



## 자기부상 물류이송시스템의 부상 및 추진제어기 설계

### Design of Levitation and Propulsion Controller for Magnetic Levitated Logistic Transportation System

최대규<sup>1</sup> · 김용태<sup>2†</sup>  
Dae-Gyu Choi<sup>1</sup> and Yong-Tae Kim<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>한화시스템(주), <sup>2</sup>한경대학교 전기전자제어공학과

<sup>1</sup>Hanwha Systems Co. Ltd.

<sup>2</sup>Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University

#### 요약

본 논문에서는 자기부상 물류이송시스템의 부상 및 추진제어기 설계 방법을 제안하였다. 부상제어기는 롤과 피치 움직임을 최소화시키기 위해 전자석간의 상호영향을 고려하여 설계하였다. 자기부상이송시스템의 구조적인 단점을 해결하기 위하여 기준입력단에 지수형 필터를 적용하여 기존 제어기의 문제점을 개선하였다. DSP기반의 제어하드웨어를 개발하고, 정격 공극 부상 실험을 통해 부상제어기법이 설계 목표를 만족함을 검증하였다. 추진제어기는 공간벡터 전압변조기법을 사용하고, 레일의 전 구간에 부착된 바코드 정보로부터 절대위치를 감지하여 위치 및 속도 프로파일을 추종하도록 설계하였다. 추진제어 왕복 이동 실험을 통해 위치 제어 결과가 만족할만한 성능임을 확인하였다.

키워드 : 자기부상, 물류이송시스템, 부상제어, 추진제어, PID제어

#### Abstract

In the paper, we propose a levitation and a propulsion controller for the magnetic levitation logistic transportation system. The levitation controller is designed considering the mutual influence of the electromagnets to minimize roll and pitch movements. In order to solve the structural disadvantages of the magnetic levitation transportation system, we improve the problem of the existing controller by applying the exponential filter to the reference input. DSP-based control hardware is developed and the levitation control method is verified by levitation experiments to the air gap goal. The propulsion controller uses the space vector voltage modulation method. The propulsion controller is designed to follow the position and velocity profile by detecting the absolute position from the bar code information attached to the rail. The position control result shows satisfactory performance through the propulsion control reciprocating motion experiment.

Key Words : Magnetic Levitation, Logistic Transportation System, Levitation Control, Propulsion Control, PID control

Received: Mar. 21, 2017

Revised: Mar. 30, 2017

Accepted: Apr. 12, 2017

<sup>†</sup>Corresponding authors

ytkim@hknu.ac.kr

## 1. 서론

국내 반도체 제조기술은 세계적으로 높은 기술적 경쟁력을 보유하고 있으나, 반도체 공정 및 이송 장비들은 그에 비해 매우 낙후되어 있으며, 대부분이 수입에 의존하고 있다. 또한 많은 국내 반도체 기업들은 생산성 향상과 원가절감을 목표로 다양한 기술을 개발하고 있으나, 더욱 큰 경쟁력을 가지기 위해서는 장비의 국산화와 반도체 생산 및 이송공정기술의 개발을 통한 단가 경쟁력 및 고품질 생산을 위한 기술개발이 필수적으로 요구되어지고 있다[1-2]. 최근 이러한 반도체 산업과 고정정, 고정밀도의 장치를 요구하는 분야가 많이 증가하고 있는 추세이고, 특히 공정 중 클린룸에서의 이송공정과 같은 고정정 공정에 적용 가능한 자기부상식 반도체 이송장치에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다 [3-4]. 자기부상기술은 비접촉식으로 기계적인 접촉에 의해 발생하는 분진, 소음, 진동 등을 최소화할 수 있다는 장점이 있다.

자기부상시스템의 부상제어를 위해 부상력을 얻는 방법으로는 반발과 흡인부상방식으로 구분할 수 있으며, 흡인부상방식이 반발부상방식보다 구조가 간단하고 단거리 운송에 장점이 있어서 많은 업체에서 실용화 연구가 진행되고 있다[5]. 자기부상시스템의 추진제어는 회전형 전동기와 달리 비접촉식으로 직접 직선추력을 발생시키는 선형 유도전동기를 사용하여 제어하는 방법에 대한

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GFRC) 사업의 일환으로 수행하였음. [GFRC 한경2011-B01, 스마트물류기술연구센터]

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

연구가 활발히 진행되고 있다. 별도의 기계적 동력 전달장치를 필요로 하지 않아서 분진, 진동 및 소음 측면에서 우수하고, 상대적으로 큰 추진력을 얻을 수 있기 때문에 가속 및 제동 등과 같은 우수한 특성을 나타낸다[6].

