

초소형 카메라 모듈을 위한 Tubular형 선형 액츄에이터의 설계에 관한 연구

정인성, 허 진, 성하경

전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터

A Study on the Design of a Tubular Type Linear Actuator for Ultra-Small Camera Module

In-Soung Jung, Jin Hur, Ha-Gyeong Sung

Intelligent Mechatronics Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI)

Abstract - This paper presents design results of an ultra-small actuator for auto focus or optical zoom function of mobile phone cameras. The consideration of the actuator is tubular type having a large hole in its center to arrange some optical lenses. The stator consists of 3-phase windings, and the mover is designed to an Nd injection permanent magnet(PM) which magnetized with multi-pole polar pattern. From the numerical analysis that taking into account the magnetizing pattern of the PM, the thrust of the designed actuator is about 40mN with the outer diameter of 7mm.

형 액츄에이터의 치수를 결정하고 이동자를 구성하는 영구자석의 치수 등의 변화에 따른 추력의 크기를 검토함으로써 초소형 카메라 모듈에의 본 액츄에이터의 적용 가능성을 검토해 보았다.

2. 본 론

2.1 Tubular형 선형 액츄에이터의 설계

그림 1은 Tubular형 선형 액츄에이터의 기본 구조를 나타내고 있다. 자성요크 및 3상의 슬롯리스 코일군이 설치되어 있는 고정자가 있고, 그 내부에 영구자석이 이동자의 역할을 하게 된다. 카메라용 광학렌즈가 설치되기 위한 공간을 확보하기 위하여 선형 액츄에이터의 이동자 내부가 빈 중공형의 구조로 설계하였다. 중공형의 액츄에이터 제작을 최소화하기 위하여 이동자로 작용하는 영구자석은 다극 polar형 자화패턴을 가지는 Nd 사출형으로 선정하였다. 이를 통하여 자로를 구성하기 위한 영구자석 내측 요크가 불필요해지므로 동일 내경을 기준으로 하여 액츄에이터의 외경을 최소화할 수 있으며, 재료비 및 제작공정상의 절감효과도 기대할 수 있다. 액츄에이터 구조도에는 이동시에 필요한 축계가 나타나 있지 않는데, 이동을 위한 축계는 이후 전체 기구설계시 2개의 판스프링 또는 별도의 직선형 가이드를 사용하면 가능할 것으로 보인다.

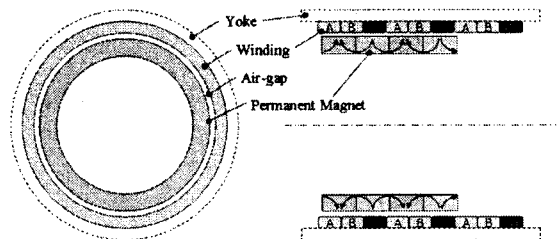
1. 서 론

디지털 기술의 발전은 디지털카메라를 대중화시키면서 일반 필름 카메라를 대체하였다. 수년전 디지털카메라 대중화의 초기에는 카메라의 크기도 현재보다 많이 컸으며 광학줌 등의 기능도 매우 제한적이었다. 그러나 현재의 디지털카메라는 담배갑만한 컴팩트한 크기를 기본으로 하면서도 자동초점(Auto Focusing, AF) 및 3배 내외의 광학줌(Optical Zoom) 기능이 기본이 되었으며, 최근에는 촬영시의 손떨림에 의한 화상의 흔들림을 보정해주기 위하여 이미지센서에 액츄에이터를 달아 흔들림을 보정해주는 기능까지 탑재되기 시작하였다.

