

프로젝션 TV 용 틸팅 액츄에이터의 설계 및 분석

임형빈[†] · 박철준* · 박종용** · 정진태***

Design and Analysis of a Tilting Actuator for a Projection TV

Hyungbin Im, Chuljun Park, Jongyong Park and Jintai Chung

Key Words : Actuator(액츄에이터), Electromagnetic Analysis(전자기 해석), Lens Transmissive Type(렌즈 투과형), Natural Frequency(고유진동수), Modal Analysis(모달 해석)

Abstract

This paper describes a lens transmissive type tilting actuator for a projection TV. An electromagnetic analysis and a structural analysis of the tilting actuator system is necessary to design a tilting actuator for a projection TV. The tilting actuator is composed a permanent magnet, coil and yoke as the electromagnetic components and it needs a driving hinge part as the mechanical component. The design of the tilting actuator for the projection TV is performed by the following procedure. Firstly, a magnetic flux density of the tilting actuator system is analyzed by a mathematical theory and an electromagnetic FEM. Secondly, a magnetic circuit method is used to determine tilting force. Thirdly, the structural FEM is carried out with an FE model of a lens-transmissive type tilting actuator and then the prototype of the model is manufactured. The characteristic of the prototype is experimentally observed. Finally, a design for a new hinge configuration is suggested for better performance.

1. 서론

최근 들어 디지털 TV 시장은 국내 디지털 방송의 본격화 및 미국 연방 통신 위원회(FCC)가 2007년 말까지 디지털 튜너의 내장 의무화를 추진하는 등 본격적인 성장 단계의 진입으로 PDP, LCD, 프로젝션 TV의 시장 확대가 더욱 가속화되고 있다. 또한 현대인들의 생활 수준의 향상에 따라 디지털 TV는 50인치 이상으로 대형화되고

있으며 고화질의 화면이 요구되고 있는 추세이다.

본 연구는 디지털 TV 중 프로젝션 TV의 고화질의 성능을 위하여 프로젝션 TV의 부품인 틸팅 렌즈를 구동하는 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터의 설계 및 해석에 관한 연구이다. 프로젝션 TV용 틸팅 액츄에이터를 설계함에 있어서 영구자석과 코일에 관한 전자기 해석과 구동 힌지부의 구조 해석은 반드시 필요하다. 일반적으로 틸팅 액츄에이터의 전자기 요소 중 영구자석과 코일의 적절한 선택은 프로젝션 TV용 틸팅 액츄에이터를 안정적으로 동작시켜 프로젝션 TV의 화질을 개선시킬 수 있다. 또한, 구동 힌지부의 구조적 안정성을 확보하지 않으면 심한 진동을 유발하여 프로젝션 TV에 악영향을 미칠 수 있다. 프로젝션 TV의 안정적 동작을 위해서 틸팅 액츄에이터의 전자기적 안정성과 구동 힌지부의 구조적 안정성을 확보하

[†] 책임저자, 한양대학교 일반대학원 기계공학과
E-mail : vinceim@hanyang.ac.kr
TEL : (031)501-4590 FAX : (031)406-6964

* 한양대학교 일반대학원 기계공학과

** 한양대학교 학연산 클러스터 사업단

*** 한양대학교 공학대학 기계공학과

여야 한다.

기존 연구로 프로젝션 TV 의 화질 개선을 위하여 프로젝션 TV 용 틸팅 액츄에이터의 전자기해석을 시도한 국내 연구는 거의 없다. 반면에 CD-ROM 이나 DVD 와 같은 광 기록기기의 픽업 장치에 관련된 연구개발은 다수 수행되었는데, 주로 광 픽업 틸팅 액츄에이터의 동적 안정성 확보 및 서보 제어 연구에 대한 것이 주류를 이룬다.⁽¹⁻²⁾ 또한, 광픽업 액츄에이터의 전자기 해석과 동특성 해석을 수행한 연구가 있다.⁽³⁾ 국외 연구를 살펴보면, 프로젝션 TV 와 관련하여 텍사스 인스트루먼트사(TI 사)가 스무드 픽처링(Smooth Picturing) 기술을 연구, 개발하여 비용을 혁신적으로 낮출 수 있는 반사형 거울을 구동하는 액츄에이터를 개발하였다. 한편, 광 픽업 틸팅 액츄에이터와 대물렌즈의 경사량을 줄이기 위한 시도로 경사량 저감 관련 설계변수 제시와 함께 경사 발생의 원인 분석과 대책 제시가 있었다.^(4,5) 그리고, 리브를 사용하여 액츄에이터 구조를 보강시키는 연구⁽⁶⁾와 가동부의 유연모드와 렌즈 홀더의 강성이 갖는 관계에 대한 연구⁽⁷⁾ 등 많은 연구가 수행되었다.

