

로프리스 엘리베이터 구동제어기 개발연구

김윤현^{1*}

¹한밭대학교 전기공학과

Study of Drive Control System for Ropeless Elevator

Youn-Hyun Kim^{1*}

¹Dept. of Electrical Engineering, Hanbat University

요약 본 논문은 로프리스 엘리베이터의 상용화에 앞서 로프리스 엘리베이터 구동제어기의 요구기술과 개발 시의 문제점 및 개선방향을 제시하기 위한 속도제어 연구를 수행하였다. 특히 본 연구에서는 기존 일반적인 PI제어기의 적용 시 문제점의 도출과 부하오퍼저버를 사용한 개선된 제어기의 방안에 대해서 중점을 두었으며 연구의 구현을 위하여 로프리스 엘리베이터를 소형시스템으로 제작하고 또한 자체 리니어 속도센서를 제작, 본 시스템에 적용하여 속도제어 시험을 통하여 제어 성능의 정도와 리니어 속도센서의 적용가능성도 검토하였다. 본 연구의 수행 결과 로프리스 엘리베이터의 실현 가능성을 확인하였으며 구동제어 기술의 만족할 만한 결과를 얻었다. 그러나 향후 상용화를 위해서는 속도센서의 분해능, 승차감을 고려한 추력리플의 저감 문제, 정밀 구조물의 제작 및 조립 등 지속적인 개선연구도 요구되었다.

Abstract This paper introduced a previous study which suggest ways to improve problems of drive control system of Ropeless Elevator when developing prior to commercialization of Ropeless Elevator. In particular, this study also manufactured motor, linear speed sensor and the miniature systems to study the implementation of the Ropeless Elevator drive. This study examined the problem of conventional PI controller through the speed control test and focused on the advanced controller based on disturbance observer for Ropeless Elevator drive. The results of this study confirmed the feasibility of the Ropeless Elevator and showed the satisfactory results of drive control techniques. This study also extracted many more problems that still need to be improved in the future for commercializing such as the sensor, high-performance controller, precision structures, safety devices and so on.

Key Words : Ropeless Elevator, Linear Synchronous Motor, Linear Encoder, Primary Switch System, Disturbance Observer

1. 서론

현재 빌딩의 초고층화, 대형화가 점점 증가하고 있는 추세에 있으며, 200m 이상의 초고층 빌딩은 현재의 로프식 엘리베이터를 적용하기에는 많은 문제점을 가지고 있다. 첫 번째로 빌딩의 층수가 증가하면 빌딩내 엘리베이터 점유면적율도 증가하며, 두 번째로 로프직경당 로프수와 행정의 한계로 실질적으로는 800m가 한계로 되어있다. 또한 로프의 길이가 늘어날수록 탄성계수가 줄어들어 제어가 어렵고 진동의 원인이 되며, 로프의 무게가 증가

하여 구동장치의 용량이 함께 증가하여야한다. 세 번째로 엘리베이터의 대기시간과 서비스 시간 등의 해결과제와 수직뿐만 아니라 횡방향수송의 방법론적이고 기술적 해결이 요구되고 있다[1].

따라서 기존의 로프식 엘리베이터의 문제점을 해결할 수 있는 대안으로 하나의 승강로에 여러 대의 엘리베이터 카를 운행할 수 있는 리니어모터를 적용한 로프리스 엘리베이터의 연구가 제안되었다. 그러나 기존의 대부분의 다른 로프리스 엘리베이터의 연구는 리니어모터의 설계에 집중되어 있으며 로프리스엘리베이터의 특성에 적

*Corresponding Author : Youn-Hyun Kim

Tel: +82-19-307-9529 email: yhyunk@hanbat.ac.kr

접수일 12년 05월 02일

수정일 (1차 12년 06월 11일, 2차 12년 06월 27일)

게재확정일 12년 08월 09일

합한 설계의 언급은 미약하고 일반적인 리니어모터의 설계에 관한 내용이 대부분으로 로프리스엘리베이터의 관련 연구로 보기가 어렵다[2]-[3]. 또한 리니어 릴렉턴스 모터의 로프리스엘리베이터 시스템의 적용 논문도 보고되고 있으나 이 논문도 회전형 기존 속도센서를 사용하였으며 다수 인버터와 절체방법 등 로프리스엘리베이터 시스템의 구성 요소를 고려하지 않은 리니어 릴렉턴스 모터의 특성과 제어에 중점을 두고 있다[4]. 그 외 리니어모터의 다른 응용사례 연구도 제안되고 있다[5]. 기존의 연구 사례를 고려한 결과 로프리스 엘리베이터용 구동 리니어 모터의 연구는 어느 정도 수행되고 있으나 로프리스 엘리베이터의 전체 시스템의 운전과 구동제어 및 제반 문제점의 도출 및 해결방안에 대한 연구는 아직까지 제시되고 있지 않다.

