

## Characteristics on the Harmonic Sensitivity of an Induction Watthour Meter

張錫明\* · 李成浩\*\* · 朴榮泰<sup>§</sup>  
(S. M. Jang · S. H. Lee · Y. T. Park)

**Abstract** - The use of switching elements in power systems causes the current or voltage to involve harmonic waves. Harmonics bring about registration errors of the equipment for measuring power. In case the induction watthour meter designed on sinusoidal source is used in the measurement of power with harmonics, the precise measurement of power has many problems because harmonics cause a decrease of power factor and vibration by the unstable driving force on the aluminum disc. In this paper, analysis and test results on the harmonic sensitivity of an induction watthour meter is reported when the input voltage and current with harmonics were supplied to single-phase watthour meter.

**Key Words** : Induction watthour meter, Harmonics, Harmonic sensitivity, Registration error

### 1. 서 론

유고슬라비아 태생의 Tesla가 1895년에 미국으로 건너가, Westinghouse의 후원으로 나이아가라 폭포에 3725[kW]급의 교류 발전기 2대를 설치하여 발전을 시작한 이래로, 60[Hz] 또는 50[Hz]의 교류 정현파가 세계적인 상용전원이 되었다. 그런데 1990년대 들어 산업이 급속도로 발전하면서 각종 시스템의 구동에 VVVF 인버터에 의한 전원이 본격적으로 공급되기 시작하였다. 따라서 정현파 상용전원을 가변 주파수, 가변 전압, 전류 파형으로 변조하여 전력을 제어함으로써, 시스템의 구동에 적합하도록 변환하여 사용하는 것이 일반화되고 있다.

그런데 전력 생산자 및 공급자가 소비자에게 사용한 전력량만큼의 요금을 정확하게 부과하기 위해서는 소비된 전기에너지를 정밀하게 계량하는 것이 필수적이다. 이 경우의 측정 장치로는, 최근 극히 일부국가에서 디지털 계기를 개발하고 있기는 하지만, 아직은 전압코일과 전류코일, 알미늄원판 등으로 구성되는 유도형 적산전력량계가 국내외적으로 일반적인이다.

그러나 유도형 적산전력량계를, VVVF 인버터와 같이 고조파 함유전원으로 구동되는 부하의 소비전력 측정에 그대로 사용하는 경우에는, 전력량계 시스템의 역률 악화와 과전류에 의한 전류코일의 소손, 알미늄원판에 작용하는 구동력의 불안정으로 진동을 하게 되는 등의 문제를 야기하여 전력량의 정

밀측정이 어려워진다. 따라서 유도형 적산전력량계의 성능에 전원에 함유된 고조파 성분이 미치는 영향으로, 고조파 민감도를 면밀하게 조사하여 이를 토대로 한 종합적인 방안의 수립이 필요하다[1, 2].

국내에서는 유도형 적산전력량계의 측정 성능에 고조파 함유 전원과 부하가 미치는 민감도에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 그러나 국외에서는 1980년대부터 90년 초까지, 정현파를 대상으로 설계·제작된 유도형 적산전력량계가, 고조파를 함유한 시스템의 전력 산정에 있어서 근본적인 문제를 갖고 있음을 깊이 인식하고, 고조파가 함유된 전력원이 적산전력량계에 미치는 영향인, 민감도에 관한 연구를 수행한 바가 있다[3~6]. 또한 이론적 해석과 실험적 데이터를 통해 전원에 함유된 고조파성분이 알미늄 원판에 고조파 토크를 발생시키므로, 입력전원이 정현파인 경우보다 고조파에 의한 토크만큼의 전력량이 더해져 산정 된다는 이론적인 연구결과도 제시된 바가 있다[7, 8].

그러나 이들은 고조파 전원 각 차수의 크기와 위상 변화를 가상하여, 이에 따른 적산전력량계에의 민감도와 전력원의 동통각에 따른 영향에 관해서만 이론적으로 검토를 하였을 뿐, 실제 산업용 비선형 부하에 공급되는 전력파형을 직접 분석하고, 이에 포함된 고조파 전원이 적산전력량계의 민감도에 어떻게 영향을 미치는가를 측정, 분석한 연구결과는 없다.

적산전력량계의 특성과 고조파 성분이 미치는 민감도 해석은 이론적인 해석이 가능하여 실제 현상의 예측 및 규명이 이루어질 수는 있으나, 실제로는 제작상태에 잘 맞는 값을 도출하기가 어려워, 민감도 특성 파악이 제대로 이루어지지 않는다[9, 10].

또한 산업현장이나 가정에서 사용하는 에너지량을 계량하는 적산전력량계 고조파 민감도특성을 분석하기 위해서는, 실제의 고조파 함유 전력원을 측정하여 스펙트럼을 분석하고, 이로부터 각 고조파 차수의 영향 분석이 선행되어야만 한다.