앞서 설명하였듯이, 프로젝션 TV 용 틸팅 액츄에이터를 설계하기 위해서는 전자기 해석과 구조 해석이 필수이다. 프로젝션 TV 용 틸팅 액츄에이터는 전자기 요소로 영구자석, 코일 그리고 요크가 있고, 기계 구조적 요소로는 구동 힌지부 등이 있다. 영구자석, 코일 그리고 요크는 틸팅의 구동 가진력을 얻기 위한 필수 부품으로 전자기 특성인 자기밀도(magnetic flux density)를 분석해야만 한다. 이 자기밀도를 통해 구동 가진력을 구할 수 있다. 구동 힌지부는 전자기 요소로부터 구동 가진력을 받는 기계 요소이므로 구조적, 동적 특성을 파악하여야 한다. 구조적으로 안정되어 있지 않으면 심한 진동이 유발되어 프로젝션 TV 에 악영향을 미칠 수 있다.

본 연구의 목표는 프로젝션 TV 용 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터를 구동하기에 적합한 설계안을 제시하는 것이다. 이를 위하여 우선, 전자기 해석의 기본 이론과 전자기 유한요소해석을 통해 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터의 전기 요소인 영구자석의 자기밀도를 구하였다. 그리고 구한 자기밀도를 이용하여 틸팅 액츄에이터를 구동할 수 있는 가진력을 분석하였다. 렌즈 투과형에 적합한 설계 인자를 바탕으로 렌즈 투과형의 기본 구조를 유한요소로 모델링하여 구조적 특성과 동적 특성을 파악하였다. 또한, 유한요소해석으로 특성이 파악된 기

본 구조를 이용하여 시작품을 제작하여 실험적 방법을 통해 기본 구조의 전자기 특성 및 동적 특성을 검증하였다. 마지막으로, 프로젝션 TV 용 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터에 영구자석의 적합한 설계안을 제시하였다.

2. 틸팅 액츄에이터의 전자기 특성 해석

본 연구는 프로젝션 TV 용 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터에 관한 연구이다. 이를 위해서 우선 전자기 기본이론과 전자기 유한요소해석을 통해서 자기밀도와 구동 가진력을 분석하였다. 본 연구에서는 틸팅 액츄에이터의 영구자석과 요크 사이에 전자기적 특성인 자기밀도를 파악하였다. 그런 후에, 로렌츠의 법칙을 이용하여 영구자석과 요크 사이에 존재하는 코일에 전압을 인가하였을 경우의 틸팅 구동 가진력을 분석하였다. 자기밀도와 구동 가진력을 구하기 위하여 수학적 이론을 통하여 분석한 후에 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 를 이용하여 수학적 이론과 비교 검증하였다.

틸팅 액츄에이터를 구동하기 위하여 형성한 영구자석, 요크, 그리고 코일의 구조는 VCM (Voice Coil Motor) 구조이다. Fig. 1 (a)에서 VCM 에 대한 기본적인 구조를 나타내었고 이를 Fig.1 (b)와 같은 등가 자기 회로를 구성하였다. 자기장 해석을 위해서 등가 자기 회로에서는 코일에 대한 효과는 고려하지 않는다. 이는 자기장 해석 시 코일에 전류가 흐르지 않는 상태에서 영구자석에 의한 자기장의 효과를 고려하기 때문에 코일은 자기회로에서 고려하지 않는 것이다. 자기 회로에서 암페어의 법칙을 적용하여 보자. 암페어의 법칙을 적용한 Fig. 1(b)의 자기 회로를 식으로 표현하면

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = H_m l_m + H_s l_s + H_g l_g = NI \quad (1)$$