휴대폰에 카메라가 탑재되기 시작한 것은 2000년 들어서부터였다. 처음으로 휴대폰 탑재용 카메라 모듈이 출시된 이후, 휴대폰 탑재용 카메라 모듈은 해상도의 증대라는 기술적 이슈를 위주로 급격히 발전하여 왔다. 그 후 해상도가 Mega-pixel급으로 대중화된 이후에는 카메라 모듈의 소형화와 함께 기존 디지털 카메라의 고유 기능을 구현하면서 화질을 개선하는 방향으로 기술경쟁의 쟁점이 변화하게 되었다. 화질개선을 위하여 기존 단초점 모듈에서 탈피하여 피사체와의 거리에 따라 자동으로 초점을 변화시키는 AF 기능 및 기계적 셔터의 탑재 등이 시도되고 있으며, 더 나아가서는 광학줌 기능의 탑재가 시도되고 있다.

AF 또는 광학줌 기능을 위해서는 광학렌즈를 물리적으로 움직여야 하며, 이를 위하여 Actuator가 필요해진다. 일반 디지털 카메라에서는 AF 및 광학줌을 위하여 대부분 외경 6mm급의 스테핑모터가 기능별로 각 1개씩 사용되어지고 있다. 그러나 휴대폰용 초소형 카메라모듈에는 공간의 제약으로 인하여 외경 6mm급의 스테핑모터를 사용하기가 어려워, 이를 위한 액츄에이터로서 보이스 코일형 모터, 초음파 모터, 스테핑 모터, 액체 렌즈 등 다양한 기술적 시도들이 진행되고 있다[1]-[4].

본 논문에서는 AF 또는 광학줌 기능을 구현하기 위한 연구의 일환으로 중앙부가 비어있는 형상의 Tubular형의 직선형 액츄에이터를 고안하여 수치해석을 수행하였다. 실제 초소형 카메라의 광학설계 수준을 고려하여 선



(a) r-θ 평면 (b) r-z 평면

그림 1. Tubular형 선형 액츄에이터의 구조

표 1. 선형 액츄에이터 설계사양

항 목	값
고정자 외경	7.0mm
고정자 총 길이	10mm
고정자 요크 두께	0.2mm
이동자 내경	4.0mm
영구자석 극간격	1.25mm
영구자석 총 길이	5.0mm
영구자석 잔류자속밀도	0.5T
공극의 크기	0.1mm

표 1은 설계된 Tubular형 선형 액추에이터의 주요한 설계치수들을 나타내고 있다. 액추에이터의 외경은 7mm로 하였으며, 광학렌즈군이 위치하게 될 이동자의 내경은 4mm로 고정하였다. 또한 영구자석의 극간격은 현실적으로 다극작자가 가능한 수준을 고려하여 1.25mm로 결정하였다. 구동시의 위치결정 분해능을 최대화하면서 코일군을 최소화하여 제작성을 높이기 위하여 코일군과 자석의 비율은 3상/4극으로 설계하였다. 별도의 기구부를 제외한 액추에이터의 총 길이는 10mm이며, 이때 영구자석 이동부의 이동가능 거리는 5mm이다.

간이설계된 액추에이터의 특성해석을 위하여 축대칭 3차원 유한요소법을 사용하였다. 식(1)은 자기벡터퍼텐셜을 이용하여 맥스웰 방정식으로부터 유도한 지배방정식을 나타내고 있다.

$$\nabla^2 \frac{1}{\mu} \bar{A} = -\bar{J}_0 - \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \bar{M}, \quad (1)$$

여기서 μ 는 투자율, \bar{A} 는 자기벡터퍼텐셜, \bar{J}_0 는 인가전류밀도, \bar{M} 은 영구자석의 자화량을 나타낸다.

A_R ($A_R = rA_\theta$)법을 이용하여 범함수를 유도하면 다음의 식(2)와 같이 된다.

$$\chi = \int \left[\frac{1}{2\mu} \left\{ \left(\frac{1}{r} \frac{\partial A_R}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{1}{r} \frac{\partial A_R}{\partial z} \right)^2 \right\} - \frac{1}{r} J_{0\theta} A_R - \frac{1}{\mu_0} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial M_R}{\partial z} - \frac{1}{r} \frac{\partial M_z}{\partial r} \right) \right] 2\pi r dr dz. \quad (2)$$