따라서 본 논문은 로프리스 엘리베이터의 시스템적인 관점에서 다수의 리니어모터 1차측과 복수대의 인버터 및 절체시스템으로 구성된 로프리스엘리베이터에 근접된 구조에서 구동제어의 가능성과 속도제어 시 문제점이 될 수 있는 부분이 무엇인지 검토하기 위하여 운전시스템을 소형 시스템으로 제작, 속도제어 운전을 수행하고자 한다. 또한 기존 회전형 속도센서를 사용할 수 없는 로프리스 엘리베이터 시스템에서 리니어 속도센서의 가능성을 타진함과 동시에 접촉식 롤러구조의 공극유지 장치에서 레일과의 마찰의 영향을 검토한다. 본 논문에서는 속도제어를 일반 PI제어기와 외란오프셋을 사용한 개선된 형태의 제어기로 수행하여 성능을 비교분석하고, 최종적으로 로프가 없는 상태에서 수직 상승과 하강 속도제어의 실현가능성을 실험을 통해서 확인하고자 한다. 본 논문은 기존 상용 제품이나 개발 관련 자료가 전무한 로프리스 엘리베이터의 향후 상용화 개발을 위한 기초자료로 제공되고자 선행연구의 차원으로 수행하고자 한다.

2. 로프리스 엘리베이터용 LSM과 속도센서

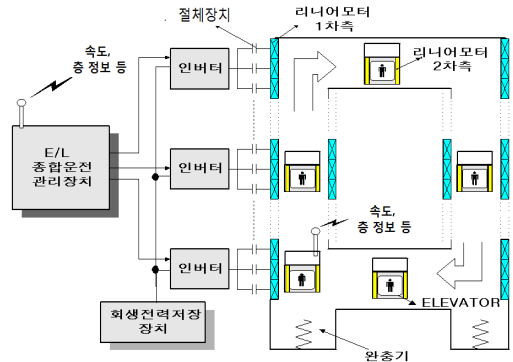
2.1. 로프리스 엘리베이터의 구조

그림 1은 로프리스 엘리베이터의 기본 구성도를 도시하였다. 그림에서 로프리스 엘리베이터는 로프가 없으므로 하나의 승강로에 여러대의 캐지(Cage)가 동시에 이동할 수 있으며 수직운행뿐만 아니라 수평운행도 가능한 구조로 되어있고 승강로벽에 1차코일을, 캐지에 영구자석을 취부한 이동자석형으로 되어 있으며 캐지가 있는 구간의 1차코일만 여자하기위해 1차코일을 구간으로

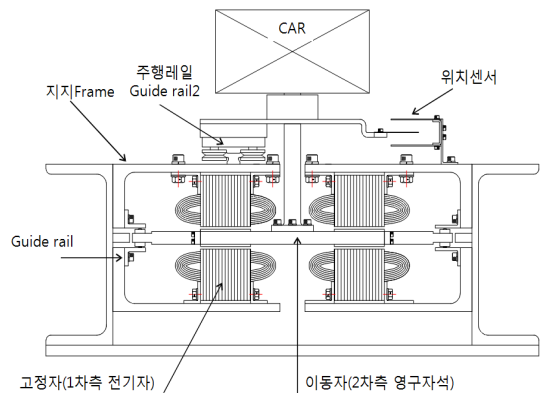
절체하여 전원을 공급할 수 있는 구조로 구성하였다. 이 구성을 만족하기위하여 로프리스 엘리베이터를 리니어모터로 구동하는 것에 의해 로프가 없는 엘리베이터가 가능하게 되고, 한 개의 승강로에 복수대의 캐지가 투입 가능하게 된다. 또한 복수의 승강로를 사용해서 순환운전과 추월운전이 가능하게 되고, 그 결과 행정에 제한이 없어, 승강로 면적이 감소하고 면적효율이 향상되며, 서비스성도 확보될 수 있으리라 생각된다[1].

