

유한 요소법을 이용한 하모닉 모터(Harmonic side drive motor)의 토크 특성 해석

윤서진*, 이은웅*, 이동주*
*충남대학교

Finite Element Analysis of Torque Characteristics of Harmonic Side Drive Motor

Seo-Jin, Yun, Eun Woong, Lee
Dept. Electrical Eng. Chungnam Nat'l. Univ.

Abstract - This paper analyzes the torque characteristics with the structure of harmonic side drive motor using by F.E.M and conformal mapping method. F.E.M and conformal analysis result are almost same. Through the results, we investigate how do design parameters variation affect torque characteristics.

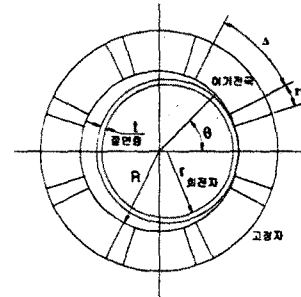


그림 1 해석을 위한 개략도
Fig. 1 Schematic for Analysis

1. 서 론

최근 관심이 모아지고 있는 MEMS의 여러 분야 중 전동기 부분은 IC공정 기술을 적용한 정전형 전동기를 중심으로 활발히 연구되고 있으며 그 중 하모닉 모터(Harmonic Side Drive Motor)는 고정자-회전자의 편심 구조(eccentric structure)에 의한 감쇄 기어비(reduction gear ratio)가 존재하며 단위 체적당 발생 토크가 매우 커서, 실용화에 적합하기 때문에 가장 활발한 연구되고 있다. 그러나, 근본적으로 회전자가 고정자 내경면을 구르는 동적 편심 운동을 하기 때문에, 이에 대한 특성을 해석하기 어렵다.

지금까지 이 하모닉 모터의 편심 구조에서 발생하는 토크 특성을 근사적으로 해석하는 연구가 있었으나 [1-3] 모터 구조에 의해 발생하는 특성을 해석하기 위해서는 유한 요소 해석이 필수적이다.

본 연구에서는 8개의 전극을 갖고, 고정자와 회전자 측에 절연층을 입힌 모델을 선정하여 고정자-회전자간 각 변위 따라 유한 요소법으로 해석한다.

구조에 의해 발생하는 토크 특성을 등각사상(conformal mapping)을 이용한 해석 결과와 비교하여 고찰한다.

2. 본 론

2.1 해석을 위한 모델 선정

그림 1은 유한 요소법 해석을 위해 간소화한 하모닉 모터의 기하형상이다. 고정자를 기준으로 이 반경을 단위길이 1이라 할 때, 회전자 반경을 r, 고정자-회전자간 절연층의 두께를 t, 고정자 중심에 대해 고정자 측 전극의 중심이 이루는 각을 Δ, 전극간 공극 너비의 각을 Γ, 그리고 고정자-회전자 접점과 여기 전극의 중심이 이루는 각은 θ이다. 회전자를 접지시켰고, 고정자측 전극 여기 전압은 V이다.

본 연구에서는 위해 먼저 기본 모델을 선정하여 유한 요소 해석을 수행하고, 기본 모델에서 t를 0.02 간격으로 변형한 모델 4종, Δ를 3° 간격으로 변형하여 극호비를 변형한 모델 4종을 추가하여, 각 모델에 대해 각 변위 θ의 변화에 의해 발생하는 토크를 등각사상법에 의한 해석 수행한다[6]. 각 모델에 대한 모터 상수 값은 표 1과 같다

표1. 해석을 위한 모터 설계 상수 값(1)
Table 1. Design Parameters for Analysis(1)

	R(unity)	r(unity)	Δ	Γ	t(unity)	중극의 유전율 ε ₁	절연체의 유전율 ε ₂
기본모델	1	0.83	36°	9°	0.07	ε ₀	5ε ₀
		0.87			0.03		
		0.85			0.05		
		0.81			0.09		
		0.79			0.11		
t 변형 모델							
극호비 변형 모델	0.83		30°	15°	0.07		
			33°	12°			
			39°	6°			
			42°	3°			

2.2 유한 요소 해석

라플라스 방정식으로부터 해석을 위한 영역별 경계의 지배 방정식은 식 (1), (2), (3)과 같고, 그림 2에 도시하였다[5].

