

정자계형 wobble 모터의 시작기 모델 설계

우성봉\* · 이은웅 · 김성종 · 최재영 · 김준호  
 충남대학교

The Design of Prototype of The Magnetostatic Wobble Motor

Woo, Sung-Bong\* · Lee, Eun-Woong · Kim, Sung-Jong · Choi, Jae-Young · Kim, Jun-Ho  
 Chung-Nam National University

**Abstract** - In this paper, after considering the standard data that are obtained by the study of the dynamic and mechanical characteristics (such as the torque characteristics and the force distribution analysis of the wobble motor), we design the prototype of the magnetostatic wobble motor. It can be applied to the high-precision medical instruments such as the ultrasonic catheter for the diagnosis and treatment of vascular disease.

1. 서 론

의료장비의 다기능화·고정밀화의 요구에 공학기술의 접목은 의공학이란 학문분야를 형성시키고 있다. 따라서 의학 전분야의 측정장치와 치료장치의 구동원으로 특기 기능의 모터가 필요하다. 그중의 한가지로 측정장치와 치료장치의 직경이 100(μm)에서 2(mm) 정도의 마이크로 액츄에이터(actuator)의 일종인 마이크로 모터의 연구 개발이 진행되고 있다[1]. 하지만, 의료장비의 대부분을 수입품에 의존하는 의료장비 개발 국내에서는 고정밀 의료장비의 가장 중요한 기능에서 구동용으로 사용되는 이런 마이크로 모터분야의 연구 및 개발이 미미한 실정이다. 본 연구팀은 고정밀 의료장비에 적용 가능한 마이크로 모터의 시작기 개발을 위해 정전형(electrostatic) 및 정자계형(magnetostatic) wobble 모터의 기하학적 구조와 재료특성에 따른 구동특성 및 기계적인 특성에 대한 연구를 수행하여 왔다[2][3].

선행 연구를 통해 축방향 공극을 가진 정자계형 wobble 모터가 정전형 wobble 모터보다는 체적당 발생 토크가 10<sup>3</sup>~10<sup>4</sup>배정도 크고 제작과정의 실현성과 경제성에서 유리점이 많다는 것을 알 수 있었다. 또한, 정전형은 구동하기 위해 필요한 고전압(high voltage), 고주파(high frequency)가 초음파 카테터(ultrasonic catheter)와 같은 고정밀 의료장비에 적용되기에는 어렵다는 것을 확인하였다.

따라서, 본 연구팀은 모터의 토크 특성 및 힘분포 해석과 같은 구동특성 및 기계적인 특성에 대한 연구를 통해 얻은 기초자료를 고려하여, 혈관에 관련된 질병의 진단과 치료에 이용하는 초음파 카테터(the ultrasonic catheter)와 같은 고정밀 의료장비에 적용 가능한 크기의 정자계형 wobble 모터의 시작기 모델을 설계하고자 한다.

2. 정자계형(축방향 공극형) wobble 모터의 구동원리

2.1 구동원리

축방향 공극형은 축구동(방사방향 공극)형과 기본적으로 동일한 구동원리를 가지고 있다. 그림 1은 축방향 공극형 wobble 모터의 구동원리를 나타내고 있다. 회전자는 볼(ball) 베어링 또는 핀의 중심에 위치하고 있다.

전원이 고정자의 한 세그먼트에 인가될 때 회전자는 여기 된 세그먼트의 각 중심의 접촉점으로 당겨진다. 그 다음, 인접한 고정자 세그먼트에 전원이 인가되면 회전자는 전원이 인가된 세그먼트로 구르게 된다. 각각의 세그먼트에 순차적으로 전압이 인가되면 회전자-고정자간의 접촉점들은 일정한 반경을 가진 원주 형태를 이루고, 회전자는 접촉점들이 이루는 원주를 따라 구름운동을 하게 된다. 회전자의 반경과 접촉점들이 이루는 원주의 반경과의 차이로 인해 1회의 순차적인 모든 세그먼트들의 여기후에도 회전자는 매우 작은 각으로 회전하게 된다. 고정자 세그먼트를 순차적으로 여기시키는 각속도와 회전자 각속도의 비를 기어비( $n$ )이라 한다[4].

