

# 진동을 고려한 2상 BLDC 모터의 최적 스위칭 위치

°정중기\* · 최연선\*\*

## Optimal Switching Position of Two-Phase Brushless DC Motor with the Consideration of Vibration

Chung, J. K., Choi, Y. S.

**Key Words:** two-phase BLDC motor, vibration, switching position,

### ABSTRACT

Two-phase BLDC(brushless DC) motor has larger torque ripple than three-phase BLDC motor because of its unique skeleton-type structure. An electronic switching mechanism to change the current-direction of the BLDC motor can be a source of vibration as well as unbalanced rotor weight. A proper switching timing which makes less vibrations was considered by changing the position of sensing element around the center of rotation. Also, the current of the motor was measured for the calculation of the motor efficiency. From the vibration test results and with the consideration of the motor efficiency, an optimal switching position of the Hall sensor was found.

### 1. 서론

브러시리스 DC 모터(Blushless DC Motor)는 일반 DC 모터와 같이 전류에 비례하여 토크가 증가하므로 쉽게 속도 제어를 할 수 있고, 브러시 구조를 가지고 있지 않으므로 수명이 반영구적이다. 따라서 최근에는 가전기기 분야에서 이 전부터 사용하던 AC 모터를 대신하여 속도 조절이 용이한 고효율 BLDC 모터를 많이 채택하고 있다. 그러나 대부분의 BLDC 모터는 영구자석을 사용하여 동작하기 때문에 모터 구조상 코깅 토크(cogging torque)와 구동 전압 스위칭 메카니즘으로 인하여 진동이 필연적으로 발생한다.

브러시리스 DC 모터는 일반 DC모터에서 사용하는 브러시 및 정류자에 의한 기계적인 전류 방향 절환 대신에 반도체 전류 스위칭 소자를 사용하여 전류의 방향을 절환함으로써 모터를 회전시킨다. 이때 영구자석의 자극과 고정자의 코어 형상에 따른 상대적인 위치에 따라 토크 및 모터의 효율 변화가 있다는 것이 발표되고 있지만 [1, 2, 3] 대부분이 3상 유도모터나 스위치드 릴럭턴스 모터(Switched Reluctance Motor) 및 3상 BLDC 모터에 관한 것으로서 2상 BLDC 모터의 진동에 대하여 명확하게 기술된 논문은 없는 상태이다.

본 연구에서는 사용자의 입장에서 소음의 원인이 되는 진동문제를 스위칭 시점 측면에서 분석하여 진동저감을 꾀하고자 하였다.

본 논문에서는 냉장고 냉각팬 구동용으로 사용되는 스킴톤 코어 형상을 갖는 2상 BLDC 모터에 대한 진동저감과 성능향상을 위해 홀센서(Hall sensor)의 위치이동으로 인한 스위칭 시점의 변화에 따른 진동특성과 모터의 출력 향상을 도모할 수 있는 방안을 제안하였다.

---

\* 전자부품연구원  
E-mail : chungjk@keti.re.kr  
Tel : (032) 621-2842, Fax : (032) 621-2855  
\*\* 성균관대학교 기계공학부, 교수  
E-mail : yschoi@yurim.skku.ac.kr  
Tel : (031) 290-7440, Fax : (031) 290-5849

## 2. 2상 BLDC 모터

### 2.1 모터의 구조 및 구동원리

#### (1) 구조

냉장고 냉각팬으로 주로 이용되고 있는 2상 BLDC 모터의 구조를 Fig. 1에서 보여주고 있다.

