	13 (3.2)
3.15 (18°)	5 (3.05)	44.4 (7°)	5 (43.4)
1.83 (24°)	5 (1.82)	11.7 (3°)	5 (8.4)
2.47 (7°)	5 (2.46)	6.5 (7°)	5 (6.1)
2.10 (8°)	5 (1.49)	30.5 (8°)	11 (16.4)
1.28 (1°)	7 (0.84)	6.2 (19°)	11 (4.4)
1.68 (21°)	5 (1.51)	24.3 (21°)	5 (23.5)
2.73 (10°)	3 (2.57)	23.6 (13°)	5 (23.5)
2.07	—	18.5	—

(b) 工場地域

電力會社	高調波電壓		高調波電流	
	最大電壓歪曲 [%] (時刻)	最大含有次數 [次] (%)	實効值最大値 [A] (時刻)	最大含有次數 [次] [A]
A社	3.04 (21°)	5 (2.92)	7.8 (8°)	5 (6.8)
B社	1.39 (21°)	7 (1.04)	6.7 (19°)	5 (3.6)
C社	0.90 (20°)	5 (0.74)	6.7 (21°)	3 (4.1)
D社	2.24 (19°)	5 (2.08)	7.0 (7°)	7 (5.3)
E社	1.15 (19°)	3 (1.01)	2.5 (13°/15°)	5 (1.9)
F社	0.98 (13°)	5 (0.71)	5.5 (21°)	5 (5.1)
G社	0.59 (21°)	5 (0.49)	7.4 (21°)	5 (6.1)
H社	1.36 (21°)	5 (1.26)	3.2 (8°/17°)	5 (2.4)
I社	3.13 (21°)	3 (2.20)	7.1 (21°)	5 (6.3)
平均	1.64	—	5.99	—

(c) 住宅地域

高調波電壓		高調波電流	
最大電壓歪曲 [%] (時刻)	最大含有次數 [次] [%]	實効值最大値 [A] (時刻)	最大含有次數 [次] [A]
1.9 (13°)	5 (1.85)	5.7 (8°)	5 (4.5)
2.16 (14°)	3 (1.74)	8.3 (1°)	5 (8.2)
1.12 (19°)	5 (1.06)	5.3 (21°)	5 (3.9)
1.58 (21°)	5 (1.53)	6.1 (17°)	3 (4.5)
1.94 (20°)	5 (1.89)	9.1 (12°)	5 (6.9)
2.85 (21°)	5 (2.81)	4.3 (20°)	5 (4.3)
1.12 (21°)	5 (0.94)	4.6 (21°)	5 (3.5)
1.81 (21°)	5 (1.73)	8.5 (21°)	5 (8.3)
2.99 (21°)	5 (2.44)	6.3 (20°)	5 (8.2)
1.94	—	6.69	—

(d) 農村地域

電壓歪曲, 高調波電流와 함께 工場地域이 가장 크며, 다음은 繁華街, 農村, 住宅地域의 順으로 되어 있으며 平均値의 으로는 地域別의 傾向을 보이고 있는데 配電線 個個로는 相當한 不均衡된 樣相을

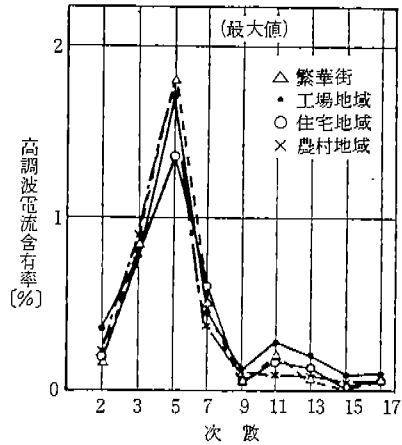
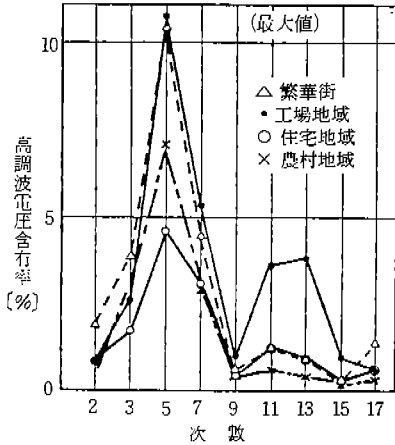
보이고 있다.