\* 正 會 員 : 忠南大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

\*\* 正 會 員 : 忠南大 工大 電氣工學科 博士課程

§ 正 會 員 : 韓國標準科學研究院 責任研究員

接受日字 : 1999年 3月 16日

最終完了 : 1999年 9月 30日

더 나아가 실제 부하를 구동하는 시스템 전체의 공급전원 파형을 감안한 적산전력량계 고조파 민감도 분석을 바탕으로 하여 관련 방안을 수립해야만 한다[11].

본 연구에서는 적산전력량계에 대한 전자기적 이론 특성식을 바탕으로 하여 얻은 이론치를, 60Hz 상용전원에서 알루미늄 원판에 작용하는 구동력 측정 시스템을 구성하여 얻은 결과와 상호 비교검증하였다. 또한 적산전력량계의 계량특성에 고조파 전원이 미치는 영향인 민감도 특성을 파악하기 위하여, 실제로 고조파가 함유된 전력계 시스템 구성하였다. 즉 고조파 민감도 특성, 고조파 스펙트럼의 각 차수 성분의 크기와 위상변화를 고려하여 시험하였다. 그런데 인버터와 같은 고조파 전원으로 실제의 부하를 구동하는 경우, 고조파에 의한 민감도 특성은 각 차수의 고조파가 합성된 형태로 나타나므로 그 영향을 각각 분리하여 규명하기는 불가능하다. 따라서 실제의 고조파 전원을 전력분석기를 이용하여 스펙트럼 분석을 한 후, 임의파형발생기를 이용하여 동일한 파형으로 각각의 고조파 차수 또는 조합된 파형을 재현하여, 각종 고조파 발생 전원에 대한 민감도 특성 시험을 수행할 수가 있다. 임의파형발생기를 이용하는 경우, 전압과 전류의 위상각도 임의의 부하상태로 설정할 수 있으므로, 캐패시턴스나 인덕턴스 같은 부하를 사용하지 않고도 역률 가변에 따른 민감도 특성 시험이 가능해진다.

또한 모터의 구동 전원으로 사용되고 있는 인버터의 입력단과 출력단에서의 전원파형을 측정하여 스펙트럼 분석을 한 후, 임의파형발생기로 각 차수와 21차까지의 합성 고조파 성분을 그대로 재현하고 이를 적산전력량계를 포함한 시스템에 인가하여, 각각의 고조파 민감도에 관한 특성시험을 수행하였다. 이를 통해 도출된 자료는, 전력생산자나 유도형 적산전력량계 생산업체, 전력소비자의 부하 및 전력설비의 용량선정 등에서 전력품질에 따른 고조파의 영향을 고려한 방안의 수립에 큰 도움이 될 것으로 사료된다. 또한 본 논문에서의 민감도 특성해석 전개과정 및 시험방법은 다른 분야에의 고조파 민감도 성능시험에도 중요하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 유도형 적산전력량계의 특성방정식

### 2.1 구동원리 및 해석모델

유도형 적산전력량계의 기본구조는 그림 1에서 보는 바와 같이, 전압코일, 전류코일, 알루미늄원판, 자로를 구성하는 코어, 영구자석으로 구성된다.

전압코일에 단자전압  $v_s$ 를 인가하고, 전류코일에 부하전류  $i_L$ 를 인가해 각각의 코일을 여자하면 시간적, 공간적으로  $90^\circ$ 의 위상차를 갖는 자속이 발생된다. 따라서 알루미늄원판에 와전류가 유도되고, 발생자속과 와전류의 상호작용에 의해 알루미늄원판에 토크가 발생하여 소비된 전력량에 비례한 회전을 하게 된다. 이 때 알루미늄원판에 작용하는 토크는, 영구자석과 알루미늄원판 사이에 발생하는 소비전력에 비례한 제동 토크에 의해 알루미늄원판이 가속되지 않고, 일정한 속도로 회전하도록 한다.

