

# 외경 19mm급정밀메카즘용고출력Actuator개발에 관한연구

## An study on the development of high output diameter 19mm actuator for precision mechanism

김주한#,류세현\*,정중기\*,이종배\*

(Joo Han Kim, Se Hyun Rhyu, Jung Kee Chung, Jong Bae Lee)

\* 전자부품연구원(KETI) 정밀기기 연구센터

(전화:(032)621-2849, 팩스:(032)621-2855, E-mail : kimjh@keti.re.kr)

**Abstract** : Many application in robotics, telecommunication, automation systems etc require powerful actuator. The powerful actuator have Speeds up to high speed and high output torque efficiencies. To accomplish a powerful actuator, these powerful motor have to be combined with gearheads of the same outer diameter. So, we have developed BLDC motor and planetary type gearheads as powerful actuator. The BLDC motor have advantages that compact structure, high efficiency, high reliability. The Planetary type gearheads have advantages that same-axle structure, high torque transmission, low noise in comparison with spur gearheads. In this study included BLDC motor and planetary type gearheads design, manufacture. This time study performed for actuator of precision mechanism.

**Keywords** : Mechanism, BLDC motor, Planetary gearheads, Actuator

### I. 서론

일반적으로 메카니즘용 액츄에이터로는 저가격화를 위하여 대부분 DC 모터를 사용하고 있는 추세이다. 소형 DC모터는 우리나라에서도 생산을 하고는 있지만 대개 정밀 메카니즘용으로는 사용하기에는 미흡한 점이 많아서 현재 대부분의 업체가 외국 업체의 것을 들여다 사용하고 있다. DC모터는 기계적 구조로 인한 단수명, 고속화 한계성과 브러시 선타전압으로 인한 전기적 노이즈로 인하여 고 정밀 메카니즘의 적용에 어려움이 있다. 따라서, 본 연구개발에서는 정밀 메카니즘의 구동으로 사용되는 핵심 부품인 액츄에이터로서, 소형이면서 고출력을 가지고, 기존의 DC 모터의 경우에 발생하는 단수명 문제와 고속 회전이 힘든 문제를 해결할 수 있는 고출력 Actuator 기술개발을 위한 외경 19[mm], 출력 3.0[W]급 이상의 정밀감속기를 갖는 소형 Integrated type BLDC 모터를 연구 개발하였다. 크기의 소형화와 정밀 회전특성을 이루고자 Slotless type의 전기자부를 구성하였으며, 별도의 드라이버를 갖지 않는 드라이버 일체형의 구조설계를 위하여 회전자 영구자석외에 위치검출용 평판형 영구자석을 이용하여 구동전원의 공급을 위한 전원라인만을 갖는 고출력 BLDC 모터를 브러시리스 타입의 모터를 연구개발 하였다. 또한, 정밀유성치차의 구조설계를 통

하여 치 형상 및 강도해석을 통한 설계기술을 이용하여 BLDC모터와 일체형을 이루는 정밀 유성감속기를 연구 개발하였다.

### II. Integrated type 소형 고출력 BLDC 모터 개발

본 연구개발에서는 소형, 고출력의 BLDC 모터를 설계하고자 수치해석 기법의 일환인 2차원 유한요소법(2D Finite Element Method)을 이용하였다. 다음은 개발대상 모델인 영구자석을 회전자로 갖는 Inner rotor type의 Slotless형 BLDC 모터를 나타낸다.

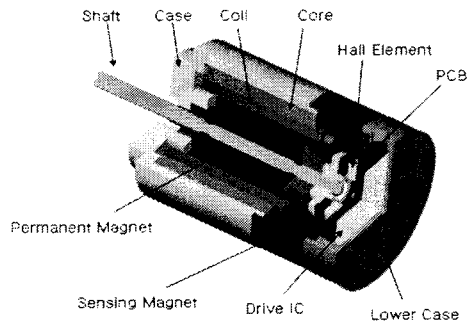


Fig. 1 Integrated type structure of BLDC motor

개발대상 모델을 해석하기 위한 해석영역의 지배방정식은 다음의 식(1)과 같다.

$$\frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} \right) = -J - \frac{1}{\mu_r} \left( \frac{\partial M_{rx}}{\partial x} - \frac{\partial M_{ry}}{\partial y} \right) \quad (1)$$

여기서,  $A$  는 자기 벡터 포텐셜을 나타내며,  $J$  는 권선의 전류밀도를 나타낸다. 해석대상 모델이 z축 방향으로 무한하다고 가정하면,  $A$  와  $J$  는 z축 방향으로만 존재하게 된다. 또한,  $M_r$  은 잔류 자화량을 나타낸다.

