

초소형 BLDC모터 및 센서리스 구동모듈 개발

최준혁*, 정인성*, 김주한*, 허진*, 성하경*, 조순봉**
전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터◇, 두원공과대학**

Development of a micro BLDC Motor and Sensorless Drive

J.H. Choi*, I.S. Jung*, J.H. Kim*, J. Hur*, H.G. Sung*, S.B. Cho**
Korea Electronics Technology Institute(KETI)*, Hanyang University**

Abstract - Recently most machineries have been small size and mobile type. And human body insertion type endoscope and micro robot technology has been developed. Then the motors used in this field are developed in micro size such as about 2mm in diameter. The structure of this motor is similar to a general brushless DC (BLDC) motor but because of small size there is no position sensor such as hall sensor. In this paper, a design and fabrication result of an ultra-small brushless DC motor is presented.

This motor is designed to 3-phase coreless winding and operated with sensor-less type driver. Test results confirmed the feasibility of the proposed motor drive system design.

1. 서 론

최근 사회·문화적 기류를 중심으로 더 나은 편리성을 제공하고자 하는 많은 제품이 개발되고 있다. 특히 미래 사회는 제품의 소형화와 함께 소형화된 장비를 휴대하는 그런 사회로 예측되고 있다. 이에 모터의 초소형화는 그러한 기류의 한가지 발전방향으로서 정보분야, 통신분야, 의료분야 등의 신규수요 증가와 더불어 지속적으로 발전하고 있다.

초소형 모터의 적용분야로서는 각종 정보기기, 최근의 카메라 부착 핸드폰의 광학줌을 위한 구동모터, 휴대정보기기 연료전지내의 펌프용 모터, 인체삽입 내시경, 마이크로 펌프, 마이크로 로봇 등을 들 수 있으며, 소형화 및 모바일화 등의 기술트랜드의 흐름에 따라 모터의 고속, 고정밀화와 함께 소형, 박형화가 요구되어지고 있다. 현재 세계 최소의 모터로서는 외경 2mm수준이며, 스템프 방식, axial BLDC방식, radial BLDC방식 등의 여러구조가 시도되고 있으며, 스위스 minimotor의 외경 1.9mm의 코어리스형 BLDC모터와 센서리스 구동방식을 적용한 일본 Namiki社의 외경 2mm 모터가 상용화에 근접한 모터들이라 할 수 있다.[1],[2].

모터의 구동방식에 있어서는 초소형 모터도 구조적으로는 일반적으로 BLDC 모터의 형태를 갖는데 크기가 작아보니 일반 BLDC모터에 사용되는 홀 센서 같은 위치센서를 부착하지 못하여 싱크로너스 방식 또는 센서리스 구동방식을 택하게 된다.

본 논문에서는 외경 $\varnothing 2$ mm급 브러시리스 모터를 설계, 제작한 결과를 제시하고, 위치센서가 없는 BLDC모터를 고속으로 구동하고 속도를 제어하는 센서리스 구동드라이버에 관해 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 초소형 BLDC모터의 개발사양 및 특징

본 연구에서는 세계 최고 수준인 초소형 정밀가공기술을 이용한 외경 2mm급 이하 초소형 정밀모터 및 센서리스 구동드라이버를 설계, 제작하여 관련기술을 확보하는 것을 목표로 하였다. 표 2.1은 개발한 초소형 BLDC 모터의 개발사양을 나타낸다.

[표 2.1] 개발한 초소형 BLDC모터의 사양

항 목	Spec.	단위
모터 크기	$\varnothing 2.0 \times L5.0$	mm
무부하 회전수	100,000	rpm
최대 토크	10	μNm
초정밀 기어헤드 크기	$\varnothing 2.0 \times L3.9$	mm
기어헤드 감속비	64:1	-

2.2 초소형 BLDC모터의 제작

그림 1은 설계된 외경 2mm급 초소형 모터의 단면도를 나타내고 있으며, 사프트를 제외한 모터의 길이는 5mm로 설계하였다.

모터의 구조를 보면 크게 회전자와 고정자로 나눌 수 있는데, 모터 회전자는 샤프트와 마그네트 부분이고, 고정자는 커버류, 코일체, 베어링부분이 된다. 아래 단면도를 보듯이 코어가 없는 코어리스 타입의 BLDC 모터이다. 모터의 베어링은 앞커버 및 뒷커버 부분 두 곳에 설치하여, 모터 회전자의 회전을 원활하게 하였다. 그리고 마그네트와 베어링 사이의 유격에는 와셔를 설치하여, 회전자의 마그네트와 베어링의 간섭 마찰을 줄여 주는 역할을 하였다. 커버류는 중간커버와 앞커버 뒷커버의 조립을 원활하게 하기 위함이며, 동심 도를 잡아주기 위하여, 앞커버와 뒷커버의 단을 두개 하여 설계하였다.