(3) 高調波 次數別의 實態

實測結果 가운데, 各配電線의 高調波 含有率의

〈表-2〉 高調波의 發生頻度가 큰 次數(各社 5次數抽出)

電壓歪曲發生頻度	地域	測定場所	次數																							
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	16	17	18	19	21	23	29					
電壓歪曲發生頻度	繁華街	變電所	8	9	2	9	0	9		2		6														
		末端	6	9	1	9	2	8		2		5		1		1						1				
	工場	變電所	7	8	2	9	1	8	1		1	4	3												1	
		末端	5	7	1	9	0	9		3	2	3	3		1	1										1
	住宅	變電所	5	9	1	9	0	9		1		7	4													
末端		2	9	0	9	0	9		5		7	2	1		1											
農村	變電所	7	9	2	9	0	9		2		4	0	1		1		2									
	末端	5	9	0	9	0	9		5		5	1				1	1									
計	變電所	27	35	7	36	1	35	1	5	1	21	7	1		1		2									
	末端	18	34	2	36	2	35		15	2	20	6	2	1	3	1	2								1	
高調波電流[A]의 發生頻度	繁華街	變電所	5	9	1	9	1	9		1	3	4														
		"	3	6	1	9		9	1	1	2	4	1		1										1	
	工場	變電所	3	9	0	9		9		1		7	4													
		"	2	9	1	9		9		2		5	1													
	住宅	變電所	13	33	3	36	1	36	1	5	2	21	13	1	0	8	0	2								
"																										



(그림-2) 地域別 高調波 電流·電圧 含有率

큰 것부터 5 次數를 抽出하여 次數마다 카운트한 結果를 表 2에 表示한다. 이 結果에서 高壓配電系統에 包含되는 主要한 高調波次數는 第 3, 5, 7, 11 次이며 이들 4 個의 調波가 各地域의 電壓電流에 包含되는 基本的인 成分인 것으로 생각된다.

또한 測定한 高調波 가운데 比較的 레벨이 높은 第 2 調波 및 第 3 ~ 17의 奇數調波에 對해서 地域別로 各 調波最大値의 平均을 그림 2에 表示한다. 그림에서 알 수 있듯이 地域別의 高調波 패턴은 거의 類似하며, 電壓, 電流와 함께 第 5 調波가 모든 地域에서 最大를 나타내고 있다. 그리고 第 5 調波의 電流含有率은 모든 地域에서 11% 以下로 工場地域 (10.7%), 繁華街 (10.4%), 農村地域 (7.1%), 住宅地域 (4.6%)의 順으로 되어 있다. 그리고 電壓含有率은 繁華街 (1.8%), 工場地域 (1.72%), 農村地域 (1.68%), 住宅地域 (1.35%)로 되어 있다.

(4) 電源과 末端的 電壓歪曲의 比較

그림 3에 住宅地域에 있어서 電壓歪曲率의 變電所와 配電線末端値 및 負荷電流値의 24時間 變化의 一例를 表示한다.

이들은 거의 같은 傾向으로 變化하여 變電所보다는 末端쪽이 若干 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 傾向은 測定한 거의 모든 配電線에서 볼 수 있으며 變電所와 末端差의 大小는 線路 임피던스, 高調波 發生源의 分布狀況에 의해 달라질 것으로 생각되기 때문에 配電線에 있어서의 高調波管理測定은 特定地點의 測定만으로 把握하는 것은 困難하며 複

數地點의 測定에 의한 把握이 必要하다.

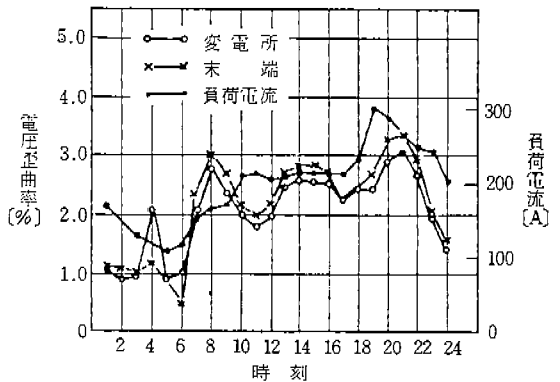
2. 高調波障害의 實態

(1) 調査方法

高調波에 의한 障害의 發生防止對策을 講究하는 觀點에서 1978年 3月에 9 個 電力會社 共同으로 1973年 부터 78年 까지의 6 年間的 配電系統에 있어서의 電氣機器 및 電氣設備에 對한 高調波에 의한 障害發生狀況에 對한 양키이트調査 (設備狀況, 高調波發生源, 高調波次數, 크기等)을 實施했다.