식(2)에 정유조건($\delta\chi=0$)을 부여하여 정리하면 해석을 위한 계방정식을 유도할 수 있다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 이동자 영구자석의 자화분포는 polar 형상을 가진다. 따라서 정확한 특성해석을 위해서는 유한요소 해석시 이를 고려해야만 한다. 본 연구에서는 영구자석의 실제 자화패턴을 묘사하기 위하여 착자요크에 대한 간이 모델링을 통하여 영구자석의 자화분포를 구하는 방법을 사용하였다[5]. 즉, 착자요크를 포함한 모델의 해석을 통하여 영구자석 영역 각 요소들의 자화벡터 $B^{(e)}$ 를 구하고, 나중에 액추에이터의 유한요소 해석시 앞서 구한 영구자석의 자화 정보를 이용하는 방법을 사용하였다.

착자 과정에서 영구자석의 자화방향이 외부자계의 방향과 동일하게 결정된다고 가정하면 영구자석 각 요소에서의 자화의 방향은 다음의 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$\theta^{(e)} = \tan^{-1} \frac{B_r^{(e)}}{B_z^{(e)}} \quad (3)$$

또한, 영구자석 영역 각 요소의 r 및 z 방향 자화성분들은 식(4) 및 식(5)와 같이 구할 수 있다.

$$M_z^{(e)} = M_{pm}^{(e)} \cos \theta^{(e)} \quad (4)$$

$$M_r^{(e)} = M_{pm}^{(e)} \sin \theta^{(e)} \quad (5)$$

여기서, $M_{pm}^{(e)}$ 는 각 요소에서의 영구자석의 자화의 크기를 나타낸다.

2.2 선형 액추에이터의 해석결과

그림 2는 액추에이터 이동자를 구성하는 영구자석에 대한 착자과정을 정자계로 해석한 자속선도이다. 착자요크는 편의상 보다 많은 다극으로 모델링하여 해석하였으며, 본 해석결과로부터 영구자석 내부 모든 영역에서의 자화의 방향을 결정하였다. 이렇게 결정된 자화정보는 이후 설계된 액추에이터의 특성해석시에 이용되었다.

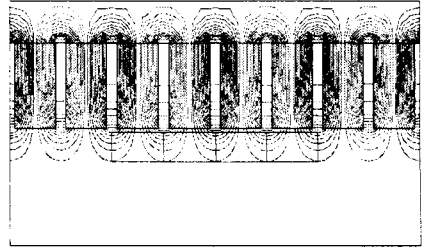
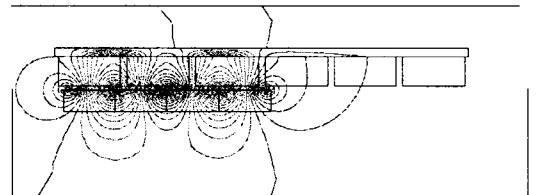
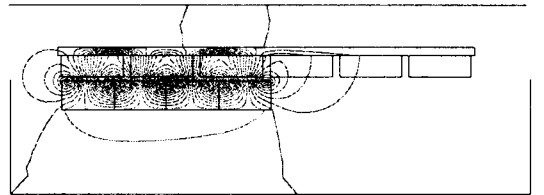


그림 2. 영구자석의 착자과정 해석 자속선도

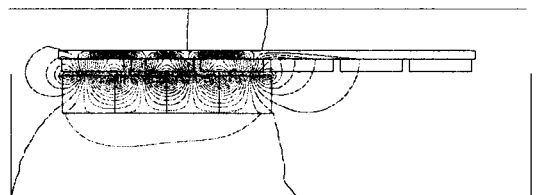
그림 3은 액추에이터의 외경 및 영구자석 내경 치수를 고정된 상태에서 영구자석의 두께와 권선두께를 변화시켜 가면서 해석한 자속선도를 나타내고 있다. 영구자석의 두께가 얇은 경우(두께 0.5mm)에는 발생자속의 일부가 내경쪽으로 누설되는 것으로 나타났다. 공극부의 자속밀도를 살펴보면, 그림 3의 (a)의 경우에는 최대치가 0.2(T), (b)의 경우에는 0.22(T), (c)의 경우에는 0.27(T)로 나타났다.