자기부상시스템은 중력과 자기력을 이용하는 방식이기 때문에 비선형성을 가지고 있어서 시스템 자체가 전체적으로 불안정하다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 안정적인 제어시스템의 설계에 대한 중요성이 커지고 있다. 현재 많은 산업현장에서는 널리 이용되고, 단순한 구조와 높은 신뢰성을 가진 PID 제어를 이용하여 제어시스템을 설계하고 있다[7-9]. 그러나 자기부상시스템의 환경을 구축하여 검증한 사례는 매우 드물고, 시뮬레이션을 통한 검증만이 이루어지고 있다. 따라서 다양한 제어 기법을 이용하여 실제 환경에서의 자기부상시스템의 부상 및 추진 제어기의 성능에 대한 검증의 필요성이 부각되어지고 있다.

본 논문에서는 실제 자기부상이송시스템에 적용하기 위하여 전자석간의 상호영향이 고려된 부상제어기의 설계 방법을 제안하였으며, 이식성, 확장성 및 안정성이 개선된 DSP기반의 모듈형 하드웨어 제어기를 제작하였다. 제안한 제어시스템의 성능을 평가하기 위하여 초기 공극 0mm에서 정격 공극 3mm로 부상제어실험을 진행하였다. 실험 결과 제안한 시스템의 성능이 만족할만한 성능을 보임을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 자기부상 이송시스템의 구성을 설명하고, 3장에 자기부상제어기 설계에 대하여 설명하였다. 4장에서는 자기부상이송시스템의 성능을 실제 실험을 통하여 검증하고, 5장에서 결론을 맺었다.

## 2. 자기부상 물류이송시스템의 구성

자기부상 물류이송시스템의 전체 제어 구조는 다음의 그림 1과 같으며, 부상제어기와 추진제어기로 구성된다. 4개의 전자석이 흡인식 자기부상력을 얻기 위하여 레일 아래에 부착된 구조이며, 와전류 형태의 공극 센서 4개를 사용하여 레일과 자기부상이송장치 사이의 공극을 검출한다. 부상제어기는 공극값을 바탕으로 전자석에 공급되는 전류를 제어하여 흡인력을 발생시킨다. 자기부상을 한 상태에서 비접촉식 직선 추진력을 얻기 위하여 종자속형 선형유도전동기를 사용하였다. 레일의 전 구간에 부착된 바코드를 물류이송시스템 하단부에 위치한 바코드 리더를 통해 절대위치를 감지하여 위치제어를 한다. 추진제어기는 PWM 신호를 출력하며, 인버터는 6개의 스위칭 소자를 ON/OFF시켜 3상 전압을 출력하여 선형유도전동기의 직선 추력을 발생시킨다. 본 연구에서 개발한 자기부상이송시스템의 실제 모습은 그림 2와 같다. 500N

의 전자석을 적용하여 설계목표인 정격공극 3mm로 자기부상이 가능한 구조를 갖도록 하였다.

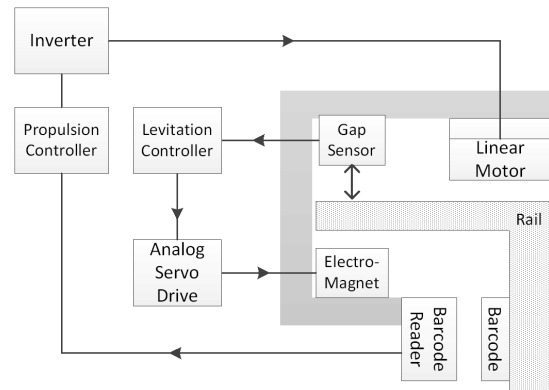


그림 1. 자기부상 물류이송시스템의 전체 제어 구조  
Fig. 1. Overall control architecture of magnetic levitated logistic transportation system



그림 2. 자기부상 물류이송시스템의 구조 사진  
Fig. 2. Architecture photo of the magnetic levitated logistic transportation system

## 3. 자기부상제어기 및 추진제어기 설계

### 3.1 자기부상제어기 설계

자기부상이송시스템의 부상할 때, 자기부상이송장치의 중심점에 대해서 y축과 x축의 롤과 피치 움직임이 발생할 수 있다. 자기부상이송장치는 레일과 가이드 역할을 해주는 보조바퀴가 있어 롤과 피치 움직임의 폭은 크지 않지만 상호 간섭을 줄 수 있다. 그림 3은 자기부상이송시스템을 단순화 시킨 평면도를 나타내며, 자기부상이송장치의 롤과 피치 움직임을 보여주고 4개의 전자석이 부착된 위치를 나타낸다.

