

PWM 인버터로 구동되는 농형 선형유도전동기의 2차측 도체 전압 특성

김경민* , 박승찬
 동양대학교 대학원 시스템제어공학과

Experimental Investigation on Induced Voltage of the Secondary Conductors in Linear Induction Motor with Cage-type Secondary Fed by PWM Inverter

Kyung-Min Kim* , Seung-Chan Park

Depet. of System Control Engineering, Grauate School of Dongyang University.

Abstract - In this paper, induced voltages of the secondary conductors of a linear induction motor(LIM) with cage-type secondary are measured and analyzed when the LIM is fed by PWM inverter. The attenuation constant of the induced voltage of the secondary conductors near entry and exit zones of the the travelling magnetic field are determined from the experiment results.

1. 서 론

선형 유도 전동기의 2차측 구조를 회전형 유도전동기와 같이 농형으로 하면, 평판형 2차측의 경우보다 동가적인 공극감소로 인하여 역률, 효율 및 추력이 상대적으로 증가하는 효과가 있다.

본 논문에서는 전동기 제어에 적합하게 개발된 DSP인 TMS320F240과 IPM을 사용한 PWM 인버터를 구성하고 이를 이용하여 정현파 PWM 출력전압 제어를 하였을 경우, 농형 선형유도전동기의 2차측 도체바에 유기되는 전압 파형을 측정하고 고조파 분석을 행한다. 또한 1차측 영역 외부의 2차 도체바의 유기전압 특성을 고찰함으로써 입구단 및 출구단에서의 2차 도체 전압 감쇄정수를 결정한다.

2. 실험 장치 구성

2.1 농형 2차측을 갖는 LIM 모델

본 논문에서 실험하고자하는 농형 선형유도전동기의 단면도와 사양을 각각 그림 1과 표 1에 나타내었다(1).

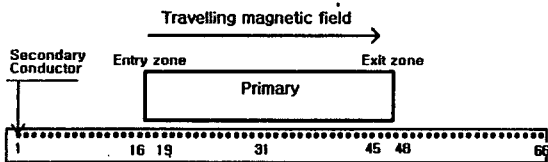


그림 1 LIM의 1, 2차측 단면도 및 2차측 도체바 위치
 Fig. 1 Cross section of the LIM and positions of the secondary conductors

표 1 농형 선형유도전동기의 사양
 Table 1 Specifaicaion of the LIM

파라미터	단위	설계치
1차측 길이 L	mm	200
극수 p		4
1차철심 적층폭 h	mm	36
매극매상 슬롯수 α		2
슬롯피치 t_{s1}	mm	8.33
슬롯폭 W_s	mm	5
단절율 β		5/6
1코일당 턴수 N	turns	110
1상의 직렬턴수 N_{ph}	turns	660
반코일 길이 l_a	mm	90
1차측 저항 R_1	Ω	10.1
기계적 공극 g	mm	1.5
2차측 슬롯피치 t_{s2}	mm	6.4
back-iron 두께 d_{iron}	mm	10
back-iron 폭 W	mm	40
바저항률 (Cu)	Ωm	1.73×10^{-8}
바직경 D_{bar}	mm	3
엔드바단면적 q_r	mm^2	40

2.2 DSP를 이용한 정현파 PWM 인버터 회로 구성

TMS320F240은 Analog-to-Digital Converter, Event manager module, Watchdog timer등 제어를 위한 필요한 기능들이 내장되어 있다. TMS320C3x, TMS320C5x등을 이용하여 PWM을 구현하려면 소프트웨어 구성이 힘들고 하드웨어가 커지는 단점이 있으나, TMS320F240에서는 Register의 셋팅만으로, EV module을 제어하여 PWM을 쉽게 구현할 수 있다는 큰 장점이 있다(2). 따라서, 본 논문에서는 인버터의 출력 전압을 제어하기 위한 디지털 제어기 구현을 위하여 TI사의 TMS320F240 DSP를 사용하였다.