다음 그림들은 2차원 유한요소법의 의해 나온 개발 모터의 특성을 시뮬레이션 한 것이다.

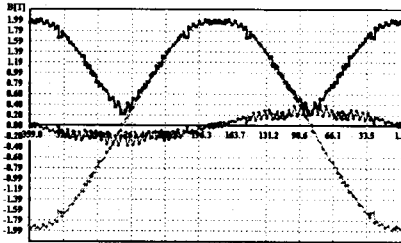


Fig. 2 Flux Density of Core(I=0)

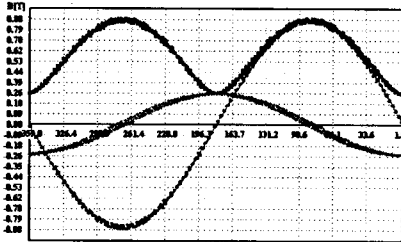


Fig. 3 Flux Density of Air gap(I=0)

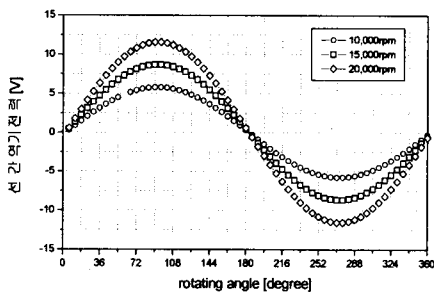


Fig. 4 Back e.m.f of Core (I=0)

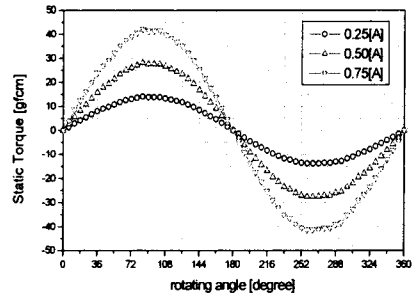


Fig. 5 Static Torque of Air gap(I=0)

Table 1은 설계된 모터의 설계제원에 대하여 나타낸 것이다.

Table 1 Design Spec of BLDC motor

구분	단위	제원	비고
스테이터 외경	mm	17.0	
스테이터 내경	mm	13.0	
상 수	phase	3	
권선경	mm	2.1	
상당 권선수	turns	81	
적층폭	mm	14.0	
공 극	mm	0.25	
극 수	poles	2	
영구자석 종류	-	Nd Sintered	Br=1.2T

### III. 센서부 내장형 BLDC 모터의 구동 Driver 설계

본 연구개발에서는 3상 BLDC모터의 구동을 위해서 전용 IC를 사용하였다. 최근에는 BLDC모터의 수요가 증가되면서 많은 전용 IC가 출시되고 있는데, 목적 및 가격에 맞는 칩을 선택하여 사용하면 이상적이다. 본 개발에서는 BLDC 모터 전용 드라이버 칩으로 ROHM사의 BA6840BFS를 사용하였다. BA6840BFS는 구동 전압 16[V]이하, 출력전류 1.3[A]이하로 본 연구개발 대상 BLDC 모터의 정격전압 및 전류치를 만족시켜 줄 수 있는 소형 사이즈의 드라이브 IC이다. 또한, Hall AMP가 내장되어 있어 비교적 고가인 Hall IC를 사용하지 않고 저가의 Hall Element를 사용할 수 있으므로 큰 장점이 있다. 따라서, SMD type의 Hall Element를 PCB에 부착하여, 회전자 위치를 검출할 수 있는 평판형 영구자석과 매우 근접한 거리로 드라이버 PCB를 위치시킬 수 있으므로, 소형화 구조설계가 가능한 Integrated type의 BLDC 모터를 설계할 수 있었다. 다음은 BA6840BFS IC의 주변회로도 및 개발대상 드라이버의 PCB 앞, 뒷면도를 나타낸다.

