

고조파 함유전원에 의한 유도형 적산전력량계의 실험적 특성해석

장석명*, 이성호*
*충남대학교 전기공학과

박영태**
**한국표준과학연구원

Experimental Characteristic Analysis of Induction Watthour Meter
by Input Source with Harmonics

Seok-Myeong Jang*, Sung-ho Lee*
*Chungnam Nat'l Univ.

Young-Tae Park**
**KRISS

Abstract - The precise measurement of consumed power during the given time is very important in the energy management aspect. Up to days, induction watthour meter has been designed for use in the alternating circuits in which the voltage and current are essentially sinusoidal.

The use of switching elements in power system causes the current or voltage involving harmonics. Therefore the registration error is caused by harmonics in the equipment for measuring power.

This paper presents the registration error of the induction watthour meter in the presence of harmonic distortion. The accuracy of a watthour meter on loads in which the input source is not sinusoidal is investigated. And the effects of individual harmonic are reported by experiment.

1. 서 론

정현파 상용전원을 대상으로 하는 기존의 유도형 적산 전력량계를 고조파가 함유된 전력량 계측에서도 그대로 사용하는 경우에는, 고조파 함유로 인한 시스템의 역률 악화와 적산전력량계의 알루미늄 원판에 작용하는 구동력이 불안정하여 진동을 하게 되는 등의 심각한 문제를 야기하게 되어 전력량 산출이 정밀하지 못하게 된다.

이러한 점을 감안하여 본 논문에서는 입력전원에 포함 된 고조파가 유도형 적산전력량계에 미치는 영향에 대한 특성실험을 다음과 같이 수행하였다.

- 1) 기본파의 역률을 1로 하고 고조파 함유의 크기를 달리했을 경우에, 21차까지의 각 홀수 고조파에서의 퍼센트 오차를 측정하였다.
- 2) 기본파의 역률을 0.866 lagging 으로 하고, 고조파 전압과 전류 사이의 위상각을 -180° 에서 180° 까지 60° 간격으로 가변하여 각각의 고조파에 의한 계측의 퍼센트 오차를 측정하였다.
- 3) 인버터 입력단 전류고조파를 실측하여 임의 파형 발생기로부터 실측된 고조파의 21차까지를 고려한 파형을 구현하였다. 이 때 전압은 정현파이다. 이로부터 21차까지의 각 홀수 전류고조파가 전력량계의 오차율에 미치는 영향과 21차까지의 고조파를 모두 합성하였을 경우의 퍼센트 오차를 측정하였다.

본 논문은 전력 시스템의 부하전원에 고조파가 함유되었을 경우 유도형 적산전력량계의 특성시험의 실험적 자료를 제시하고자 한다.

2. 특성 실험 및 결과

2.1 실험모델

그림. 1은 유도형 적산전력량계의 기본적인 구성 요소를 구조적으로 나타낸다. 전압과 전류 코일은 각각 입력 전압과 부하 전류에 의해 여자되고, 자속을 발생시킨다. 발생된 자속에 의해 알루미늄 원판에 와전류가 유도되고, 전압과 전류 코일에서 발생된 자속과의 상호 작용에 의하여 알루미늄 원판이 회전을 하게 된다.

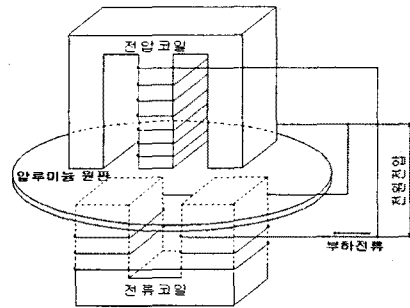


그림. 1. 유도형 적산전력량계의 기본적인 구조

2.2 계측 구성도 및 실험방법

그림. 2는 유도형 적산전력량계의 고조파 영향에 대한 특성 실험을 위한 계측 구성도를 나타낸다.

