

승강장 스크린도어용 구동모터의 온도특성에 관한 연구

A study on temperature characteristics of the driving motor of platform screen door.

온경근* 권기진** 최영하** 심재복**
Jung-Ghun Ohn Ki Jin Kwon Choi, Yung ha Jae-bock Shim

ABSTRACT

Platform screen door (PSD) is equipment composed of screens and doors on the platform of subways or light trains, separating the platform from the railroad. The equipment is opened and closed in connection to the doors of carriages. In order to operate the system safely, it is important to understand the characteristics of key parts. There are many parts and environmental factors such as voltage, current and temperature change but the present study measured the change rate of torque and energy changes according to the temperature of the driving motor and analyzed the characteristics of the changes and examined the features of a motor required for stable PSD and the conformability of control programs.

1. 서론

승강장 스크린도어(PLATFORM SCREEN DOOR, PSD)는 지하철이나 경전철 승강장 위에 선로와 격리되는 고정벽(스크린)과 문을 설치, 차량의 문과 연동하여 개폐되는 장치로서 이 시스템을 안전하게 운영하기 위해서는 핵심부품의 특성 파악이 매우 중요하다. 여러 가지 부품과 전압/전류/온도 변화와 같은 환경요인이 있지만 본고에서는 구동모터의 온도에 따른 토크의 변화율과 에너지 변화량을 측정하고 변화 특성에 대하여 분석하여 안정적인 스크린도어에 필요한 모터 특성과 제어프로그램이 적합성을 확인해 본다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

2. 본론

2.1 PSD의 구동부

PSD에 사용되는 구동부는 제어부로부터의 신호에 의하여 스크린도어의 개폐동작을 실시하는 부분으로서 충분한 내구성을 가져야 하며 유지보수작업을 용이하게 실시할 수 있고 과부하를 방지할 수 있는 제어기능을 갖추어야 한다. 또한 제어부에서는 노선에서 인터페이스 신호를 받아 시스템의 동작을 통제하는 주제어기(종합제어반), 승객이나 장애물이 스크린도어 사이 또는 스크린도어와 차랑사이에 위치한 것을 감지할 수 있는 장애물 감지장치 및 비상 열림 스위치 등의 비상 처리장치가 포함되어야 하며, 감지장치는 정확하고 안전한 검지가 가능하도록 다중화 구조이어야 한다. 이러한 다양한 기능과 보호회로를 수용하기 위해 그림 1과 같은 다양한 전동기를 고려할 수 있다.

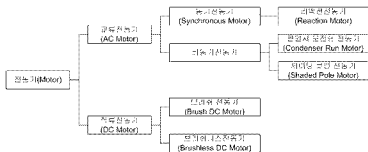


그림 1. 전동기의 종류

여러 가지 전동기 중에 PSD의 조건을 가장 잘 수용하는 것이 Brushless DC (BLDC) Motor이다. Brush가 부착된 DC motor는 정류자와 브러시의 접촉에 의해서 코일에 전류류 흐르게 하는데 브러시가 마모되고 전기적인 노이즈로 인해 정류자의 수명이 짧은 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 브러시와 정류자 대신에 트랜지스터 이용한 전자 회로에 의해 스위칭하여 구동하는 모터이다. DC 전원으로부터 공급된 전류를 3상 권선에 분배하는 것이지만 이를 위해서는 모터의 위치를 검출해서 검출정보에 기초하여 트랜지스터를 ON 하거나 OFF 하는 것을 판단하고 실행하게 된다.