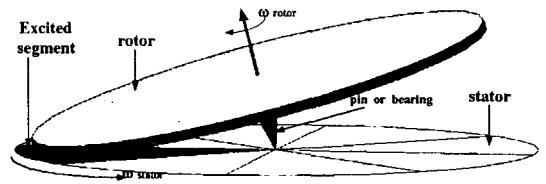


Fig. 1. Sketch of operation principle of axial-gap type wobble motor

2.2 모터의 구조

그림 2는 L. Paratte[5]등이 제안한 정자계형 wobble 모터의 분해도이다. 고정자는 모터의 기저(base)에 위치한 철합금(iron alloy) 재질의 디스크이고, 동일한 재질인 원통형 지지기둥은 고정자의 윗면에, 원통형 핀(pin)은 지지기둥의 윗면에 각각 놓여져 있다. 핀의 직경은 접촉마찰을 가장 최소화시킬 수 있도록 가능한 한 축소시키고, 기둥의 직경은 자기포화에 대한 포텐셜을 가능한 한 감소시킬 수 있도록 크게 한다.

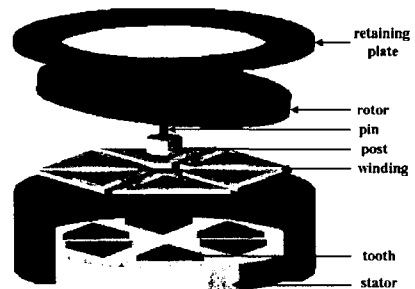


Fig. 2 Exploded view of the magnetostatic wobble motor

중심을 일정한 크기로 구멍을 뚫은 고정자와 동일한 재질의 디스크인 회전자는 핀의 윗면에 놓여져 있다. 핀

위에 회전자를 느슨하게 안착시키는 것은 회전자를 한쪽 방향으로 기울이거나 자유롭게 회전할 수 있게 하기 위해서이다.

고정자에 부착시킨 편평한 버팀판(retaining plate)은 회전자위에 적층되어 있다. 버팀판은 회전자가 고정자로부터 이탈을 방지하고 버팀판의 표면을 따라 회전자의 비틀림 운동(wobbling motion)이 가능하도록 하는 역할을 한다. 따라서, 회전자는 고정자의 치가 아니라 버팀판과 접촉하게 된다. 회전자의 윗면은 버팀판의 홈을 통해 접촉이 가능하도록 하였다.

그림 3은 모터의 횡단면도이다. 고정자의 표면은 치로 구성된 삼각형 단면의 돌기부를 포함하고 있다. 각각의 치들은 권선으로 둘러싸여져 있어서 전체 고정자의 표면은 지지기둥과 치 그리고 권선으로 구성되어 있다. 본문에서는 6개의 치들을 가진 구조의 모터를 설계한다.

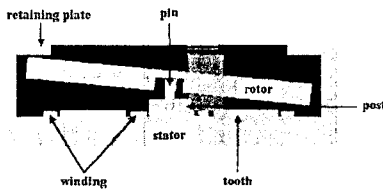


Fig. 3 cross-sectional views of the magnetostatic wobble motor

### 2.3 모터의 비틀림 운동

축방향 공극형 wobble 모터는 전자계 리럭턴스 구동(electromagnetic reluctance drive)원리를 이용한다. 리럭턴스 힘은 한 권선에 전원이 인가되었을 때 발생한다. 그림 4는 한 권선에 전원이 인가되었을 때 주요 자로(magnetic flux path)를 나타내고 있다. 자로는 전원이 인가된 권선으로 둘러싸인 치와 치 위의 공극 및 회전자, 핀 그리고 고정자를 연결하고 있다. 고정자와 회전자에 있어서 자성체의 높은 투자율로 인해 공극의 퍼어미언스는 자로의 퍼어미언스를 좌우한다.

합성 리럭턴스 힘은 공극을 감소시키고 활성화된 권선 쪽으로 고정자를 잡아당긴다. 연속적인 권선의 전원인가는 그림 5와 같이 모터의 비틀림 운동이 가능하도록 한다. 한번의 완전한 비틀림 운동은 각각의 권선이 정확히 한번씩의 스텝구동(steping drive)을 하는 것으로부터 얻어낼 수 있다.

회전자의 기울기(tilt)는 회전자의 가장자리가 버팀판을 따라 그리는 원의 반경이 회전자 원래의 반경보다 약간 작게 만든다.