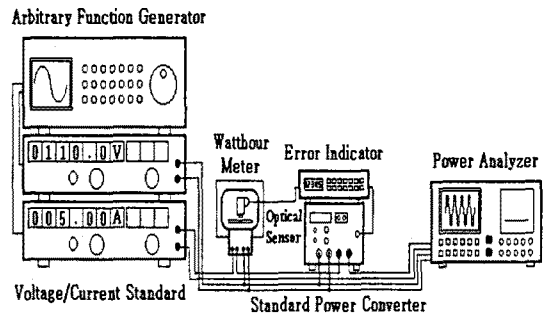


그림. 2 계측 구성도

우선 임의 파형 발생기로부터 실험에 필요한 고조파 전압과 전류의 파형을 셋팅하여 발생시킨다. 다시 이 파형을 전압/전류 표준기에 의해 실효치 110[V], 5[A]로 증폭시켜 적산전력량계의 입력전압과 부하전류로 사용한다. 이 때 임의 파형 발생기를 사용하게 되면 전압과 전류의 위상각을 임의로 가변할 수 있으므로 부하를 사용하지 않고도 역률 가변이 가능하다. 전력변환기에서는

실효치 전압 110[V], 5[A]가 인가되면, 550[W]의 전력에서 350 펄스를 일정하게 발생시키게 된다. 이 펄스와 적산전력량계의 특성계수(본 실험에 사용된 전력량계 고유의 특성계수는 1000 rev/1 kWh)와의 관계로부터 적산전력량계의 알루미늄 원판의 1회전당 펄스수를 산출하여 오차율 검출기에 동시에 입력시켜 식(1)에 의하여 퍼센트 오차를 계산하게 된다. 1회전당 펄스수가 오차율을 산출하는 기준이 되고, 광센서를 이용하여 카운팅되는 펄스수는 비교대상이 된다. 실험에 사용된 광센서는 알루미늄 원판이 1회전 할 때마다 펄스 신호를 발생시키고, 오차율 검출기는 이 신호를 받아들여 펄스 신호가 Low의 상태에서 전력변환기에서 발생하는 펄스를 카운팅하게 된다. 유도형 적산전력량계에 인가되는 고조파 파형의 분석을 위해 전력 분석기가 사용되었다. 오차율 검출기는 다음의 식으로 유도형 적산전력량계의 퍼센트 오차를 연산한다.

$$\text{퍼센트 오차} = \frac{\text{측정된 펄스수} - \text{적산전력량계 고유 특성 펄스수}}{\text{적산전력량계 고유 특성 펄스수}} \times 100 \quad (1)$$

2.3 고조파의 크기를 달리했을 경우에 각 고조파의 기본파에 대한 오차율 특성

그림. 3은 전류의 고조파 진폭의 최대크기를 기본파 최대 진폭 7.07[A]의 50%, 20%, 10%로 하고 기본파의 역률이 1인 경우 고조파 차수에 따른 적산전력량계의 특성을 나타낸다. 이 때 임의의 파형 발생기를 통해 발생시키는 파형은 표1과 같다.

표. 1 임의의 파형 발생기에서의 셋팅 파형

기본파의 50%	기본파의 20%	기본파의 10%
$I = 7.07\sin(\omega t)$ + $3.535\sin(n\omega t)$ ($n=3,5,7,\dots,21$)	$I = 7.07\sin(\omega t)$ + $1.414\sin(n\omega t)$ ($n=3,5,7,\dots,21$)	$I = 7.07\sin(\omega t)$ + $0.707\sin(n\omega t)$ ($n=3,5,7,\dots,21$)

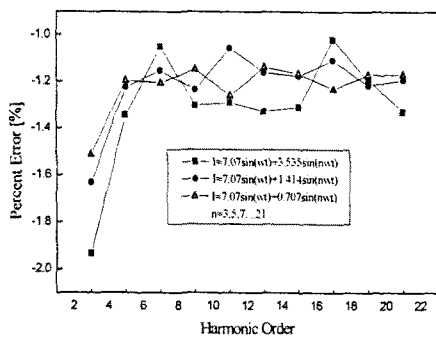


그림. 3. 고조파크기에 따른 각 고조파의 적산전력량계에 대한 특성

2.4 각 고조파차수 영향하에서의 퍼센트 오차

기본파 전압의 최대진폭은 155.56[V], 전류의 최대진폭은 7.07[A], 이 때의 기본파의 역률을 0.866 lagging 으로 하고, 고조파 전압과 전류 사이의 위상각을 -180° 에서 180° 까지 60° 간격으로 가변하여 각각의 고조파에 의한 계측의 오차를 측정하였다. 이 때 60Hz의 전압을 기준위상으로 하고, 전압과 전류의 기본파의 크기를 일정하게 유지하면서 각각의 고조파의 크기를 기본파 전류와 전압에 대해 10%로 하였다. 그림.