과 같이 나타난다. 여기서 H 는 자기 강도(magnetic intensity), l 은 길이, N 은 코일의 감은 수, 그리고 I 는 코일에 흐르는 전류를 나타낸다. 또한, 아래 첨자 m 은 영구자석, s 는 요크의 재질, 그리고 g 는 공극(air gap)을 나타낸다. 본 논문의 자기장 해석 시 자기 회로에서는 코일의 효과를 고려하지 않으므로 NI 는 영이 된다. 또한, $H_s l_s$ 는 자기저항이 매우 작으므로 영으로 가정할 수 있다. 따라서 식(1)은

$$H_g = -\frac{l_m}{l_g} H_m \quad (2)$$

와 같이 변환할 수 있다. 자기 회로에서 자속(magnetic flux) 보존 법칙을 적용하면, 다음 식 (3)

과 같다.

$$\Phi_m = \Phi_g \quad (3)$$

식 (3)에서 Φ 는 자속을 나타내는데, 자속은 자속 밀도(B_m, B_g)와 자속이 통과하는 단면적(A_m, A_g)의 곱으로 나타낼 수 있다. Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 자속이 통과하는 공극의 면적(A_g)과 영구자석의 면적(A_m)은 동일하다고 가정할 수 있다. 따라서 식 (3)은 다음과 같이 변환이 가능하다.

$$B_m = \frac{\Phi_m}{A_m} = \frac{\Phi_g}{A_m} \quad (4)$$

자기밀도는 투자율(μ)와 자기 강도(H)의 곱으로 나타낼 수 있는데, 이를 적용하면 식 (4)는 다음과 같은 로드 라인(load line)을 얻을 수 있다.

$$B_m = -\frac{\mu_0 l_m}{l_g} H_m \quad (5)$$

여기서 μ_0 는 공기의 투자율을 나타낸다. 식 (5)에서 얻은 로드 라인은 영구자석의 자기장을 구하는데 중요한 식으로 영구자석의 자기 디자인에서 필요한 식이다. Fig. 2 는 이 로드라인과 B-H 곡선을 자기 해석을 위하여 선형화시킨 곡선을 2 사분면에 표현한 것이다. 여기서 H_c 는 영구자석의 보자력(coercive force)이고 B_r 은 영구자석의 잔류 자기 밀도(residual magnetic flux density)이다. Fig. 2 에서 보는 바와 같이 음의 기울기의 곡선이 로드 라인이고 양의 기울기를 가진 곡선이 B-H 곡선을 선형화한 것이다. 두 곡선이 만나는 지점의 자기밀도와 자기 강도는 영구자석의 자기밀도와 자기 강도를 나타내는데 본 연구에서 영구자석과 공극의 면적을 같다고 가정하므로 영구자석의 자기밀도는 곧 공극의 자기밀도와 같다. 이 자기밀도가 본 연구에서 구하고자 하는 영구자석의 자기밀도이다. 식 (5)와 Fig. 2 를 이용하여 보자력 800 kA/m, 잔류 자기밀도 0.9T 의 영구자석과 요크 사이의 자기장을 해석하면 자기밀도가 약 0.43T 가 됨을 알 수 있다.

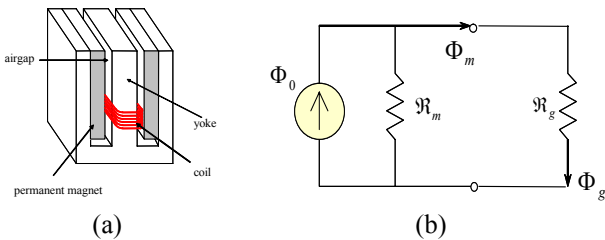


Fig. 1. Schematics of the VCM : (a) Elementary structure of the VCM, (b) Equivalent magnetic circuit of the VCM