2.2. 구동제어 시험용 LSM의 사양

로프리스 엘리베이터는 그림 1과 같이 수직상승, 하강과 수평운동분의 직선부가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 시험용 구동모터인 LSM(Linear Synchronous Motor)를 제작하여 그 사양을 표 1에 제시하였다.



[그림 1] 로프리스 엘리베이터의 구성도
[Fig. 1] Configuration of Ropeless Elevator



[그림 2] 축소형 구동 시스템의 구조단면도
[Fig. 2] Section of Drive Miniature System

[표 1] LSM의 설계사양

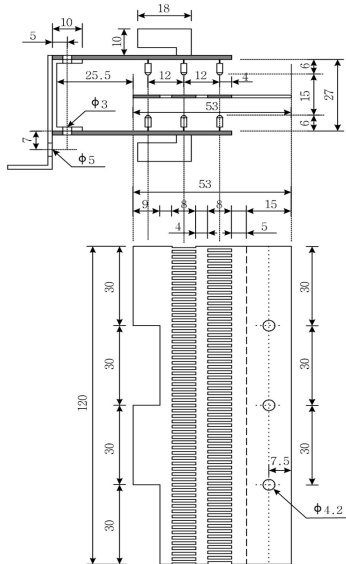
[Table 1] Specifications of LSM

		항목	값
전기자	철심 높이[mm]	55.5	
	철심 적층 폭[mm]	60	
	슬롯 치수[mm×mm]	5.5×35.5	
	슬롯 피치[mm]	10	
	슬롯 도체 수	2×40	
	공극 길이[mm]	3	
	정격전압[Vrms]	11.9	
	정격전류[Arms]	1.39	
	유기전력[V]	2.58	
이동 계자	정격 추력[Nm]	100	
	극 간격[mm]	30	
	영구자석 치수[mm×mm×mm]	8×21×60	
	계자 폭[mm]	60	

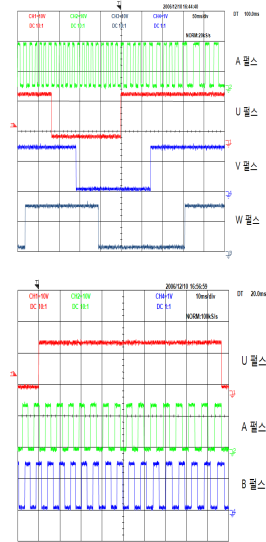
그림 2는 리니어 모터 구동 시스템의 모델 단면도를 나타내었다. 그림에서 1차측 모터와 2차측 영구자석사이의 공극은 3mm로 정하였으며 공극을 유지하기 위하여 가이드 레일을 설치하였다.

2.3. 리니어 엔코더의 설계

본 연구의 시험 검증용 소형 로프리스 엘리베이터 시스템의 운전을 위해서는 속도, 위치 그리고 자극 검출용 센서가 필요하다. 그러나 기존의 회전용 위치센서로는 적용이 불가능하며 서보용으로 사용하는 고가의 리니어센서는 가격이 비싼 제품의 짧은 행정거리의 응용에만 가능하고 긴 행정거리의 로프리스엘리베이터의 상용화 목



[그림 3] 리니어 엔코더 PCB와 Slit의 취부 형태
[Fig. 3] Mounting Form of Linear Encoder PCB and Slit



(a) A펄스와 U,V,W 펄스 (b) U상과 A,B 펄스
[그림 4] 리니어 엔코더 시험 출력 파형
[Fig. 4] The Output Waveform of Linear Encoder

적으로 적용하는 것은 현실적으로 적절치 않다. 따라서 본 논문에서는 전용 리니어 엔코더를 설계, 제작하여 본 시스템에 적용하여 가격이 저렴한 저분해능 리니어센서의 적용 가능성과 제이기 성능에 미치는 영향을 보고자 한다. 리니어 엔코더는 속도검출용 A, B 펄스와 자극 검출용 U, V, W 펄스가 필요하며 설계 시 극간격, 자극 위치 및 1차측 권선배치 등 LSM 설계치 결과를 고려한 신중한 설계가 요구된다. 그림 3에 본 연구에서 설계한 PCB와 고정 홀더와 슬릿(Slit)의 치수 및 취부 형태를 나타내었으며 엔코더의 속도

검출용 슬릿의 길이는 리니어모터 이동자의 길이와 같은 120mm, A와 B Pulse의 간격은 1mm로 하였다.