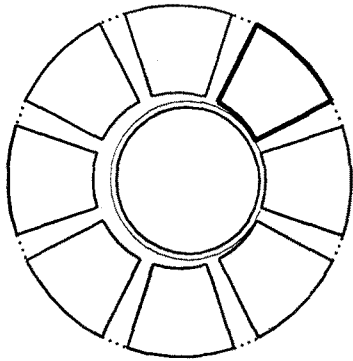


그림 2 유한 요소 해석을 위한 경계조건
Fig. 2 Boundary Conditions for the F.E.M Analysis

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (\epsilon \nabla V) &= 0 \quad (\text{공극부분}) \quad (1) \\ v &= 0 \quad (\text{— 영역}) \quad (2-a) \\ v &= V \quad (\text{— 영역}) \quad (2-b) \\ \frac{\partial v}{\partial n} &= 0 \quad (\text{..... 영역}) \quad (3) \end{aligned}$$

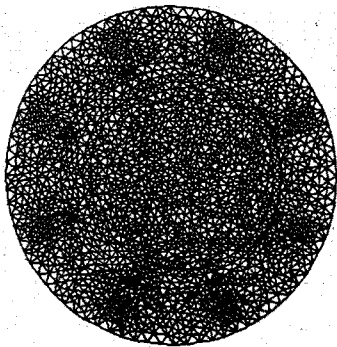


그림 3 유한 요소 해석 모델의 요소 분할
(결정: 2129, 요소: 4179)
Fig. 3 Meshes of the F.E.M analysis model (nodes:2129, elements:4179)

대표적인 θ 위치에 대한 등전위선 분포를 그림 4에 나타내었으며, 그림 5는 $\theta = 45^\circ$ 일 때 해석 모델의 등전위선 분포를 확대한 것이다. 회전자와 여기 전극 사이의 공극에 강한 전계가 형성되며, 동심 형상을 갖는 자성체를 이용한 모터와 달리 여기전극과 회전자 사이에 매우 작은 공극을 이루면서도 포화영역이 발생하지 않으므로 여기 전극 모서리 끝 부분에서 전계가 공극의 전계에 비해 무시할 수 없을 정도로 강하게 형성된다.

유한 요소 해석 결과를 표준화하여 그 결과를 등각사상 해석에 의한 결과(6)와 동시에 그림 6에 나타내었다. 유한요소 해석과 등각사상에 의한 해석에 의해 얻은 토오크 특성 특성 곡선은 거의 일치한다.

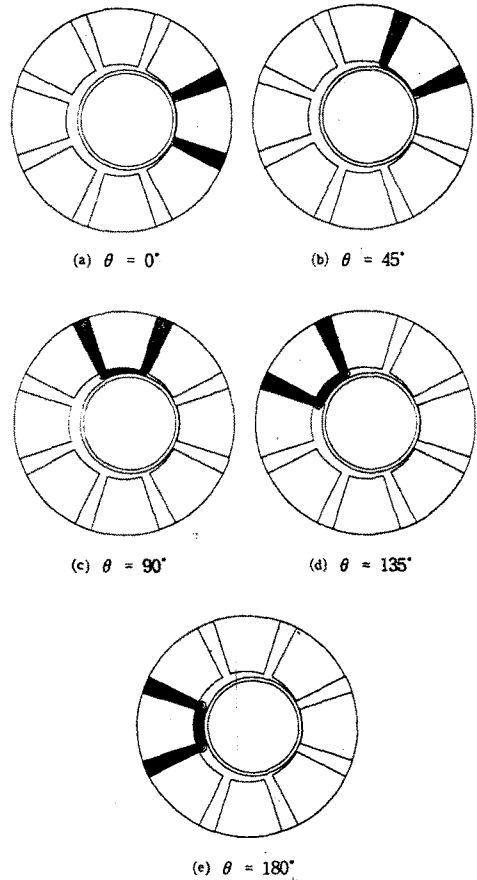


그림 4 θ 변화에 따른 등전위선 분포
Fig. 4 Depending on Variation of θ Distribution of Equipotential Line

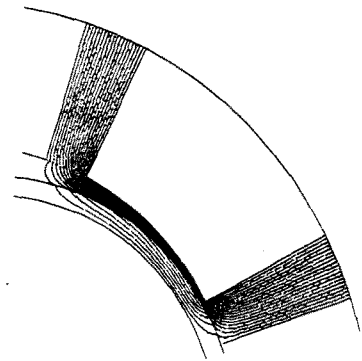


그림 5 하모닉 모터의 등전위선 분포
Fig. 5 Distribution of Harmonic Side Drive Motor Equipotential Line

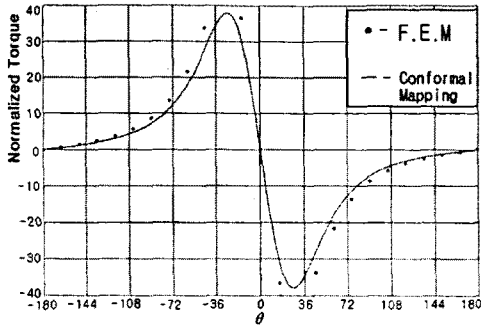


그림 6 등각사상 해석과 유한요소법을 이용한 토오르크 해석 결과 비교
Fig.6 Comparison of Torque Analysis Results by Conformal Mapping and F.E.M

