

휴대폰용 평편형 진동모타의 동특성 해석

원성홍, 이주  
한양대학교 전기공학과

Dynamic Characteristics Analysis of Flat-type Vibration Motor for Mobile Phone

Sung Hong Won, Ju Lee  
Dept of Electrical Eng. at Hanyang Univ.

**Abstract** - In order to simulate the dynamic characteristics, we have developed a new method of calculating the torque of the flat-type vibration motor which is using 2D finite element model. We have measured the load torque of the vibration motor which is used for the dynamic characteristics analysis. The simulated vibration characteristic is compared with experimental value.

1. 서 론

휴대폰은 개인용 통신기기로서 현대사회에서 그 중요성이 더해가고 있으며, 점차 휴대용 멀티미디어 기기의 역할을 겸해, 산업계에서 가장 중요한 시장중의 하나가 되었다.

휴대폰의 착신을 알리는 방법 중 진동기능은 공개된 장소에서의 정숙성을 해치지 않고 착신을 알리기 위한 중요한 기능이며 최근에는 멀티미디어, 게임 등의 기능 요구에 따라, 진동모타에도 고 응답성, 장 수명, 고 진동에 대한 요구가 커지고 있어, 동특성 시뮬레이션을 통한 성능 최적화가 어느 때 보다 중요한 이슈가 되어가고 있다.

그러나 폴더형 휴대폰에 주로 쓰이는 평편형 진동모타의 경우 공극자속이 축 방향으로 형성되어있어, 2차원 유한요소해석이 어렵고, 3차원유한요소해석의 경우는 시뮬레이션에 소모되는 시간이 너무 많아 동특성시뮬레이션에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 2차원유한요소해석을 이용하여 축 방향 공극자속을 해석하는 방법을 개선하여 3차원 유한요소 해석 결과와 비교하여 잘 일치함을 보였다. 또한 개선된 2차원 유한요소해석법을 사용하여, 빠른 시간에 동특성시뮬레이션을 할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 축 방향 공극을 가진 모타의 해석

그림 1.에 볼 수 있는 것은 2상의 평편형 진동모타의 구조이며, 이 구조를 코일의 중심을 따라 링 형상으로 잘라 펼친 2차원 평면을 유한요소 해석평면으로 삼는다.

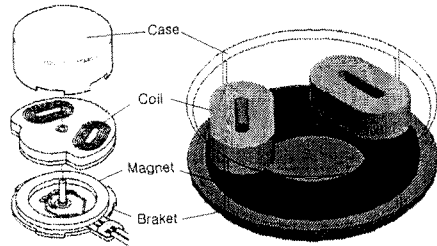
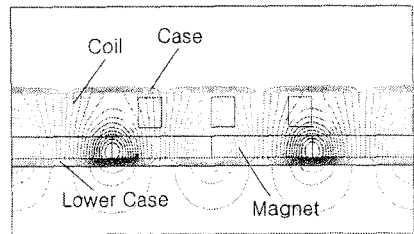


그림 1. 평편형 진동모타의 구조와 3D FEM 해석모델

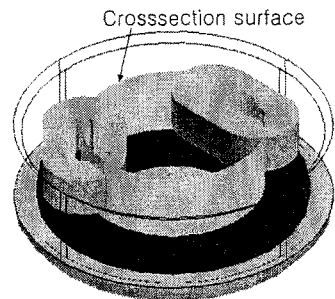
그림 2로 제시된 2차원 모델에 대한 기본적인 전자장 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J \quad (1)$$

여기서 A는 자기 벡터 포텐셜, u는 투자율, J는 전류밀도이다.



(a) 2D FEM모델



(b) 링 형상의 해석단면

그림 2. 2차원해석을 위한 FEM모델과 링 형상의 해석단면

축 방향 공극을 가지는 영구자석 직류모타의 이러한 해석법은 이전의 연구자들에 의해 제시된 바 있으나 [1][2][3], 코일의 형상을 제대로 반영하지 못해 토크 값과 역 기전력등을 계산하는데 오차가 있거나, 자르는 반경을 여러 군데 선택해 해석 시간을 많이 소모하는 등의 단점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 코일 형상을 반영하여 분포력을 구할 수 있도록, 그림3과 같이, 위치에 따른 코일의 반경방향 두께와 전류의 방향을 고려한 식을 도입하였다.