2.2 BLDC 모터의 특징

출생서로 전기각을 검출하면 부가적으로 여러 가지 잡음이 생긴다. 전자적으로 전기각을 검출하므로 브러시와 정류자간의 기계적인 마찰부가 없어지므로 고속화가 가능하고 소음이 감소하며, 아크가 없어지므로 전자 노이즈가 감소한다. DC모터의 경우 주기적으로 브러시를 교체해 주어야 하지만 BLDC 모터는 비접촉식으로 전기각을 검출하므로 부품을 교체할 필요가 없으므로 수명이 반 영구적이고 신뢰성이 높다. 일반적으로 DC모터는 페라이트 자석을 사용하지만 BLDC 모터는 고성능의 희토류자석을 사용하므로 소형화가 가능하다. 제어적인 측면에서 보면, BLDC 모터가 1회전을 하면 모터 극수의 3배에 해당하는 펄스가 나오게 된다. 이 펄스를 카운팅 하면 모터의 위치를 어느 정도 알 수가 있으므로 정밀도를 크게 요구하지 않는 응용분야에서는 부가적인 센서 없

이도 자체 센서출력을 이용하여 위치제어가 가능하다. 따라서 BLDC 모터는 부가적인 위치 검출 소자가 필요 없어지므로 가격적으로도 장점을 가지게 된다. 또한 홀 센서 신호를 카운팅해서 시간으로 나누면 모터의 속도를 알 수 있으므로 이것을 이용하면 속도제어를 수행하면 일정속도제어 및 가변속 제어가 가능하다.

위에서 설명한 바와 같이 BLDC 모터에는 다음과 같은 장점이 있다

- 브러시가 없으므로 전기적, 기계적 노이즈가 작다.
- 고속화가 용이하다.
- 신뢰성이 높고, 유지보수가 필요 없다.
- 기기의 소형화가 가능
- 일정속도제어, 가변속 제어가 가능하다.
- 모터 자체신호를 이용하므로 저가로 위치제어 속도제어가 가능하다.
- 기계적인 브러시, 정류자가 없다.
- 신뢰성이 높고 긴 수명을 유지한다.
- 센서를 이용한 전자 정류 장치를 사용한다.
- DC motor의 경우 10,000RPM까지 제한된 속도이나 BLDC 모터는 영구자석 모터의 기계적 강도에 의해서 100,000RPM까지 고속회전이 가능하다.
- 최대 토크가 높고 출력, 효율이 좋다.

2.3 BLDC 모터의 제어

가. 속도 제어

속도명령의 제어 출력은 아날로그 펄스열로서 제어를 한다. Tacho-Generator로써 속도를 검출하여 회전 시 발생하는 전압을 아날로그 값으로 feedback한다. 속도 제어는 모터에 공급되는 전류 제어(토크 제어)를 할 수 있는 드라이버와 연결하여 사용된다.

나. 위치 제어

현재의 위치를 feedback하여 제어하는 것으로써 엔코더로부터 펄스를 받아 속도제어를 하고 이 펄스를 계수하여 현재 위치를 제어하는 것이다. 일반적으로 정밀한 위치가 필요한 곳에 사용된다.

다. 토크 제어

모터에 유입되는 전류를 제어함으로써 이루어진다. 발생토크는 전류와 자속의 곱에 비례하기 때문에 직류기와 동일하게 직교하고 있다. 모터의 회전수가 올라가면 역기전력이 커지게 되어 인가된 전압에서 역기전력에 의해 손실된 전력의 차이에 따라 전류 흐른다. 따라서 단자 전압이 높더라도 전류를 제한하면 모터의 발생 토크를 제한 할 수 있다. 모터의 회전수가 높은 경우 모터의 발생토크가 작아지는 것은 역기전력이 상승하기 때문이며 이러한 역기전력으로 인해 전류가 제한된다. 만일 인가 전압이 크고 모터의 회전을 정지 시킨다면 역기전력은 0이 되고 권선저항이 아주 작아 대 전류가 흘러 모터는 파손된다. 결국 전력을 제어하기 위해서는 인가된 전압을 제어해야 하며 이를 위해 펄스 폭 변조방법(PWM-Pulse Width Modulation)이 이용된다.

2.4 PSD에 사용되는 BLDC 모터

현재 PSD에 사용되고 있는 BLDC 모터는 제작사 별로 다양하게 사용되고 있지만 본고에서는 BG 62를 기준으로 기술하겠다. BG 62의 구성은 그림 2와 같다.