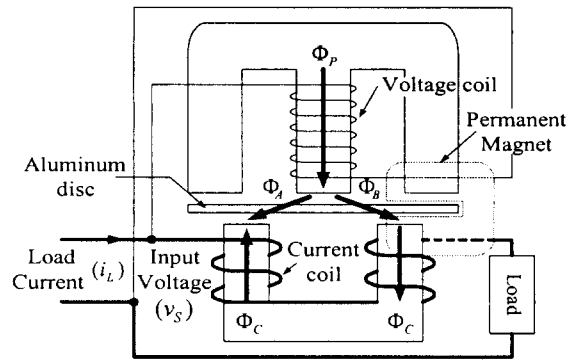


그림 1 유도형 적산전력량계의 기본 구조  
Fig. 1 Basic scheme of induction watt-hour meters

### 2.2 자속, 와전류 및 힘의 분포

그림 2는 전압코일과 전류코일의 여자에 따른 각각의 자속 파형과 1주기 동안의 각 순간에서 적산전력량계내의 자속분포, 알루미늄원판에서의 와전류분포, 발생자속과 와전류의 상호작용에 의한 알루미늄원판에 작용하는 구동력을 나타낸 것이다. 발생자속은 전압코일과 전류코일의 공간적 배치에 의해 공간적으로  $90^\circ$ 의 위상차가 있게 되고, 전압과 전류의 인가전원에 의해 시간적으로도  $90^\circ$ 의 위상차를 갖는다. 전압코일의 단면적은 전류코일에 비해 작고, 턴수는 훨씬 많으므로 전압코일의 임피던스는 리액턴스성분이 저항성분보다 크고, 반대로 전류코일은 코일의 단면적이 크고 턴수가 작으므로 저항성분이 리액턴스보다 크다. 따라서 전압코일에 단자전압이 인가되고, 전류코일에 부하전류가 인가되어 각각의 코일을 여자함으로써 발생하는 자속은 시간적으로 거의  $90^\circ$ 의 위상차를 갖게 된다.

### 2.3 고조파 특성식

그림 1로 구성되는 자기회로에서 전압 및 전류코일 각각에 의해 발생하는 자속과 알루미늄원판에 유도되는 와전류 상호작용에 의한 구동력 특성식이 유도된다.

#### (1) 전압코일 및 전류코일에 의한 공극 자속 특성식

고조파를 함유한 전원은 60Hz의 기본파와 기본파 성분의

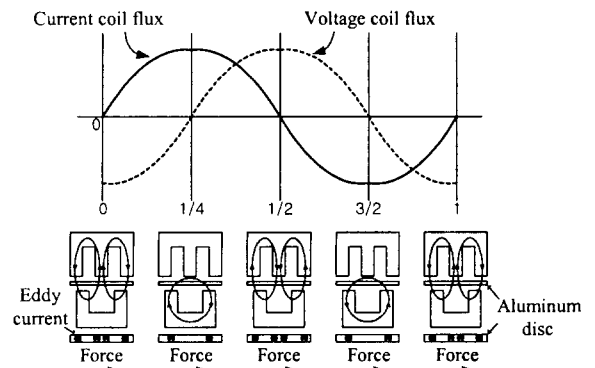


그림 2 각 순간의 자속, 와전류, 힘의 분포  
Fig. 2 Distribution of flux, eddy current and force at each time

차수배의 주파수를 갖는 고조파성분으로 구성된다. 또한 유도형 적산전력량계는 구조적으로 전압코일 및 전류코일과, 알미늄원판사이의 공극이 상대적으로 크기 때문에 코어의 포화에 의한 영향은 무시할 수 있다. 따라서 단상 시스템에 인가된 단자 전압을 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$v_s = V_1 \sin \omega_1 t + V_\nu \sin(\omega_\nu t + \alpha) \quad (1)$$

여기서  $\alpha$  는 두 개의 전압 성분간의 위상각차이며,  $\nu$  는 고조파의 차수이다.

또한 부하전류는 순저항부하인 경우, 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$i_L = I_{L1} \sin \omega_1 t + I_{L\nu} \sin(\omega_\nu t + \alpha) \quad (2)$$

그림 1에서 단자전압  $v_s$  와 부하전류  $i_L$  이 전압코일과 전류코일에 각각 인가되면, 자속  $\Phi_p$  와  $\Phi_c$  가 발생된다.

전압코일의 저항  $R_{p\nu}$  가 리액턴스  $\omega_\nu L_p$  에 비교하여 상대적으로 매우 작기 때문에 무시되어, 전압코일 여자에 의한 자속은 식 (3)과 같이 표현된다[6].

$$\Phi_p = 2 \frac{K_p}{\omega_1 L_p} V_1 \sin(\omega_1 t - \pi/2) + 2 \frac{K_p}{\omega_1 L_p} V_\nu \sin(\omega_\nu t + \alpha - \pi/2) \quad (3)$$

여기서  $K_p$  는 전압코일의 인덕턴스와 턴수의 비이다.

또한 전류코일의 여자에 의한 발생자속은 식 (4)와 같이 표현된다[6].

$$\Phi_c = K_c I_{L1} \sin \omega_1 t + K_c I_{L\nu} \sin(\omega_\nu t + \alpha) \quad (4)$$

여기서  $K_c$  는 전류코일의 인덕턴스와 턴수의 비이다.