(a) 영구자석 두께 : 0.5mm, 권선체 두께 0.7mm의 경우



(b) 영구자석 두께 : 0.7mm, 권선체 두께 0.5mm의 경우



(c) 영구자석 두께 : 0.9mm, 권선체 두께 0.3mm의 경우

그림 3. 영구자석 두께에 따른 액추에이터의 자속분포도

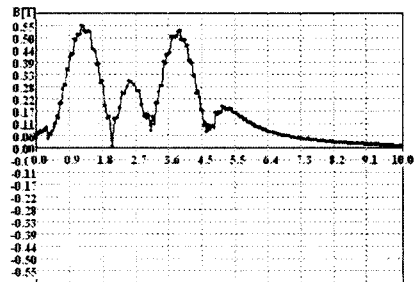


그림 4. 고정자 요크부의 자속밀도 분포

그림 4는 그림 3(c) 경우의 고정자 요크부의 자속밀도

분포를 나타내고 있다. 최대치가 약 0.55(T)로서 포화까지는 많은 여유가 있음을 알 수 있다. 그러나 실제 제작시에 0.2mm 미만의 두께는 강성 면에서 문제의 소지가 있다고 판단되어 그 이상 감소시키지 않았다.

그림 5는 그림 3과 같이 영구자석의 두께변화에 따라 해석한 경우의 선형 액추에이터의 정추력 특성을 도시한 것이다. 설계된 액추에이터는 3상/4극의 비율로서, 총 이동가능 거리는 영구자석의 길이와 동일한 5mm로 설계되었다. 따라서 해석시에도 영구자석을 총 5mm 이동하면서 해석을 진행하였다. 해석시 코일부의 전류밀도는 35A/mm²로 일정하게 유지하였다. 해석결과 영구자석의 두께가 초기 0.5mm에서 0.9mm로 증가함에 따라 추력도 증가하여 최대 40mN이 발생하였다. 그러나 영구자석의 두께를 더욱 증가시키는 경우에는 코일체의 단면적 감소로 인하여 추력은 더욱 증가하지 못하였다.

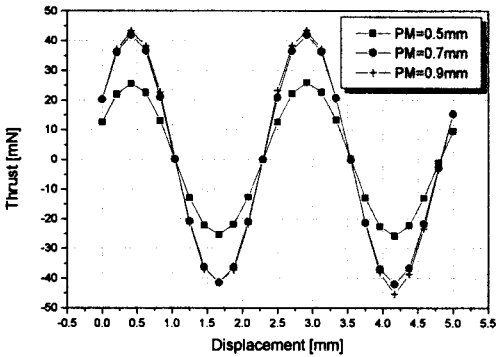


그림 5. 영구자석 두께에 따른 정추력 해석결과

그림 6은 그림 3(b)와 같은 0.7mm 두께의 영구자석에 대하여 3상 권선의 코일피치를 2배로 변경하여 3상 2극 구조로 해석했을 경우의 자속밀도 분포도를 나타내고 있다. 이 경우 동일한 조건으로 정추력을 계산하면 그림 7에서 나타낸 것과 같이 최대치 74mN 정도로 약 76%의 증가가 나타났다. 그러나 본 구조는 실제 제작시에 코일체의 권선공정이 두배로 어려워지는 단점이 존재하므로 필요추력 및 제작성을 함께 고려한 구조선택이 필요할 것으로 사료된다.