그림 4는 본 연구에서 제작한 리니어 엔코더의 출력파형으로 A, B, U, V, W 펄스가 이상 없이 출력되며 극당 A, B 펄스는 각각 15펄스 씩 출력됨을 확인하였다. 이는 4체배하여도 표 1의 사양에 제시된 극간격 30mm에 최대 60펄스가 발생되며 4극 회전형모터의 일반 회전형 엔코더의 100분의 1정도의 분해능임을 알 수 있다.

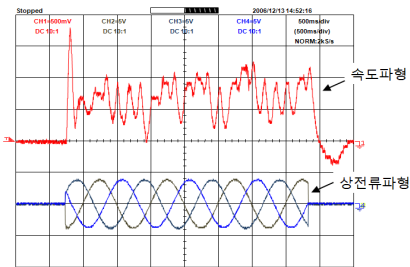
3. LSM 속도제어

3.1. 속도제어기 시험

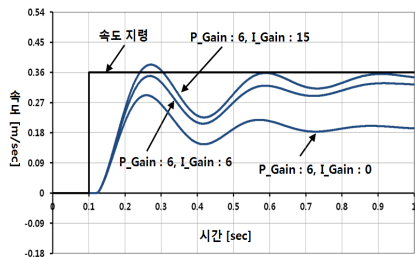
본 시스템은 2대의 인버터가 다수의 LSM 1차측에 연결되어 이동자가 존재하는 영역의 1차측만 절체하여 구동하며 인버터부에서는 전류제어를 수행하고 속도계산과

속도제어는 1대의 메인 컨트롤러에서 수행하고 있다. 본 논문에서는 시험 검증용 소형 로프리스 엘리베이터 시스템에서 운전하기 전에 수평상태에서 속도제어의 성능을 먼저 검증하였다. 그림 5는 벡터제어형 전류제어, 즉 일정 추력제어만 수행하였을 경우의 속도파형을 보여주고 있다. 그림에서 전류가 정현파로 제어되어 일정 추력이 발생되어도 접촉식 롤러구조의 공극유지 장치에서 레일과의 마찰에 의한 외란 및 낮은 관성의 영향으로 속도리플이 심하게 변동함을 알 수 있고 특히 본 연구에서 제작한 리니어 엔코더는 정상속도 0.25 [m/s]에서도 4msec에 1 pulse가 발생되어 10msec 속도 계산주기이나 어느 정도의 속도계산이 가능하고 저속도 계산은 불가능하여 본 시스템의 낮은 센서 분해능으로 속도제어의 어려움을 예상할 수 있다.

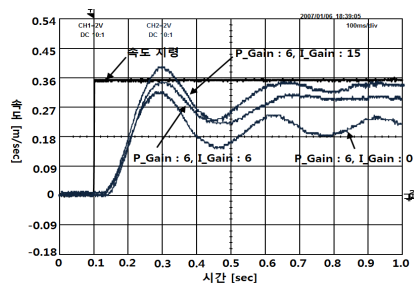
그림 6과 7은 일반 PI속도제어를 수행하였을 경우 계인에 따른 속도지령에 대한 속도 추종 시뮬레이션과 실험파형이다. 이때 시뮬레이션도 속도센서의 저분해능을 고려하여 실제와 같은 조건으로 속도계산을 수행하였으며 속도 계산과 속도제어기 주기는 1msec마다 수행하였다. 그러나 그림 6과 7의 속도 명령은 0.36[m/s]로 이 속도에서 1msec 속도계산주기 동안에 리니어 엔코더의 펄



[그림 5] 전류제어 시 속도와 상전류파형
[Fig. 5] Speed and Phase Current Waveform when Current Controlling



[그림 6] Step 속도명령에 대한 일반 PI 속도제어시 속도파형(시뮬레이션)
[Fig. 6] Speed Waveform of PI Control with Step Speed Command (Simulation)



[그림 7] Step 속도명령에 대한 일반 PI 속도제어시 속도파형 (실험)
[Fig. 7] Speed Waveform of PI Control with Step Speed Command (Test)

스는 발생했다 안했다하므로 속도는 0[m/s]와 0.36 [m/sec]보다 훨씬 큰 속도로 변동하면서 계산될 것이다. 따라서 실제 속도는 일정하여도 계산속도의 변동이 크기 때문에 속도제어 자체가 불가능하여 계산속도의 리플을 줄이고자 로우 패스 필터를 달아 속도제어를 수행하였다. 하지만 그림 6의 시뮬레이션 결과, PI 계인을 증가시켜도 명령치에는 도달하지만 로우패스필터의 지연요소의 영향으로 오버슈트가 커지고 진동이 발생하면서 정상상태에 도달하는 시간이 길어진다. 따라서 속도센서의 분해능이 낮고, 이동자의 관성이 작은 현 시스템에 대해서는 PI제어기로는 운전하기 힘들다고 판단된다. 그림 7의 실험결과도 시뮬레이션과 같은 현상을 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 이 문제를 해결하기위해 루엔버그 옵저버를 사용하여 속도와 외란을 추정하여 제어하였다.