4~8은 3,5,7,9,11 고조파의 영향을 고조파 위상각의 변화에 따라 그림. 2의 계측시스템에 의하여 식(1)로 연산한 퍼센트 오차를 측정된 결과들이다.

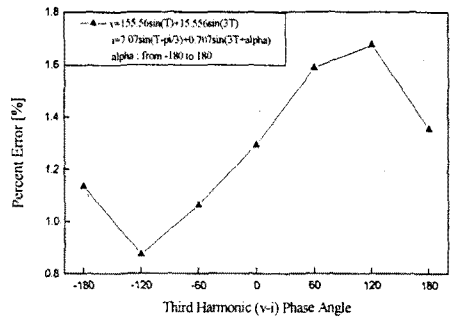


그림. 4. 3고조파에 의한 계측의 오차

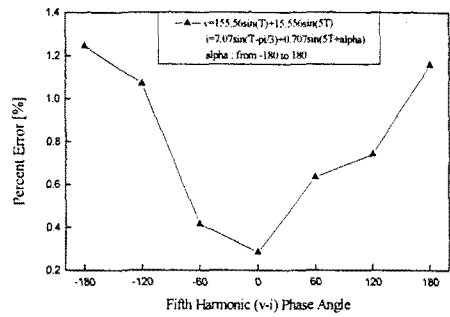


그림. 5. 5고조파에 의한 계측의 오차

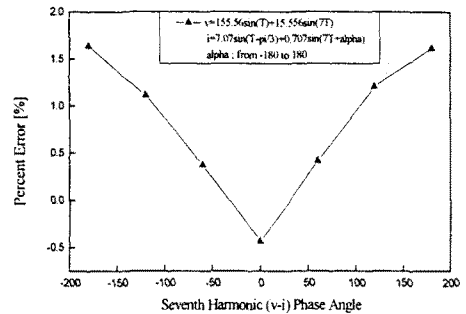


그림. 6. 7고조파에 의한 계측의 오차

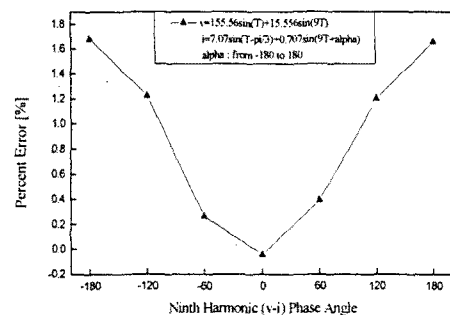


그림. 7. 9고조파에 의한 계측의 오차

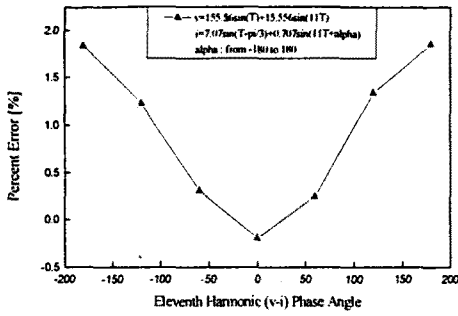


그림 8. 11고조파에 의한 계측의 오차

그림 9는 기본파의 역률을 1로 하고, 전류 고조파의 크기를 기본파에 50%로 한 경우 전체의 역률을 가변함에 따른 퍼센트 오차를 나타낸다.

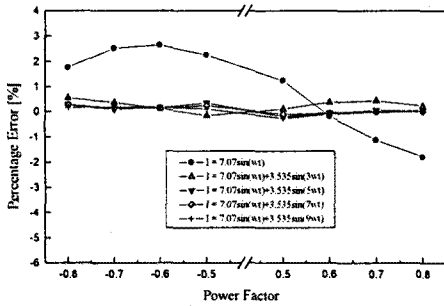


그림 9. 각각의 고조파의 전체 역률을 가변함에 따른 퍼센트 오차

2.5 인버터 입력단에서 실측된 전류고조파에 의한 퍼센트 오차

그림 10은 국내 K사 제품의 용량이 2.2kW인 인버터 입력단에서 실측한 전류의 고조파 스펙트럼이다 적산전력량계는 인버터 입력단에 설치되므로 인버터를 부하의 전원으로 사용하는 경우에 인버터 입력단 고조파 전류를 스펙트럼 분석한 결과이다.

