

## A Method to Estimate the Background Level of Harmonics in Distribution Systems

金成洙\* · 姜龍澈\*\* · 南淳烈\* · 朴鍾根\*\*\* · 明聖鎬<sup>§</sup>

(Sung-Soo Kim · Yong-Cheol Kang · Soon-Ryul Nam · Jong-Keun Park · Sung-Ho Myoung)

**Abstract** - To predict the background level of harmonics produced by household appliances, information on the site, capacity, and usage pattern of these loads are necessary. However, as household appliances are distributed widely and various in type, it is difficult to know these kinds of information accurately. This paper presents a method for estimation of background level of harmonics produced by distributed harmonic sources with readily available data. Large industrial customers are excluded from this study. In this paper, customers are grouped into three classes, i.e. residential, commercial, and industrial. Typical customers for each class are assumed and characteristics of their equipments are modeled. As the proposed method does not require harmonic measurement, it can be employed to forecast voltage total harmonic distribution (VTHD) in the future. An illustrative example is described.

**Key Words** : Background level of Harmonics, Distribution System, Household appliance

### 1. 서 론

산업용 인버터, 사무용 자동화기기 등과 같은 비선형 부하로부터 발생하는 고조파로 인한 전력 계통의 사고 및 장애 가능성이 점점 늘어나고 있다. 이러한 경향은, 에너지 절약과 고효율의 전력 에너지 공급을 목적으로 사용되는 전력 전자 기술의 진보로 인하여 점점 심화되는 추세이다. 따라서, 전력 계통에서 고조파를 일정한 수준 이하로 관리하기 위하여 미국, 유럽, 일본 등 여러 나라에서는 고조파 관리 규제를 작성하여, 이를 시행해 오고 있다. [1,2]

배전 계통에서 발생하는 고조파 장애 문제에 효율적으로 대처하기 위해서는 비선형 부하로부터 계통으로 유입된 고조파 전류가 계통 내에 어떻게 분포하는지와 유입된 고조파 전류 특성에 대하여 알아야 하며, 이에 대한 많은 연구가 있었다. [3~6] 하지만, 이들 연구에서는 대용량의 고조파 발생원 및 배전 계통에 대한 정보 (배전 선로의 임피던스, 각 모선의 부하)를 정확히 알 수 있다고 가정하여, 고조파 발생원으로부터 계통으로 유입된 고조파가 다른 모선으로 전파되는 특성을 계산하였다. 지금까지는 가정, 사무용 기기로부터 발생한 전체 고조파의 양이 대용량 전력변환 기기로부터 발생한 고조파의 양에 비해 무시할 만큼 적었으므로, 이와 같은 접근 방식이 유효하다고 할 수 있다.

그런데, 최근 들어 가정, 사무용 기기의 사용이 급격히 증가하면서, 이러한 다수의 소용량 기기로부터 발생하는 고조파의 전체 양이 증가하여 고조파 장애에 적지 않은 영향을 미치게 되었다. 따라서 계통의 고조파 분포 상황을 정확하게 분석하기 위해서는, 대용량의 고조파 발생기에 의한 고조파 뿐만 아니라, 가정, 사무용 기기에서 발생한 고조파도 동시에 고려해야 한다. 가정, 사무용 기기에 의한 고조파 분포를 분석하기 위해서는 고조파 발생원에 대한 여러 정보 (부하의 위치, 용량, 사용 패턴 등)가 필요하다. 그런데, TV, 컴퓨터, 에어컨 등과 같이 일반 수용가에서 사용하는 소용량 기기는 넓은 지역에 분포되어 있으므로, 이와 같은 정보를 정확히 알 수 없기 때문에, 대용량 고조파 발생기에 의한 고조파 전파 특성을 분석하는 방법과는 다른 접근방식이 필요하다. 이러한 문제에 대처하기 위하여 변전소 인출단에서 해당 배전선의 고조파 전류를 측정하여 이로부터 배전계통 내에서 고조파의 분포를 추정하는 방법이 제시되었다. [7]

본 논문에서는 TV, 컴퓨터, 에어컨 등과 같은 가정, 사무용 기기에 의한 고조파 분포를 배전 계통에서 비교적 쉽게 얻을 수 있는 데이터로부터 계산하는 방법을 제시하고자 한다. 이를 위하여 모선별로 부하의 형태를 가정용, 산업용, 업무용 등 3가지로 구분하고, 각 업종별로 표준 수용가를 설정하여, 고조파 발생기의 사용 형태를 모의한다. 각 모선에서 계통으로 유입되는 고조파 전류는 업종별 부하와 고조파 발생기의 고조파 발생량에 관한 정보를 사용하여 계산하고, 이로부터 각 조파의 전압 왜형을 및 총 전압 왜형을 계산한다.