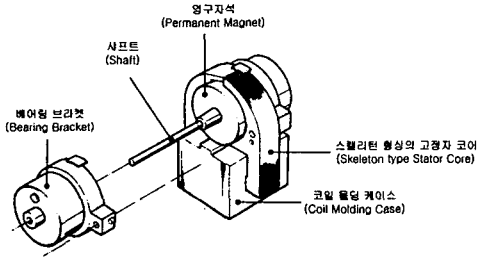


Fig.1 Schematic diagram of 2-phase BLDC motor

#### (2) 구동원리

Fig. 2은 2상 BLDC 모터의 구동원리를 설명하기 위한 간략도이다. 스위칭을 위한 센서로서 홀센서(Hall sensor)가 사용되는 데 이는 영구자석의 자극을 감지하여 전압을 발생하는 역할을 하며 이 전압에 의하여 스위칭 소자를 동작시킨다.

Fig.3 (a)에서 반시계 방향의 회전력을 얻기 위해서는 A상 코일에 흐르는 전류의 방향이 그림과 같아야 하며, 이를 위해서는 스위칭 소자  $Q_1$ 이 ON 상태가 되어야 한다. 또한, A상 여자후 회전자가  $180^\circ$  회전하는 시점에서는 Fig.3 (b)와 같이 B상 코일을 여자시켜 동일한 방향의 회전력을 얻을 수 있다. 이때에는 스위칭소자  $Q_1$ 이 OFF 상태이며,  $Q_2$ 가 ON 상태가 되어야 한다.

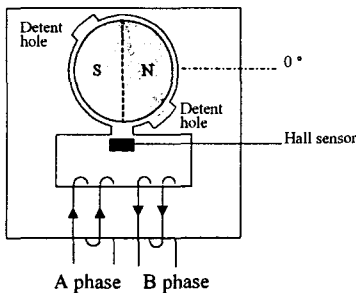
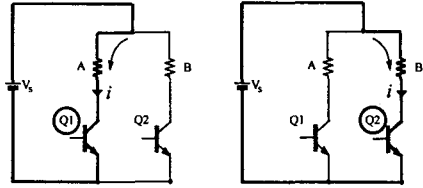


Fig.2 Operating mechanism of 2-phase BLDC motor



(a) A상 여자시 (b) B상 여자시

Fig. 3 Basic driving mechanism of the 2-phase BLDC motor ?

### 2.2 진동특성 분석

#### (1) 고유진동수 분석

고유진동수는 모터의 기계적인 구조 및 재질에 따른 모터의 강성에 의하여 결정된다. 가진력이 모터의 고유진동수와 근접하게 되면 공진에 의하여 모터의 진동량이 증가하게 된다. 2상 BLDC 모터의 경우, 모터를 회전시키기 위하여서는 모터의 각 상을 스위칭하여 여자시켜야 하는 데, 이때의 스위칭 주파수가 모터의 고유진동수와 같으면 공진을 발생시켜 진동이 커지게 된다. 그러므로 먼저 모터가 가지고 있는 고유진동수를 측정하여야 한다. 측정을 위한 실험장치 구성은 Fig. 4와 같다.

모터의 고유진동수를 측정하기 위하여 먼저 외부와 진동절연을 하여야 한다. 모터를 끈을 사용하여 2 개 위치에서 사각 철제 프레임에 매단 다음, 충격해머(Impact hammer)로 쳐서, 이 때 발생하는 진동을 모터에 부착한 가속도계를 통하여 데이터를 반복하여 받는다. 여기서는 평균 16회를 반복하였다. 이를 FFT로 변환하여 특정 진동수에서 큰 진폭을 가지는 고유진동수를 찾는다. 또한 부하를 가하여 회전하는 상태에서도 같은 방법을 사용하여 공진주파수를 찾는다. Fig. 5는 측정 결과를 보여주고 있는 데, (a)는 충격 응답의 시간 파형을 나타내고 있고 (b)는 주파수에 대한 진동스펙트럼을 나타내고 있다. 620Hz의 진동수에서 1차 고유진동수를 가짐을 알 수 있다. 이것은 모터의 회전수가 약 2000~3000rpm 되는 것을 고려할 때 모터의 동작 범위에서는 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