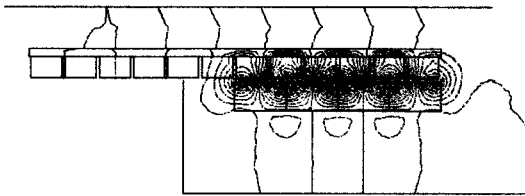


그림 6. 3상 2극 구조에서의 자속분포도

일반 BLDC 모터나 PMSM에서는 위치센서를 이용하여 회전자의 위치(회전각)를 검출하여 이에 적합한 각상의 전류치를 인가하여 구동하게 된다. 그러나 본 액추에이터의 경우 매우 작기 때문에 위치피드백을 받으면서 구동하기는 어려우며, 실제 구동시에는 별도의 위치피드백 없이 각 상의 전류치(전류의 위상)를 변화시킴으로써 이동자를 이동시키는 개루프 구동을 하게 된다. 따라서 이동자의 위치는 임의의 전류각에 의한 정추력 폭선과 부하선과의 관계에 의해서 결정되게 된다. 그림 8은 이동자의 이러한 위치결정 특성을 살펴보기 위해 각 전류 인가 모드에 대하여 추력을 계산해 본 결과이다.

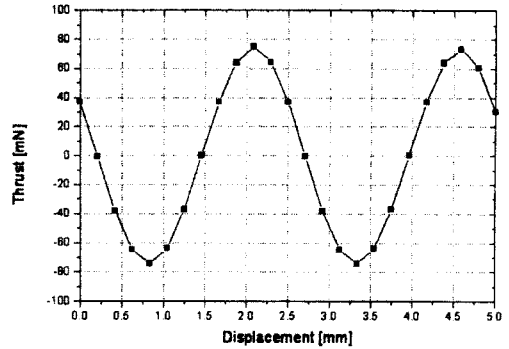


그림 7. 3상 2극 구조에서의 정추력 해석결과

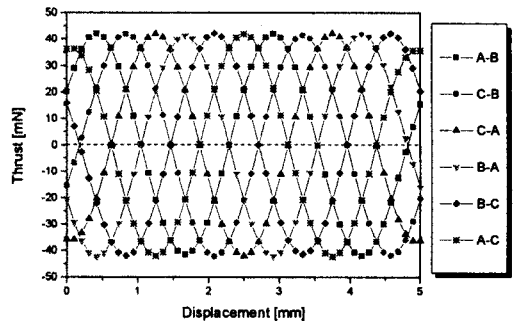


그림 8. 이동자 변위제어를 위한 각 상분 추력

3. 결 론

본 논문에서는 초소형 카메라 모듈의 AF 또는 광학줌 기능을 위한 액추에이터 연구의 일환으로 Tubular형 선형 액추에이터를 설계하여 특성을 고찰하였다. 최대칭 3차원 수치해석을 통하여 토크특성을 고찰하였으며, 그 결과 외경 7mm 크기의 액추에이터에서 약 40mN의 추력이 발생함을 해석적으로 확인하였다. 발생 추력량은 렌즈군을 움직이기에는 충분할 것으로 판단되나, 향후 실제 카메라 광학계 및 전체 모듈과의 종합적 설계가 진행되어야 실현 가능성을 구체화할 수 있을 것으로 사료되며, 그 과정에서 다상 코일군의 효과적인 권선 및 선처리 방법, 효과적인 축계 구성방안 등이 추가적으로 연구되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 산업자원부와 정보통신부에서 시행하는 E-0580사업에 의하여 수행된 성과이며, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 吉田龍一, "마이크로 줌 카메라 MZC의 개발", Techno-Frontier 모터기술심포지엄(日), 2003.
- [2] K. Furuichi, M. Watada, "Development of the milli-size actuator which is driven by the electromagnetic force", ICEMS proceedings, 2004.
- [3] 和多田雅哉, "미리사이즈 전자액추에이터의 연구개발동향", Techno-Frontier 모터기술심포지엄(日), D6-1, 2005.
- [4] 瀬和信吾, "고분자액추에이터 연구개발의 현황", Techno-Frontier 모터기술심포지엄(日), D6-2, 2005.
- [5] I. S. Jung et al., "Magnetization Modeling of a Bonded Magnet for Performance Calculation of Inner-Rotor Type BLDC Motor", IEEE Trans. on Magn., Vol. 37, No. 4, pp. 2810-2813, 2001.