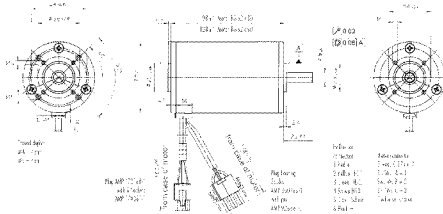


그림 2. Appearance of Motor BG 62

그림 3은 BG 62의 모터 특성 그래프이다.

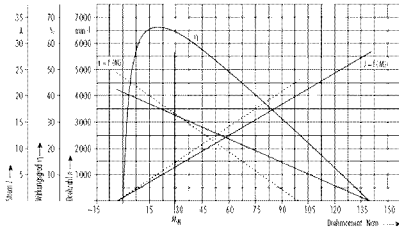


그림 3. BG 62의 모터 특성 그래프

특성 그래프에서 알 수 있듯이 시동 토크, 정격 토크, 최대토크의 측정값을 알 수 있다. 여기서 시동 토크는 모터가 기동 할 때 발생하는 회전자 구속회전력을 말하며, 정격 토크는 전동기의 정격 속도 시의 토크로 이때 모터에는 정격 전압을 가해 정격 출력을 연속적으로 낼 때의 토크다. 최대 토크는 전동기가 낼 수 있는 회전력의 최대치를 말한다.

2.5 온도 변화에 따른 BLDC 모터 특성 측정

온도 변화에 따른 모터의 온도변화를 측정하기 위해서는 실제 모터내부의 온도가 얼마인지를 알아야 한다. 이때 사용되는 것이 저항측정법이다. 권선의 온도를 측정하여 식(1)를 이용하여 모터 내부의 실제 온도를 계산할 수 있다.

$$t = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) (T + t_1) + (t_1 - t_2) \quad (1)$$

여기서, t : 코일의 온도 상승치(℃)	t_2 : 시험후의 주위온도(℃)
R_1 : 온도 t_1 에서 코일의 저항치(Ω)	V_1 = 온도 t_1 에서의 코일전압(V)
R_2 : 온도 t_2 에서 코일의 저항치(Ω)	V_2 = 온도 t_2 에서의 코일전압(V)
T : 정소(권선의 풍류에 따라 정해짐, 통 : 234.5)	I_1 = 온도 t_1 에서의 코일전류(A)
t_1 : 시험초기의 주위온도(℃)	I_2 = 온도 t_2 에서의 코일전류(A)

3. 시험 결과

3.1 정적 토크구동 시 BLDC 모터 온도 상승

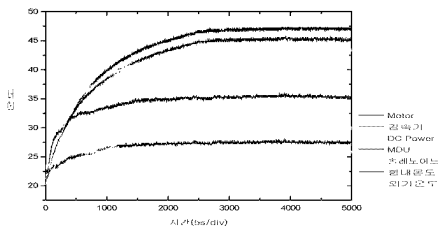


그림 4. 정적 토크구동 시 BLDC 모터 온도 상승 시험

그림 4는 정적 토크(분 열림 - 닫힘 주기 : 14.341초)에서 온도 포화 시간을 측정한 그래프이다. 시험 결과 약 2000초(5시간 30분)에서 포화되며 모터의 포화 온도는 약 47.2°C로 나타났다. 하지만 15000초부터 PSD의 분 열림과 닫힘의 이상동작이 발생하였고 원인을 알아보기 위해 온도에 따른 토크측정을 실시하였다.

