

제어밸브를 위한 BLDC 모터의 동특성

이종엽[†]·정태규*·이수용*

Dynamic Characteristics of BLDC Motor for Control Valve

Joong-Youp Lee, Tae-Kyu Jung, Soo-Yong Lee

Key Words: BLDC Motor(BLDC 모터), DC Motor(DC 모터), AMESim(아메심)

Abstract

As a brush DC motor, the brushless DC motor is also operated by DC power supply but has no mechanical contacts occurred by a brush or a commutator. Though the performance of BLDC motor is almost similar with that of DC motor, the BLDC motor has the advantage of the high speed responsibility, the high controllability, and the high effectiveness. The control valve using the BLDC motor, which excludes the burnout effect provoked possibly by the vacuum condition during the flight, is employed for the upper stage of a launch vehicle. For the component level analysis, the dynamic response characteristics of BLDC and DC motors to the same design input sources have been studied in using AMESim.

1. 서 론

발사체의 안정된 추력제어는 탑재물(Payload)을 목표하는 궤도에 정확하게 투입해야 하는 발사체 임무의 수행 완료를 가능하게 할 수 있다(1). 특히 액체 추진제를 사용하는 발사체의 경우 설계된 임무 비행에 따른 추력치를 유지하기 위하여 추진기관 추력제어를 수행하며, 이를 위하여 추진제의 유량을 설정된 추력치에 맞게 일정하게 유지 및 조절되도록 고정 오리피스가 아닌 제어밸브를 통하여 유량을 가변함으로써 능동제어를 실현할 수 있게 된다. 일반적인 산업용 제어밸브는 공압 액추에이터를 PID 제어를 통하여 제어하

나 액추에이터의 무게가 증가하고 또한 이를 위한 제어 주변장치들의 증가로 발사체에 적용에는 기피한다. 따라서 무게 및 제어성이 우수한 모터를 이용하여 비행임무 수행하게 된다.

고속 응답성, 제어성, 효율 등의 장점을 가지고 있는 DC모터는 고고도(진공)환경에서 브러시등의 소손으로 사용할 수 없는 관계로 DC 모터의 특성을 보이도록 BLDC(Brushless Dc) 모터를 선정했다(2). 따라서 본 논문에서는 현재 추력조절을 목적으로 제작된 제어밸브의 BLDC 모터를 AMESim Simulator를 이용하여 각 모터의 특성 및 경향을 미리 예측해 보았으며(3), Input Data를 DC와 BLDC에 동일하게 적용하여 시뮬레이션을 했을 경우 어떠한 차이의 동특성을 보이는지 비교분석하였다. 시뮬레이션결과 BLDC 모터는 DC 모터의 응답성과 제어성을 보이는 것으로 확인했다.

2. 본 론

2.1 모터의 개요

[†] 정회원, 한국항공우주연구원
우주발사체미래기술연구소

E-mail : leeje@kari.re.kr

TEL : (042)860-2185 FAX : (042)860-2214

* 한국항공우주연구원 우주발사체미래기술연구소

인덕턴스 식을 이용하여 미소한 시간 차이에 대한 전류의 변화비 형태로 나타낼 수 있으며, 이때 전류 변화율은 아마추어 전류의 상태변수로 쓸 수 있다.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U_2 - U_1 - RI + K\omega}{L} \quad (5)$$

여기서, L은 모터의 inductance

		with Hall sensors	267121
		sensorless	
Motor Data			
1	Assigned power rating	W	15
2	Nominal voltage	Volt	24.0
3	No load speed	rpm	4500
4	Stall torque	mNm	85.8
5	Speed / torque gradient	rpm / mNm	54.0
6	No load current	mA	70
7	Terminal resistance phase to phase	Ohm	13.7
8	Max. permissible speed	rpm	10000
9	Max. continuous current at 5000 rpm	A	0.56
10	Max. continuous torque at 5000 rpm	mNm	25.1
11	Max. efficiency	%	64.0
12	Torque constant	mNm / A	49.0
13	Speed constant	rpm / V	195
14	Mechanical time constant	ms	20.0
15	Rotor inertia	gcm ²	35.0
16	Terminal inductance phase to phase	mH	5.640
17	Thermal resistance housing-ambient	K / W	9.3
18	Thermal resistance winding-housing	K / W	5.2
19	Thermal time constant windings	s	7.7
20	Thermal time constant stator	s	78.7

Fig. 3 Technical Sheet for BLDC Motor

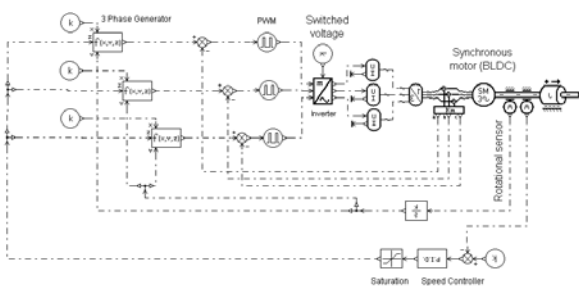


Fig. 4 Modeling using AMESim (3)

3. 결과

시뮬레이션에서 Sampling Time은 1 kHz이며, 모터의 초기 기동 동특성만을 확인하기 위해 0.15 sec 동안의 구간만을 한정하였다. 또한 현재의 모델링은 앞으로 이루어질 모터 구동 방식의 제어밸브(Motor Driven Control Valve)와 연동하기 위한 기초 과정이므로 현재의 시뮬레이션상에서는 모터 끝단에 부하를 제거한 상태로 수행하였다.

