

PSD용 모터의 특성에 관한 기초 연구

The Basic Study on Characteristics of using Motor in PSD(Platform Screen Door)

조래혁¹⁾ 이오현²⁾ 박채영³⁾ 김상암⁴⁾
Cho Raehyuck Lee Ohhyun Park Chaeyoung Kim Sangahm

ABSTRACT

PSD(Platform Screen Door) has been installed to reduce wind caused by train operation and the vibration, the noise in the subway since 2004, lots of passengers are very satisfied with the benefit.

Recently, the BLDC(Brushless DC) has caused the eddy current loss, the vibration, the torque ripple whenever switching

but, servo motor is to eliminate the design error by the BLDC(Brushless DC).

In this paper, we tried to conform the application of AC Servo motor.

1. 서 론

승강장 스크린도어는 열차풍의 감소 및 소음을 줄이기 위해서 설치되어 철도 이용객들이 만족하고 있다.

현재, PSD에 사용되는 BLDC 모터는 영구자석을 이용함으로 생기는 코깅토크, 스위칭 시 와전류 손실 및 진동, 토크 리플이 발생되어 속도 및 회전제어에 영향을 준다. 그러나 서보모터는 스위칭 소자를 일체화하여 BLDC의 설계상의 오류를 제거하였다. 따라서 본 논문에서는 AC 서보모터의 적용을 검토하였다.

2. PSD의 개요

2.1 PSD의 개념

승강장 스크린도어 설비(Platform Screen Doors)는 선로와 승강장사이에 차단 벽 역할을 함과 동시에 차량의 신호를 통하여 도어를 개폐함으로써 승객의 추락사고 및 열차와의 충돌을 방지하여 승객의 안전을 보장해 주는 설비이다.

2.2 PSD 모터의 이론

모터는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 장치이며, 용어를 정의한 후, 이론식을 설명하는 것이 이해하기가 쉽다.

2.2.1 용어

- 회전자계 : 모터를 돌리기 위하여 발생한 자계
- 회전수 : 회전속도의 정도로 단위는 rpm으로 표현된다.
- 기동토크 : 모터가 시동할 때 발생하는 회전력
- 코깅 : 모터가 1회전하는 동안에 토크의 맥동분으로 자기회로의 구조에 영향을 미친다. 이 값이 작을수록 원활한 회전특성을 나타낸다.
- 토크 : 회전력을 말하는 것으로 단위는 N·m를 사용한다.

-
- 1) (주)대우엔지니어링 철도써스팀 사업부 신호팀 사원, 정회원
 - 2) (주)대우엔지니어링 철도써스팀 사업부 신호팀 과장, 비회원
 - 3) (주)대우엔지니어링 철도써스팀 사업부 신호팀 부장, 정회원
 - 4) 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

- 파워레이트 : 모터가 단위 시간당 낼 수 있는 출력의 정도

2.2.2 전력 및 효율

전력은 전압과 전류의 곱이며, 효율은 입력전력을 출력전력으로 나눈값으로 정의된다.

$$P_{in} = E \cdot I \quad (2.1)$$

P_{in} : 전력 [W]

E : 전압 [V]

I : 전류 [A]

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{1.027 \times N \cdot T}{E \cdot I} \times 100 \quad (2.2)$$

η : 모터의 효율 [%]

P_{out} : 출력전력 [W]

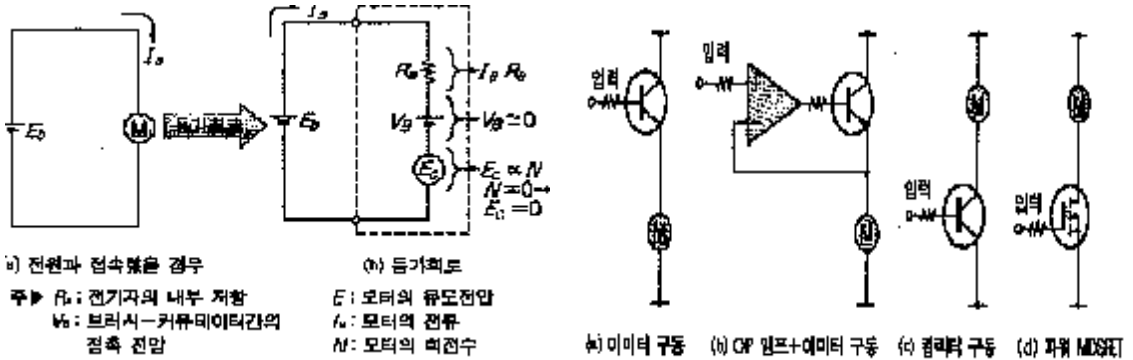
P_{in} : 입력전력 [W]