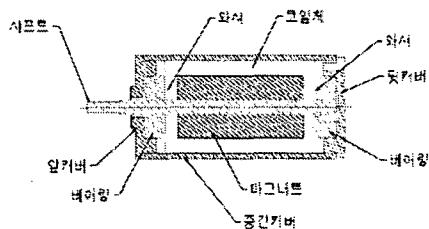


그림1. 설계된 초소형 모터의 단면도

베어링의 경우는 금형을 사용한 함유소결 베어링과, 공업용 보석을 이용한 쥬얼 베어링을 제작하였다. 소결

베어링은 유휠유를 베어링 자체에서 함유하고 있으므로, 유휠제를 구동시 첨가해 줄 필요가 없으며, 모터의 회전 속도가 높아지면, 볼 베어링에 비해서 효율의 손실이 더 작은 특성이 있다. 쥬얼 베어링의 경우, 정밀 기계가공에 의해 가공 되었고, 볼 베어링이나 험유소결베어링에 비해서 마찰 손실을 크게 줄일 수 있었다.

코일체의 경우에는 선경이 0.025mm의 극세선 코일을 사용하여 헬타결선으로 제작을 하였다. 완성된 코일체는 하우징에 삽입후 한번 더 Forming 과정을 거쳤으며, 이후 접착제를 사용하여 하우징에 접착하였다.

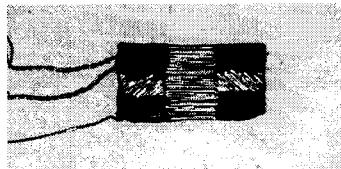


그림2. 완성된 권선체

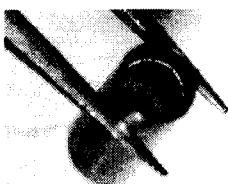


그림3. 하우징에 삽입된 권선체

마그네트와 사프트는 접착제를 통하여 접착하였으며, 코일체가 하우징에 삽입된 이후에는 뒷면 커버를 압입하고, 여기에 FPC를 접착, 이후 3개의 리드선을 FPC에 납땜하는 순서로 조립하였다. 이 이후에 회전자 조립체와 전면 커버/베어링 Ass'y가 압입으로 조립되는 순서를 거쳐 그림 4와 같은 초소형 BLDC모터를 제작하였다.[3].

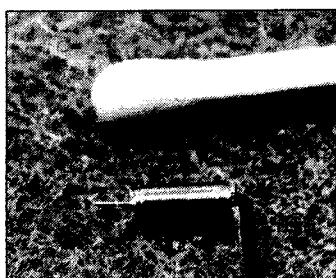


그림4. 제작 조립된 초소형 BLDC모터 외관

2.3 센서리스 구동드라이버 설계

본 연구에 적용된 센서리스 구동 알고리즘은 모터의 역기전압을 이용하여 회전자의 위치를 판단하는 방식을 선택하였다. 즉 3상 2여자 방식으로 구동되는 브러시리스 직류 전동기에서는 항상 두 상이 동시에 여자되며, 여자되지 않은 개방된 상이 항상 존재하게 된다. 개방된 상의 역기전력을 측정하기 위하여 각상의 전압은 Zero Crossing Point Detector회로를 거쳐 주 프로세서로 입력된다. 주 프로세서에서는 입력된 역기전압을 이용하여 인버터 스위칭 스테이트를 결정하게 된다.

따라서 이 구간 내에서 회전자 위치는 항상 역기전력이 영이 되는 위치(Zero crossing point, ZCP)를 지나게 되므로 개방된 구간에서 역기전력을 검출하여 ZCP를 찾아내면 그 때의 회전자 위치를 알 수 있다.[4],[5].

그림 5는 이상적인 경우 3상 2여자 방식의 구형과 전류 여자 BLDC 모터의 역기전력 파형과 ZCP 및 전환 시점을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 상전류의

전환 시점은 ZCP가 검출된 시점으로부터 전기각으로 30도 지연된 시점이다. 브러시리스 직류 전동기에서 이와 같이 ZCP를 검출하기 위해서는 개방된 상의 단자 전압을 검출하고 그 특성을 이용하여야 한다. 전동기가 이상적으로 운전되고 있다면 ZCP에서 전기적으로 30°지연된 시점이 전환 시점이므로, 이때 상전류를 전환시키고 다음 비여자상의 단자 전압으로부터 ZCP를 검출하는 방식으로 전동기를 연속적으로 센서리스 모드로 운전하게 된다.

