

유도형 적산전력량계의 고조파 민감도 특성

장석명\*, 이성호\*,  
충남대학교 전기공학과

박영태\*\*  
한국표준과학연구원

Characteristics on the Harmonic Sensitivity of Induction Watthour Meter

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

Young-Tae Park\*\*  
KRISS

**Abstract** - The sensitivity of induction watthour meter was reviewed by characteristic tests under the effects of each input harmonics and the variation of power factor of inverter input/output terminal. This paper presents experimental data on the characteristics of induction watthour meter under the effect of harmonics.

1. 서 론

본 연구에서는 유도형 적산전력량계에 고조파가 미치는 영향인 민감도에 관하여 실제로 고조파가 함유된 전력계 시스템에서의 적산전력량계의 성능에 관한 시험 장치를 구성하여 고조파 함유전원에 의한 고조파 민감도 특성에 관한 시험을 수행하였다. 즉, 적산전력량계의 고조파 민감도 특성시험을 위하여, 고조파 각 차수 성분의 크기와 위상변화를 고려하여 고조파 민감도 특성시험을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 또한 모터의 구동전원으로 사용되고 있는 인버터 입/출력단에서의 전원파형을 실제로 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.

2. 특성시험 및 결과

2.1 시험모델

유도형 적산전력량계의 기본적인 구조는 그림 1과 같다. 즉 전압코일, 전류코일, 알루미늄원판, 자로를 구성하는 코어, 영구자석이 기본적인 구성요소가 된다.

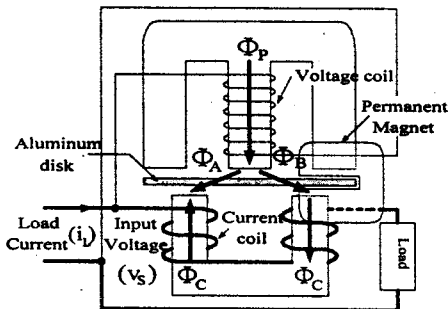


그림 1. 유도형 적산전력량계의 기본적인 구조

그림 2는 전압코일과 전류코일의 여자에 따른 각각의 자속파형과 1주기 동안의 각 순간에서 적산전력량계내의 자속분포, 알루미늄원판에서의 와전류분포, 발생자속과 와전류의 상호작용에 의한 알루미늄원판에 작용하는 구동력을 나타낸 것이다.

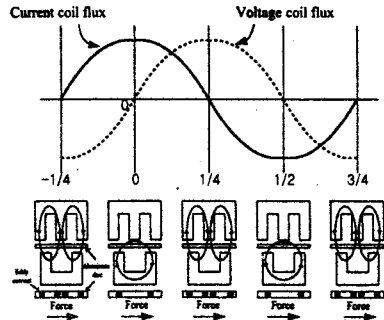


그림 2. 시간적 위상차에 따른 자속, 와전류의 분포 및 구동력

2.2 고조파 함유전원의 특성

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

그림 3은 상용전원과 인버터 입/출력단에서의 고조파 함유전원 계측 및 알루미늄원판 1회전당 소요시간 측정을 위한 시험 구성도를 나타낸 것이다. 적산전력량계내의 알루미늄원판이 1회전할 때마다 광센서에서는 펄스 신호가 발생하게 되는데, 이 펄스신호를 전력분석기의 외부트리거단에 입력하여 알루미늄원판 1회전당 소요된 시간을 카운팅하였다. 이로부터 적산전력량계에 정현파 상용전원 또는 고조파를 함유하는 인버터전원이 각각 인가되었을 경우, 소비된 전력량에 비례하여 회전하는 알루미늄원판 1회전당 소요시간에서의 차이를 알 수 있다.