### (2) 와전류 특성식

그림 1에서 공극자속은 전압코일 여자에 의한 자속  $\Phi_p$  와 전류코일의 여자에 의한 자속  $\Phi_c$  가 서로 합성되어 알미늄원판을 쇠교하게 되므로 식 (5)와 같이 정의된다.

$$\Phi_A = \Phi_p/2 - \Phi_c, \quad \Phi_B = \Phi_p/2 + \Phi_c \quad (5)$$

합성 공극자속  $\Phi_A, \Phi_B$  는 알미늄원판을 쇠교하며 와전류를 유도한다. 이 때 알미늄원판의 임피던스가  $R_{D\nu} + j\omega_\nu L_{D\nu}$  라 하면, 알미늄원판에 흐르는 와전류는 식 (6), 식 (7)과 같이 유도된다.[6]

$$i_A = K_{i1} \left[ \frac{K_p}{\omega_1 L_p} V_1 \sin(\omega_1 t - \pi - \beta_1) - K_c I_{L1} \sin(\omega_1 t - \frac{\pi}{2} - \beta_1) \right] + K_{i\nu} \left[ \frac{K_p}{\omega_\nu L_p} V_\nu \sin(\omega_\nu t - \pi + \alpha - \beta_\nu) - K_c I_{L\nu} \sin(\omega_\nu t - \frac{\pi}{2} + \alpha - \beta_\nu) \right] \quad (6)$$

$$i_B = K_{i1} \left[ \frac{K_p}{\omega_1 L_p} V_1 \sin(\omega_1 t - \pi - \beta_1) + K_c I_{L1} \sin(\omega_1 t - \frac{\pi}{2} - \beta_1) \right] + \quad (7)$$

$$K_{i\nu} \left[ \frac{K_p}{\omega_\nu L_p} V_\nu \sin(\omega_\nu t - \pi + \alpha - \beta_\nu) + K_c I_{L\nu} \sin(\omega_\nu t - \frac{\pi}{2} + \alpha - \beta_\nu) \right]$$

$$\text{여기서 } K_{i1} = \frac{\omega_1}{\sqrt{R_{D1}^2 + (\omega_1 L_D)^2}}, \quad K_{i\nu} = \frac{\omega_\nu}{\sqrt{R_{D\nu}^2 + (\omega_\nu L_D)^2}}$$

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{\omega_1 L_D}{R_{D1}}\right), \quad \beta_\nu = \arctan\left(\frac{\omega_\nu L_D}{R_{D\nu}}\right) \text{ 이다.}$$

이 때  $R_{D1}, R_{D\nu}$  는 각각 60 [Hz] 기본파와  $\nu \cdot 60$  [Hz]에 서의 알미늄원판 저항이고,  $L_D$  는 알미늄원판의 인덕턴스이다. 각각의 특성식은 부록에 첨부하였다.

### (3) 힘 특성식

알미늄원판에 발생하는 힘은 식 (5)의 공극자속  $\Phi_A, \Phi_B$  와 식 (7)의 알미늄원판에 유도된 와전류  $i_A, i_B$ 에 의하여, 로렌츠 힘 방정식으로부터 식 (8)과 같이 각각 구해진다.

$$f_A = K_s (i_A \times \Phi_B), \quad f_B = K_s (i_B \times \Phi_A) \quad (8)$$

여기서  $K_s$  는 알미늄원판에 유도된 와전류 루프의 길이와 전압코일과 전류코일 코어의 단면적의 비이다.

식 (8)로부터 알미늄원판에 작용하는 합성력은 식 (9)로 표현된다

$$f_{total} = f_B - f_A \quad (9)$$

따라서 알미늄 원판에 작용하는 힘의 평균치는 식 (10)과 같이 정의된다.

$$f_{avg} = \frac{1}{T} \int_{k_1}^{k_1+T} f_{total}(t) dt = 2K_s K_c \left[ K_{i1} \frac{K_p}{\omega_1 L_p} V_1 I_{L1} \cos \beta_1 + K_{i\nu} \frac{K_p}{\omega_\nu L_p} V_\nu I_{L\nu} \cos \beta_\nu \right] \quad (10)$$

또한 전압코일의 인덕턴스와 턴수의 비인  $K_p$ 는  $K_p = \frac{L_p}{N_p}$

이고,  $K_{i1}$  과  $K_{i\nu}$  를 기본파와  $\nu$ 차 고조파에 대한 알미늄원판의 저항과 인덕턴스인  $R_{D1}, R_{D\nu}, L_D, L_{D\nu}$  로 나타낼 수 있는데, 이를 각각 식 (10)에 대입하면 식 (11)과 같이 표현된다.

$$f_{avg} = \frac{2K_s K_c}{N_p} \left[ \frac{V_1 I_{L1} \cos^2 \beta_1}{R_{D1}} + \frac{V_\nu I_{L\nu} \cos^2 \beta_\nu}{R_{D\nu}} \right] \quad (11)$$