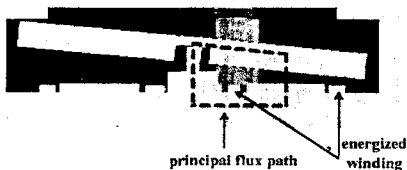


Fig. 4 Principle magnetic flux path through an axial air-gap type wobble motor with one winding energized.

회전자의 가장자리에 의해 그려진 버팀판의 경로가 회전자의 원주보다 작기 때문에 비틀림 운동으로 인해 회전자의 회전운동이 발생한다. 그림에서 회전자의 검은 점은 비틀림 운동으로 인해 발생하는 회전자의 회전을 나타내고 있다. 회전자의 완전한 1회의 회전을 위해 필요한 비틀림 운동의 횟수의 관계를 비틀림 운동 대 회전

운동의 비(wobbling to rotation ratio)  $K_w$ 라 한다.

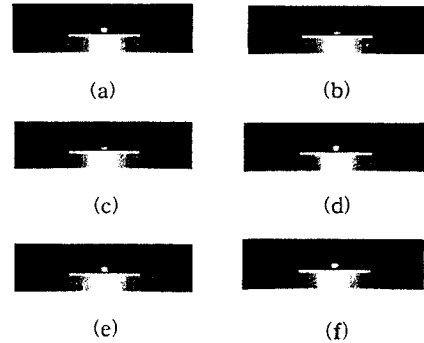


Fig. 5 The wobbling motion of the motor of the rotor as each winding is energized in sequence.

## 3. 시작기 모델의 설계

### 3.1 회전성분 출력토크( $\tau_R$ )

회전성분의 출력토크  $\tau_R$ 은 wobble 모터가 미끄러짐이 없이 회전할 수 있는 최대부하인 반면 일반 모터의 출력 토크와 동일하다.  $\tau_R$ 의 값은 회전자의 반경  $R_r$ 과 버팀판에 대한 회전자의 힘  $F_{rim}$  그리고 회전자-버팀판사이의 마찰계수  $k_{fp}$ 에 각각 종속적이다. 따라서, 출력 토크는 식 (1)과 같다(6).

$$\tau_R = R_r(k_{fp}F_{rim}) \quad (1)$$

모터의 부하가  $\tau_R$ 을 초과할 때는 회전자는 버팀판을 따라 미끄러지게 된다.

### 3.2 비틀림성분 토크( $\tau$ )

비틀림성분 토크  $\tau$ 와 비틀림 각  $\theta$ 사이의 관계는 회전성분 토크와 회전각사이의 관계와 동일하다. 공극의 총에너지인 자기포텐셜 에너지  $E_m$ 이 독립적인 변수이기 때문에 비틀림성분 토크는 식 (2)와 같다.

$$\tau = \frac{dE_m}{d\theta} \quad (2)$$

### 3.3 회전성분 출력토크( $\tau_R$ ) 특성

표 2는 정자계형 wobble 모터의 설계 파라미터들을 나타내고 있다[7][8].

그림 6은 식 (3)에 표 2의 설계 파라미터들을 적용하여 구한 각  $\theta$ 의 변화에 따른 모터의 회전성분 토크  $\tau_R$ 의 변화를 나타내고 있다.  $\tau_R$ 은  $F_{rim}$ 의  $\cos \theta$  함수를 포함하고 있으므로  $\theta = 90^\circ$ 에서는 0의 값을 가지고,  $90^\circ$ 보다 큰 경우 부(egative)의 값을 가진다. 모터가 6개의 치들을 가지고 있으므로  $\theta$ 의 동작 영역은  $0^\circ < \theta < 60^\circ$ 이다. 따라서, 최대 이용 가능한 토크는  $\tau_R(60^\circ)$ 이다. 미끄러짐이 없는 일관된 동작을 유지하기 위해  $\theta$ 는 항상  $90^\circ$  이하의 값이어야만 한다.  $90^\circ$  이하인 고정자 치들의 영역을 유지하기 위해 wobble 모터는 반드시 4개 이상의 치들로 구성되어야 한다.

### 3.4 비틀림성분 출력토크( $\tau$ ) 특성

그림 7은 식 (2)에 역시 표 2의 설계 파라미터를 적용하여 구한 각  $\theta$ 의 변화에 따른 비틀림 토크  $\tau$ 의

값을 나타내고 있다. 증가하는 토오크 곡선은 권선 전류 1.50[A]에 상응하고 있다. 역시, 모터가 6개의 치들을 가지고 있기 때문에 모터 동작의 적절한 토오크 곡선의 영역은  $-60^\circ < \theta < 60^\circ$  이다.