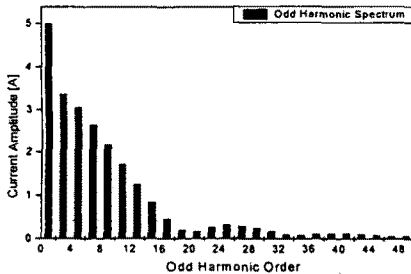


그림 10. 인버터 입력단에서의 전류 고조파 스펙트럼

그림 10에서 기본파에 대한 각 고조파의 퍼센트크기를 구하여 임의의 파형 발생기로부터 인버터 입력단 고조파 전류와 동일하게 발생시켜 적산전력량계의 특성에 관한 실험을 수행할 수 있다. 이 경우에 인버터 입력단 전압은 정현파이다. 그림 11은 임의의 파형 발생기에서 만들어진 전압과 전류의 파형이다. 이 때의 고조파 전류는 그림 10의 고조파 전류파형 스펙트럼에서 기본파에 대한 21차까지의 각각의 퍼센트 크기를 토대로 발생시킨 파형이다.

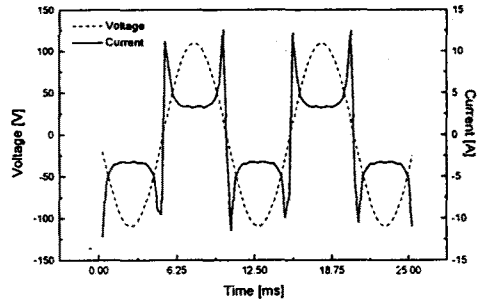


그림 11. 임의의 파형 발생기에서 만들어진 전압과 전류 파형

그림 12는 각 차수의 고조파 성분에 의한 각각의 퍼센트 오차와, 21차까지의 전류 고조파를 함께 고려하는 경우의 유도형 적산전력량계의 퍼센트 오차의 평균치를 나타낸 것이다.

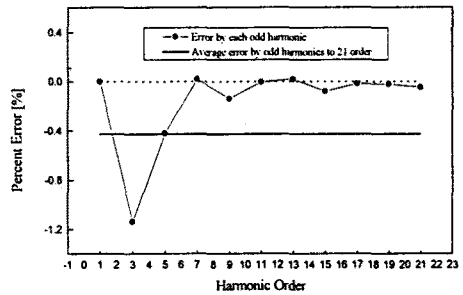


그림 12. 전류의 각각의 고조파에 의한 퍼센트 오차와 21차까지의 인버터입력단 총 전류 고조파를 고려한 퍼센트 오차

4. 결론

- 1) 기본파에 대비한 고조파의 함유량이 크면 퍼센트 오차의 전체 변동폭이 컸으며, 3고조파에서 퍼센트 오차가 가장 크게 나타났다.
- 2) 고조파 전류가 고조파 전압과 같은 위상에 있을 경우에 (-)오차가 계속되었다. 전류고조파가 180°만큼 위상차를 가질 경우 (+)오차가 가장 크다.
- 3) 인버터 입력단 전류고조파는 3고조파에서 퍼센트 오차가 가장 크게 나타나고, 21차까지의 합성된 고조파의 퍼센트 오차의 평균은 -0.4278(%)이다.

전압과 전류의 파형이 왜형이 되면, 기본파 성분의 전압과 전류가 같은 위상에 있다 할지라도 전체 역률은 1보다 작아진다. 그러므로 파형의 왜형에 따라서 소비된 전력량은 달라지게 되고, 유도형 적산전력량계의 회전수도 달라지게 된다.

본 연구는 한국표준과학연구원 '97년·학협동 연구사업에 의한 지원으로 수행된 연구결과의 일부입니다.

[참고 문헌]

- [1] A.A. Girgis, E.B. Makram, "Testing the Performance of Three-Phase Induction Watthour Meters in the Presence of Harmonic Distortion" IEEE Industry Application Journal, Vol. 26, No. 4, pp.689-695, 1990.
- [2] E.B. Makran, C.L. Wright, A.A. Girgis, "A Harmonic Analysis of The Induction Watthour Meter's Registration Error", IEEE Trans. Vol. 7, No. 3, July 1992.