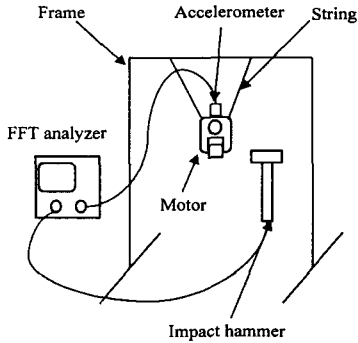
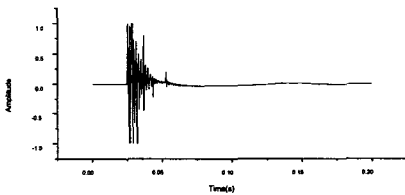
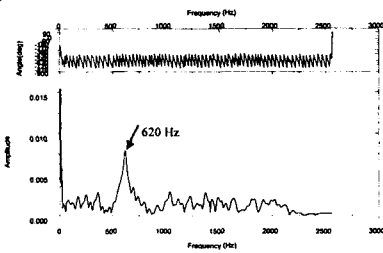


Fig. 4 Schematic diagram of experimental set-up for the measurement of natural frequency



(a) Impulse response



(b) Frequency spectrum of the response  
Fig. 5 Natural frequency

(2) 부하변동에 따른 진동수

모터의 전류변화는 모터의 진동에 영향을 미친다. 부하가 걸렸을 때의 모터의 진동을 측정함으로써 부하에 따라서 모터의 어떤 주파수 성분이 모터의 주요 진동요인이 될 지는 알 수 있다. 부

하는 일반적으로 사용하는 방법으로서 실을 축의 주위에 감아서 한쪽에는 힘을 측정할 수 있는 로드셀에 연결하고 다른 한쪽은 무게추를 달아서 모터의 회전시에 마찰력에 의하여 부하를 발생시킨다. 측정방법을 Fig. 6에 도식적으로 나타내었다. 양측의 무게 차이를 측정하여 반경을 곱하면 부하토크가 된다. 무게추를 50g, 100g, 150g 3가지를 사용하였고, 축의 지름은 실의 굵기를 포함하여 3.2mm이므로 모터 회전시 로드셀과 무게추의 차이값에다 반경 1.6mm를 곱하여 부하토크를 산출하였다. 추의 무게에 따른 부하토크의 크기를 계산한 값을 Table 1에 나타내었다.

부하토크에 따른 측정결과는 Fig. 7에 나타나 있다. 부하별로 측정된 주파수 파형을 보면 모터 회전 속도에 의한 진동이 지배적임을 알 수 있으며, 부하가 커질수록 스펙트럼상 피크값들의 주파수가 낮아진다는 것에 의하여 모터의 회전속도가 낮아짐을 알 수 있다.

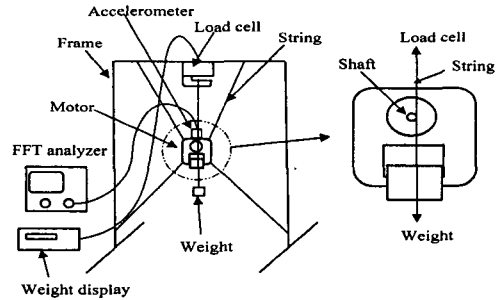
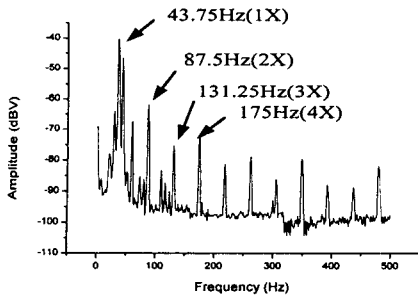