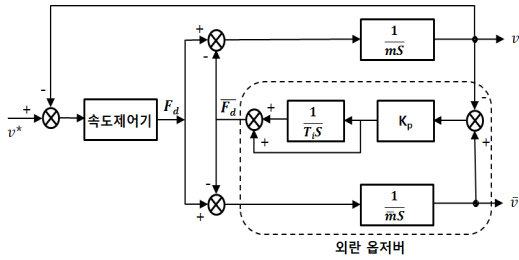
3.2. 외란옵저버 속도제어기 시험

본 시스템은 낮은 센서분해능 등의 문제로 속도, 외란 옵저버를 구성하여 속도제어기 성능 향상을 이루었다. 루엔버그 외란 옵저버는 최소한 하나 이상의 출력이 필요하기에 저분해능의 속도값을 출력으로 하고 속도와 외란을 상태변수로하여 아래 식 1과 2와 같이 상태방정식을 구성하였다.

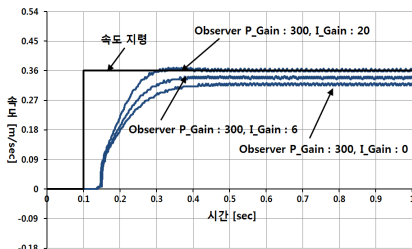
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \bar{v} \\ \bar{F}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_1 & (-\frac{1}{m}) \\ -k_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v} \\ \bar{F}_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} (v - \bar{v}) + \begin{bmatrix} \frac{1}{m} \\ 0 \end{bmatrix} F \quad (1)$$

$$y = [1 \ 0] x = v \quad (2)$$

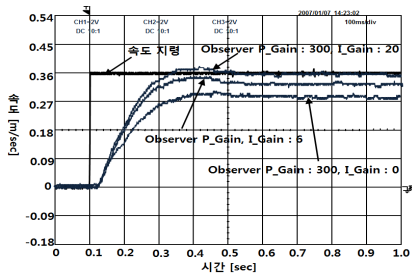
여기서 v 는 속도, F_d 는 외란추력, m 은 이동자의 무게, F 는 구동추력이고, \bar{v} 는 추정속도, \bar{F}_d 는 추정외란이다. 위 식을 기반으로 외란옵저버 속도제어기의 블록도는 그림 8와 같이 구성하였다.



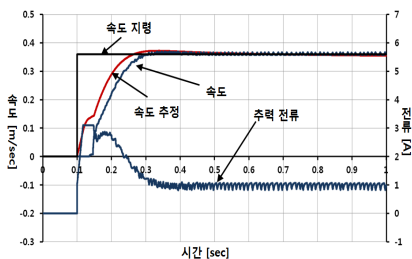
[그림 8] 외란옵저버 속도제어기 구성도
[Fig. 8] Block Diagram of Disturbance Observer Speed Controller



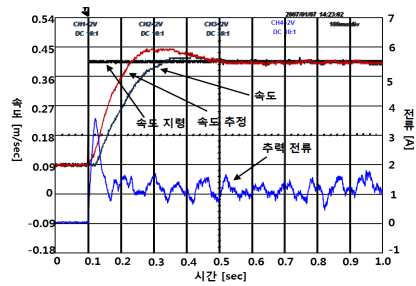
[그림 9] 외란옵저버 속도제어시 속도파형(시뮬레이션)
[Fig. 9] Speed Waveform of Observer Control(Simulation)



[그림 10] 외란옵저버 속도제어시 속도파형(실험)
[Fig. 10] Speed Waveform of Observer Control(Test)



[그림 11] 외란옵저버 속도제어시 속도와 전류파형(시뮬레이션)
[Fig. 11] Speed and Current Waveform of Observer Control (Simulation)



[그림 12] 외란옵저버 속도제어시 속도와 전류파형 (실험)
[Fig. 12] Speed and Current Waveform of Observer Control(Test)

