

## 농형 2차축을 갖는 선형 유도전동기의 제어 특성 모니터링

김 경 민\*, 박 승 찬  
동양대학교 대학원 시스템제어공학과

### Control Characteristics Monitoring of Linear Induction Motor with Cage-type Secondary

Kyung-Min Kim\*, Seung-Chan Park  
Dept. of System Control Engineering, Graduate Sch<sup>o</sup>l of Dongyang University

**Abstract** - This paper presents a position control system for a linear induction motor(LIM) with cage-type secondary using direct thrust control(DTC). Also it presents a virtual instrumentation(VI) system for LIMs performance monitoring. The VI is designed using the graphical programming language LabVIEW and is capable of performing measurement functions, including data acquisition, display, and analyses at the same time. This paper reports the LIM's responses of the thrust, current, speed, and flux measured by the proposed monitoring system.

### 1. 서 론

농형 2차축을 갖는 선형 유도전동기(Linear Induction Motor)의 빠른 응답과 정밀한 위치 제어 성능을 구현하고자 직접 추력 제어 알고리즘(Direct Thrust Control) 및 P-IP 위치 제어로 연속 구동에 따른 성능 분석 자료를 설계 및 해석결과와 비교·검토하여 설계 개선 및 정밀특성해석에 재반영하고자 실시간 데이터 수집, 처리, 디스플레이를 위한 가상계측(Virtual Instrument)시스템을 구현하고자 한다. 이를 위해 전동기에 인가되어지는 두 개의 선간전압 및 상전류 신호를 그래픽 프로그램 언어인 LabVIEW와 DAQ 보드를 통해 데이터를 수집하고, 또한 속도 및 위치 응답 특성을 파악하고자 리니어 스케일 신호를 받아들여 가상계측시스템을 구축하였다[1].

따라서, 본 논문에서는 농형 2차축을 갖는 선형 유도전동기의 위치 제어 시의 전류, 자속, 추력, 속도, 위치 등을 실시간 모니터링하여 제어 특성을 제시한다.

### 2. 시스템 구성

#### 2.1 추력 연산 알고리즘

2개의 선간 전압  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$ 와 2개의 상전류  $i_a$ ,  $i_b$ 로부터  $d$ ,  $q$ 축 전압  $V_{ds}$ ,  $V_{qs}$  및  $d$ ,  $q$ 축 전류  $i_{ds}$ ,  $i_{qs}$ 를 구하여 고정자 쇄교자속을 유도하면 각각 다음과 같이 유도된다.

$$\lambda_{ds} = \int (V_{ds} - R_s i_{ds}) dt \quad (1)$$

$$\lambda_{qs} = \int (V_{qs} - R_s i_{qs}) dt \quad (2)$$

식(1)과 식(2)를 DSP에서 연산하기 위하여, 식(3)~(4)와 같은 디지털 연산식을 도입하였다.

$$\lambda_{ds}(n) = \alpha \lambda_{ds}(n-1) + \{ V_{ds}(n) - R_s i_{ds}(n) \} T_s \quad (3)$$

$$\lambda_{qs}(n) = \alpha \lambda_{qs}(n-1) + \{ V_{qs}(n) - R_s i_{qs}(n) \} T_s \quad (4)$$

여기서,  $R_s$ 는 고정자 저항,  $T_s$ 는 샘플링 시간,  $n$ 은 샘플링을 나타내고,  $\alpha$ 는 디지털 적분 연산시에 발산을 방지하기 위한 보정 상수로서  $\alpha = 0.99$ 이다. 위에서 구해진  $d$ ,  $q$ 축 전류 및 자속을 이용하여 직접 추력식을 유도하면 다음과 같다.

$$F(n) = k \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} (\lambda_{ds}(n) i_{qs}(n) - \lambda_{qs}(n) i_{ds}(n)) \quad (5)$$

여기서,  $k$ 는 end effect를 고려한 추력 보정계수(Thrust Correction Coefficient)로써 본 논문에서는  $k = 0.9$  인 상수값으로 결정하였고,  $\tau$ 는 극 간격을 나타낸다.

