

## 유도형 모터 구동용 인버터의 고조파 파형 분석과 효율 측정

장석명\*, 정상섭\*, 박영태\*\*  
충남대학교 전기공학과, 한국표준과학연구소

### Harmonic Waveforms Analysis and Efficiency Measurement of Inverter for driving Induction Motors

Seok-Myeong Jang\*, Sang-Sub Jeong\*, Young-Tae Park\*\*  
\*Chungnam Nat'l University, \*\*KRISS

**Abstract** - The harmonics are injurious on the operation of the motor, electric instruments etc. In this paper, it is certified the capability of the electric measuring devices at the input/output of inverter. And it is measured the harmonics of the voltage and current waveforms. Also, this paper presents the efficiency of the inverter's power conversion by measuring the fundamental and total power at the input, DC bus and output.

#### 1. 서 론

가변속도제어를 위해 유도형 모터를 인버터로 구동하는 경우, 인버터의 입력측과 출력측에는 많은 고조파를 포함한다. 이러한 고조파는 모터뿐만이 아니라 전자 스위치, 계측기 등에 나쁜 영향을 미치며, 특히 모터 구동시 열손실의 증가와 모터 효율의 감소를 초래한다. 따라서 모터 구동에 있어서 고조파가 미치는 영향을 규명하기 위해서는 인버터의 고조파 파형 분석이 필수적이다.

본 논문에서는 인버터의 입력단과 출력단의 전압과 전류를 전력분석기, 가동찰심형, 일반 디지털미터로 계측하여 그 신뢰성을 확인하였다. 또한 각 단에서의 고조파 파형 분석과 전력을 측정하여 입력단에서 DC bus로의, DC bus에서 출력단으로의 전력 변환효율을 측정하였다. 따라서 이를 통해 고조파가 모터 특성에 미치는 영향 및 모터를 포함한 전체 구동시스템의 효율을 측정하는 기초 자료를 얻었다.

#### 2. 계측기 설정 및 입력출력의 전기량 측정

일반적으로 전기 계기류는 상용(50Hz 또는 60Hz의 정현파) 파형을 측정할 목적으로 제조되어 있기 때문에 인버터를 비롯한 구형파나 근사 정현파를 측정하게 되면 상용전원파는 다른 지시값을 나타나게 된다. 특히 측정 주파수가 상용보다도 낮은 경우나 현저하게 높은 경우 등에서는 지시차가 커지

며 계측기의 종류에 따라서도 다르다. 따라서 인버터 입출력을 정확히 측정할 수 있는 계측기를 선정하는 것이 중요하다.

#### 2.1 계측기 설정 및 전력분석기

본 실험에서는 정현파 뿐만 아니라 비 정현파인 경우에도 전기량을 정확하게 계측할 수 있는 전력분석기를 사용하였다. 표 1과 표 2는 실험에 사용된 전력분석기 및 인버터와 모터의 주요 사양을 보여준다.

표 1. 전력분석기 주요 사양

전력 분석기 (Voltech사 PM3300)	
주파수 범위	DC, 0.1Hz~500kHz
고조파 분석	DC~99차 고조파
Bandwidth	High Bandwidth DC ~ 500kHz Low Bandwidth DC ~ 5kHz
역률, 임피던스, THD, 피크치 등을 측정.	

표 2. 인버터와 유도전동기의 주요사양

인버터	유도전동기		
모터적용용량	2.2 kW	정격출력	1/4 Hp
캐리어주파수	15 kHz	정격속도	1670 rpm
제어방식	등가정현파 PWM	극수	4
출력전류	10 A	정격전류	1.3 A

그림 1은 전력분석기의 필터링 영역에 따른 인버터 출력 전압·전류의 실효치와 기본파 실효치 비교 그래프이다. 필터링 영역이 'High'인 경우 높은 차수의 고조파에 해당하는 노이즈까지 실효치에 포함되므로 고조파를 포함한 전체 실효치가 'Low'일 때 보다 크다. 또한 전류의 실효치와 기본파 실효치가 거의 비슷하므로 전류는 거의 정현파에 가깝다는 사실을 예상할 수 있으며, 인버터에 출력 V/f에서 전압은 기본파 실효치를 고려했음도 알 수 있다.