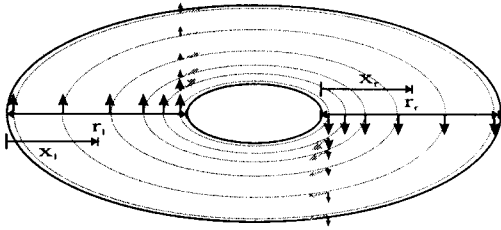


그림 3. 전류의 반경방향 성분

$$f_r(x) = \sqrt{r_1^2 - (r_1 - x_1)^2} \times \left\{ -\frac{r_1^2}{2} \left( \cos^{-1}\alpha - \frac{\sin(2\cos^{-1}\alpha)}{2} \right) + \frac{\pi r_1^2}{4} \right\} \left( \frac{\pi r_1^2}{4} \right)$$

$$\alpha = x_1/r_1 \quad (2)$$

$$f_r(x) = \sqrt{r_r^2 - x_r^2} \times \left\{ -\frac{r_r^2}{2} \left( \cos^{-1}\alpha - \frac{\sin(2\cos^{-1}\alpha)}{2} \right) + \frac{\pi r_r^2}{4} \right\} \left( \frac{\pi r_r^2}{4} \right)$$

$$\alpha = (1 - x_r)/r_r \quad (3)$$

여기서 식(2)은 왼쪽 코일부에 관한 식이고 식(3)은 오른쪽 코일부에 관한식이다.

위의 식과 유한요소해석을 통하여 얻은 공극자속밀도를 사용하여 로렌츠힘을 구하고 여기에 코일의 중심의 반경 R을 곱하여 각 위치에서의 토크를 얻을 수 있다.

### 2.2 3D FEM 결과와의 비교

앞의 과정을 통하여 구한 토크의 유효성을 검증하기 위하여 3DFEM을 이용하여 각 위치에서의 토크 값을 비교하였다. 그림 4. 는 3D FEM에 사용된 진동모타의 모델이다. 실제 진동모타에는 코일과 마그네트의 상대적인 위치에 따라 브러시와 정류자의 접촉상태가 변하여 전류가 교차되어 들어가지만, 여기서는 45도회전하는 동안 일정전류가 계속해서 들어가는 것으로 가정하여 두 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

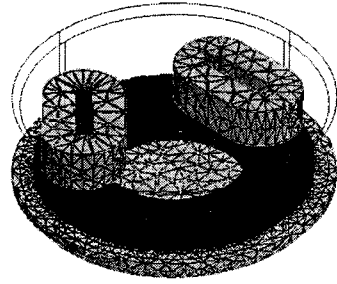


그림 4. 진동모타의 3차원 해석을 위한 FEM 모델

그림 5.에서 볼 수 있듯이 두 결과가 잘 일치하는 것을 알 수 있어, 2차원 유한요소해석의 결과를 사용하여 동특성 해석에 이용할 수 있다.

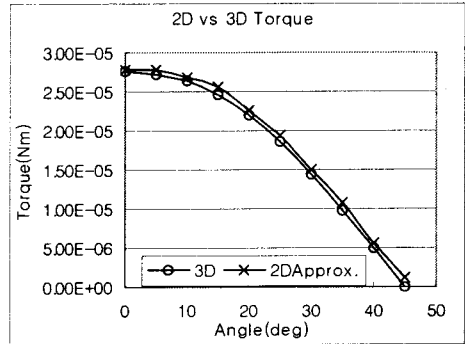


그림 5. 2D와 3D 토크해석의 비교

### 2.3 동특성 해석

평면형 진동모타의 동특성해석을 위해서는 축계의 마찰과 회전자 관성모멘트에 의한 Load 토크를 구할 필요가 있다. 본 연구에서는 실험을 통하여 회전속도에 따른 Load 토크를 구하여 최소자승법에 의한 curve fitting으로 Load 토크 커브를 구하였다. 결과는 그림 6. 와 같고, 식 (4)와 같이 표현된다.

$$T_l(\omega) = (0.00079673 \omega^2 + 0.08175\omega + 15821) \times I \quad (4)$$

여기서 I 는 회전자의 관성모멘트이다.

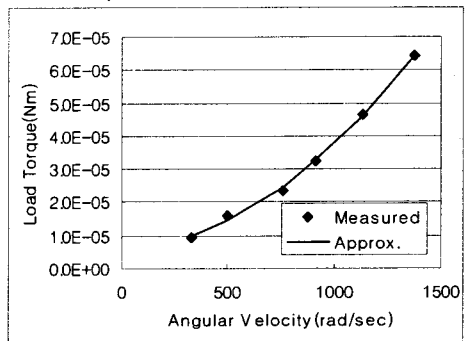


그림 6. 로드토크곡선 및 측정치

모타의 특성은 아래와 같이 표현될 수 있고[1],

$$T \cdot \omega = e \cdot i \quad (5)$$

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{d(N\Phi(\theta))}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

$$\lambda = N\Phi(\theta) = N \int B \cdot dA \quad (7)$$

$$V = i \cdot R + L \frac{di}{dt} + e \quad (8)$$

여기서  $T$ ,  $e$ ,  $i$ ,  $\varphi$ ,  $N$ ,  $\lambda$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $A$ ,  $R$ ,  $L$  은 각각, 토크, 역기전력, 전류, 쇄교 자속, 코일 권 회수, 코일의 총 자속, 자속밀도, 인가전압, 면적, 코일저항, 코일의 누설인덕턴스이다.