#### 2.2 전체 시스템 제어 블록도

그림 1은 직접 추력 제어 알고리즘을 적용한 농형 2차축을 갖는 LIM의 전체 제어시스템 구성도를 나타내고 있다[2]. LIM에 인가되어지는 dc link 전압의 변화를 고려할 수 있는 두 개의 선간 전압과 상전류를 전압 센서 및 전류 센서를 통해 검출하여 고정자 자속의 크기 및 벡터값, 순시 추력값을 연산하고, 위치 제어는 P-IP제어기를 이용하여 구현하였다. DTC는 연산된 고정자 자속과 순시 추력값을 각각의 지령치와 비교하여 오차가 설정한 허스테리시스 벤드폭 내에 존재하면서, 자속 벡터의 위치에 따라 최적의 전압 벡터 테이블에 의해 인버터 전압 벡터를 제어함으로써 빠른 추력 응답 특성을 가진다. 또한, 샘플링 주기마다 지령치와 비교되기에 불필요한 스위칭이 제거되어 고조파 손실과 노이즈 성분을 줄일 수 있다[3].

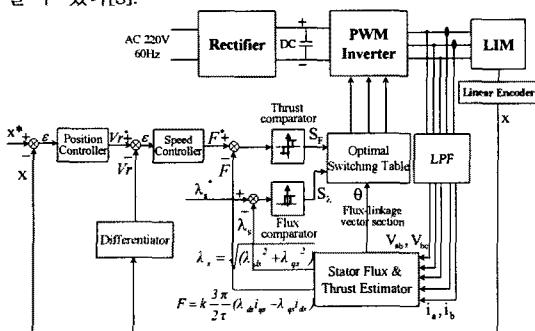


그림 1. 직접 추력 제어법을 이용한 시스템 구성도  
Fig. 1. System configuration using direct thrust control for linear induction motor

### 3. 모니터링을 위한 프로그램 및 실험 장치

본 실험에서는 그림 2와 같이 DSP인 TMS320F2812를 사용하여 농형 2차축을 갖는 LIM의 빠른 응답과 정밀한 위치 제어기를 구현하고자 전동기에 인가되어지는 두 개의 선간 전압과 상전류 신호를 검출하기 위해 전압 센서 및 전류 센서를 사용하였고, 센서 출력 신호들에 포함되어 있는 고조파 성분 및 dc offset 성분 등을 제거하고자 LPF를 설계하여 사용하였다. 또한 샘플링 시간 동안에 A/D 값을 수만 번 읽어 들여 평균값을 구하는 방식의 이동 평균 필터 이론을 적용하였다[4]. 그리고 정밀한 속도 및 위치 제어를 위해 리니어 스케일의 신호를 4채널 엔코더 검출회로를 이용하여 속도 및 위치를 연산하였다. 이때 DSP에서 연산되어진 값들의 정확성 및 이상 유무, 제어 특성을 모니터링하고자 PCMCIA 카드가 장착된 노트북에서 DAQ보드를 통해 받아들인 선간 전압 및 상전류, 리니어 스케일의 신호들을 수집, 처리할 수 있게 LabVIEW를 이용한 가상계측시스템을 구성하여 측정된 전기량들과 상호 비교하였다.

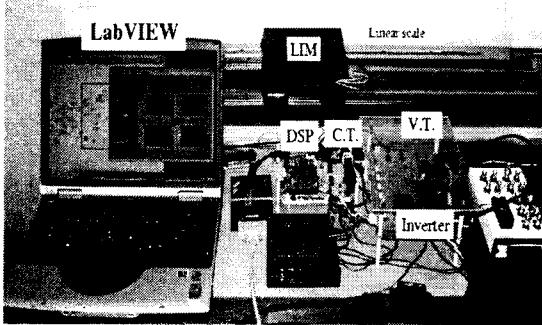


그림 2. 농형 LIM의 모니터링 시스템의 사진

Fig. 2. Photograph of the monitoring system of LIM using direct thrust control

그림 3은 농형 2차축을 갖는 LIM의 위치 제어시 응답 특성들의 모니터링을 위한 가상계측시스템을 LabVIEW로 구현한 프로그램 블록 다이어그램을 도시한 것이다. 하나의 블록 다이어그램 내에는 SubVI로 구성되어 있다. 즉, DAQ card의 빠른 샘플링을 이용하여 데이터 획득시 포함되어 있는 노이즈 및 고조파 성분을 제거하고자 이동 평균 필터 이론을 적용한 filter.vi, 선간

전압 및 상전류를 받아들여 d,q축으로 변환하는 3to2.vi, 식(3)과 식(4)를 적용하여 자속을 구하는 flux.vi, 그리고 추력을 연산하는 thrust.vi로 구성되어 있다. 또한, 속도 및 위치는 리니어 스케일의 A상, B상 신호를 DAQ 보드의 카운터0를 통해 카운팅하여 구현한 speed.vi와 position.vi로 구성된다. 그림 4는 제안된 가상계측시스템에 의해 모니터링된 입력 전류, 전압, 엔코더 폄스 등에 관한 결과들을 모두 한 화면에서 나타내도록 소프트웨어적으로 처리하여 구현한 프론트 판넬을 나타내고 있다. 또한, 필요한 데이터 값만을 분석, 파악, 저장하기 편리한 형태로 모니터링이 용이하게 되어있다.