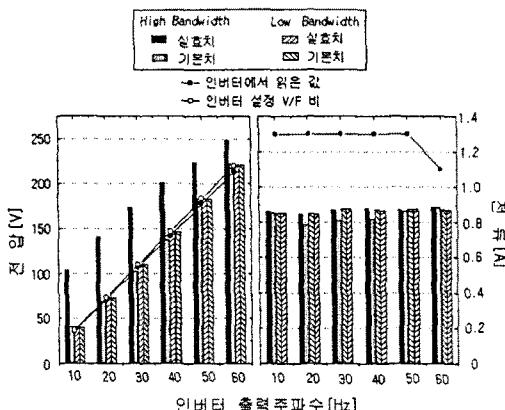


그림. 1 Bandwidth에 따른 인버터 출력 전압·전류의 실효치와 기본파 실효치 비교

## 2.2 인버터 입력측의 전압, 전류 측정

인버터의 입력측(전원측) 전압과 전류는 그림 2에서 보듯이 상용주파수이므로 일반적으로 어느 형식의 계측기를 사용하여도 문제가 없다고 알려져 있다. 그러나 전류 측정의 경우 파형의 왜곡이 있으므로 가동철편형이나 일반 디지털 미터로 사용하였을 때 지시치가 변하여 판독의 어려움이 있었다. 그림 3은 PM3300의 전력분석기를 지시치를 100%로 하여 측정기에 따른 지시치를 %로 나타낸 것이다. 전류치 오차의 경우, 가동철심형은 저주파수 출력일 때 크고, 일반 디지털형의 경우 그 제품에 따라 다름을 알 수 있다.

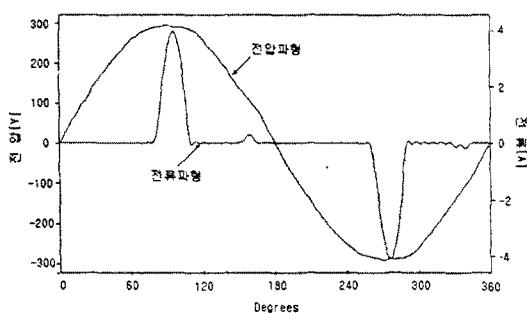


그림. 2 입력측 전압·전류 파형(출력주파수 60Hz)

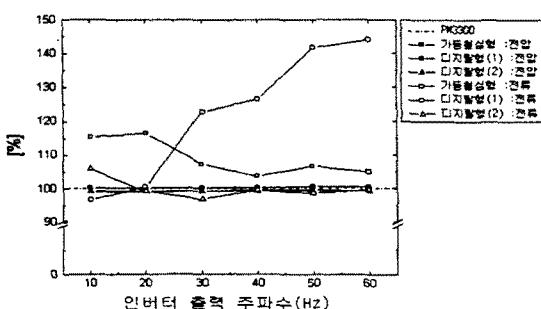


그림. 3 인버터 입력측 전압·전류의 계측값 비교

## 2.3 인버터 출력측의 전압, 전류 측정

고조파에 의한 파형의 왜곡이 심한 출력측 전압과 전류는 그림 4에서 보듯이 보듯이 가동철편형이나 일반 디지털 미터로 사용하여서는 안된다. 가동철편형의 경우 그 오차가 20Hz이상에서는 적게 나타나지만 50Hz미만에서는 지침이 심하게 진동하여 정확한 판독이 어려웠다.