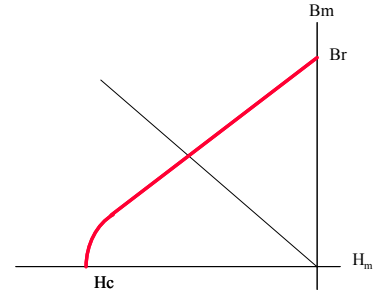


Fig. 2. Load line and the B-H curve

수학적 이론에서 제시한 영구자석과 요크의 형상을 유한요소 모델로 수립하여 영구자석과 요크 사이의 자기장 분포를 구하기 위하여 전자기 유한요소해석을 수행하였다. Fig. 3 은 영구자석과 요크의 전자기 유한요소모델이다. Fig. 1 에서 제시한 구조의 절반의 단면만을 모델링하였다. 좌우 대칭인 조건이고 상대적으로 길이 방향으로 길어서 2차원 단면의 절반을 모델링하여 해석하는 것이 시간이나 정확성에 있어서 유효하기 때문이다. 가운데 ‘c’자 형태의 요크가 있고 오른쪽에 붙어 있는 사각형이 영구자석이다. 작은 반원이 공기층이고 큰 반원이 무한경계층이다. 물성치는 앞에서 제시한 것처럼 영구자석은 보자력 800 kA/m, 잔류 자기밀도 1.2T 로 입력하고, 요크는 철의 자기 물성치를 입력하였다. 경계조건은 좌측의 선들에 자기 평행 조건을 적용하였다. 전자기 해석을 통하여 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 자속의 2차원 흐름을 파악하였고, 자기 밀도를 확인하였다. 자기장은 Fig. 4(a) 와 같이 영구자석과 요크 사이의 공기층을 관통하는 흐름을 보이고 있고, Fig. 4(b)의 영구자석과 요크 사이의 자기밀도를 측정하면 평균 0.41T 가 됨을 알 수 있다. 수학적 이론에 의해서는 약 0.43T 가 계산되었는데 이는 0.02T 밖에 차이 나지 않으므로 유한요소해석이 이론치와 거의 일치한다고 판단할 수 있다.

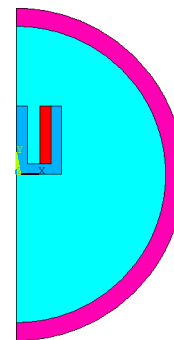


Fig. 3. Finite element model of the PM and yoke

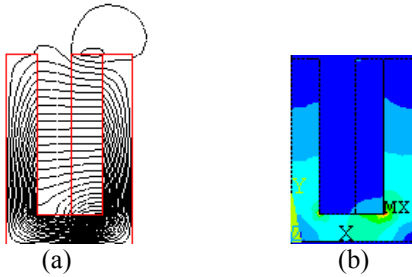


Fig. 4. Magnetic FE analysis : (a) Magnetic 2D flux line (b) Manetic flux density

앞 서 구한 자기밀도를 이용하고 코일에 전압을 인가하면 코일에서 받는 구동 가진력을 구할 수 있다. 제안된 액츄에이터의 구동 가진력은 다음의 로렌츠 법칙인

$$\mathbf{F} = \int \mathbf{B} \times i d\mathbf{l} \quad (6)$$

로부터 구할 수 있다. 여기서 \mathbf{B} 는 자기밀도, i 는 코일에 흐르는 전류, 그리고 \mathbf{l} 은 코일의 유효 길이를 나타낸다. 유효 길이(l_w)는 코일이 영구자석과 마주보고 있는 면의 길이를 말한다. 코일에 흐르는 전류는 코일의 감은수가 N 턴이므로 i 대신에 Ni 를 대입하여야 한다. 따라서 식 (6)은

$$F = NBl_w i = k_f i \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 k_f 는 힘 상수로 코일의 감은수, 자기밀도, 그리고 코일의 유효길이의 곱으로 나타낼 수 있다. 영구자석의 길이가 20mm 이므로 유효길이 역시 20mm 이다. 자기밀도는 앞서 유한요소로 해석한 자기밀도인 0.41T 를 대입한다. 유한요소로 해석한 값을 대입하는 이유는 유한요소해석에서는 에지 효과(edge effect)를 고려할 수 있기 때문에 더 정확한 값을 얻을 수 있다. 코일의 감은 수는 113 턴이다. 따라서 식 (7)에 의해서 계산된 힘 상수는 0.93 N/A 이다. 코일의 전류를 계산하려면 전압 방정식

$$V = iR + L \frac{di}{dt} + k_e \frac{dx}{dt} \quad (8)$$

을 풀어야 한다. 그러나, 본 연구에서는 전압이 일정하게 걸리는 정상상태만을 고려한다. 따라서, 전압은 단순히 코일의 저항과 정상 상태 전류의 곱으로 표현할 수 있다. 본 연구에서 제안한 액츄에이터의 코일의 저항은 10Ω 이고, 전압은 2.5V 로 일정하게 인가한다면, 정상상태 전류는 0.25A 로 계산될 수 있다. 정상상태 전류와 힘 상수를 곱하면 구동 가진력 233mN 을 구할 수 있다. 수학적 이론을 통해 구해진 가진력은 다음의 구동 힌지부

의 구조해석에서 사용될 것이다.

