

# 가변속 구동장치의 부하측에서 발생하는 고조파 해석

## Analysis of Harmonics generated at Load of Adjustable Speed Drives

金宗謙 · 李殷雄 · 李東周

Jong-Gyeum Kim · Eun-Woong Lee · Dong-Ju Lee

### Abstract

Induction motor control using for adjustable speed drives has caused secondary effect such as harmonics. Therefore it is considered a various countermeasures to minimize these effects.

In this paper, we analyzed the influence of harmonics that is generated by the inverter device for adjustable speed drive of induction motor at the load side.

### 1. 서론

가변속 구동설비에 전력변환장치의 사용으로 유도전동기의 속도제어할 수 있지만, 전력변환장치의 인버터 스위칭에 의해 발생하는 고조파는 전원측뿐만 아니라 전동기 부하에도 영향을 나타낸다. 부하측에 나타나는 전류 고조파는 권선의 추가적인 손실을 가져오며 또한 이들 고조파는 토오크 고조파 성분을 발생하여 진동과 소음의 원인이 되기도 한다.[1]

이같은 고조파의 영향으로부터 전동기를 보호하기 위한 대책으로서 전동기의 구조개선 연구[2]와 가변속 전원장치에서 발생하는 고조파를 자체적으로 감소하기 위한 연구[3]가 진행되고 있다.

본 논문에서는 가변속 구동장치의 인버터에서 발생하는 고조파가 전동기에 미치는 영향을 해석하고자 한다.

### 2. 고조파 발생이론

#### 2.1 구동 시스템의 형태

그림 1 은 가변속 구동시스템으로서 전원변환장치에서 주파수를 변환시키는 인버터는 전압형, 전류형으로 분류된다.[2,3]

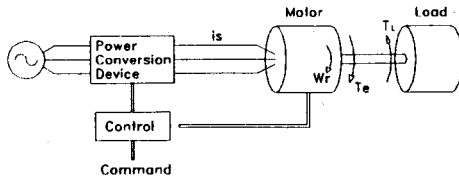


그림 1 가변속 드라이브 시스템  
Fig. 1 Adjustable Speed Drive System

그림1과 같이 전원변환장치와 전동기를 연결하는 전원측 선로 인덕턴스는 전력품질, 역률 및 고조파 성분등에 영향을 미치는 변수일 수 있다.[4] 그리고 이 전원변환장치에는 기본적으로 컨버터 모듈에 다이오드나 싸이리스터가 사용되고, 인버터 모듈에는 싸이리스터, 트랜지스터 및 GTO, IGBT등의 소자가 사용되고 있다.

#### 2.2 고조파 발생 이론과 그 영향

3상 인버터로 구성되어 있는 가변속 구동장치는 인버터의 스위칭 작용으로 발생하는 저차의 고조파가 문제가 된다.[3]

가변속 구동장치의 컨버터에서 교류를 직류로 변환하는 과정에서 전압에 함유되는 고조파가 컨버터회로에 전력저장 기능이 없을 때 그대로 부하에 공급하게 된다.

그리고 그 발생하는 고조파 차수 h 는 식(1)과 같고, 장치의 펄스수 p와 관련 있다.

$$h = np \pm 1 \quad (1)$$

따라서 가변속 구동장치에 의해 부하에 유입되는 전류  $I_r$  는 식(2)와 같이 기본파  $I_1$  이외에 고조파 성분을 포함한다.

$$I_r = I_1 + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \quad (2)$$

가변속 구동 전류의 전체 고조파 왜형률(THD)은 식(3)와 같이 정의된다.

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}{I_1^2}} \quad (3)$$

컨버터에 의해 발생된 5,7,11... 등과 같은  $(6n \pm 1)$  차수의 고조파 성분을 함유한 비정현적인 전압이 고정자 권선에 입력되면 회전자에는 이에 대응하는 고조파 전류를 발생시킨다.