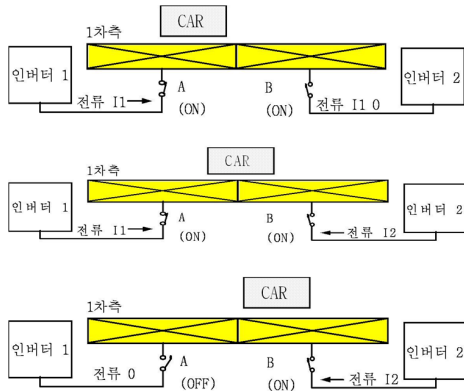
그림 9와 10은 옵저버 기반의 속도제어 시뮬레이션과 실험파형으로 게인에 따른 스텝 속도 응답파형을 보여주고 있다. 그림에서 게인조정으로 정상치에 안정하게 추종함을 시뮬레이션뿐만 아니라 실험파형을 통하여도 알 수 있으며, 또한 PI속도제어기보다 오버슈트가 없고 정상상태에 도달하는 시간이 짧아져 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 속도센서의 분해능이 낮은 문제점으로 PI제어기로는 불가능한 속도제어를 속도, 외란 옵저버로 해결할 수 있었다. 그림 11와 12는 스텝 속도명령에 대한 옵저버 속도제어 시 측정속도와 속도추정 그리고 추력 전류파형의 시뮬레이션과 실험파형을 나타내었다.

속도 추정은 과도상태에서는 어느 정도 측정속도와 오차를 수반하고 있지만 정상상태에서는 속도값에 일치하고 있음을 시뮬레이션과 실험을 통해서 확인할 수 있으며 게인값에 따라 추종 응답성에 차이를 나타내고 있고 그림의 파형은 가장 적절한 게인값에 의한 제어 시의 파형을 보여주고 있다. 측정속도 또는 추정속도를 어느 것을 제어 피드백 값으로 사용하여도 제어는 가능하나 분해능은 낮지만 측정속도를 피드백 값으로 사용하면 더 안정성이 있으며 분해능에 대한 오차를 외란옵저버가 보상하기에 측정속도를 피드백하여 속도제어를 구현하였다. 또한 그림12의 시뮬레이션에서의 추력전류 리플이 작으나 실험에서의 추력전류 리플이 크게 발생하여 실제적으로 불규칙한 레일 마찰, 공극의 변동 등의 이유로 리플을 발생시키는 외란이 크게 존재함을 알 수 있다.

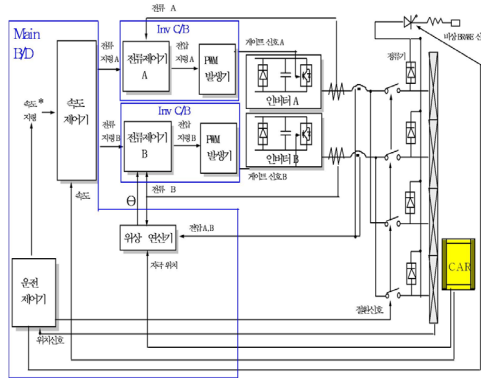
3.3. 수직 속도제어기 시험

본 연구에서는 LSM 1차축을 2개의 섹션으로 구성 하였으며 2개의 인버터로 구동하여 축소형 로프리스 엘리베이터 시스템에서의 로프가 없는 상태에서 수직 상승과 하강 속도제어의 실현가능성을 확인하고자 수직 속도제어 시험을 수행하였다. 또한 영구자석이 취부된 케이지, 즉 이동자가 존재하는 섹션(Section)만 전력이 공급되도

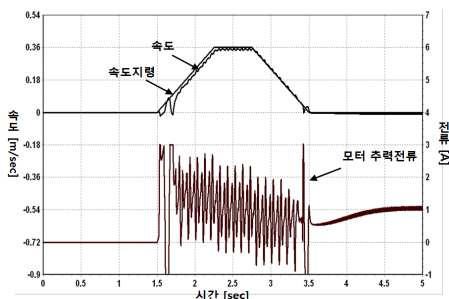
록 해당 인버터와 절체하여 운전하였으며 그 운전방법은 그림 13에 도시하였다. 그림 14는 인버터 절체를 기반으로 하는 로프리스 엘리베이터의 수직 속도제어 시험을 위한 시스템의 전체 제어 구성을 보여주고 있다.