N : 회전수 [rpm]

T : 토크 [kg·m]

2.2.3 등가회로

모터의 특성을 파악하는데 등가회로 및 구동회로의 구조를 파악하는 것이 중요하다.



(a) DC 모터 등가회로 예

(b) DC 모터 구동회로

그림 2.1 PSD용 전동기 등가회로 및 구동회로

$$E_b = R_a \cdot I_a + V_B + E_c \quad (2.3)$$

E_b : 전원전압 [V]

R_a : 전기자 저항 [Ω]

I_a : 모터 전류 [A]

V_B : 브러시-커뮤테이터간의 접촉 전압 [V]

E_c : 모터의 유도전압 [V]

3. PSD용 모터

일반적으로 PSD에 사용되는 모터는 직류 모터가 사용되고 있었다. 이 모터는 자계를 형성하는 곳으로, 자력선을 통과하는 요크(계철), 마그넷으로 구성되어 흔히 고정자(stator)라고 말하며, 외부의 전류를 공급하여 회전자석을 만드는 회전자(rotator), 일정한 방향으로 회전을 위해서 필요한 정류기(commutator)등으로 분류된다. 큰 기동토크, 가격이 저렴하다는 특성이 있으나, 브러시나 정류자(Commutator)등의 기계적 접점으로 제어함으로 소음과 수명 등에 많은 문제점을 가지고 있다.

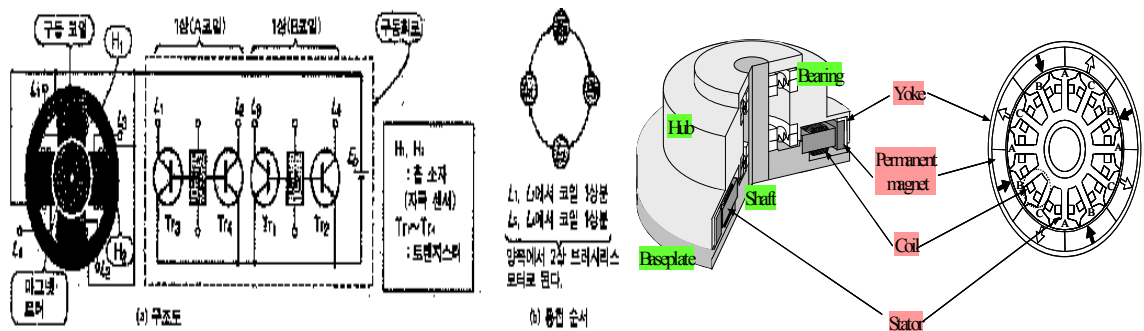
PSD용 모터에 적용될 특성은 다음과 같다.

- 속도, 위치검출 및 우수한 제어능력
- 수명이 길고, 사후성 우수
- 소음 발생 억제
- 고효율, 소형화
- 순간토크가 크며, 고속운전이 우수
- 공랭식 방식 채용, 회전수가 일정

3.1 BLDC(Brushless) 모터

3.1.1 구조 및 특성

이 모터는 브러시가 없는 전동기로 기존의 직류기에서 브러시와 정류자가 담당하던 기계적 접점을 반도체 스위칭 소자 등을 이용한 PWM 인버터 제어를 함으로써 기존 모터의 소음, 진동을 억제하며 기동토크를 크게 할 수 있다. 그러나 영구자석을 사용함으로 회전자와 자극의 상대적인 위치에 따라 자기축적에너지가 변화하는 구조에서 나타나는 필연적인 코킹토크가 발생되어 속도제어 및 위치제어에 악영향을 주며, 진동의 원인이 되는 토크리플의 요인이 된다. 또한 상변환으로 인하여 턴-오프시간이 턴-온시간보다 지연되는 스위칭 리플이 발생하게 된다. 아래의 그림 (a)는 홀센서에 의해서 회전자를 제어하는 것을 나타낸 것이며, (b)는 현재 사용인 모터의 구조를 보여주고 있다.