식 (11)의 우측의 첫째 항과 둘째 항은 각각 기본파 성분과 고조파 성분에 의한 힘의 평균값을 나타낸다. 따라서 고조파 성분에 의해 알미늄원판에 작용하는 힘과 기본파에 의한 힘의 비를 ( $\Delta Reading$ ) $_\nu$  라 하면 식 (12)와 같이 표현된다.

$$(\Delta Reading)_\nu = \left[ \frac{V_\nu}{V_1} \right]^2 \cdot \left[ \frac{\cos^2 \beta_\nu R_{D1}}{\cos^2 \beta_1 R_{D\nu}} \right] \quad (12)$$

이로부터 기본파를 기준한, 고조파성분의 민감도 특성을 검토하게 된다.

### 3. 특성시험 및 검토

#### 3.1 특성이론식 검증

민감도의 해석을 위한 구동력 특성식인 식 (11)과, 측정법의 상호 타당성을 검증하기 위하여 60Hz 기본파가 인가되는 경우의 이론치와 측정치를 비교·검토한다.

##### (1) 상용전원에서 알루미늄원판에 작용하는 구동력

그림 3은 적산전력량계의 알루미늄원판에 작용하는 구동력 측정을 위한 시스템 구성도이다. 이 때 구동력은 매우 미소하므로, 미소변위센서인 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 실제제작하여 구동력 측정에 사용하였다. LVDT는 1차측과 2차측 코일간의 상호인덕턴스 변화를 이용하는 것으로, 가동자 코어의 변위에 비례하여, 2차측에 발생하는 차동전압에 의한 전기적 출력으로 변위와 힘을 정밀하게 측정한다. 본 시험에 사용된 LVDT는 선형도가  $\pm 0.03\%$ 로 직경 18[mm], 길이 38[mm]의 크기이며, 직경 4.7[mm], 길이 12[mm]인 가동체 코어, 코어를 지지해 주는 지지대와 스프링으로 구성된다.

고조파 함유전원의 영향을 고려한 구동력의 이론치는 표 1과 같은 상수값을 사용하여, 힘 특성식 (11)로부터 산출할 수 있다.  $K_c = L_c / N_c$ 로 전류코일 인덕턴스( $L_c$ )와 턴수( $N_c$ )의 비이므로, RLC 미터로 인덕턴스를 측정하여 전류코일 턴수로 나누어 산정하였다. 또한 표 2와 그림 4는 그림 3의 시스템에 60Hz 정현파의 실효치 전압 110[V], 전류 5[A]를 적산전력량계에 인가한 경우의 구동력 특성 결과이다. 즉 그림 3의 구동력 측정 시스템에 의한 역률에 따른 측정치와, 특성식 (11)의 첫째 항에 의한 이론적 해석치를 비교하여 각각 나타낸 것이다.

역률이 1인 경우 실험에서 측정된 구동력의 크기는 0.047[N], 식 (11)에 의한 이론치는 0.0504[N]으로 오차율이 7.23%인데, 이는 측정시와 이론치 계산시의 오차를 감안할 때 거의 부합되는 것으로 판단되어 본 결과가 타당하다고 사료된다.

표 2와 그림 4로부터 역률이 0.5 진상 혹은 지상인 경우, 역률이 1일 때의 구동력에 거의 1/2로 떨어짐을 측정치와 이론치에 의해 알 수 있다. 이는 역률이 0.5 진상 혹은 지상으로 떨어지는 경우에, 소비전력은 1/2로 감소하므로 이에 상응하여 소비전력에 비례한 알루미늄원판에 작용하는 구동력이 감소하기 때문이다.

#### 3.2 상용전원과 고조파 함유전원의 적산전력량계 민감도 측정 비교

##### (1) 상용전원과 고조파를 함유하는 인버터전원 계측을 위한 구성도 및 시험방법

그림 5는 정현파 상용전원과 고조파를 함유하는 인버터전원 각각에 대하여 유도형 적산전력량계의 민감도 특성을 측정하기 위한 시험 구성도이다.

적산전력량계내의 알루미늄원판이 1회전할 때마다 광센서에는 펄스 신호가 발생하게 되는데, 이 펄스 신호를 전력분석기의 외부 트리거단에 입력하여 알루미늄원판 1회전당 소요된 시

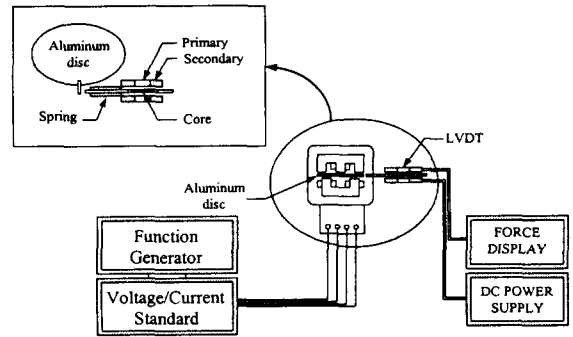


그림 3 알루미늄원판에 작용하는 구동력 측정시스템 구성도  
Fig. 3 System for testing driving force acting on aluminum disc