그리고 이들 고조파 차수의 각각은 대칭성분이론에 따라 정상분 및 역상분으로 되며 가장 우세한 5 고조파 성분은 회전자의 회전방향과 반대로 회전력을 발생하여 전동기의 효율을 떨어뜨리고, 이들 고조파 성분은 고정자와 회전자 철심에서 고조파 와전류와 히스테리시스손을 발생시켜 가열되고 권선에서 표피효과 손실을 일으킨다.[6]

### 3. 고조파 해석과 결과분석

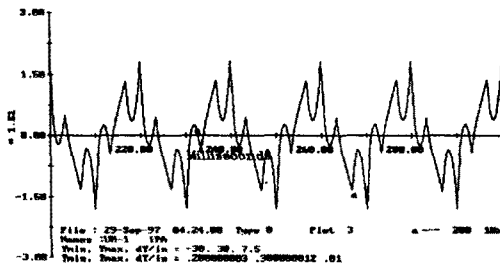
컨버터 및 인버터에 사용된 스위칭 소자는 전자계과도해석 프로그램(EMTP)의 TACS제어 스위치를 사용하였고[7], 해석에 사용된 유도전동기 파라미터는 표 1 과 같다.

표 1. 해석모델 사양

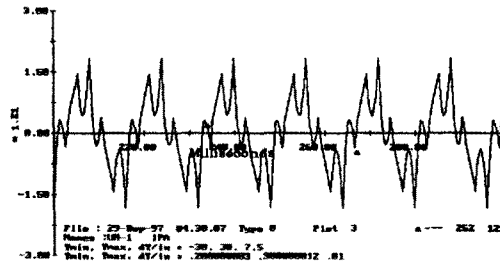
Table 1 Specification for analysis model

220[V], 4p, 60Hz, 3ph, squirrel cage, Y-connected		
Electrical Parameters	stator resistance, $R_s$	0.435[Ω]
	rotor resistance, $R_r$	0.816[Ω]
	stator leakage inductance, $L_{s\sigma}$	0.754[mH]
	rotor leakage inductance, $L_{r\sigma}$	0.754[mH]
	mutual inductance, $L_m$	26.1261[mH]
	Mechanical Parameters	Inertia moment, $J$
	Friction coefficient, $B$	111.4[Nm]
	Load torque, $T_L$	6.98[Nm]

그림 3 은 정류부를 싸이리스트로 정류하고 인버터부에서 구형파를 발생시키는 구조에서 운전주파수를 각각 50과 62.5Hz로 한 경우 고정자 전류를 나타낸 것이고, 그림 4 는 이 고정자 전류의 고조파스펙트럼을 나타낸 것이다. 전류파형은 dip 과 cusp 를 가지며, 전체 고조파왜형율은 각각 63.62%와 58.43%가 된다. 고조파분포에서는 저차인 5차가 가장 크게 작용하며 그 다음으로는 7차로 점차 차수가 커짐에 따라 크기는 작아진다.