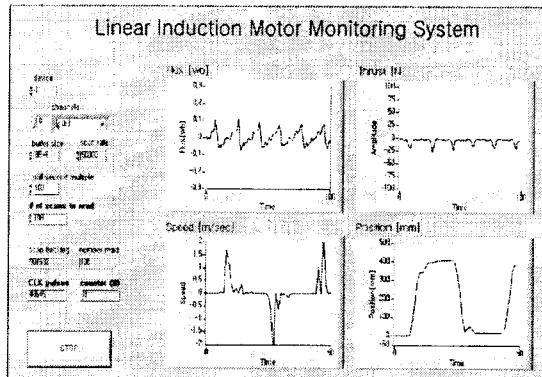


그림 4. 실시간 모니터링 된 데이터들이 도시되도록 구현한 판넬

Fig. 4. Panel to present the LIM performance measured in real-time

### 4. 모니터링 특성 및 측정결과 고찰

농형 2차축을 갖는 LIM의 제어 응답 특성을 모니터링하기 위해서 전동기에 인가되어지는 두 개의 선간 전압 및 상전류를 LabVIEW와 DAQ보드를 통해 받아들인 데이터를 그림 3과 같이 소프트웨어적으로 구현하여, 이를 수집 및 처리하여 그림 4와 같이 그라피적으로 도시하였다. 이를 통해 농형 2차축을 갖는 LIM의 성능을 모니터링 할 수 있는 가상 계측시스템을 구축하여 이를 DSP에서 연산된 결과와 비교할 수 있다. 그림 5는 왕복 구동 시 실시간적으로 모니터링된 d축 전류, 전압, 자속 및 추력, 속도, 위치 응답 특성 등을 나타내고 있다.

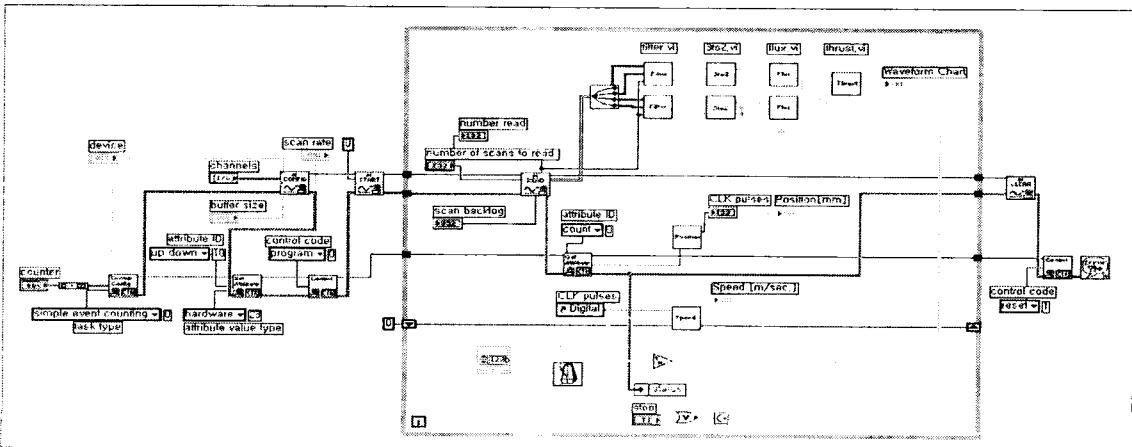
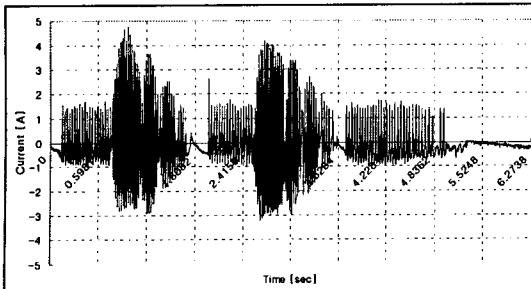
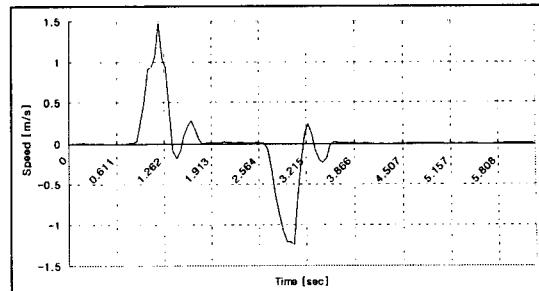