3. 틸팅 액츄에이터의 구조 해석

본 절에서는 2 절에서 계산된 구동 가진력을 직접적으로 받고 있는 구동 힌지부의 구조적 특성과 동적 특성을 파악하였다. 틸팅 액츄에이터에서 중요한 구동 힌지부의 강성과 질량 관성 모멘트를 맞추어 기본구조안을 제시하였다. 본 절에서는 제시된 기본구조를 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 를 이용하여 유한요소모델을 수립하였다. 수립된 유한요소모델을 이용하여 기본구조의 구조적 특성과 동적 특성을 파악하였다.

기본 구조를 이용하여 렌즈 투과형의 유한요소해석 모델을 수립하여 고유진동수를 구하기 위한 모달 해석을 수행하였다. Fig.5 에서 보는 유한요소해석 모델은 구동 힌지부와 렌즈를 모델링한 것이다. 요소타입은 Solid 45 타입으로 하고 힌지부는 알루미늄의 물성치를 입력하고 렌즈는 대응되는 플라스틱의 물성치를 입력하였다. 경계조건은 Fig. 5 에서 얇은 빔 모양의 양 끝단을 고정조건으로 적용하였다. 모달 해석을 통하여 Fig. 6 에 보는 것과 같이 1 차 모드 형상을 추출하였다. 추출한 모드 형상과 고유진동수는 648 Hz 로 나타났다. 1 차 모드 형상은 틸팅 형상을 보이고 있어서, 틸팅 액츄에이터의 실제 작동 시 나타나는 형상과 일치하고 있다.

모달 해석으로 고유진동수를 추출한 후에, ANSYS 의 정해석을 통해서 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터의 변위와 응력을 해석하였다. 모달 해석 시 수립한 유한요소모델을 이용하여 정해석을 수행하였다. 가진력은 2 절에서 분석된 233mN 을 사용하였다. 가진력은 Fig. 5 에서 좌우로 보이는 넓은 판의 구동 힌지부의 가진부에 z 방향으로 각각 +233 mN, -233mN 을 가진부의 면적으로 나누어 압력의 형태로 적용하였고 경계조건은 모달 해석에서와 마찬가지로 얇은 빔 모양의 양 끝단을 고정하는 조건으로 적용하였다. 정해석을 통하여 변위는 선형 변위로 얻은 후에 다음의 식

$$\theta(\text{degree}) = \frac{180l}{\pi r} \quad (9)$$

을 통하여 각도 변위로 변환하였다. 여기서 l 은 선형 변위를 나타내고, r 은 힌지부의 폭의 1/2 값을 나타낸다. 정해석에서 얻어진 선형변위 $l = 0.1\text{mm}$, 힌지부 폭의 1/2 값 $r = 20\text{mm}$ 를 대입하면 최대 각도 변위가 $\pm 0.21^\circ$ 를 얻을 수 있다.

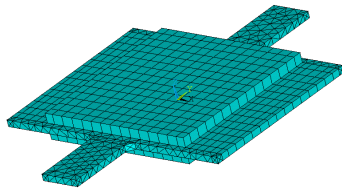


Fig. 5. Finite element model of the lens transmissive type tilting actuator

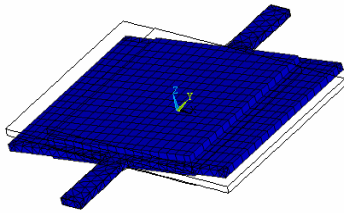


Fig. 6. Mode shapes of the lens transmissive type tilting actuator

응력 분포는 폰 미제스(von Mises)응력으로 얻었는데 그 결과 최대 폰 미제스 응력은 21MPa 이다.

유한요소해석 중 모달 해석과 정해석을 통하여 고유진동수 648 Hz, 각도 변위 $\pm 0.21^\circ$, 그리고 최대 응력 21 MPa 인 모델을 설계하였다.