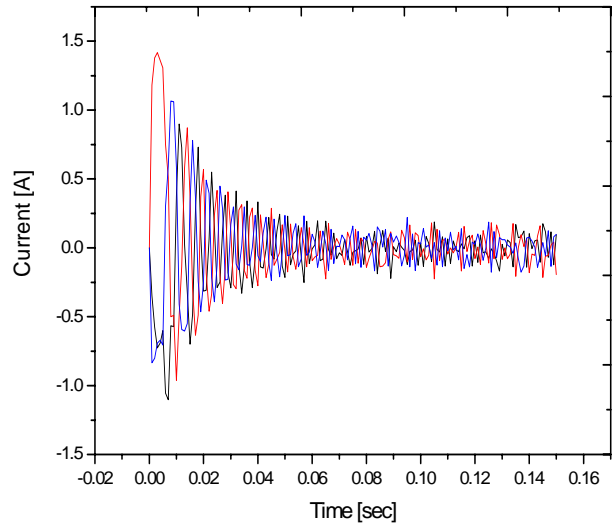


Fig. 5 3-Phase Switching Current of BLDC Motor

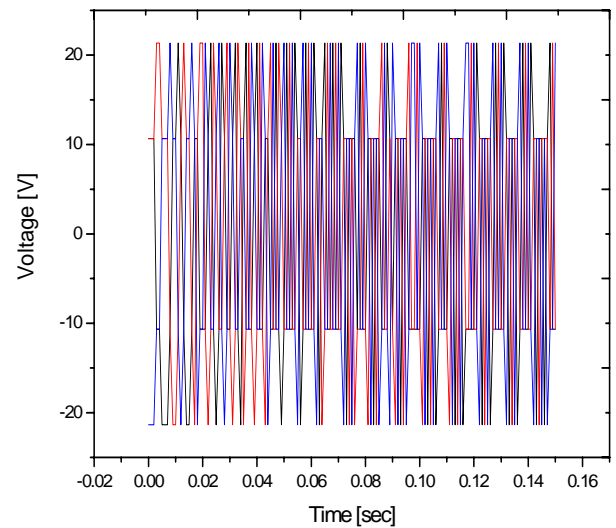


Fig. 6 3-Phase Switching Voltage of BLDC Motor

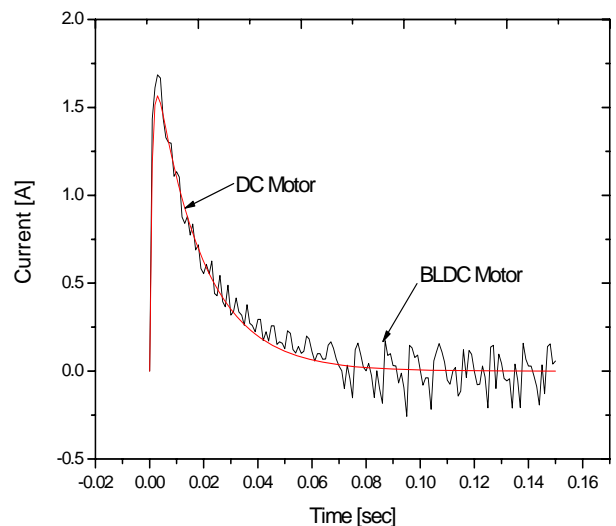


Fig. 7 Comparison of Consumption Current

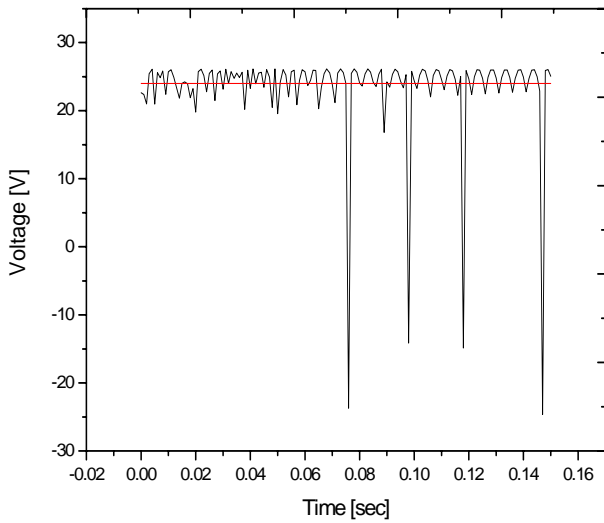


Fig. 8 Trend of Input Voltage Consumption

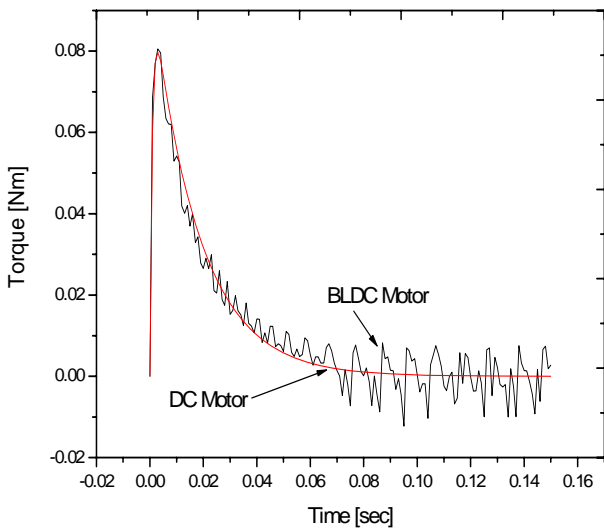


Fig. 9 Generated Torque under No-Loaded

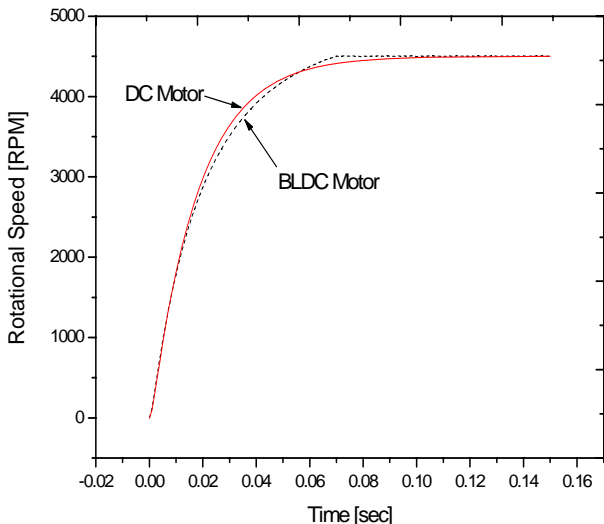


Fig. 10 Rotational Speed of Motor

3상 정현파를 PWM(20 kHz)을 통해 생성된 전압과 전류는 Fig. 5와 6을 통해 확인 할 수 있다.

BLDC 모터의 인버터를 통해 최종 소모된 전류 및 전압 파형은 DC 모터에서 소모된 특성을 Fig. 7과 Fig. 8에서 확인 할 수 있다. 24 VDC 전압으로 각각의 모터를 초기 구동 시 모터 관성 부하에 의해서 약 1.7 A의 의 전류가 소모되며 0.08 sec 이후로 전류 소비 형태가 급감하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 전류 및 전압 소비 형태 곡선을 비교한 그림(Fig.7, Fig.8) 에서도 알 수 있듯 DC 및 BLDC 모터는 같은 경향을 보인다. 비록 시뮬레이션에서는 각 모터의 동일한 기동 특성을 만족하기 위해 DC 모터의 정속구간에서 발생된 모터 각속도를 이용하여 BLDC 모터의 PID 제어를 통해 BLDC 모터의 회전수를 강제적으로 제한했으며 이를 통해 두 모터의 물리적인 특성을 비교할 수 있다.