이 結果 18件의 障害例가 報告되었는데 內譯은 다음과 같다.

① 配電系統 (6.6kV)을 發生源으로 하여, 障害가 發生한 事例는 16件으로서 障害를 받은 機器는 27



(그림-3) 變電所 및 配電線 末端에 있어서의 電壓歪曲 (住宅地域)

(表-3) 高調波電流에 의해 障害를 받은 機器 및 障害의 種類

障害를 받는 機器類		障害 種類	年度別發生台數					比率 [%]	
			1974 以前	75	76	77	78		計
調 相 用 機 器	電力用 콘덴서	리액틀	1					1	2.4
		리액틀無		5	16 (14)	4	4	29 (14)	70.8 (34.1)
	콘덴서 용 리액틀	過負荷 過熱 異常音 振動				1 3		1 3	2.4 7.4
		小計	1	5	16 (14)	8	4	34 (14)	83.0 (34.1)
其 他 機 器	過電流繼電器	誤動作 電流코일의燒損		1				1	2.4
	配電用遮斷器	誤動作	1					1	2.4
	變壓器	異常音					4	4	9.8
	漏電遮斷器	誤動作				1		1	2.4
	小計		1	1		1	4	7 (14)	17.0 (34.1)
合 計			2	6	16 (14)	9	8	41 (14)	100.0 (34.1)

(註) 1. 同一의 高調波發生源에서 障害를 받은 機器類가 2 種類以上 있을 경우는 各各 1台로 하고 있다.
 2. ()는 高調波가 特高(77kV, 66kV)에서 傳搬하여, 配電系統(6.6kV)의 機器에 障害가 發生한 台數 및 百分率%의 再掲를 表示.

台였다.

② 特高系統(77kV, 66kV)을 發生源으로 配電系統에 傳搬하여 障害가 發生한 事例는 2件, 障害를 받은 機器는 14台였다.

(2) 障害發生事例

高調波에 의해 障害를 받은 機器類와 그 障害種類의 年度別 發生台數를 表3에 表示한다. 表에서도 알 수 있듯이 障害를 받은 機器 41台中 電力用 콘덴서가 30台로 全體의 73.2%를 點하고 있으며,

다음은 變壓器가 4台, 콘덴서用 리액틀이 4台였다.

한편 障害種類로서는 機器의 異常音이 電力用 콘덴서 30台, 變壓器 4台, 콘덴서用 리액틀 3台的 計 37台로서 全體의 90.2%를 차지하고 있으며 그 외에 過電流繼電器, 配線用遮斷器 및 漏電遮斷器의 誤動作이 各 1台, 그리고 리액틀燒損이 1台였다.

또 高調波發生源 系統은 配電系統(6.6kV)이 65.9%, 나머지는 特高系統(77kV, 66kV)의 34.1%였다.

(3) 高調波 障害의 發生源

發生機構別로는 다이리스터의 半導體를 使用한 機器 또는 整流器로 부터의 發生이 22台로 全體의 73.3%를 차지하고 있는데, 內譯은 다이리스터 레오나아드裝置 9台, 사이클론바아터가 3台, 다이리스터와 실리코운整流器를 使用한 抵抗熔接器 3台, 其他 7台로 되어 있다. 다음으로 아아크爐 등 非線形機器에서 發生한 것이 2台로 全體의 6.7%이며, 나머지 6台(20%)에 對해서는 發生源이 不明했다(表4 參照).

이들의 機器로 부터 發生한 障害를 준 高調波 電流의 次數는 3次, 5次, 7次의 低次의 것이 殆半이었다.

3. 今後의 課題

이번號에 記述한 高調波의 實態는 高調波 發生機器가 있어도 小容量의 것만이 接續되고 있다. 이는 從來의 代表的인 配電線의 것으로서 거의 常時存在하고 있는 高調波를 가르키고 있는 것으로 생각된다. 이와같은 配電線에 있어서도 電壓歪曲率이 3%를 넘는 경우가 있기 때문에 콘덴서等に 障害가 發生할 可能性이 있는 것으로 보고 있다. 電壓歪曲率이 5% 가까이 되고 있는 配電線도 이미 存在하고 있는 것으로 생각된다.