표 1 이론치 산출을 위해 사용된 상수

Table 1 Constant used for computing theoretical value

$K_s$	$K_c$	$N_p$	$h$	$l$	$x$
250	$5.93 \times 10^{-8}$	2800	0.0012	0.001	0.004
[ $m^{-1}$ ]	[H/turns]	[turns]	[m]	[m]	[m]

표 2 역률을 고려한 알루미늄원판에 작용하는 구동력

Table 2 Driving force acting on aluminum disc in consideration with power factor

역률 (PF)	60Hz 상용전원에 의한 알루미늄원판에 작용하는 구동력		
	이론치[N]	측정치[N]	$\frac{\text{측정치} - \text{이론치}}{\text{측정치}} \times 100[\%]$
PF=1	0.0504	0.047	-7.23
PF=0.5 지상	0.0252	0.0245	-2.86
PF=0.5 진상	0.0252	0.0267	5.62

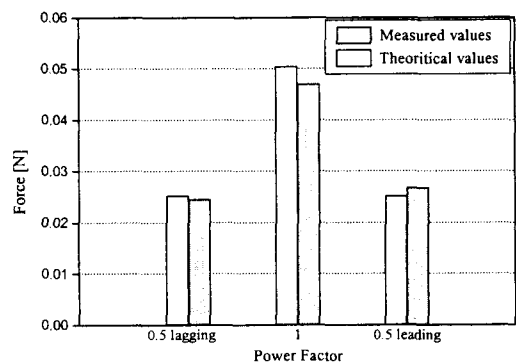


그림 4 역률을 고려한 알루미늄원판에 작용하는 구동력

Fig. 4 Driving force acting on aluminum disc in consideration with power factor

간을 카운팅하였다. 이로부터 적산전력량계에 정현파 상용전원 또는 고조파가 함유된 인버터 전원이 각각 인가되는 경우, 소비 전력량에 비례하여 회전하는 알미늄원판 1회전당 소오시간에서의 차이로 각각의 민감도를 도출하게 된다.

**(2) 고조파를 함유하는 인버터 입·출력단 전원특성**

그림 5의 시스템에서, 가변속 드라이브용 전원인 인버터는 고조파를 함유한 전원의 대표적인 예이므로, 적산전력량계의 고조파 민감도 특성분석을 위하여 다음 두 가지 경우에 대한 민감도 특성시험을 위해, 인버터 입력단에서는 전류파형을, 출력단에서는 전압파형을 각각 측정 및 스펙트럼 분석하여 제시하였다.

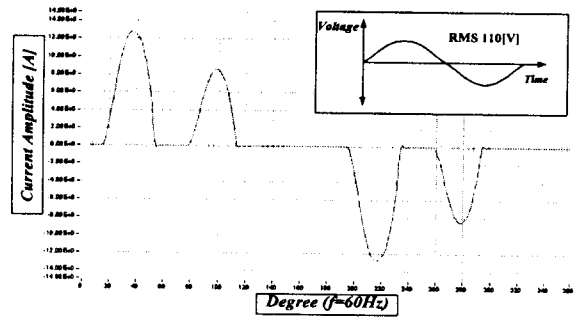
- (a) 적산전력량계에 인가되는 전압이 정현파이고, 전류는 고조파가 함유된 경우의 각 차수 전류 고조파 성분이 적산전력량계 민감도에 미치는 영향
- (b) 인가되는 전류가 정현파이고, 전압은 고조파 성분이 함유된 경우의 각 차수 전압 고조파 성분이 적산전력량계 민감도에 미치는 영향

**가) 인버터 입력단 전류 파형 및 스펙트럼**

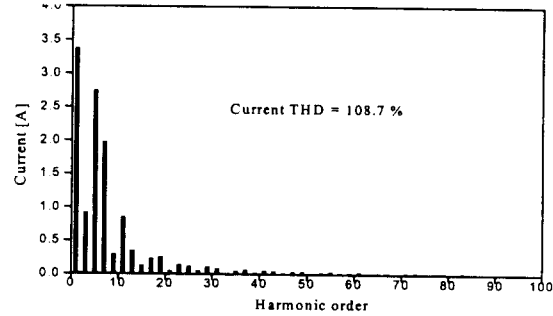
그림 6의 (a)와 (b)는 그림 5에서와 같이, 상용전원라인과 전압형 인버터 사이에 측정된 전류 파형과, 99차까지의 전류 고조파 스펙트럼 분석을 한 결과이다. 전압형 인버터이므로 입력단의 전압파형은 상용전원 계통이므로 정현적인 데 비하여, 전류는 정류부와 인버터부의 영향으로 전고조파 왜형률(THD)이 108.7%로 심하게 왜형되어진다.