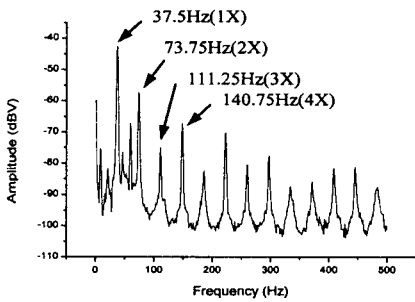
Fig. 6 Schematic diagram of experimental set-up for measuring vibration under different load

Table 1 Tested load torque

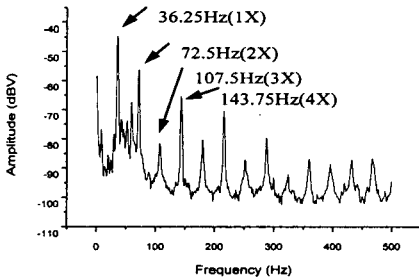
	Weight (g)	Load cell value (g)	Shaft radius (cm)	Load torque (g-cm)
1	50	170	0.16	19.2
2	100	286	0.16	37.8
3	150	351	0.16	48.2



(a) Vibration spectrum for 19.2 g · cm load



(b) Vibration spectrum for 37.8 g · cm load



(c) Vibration spectrum for 48.2g · cm load

Fig. 7 Vibration spectrum

### 3. 스위칭 위치 가변에 따른 진동 및 모터 출력

#### 3.1 스위칭 위치 가변 실험

##### (1) 실험장치 set-up

실험대상 모델의 진동량 검출을 위하여 가속도

센서를 모터 상부에 수직한 방향으로 부착을 하였으며, 스위칭 시점의 가변을 위하여 홀센서 신호를 전진(leading) 및 지연(lagging) 할 수 있도록 회로를 구성하였다. 진동측정기(Vibration Meter)와 FFT Analyzer는 각각 Rion사의 VM80와 SA76을 사용하였다. 스위칭 위치를 가변하기 위하여 모터의 구동회로를 변경하였으며, 권선의 여자를 스위칭하는 소자로서 달링턴 트랜지스터(Darlington transistor) 두 개를 사용하였다. Fig. 8은 실험장치의 사진을 나타내고 있다.

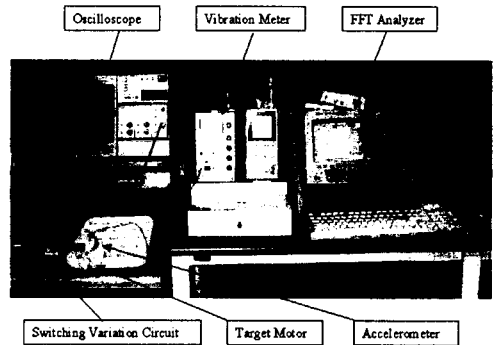


Fig. 8 Vibration test for different switching points

#### 3.2 측정 결과

##### (1) 입력 전류, 전압 및 진동량 측정

현재의 센서 위치를 기준(0°)으로 하여 스위칭 시점을 Fig 9와 같이 전진(lead), 지연(lag)하여 그때의 진동량, 전압, 전류를 측정하였다. 모터의 회전속도가 증가하면 모터의 회전자 불평형에 의하여 가속도 크기도 모터의 회전속도의 제곱에 비례하여 커진다. 따라서 회전자 불평형에 의한 진동의 변화를 배제하고 스위칭 위치만에 의한 진동의 크기를 비교하기 위하여 회전속도를 일정하게 하여 진동량을 측정하였다. 속도를 일정하게 유지하기 위한 방법으로는 모터에 공급되는 전원 전압을 조정하여 권선에 흐르는 전류량을 조정하였다.

Fig. 10에서 (a)는 스위칭 시간을 지연하였을 때의 전류 파형을 나타낸 것이고 (b)는 반대로 전진시켰을 때 나타나는 전류 파형이다.