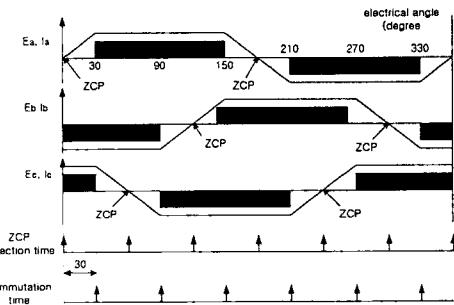


그림5. 이상적인 경우의 역기전력, ZCP 및 전환 시점

본 연구에서 개발된 외경 2mm급 초소형 BLDC모터는 최대속도 약 100,000rpm으로 인버터 스위칭 주파수는 1.67[kHz]정도가 된다. 이에 본 연구에서는 PAM(Pulse Amplitude Modulation)방법을 채택하였고, 드라이버의 단자를 낮추기 위하여 스위칭 소자로는 PN-채널 MOSFET가 암으로 내장된 IC를 채용하여 Charge Pump 방식을 피할 수 있었고, 여기에 각각의 소자를 직접 게이트 드라이브할 수 있는 IC를 채택하여 매우 컴팩트하게 구성하였다.

주 프로세서는 Hitachi社의 16비트 CPU(H8S 2148)을 사용하였다. 이의 사양은 32비트 CPU 구조를 갖고 있으며, 20MHz 클럭을 공급받으며, 1~2 스테이트 동안에 명령어를 수행할 수 있다. 또한 최대 16M 바이트의 메모리 구조를 가질 수 있으며, 실제로 단일 칩 내부에 128K 바이트 플래시 메모리, 4K 바이트 RAM을 내장하고 있다. 또한 16비트 Free Running Timer, 8비트 타이머, Watch Dog Timer, 2개의 PWM Timer, 9개의 10비트 A/D, 2개의 8비트 D/A와 Keyboard Controller, Serial Communication Interface 기능을 내장하고 있다.

그림 6은 본 연구에서 개발된 초소형 BLDC 드라이버의 구성도이며, 초소형 BLDC 드라이버는 5V 단일전원으로 동작되도록 설계하였다. 전체 구성도의 내용은 초소형 모터의 역기전력을 측정하기 위하여 각상의 전압은 Zero Crossing Point Detector회로를 거쳐 주 프로세서로 입력된다. 주 프로세서에서는 입력된 역기전압을 이용하여 인버터 스위칭 스테이트를 결정하게 된다.

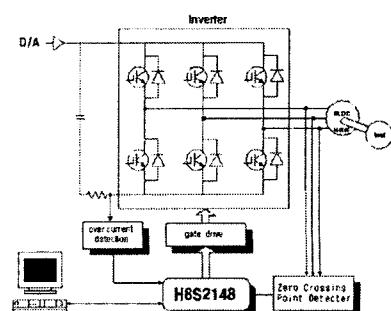


그림6. 초소형 BLDC 모터의 드라이버 구성도

전압지령은 주 플로세서에 내장된 D/A 변환기를 통하여 Voltage follow(L272)을 통하여 DC Link 전압을 제어하게 된다. 그 이외의 동작은 속도제어, 과전류 측정이며, 프로그램의 각종 변수를 모니터링 할 수 있게 제작하였으며, 운전조작을 변경할 수 있게끔 PC와 직렬통신이 가능하도록 하였다. 또한 LCD 판넬에 모터의 동작상태 및 전류측정값을 표시하고 운전 조작을 할 수 있는 dip sw.를 설계하였다. 그림 7에 제어 프로그램의 순서도를 나타내었다.