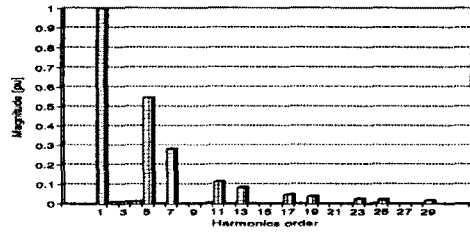
(a)  $f = 50\text{Hz}$



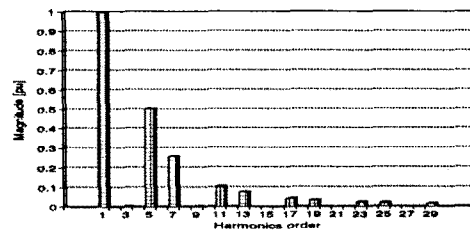
(b)  $f = 62.5\text{Hz}$

그림 3 구형파 인버터의 고정자 전류

Fig. 3 Square-wave inverter stator current



(a)  $f = 50\text{Hz}$

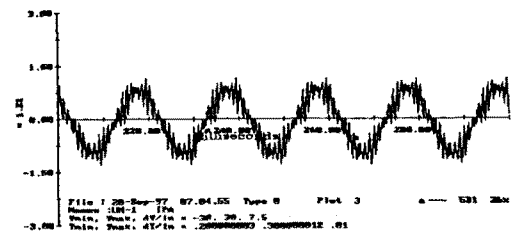


(b)  $f = 62.5\text{Hz}$

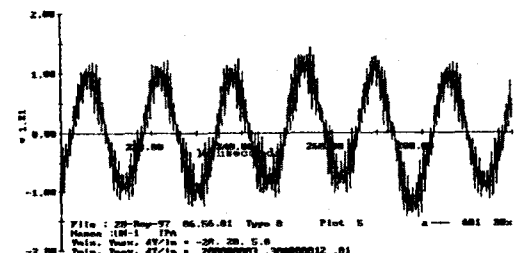
그림 4 구형파 인버터의 고정자 전류 스펙트럼

Fig. 4 Stator current spectrum of square-wave inverter

그림5와 6은 정류부에서 다이오드로 정류하고 인버터부에서 PWM에 의해 정현파 전원으로 변환하여 부하측에 운전주파수 50과 62.5Hz로 각각 공급할때 고정자 전류 및 고조파 성분을 해석한 것이다.



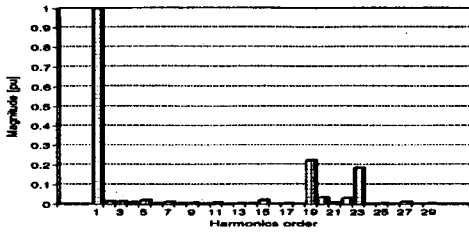
(a) 고정자 전류( $f=50\text{Hz}$ )



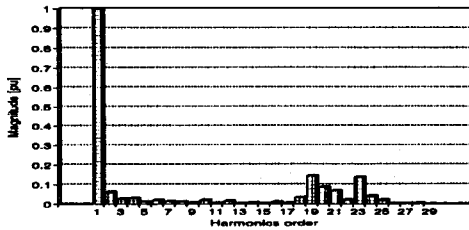
(b)  $f = 62.5\text{Hz}$

그림 5 PWM 인버터의 고정자 전류

Fig. 5 PWM inverter stator current



(a)  $f = 50\text{Hz}$



(b)  $f = 62.5\text{Hz}$

그림 6 PWM Inverter의 전류스펙트럼

Fig. 6 Current spectrum of PWM inverter

이 인버터 스위칭작용에서는 저차 고조파가 크게 나타나지 않지만 고차인 19차 및 23차인 고조파가 크게 나타나는 현상이 발생한다. 이때의 전체 고조파왜형율은 각각 29.8%와 24.87%가 된다.

#### 4. 결론

유도전동기의 가변속 구동을 위한 장치로 널리 사용되고 있는 구형파와 PWM 인버터 스위칭 작용에 의해 발생하여 부하측에 나타나는 고조파 성분을 해석하였고, 부하의 가변속에 따른 전류의 파형과 전류 고조파 스펙트럼도 비교했다.

인버터의 스위칭 작용으로 발생하는 고조파의 영향에서 구형파 인버터일 경우 저차인 5 및 7 고조파가 가장 지배적이며 차수가 커짐에 따라 크기도 함께 완화되지만, PWM인버터일 경우에는 구형파 인버터에서와는 달리 저차는 거의 별다른 반응을 보이지는 않지만 고차인 19차와 23차가 상당히 크게 나타나는 특이한 현상을 발견 되었다.

#### 참고 문헌

- [1] Bin Wu et al., "PWM-CSI Inverter for Induction Motor Drives", IEEE Trans on IAS, Vol.28, No.1, pp.64~71, 1992, Jan/Feb.
- [2] C.J.Erickson, "Motor Design Features for Adjustable-Frequency Drives", IEEE Trans on IAS, Vol.24, No.2, pp.192~198, 1988, Mar/April.

[3] J.W. Gray et al., "Industry Power Quality considerations When Installing Adjustable Speed Drive Systems", IEEE Trans on IAS, Vol.32, No.3, pp.646~652, 1996, May/Jun.

[4] David D.Shipp et al., "Power Quality and Line Considerings for Variable Speed AC Drives", IEEE Trans on IAS, Vol.32, No.2, pp.403~410, 1996, Mar/April.

[5] Thomas et al., "Application Considerings for PWM Inverter-fed Low-voltage Induction Motors", IEEE Trans on IAS, Vol.30, No.2, pp.286~293, 1994, Mar/April

[6] Robert A.Hanna, "Harmonics and Technical Barriers in Adjustable Speed Drives", IEEE Trans on IAS, Vol.25, No.5, pp.894~900, 1989, Sep/Oct

[7] Meyer, W.S and T.H.Liu, *EMTP Rule Book, Bonneville Power Administration*, Portland, Oregon, 1982.