그림 4는 자기부상이송시스템의 전자석 채널 1을 기준으로 한 정면도와 우측면도를 나타낸다. 부상제어를 할 때, 인접한 전자석간의 부상력이 조금씩 작용되어 공극 오차가 각각 달라진다.

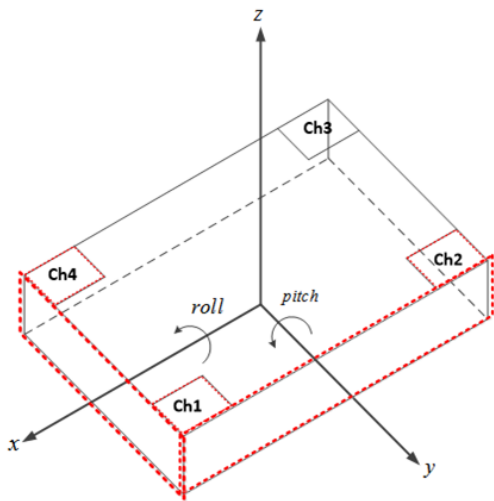


그림 3. 자기부상이송시스템의 평면도

Fig. 3. Plane figure of the magnetic levitated transportation system

이러한 현상으로 인해 부상시에 자기부상이송시스템의 롤과 피치 움직임이 발생할 수 있다.

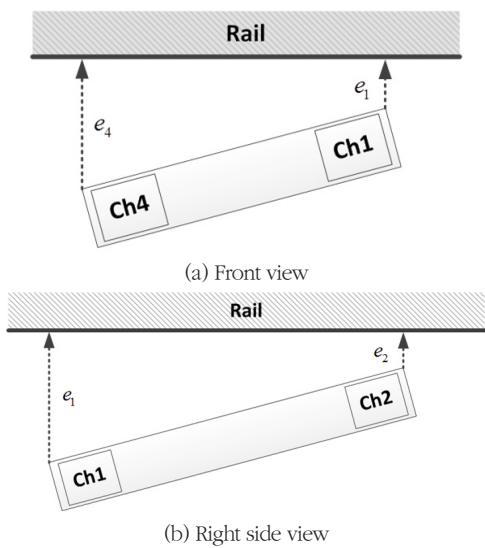


그림 4. 자기부상제어시스템의 제어 오차

Fig. 4. Control errors of magnetic levitated control system

본 논문에서는 롤과 피치 움직임을 최소화시키기 위해 인접한 전자석간의 상호영향을 고려한 부상제어기의 구성을 제안하며, 전체 제어시스템 구성은 다음의 그림 5와 같다. 한 개의 전자석을 기준으로 y축과 x축 방향의 전자석과 결합한 형태로 상호간의 작용을 고려한다. 예를 들어 전자석 채널 1의 제어기는 채널 2와 채널 4의 공극 오차를 피드백 받아 기준 전자석인 채널 1의 공극 오차와 합산하여 상호간의 오차가 작은 전자석보다 큰 출력을 내고 오차가 큰 전자석보다는 작은 출력을 내어 자기부상이송시스템의 롤과 피치 움직임을 최소화시킨다.

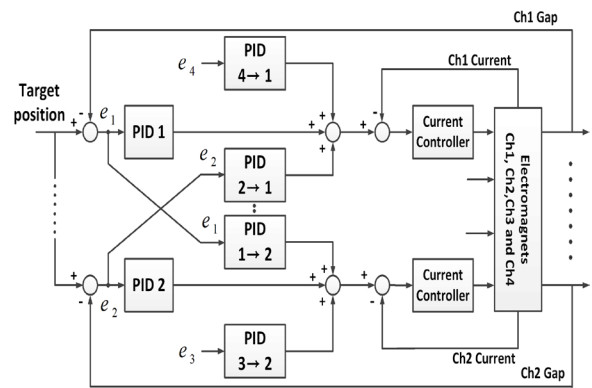


그림 5. 상호영향이 고려된 부상제어기의 제어 구성

Fig. 5. Control structure of levitation controller considered mutual influence

자기부상시스템의 구조적 특징으로 제어 출력의 오버슈트는 자기부상시에 레일과 부딪혀 기구 및 제어기의 파손을 초래할 수 있다. 이런 자기부상이송장치의 구조적 단점을 개선하기 위해서 제어명령단에 지수형 필터를 설계하여 적용하였다.