그림 2는 전체 실험장치의 구성도로서, 농형 LIM, DSP를 이용한 디지털 제어기 및 전력 변환장치로 구성되어 있다. 전력 변환장치는 220(V)의 단상 전원을 직류로 변환하는 단상 전파 정류기, 3상 인버터 전용 IPM 및 IPM 게이트 구동 제어회로로 구성된다. IPM은 미쯔비시사의 전력용 소자인 PM30RSF060을 사용하였다. 이것은 소자내에 IGBT 모듈, 게이트 드라이브 회로, 보호 로직이 내장된 형태이므로 제어가 용이하고 전원부와 제어부가 절연되는 장점이 있다.

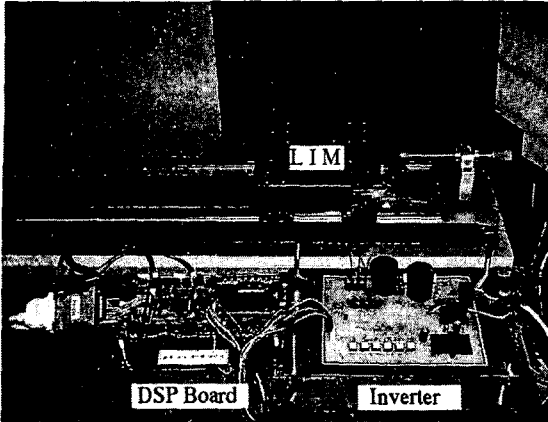


그림 2 실험 장치 구성도(LIM, DSP보드, 인버터)
Fig. 2 Experimental apparatus view including LIM, DSP board and inverter

본 논문에서는 인버터의 출력전압을 정현파 PWM법을 이용하여 제어하였으며, 2차측 도체에 유기되는 고조파 전압특성을 고찰하기 위하여 출력전압의 기본 주파수, 캐리어 주파수, 진폭 변조 지수, 주파수 변조 지수를 다음과 같이 설정하였다.

- 기본 주파수 $f = 20.833\text{Hz}$
- 캐리어 주파수 $f_c = 156.25\text{Hz}$
- 진폭 변조 지수 $m_a = 0.41$
- 주파수 변조지수 $m_f = 15$

그림 3은 실험에서 사용한 정현파 PWM 인버터의 출력 전압·전류 파형을 나타낸다.

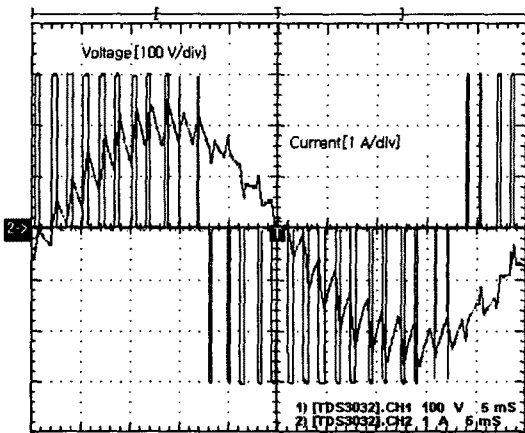


그림 3 인버터 출력 전압·전류 특성
Fig. 3 Inverter output voltage and current waveforms

3. 실험 결과 및 고찰

그림 4은 입구단 부분의 19번 도체, 그림 5는 1차측 내부의 중앙부에 위치한 31번 도체, 그림 6은 출구단 부분에 위치한 45번 도체바의 전압을 측정하는 것이다.