### 2. 가정, 사무용 기기에 의한 고조파 분포 추정 방법

가정, 사무용 기기에 의한 고조파를 해석하는데 있어서

\* 正 會 員 : 서울大 電氣工學部 博士課程

\*\* 正 會 員 : 全北大 電子情報工學部, 專任講師, 工博

\*\*\* 正 會 員 : 서울大 電氣工學部 教授 · 工博

<sup>§</sup> 正 會 員 : 韓國電氣研究所 · 工博

接受日字 : 1998年 10月 9日

最終完了 : 1999年 4月 2日

어려운 점은 고조파 발생원의 시간적, 공간적인 분포에 대하여 정확한 데이터의 취득이 어렵다는 것이다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위하여 배전계통에 연결되어 있는 부하를 세가지 업종으로 분류 하였고, 업종별 부하의 공간적인 분포와 업종별 부하의 시간적인 특성을 결합하여 고조파 분포를 추정하였다. 제시한 방법은 크게 모선부하 추정 및 기본파 조류 계산, 고조파 전류원 계산, 고조파 분포 계산의 3단계로 구성되며, 이를 흐름도로 나타내면 그림 1과 같다.

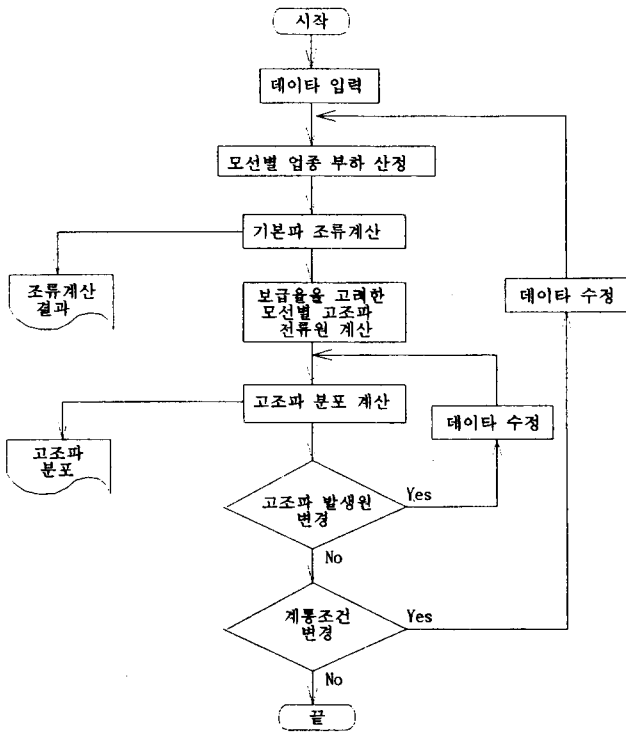


그림 1 고조파 해석 흐름도  
Fig. 1 Flow Chart for harmonics estimation

2.1 모선별 부하 추정 및 기본파 조류 계산

배전계통에서 고조파 분포에 대한 해석을 하려면, 먼저 각 모선에서 계통으로 유입되는 고조파 전류원에 대한 정보를 얻어야 한다. 그런데, 유입되는 고조파 전류의 크기는 가동되고 있는 고조파 발생 기기의 용량에 따라 변하기 때문에 해석 시점에서 모선별 고조파 발생기기의 가동 상태를 추정해야 한다. 이를 위하여 각 모선별 부하를 추정하고, 이를 바탕으로 기본파 회로의 조류 계산을 하게 된다. 다음 절에서는 배전계통에서 비교적 쉽게 얻을 수 있는 데이터로부터 모선별 부하를 추정하는 방법을 제시하고자 한다.

2.1.1 모선에서의 부하 추정

배전계통의 가정, 사무용 기기로부터 발생하는 고조파 문제를 해석하는데 있어서 가장 중요한 것은 고조파 발생원에 대한 모의이다. 고조파 발생원을 모의하기 위해서는, 주어진 시점에서의 각 모선별로 부하를 추정해야 한다. 그런데, 비선형 부하의 보급 및 사용 패턴은 업종별 (주택용, 업무용, 산업용)로 유사한 특징을 갖고 있으므로, 본 논문에서는 부

하를 세가지 업종으로 분류하여 모선별 부하를 추정하였다. 고조파 계산을 하고자 하는 배전선의 회선별 단선도로부터 선로의 연결상태에 대한 정보와 배전선의 구간별 임피던스 및 설치된 설비 용량을 알 수 있다. 또한, 배전선을 관리하는 배전사업소로부터 업종에 따른 부하 구성비를 얻을 수 있을 것이다.