4. 결 론

BLDC와 DC 간의 동특성은 매우 유사하며, 모터 동작성능 측면에서는 그 우위를 판별하기 어렵다. BLDC는 구동을 위해 Driver 자체가 PWM 제어를 이용하며, Driver 자체로도 충분히 모터의 속도제어 및 전류제어가 가능할 것으로 판단된다. 따라서 DC 또는 BLDC 모터에 대한 사용 측면을 고려한다면 DC 모터는 저렴하며 수명이 짧은 반면, BLDC 모터는 이와 반대가 되므로 결국, 사용용도 측면에서 모터의 장단점을 고려한 후 적절히 이용하면 될 것이다. 이를 근간으로 발사체의 비행도중 진공으로 인한 브러시의 소손 방지 목적과 모터의 우수한 제어성 및 효율 등을 고려할 때 발사체 제어밸브용 모터로는 BLDC 모터가 적용이 타당할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Joong-Youp Lee, Tae-Kyu Jung, Sang-Yeop Han, Young-Mog Kim, 2006, "Characteristics of System Application using Control Valve," Aerospace Engineering and Technology, Vol. 5, No. 2, pp. 126~133.
- (2) Byeong-Joo Min, Hyung-Don Choi, E-Sok Kang, 2006, "Development of Electrohydraulic

Actuation System for High Altitude Launch Vehicle," Journal of the KSAS, Vol. 34, No. 12, pp. 82~89.

(3) IMAGINE S.A., "Electric Motors & Drivers," AMESim Manual

(4) 백수현, 1988, 소형모터설계 편람