Table 2. The design parameters of wobble motor

stator [mm]	radius	4.5
	thickness	0.9
rotor [mm]	radius	4.22
	thickness	0.64
	radius of hole	0.42
	depth of radius	0.40
post [mm]	radius	0.6
	height	0.5
pin [mm]	radius	0.15
	height	0.5
retaining plate [mm]	radius	5
	thickness	0.3
	radius of hole	3.5
thickness of tooth [mm]	0.15	
winding current [A]	1.5	

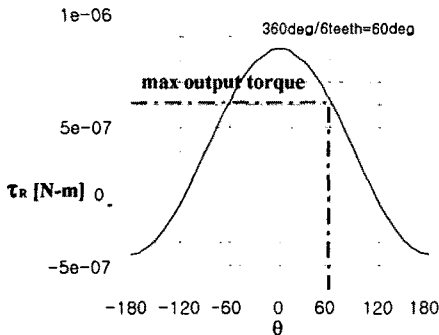


Fig. 6 The rotational torque  $\tau_R$  vs  $\theta$  using the design parameters of Table 2

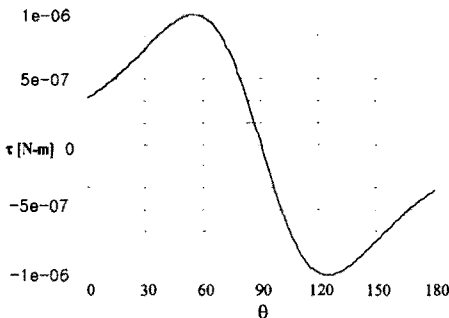


Fig. 7 The wobble torque  $\tau$  vs  $\theta$  using the design parameters of Table 2

#### 4. 결 론

본 논문에서는 일종의 기어비를 이용한 일정한 저속회전 및 정밀 제어가 가능한 정자계형 wobble 모터의 기하학적인 구조에 따른 구동 특성 및 기계적인 특성에 대한 기초자료를 연구를 통해 얻었다. 또한 혈관에 관련된 질병의 진단과 치료에 이용하는 초음파 카테터와 같은 고정밀 의료장비에 적용 가능한 크기의 정자계형 wobble 모터의 시작기 모델을 설계하였다.

본 연구팀은 기하학적인 구조에 따른 정자계형 wobble 모터의 좀 더 정확한 재질적, 기계적인 특성과 힘분포 해석을 통해 시작기 모델의 제작 및 연구의 최종 목표라 할 수 있는 1[mm]이하 크기의 모터를 제작하고자 한다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] K. Deng and M. Mehregany, "Outer-rotor polysilicon wobble motors," in Proc. IEEE MEMS, Oiso, Japan, Jan. 25-28, 1994, pp. 269-272.
- [2] 윤서진의 2명, "동작 사상을 이용한 하모닉 모터의 토오크 특성해석", 대한전기학회 논문지 48권, No.3, pp. 104-109, 1999. 3.
- [3] 우성봉의 4명, "정자계형 wobble 모터와 정전계형 wobble 모터의 토오크 특성비교", 대한전기학회 논문지 49권(B), No.2, pp.110-116, 2000. 2.
- [4] 우성봉의 4명, "축방향 공극형 wobble 모터의 토오크 특성 및 힘 분포 해석", 대한전기학회 '99 추계학술대회 논문집(A권), pp.9-11, 1999. 11.20
- [5] Y.C. Tai, et al., "IC-processed micro-motors :Design, technology, and testing.", 1989 IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, Salt Lake City, Utah, pp.13-16, 1989.
- [6] L.Paratte, G.A.Racine, N.F.de Rooji and E.Bornand, "A Rigid Ring Electrostatic Harmonic Wobble Motor with Axial Field", '91 IEEE, pp.890-893, 1991.
- [7] S.C.Jacobsen, R.H.Price, J.E.Wood, T.H.Rytting and M.Rafaelof, "The wobble motor : An electrostatic, planetary, microactuator.", In Micro Electro Mechanical Systems Workshop, pp.17-24, Salt Lake City, Utah, February 1990 IEEE.
- [8] L.Paratte, H.Lorenz, R.Luthier and N.F.de Rooy, "Miniature gear reduction unit driven by a silicon electrostatic wobble motor", Micromech. Microeng. vol. 2, pp.221-223, 1992.