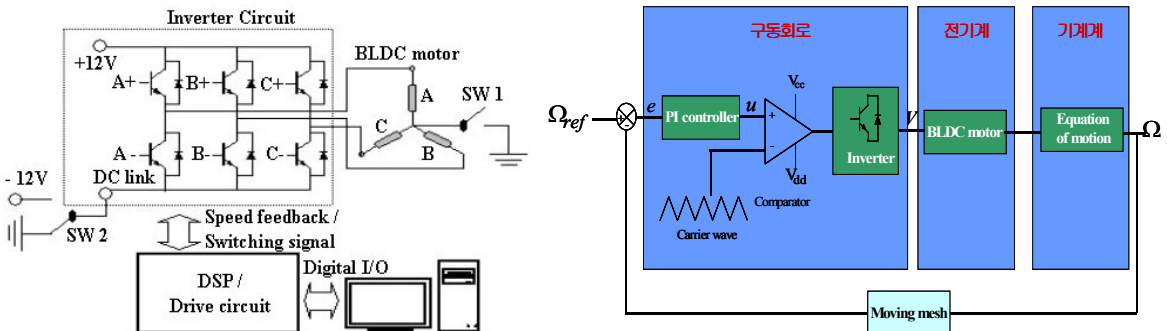


(a) BLDC 동작
 (b) BLDC 구조
 그림 3.1 BLDC 모터 동작원리 및 구조

3.1.2 회로 설계

그림 3.2는 전동기의 구동회로를 나타낸 것으로, 자극위치 검출기 및 반도체 소자에 의한 정류자로 구성된 3상 Y권선 형으로 중립점의 사용유무에 따라 두개의 상에 전류가 흐르지만 60°마다 정류를 해야 함으로 단 방향 토크가 발생하는 이상구동(중립점 사용), 하나의 상에 양 방향 전류가 흐를 수 있는 단상구동(중립점 사용안함)으로 나뉘며, 기동토크와 회전속도의 특성을 고려하여 이상구동-단상구동 방식이 사용되고 있다.

모터 구동의 모든 작업을 수행하는 디지털 신호 프로세서를 설치하여 스위칭 신호를 주면 인버터 회로에서 받아 모터에 연결하여 각 위상차마다 회전하게 되어 초기의 과전류에 대한 부담을 줄여주면서 기동시간을 줄일 수 있다.



(a) 전동기 내부회로도
 (b) 전동기 해석 흐름도
 그림 3.2 BLDC 모터의 설계

3.2 SERVO 모터

3.2.1 구조 및 특성

서보는 목표위치의 추종능력이 뛰어난 메커니즘을 말하는 것으로, 이러한 개념을 전동기에 적용한 것으로 회전자에 영구자석을 이용하여 적은 전류로 높은 토크를 발생 할 수 있어 모터의 사이즈 최소화, 고밀도 제어, 유지보수의 편리함 등으로 많이 사용 되고 있다.