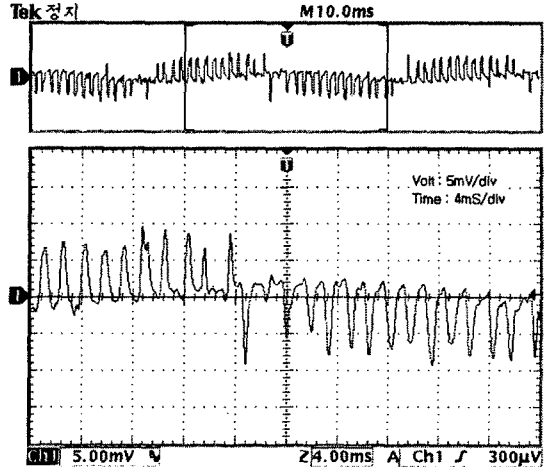


그림 4 입구단부의 19번 2차 도체바 전압
Fig. 4 Induced voltage of the conductor located at the entry zone

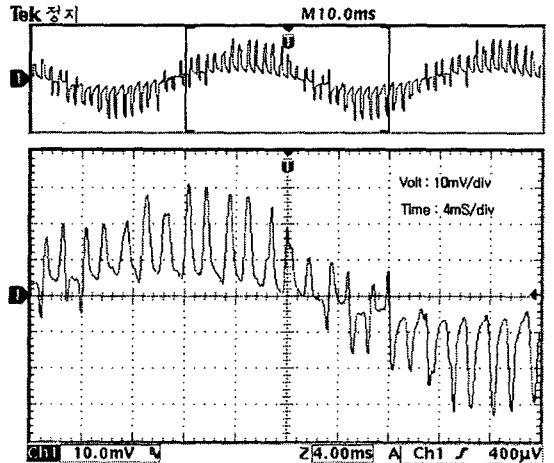


그림 5 2차측 31번째 도체바 전압
Fig. 5 Induced voltage of the conductor located at the middle zone

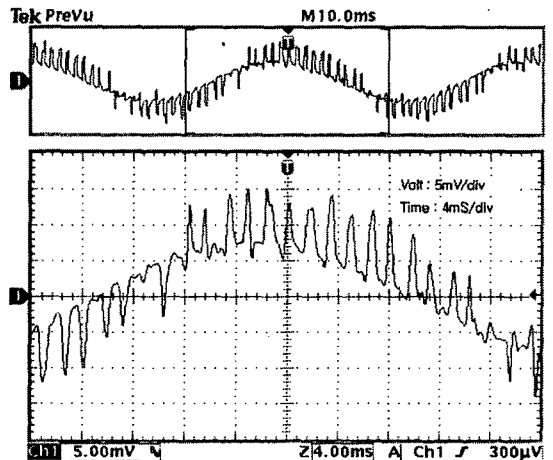


그림 6 2차측 45번째 도체바 전압
Fig. 6 Induced voltage of the conductor located at the exit zone

LIM의 입구단 단부효과파는 정상자계파의 진행방향으로 이동하면서 정상자계파를 천천히 감소시키는 작용을 하고, 반대로 출부단부의 단부효과파는 정상자계파와는 반대방향으로 이동하면서 정상자계파를 증가시키는 작용을 한다[3,4]. 또한, 출구단부의 단부효과파의 감쇄는 입구단부의 단부효과파에 비교하여 훨씬 빠르게 발생한다. 따라서, LIM의 공극 자계 분포는 출구단부에서 가장 높게 된다. 그러나, 실제 LIM의 양단부에서는 단층권이시행되므로 저속도 LIM에서는 전동기 중앙부에서 공극자계의 세기가 가장 높게 된다.

그림 4 ~ 그림 6 으로부터 입구단부의 19번 도체 전압의 실효값은 3.52 [mV], 전동기 중앙부 31번 도체 전압의 실효값 12.2 [mV], 출구단부 45번 도체 전압은 7.27 [mV]로 측정되었다. 이것은 앞서 언급한대로 단부효과로 인한 공극자계의 불균일 분포때문이다. 또한, 그림에서 각 도체의 유기전압에는 기본파보다 고조파 성분이 더 지배적임을 알 수 있다.