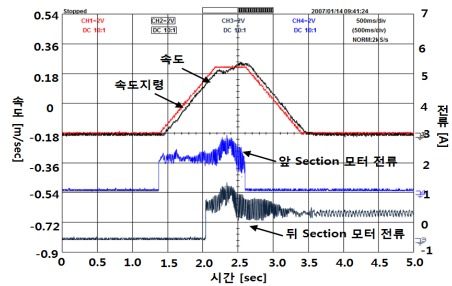
[그림 13] 인버터의 절체 운전 방법
[Fig. 13] Switch Operation Way of Inverters



[그림 14] 전체 제어시스템 구성도
[Fig. 14] Control System Configuration



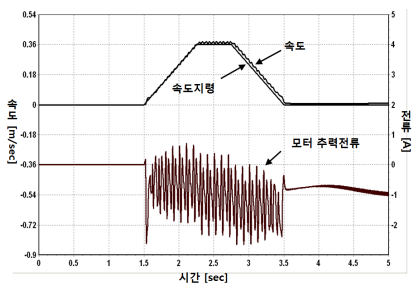
[그림 15] 시스템에서의 상승시 운전 파형(시뮬레이션)
[Fig. 15] Drive Waveform when Rising Operation (Simulation)



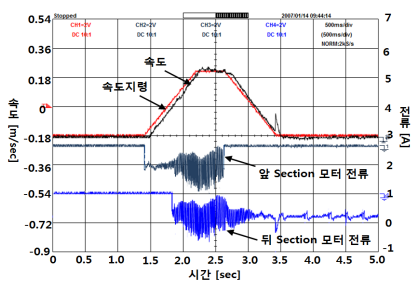
[그림 16] 시스템에서의 상승시 운전 파형(실험)
[Fig. 16] Drive Waveform when Rising Operation (Test)

그림 15와 16은 로프리스 엘리베이터의 축소형시스템에서의 수직 상승 시 속도운전의 시뮬레이션과 실험파형을 보여주고 있다. 이때 실험조건은 이동자가 7kg이고, 계인은 수평운전과 같은 값으로 수행하였다. 시뮬레이션에서 외란은 100Nm이상의 주파수대가 다른 2개의 외란을 부가하여 실제조건보다 약조건에서 시뮬레이션을 수행하였고 상승 초기 저속시에 다소 속도 오차가 발생하고 외란을 보상하기 위한 추력전류가 심하게 변동하였다. 실험은 앞 섹션에서 출발, 가속되어 뒤 섹션과 이동자가 겹쳐질 때 두 섹션과 함께 전원이 인가되어 구동되고 앞 섹션을 지나가면 앞 섹션은 차단하여 뒤 섹션 단독으로 구동되는 방법으로 절체 운전하며 이와 같은 운전시퀀스와 전류, 속도파형을 그림 16에서 확인할 수 있다. 추력전류는 1[A] 정도로 대부분이 7kg의 무게에 대한 중력부하 전류이고 가속추력의 비중이 상대적으로 적으며 외란에 의한 리플이 심함을 알 수 있다.

그림 17과 18은 로프리스 엘리베이터의 축소형시스템에서의 수직 하강 시 속도운전의 시뮬레이션과 실험파형을 보여주고 있다. 운전조건은 이동자가 7kg이고, 계인과 외란 그리고 절체 방법도 상승 시와 같은 조건으로 수행하였다. 추력전류는 중력힘에 반대되는 부 추력이 발생되어 속도를 제어하고 있음을 알 수 있으며 상승 시와 마찬가지로 대부분이 중력부하 전류이고 가속추력의 비중이 상대적으로 적으며 외란에 의한 리플이 심함을 알 수 있다. 수직 속도제어의 시뮬레이션과 실험 결과의 속도와 전류파형으로부터 속도제어는 원활히 구현되고 있어 로프리스엘리베이터의 로프가 없는 상태에서 수직 상승과 하강 속도제어의 실현가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 어느 정도 만족할 만한 성과를 이루었지만 한편으로 레일과의 불규칙적인 마찰의 영향으로 외란이 크며 추력전류 변동이 심하게 발생하는 것을 알 수 있어 접촉식 레일 구조의 한계를 본 논문에서 검증할 수 있었다. 따라서 로프리스 엘리베이터의 상용화를 위해서는 향후에도 외란이 적은 비접촉 서스펜션의 개발 연구가 요구된다.