각 모선별로 산출된 업종별 부하의 설비용량으로부터 어느 주어진 시점에서 실제로 사용되는 부하를 구하기 위해서는, 업종별로 다른 부하의 사용 패턴을 고려해야 하는데, 그림 2는 업종별 부하곡선의 예를 나타내고 있다. 각 업종별로 자신의 피크 시간대에서 수용율이 같다고 가정하면, 업종별 부하의 설비 용량과 부하곡선으로부터, 그 시간대에서 가동되는 업종별 부하 용량의 비를 얻을 수 있다. 이와 같이 얻어진 업종별 부하 용량의 비를 고려하여, 변전소 인출단에서 측정된 전력과 비교함으로써 주어진 시간대에서의 모선별 부하를 추정할 수 있다.

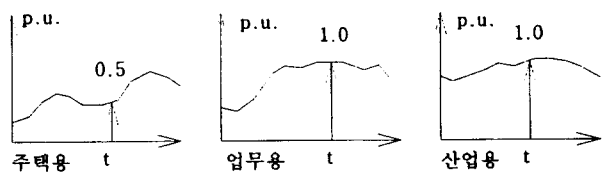


그림 2 업종별 부하 곡선의 예  
Fig. 2 Load curves for each class

2.1.2 기본파 조류 계산

조류 계산을 하는 기본 목적은 고조파 전류원의 크기를 구하기 위한 부하 전류와 모선별 고조파 전류원의 위상차를 구하기 위한 모선별 전압의 위상각을 구하는데 있다.

배전계통에서는 시정수가 커서 송전 계통에서 사용하는 조류 계산 알고리즘을 적용할 경우, 수렴이 보장되지 않는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 극복할 수 있도록 수지상 계통의 특성을 활용하여 수렴 특성이 매우 양호하고 효율적인 알고리즘을 사용하였다. [8] 이 알고리즘에서는 배전계통이 수지상 계통이라는 점을 고려하여 변전소 모선으로부터 인접 모선 사이의 전압, 전류의 관계식으로부터 변전소 인출단에서 주어지는 유효, 무효 전력과 전압 크기로부터 말단 모선까지의 유효, 무효 전력과 전압을 순차적으로 구하게 된다.

그림 3과 같이 1개의 간선으로만 이루어진 특수한 경우를 대상으로 조류계산 알고리즘을 설명하면 다음과 같다.

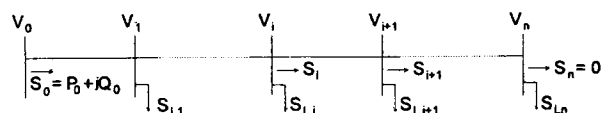


그림 3 하나의 간선으로 이루어진 계통  
Fig. 3 A distribution system with single lateral

여기서  $V_0$ 는 변전소 모선의 전압을 나타내고 주어진 값이라 가정한다. 선로는  $z_i = r_i + jx_i$ 의 임피던스로 되어 있고 부하는  $S_{Li} = P_{Li} + jQ_{Li}$  로 되어 있다. 변전소 모선단의

인출 전력을  $S_0 = P_0 + jQ_0$  라 하면, 1번 모선의 전압과 2번 모선쪽으로 나가는 전력은 아래 식으로 표현된다.

$$V_1 = V_0 - z_1 I_0 = V_0 - z_1 \frac{S_0^*}{V_0^*} \quad (1)$$

$$S_1 = S_0 - S_{loss1} - S_{L1} = S_0 - z_1 \frac{|S_0|^2}{V_0^2} - S_{L1} \quad (2)$$

식 (2)를 실수부와 허수부로 분리하고, 식 (1)을 제곱하여 전압크기의 제곱으로 나타내면 일반적으로  $i$ 번째 모선에서의 전압과 전력을 아래와 같은 반복식을 사용하여 구할 수 있다.

$$P_{i+1} = P_i - r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - P_{Li} \quad (3)$$

$$Q_{i+1} = Q_i - x_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - Q_{Li} \quad (4)$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(r_i P_i + x_i Q_i) + (r_i^2 + x_i^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (5)$$

식 (3)-(5)가 조류계산에서 사용되는 기본식으로, 주어진 변전소 전압 ( $V_0$ )과 가정한 인출단의 조류 ( $P_0 + jQ_0$ )로부터 위 식을 반복 적용하여 말단의 조류 ( $P_n + jQ_n$ )가 0이 될 때까지 인출단의 조류를 조정하면 된다.

한개의 간선만이 존재하는 계통에 대한 조류방정식을 지선이 존재하는 경우까지 확장시키는 경우를 고려하면 다음과 같다. 그림 4와 같이 간선의  $k$ 번 모선에서 지선이 분기되어 나가는 경우에도 앞의 간선에 대해서와 마찬가지로 조류 방정식 (3)-(5)를 적용할 수 있으며 이 때의 경계조건은  $V_{k0} = V_k$ ,  $P_{kn} = 0$ ,  $Q_{kn} = 0$  으로 된다.