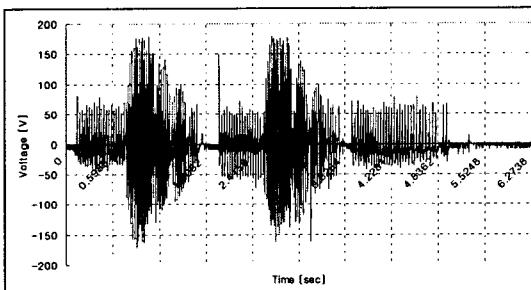
그림 3. 그래픽 프로그램 언어인 LabVIEW를 이용하여 구성한 모니터링 프로그래밍 블록도  
Fig. 3. Monitoring block diagram using the graphical programming language LabVIEW



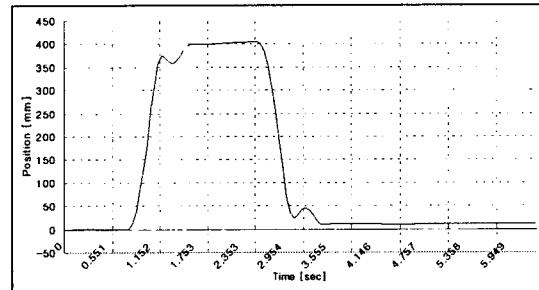
(a) 전류 파형



(e) 속도 파형

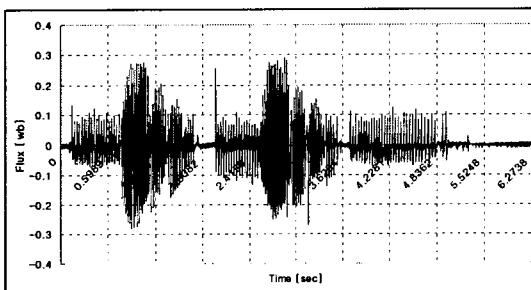


(b) 전압 파형

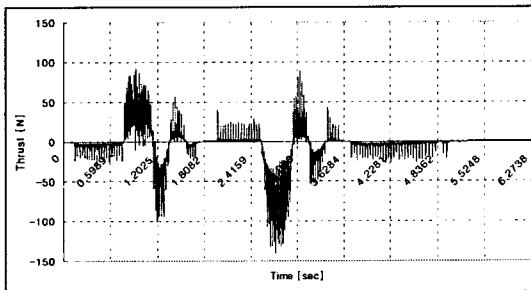


(f) 위치 파형

그림 5. LabVIEW에서 모니터링 된 파형  
Fig. 5. Monitoring Waveform to LabVIEW



(c) 자속 파형



(d) 추력 파형

## 5. 결 론

본 논문에서는 농형 2차축을 갖는 선형 유도전동기의 직접 추력 제어 알고리즘 및 P-IP 위치 제어시 모니터링을 할 수 있는 가상계측시스템을 그래픽적 프로그램 언어인 LabVIEW와 DAQ보드를 통해 구현함으로써 전동기의 전류, 전압, 자속, 추력, 속도 및 위치 응답 등을 실시간 모니터링하여 제어 특성을 고찰하였다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(과제번호:R-2003-B-418) 주관으로 수행된 과제임.

## [참 고 문 헌]

- [1] 장석명, 이성호, 장건우, 정상섭, “유도형 리니어모터 성능의 온라인 모니터링을 위한 가상계측시스템 구현”, 대한전기학회논문지, 5호, 제 50권, pp. 205-213, 2001.
- [2] 김경민, 박승찬, “DTC를 이용한 농형 선형유도전동기의 위치 제어”, 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 학회 추계학술대회 논문집, pp.9-11, 2004. 10.
- [3] Peter Vas, "Sensorless Vector and Direct Torque Control", Oxford Press, 1988
- [4] X. Xu and D. W. Novotny, "Implementation of direct Stator Flux Orientation Control on a Versatile DSP Based System", IEEE Trans. on Industry Application., vol. 27, pp. 694-700, 1991.