자기부상이송시스템의 구조적인 특징상 오버슈트로 인하여 이송장치, 하드웨어 제어기 등의 파손을 유발할 수 있다. 이런 단점을 개선하기 위해 오버슈트를 감소시킬 수 있는 식 (1)과 같은 지수형 필터를 자기부상제어기의 제어명령단에 적용했다. 여기서,  $S_r$ 은 입력,  $S_p$ 는 목표 공극으로 단위는 mm,  $\beta$ 는 샘플링 시간계수,  $t$ 는 제어 루프의 샘플링 시간으로 단위는 sec이다.

$$S_r(t) = S_p \cdot (1 - e^{-t \cdot \beta}) \quad (1)$$

실제 적용한 자기부상제어기에 적용하기 위해서 초기 공극 0mm에서 정격 공극 3mm인 설계목표를 만족하도록  $S_p$ 에는 정격 공극 3mm를 대입했고, 입력의 높은 응답성을 위해 샘플링 시간계수인  $\beta$ 를 계산하여 구했다. 샘플링 시간계수의 선정방법은 제안한 제어기의 설계사양에 만족하도록 구한 후에 그 값을 기준으로 실험을 통해 적절히 조절하여 자기부상제어시스템의 제어명령단에 지수형 필터를 설계했다. 그림 6은 지수형 필터를 이용한 자기부상제어의 구조를 나타낸다.

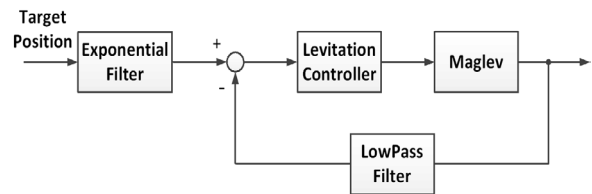


그림 6. 지수형 필터를 이용한 자기부상제어 구조

Fig. 6. Magnetic levitation controller structure using exponential filter

제한한 자기부상이송시스템의 부상제어기의 성능을 실제 실험을 통해 검증하기 위해 DSP기반의 자기부상제어기 하드웨어를 제작했다. 본 연구에서 제작한 하드웨어 자기부상제어기는 산업 현장의 요구를 반영한 모듈형태의 구조로 안정성, 확장성, 이식성을 개선하였다[10-11]. 실제 산업 현장에서 적용하는 자기부상제어시스템은 요구되는 설계 사양의 규모가 크기 때문에 고전압을 사용한다. 오랫동안 고전압을 사용할 때 전자석에 전압을 공급해주는 전원장치에 고장이 발생하거나 설계 사양의 요구가 변경되어 자기부상시스템의 부상력 증가를 필요로 할 때 제어기 전체를 다시 제작해야하는 단점이 있다. 이런 문제점들을 개선하기 위해 그림 7과 같이 제어 보드와 인터페이스 보드를 분리하여 설계하였다[11].

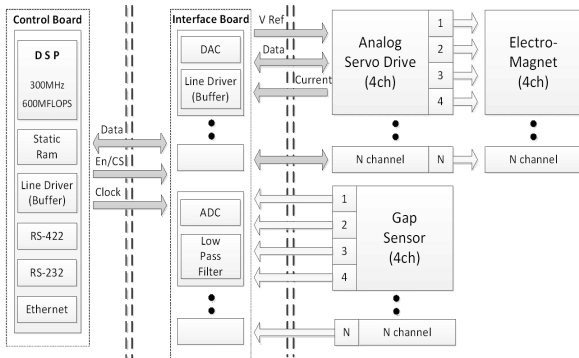


그림 7. 자기부상제어기 하드웨어 구성도  
Fig. 7. Hardware structure of magnetic levitation controller

자기부상제어기의 제어 보드와 인터페이스 보드로 분리된 구조로서 제어 보드의 DSP는 300MHz의 연산능력을 가진 TMS320C28346을 사용하였다[11]. PC와 데이터를 주고 받기 위한 직렬 통신 모듈을 구성했고, 인터페이스 보드와 연결하기 위해 라인 드라이버를 사용하였다. 인터페이스 보드는 4개의 16bit ADC와 DAC를 포함하며, 24채널 아날로그 입력포트와 16개의 아날로그 출력포트로 구성하였다. ADC단의 입력은 전류와 공극 센서에서 신호를 입력받고, DAC단은 부상제어를 위한 지령을 받아 드라이버에 입력되는 기준전압을 출력한다.