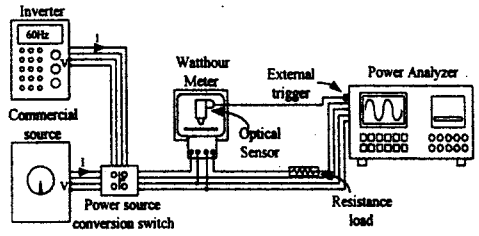
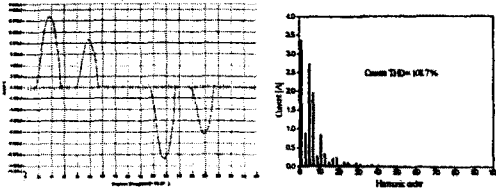


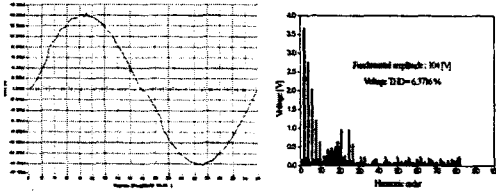
그림 3. 상용전원과 고조파 함유전원의 비교측정을 위한 시스템 구성도

(2) 고조파를 함유하는 인버터 입/출력단 전원 특성

그림 4는 인버터 입력단 전류파형 및 스펙트럼 분석결과와 인버터 출력단 전압파형 및 스펙트럼 분석결과를 나타낸 것이다.



(a)인버터 입력단 전류파형 및 스펙트럼 분석결과



(b)인버터 출력단 전압파형 및 스펙트럼 분석결과  
그림 4. 인버터 입/출력단 전류, 전압파형 및 각각의 스펙트럼 분석결과

(3) 상용전원과 인버터전원에 의한 알루미늄원판 1회전당 소요시간

그림 5는 그림 3의 측정시스템에서 상용전원의 실효치 전압 104[V], 전류 5[A]가 적산전력량계에 인가되는 경우와, 인버터 출력단으로부터 동일한 크기의 실효치 전압, 전류가 적산전력량계에 인가되는 경우에 알루미늄원판 1회전당 소요되는 시간을 나타낸다. 이 때 부하는 순저항부하로 소비되는 전력량을 520[W]로 일정하게 유지하였다.

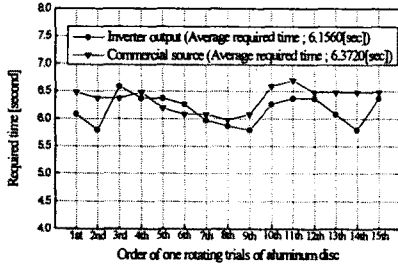


그림 5. 상용전원과 인버터전원에 의한 적산전력량계 알루미늄원판 1회전당 소요된 시간

2.3 고조파 민감도 특성시험을 위한 시스템 구성 및 시험방법

(1) 시스템 구성

그림 5의 알루미늄원판 1회전당 소요시간의 차이는 인버터 출력단 전원이 고조파를 함유하기 때문인데 이러한 고조파 민감도 특성시험을 위해 그림 6과 같이 계측시스템을 구성하였다.

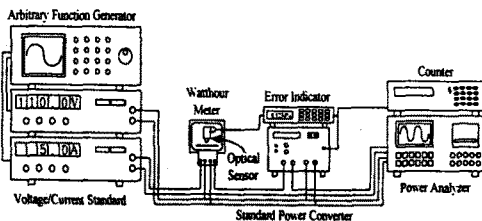


그림 6. 고조파 민감도 특성시험을 위한 시스템 구성도  
(2) 시험방법

고조파 민감도 특성시험을 위한 시스템 구성도인 그림 6에서, 시험에 필요한 고조파 전압과 전류파형을 임의파형발생기로 만들어 전압/전류 표준기를 통과시키며 적당한 실효치 전압, 전류로 증폭시켜 적산전력량계의 입력 전압과 부하전류로 사용한다.