그림 7과 그림 8은 각각 입구단 및 출구단의 최외각 도체 유기 전압의 약 $e^{-\gamma}$ 배로 감쇄되는 도체 전압을 보여준다. 그림 7은 11번 도체, 그림 8은 52번 도체의 전압특성으로서 각 도체는 입구단 및 출구단으로부터 대략 극간격의 길이(τ)인 5cm 만큼 떨어진 곳에 위치해 있다.

그림 9 및 그림 10은 입구단 및 출구단 외부영역에 있는 도체 전압의 실효값을 측정하여 그 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 8 및 그림 9로부터, 단부효과에 의하여 발생하는 1차측 영역외부의 2차측 도체 유기 전압의 감쇄정수(γ)를 입구단 및 출구단 최외각 도체 전압 크기의 $e^{-\gamma}$ 가 되는 거리로 정의하면, 감쇄정수는 약 $\gamma = \tau(m)$ 가 된다. 또한, 이러한 감쇄정수로부터 2차측 전압의 분포 특성뿐만 아니라 2차측 전류의 분포를 간접적으로 파악할 수 있다.

그림 11은 인버터의 출력 선간 전압의 고조파를 분석한 것이다. 출력 전압의 한 주기에 대해서 고조파를 분석하면 그림에서 보는 바와같이 30차 고조파와 32차 고조파가 가장 크게 나타난다. 그림 12의 2차측 도체 전압의 고조파 성분을 분석한 것을 보면 그림 11의 인버터의 출력 전압과 마찬가지로 30차 및 32차 고조파 성분이 지배적임을 알 수 있다. 따라서 2차측 도체바의 전압의 고조파성분은 인버터의 출력 선간 전압의 고조파 특성에 직접적으로 의존하고 있음을 알 수 있다.

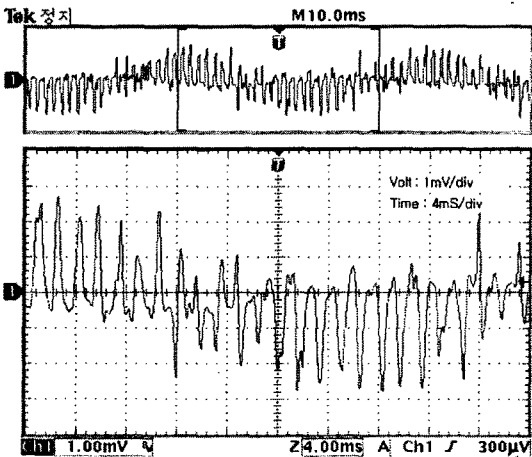


그림 7 입구단 외부영역의 11번 도체바 전압
Fig. 7 Induced voltage of the 11th conductor near entry zone

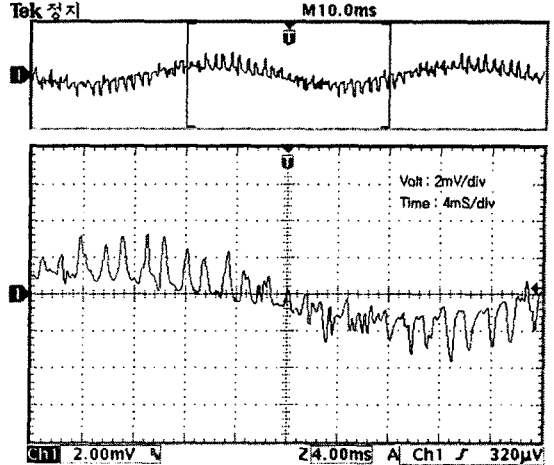


그림 8 출구단 외부영역의 52번 도체바 전압
Fig. 8 Induced voltage of the 52th conductor near exit zone