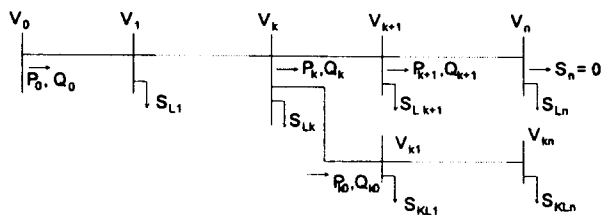


그림 4 간선과 지선이 있는 계통  
Fig. 4 A System with two or more laterals

이 경우에도, 인출단 조류 ( $P_{k0} + jQ_{k0}$ )를 가정하고 간선의 계산과정에서 구해지는  $k$ 번 모선의 전압 ( $V_k$ )을 사용하여, (3)-(5) 식을 반복 적용하여 지선 말단의 조류 ( $P_{kn} + jQ_{kn}$ )를 계산할 수 있다. 결국, 지선이 있는 경우에도 간선만 있는 경우와 마찬가지로 각 지선의 인출단 조류 ( $P_0 + jQ_0, P_{k0} + jQ_{k0}$ )를 가정하고 말단의 조류가 0이 되도록 이 값을 조정하여 문제를 해결할 수 있다. [9]

### 2.2 모선별 고조파 발생량

일반적으로 대용량의 고조파 발생원은 비선형 부하로부터 발생하는 고조파 전류를 각 고조파 차수별로 분해하여 이들

을 병렬로 연결한 전류원으로서 모의한다. 이때 고조파 전류원의 크기는 고조파 기기의 사용량에 비례한다고 할 수 있다. 왜냐하면 고조파 전류는 부하에 공급되는 전류의 파형이 왜곡되기 때문에 발생하며, 사용하는 부하의 종류에 따라 파형이 왜곡되는 형태가 일정하다고 가정할 수 있기 때문이다. 즉, 각 차수별로 기본파 전류에 대한 고조파 전류 크기의 비가 일정하기 때문에, 전압이 모선에 따라 거의 변하지 않는다고 가정하면(일반적으로 정격전압의 95% - 105% 사이를 유지), 고조파 전류는 기기의 사용량에 비례하게 된다. 따라서 구간별 고조파 발생량은 업종별 표준 수용가의 고조파 발생기로부터 발생하는 고조파 전류의 기본파 전류에 대한 비율을 구한 다음, 앞에서 구한 업종별 부하에 이 값을 곱하여 업종별로 고조파 전류원의 크기와 위상을 구하고, 이들의 벡터 합을 취함으로써 얻어진다.

먼저, 고조파 발생기별 보급율 및 수용율로부터 주어진 시간대의 업종별 표준 수용가에서 평균적으로 사용하는 기기의 사용 용량 ( $KVA_s$ )은 식 (6)과 같이 추정할 수 있다.

$$KVA_s = \sum_{i \in E_s} (cap_i \cdot diff_i \cdot use_i) \quad (6)$$

여기서,  $E_s$ 는 업종별 기기의 집합이고,  $cap_i$ ,  $diff_i$ ,  $use_i$ 는 각각 기기  $i$ 의 용량, 보급율, 주어진 시간에서의 수용율을 나타낸다. 기기의 보급율은 전체 수용가에 대한 해당 기기를 보유하고 있는 수용가 수의 비율, 수용율은 주어진 시간에 해당 기기 용량에 대한 평균적인 사용 전력의 비율을 나타낸다.

그리고, 표준 수용가로 유입되는 기본파 전류는 기기의 용량에 비례하므로, 해당 기기에서 발생하는 고조파 전류와 표준 수용가로 유입되는 기본파 전류 크기에 대한 비율은 기기별 고조파 발생량으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_{hi} = I_{1s} \cdot \frac{cap_i \cdot diff_i \cdot use_i}{KVA_s} \cdot \left(\frac{I_h}{I_1}\right)_i \quad (7)$$

여기서,  $I_{1s}$ ,  $I_{hi}$ 는 표준 수용가의 기본파 전류 및 고조파 전류이고,  $\left(\frac{I_h}{I_1}\right)_i$ 는 기기  $i$ 의 기본파 전류에 대한 고조파 전류의 비이다. 업종별 표준 수용가에서 발생하는 고조파 전류는 각 기기에서 발생하는 고조파 전류를 합하게 되므로 기본파 전류에 대한 비율도 각각을 합하면 된다.