스위칭 시점 지연의 경우 동일한 입력 전압에서

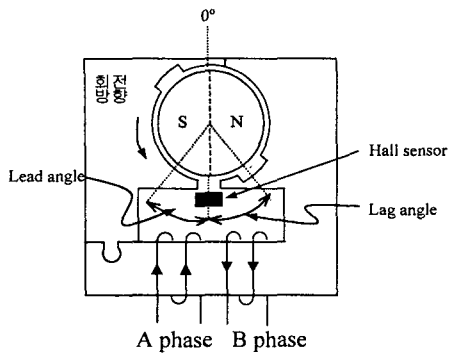
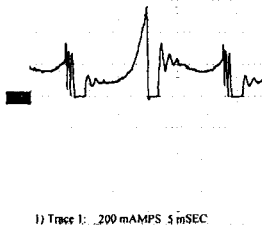
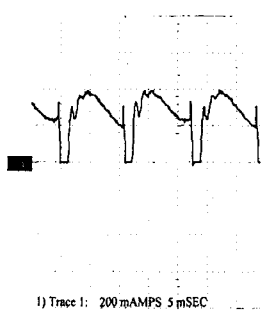


Fig. 9 Lead and lag Switching position



(a) lag



(b) lead

Fig. 10 Input current waveform

전류가 증가하는 반면 회전수가 낮아지므로 효율이 떨어짐을 알 수 있다.

(2) 측정 결과

측정결과는 Table 2와 같다. 스위칭 위치를 현재의 홀센서를 기준(0°)으로 하여 전진, 지연시의 위치에 따른 진동량과 그때의 전압, 전류를 측정한 결과이다. 현재의 홀센서 위치를 기준(

0°)으로 하여 모터의 출력축 방향에서 보았을 때 시계방향으로 6° 정도로 이동한 위치에서 스위칭 하는 경우가 진동이 작게 나오는 것을 알 수 있다. 모터의 성능은 진동만으로 결정되는 것이 아니라 모터의 출력, 효율도 중요한 요소이다. Fig. 11에서 보면 스위칭 시간이 어느정도 늦게 동작하더라도 진동의 크기는 커지지 않으나 전류와 전압이 높아진다. 이것은 같은 부하조건하에서 입력만 높아지는 것이므로 효율이 떨어진다. 따라서 측정결과 현재의 홀센서 위치보다 약 6° 정도 시계방향으로 위치하였을 때가 가장 좋은 결과가 나올 수 있다.

Table 2 Experimental results

	각도 (°)	진동량 (m/s <sup>2</sup> )	전압 (V)	전류 (A)
1	-27.8	0.411	14.9	0.35
2	-19.6	0.163	11.1	0.17
3	-12.8	0.186	10.6	0.14
4	5.94	0.183	9.8	0.15
5	28.47	0.32	8.6	0.18
6	53.3	0.308	8.5	0.27

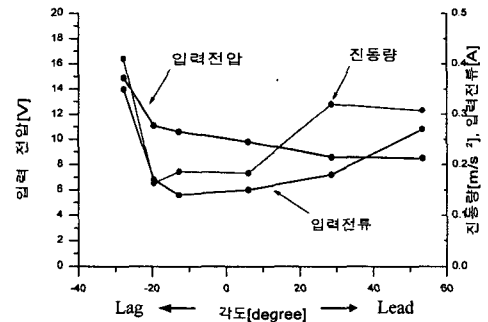
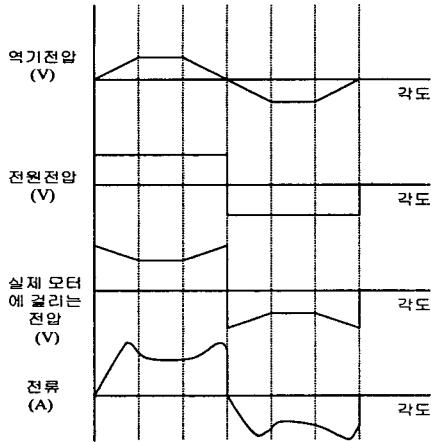