### 3.2 추진제어기 설계

자기부상이송시스템이 자기부상한 레일 위에서 비접촉식 직선 추력을 얻기 위해 선형 유도전동기를 사용했다. 선형 유도전동기는 회전형 유도전동기의 고정자에 해당하는 1차측 이동자와 유도전동기의 회전자에 해당하는 2차측 고정자로 구성된다. 선형 유도전동기의 추진 제어를 위해 3상전류 출력을 낼 수 있는 인버터를 사용하며, 입력되는 직류전압의 스위칭 동작을 이용하여 교류 전압으로 변조한다. 스위칭 동작을 위한 전압 변조 방식으로

공간벡터 전압변조기법을 사용하였다. 공간벡터 전압변조기법은 3상의 6개 스위치를 한꺼번에 고려하여 인버터의 스위칭 상태를 미리 계산된 순서와 지속 시간에 따라 전환해주는 방식이다. 이 방식은 각 스위칭 주기마다 수치 계산을 필요로 하므로 DSP 기반의 추진제어 하드웨어를 개발하였다.

추진제어기는 바코드 리더로부터 레일의 전 구간에 존재하는 바코드를 통해 자기부상이송시스템의 절대위치를 읽고 다음의 3차 방정식의 위치와 속도 프로파일을 추종하도록 설계하였다.

$$\begin{aligned} y\left(\frac{P_t}{T_t}\right) &= \left[ 3\left(\frac{P_t}{T_t}\right)^2 - 2\left(\frac{P_t}{T_t}\right)^3 \right] S \\ \dot{y}\left(\frac{P_t}{T_t}\right) &= \left[ \frac{6}{T_t}\left(\frac{P_t}{T_t}\right) - \frac{6}{T_t}\left(\frac{P_t}{T_t}\right)^2 \right] S \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, S는 이동거리, P<sub>t</sub>는 현재 구동시간, T<sub>t</sub>는 전체 구동시간이다. 자기부상이송시스템의 바코드 리더를 통해 실시간 위치를 피드백 받으며, 프로파일을 통해 생성된 위치와 속도를 지속적으로 추종하고 보정하기 위해서 이중으로 구성된 피드백 제어를 적용하였다. 그림 8은 자기부상이송시스템의 추진제어기의 구성을 나타낸다.

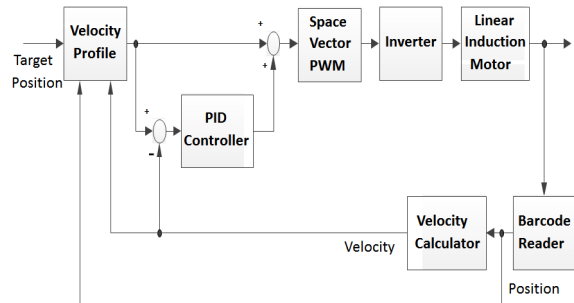


그림 8. 자기부상 물류이송시스템 추진제어기 구성도  
Fig. 8. Propulsion controller structure for magnetic levitated logistic transportation system

자기부상이송시스템 추진제어기의 하드웨어 구성은 그림 9와 같고, 제어부와 인버터로 구성된다. 추진제어기 제어부의 DSP는 150MHz 연산능력을 가진 TMS320F28335를 사용하였다. 또한 자기부상이송시스템의 절대위치를 읽기 위해 바코드 리더를 적용했다. 레일의 전 구간에 부착된 바코드를 읽어 실시간으로 절대위치를 인지할 수 있다. 바코드 정보는 SPI 통신 모듈을 통해 제어기로 데이터를 전송한다. 인버터에 흐르는 전류와 제어기 내의 온도 값을 받기 위해 16bit ADC를 사용했다. 추진제어기의 인버터는 직류 전원으로부터 가변 전압, 가변 주파수의 교류 전원을 발생하는 전력 변환 장치로 IGBT 스위칭 소자를 내장한 IPM(Intelligent power module)을 사용하여 전압형 PWM 인버터를 구성했다. 인버터로

입력되는 직류 전압을 일정하게 유지하기 위해 직류 링크측에 3800uF 커패시터를 사용했다.