$$\left(\frac{I_h}{I_1}\right)_s = \sum_{i \in E_s} \alpha_i \quad (8)$$

여기서  $\alpha_i$ 는  $\frac{cap_i \cdot diff_i \cdot use_i}{KVA_s} \cdot \left(\frac{I_h}{I_1}\right)_i$  이다. 한편, 표준 수용가에서 사용하는 기기가 여러 수용가에서 동시에 사용할 경우, 고조파 발생량의 평균값은 단독으로 사용할 때 나오는 값보다 작게 된다. [10,11] 이러한 차이는 고조파의 차수가 높아질 수록 더 커지게 되므로, 고조파를 계산하기 위해서는 중첩 계수를 고려해야 한다. 중첩계수는 여러 대를 동시에 접속하였을 때 전원측에 흐르는 고조파 전류와 한 대를 접속하였을 때의 전류합에 대한 비율을 말한다. 여

러 대를 동시에 접속하게 되면 각 기기에서 나오는 고조파 전류가 서로 상쇄될 수 있기 때문에 중첩계수는 일반적으로 1보다 작은 값을 가지게 된다. 그리고 같은 모선에 연결된 부하라 하더라도 각 기기에서 발생하는 고조파의 위상차 등으로 인하여 실제 계통으로 유출되는 고조파 전류는 위에서 구한 값보다 작을 것이다. 따라서 이러한 차이를 보정하는 중첩계수를 도입하면, 각 모선에서 업종별 수용가로부터 발생하는 고조파 전류의 비율은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{I_h}{I_1} = \sum_s p_s \cdot \left(\frac{I_h}{I_1}\right)_s \cdot m_s \quad (9)$$

여기서  $p_s$ 는 부하의 구성 비율이고,  $m_s$ 는 업종별 중첩 계수이다. 따라서 각 구간별로 업종별 수용가에 의해 발생한 5조파 전류는 조류계산에서 얻어진 기본파 전류 벡터에 식(9)의 비율을 곱하여 얻을 수 있다.

### 2.3 고조파 분포 계산

앞에서 구한 각 구간별, 차수별로 고조파 전류원의 값과 선로 임피던스 및 전원 임피던스로부터 키르히호프 법칙을 적용하면 고조파 전압의 분포를 얻을 수 있다. 계통도와 선로 임피던스를 사용하여 고조파 차수별로 어드미턴스 행렬을 구하고, 고조파 전류원 데이터로부터 다음 연립방정식을 풀면 각 구간별 고조파 전압을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_1^h \\ \vdots \\ I_n^h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11}^h & \dots & y_{1n}^h \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1}^h & \dots & y_{nn}^h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^h \\ \vdots \\ V_n^h \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서,  $h$ 는 고조파 차수이고,  $n$ 은 모선수이다. 각 구간에서 총전압왜형율 ( $V_i^{THD}$ )을 구하기 위해서는 다음과 같이 기본파 전압의 크기와 고조파 전압의 벡터 합과의 비를 취하면 된다.

$$V_i^{THD} = \frac{\sqrt{(V_i^2)^2 + (V_i^3)^2 + \dots}}{|V_i^1|} \quad (11)$$

### 3. 사례 연구

본 절에서는 제시한 알고리즘을 적용하여 가정, 사무용 기계에 의한 고조파를 계산하는 과정을 예로서 보이고자 한다. 여기에서 사용되는 수치는 대부분 임의적인 값으로 추정된 결과에 대한 신뢰성이 거의 없다고 할 수 있다. 본 연구의 목적은 가정 사무용기기로 인한 고조파를 추정하는 방법을 제시하고자 하는 것으로, 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 정확한 자료조사와 실계통 측정을 통한 데이터의 검증작업이 필요할 것으로 생각된다.

그림 5는 사례 연구에서 다룰 예제 계통을 나타낸다. 각 모선 아래의 숫자는 그 모선에 설치된 설비용량을 나타내고, 괄호 안의 숫자는 그 모선에서의 주택용, 업무용, 산업용 구성비를 나타낸다.

업종별 구성비와 모선에 할당된 부하로부터 각 업종별 설비용량을 산출하면 그림 6과 같다. 여기서 각 모선의 부하 용량은 평일의 업종별 부하곡선이 그림 2와 같다고 가정

하고 구한 것이다.