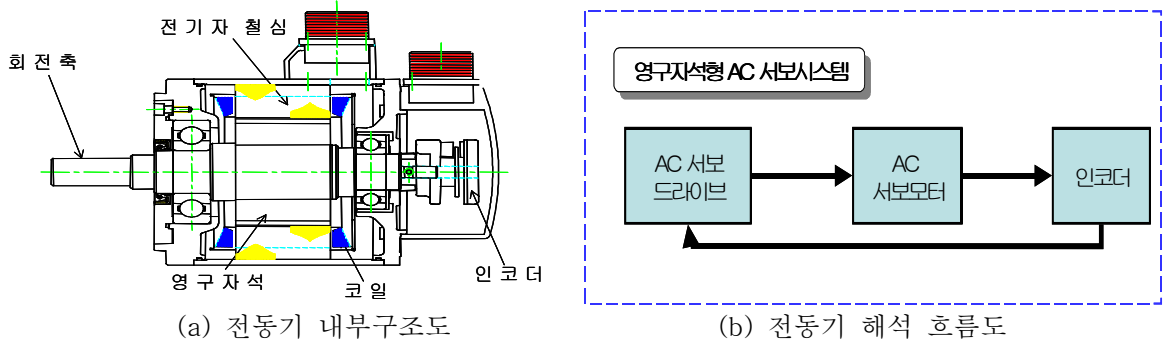


그림 3.3 Servo Motor 구조

3.2.2.구성

전동기 구성은 드라이버, 모터, 인코더로 이루어지며, 그림 3.4는 드라이버의 구조를 나타낸 것으로 전원을 통하여 유입된 교류는 정류다이오드를 통하여 직류로 변환되는 직류 전원부, 모터에 적합한 전압과 주파수를 위해 필요한 펄스폭(PWM)제어를 위한 전력 변환부, 입력된 전압을 영구자석을 통하여 수직으로 자극을 만들어 회전하는 구동부로 나누어지며, 인코더는 일종의 센서로 서보모터 회전자의 절대위치를 판별하기 위해서 U, V, W상 신호가 출력되어 A(회전속도), B(회전방향), Z(기준점)상과 일치시켜 고정자 권선의 기전력을 제어하는 사용되어 정밀한 제어가 가능하게 하여, 스위칭 리플을 감소시켰으며, 코킹토크를 감소시키기 위해 공극길이를 크게, 고정자철심에 노칭을 하는방법을 사용하였다.

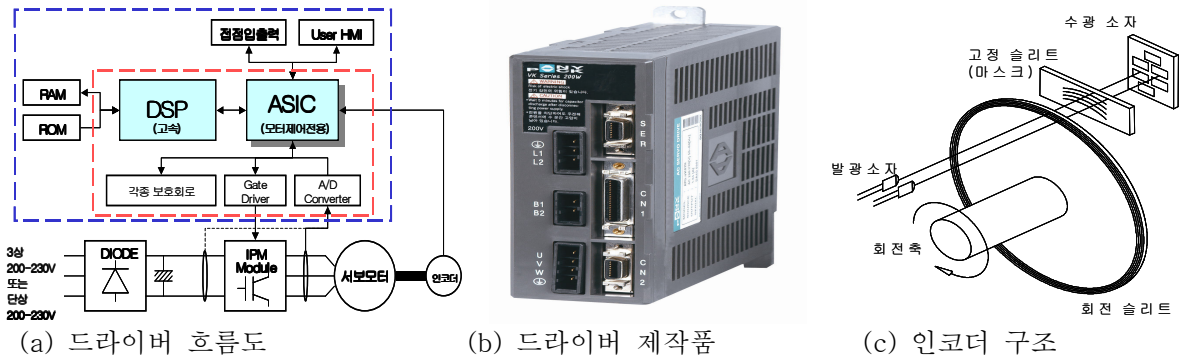


그림 3.4 Servo Driver 및 Encoder

4. 자화 전류법을 이용한 자기해석

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \tag{3.1}$$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \tag{3.2}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \tag{3.3}$$

$$\vec{M} = \chi \cdot \vec{H} + \vec{M}_r \tag{3.4}$$

식 (3.4)을 식 (3.2)에 대입하여 적용하면 다음식과 같다.

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot \vec{M}_r \tag{3.5}$$

식 (3.5)을 구하고 난 뒤 $\nu = 1/\mu$ $\nu_r = 1/\mu_r$ 로 변형하여 자기장의 세기(\vec{H})를 구하면

$$\vec{H} = \nu \vec{B} - \nu_r \vec{M}_r \quad (3.6)$$

자속밀도(\vec{B})와 자기장의 세기(\vec{H})를 구하면 자기 퍼텐셜(\vec{A})를 정의 할 수 있고, 자기 퍼텐셜(\vec{A}) 값을 식(3.3)에 적용하면 조건을 만족하여 최종적인 지배방정식을 구할 수 있다.

$$\nabla \times (\nu \cdot (\nabla \times \vec{A}) - \nu_r \vec{M}_r) - \vec{J} = 0 \quad (3.7)$$

위의 식에서 2차원 해석을 위한 자화 전류 법을 이용하면

$$\vec{J} = 1/\mu_0 \nabla \times \vec{M} \quad (3.8)$$

$$\vec{I} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \int_S (\nabla \times \vec{M}) \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{M}_{1t} - \vec{M}_{2t})d \quad (3.9)$$