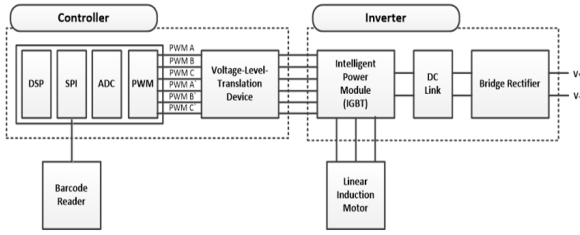


그림 9. 추진제어기 하드웨어 구성도  
Fig. 9. Hardware structure of propulsion controller

### 4. 자기부상 및 추진제어 실험 결과

본 논문에서 제안한 자기부상이송시스템의 부상 및 추진제어기의 성능을 검증하기 위해서 실험환경을 다음의 그림 10과 같이 구축하였다. 제안한 제어기 설계 방법을 적용한 자기부상이송시스템의 초기 공극 0mm에서 정격 공극 3mm 부상제어 실험을 진행했다. 실험은 오버슈트 15%, 정착시간 0.5sec

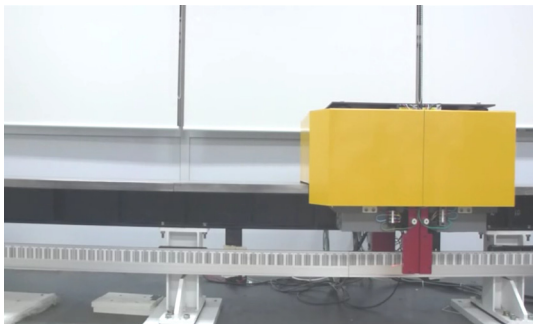
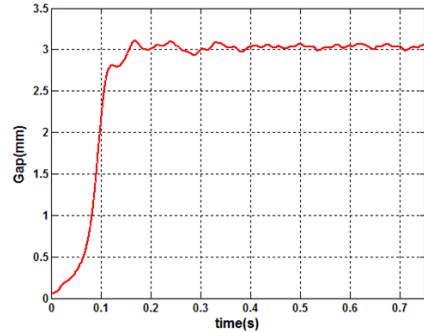


그림 10. 자기부상이송시스템의 실험환경  
Fig. 10. Experimental environment of magnetic levitated transportation system

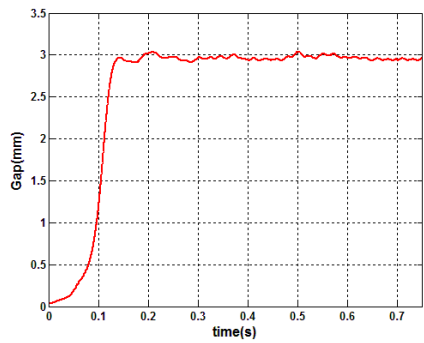
표 1. 자기부상제어 실험 결과  
Table 1. Experimental result of magnet levitation control

	Overshoot (%)	Steady state(mm)		Rise time (sec)
		Maximum value	Minimum value	
Electro-magnet 1	6.55	3.003	2.985	0.1127
Electro-magnet 2	4.61	3.003	2.98	0.1222
Electro-magnet 3	10.96	3.009	2.992	0.1167
Electro-magnet 4	8.42	3.057	3.001	0.1067

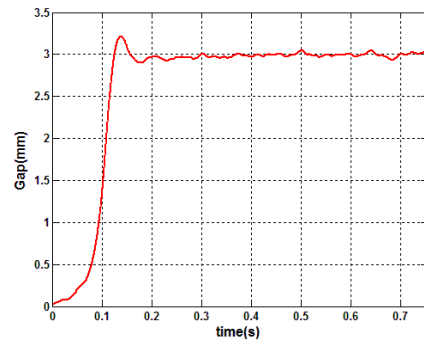
이내를 목표로 하였다. 표 1은 각각의 전자석에 대한 시간응답 성능 지표들의 결과를 나타낸다. 오버슈트를 계산하기 위하여 정상상태 도달 후 측정된 데이터의 평균값을 이용하여 계산했다.



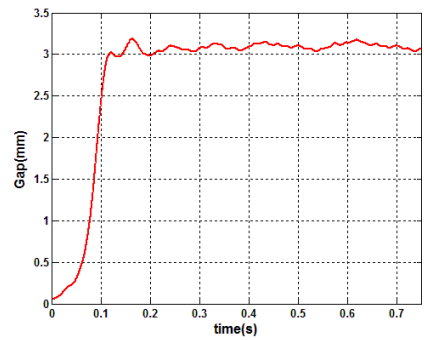
(a) Electromagnet Ch 1



(b) Electromagnet Ch 2



(c) Electromagnet Ch 3



(d) Electromagnet Ch 4

그림 11. 자기부상제어 실험 결과

Fig. 11. Experimental results of magnetic levitation control

그림 11은 자기부상시스템의 정격 공극 3mm로 자기부상제어의 실험결과를 그래프로 나타낸다. 자기부상 실험의 결과로 오버슈트는 최소값 4.6%, 최대값은 10.96%를 보였다. 상승시간은 평균 0.1146sec로 빠른 응답을 보였으며 정상상태 도달 후 오차의 최대값은 평균 0.0737mm, 최소값은 -0.0421mm의 성능을 보였다. 정착시간은 평균 0.35초 이내에서 정상상태를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 자기부상제어기의 동작 실험은 정격 공극 3mm에서 목표 설계 사양을 충족하는 성능을 보였다.