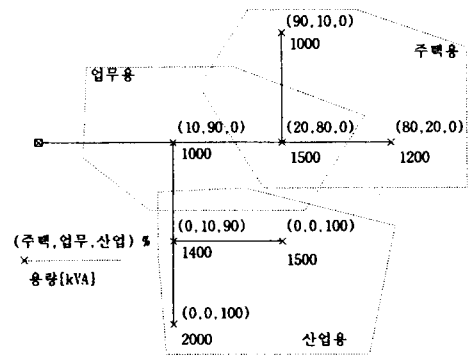


그림 5 계통 구성 및 업종 구성비

Fig. 5 Network configuration and composition ratios of each class

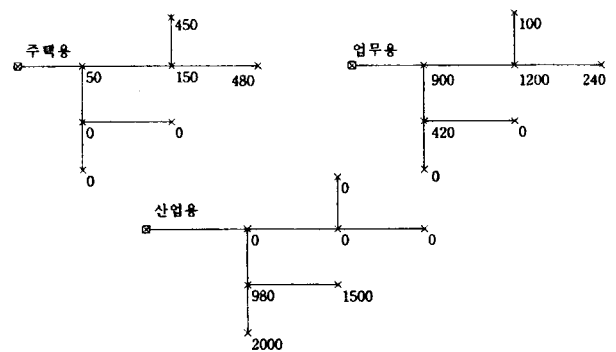


그림 6 모선에서의 평일 15시의 업종별 부하 용량

Fig. 6 Load capacity of each class at 15h on weekdays

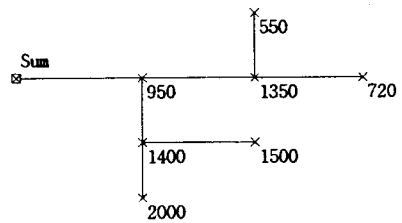


그림 7 모선별 부하 용량

Fig. 7 Load capacity at each bus

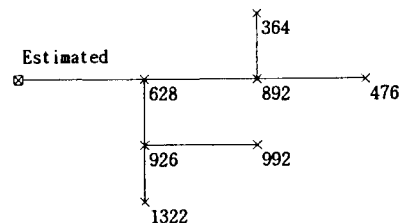


그림 8 인출 전력이 5600 [kW]인 경우 모선별 부하

Fig. 8 Estimated load at each bus in case of 5600 [kW]

그림 6의 업종별 부하 용량의 비를 알 수 있으므로, 이 값들을 합하면 업종별 구성비와 사용시간대를 고려한 모선별 부하 용량을 얻을 수 있고, 이를 그림 7에 나타내었다. 여기에, 변전소의 인출전력을 5600 [kW]라 하고, 손실이 없다고 가정하여 구한 모선별 부하를 그림 8에 나타내었다.

예를 들어 업종별 표준 수용가에서 사용하는 기기에 대하여 각각의 용량, 보급율, 시간대별(평일, 주간) 수용율, 고조파 발생량(각 고조파 전류 크기의 기본파 전류에 대한 비율)이 표 1, 표 2, 표 3과 같이 주어졌다고 가정하자.

고조파 발생기기는 통상적으로 많이 사용되면서 고조파를 배출하는 기기로 외국의 예를 참조하여 선정하였고, 기기 용량과 고조파 발생량도 외국의 예를 참조한 것이다. 보급율이나 수용율은 본 논문에서 임의로 선정한 값으로 이에 대해서는 보다 정확한 자료조사가 필요하다.

통상적으로 배전계통에서 가장 크게 나타나는 고조파 성분은 5조파이므로, 여기서는 5조파만을 고려하였다. 다른 차수의 고조파에 대해서도 같은 방법을 적용하면 된다. 배전계통에서 5조파가 가장 크게 나타나는 이유는 일반적으로 고조파의 크기는 차수에 반비례하여 작아 지고, 짝수 고조파는 거의 발생하지 않으며, 3의 배수 고조파는 변압기 결선 등의 이유로 인하여 자체적으로 상쇄되기 때문에 그 다음으로 가장 낮은 고조파 차수는 5이기 때문이다.

표 1 주택용 표준 수용가의 고조파 발생기기

Table 1 Equipments of a typical residential customer

	TV	컴퓨터	조명	비디오	오디오	에어컨	전자렌지	기타
용량VA	77	81.1	85.7	28.3	118.7	592	508	1500
보급율%	100	30	60	70	40	10	15	50
수용율%	40	20	10	30	40	40	10	40
5조파%	66	70	74	82	45	54	9	0

표 2 업무용 표준 수용가의 고조파 발생기기

Table 2 Equipments of a typical commercial customer

	컴퓨터	복사기	에어컨	전원장치	조명	조광기	기타
용량VA	81.1	42	714	711	85.7	245.2	2000
보급율%	40	50	40	30	50	40	50
수용율%	80	70	70	90	80	80	50
5조파%	70	79	49	27	74	21	0

표 3 산업용 표준 수용가의 고조파 발생기기

Table 3 Equipments of a typical industrial customer

	6펄스 변환기	12펄스 변환기	에어컨	전원장치	조명	조광기	기타
용량kVA	33	50	5.3	3.56	4.28	2.45	80
보급율%	20	15	40	60	80	50	50
수용율%	70	70	80	90	80	80	50
5조파%	25	0.5	39	27	74	21	0