[그림 17] 시스템에서의 상승시 운전 파형(시뮬레이션)
[Fig. 17] Drive Waveform when Falling Operation (Simulation)



[그림 18] 시스템에서의 하강시 운전 파형 (실험)
[Fig. 18] Drive Waveform when Falling Operation (Test)

4. 결론

본 논문은 아직 미개척분야인 로프리스 엘리베이터의 상용화에 앞서 다수의 리니어모터 1차축과 복수대의 인버터 및 절체시스템으로 구성된 로프리스엘리베이터실제 모델에 근접된 구조의 축속형 운전시스템으로 제작하여 구동제어의 가능성과 문제점을 검토하기 위하여 수평뿐만 아니라 로프가 없는 상태에서 수직 상승과 하강 속도 제어운전을 선행연구차원에서 수행하였다. 또한 기존 회전형 속도센서를 사용할 수 없는 로프리스 엘리베이터 시스템에서 리니어 속도센서의 가능성을 타진함과 동시에 접촉식 롤러구조의 공극유지 장치에서 레일과의 마찰의 영향을 검토하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째로 본 시스템에서 적용한 리니어 속도센서의 낮은 분해능으로 인하여 PI제어기로는 속도제어운전이 불가능함을 확인하였으며 외란오프셋과 같은 개선된 형태의 제어기의 사용으로 그 문제점을 해결할 수 있어 저분해능의 리니어 속도센서의 로프리스엘리베이터의 적용가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 사람의 인명사고와 관련이 있는 로프리스엘리베이터와 같은 제품은 제품의 신뢰성을 위해서 현재 상태보다 개선된 성능이 요구되므로

향후 연구는 가속센서 혹은 와전류근접센서 등을 리니어 속도센서와 조합하여 저가격의 구현이 간단한 리니어 속도센서를 보완할 수 있는 방안의 제시도 요구된다.

둘째, 본 시스템의 운전시험 결과 영구자석의 흡입력이 작용하는 본 시스템과 같은 로프리스엘리베이터의 접촉식 레일 구조물에서는 레일마찰이 심각할 정도로 크게 발생하여 리플을 발생시키는 외란이 크게 존재하여 속도 제어와 안전에 크게 악영향을 미치고 있음을 확인하였다. 비록 접촉식 레일구조가 가격이 저렴하고 구현이 용이하지만 로프리스엘리베이터에서는 마찰 외란을 최소화할 수 있는 비접촉 서스펜션의 채용이 필수적임을 재차 검증할 수 있었다.

셋째, 본 연구에서 로프리스엘리베이터의 수직 속도제어의 시뮬레이션과 실험을 수행하여 만족할 만한 속도제어 결과를 도출하였고 로프리스엘리베이터의 로프가 없는 상태에서 수직 상승과 하강 속도제어의 실현가능성을 확인할 수 있었다.

마지막으로 로프리스 엘리베이터는 아직 미개척분야로 본 논문에서는 고려하지는 않은 여러 가지 기술들의 개발이 필요하고 당장의 구현되어 운영할 수 있는 제품은 아니지만 향후 기술개발의 보완 및 향상이 이루어지면 멀지 않은 장래에 실현될 수 있으리라 예상되며 병원 등 건물내 수직, 수평 반송시스템의 우선적 활용도 가능하리라 사료된다.

References

- [1] T.Ishii, "Elevator for Skyscrapers", IEEE Spectr., vol 31, no 9, pp. 42-46, 1994.
- [2] Xiaozhuo Xu, Xudong Wang, Shiyang Yuan, Haichao Feng, "Optimization of Vertical Linear Synchronous Motor for Ropeless Elevator with INGA Method", 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering, pp 3965 - 3968.
- [3] Sang-Gun Lee, Koon-Seok Chung, Yu-wu Zhu, "Detent Force Minimization of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor for Ropeless Elevator System Using Response Surface Method", The 40th Annual Conference of the KIEE, pp.812 - 813, 2009.
- [4] H-Sun Lim, Krishnan R, "Ropeless Elevator With Linear Switched Reluctance Motor Drive Actuation Systems", IEEE transactions on industrial electronics, vol 54, no.4, pp. 2209 - 2218, 2007.
- [5] YounHyun Kim, "Development of Elevator Door

System with Linear Induction Motor”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol 12, no 8, pp. 3617-3625, 2011.

김 윤 현(Youn-Hyun Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 일반대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 한양대학교 일반대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1989년 1월 ~ 1999년 8월 : LG 산전연구소 책임연구원
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한밭대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

전기기기, 전력전자, 모터드라이브