여기서 자속밀도(\vec{B})는 식(3.2)과 같으므로 자기장의 세기(\vec{H})는 두영역에서 연속이므로 두요소경계면의 자화전류는 다음과 같다.

$$\vec{I} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{B}_{1t} - \vec{B}_{2t})d_{ij} \quad (3.10)$$

위식을 통해서 경계점에서의 작용 하는 힘($\vec{F}_{ij} = \vec{I}L \times B$)가 되며, 자속밀도의 법선 성분은 경계점에서 동일하지만, 접선성분은 다음과 같이 두 요소 값의 평균값을 취한다.

$$\vec{B} = 1/2 (\vec{B}_{1t} + \vec{B}_{2t}) \quad (3.11)$$

자화 전류법을 이용한 지배방정식은 BLDC 모터와 Servo 모터 둘 다 경계치 영역에서 적분의 복잡한 계산방법이 없이 쉽게 힘을 구할 수 있어 용이하다.

5. 비교 검토

5.1 SWOT 분석

SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, Threat) 분석을 해보면 다음과 같다.

요인	종류	BLDC Motor		AC Servo Motor	
		S(강점)	W(약점)	S(강점)	W(약점)
내부 요인		- 제어구조 간단	- 유지비용 증가	- 유지비용 감소	- 제어구조 복잡
		- 높은 파워레이트	- 정속도 제어 어려움	- 고효율, 소형경량	- 설계인력 부족
업계 전반적인 요인		O(기회)	T(위협)	O(기회)	T(위협)
		- 꾸준한 판매	- 기술혁신 적다	- 환경성 높음	- 제조회사 적음
		- 시장진입 완료	- 환경성 낮음	- 신뢰도 증가	- 시장진입 초기

5.2 일반적인 분석

항목	분류	BLDC	SERVO	비고
회전자 구조		영구자석	영구자석	
센서 방식		Hall	Encoder	
정밀도(제어, 회전)		High	Low	분해능 차이
회전속도 [rpm]	정격	3,000	3,380	
	최대	4,150	5,000	
	속도차이	많음	없음	무 부하 와 부하
정격출력토크[Nm]		0.0286	1.274	
기동토크[Nm]		0.0283	3.822	
제어회로		단순	복잡	
손실(loss)		많음	적음	
비용(Cost)		High	Low	전체구성비율

6. 결론

본 논문에서는 PSD용 전동기의 특성을 분석하였으며 결론을 요약하여 다음과 같다.

- [1] BLDC 모터 과 AC 서보모터의 특성을 비교검토 하였다.
- [2] BLDC 모터 최대난점인 토크 및 회전의 불균일성을 줄이기 위해 전기자 철심의 설계가 핵심이며, 속도 및 회전의 정밀성을 높이기 위해선 분해능이 우수한 서보모터의 사용이 요구된다.
- [3] 두개의 모터특성을 분석 하는 데는 계산의 편리성으로 자화 전류법을 적용하는 것이 좋다고 보여진다.
- [4] SWOT와 일반적인 비교검토를 통해서 BLDC에 비해 SERVO 모터는 정밀도, 토크, 손실, 비용, 용량을 분석해본 결과 우수한 것으로 나타났다.
- [5] 따라서 빈번한 기동 및 정지가 일어나는 PSD에서는 RAM(신뢰성, 가용성, 유지보수성)에 적합한 서보모터의 사용을 권장하며, 향후 RAM 과 FEM 프로그램을 이용하여 적합성 여부를 분석하는 것이 필요하다고 사료된다.

7. 참고 문헌

- [1] 조래혁, 가칭 “PSD RAMS 적용” , 2006.3, pp8-10
- [2] 전자장수치해석기법 조사전문위원회, “전자장수치해석 기법현황” , 대한전기학회, 1992.7,
- [3] 김명규. “브러시리스 DC 모터의 기동토크 향상 및 고속 구동을 위한 이상기동- 단상구동 구동 법에 관한 연구”, 2003.1.25
- [4] 강도현, "전동기의 고 효율화 및 고속화", 2000.
- [5] 니시다 도오루 저 . “한번에 OK를 받아내는 기획·제안서 작성기술”, 2006.3, pp 99.