고조파 전류의 발생량을 다음과 같이 추정할 수 있다. 표 1 - 표 3으로 주어진 고조파 발생기기별 보급율 및 수용율로부터 주어진 시간대에 업종별 표준 수용가에서 평균적으로 사용하는 기기의 사용 용량과 5조파의 비율은 식 (6)-(8)을 이용하여 구하였고, 이를 업종별로 표 4 - 표 6에 나타내었다. 중첩 계수를 0.5라 가정하고, 각 모선에서 업종별 수용가로부터 발생하는 고조파 전류의 비율을 식 (9)를 이용하여 구하고, 이를 그림 9에 나타내었다.

표 4 주택용 표준 수용가의 제 5고조파 전류의 비율

Table 4 Harmonic ratios of a typical residential customer

	TV	컴퓨터	조명	비디오	오디오	에어컨	전자렌지	기타	합계
사용량 W	30.8	4.9	5.1	5.9	19	23.7	7.6	300	397
5조파 %	5.1	0.9	1.0	1.2	2.2	3.2	0.2	0.0	13.7

표 5 업무용 표준 수용가의 제 5고조파 전류의 비율

Table 5 Harmonic ratios of a typical commercial customer

	컴퓨터	복사기	에어컨	전원장치	조명	조광기	기타	합계
사용량 W	26.0	14.7	200.0	191.9	34.2	78.5	500	1045.3
5조파 %	1.7	1.1	9.4	5.0	2.4	1.6	0.0	21.2

표 6 산업용 표준 수용가의 제 5고조파 전류의 비율

Table 6 Harmonic ratios of a typical industrial customer

	6펄스 변환기	12펄스 변환기	에어컨	전원장치	조명	조광기	기타	합계
사용량 kW	4.6	5.3	1.7	1.9	2.7	1.0	20	37.2
5조파 %	3.1	0.1	1.8	1.4	5.4	0.6	0.0	12.3

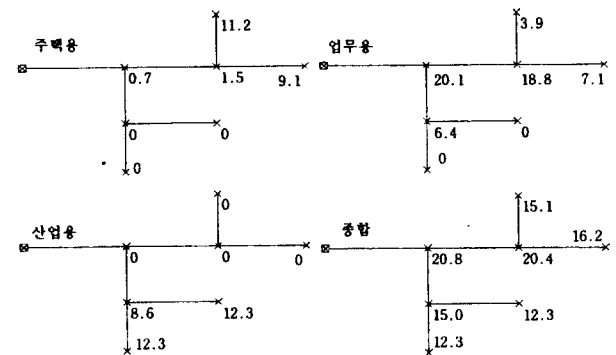


그림 9 업종별 부하에 의한 5조파 전류 크기의 비율

Fig. 9 The 5th harmonic current ratio for each class

따라서 각 모선으로 유입되는 5 조파 전류는 조류 계산에서 얻어진 기본파 전류 벡터에 그림 9의 비율을 곱하여 얻을 수 있고, 이를 그림 10에 나타내었다. 다른 차수의 고조파 발생원도 같은 방법으로 구할 수 있다.

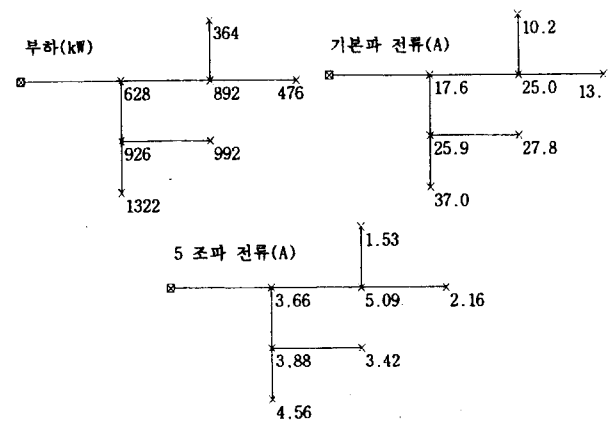


그림 10 모선별 기본파 전류와 5조파 전류의 유입량

Fig. 10 Fundamental frequency load current and the injected 5th harmonic current

최종적으로, 식 (11)을 이용하여 5 조파 전압 왜형률 및 총 전압 왜형률을 계산하였고, 이를 그림 11에 나타내었다. 그림에서 각 모선 위의 숫자는 5조파 전압 왜형률을, 아래 숫자는 총 전압 왜형률을 나타낸다.