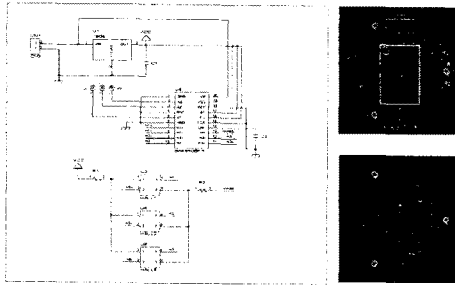


Fig. 6 Driver circuit of BLDC motor and PCB Structure

#### IV. 유성치차형 감속기 개발

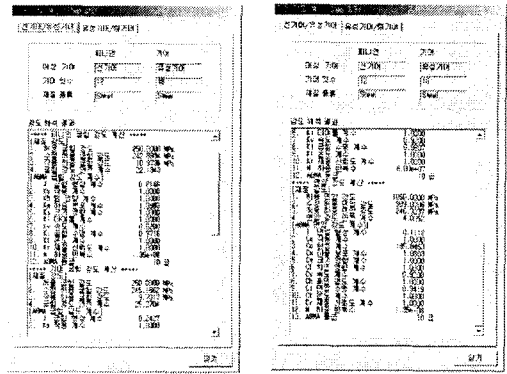
유성감속기는 단위 체적 당 전달동력 비율이 다른 형태의 감속기에 비해 매우 커서, 무게나 체적을 줄여야 하는 장치에서 선호 되고 있다. 특히 정밀기계나, 로봇, 항공기 등과 같이 무게나 체적의 감소가 중요한 성능인자인 경우 유성 기어를 사용하는 것이 유리하다. 유성 감속기는 태양기어(sun gear), 여러 개의 유성기어(planetary gear), 이들을 연결하는 캐리어(carrier), 및 링 기어(ring gear)로 구성되어 있다.

유성감속기의 장점은 여러 개의 유성기어를 사용하므로 전달하중이 분포되어 기어의 크기를 줄일 수 있고, 구조상 동 축 상에 배치 할 수 있고, 기어의 크기가 작은 관계로 감속기의 체적을 줄일 수 있고, 가공이 용이하며, 접촉선 속도가 작아 소음이 적다.

본 연구개발에서는 개발대상 BLDC 모터에 체결하여 사용할 수 있는 외경 19mm급의 소형 유성 치차 형 감속기를 개발하였다. 먼저, 유성 치차 형 기어설계 프로그램(D&M PGT Designer)을 이용하여, 치형설계, 상세 설계 및 강도 설계를 하였으며, 이로부터 CNC Wire cutting등의 정밀 가공기술을 이용하여 연구개발하였다. 연구개발 대상 외경 19mm급의 유성 치차형 감속기 설계사양은 아래와 같다.

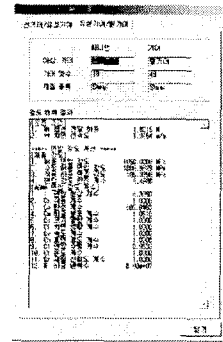
- . 규격: 외경 19mm \* 길이 25.5mm
- . 감속비: 1/25, 2 Stage( 1단: 1/5 )
- . 입력 속도: 20,000 rpm
- . 입력 토크: 0.01 Nm
- . Gear 모듈:  $m=0.3$
- . 헬리컬 각도:  $10^\circ$
- . 기어 재질: steel

먼저, 기어 강도 설계를 하기 위한 기본 조건들을 선정하여, 기어 강도 계산에 사용되어지는 각종 관계 계수를 선정하였으며, 이로부터 얻은 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.



(a) Bending stress (sun/planetary)

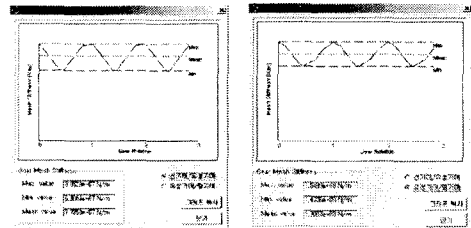
(b) contacting stress (sun/planetary)



(c)contacting stress (ring/planetary)

Fig. 7 Gear stress simulation results

위 결과에서 보듯이, 굽힘 강도 및 면압 강도의 안전계수가 적정하게 나옴을 알 수 있으며, 또한 기어 매쉬 강성 시뮬레이션의 결과는 다음과 같다.



(a)sun/planetary

(b)ring/planetary

Fig. 8 Gear mesh stiffness simulation results

위와 같이 기어의 강도 및 진동 경향을 파악하기 위한 강성 시뮬레이션 수행을 통하여 설계되어진 개발 대상 유성감속기의 기어사양은 다음과 같다.