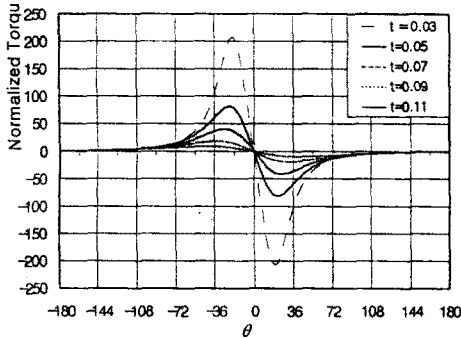


그림 7 t 변화에 따른 표준화 토오르크 곡선
Fig. 7 Depending on Variation of t Normalized torque Curves

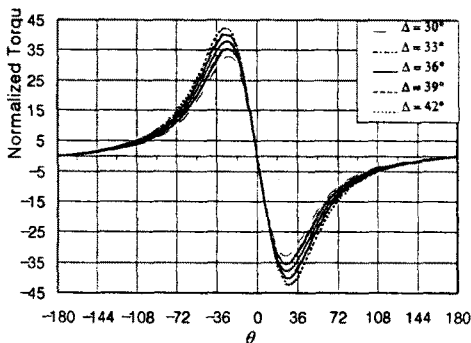


그림 8 각호비 변화에 따른 표준화 토오르크 곡선
Fig. 8 Depending on Variation of Δ and Γ ratio Normalized torque Curves

2.3 모터 설계 상수 변화에 따른 토오르크 특성 해석

그림 7은 등각사상 해석을 이용하여 표 1의 기본 모델에서 t를 0.02 간격으로 변화시켰을 때 t 변화에 따른 각 모델의 표준화 토오르크 곡선이다. t가 증가하면 최대

토오르크 구간이 좁아 지면서 토오르크가 급격히 증가하고, t가 감소하면 토오르크의 변화율이 완만해 지면서 크기가 감소함을 보인다. 이는 공극이 작아지게 되면 절연층에 형성되는 전계는 강해지지만, 절연층을 제외한 회전자와 주요 부분이 여기 전극을 선회할 때 강한 전계가 형성되는 전극 모서리와 모서리 끝 부근을 선회하게 되는 길이가 짧아져 토오르크의 급격한 변화를 가져오게 된다.

그림 8은 등각사상 해석을 이용하여 표 1의 기본 모델에서 Δ 를 3° 간격으로 변화 시켜 극호비를 변화시켰을 때 극호비의 변화에 따른 각 모델의 표준화 토오르크 곡선이다. Δ 가 증가하면 여기 전극의 길이가 길어져 전계가 형성되는 길이 역시 길어지며, 토오르크의 크기가 선형적으로 변화함을 보인다.

3. 결 론

본 연구에서는 유한 요소 해석을 수행하여 하모닉 모터의 구조에 의해 발생 토오르크를 구하였다. 또한 유한 요소 해석을 통한 해석결과를 토대로 등각사상을 이용한 해석 방법으로 모터의 설계상수인 t와 극호비의 변화가 토오르크 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 등각사상을 이용한 해석은 이상적으로 간소화된 기하형상에 적용하여, 모터 설계 상수를 구하는데 편리하며, 유한 요소 해석으로 등각사상법에 의한 해석의 타당 검증과 함께 실제 하모닉 모터 특성을 해석하는데 사용하면 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. C. Jacobsen et. "A Design Overview of an Eccentric-motion Electrostatic Micro-actuator(the Wobble Motor)", Sensors and Actuator, 20, pp. 1-16 1989.
- [2] S. C. Jacobsen et. "The wobble motor: An Electrostatic Planetary-Armature Microractuator", Proc. IEEE MEMS Workshop, Salt Lake City, Utah, Feb. pp. 17-24, 1989.
- [3] W. Trimmer and R. Jebens, "An Operational Harmonic Electrostatic Motor", Proc. IEEE MEMS Workshop, Salt Lake City, Utah, pp. 13-16, Feb. 1989.
- [4] W. Trimmer and R. Jebens, "Harmonic Electrostatic Motors", Sensors and Actuators, 20, pp. 17-24, 1989.
- [5] S. Wiak et "3D Computer Aided Analysis of the 'Berkeley' Electrostatic Micromotor", Tran. Magnetics Vol. 31, pp.2108-2111 May, 1995.
- [6] 윤서진 외 4명, "등각 사상을 이용한 하모닉 모터의 토오르크 정식화", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A, pp.67-69, 1998. 7.