오버슈트를 개선하기 위해 자기부상제어기의 입력단에 지수형 필터를 적용한 자기부상 실험 결과는 다음의 그림 12와 같다. 상승시간은 평균 0.819sec 증가하고, 오버슈트는 감소되는 것을 보여준다.

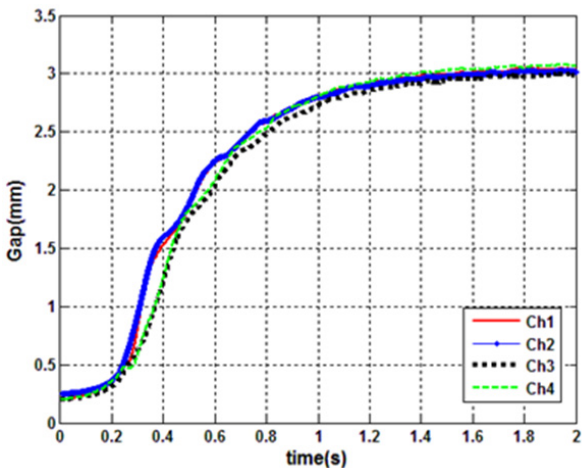


그림 12 지수형 필터를 사용한 자기부상제어기 실험 결과  
Fig. 12. Experimental results of magnetic levitation control using exponential filter

선형유도전동기의 추진제어를 위해 공간벡터 전압변조기법을 적용한 인버터의 출력파형은 다음 그림 13과 같다. 3상 출력 파형을 보였고, 선간 전압이 120° 의 위상차를 보임을 확인했다.

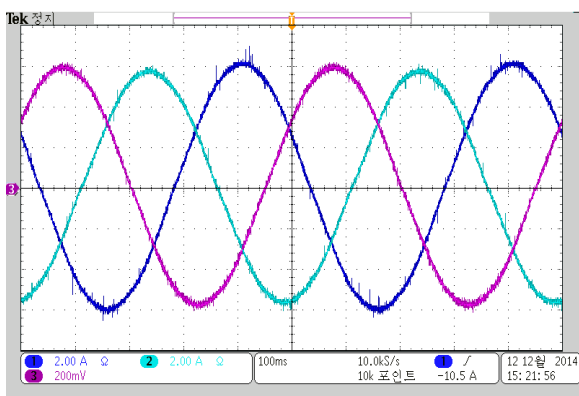
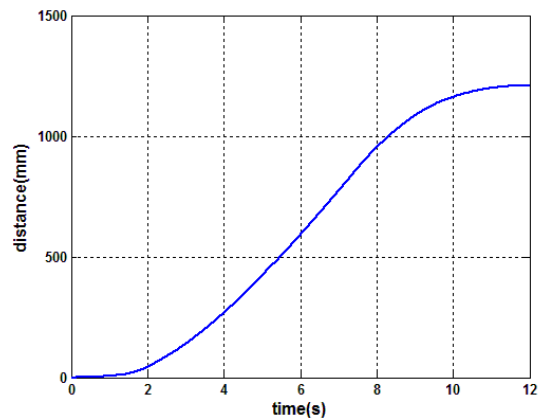
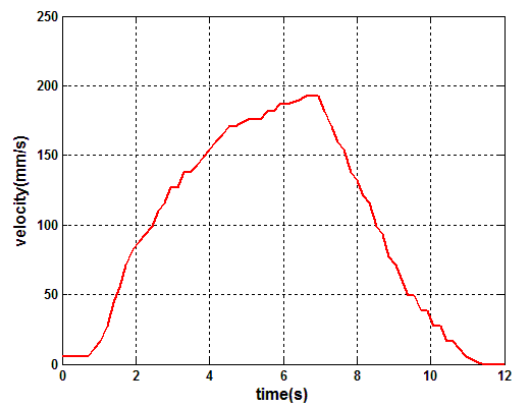


그림 13 추진제어기의 3상 출력 파형  
Fig. 13. 3-phase output waveform of propulsion controller

자기부상이송시스템의 위치제어 성능을 검증하기 위하여 초기 위치에서 목표 위치 1200mm로 추진제어 실험을 했다. 속도와 위치 추종 결과는 다음의 그림 14와 같다. 위치제어의 정확도를 확인하기 위해 동일한 구간을 10회 반복구동 실험하여 위치제어 오차를 구했다. 자기부상이송시스템의 위치제어 실험은 평균 2.58%의 오차를 보였다.