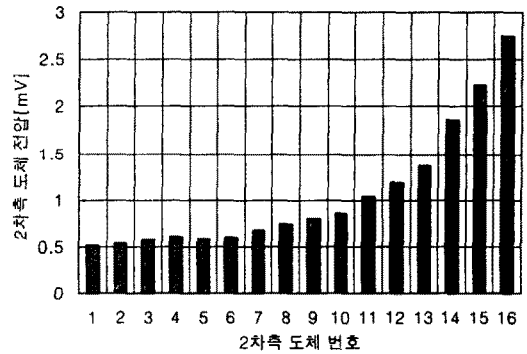


그림 9 입구단 외부의 2차측 도체 전압 분포
Fig. 9 RMS induced voltages of conductors outside the entry zone

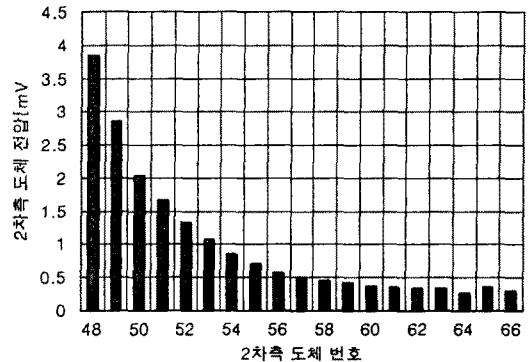


그림 10 출구단 외부의 2차측 도체 전압 분포
Fig. 10 RMS induced voltages of conductors outside the exit zone

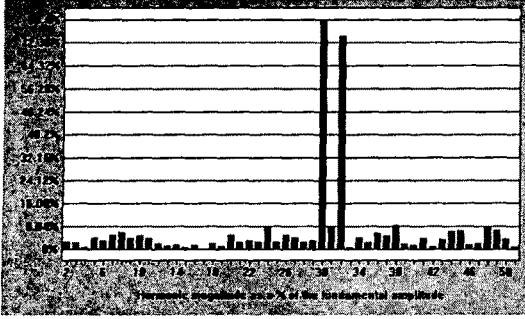


그림 11 PWM 인버터 출력 전압의 고조파 성분
Fig. 11 Harmonics spectrum of inverter voltage

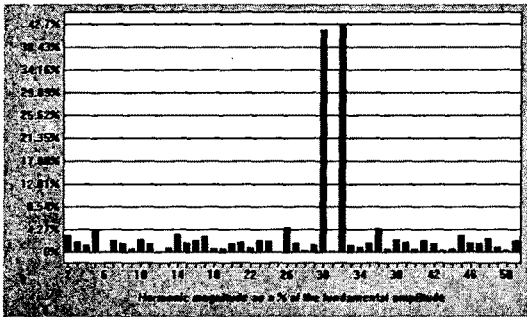


그림 12 2차측 도체 전압의 고조파 성분
Fig. 12 Harmonics spectrum of induced voltage in secondary conductor

4. 결 론

본 논문에서는 농형 2차측을 갖는 LIM의 2차측 도체바에 유기되는 전압 파형을 측정하고 고조파 분석을 하였다. 2차측 도체전압의 지배적 고조파 성분은 인버터 출력전압의 지배적 고조파 성분과 일치함을 알 수 있었다. 또한, 1차측 영역외부에서 유기되는 2차측 도체 유기전압의 감쇄정수(γ)를 입구단 및 출구단 최외각 도체전압 크기의 e^{-1} 가 되는 거리로 정의하였으며, 도체전압의 분포를 실측하여 약 $\gamma = \tau$ (극간격) [m]가 됨을 실험적으로 입증하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] 박승찬, 우경일, "농형 2차측을 갖는 선형유도전동기의 설계", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집, pp.105-108, 2001. 4.
- [2] Texas Instruments, "TMS320F/C240 DSP Controllers Reference Guide", Texas Instruments, 1998.
- [3] S.A.Nasar, I.Boldea, *Linear Motion Electric Machines*, John Wiley & Sons, 1976.
- [4] Sakae Yamamura, *Theory of Linear Induction Motors*, John Wiley & Sons, 1979.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 지원으로 수행되었습니다.
(과제번호 : R02-2001-00945)