## V. 결론

본 논문은 정밀 메카니즘의 핵심부품인 소형, 고출력 특성을 갖는 Actuator 연구개발에 관해서 정리 기술 하였다. 이 연구개발을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 소형, 고출력, 저소음, 장수명 등의 장점을 가지는 높은 출력밀도의 브러시리스 모터를 설계 및 제작 하였다.

(2) 단위 체적 당 전달동력이 높고, 동축 구조를 가지는 유성감속기를 설계 및 제작 하였다.

Table 2는 이번 Actuator의 개발 Spec 및 결과를 정리 요약 한 것이다.

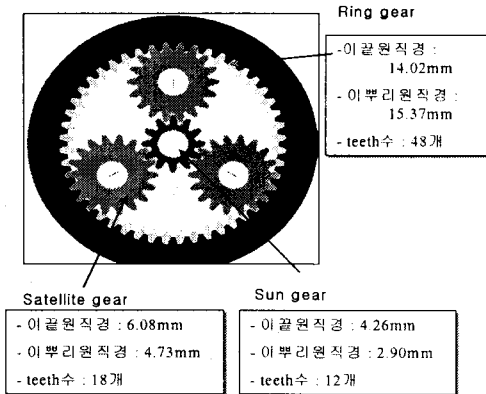


Fig. 9 Gear specs of planetary gearheads

위의 같은 설계 결과를 토대로 아래 사진과 같은 연구 개발품을 제작 하였다.

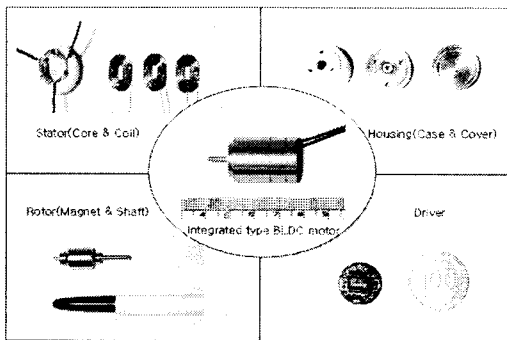


Fig.10 Integrated type BLDC motor

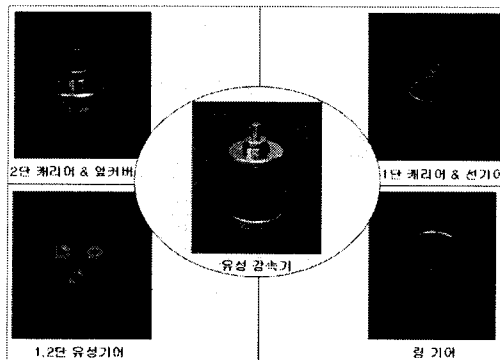


Fig.11 Planetary gearheads

Table 2 Specs of Actuator

주요성능 Spec	단위	연구개발결과
1. 크기	mm	19×25
2. 출력밀도*	mW/g	최대출력기준: 308 최대효율기준: 220
3. 무부하회전수	rpm	22,000
4. 출력	W	최대출력기준: 7.7 최대효율기준: 5.3
5. 센서부 및 드라이버 실장	-	단 방향 드라이버 실장
6. 기어모듈	-	0.3

## 참고문헌

- (1) Darle w. Dudley, 1984, "Handbook of Practical Gear Design", Chapter 8
- (2) Robert G. Parker, 2001, "Modeling, Modal Properties, and Mesh Stiffness Variation Instabilities of Planetary Gears", NASA
- (3) O. K. Kelley, 1991, "Design of Planetary Gear Trains", 3.1
- (4) A. J. Lemanski, 1990, "Gear Design", SAE, Chapter 3
- (5) Alec Stokes, 1992, "Gear Handbook", SAE, Chapter 2-3
- (6) 과학기술처, 1992, "기어고급화를 위한 종합기술 개발", Tribology종합기술개발,
- (7) J. R. Brauer, Z., J. Cendes, B. C. Beihoff and K. P. Phillips, 1999 "Laminated steel eddy current loss versus frequency computed using finite elements," *Proceedings of IEMDC'99*, pp. 543-545,
- (8) Hendershot, J. R. and Miller, T. J. E, 1994 "Design of brushless permanent magnet motors", Oxford Unviersity Press,
- (9) 임달호, 1996, "전기계의 유한요소법", 동명사,