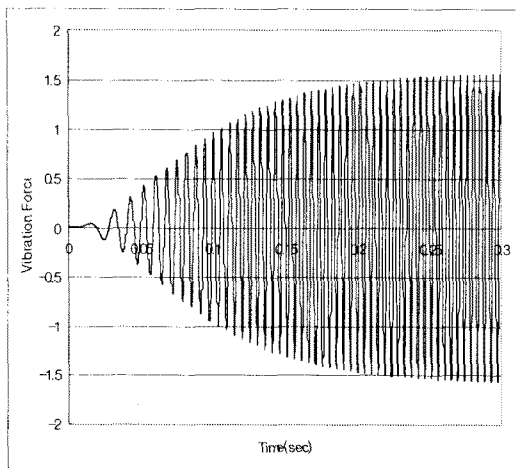
식(9) 과 같이 운동방정식을 사용하여 발생토크에 관성모멘트를 나누어 각 가속도 및 각속도를 알 수 있다.

$$\frac{d\omega}{dt} = (T - T_l(\omega)) / I \quad (9)$$

진동력을 만들어내는 힘은 식 (10)과 같이 표현되는데 여기서  $m$ 은 회전자질량,  $r$ 은 동심도,  $\omega$ 는 회전자 각속도이다.

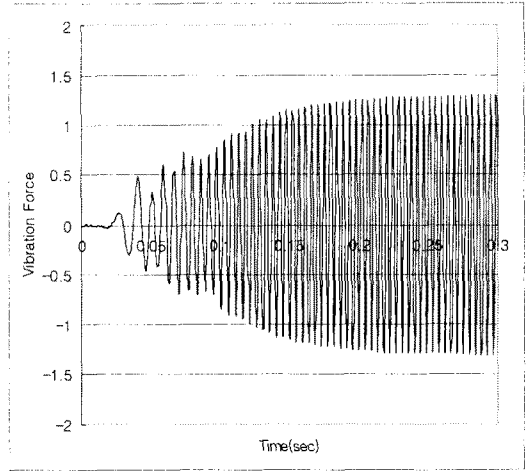
$$F = mr\omega^2 \quad (10)$$

그림 7.은 전압인가로부터 정상상태에 이르기까지의 과도상태를 시뮬레이션한 결과와 실험결과이다. 초반의 측정치가 일정하지 않은 것은 정류자패턴과 브러시의 불연속적인 마찰에 의한 초반의 변동과 브러시의 텐션에 의한 회전자의 기울어짐을 고려하지 않은 이유라고 생각된다.



(a)시뮬레이션 결과

감사의글  
이 논문(보고서)는 산업자원부에서 시행한 전력산업 인 프라구축지원사업으로 수행된 논문(보고서)입니다.



(b)측정결과

그림 7. 과도상태 시뮬레이션과 측정결과의 비교

### 3. 결 론

평편형 진동모타가 양산되어 실제로 휴대폰에 본격적으로 쓰인 것이 오래 되지 않아, 평편형 진동모타의 동특성시뮬레이션에 관한 연구가 비교적 많지 않은 것이 사실이다. 또한 공극자속이 축 방향으로 형성되어있어 2차원 유한요소법으로 시뮬레이션이 힘든 점도 그 이유 중의 하나이다.

그러나 최근의 휴대폰이 멀티미디어, 게임, 햅틱기능 등을 요구하면서 빠른 응답이 보장되는 진동모타의 설계가 필요하게 되었고, 이를 위해서는 스타팅타임, 풀링타임 등 진동모타의 동특성 시뮬레이션이 매우 중요하게 되었다. 본 논문은 2차원으로 표현하기 힘든 축 방향 공극자속을 가지는 평편형 진동모타의 새로운 해석법을 도입하여 3차원해석결과와 비교함으로써 타당성을 보였고, 동특성 시뮬레이션에 그 결과를 이용하였고, 측정 결과와 비교하였다. 시뮬레이션 결과는 측정치와 잘 일치하는 것을 알 수 있었으며, 이는 본 논문에서 제시된 방법이 평편형 진동모타의 동특성 시뮬레이션에 유용함을 증명한다

### [참고 문헌]

- [1] Shi-Uk Chung Gun-Yong Hwang; Sang-Moon Hwang; Beom-Soo Kang; Han-gyoo Kim, "Development of brushless and sensorless vibration motor used for mobile phone", IEEE Trans. Magn. vol. 38, pp. 3000-3002, Sept. 2002.
- [2] E.P. Furlani, "A method for prediction the field in permanent-magnet axial-field motors", IEEE Trans. Magn., vol. 28, pp. 2061-2066, Sept. 1992.
- [3] C.P.Cho, B.K.Fussell, "Anlysis of Large Horsepower Axial-Field Brushless PM Motor and the Effect of Rotor Misalignment", 22nd IEEE Symposium on Incremental Motion Control System and Devices, SanJose, USA, pp.293-302, 1993.