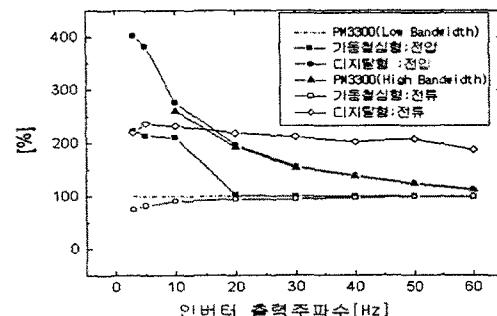


그림. 4 인버터 출력측 전압·전류의 계측값 비교

## 3. 인버터 입출력단의 고조파 분석

범용 인버터의 입력부는 컨버터 회로로 구성되고 그 비선형 특성-스위칭 동작-에 의해 고조파를 발생한다. 소용량의 인버터에서는 이 고조파가 문제되는 일은 적지만 대용량이나 다수의 인버터를 사용하는 경우에는 고조파 전류나 고조파 노이즈 문제가 발생한다.

### 3.1 인버터 입력측 고조파 분석

2절 그림 2에서 설명했듯이 입력측 전압파형은 거의 정현파에 가깝거나 전류는 구형파가 된다. 일반적으로 전류는  $6N \pm 1$  ( $N = 1, 2, 3, \dots$ )의 차수의 고조파가 포함되어 있다. 그림 5는 입력전류의 고조파 실측값으로 이 사실을 증명해준다.

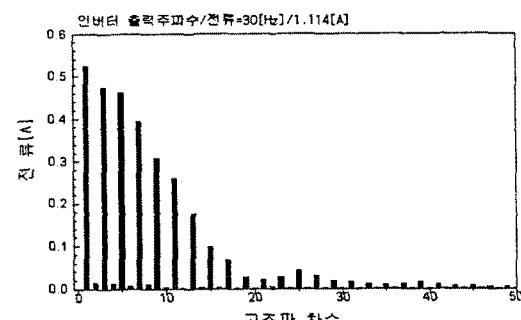


그림. 5 인버터 입력측 전류의 고조파 실측값  
(출력주파수 = 30Hz)

인버터의 출력주파수를 변화시켰을 때의 인버터 입력전류의 고조파 분석 결과를 그림 6에서 나타내었다. 이 그래프에서 저주파 출력시에 전원전류에는 고조파 왜형률이 큼을 알 수 있다.

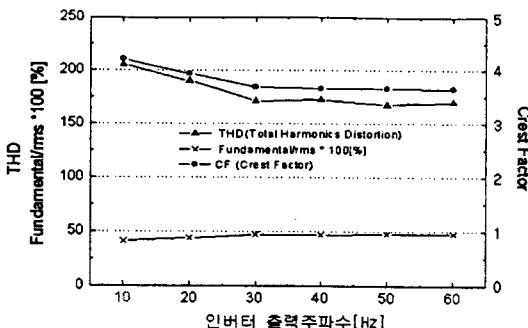


그림. 6 입력측 전류의 고조파 분석 예  
(PM3300 : High Bandwidth)

즉, 인버터에서 전원측에 발생하는 고조파 전류는 제어방식(PWM, PAM) 및 역률개선용 리액터의 유무뿐만 아니라 부하측의 출력 주파수, 출력 전류의 크기에 따라 달라질 수 있다.

### 3. 2 인버터 출력측 고조파 분석

그림. 7은 인버터 출력 과형에 포함된 고조파의 분석 예이다. 전고조파 왜형률(THD)이 전압과 전류의 경우 낮은 주파수일수록 증가하나 전류과형의 경우 거의 일정하다.