(a) Position



(b) Velocity

그림 14. 추진제어 실험 결과  
Fig. 14. Experimental results of propulsion control

### 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 자기부상 물류이송시스템의 부상 및 추진제어기 설계 방법을 제안하였다. 부상제어기는 롤과 피치 움직임을 최소화시키기 위해 전자석간의 상호영향을 고려하여 설계하였다. 또한 자기부상이송시스템의 구조적인 단점을 개선하기 위하여 기준입력단에 지수형 필터를 적용하여 오버슈트를 줄였고, DSP기반의 제어하드웨어를 제작하여 정격 공극 3mm로 부상 실험을 통해 부상제어기가 설계 목표를 만족함을 검증하였다. 추진제어기는 공간벡터 전압변조기법을 사용하고, 레일의 전

구간에 부착된 바코드 정보로부터 절대위치를 감지하여 구동 프로파일을 추종하도록 제안하였다. 자기부상 물류이송시스템의 왕복 이동 실험을 통해 추진 제어기의 성능을 검증하였다. 향후 자기부상 이송시스템의 비선형성이 고려된 강인제어기법에 관하여 연구를 진행할 예정이다.

## References

[1] C. H. Kim, H. S. Han, "Control of an EM-PM Hybrid Maglev LCD Glass Conveyor", *Conference on The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 2010, No. 11, pp. 1522-1527, 2010.

[2] H. J. Ko, Y. K. Kim, "A Study on Chip Transferring System", *Conference on The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 2010, No. 11, pp. 1820-1821, 2010.

[3] W. Wang, I. J. Busch-Vishniac, "An Automated Loading and Unloading System for a Maglev Wafer Transport Path", *IEEE Trans. semiconductor manufacturing*, Vol. 6, No. 3, pp. 276-279, 1993.

[4] M. Y. Chen, L. C. FU, "Dual-axis Maglev guiding system modeling and controller design for wafer transportation", *Proceedings of the 38 IEEE conference decision and control*, pp. 2623-2628, 1999.

[5] Kortum, W, Utzt, A., "Control Law Design and Dynamic Evaluatons for a Maglev Vehicle with a ComBined Lift and Guidance Suspension Systems", *Trans. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, Vol. 106, pp. 286-292, 1984.

[6] D. H. Im, W. S. Kim, "A Study on the Starting Characteristic Analysis of L.I.M. in Auto-Conveyor System", *The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 38, No. 6, pp. 393-400, 1989.

[7] J. H. Cho, Y. T. Kim, "Design of PID Controller for Magnetic Levitation RGV Using Genetic Algorithm Based on Clonal Selection", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 22, No. 2, pp. 238-245, 2012.

[8] B. H. Lee, Y. T. Kim, "Modeling of Magnetic Levitation Logistics Transport System Using Extreme Learning Machine", *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 50, No. 1, pp. 269-275, 2013.

[9] D. G. Choi and Y. T. Kim, "A Study on the Design of Logistics Transportation System using Magnetic Levitation", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 24, No. 2, pp. 129-135, 2014.

[10] D. G. Choi and Y. T. Kim, "Design of Modular Magnetic Levitation Control System", *Conference on The Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 24, No. 2, pp. 141-142, 2014.

[11] D. G. Choi and Y. T. Kim, "A Study on Design of Levitation Controller for Modular Magnetic Levitated Transportation System", *Conference on The Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 25, No. 1, pp. 84-85, 2015.

## 저자소개



### 최대규(Dae-Gyu Choi)

2013년 : 한경대학교 정보제어공학과 졸업(공학사)

2015년 : 한경대학교 전기전자제어공학과 졸업(공학석사)

2015년~ 현재 : 한화시스템(주)

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템, 물류 자동화

E-mail : daegy.choi@hanwha.com



### 김용태(Yong-Tae Kim)

1991년 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1998년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1998년~2000년 : (주)삼성전자

2006년 : Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 방문연구

2002년~현재 : 국립 한경대학교 전기전자제어공학과 교수

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템, 지능제어, 물류 자동화

Phone : +82-31-670-5292

E-mail : ytkim@hknu.ac.kr