전력 변환기에 실효치 전압 110[V]와 전류 5[A]의 전력 550[W]가 인가되면 전력변환기는 350 펄스를 일정하게 발생시킨다. 이 펄스와 적산전력량계의 계기정수와와의 관계에서 적산전력량계 알루미늄원판의 1회전당 고유 특성 펄스수를 산출하여 오차를 검출기에 입력하게 된다. 본 시험에 사용된 적산전력량계의 계기정수는 1000 rev/kWh 이다. 1회전당 고유 특성 펄스수가 오차를 산출하는 기준이 되고, 알루미늄원판이 1회전할 때마다 광센서를 통해 카운팅되는 펄스수는 비교대상이 된다. 이로부터 고조파함유 전원에 의한 적산전력량계 민감도 특성을 판단하게 된다.

(3) 전압과 전류 모두에 고조파 성분이 함유된 경우의 민감도 특성

그림 7은 전압과 전류 모두에 기본파 실효치에 대하여 10%의 고조파 성분이 함유되어 있을 경우, 21차까지의 각 홀수 고조파에 의한 적산전력량계 민감도 특성을 나타낸다.

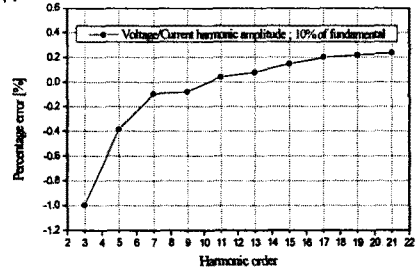


그림 7. 전압과 전류 모두에 고조파 각 차수가 기본파 실효치의 10%를 함유하는 경우 민감도 특성

(4) 전압 또는 전류 고조파의 진폭 크기가 변하는 경우 21차까지의 각 고조파 성분 민감도 특성

그림 8은 전압과 전류 고조파 각각의 크기를 기본파 실효치에 대하여 진폭의 크기를 각각 50%, 10%로 하였을 경우, 각 차수 고조파 성분에 의한 적산전력량계 민감도 특성을 나타낸다.

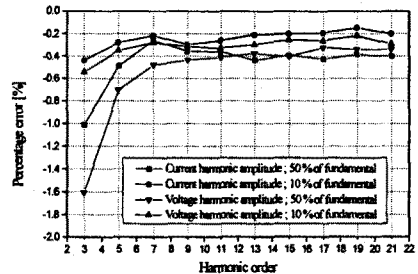


그림 8. 전압과 전류 고조파의 각 차수가 기본파 실효치의 50%, 10%를 각각 함유하는 경우 적산전력량계 민감도 특성

(5) 고조파 각 차수의 위상각 가변에 따른 민감도 특성

그림 9는 기본파 전압의 실효치 110[V], 전류의 실효치 5[A], 기본파의 역률이 0.866 지연된 경우, 고조파 전압과 전류 사이의 위상각을  $-180^\circ$  에서  $+180^\circ$  까지  $60^\circ$  간격으로 가변하여 3,5,7,9,11 고조파 각각에 의한 민감도 특성을 나타낸 것이다. 즉 60Hz의 전압을 기준위상으로 하고, 전압과 전류의 기본파 실효치의 크기를 일정하게 유지하면서, 3,5,7,9,11의 각 차수 고조파 진폭의 크기를 기본파 실효치 전압 및 전류 각각에 대해 10%의 크기로 하였다. 3고조파의 경우가 5,7,9,11 고조파에 비하여 민감도 특성이 크게 다를 수 있다. 또한 고조파의 위상각이  $0^\circ$  일 경우 3고조파가 민감도에 미치는 영향이 가장 크고, 다른 차수의 고조파에서는 위상각이  $\pm 180^\circ$  일 경우 가장 큰 민감도 특성을 나타냄을 알 수 있다.

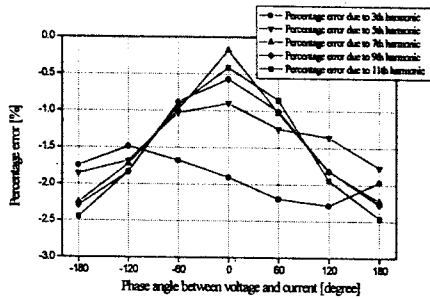


그림 9. 각 차수 고조파의 위상각 변화에 따른 민감도 특성

(6) 인버터 입/출력단 전류, 전압 고조파의 민감도 특성

그림 4의 고조파 스펙트럼 분석 결과로부터 각 차수 고조파를 기본파 실효치에 대한 크기와 비교하여 그 비를 파악한 후, 21차까지의 홀수 고조파의 각 차수 고조파가 미치는 민감도 특성을 그림 10으로 제시하였다.

