

2상 펄스파 구동을 통한 점착식 도시철도 차량용 추진 시스템

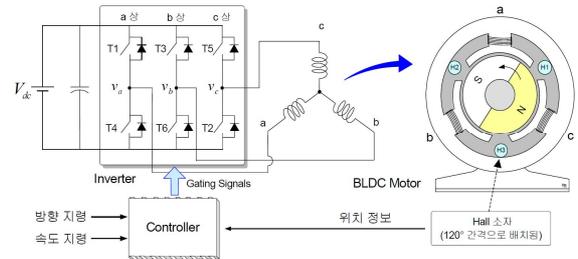
이강석*, 김승주**, 정거철*, 이 주***
 한양대학교*, 한국기계전기전자시험원**, 한양대학교***

Thrust force system using 2 phase pulse for Urban Rail system

GangSeok Lee*, Seung-Joo Kim**, Geochul Jeong*, Ju Lee***
 Hanyang University*, Korea Testing Certification**, Hanyang University***

Abstract - 현대사회의 고속·고급 교통수단에 대한 요구에 부응하고, 고유가 및 온실가스 등 원유 기반의 교통 시스템의 문제를 해결하기 위해 교통 수단의 다양화 연구가 활발히 진행되고 있다. 석유문제가 심각한 상황으로 전개될 경우, 대륙과 대륙 그리고 국가와 국가 사이의 장거리 이동을 할 수 있는 교통수단은 전기로 추진되는 철도이다. 현재 대중화 되어있는 바퀴 식 철도 차량은 초고속 운전 시 기하급수적으로 증가하는 소음, 공기저항 동력 전달의 한계, 레일의 마모라는 문제를 가지고 있으며 이러한 문제점을 가진 철도차량의 대안으로 선형 추진 시스템 연구가 진행 중이다[1] 국내에서는 LSM(Linear Synchronous motor)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 LPM 기반 철도 차량 추진시스템에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다. 그러나 LSM 추진 시스템에 비하여 LPM 추진 시스템은 우수한 등판 능력, 광역범위의 주행 가능 영역, 경량화에 따른 높은 에너지 효율, 건설비 저감등 다양한 장점을 가지고 있으며 충분한 전략성을 가지고 있다.

력(Lateral Force)으로 변환하여 직선 방향으로 힘을 발생한다. 구동원리는 BLDC 전동기와 유사하다.[1]

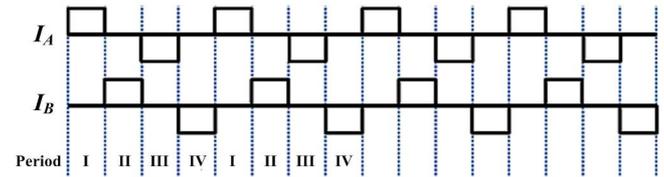


〈그림 2〉 BLDC 전동기 구동 시스템

1. 서 론

세계적으로 증가하는 철도 수요 대응과 현대사회의 교통수단에 대한 요구에 부응하고, 고유가 및 온실가스 등 원유 기반의 교통 시스템의 문제를 해결을 위해 교통수단의 다양화 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 대용량 LSM의 코깅 토크 저감을 위한 제어 해석, 고효율 자기부상 및 추진시스템 개발, 하이브리드 추진용 Traction Motor 설계 및 해석 철도차량 견인용 IPM의 최적설계를 위한 전자계해석, 프리미엄급 고효율 단상 유도전동기 설계해석이 이루어지고 있으며 국외로는 LIM을 적용한 도시철도차량용 추진시스템, LIM을 적용한 경전철용 추진시스템, LSM을 적용한 상전도 흡인식 자기부상/추진시스템 기술, LSM을 적용한 초전도 반발식 자기부상/추진시스템 기술 및 극저온 냉각기술, 비접촉 집전기술 및 선형발전기술, 차상 집중식 및 분산식 비접촉 집전기술이 연구되고 있지만 LPM 기반 철도 차량 추진시스템에 대한 연구는 이루어지지 않고 있는 상태이다. LPM은 가·감속 성능 우수 및 비접착 구동에 의한 등판 능력이 우수하며, 저속부터 초고속까지 모든 속도영역 주행 가능, 차량 경량화에 따른 높은 에너지 효율, 가공전차서 설비가 불필요하고 차체를 기존보다 가볍게 만들어 줄 수 있어 기존 철도 시스템보다 약 20% 건설비 저감 가능, 지상 1차 추진 전력 공급 시스템으로 인해 대용량 전력의 차량 공급문제 해소의 정점을 가지고 있어 철도 차량 추진시스템에 충분한 전략성을 가지고 있다.