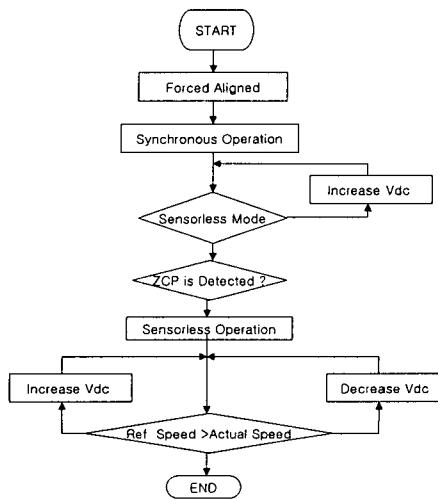


그림7. 제어 프로그램의 순서도

개발된 초소형 모터 및 센서리스 드라이버의 실험을 통해 개발목표사양인 100,000rpm으로 안정되게 구동됨을 확인할 수 있었다. 그림 8과 그림 9는 개발된 초소형 BLDC모터가 50,000rpm과 100,000rpm으로 구동될 때의 모터 상전압 및 상전류를 측정했을 때의 파형이다.

실험을 통해 개발된 센서리스 구동 알고리즘의 타당성을 확인할 수 있었고, 실험과정에서 DC Link 전압이 1V 미만인 경우에 있어서, 싱크로너스 운전은 가능하였으나, 검출되는 모터 역기전압의 크기가 매우 작아 센서리스 구동은 불가능함을 확인할 수 있었다.

그림 10은 개발된 초소형 모터 및 센서리스 드라이버 실험세트를 나타낸다.

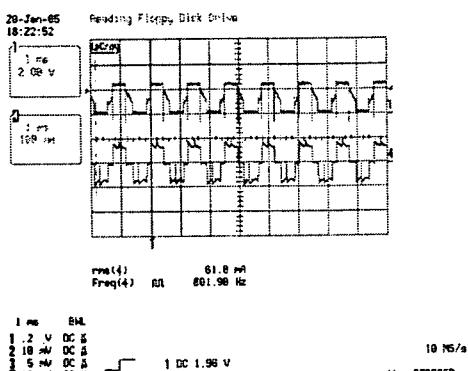


그림8. 모터 상전압과 상전류(50,000rpm)

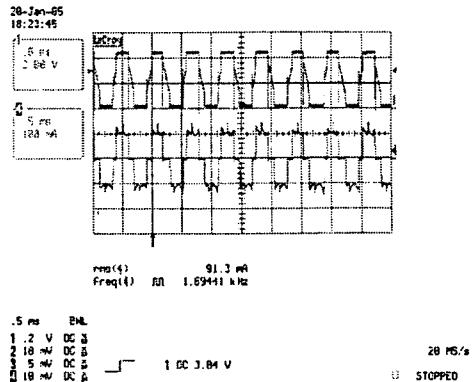


그림9. 모터 상전압과 상전류(100,000rpm)

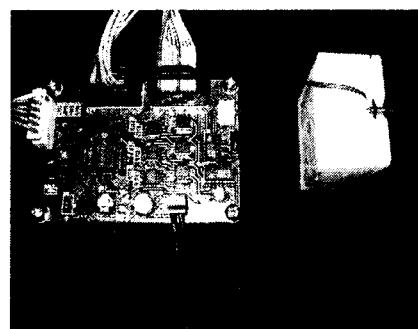


그림10. 개발품 실험세트

3. 결 론

본 논문에서는 Ø2mm×L5mm급 초소형 BLDC모터 및 센서리스 구동드라이버 제작에 대하여 기술하였다. 미래 사회는 제품의 소형화와 함께 소형화된 장비를 휴대하는 사회로 예측되고 있으며, 본 연구를 통한 초소형 모터는 이러한 미래 산업이 필요로 하는 핵심 구동부품으로 자리잡을 것으로 예측되며, 초소형 모터 관련기술은 각종 멀티미디어 상품, 이동통신, 의료기기, 마이크로 시스템, 정밀 제어기기, 오락 관련 상품 등의 신상품 개발에 기여하여 신상품의 경쟁력 강화에 이바지 할 수 있으리라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부와 정보통신부에서 지원하는 Electro 0580 사업에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] <http://www.minimotor.ch>
- [2] <http://www.namiki.co.jp>
- [3] 정인성, 김주한, 최준혁, 혀진, 성하경, “외경 3mm급 브러시리스 DC모터의 설계 및 제작에 관한 연구”, 대한전기학회 학술대회, pp. 14-16, 2004.
- [4] K. Izuka, H. Uzuhashi, M. Kano, T. Endo, and K. Morhri, “Microcomputer Control for Sensorless Brushless Motor,” *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, Vol. IA-21, pp. 595-601, Aug. 1985.
- [5] S. Ogasawara and H. Akagi, “An Approach to Position Sensorless Drive for BLDCM,” *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, Vol. IA-27, no. 5, pp. 928-933, Sept./Oct. 1991.