**나) 인버터 출력단 전압 파형 및 스펙트럼**

그림 7의 (a)와 (b)는 각각 인버터 출력단 전압파형과 99차까지의 전압 고조파 스펙트럼 분석결과이다. 전압형 인버터이므로 출력전류는 정현적이지만, 출력전압은 전고조파 왜형률(THD)이 6.3716%로 왜형되어져 있다. 그러나 기본파 전압의 실효치 104[V]에 비하여 다른 차수의 고조파의 크기는 상대적으로 매우 작은 것을 볼 수 있다.



(a)

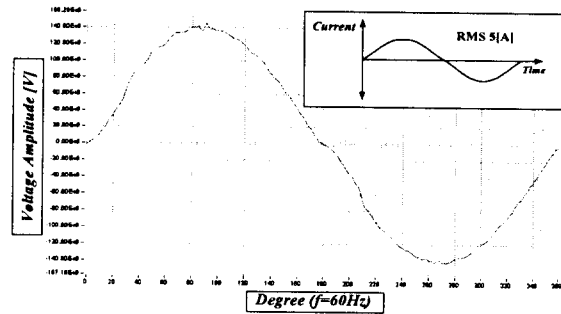


(b)

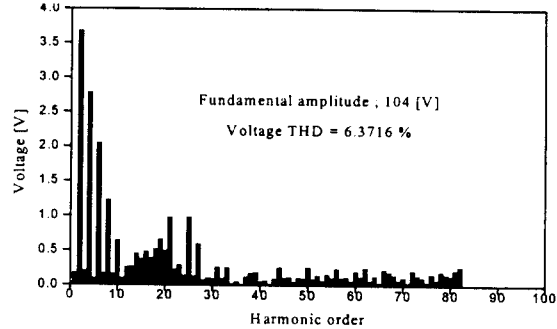
그림 6 인버터 입력단 전류 파형 및 고조파 스펙트럼

(a)전류 파형 (b)고조파 스펙트럼

Fig. 6 Current waveform and harmonic spectrum in the inverter input terminal



(a)



(b)

그림 7 인버터 출력단 전압 파형 및 고조파 스펙트럼

(a)전압 파형 (b)고조파 스펙트럼

Fig. 7 Voltage waveform and harmonic spectrum in the inverter output terminal

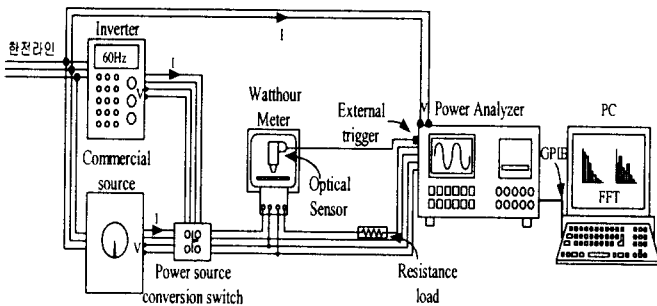


그림 5 상용전원과 고조파 함유 전원의 민감도 비교측정을 위한 시스템 구성도

Fig. 5 System for comparing and testing of the sensitivity on commercial source and source with harmonics

**(3) 상용전원과 인버터전원의 적산전력 민감도 측정값 비교**

그림 8은 그림 5의 시스템에 설치된 전압 104[V], 전류 5[A], 즉 전력량 520[W]의 상용전원이 유도형 적산전력량계에 인가되는 경우와, 인버터 출력단에서 상용전원과 동일한, 기본파와 고조파 모두에 대한 실효치 전압, 전류가 적산전력량계에 인가되는 경우에 알루미늄원판 1회전당 소요되는 시간을 측정된 자료이다. 즉 소비되는 전력량에 비례하여 회전을 하므로 순수 저항부하로 전력소비량을 520[W]로 일정하게 유지하였다. 이 경우에 부하는 저항이므로 인버터 출력단 전류파형은 그림 7의 전압파형과 동일하게 THD 6.3716%로 왜형된다.

표 3은 그림 8과 같이 알루미늄원판 1회전당 소요되는 시간을, 15회 측정하여 평균을 구한 것이다. 인버터 출력단의 전원에서 알루미늄원판이 더 빠르게 회전되어 전력소비가 크며, 1회전당 약 3.39%의 차이가 나게 된다. 이로써 고조파를 함유한 인버터전원이 상용전원에 비하여 적산전력량계의 민감도가 크음을 알 수 있다.