Fig. 11 Experimental results

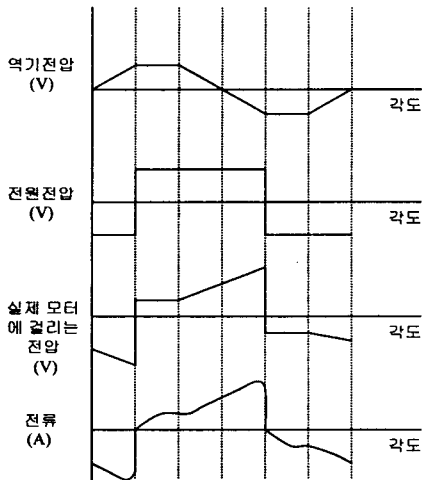
3.3 스위칭 위치 지연에 따른 효율의 저하

실제 모터에 걸리는 전압은 외부에서 인가한 전압과 모터회전에 의하여 발생하는 역기전압과의 차이이다. 역기전압은 마그네트의 자극에 의하여 Fig. 12와 같은 형태를 가진다. 실제 모터에 인가되는 전압은 외부전압에서 역기전압을 뺀 차이값이 되며, 이에 의하여 전류의 크기 및 형태가 결정이 된다. 전류의 형태는 모터의 인덕턴

스 값에 의하여 처음에는 서서히 증가되고 스위칭 오프시 피크 값을 갖는 형태가 된다. Fig. 12 (a)의 경우는 현재의 센서위치( $0^\circ$ )에서의 파형들을 나타내고 (b)의 경우는 지연시의 파형을 나타내고 있다.



(a) normal switching



(b) lagged switching

Fig. 12 Current build-up

(a)와 (b)의 전류를 비교하였을 때 (b)의 경우가 전류량이 작음을 알 수 있으며, 출력은 역기전압과 전류의 곱에 의하여 산출할 수 있으므로 (b)의 경우 스위칭되기 전 구간의 전류는 역기전압의 부호 반전에 의하여 반대출력을 나타내게 되므로 이에 따라 효율이 떨어짐을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 스켈턴 형상의 코어를 갖는 2상 BLDC 모터의 진동저감을 위하여 모터의 권선을 여자 시켜주는 스위칭 위치를 조정함으로써 진동을 저감하고자 하였다.

실제로 홀센서를 이용한 스위칭 가변회로를 구성하고 진동특성 측정장비를 구성하여 구동시 모터에서 발생하는 진동량과 이때의 입력전압과 입력전류를 측정하였다. 실험결과 모터의 전류, 진동, 출력, 효율 등을 고려하여 볼 때, 현재의 홀센서 위치에서  $6^\circ$  정도 시계방향으로 이동하여 설치하는 것이 가장 좋은 결과를 보였다.

본 연구를 통하여 스켈턴 형상의 코어를 갖는 2상 BLDC 모터에서 일반적으로 사용되고 있는 스위칭 위치가 부적합함을 알 수 있었으며, 발생 출력 및 진동 특성이 우수한 특성을 갖는 최적의 스위칭 위치를 결정할 수 있었다.

향 후 영구자석과 모터의 코어형상에 따른 전자기력을 고려하여 모터의 토크 및 진동에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] Mark Brackley, and Charles Pollock  
"Analysis and Reduction of Acoustic Noise from a Brushless DC Drive," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol.36, No.3, pp772-777, May/June 2000
- [2] Albert Hartman and Wendy Lorimer,  
"Undriven Vibrations in Brushless DC Motors," *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol.37, No.2, pp789-7792, March 2001
- [3] Makoto Gotou and Massaki Ochi, "A New Drive System of a Brushless Motor Reducing Power Consumption and Vibration Simultaneously," *IEEE Int. Conf. On Power Electronics and dive System, PEDS'99, Hong Kong* pp702-707