LPM에서 이동자는 치와 슬롯 구조로 이루어져 있으며 이동자의 이동 속도는 주어진 입력 펄스의 주파수에 비례하여 결정된다. 이동자는 입력 펄스 신호에 동기되어 이동하며, 직선 추력은 이동자의 변위에 따라 이동자와 고정자 사이의 퍼미언스 값이 변화하여 발생하게 된다. LPM은 전기자와 계자간의 위치관계에 따라 A,B상 입력 전류가 다르며 이에 따라 4 구간의 운전 구간을 가진다.

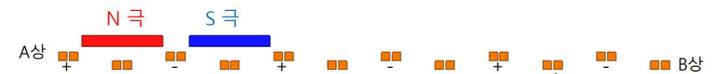


〈그림 3〉 2상 펄스 전류파형에서의 운전구간

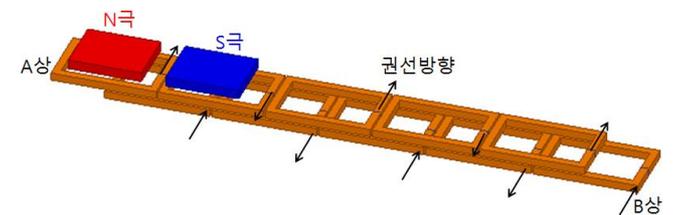
2.2 LPM 특성 해석

2.2.1 LPM 유한 요소 해석 모델

LPM 해석을 위하여 그림 4, 5와 같은 모델을 선정 하였으며, 설계 파라미터는 표 1에서 나타낸다. 영구자석 은 이동자의 차체를 보이며 아래 A상 B상은 고정자 선로를 나타낸다. 고정자는 전기적으로 90°의 차이를 가진다.



〈그림 4〉 LPM 유한 요소 해석 모델(2D)



〈그림 5〉 LPM 유한 요소 해석 모델(3D)



〈그림 1〉 철도차량 추진용 LPM 시스템 구조

2. 본 론

2.1 LPM 구조 및 구동 원리

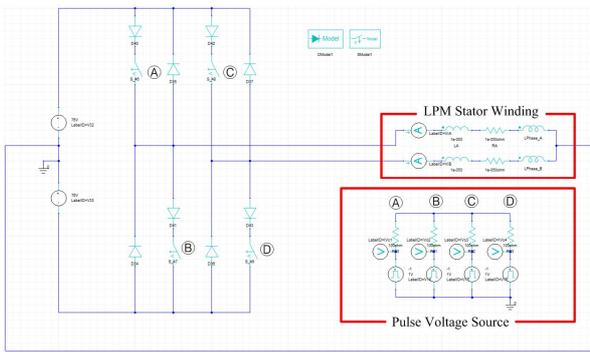
LPM(Linear pulse motor)은 일반 회전형 모터를 축 방향으로 잘라서 펄스형은 형태로 일반 회전형 모터와 달리 입력 전력을 토크가 아닌 추

〈표 1〉 유한 요소 해석 모델 설계 파라미터

	값	단위
이동자 극 피치	100	mm
고정자 극 피치	100	mm
공 극	5	mm
A상 B상 간격	5	mm
영구자석 너비	75	mm
영구자석 두께	10	mm
권선 면적	8×8	mm ²
적층 길이	60	mm
입력 전류	200	Apeak
이동자 속도	0.4	m/s

2.2.2 2상 전류 펄스파형 생성

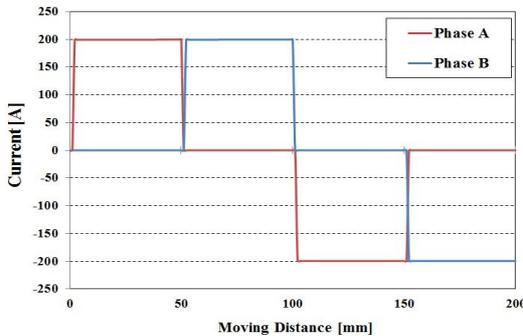
유한 요소 해석 모델에서 2상 펄스 전류파형을 구현하기 위해 그림 7 과 2상 전류를 생성하기 위한 전력변환 회로를 사용하였다. Pulse Voltage Source 회로에서 메인 회로의 스위치 제어 신호를 생성하며, 펄스 전류의 펄스폭과 주파수 등을 제어한다.