또한 다이리스터 應用分野의 擴大나 이에 따른 生産量의 動向에서 생각하여, 何等의 對策도 講究되지 않은 채 推移하면 發生高調波의 位相差에 의한 相殺를 考慮해도 配電系統의 高調波는 앞으로 增加할 것으로 豫想된다.

〈表-4〉高調波의 發生源

高調波의 發生源		高調波에의 한障害發生 事 (台數)
發生機構	器 器 機 機	
다이리스터等 半導體를使用 한機器또는整 流器에서發生 하는것	다이리스터레오나아드裝置	9(30.0)
	사이크로콤바터	3(10.0)
	抵抗熔接機(다이리스터 및 실리 콘整流器使用)	3(10.0)
	抵抗熔接器(다이리스터使用)	2(6.7)
	靜止形周波數變換器(다이리스 터使用)	2(6.7)
	다이리스터整流器	1(3.3)
	電氣爐(히터)附屬制御盤(다 이리스터使用)	1(3.3)
	실리콘整流器	1(3.3)
	실리콘整流器附直流行卷電動機 (分卷界磁卷線다이리스터制御)	
	水銀整流器	
사이러트론		
小 計	22(73.3)	
아아크爐等非 線形機器에서 發生하는것	아아크爐	2(6.7)
不 明	不明(共振에의한推定) 不明	1(3.3) 5(16.7)
合 計		30(100.0)

(註) ()는 全体에 대한 百分率[%]을 표시함.

이와같은 系統의 實態 및 負荷機器의 動向에서
今後 配電系統에 있어서 高調波障害의 未然防止를
圖謀하기 爲해서는 系統을 이 以上 增加시키지 않
는 方向에서의 対策이 必要하다. 이와같은 觀點에
서 今後 생각할 수 있는 諸問題에 대하여 다음과
같이 記述한다.

(1) 詳細한 實態把握

配電系統의 高調波는 不特定多數의 發生源이 合
成된 것으로서 上位系統 및 低壓系統에서도 影響을
받고 있는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 系統解
析을 하여 效果的인 対策을 實施하기 爲해서는 各

電壓階級에 있어서의 不特定한 負荷에서의 高調波
實態와 그 影響度를 明確히 하는 同時에 複數高調
波源의 合成에 關한 計算手法의 確立이 必要하다.

(2) 適切한 高調波管理 目標值의 檢討

合理的인 高調波 抑制技術이 確立되기 까지에는
當面한 大容量의 高調波 發生負荷를 對象으로한 系
統의 高調波管理에 依한 抑制対策이 必要로 하게
된다. 여기에는 前記한 實態를 十分 把握한 後에
適切한 管理目標 및 管理手法의 檢討가 必要할 것
이다.

(3) 合理的인 障害防止 技術의 檢討

配電系統의 高調波는 不特定多數의 發生源에 起
因, 基本的인 次數는 除去하기 어려운 低次調波이
니만큼 系統에 있어서의 対策은 困難하다. 따라서
拔本의 対策으로는 發生機器 또는 發生源에 있어서
의 抑制対策이 基本이며, 여기에는 (1)에서 記述한
것같은 實態 및 發生機器 障害를 받는 機器의 現狀
技術을 充分히 把握한 後에 關係 各方面의 콘센서
스를 얻어 가면서 國家經濟의 爲로 가장 效率의인
障害防止 対策 技術確立을 爲한 檢討를 하는 것이
必要하다.

(4) 配電系統에 適用되는 解析·管理手法의 確立

配電系統의 高調波는 負荷의 稼動狀況, 系統定數
等 多數의 要因에 依해 影響되어 時間의 爲로나 位
置의 爲로도 變化가 크기 때문에, 系統 個個에 있어
서의 対策에 關해서는 固有의 系統에 對해서 어느
程度 詳細한 解析이 必要로 하게 된다. 따라서 豫
測計算手法도 各種 開發되어 있으나 앞으로 데이터
의 蓄積·分析等에 의해 需要家 申請時의 事前檢討
障害發生時의 原因糾明等에 使用되는 簡便한 精度
가 좋은 解析手法, 管理測定手法의 開發이 必要하
다.