이 때 기본파 전류는 5[A], 전압은 104[V] 즉, 소비 전력 520[W]로 일정하게 유지하는 경우의 값이며 민감도 실험을 위한 고조파 파형은 실측된 인버터 입·출력단 전류, 전압파형의 스펙트럼 분석결과로부터 21차까지의 각 홀수 고조파를 대상으로 하였다. 이 때 21차까지로 제한한 것은 임의파형발생기의 성능을 감안하기 위함이다. 인버터 입력단 전류에 의한 고조파 민감도 특성이 출력단 전압에 의한 민감도 특성보다 크게 나타나는 이유는 인버터 입력단 전류가 출력단 전압파형보다 심하게 왜형되기 때문이다.

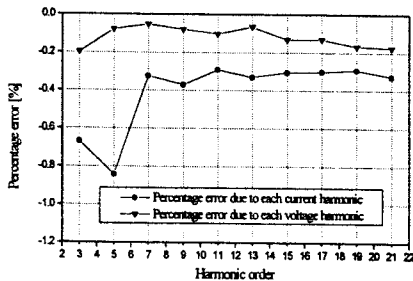


그림 10. 인버터 입/출력단 전압 및 전류파형의 각 고조파 차수에 의한 민감도 특성

(7) 역률가변에 따른 민감도 특성

인버터 입·출력단의 전압, 전류 고조파 중에서 21차까지의 홀수 고조파를 임의 파형 발생기로 구현하여 합성한 후, 표 1과 같이 4가지 경우로 나누어 민감도 특성시험을 하였다.

표 1 역률가변에 따른 민감도 특성시험을 위한 사례

사 례	전 압	전 류
사 례 1.	정 현 파	정 현 파
사 례 2.	정 현 파	21차까지의 인버터 입력단 실측 전류 파형
사 례 3.	21차까지의 인버터 출력단 실측 전압파형	정 현 파
사 례 4.	21차까지의 인버터 출력단 실측 전압파형	21차까지의 인버터 입력단 실측 전류파형

표 2는 역률가변에 따른 적산전력량계 민감도 특성을 나타낸 것으로 역률이 떨어짐에 따라 민감도 특성이 매우 크게 변화함을 알 수 있다. 고조파가 함유된 비정현파의 경우 역률을 1로 임의 조정하는 것이 불가능하므로, 사례 2,3,4의 경우에는 역률이 1인 경우 민감도 특성을 계속할 수 없다.

표 2 역률가변에 따른 민감도 특성

사 례	사 례 1.	사 례 2.	사 례 3.	사 례 4.
	역률 변화시 민감도 [%]	역률 변화시 민감도 [%]	역률 변화시 민감도 [%]	역률 변화시 민감도 [%]
1	-0.84	-	-	-
0.5 지상	-2.32	1.47	3.58	0.84
0.5 전상	2.95	0.49	-2.32	-0.68

3. 결 론

본 논문에서는 유도형 적산전력량계의 고조파 민감도 특성시험을 통해 실험적 자료를 도출하였다. 도출된 자료는, 전력의 생산자나 유도형 적산전력량계 생산업체, 전력소비자의 부하 및 전력설비의 용량선정등에서 고조파의 영향을 고려한 대책수립은 물론, 고조파 성능시험에도 중요한 참고가 될 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[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.  
 [3] S.M. Jang, S.H. Lee, Y.T. Park, "Analysis and Experiments on the Performance of Induction Watthour Meter under Harmonic Distortion", International Conference on Electrical Engineering(ICEE'98), Vol. 1, pp840-843, July 1998, Kyongju, Korea.