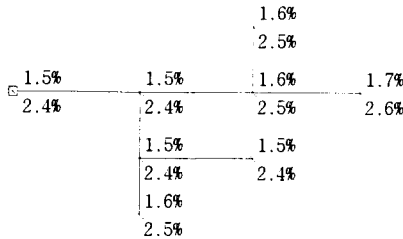


그림 11 5조파 전압 왜형률 및 총전압 왜형률  
Fig. 11 The 5th harmonic voltage distortion and VTHD

4. 결론

본 논문에서는 사무자동화 기기와 같이 용량, 분포, 운전 패턴 등의 데이터를 구하기 어려운 기기에 의하여 발생하는 고조파의 분포를 배전계통에서 계산하는 방식을 제안하였다. 기존의 고조파 분포 계산에 필요한 입력자료는 실제적으로 구하기 어려우므로 취득 가능한 데이터로부터 추정하는 방법을 제안하였다. 각 모선에서 부하와 고조파 발생량을 추정하기 위하여 주택용, 업무용, 산업용 각 업종별로 동일한 패턴으로 기기를 사용한다고 가정하였다. 추정에 필요한 데이터와 추정방법을 간단한 예를 통하여 보였다.

본 논문에서 사용한 수치는 대부분 임의적인 것으로 정확한 결과를 얻기 위해서는 많은 자료조사가 필요하다. 이러한 데이터가 구해지고 실측을 통하여 데이터의 검증이 이루어 진다면, 제안하는 방식은 고조파의 측정을 필요로 하지 않기 때문에 장래의 고조파 수준 예측에도 이용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] IEC 1000 Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 3 : Limits  
 [2] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Std 519-1992, IEEE  
 [3] A. E. Emanuel, J. Janczak, D. J. Pileggi, E. M. Gulachenski, C. E. Root, M. Breen, T. J. Gentile, Voltage Distortion in Distribution Feeders with Nonlinear Loads, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No. 1, pp. 79-87, January 1994  
 [4] T. H. Chen, M. S. Chen, K. J. Hwang, P. Kotas, E. A. Chebli, Distribution System Power Flow Analysis, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 3, pp. 1146-1152, July 1991  
 [5] S. M. Williams, G. T. Brownfield, J. W. Duffus, Harmonic Propagation on an Electric Distribution System : Field Measurement Compared with Computer Simulation, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, pp.547-552, April 1993

[6] A. E. Emanuel, J. Janczak, D. J. Pileggi, E. M. Gulachenski, M. Breen, T. J. Gentile, D. Sorensen, Distribution Feeders with Nonlinear Loads in the Northeast U. S. A. : Part I - Voltage Distortion Forecast, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, pp. 340-347, January 1995  
 [7] T. Hiyama, M. S. A. A. Hammam, T. H. Ortmeier, Distribution System Modeling with Distributed Harmonic Sources, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 1297-1304, April 1989  
 [8] M. E. Baran, F. F. Wu, Optimal Sizing of Capacitors Placed on a Radial Distribution System, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 735-743, 1989  
 [9] 한국전력공사 보고서, 배전계획 모형(CADPAD)의 한글화에 관한 연구, 1991  
 [10] A. Mansoor, W. M. Grady, A. H. Chowdhury, M. J. Samotyj, An Investigation of Harmonics Attenuation and Diversity Among Distributed Single-Phase Power Electronic Loads, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, pp. 467-473, January 1995  
 [11] A. Mansoor, W. M. Grady, P. T. Staats, R. S. Thallam, M. T. Doyle, M. J. Samotyj, Predicting the Net Harmonic Currents Produced by Large Numbers of Distributed Single-Phase Power Computer Loads, IEEE 95 WM 260-0 PWRD

저 자 소 개



김 성 수 (金成洙)  
 1964년 10월 15일생. 1987년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989-1994년 전기연구소 연구원. 현재 서울대 공대 전기공학과 박사과정

Tel : (02) 880-7257

강 용 철 (姜龍澈)

전기학회 논문지 제48A권 제2호 참조  
 Tel : (0652) 270-2391  
 E-mail : yckang@moak.chonbuk.ac.kr



남 순 열 (南淳烈)  
 1973년 12월 10일생. 1996년 서울대 공대 전기공학부 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 현재 서울대 공대 전기공학부 박사과정

Tel : (02) 880-7257

E-mail : ptsouth@plazal.snu.ac.kr



**박종근 (朴鍾根)**

1952년 10월 21일생. 1973년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1982년 일본 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 서울대 공대 전기공학부 교수

Tel : (02) 880-7241

E-mail : jkpark@plazal.snu.ac.kr



**명성호 (明聖鎬)**

1959년 3월 20일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1985년~현재 한국전기연구소 전기전자환경 연구실 근무

Tel : (0551) 80-1320