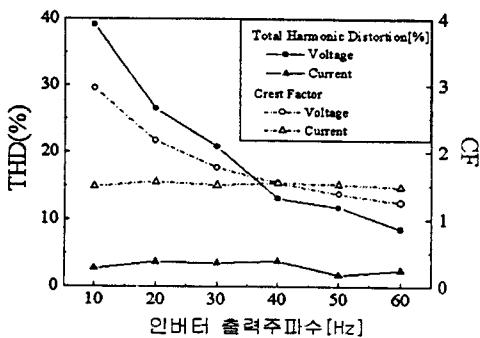


그림. 7 인버터 출력측 고조파 분석 예

### 4. 고조파를 고려한 인버터 효율 측정

그림 8은 인버터 구동 시스템의 계측 구성도이며 입출력 전력은 2전력계법, PM3300의 모드는 "PWM mode"을 사용하였다. 먼저 인버터의 입력측과 dc bus에서의 전력을 측정하여 정류부의 효율을 측정하고, 이와 똑같은 부하조건에서 DC bus와 인버터 출력측의 전력을 측정하여 인버터부의 효율을 측정하였다. 따라서 이를 통해 인버터 자체 전력변환효율을 계산할 수 있다. 더욱이 모터의 출력인 토크와 속도를 계측할 수 있다면 모터를 포함한 전체 시스템의 효율을 구할 수 있다.

그림 9의 실험결과에서 보듯이 정류부 효율은 거의 100%에 가까우나 인버터부의 효율은 저주파수 출력에서 낮은 효율을 보인다. 이를 통해 인버터의 전체 효율은 인버터부에 의해 결정됨을 알 수 있

다. 또한 전체 실효율과 기본파 실효율의 전력효율은 거의 같다.

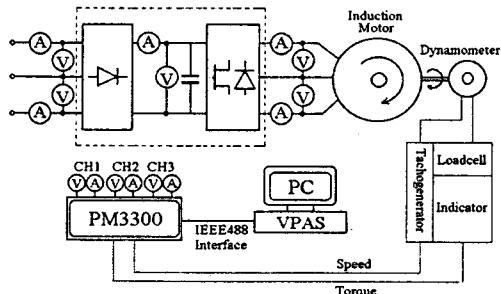


그림. 8 인버터 효율 측정을 위한 계측 구성도

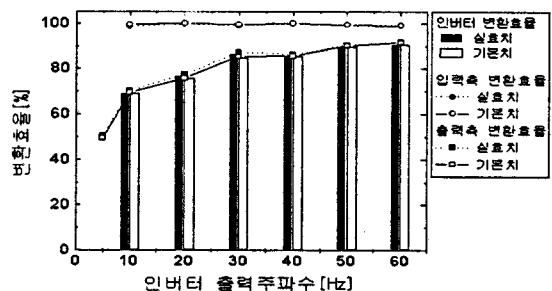


그림 9 인버터 입력측, 출력측, 전체 변환효율  
(인버터 정격출력의 15%일 때)

## 5. 결 론

유도형 모터 구동용 인버터의 고조파 과형분석과 효율 계측을 통해 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

- 인버터 입·출력측 전기량은 가동찰심형이나 일반 디지털 미터를 사용시 정확한 측정이 어렵다.
- 인버터 입력전류의 THD는 출력주파수에 낮을수록 크고 출력전류는 거의 정현파에 가깝다. 출력전압의 THD는 낮은 출력 주파수일수록 증가한다.
- 인버터부의 효율은 저주파수 출력에서 낮은 효율을 보이며, 인버터의 전체 효율은 인버터부에 의해 결정됨을 알 수 있다.

결과적으로 모터를 인버터로 구동하는 경우 저속 영역에서 토크저하와 같은 특성 변화가 있을 것으로 생각된다. 따라서 향후 인버터 출력측의 고조파 함유에 따른 모터의 특성 해석과 실험, 특히 고조파 문제가 심각한 대용량 인버터의 경우에 있어서 이를 확인할 것이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Richard Redl et al,"Power electronics'polluting effects" IEEE Spectrum, pp.33-39, May 1997
- [2] 장석명 외, "시간고조파를 함유하는 비정현파 전력에너지의 정밀계측을 위한 연구", 대한전기학회, 제45권 제 11호, pp.1542-1548