3.2 권선저항을 이용한 온도 측정

표 1. BLDC 모터 권선온도 측정 값

적-청		적-흑		흑-정	
권선저항	온도	권선저항	온도	권선저항	온도
1.39310 Ω	20.00 ℃	1.33146 Ω	20.00 ℃	1.40202 Ω	20.00 ℃
1.44780 Ω	29.99 ℃	1.38236 Ω	29.84 ℃	1.45612 Ω	29.82 ℃
1.50150 Ω	39.80 ℃	1.43609 Ω	39.99 ℃	1.51192 Ω	39.95 ℃
1.55580 Ω	49.72 ℃	1.48740 Ω	49.88 ℃	1.56753 Ω	50.04 ℃
1.63900 Ω	64.92 ℃	1.56980 Ω	64.98 ℃	1.64985 Ω	64.99 ℃
1.72150 Ω	79.99 ℃	1.64480 Ω	79.89 ℃	1.73243 Ω	79.98 ℃

추정된 항온항습주에서 온도(20℃, 30℃, 40℃, 50℃, 65℃, 80℃)를 설정하고 포화될 때까지 유제한 후 권선저항을 측정하여 결과 값을 2.5절의 저항계산법으로 계산하면 설정온도와 거의 유사함을 알 수 있다.

3.3 온도별 BLCD 모터 특성

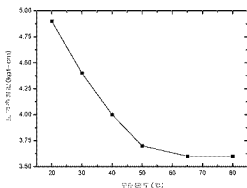


그림 5. 온도변화에 따른 토크변화

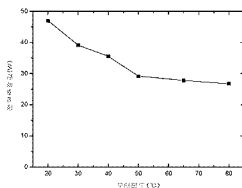


그림 6. 온도변화에 따른 전력변화

그림 5는 권선온도 계산에 의한 모터 내부온도를 기준으로 토크 측정값이다. 온도가 상승할수록 토크의 값이 떨어질 것을 알 수 있다. 여기서 3.1절에서 이상 동작한 온도지점에서 급격히 토크 측정치가 변화하고 그와 동시에 PSD구동에 문제가 생김을 확인할 수 있다. 즉 약 45℃ 이상의 온도에서는 토크의 변화가 일정해 지지만 그 값이 PSD를 구동하기에는 너무 작은 값이어서 문제가 발생하게 될 수 있다. 그림 6은 모터 내부온도를 기준으로 전압 및 전류를 측정된 값을 전력으로 환산한 값이다. 전압 값은 일정하고 전류 값이 떨어져서 온도가 상승할수록 전력 값이 떨어질 수 있다.

4. 결론

승강장 스크린도어(PLATFORM SCREEN DOOR, PSD)가 사용되는 지하철이나 경전철 승강장은 다양한 환경변수와 돌발사황이 존재한다. 본고에서는 특히 하절기 온도에 따른 PSD의 특성을 알아보기 위해 BLDC 모터의 특성을 알아보았고 모터 내부온도 측정법과 이를 이용한 온도변화를 살펴보았다. 모터의 온도가 상승할수록 토크 값과 전류 값이 떨어지고 모터 내부온도가 특정온도 이상에서 모터의 제어가 불안정해 짐을 알 수 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 PSD의 문 열림과 닫힘의 주기를 적절히 조절해 주어 모터내부에 온도상승을 사전에 예방하고 정상동작할 수 있는 조건에 대하여 조사하였다. 본고에서는 하절기의 온도 조건만을 고려하였고, 앞으로 동절기 조건과 PSD의 문 열림과 닫힘 주기, 소비전력량의 관계를 단순 비례관계가 아닌 시험을 통하여 명확한 관계를 증명하여야 할 것이다. 그리하여 각 소비전력량과 하절기 동절기의 다양한 환경변화에 따른 안전성을 확보에 도움을 줄 수 있는 연구가 필요하다.

참고문헌

1. T. Kenjo and S. Nagamori, "Permanent Magnet and Brushless DC Motors", Sogo Electronics Publishing Company, (1984)
2. 김선호, "철도시스템의 이해", 자작아카데미, 1997.
3. 건설교통부고시 도시철도용품 품질시험기준 "승강장 스크린도어 시스템(Platform Screen Door System)", KRT-EG000-PSD001
4. 日本鐵道技術總研研究所, "分難形轉てつ機の開發", 鐵道總研報告, No. 15-1, 2001.