〈그림 6〉 2상 펄스 전류 생성을 위한 전력 변환 회로

차량 속도 v [m/s]가 주어지면 펄스파의 주기 Period는 다음과 같이 계산된다 여기서 τ 는 극 간격[m]를 의미한다.[2]

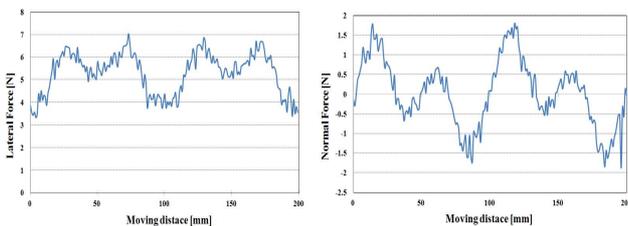
$$\text{Period} = \frac{2\tau}{v}$$



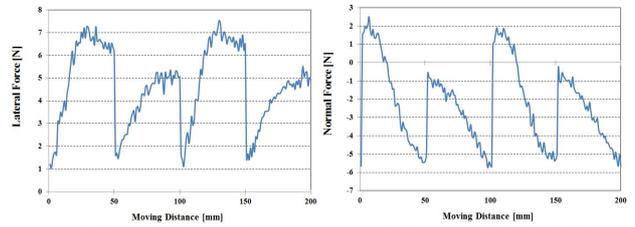
〈그림 7〉 전력 변환 회로를 통한 2상 펄스 파형

2.2.3 유한 요소 특성 해석 결과

본 논문에서는 정현파와 펄스파 구동시의 2가지 경우를 해석하였으며 결과는 다음과 같다. 그림 8은 정현파를 인가하였을 경우 특성 이며 그림 9는 그림 7과 같은 펄스 파형을 인가하였을 경우 특성이다.



(a) 유한 요소 해석 추력 특성 (b) 유한 요소 해석 수직력 특성
〈그림 8〉 2상 정현파 인가시 유한요소 해석 모델 특성



(a) 유한 요소 해석 추력 특성 (b) 유한 요소 해석 수직력 특성
〈그림 9〉 2상 펄스파 인가시 유한요소 해석 모델 특성

〈표 2〉 유한 요소 해석 모델 추력 및 수직력

	펄스파 (200Apeak)	정현파 (200Apeak)	단위
평균 추력	4.65	5.3	N
평균 수직력	-2.30	0.04	N
추력 리플	6.42	3.79	N
수직력 리플	7.59	3.76	N

유한 요소 해석 모델 해석 결과로 신호의 양측에 모두 존재한다고 가정하였을 경우 펄스 파는 추력 4.63N 수직력 -2.30N의 힘을 가지며 정현파는 추력 5.3N, 수직력 0.04N의 특성을 가진다.

3. 결 론

LPM의 고정자 권선에 정현파 전류를 인가하는 경우가 펄스파 전류를 인가하는 경우보다 평균 추력이 더 크고, 리플이 작아 운전 특성이 뛰어난 것을 표 3을 통해서 알 수 있다. 그러나 전력변환기에서 정현파 전류를 만들기 위해서는 마이크로 스텝 구동 방식을 적용해야 하며, 1주기 동안 10회 이상의 스위칭이 필요하다. 또한 철도차량 추진을 위한 대전력의 LPM 구동 시에는 스위칭 소자의 용량이 커야하며, 이러한 대용량의 스위칭 소자는 스위칭 주파수가 1~3kHz 정도로 느린 편이며 스위칭 손실도 매우 크다. 따라서 차량이 고속으로 주행할 경우에는 스위칭 속도를 따라가지 못하는 경우가 발생할 수 있으며 많은 스위칭 손실이 발생하게 된다.

이러한 정현파 구동의 단점을 보완하기 위한 해결방안으로 펄스파 구동이 선택될 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김광현, “리니어 펄스 모터의 연구 동향”, 전력전자학회, 2001
- [2] 윤신용, “리니어 펄스 모터의 추력 및 수직력에 대한 특성 해석”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 13. No.4, pp. 142~151 November 1999

“본 논문은 국토교통과학기술진흥원에서 시행하는 리니어펄스모터 기반 철도차량 추진시스템 원천기술 개발(과제번호: 14ENGF-C067865-02)의 일환으로 수행되었습니다.”