따라서 전력소비자 입장에서 고조파를 많이 배출하는 부하설비를 사용하면 전력소비량이 증가하며, 이에 따른 전력요금도 커지게 된다. 또한 전력생산자의 경우는 부하측에서 배출되는 고조파에 의하여 송배전 전력계통이 오염되어, 이에 따른 다른 전력소비자들의 부하설비에 악영향을 미치게 되어, 소비전력량 산출에 오류를 범할 수 있다. 그러므로 부하의 고조파 저감화가 필수적이다.

**3.3 고조파 각 차수의 민감도 특성**

**(1) 측정 시스템 구성**

그림 9는 유도형 적산전력량계의 고조파 민감도 특성시험을 위한 시스템 구성도이다. 즉 임의파형발생기, 전력분석기, 전압, 전류표준기, 광센서, 표준전력변환기, 카운터, 오차율 검출기 등으로 구성된다.

**(2) 시험방법**

그림 9에서 시험하고자 하는 고조파 전압과 전류파형을 임의파형발생기로 만들어 전압/전류 표준기를 통과시켜 적당한 실효치 전압, 전류로 증폭을 한 후, 적산전력량계의 입력전압과 부하전류로 사용한다. 임의파형발생기는 전압과 전류의

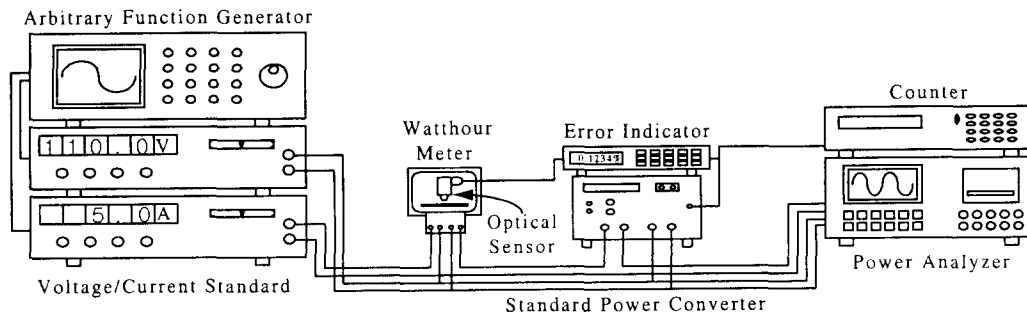


그림 9 고조파 전원 및 각 고조파 차수의 민감도를 측정하기 위한 시스템 구성도

Fig. 9 System for testing the sensitivity of source with harmonics and each harmonic order

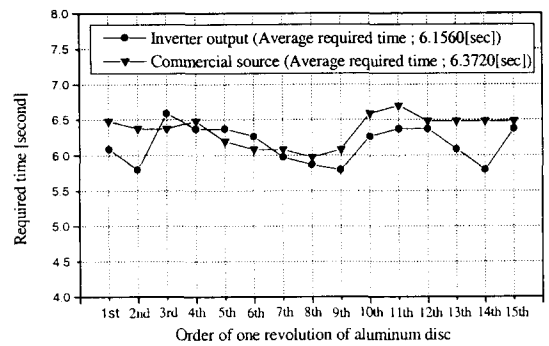


그림 8 60(Hz), 104(V), 5(A)의 부하에서 상용전원과 인버터전원에 의한 1회전당 소요된 시간

Fig. 8 Required time per one revolution due to each commercial or inverter source under the load of 60(Hz), 104(V) and 5(A)

표 3 상용전원과 인버터 전원에 의한 알루미늄원판 1회전당 소요 시간과 민감도

Table 3 Required time per 1 revolution of aluminum disc and sensitivity ratio between commercial and inverter source

전 원	상 용 전 원	인버터 출력단 전원
알루미늄원판 1회전당 소요시간	6.3720 [sec]	6.1560[sec]
민감도[%] = $\frac{\text{상용전원에 의한 1회전당 소요시간} - \text{인버터 출력단 전원에 의한 1회전당 소요시간}}{\text{상용전원에 의한 1회전당 소요시간}} \times 100$		
= 3.39[%]		

임의파형 발생은 물론, 위상각을 임의로 가변할 수 있으므로 캐패시턴스나 인덕턴스 같은 부하를 사용하지 않고도 역률 시험에 적합한 부하상태로 조정하여 시험을 할 수가 있다.

또한 그림 6, 그림 7과 같은 인버터파형은 고조파를 각 차수별로 분리할 수가 없으므로, 각 차수에 대한 민감도 시험이 불가능하다. 따라서 임의파형발생기로 고조파를 각 차수별로 독립적으로 재현하게 된다. 본 시험에 사용된 장비는 21차까지만 가능하다.

전력 변환기에 실효치 전압 110[V]와 전류 5[A]의 전력