4. 틸팅 액츄에이터의 실험적 검증

앞 절의 결과를 토대로 시작품을 제작하여 제시한 모델이 프로젝션 TV 용으로 적합한 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터인지를 실험적으로 검증하였다. 본 연구에서는 틸팅 액츄에이터의 동적 특성 파악 및 검증을 목적으로 세 가지 실험을 수행하였다. 첫 번째는 가진기를 이용하여 틸팅 액츄에이터 자체에 스위프 사인파(Swept Sine)를 가진하여 고유진동수를 구하는 실험이다. 두 번째는 틸팅 액츄에이터의 구동 힌지부를 구동시킬 수 있는 스위프 사인파를 가진하여 힌지부의 동작에 따른 강제응답 주파수를 측정하는 실험이다. 세 번째는 틸팅 액츄에이터에 일정한 전압(구형파)을 인가하여 시간 응답을 구하는 실험이다.

렌즈 투과형의 고유진동수를 측정하기 위해 가진기를 이용하여 스위프 사인파를 인가하는 모드 해석 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 얻어진 고유진동수는 Fig. 7 에서 보는 바와 같이 1 차 고유진동수는 618 Hz 정도에서 측정되었다. 이 결과는 3 절의 유한요소해석 중 모달 해석과 거의 일치한다.

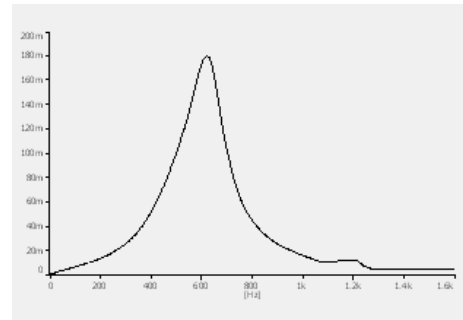


Fig. 7. Frequency response of the lens transmissive type tilting actuator

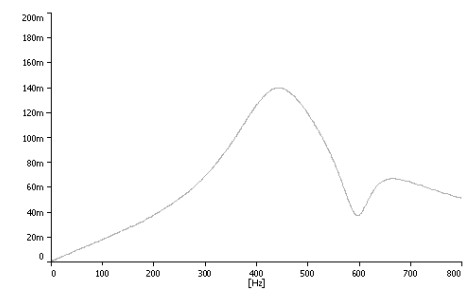


Fig. 8. Forced frequency response of the lens transmissive type tilting actuator

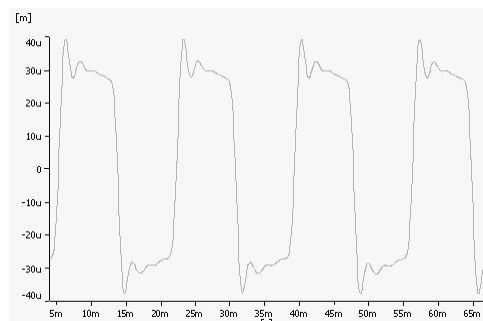


Fig. 9. Time response of the mirror reactive type tilting actuator

렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터의 힌지부를 구동시킬 수 있는 스위프 사인파의 가진을 하여 힌지부의 동작에 따른 강제응답주파수를 측정하였다. Fig. 8 에서 볼 수 있듯이 약 442.1 Hz 에서 피크점이 나타났다.

마지막으로 렌즈 투과형의 각도 변위를 측정하기 위하여 시간 응답을 구하는 실험을 수행하였다. 측정된 결과를 식 (9)를 이용하여 각도로 환산하면 $\pm 0.21^\circ$ 이다. 이는 유한요소해석의 정해석 결과와 거의 일치한다.

5. 렌즈 투과형의 전자기 디자인 제시

앞 절에서의 설계안을 바탕으로 프로젝션 TV

용 틸팅 액츄에이터의 영구자석과 공극의 변화에 따른 자기장의 변화를 제시하였다. 자기장의 변화는 구동 가진력의 변화를 가져오고, 이는 틸팅 각도 변위의 변화를 유발한다. 이러한 각도 변위의 변화는 프로젝션 TV 용 틸팅 액츄에이터의 설계안으로 활용될 수 있다.

영구자석의 보자력의 변화에 따른 자기밀도의 변화와 힘의 변화를 Table 1에 나타냈다. 보자력이 강해지면, 그에 따라 자기밀도의 세기도 강해짐을 알 수 있다. 그러나, 전자 제품의 경우 자기장이 강해지면 다른 부품에 영향을 줄 수 있으므로, 적절한 선택이 필요하다.

영구자석과 요크 사이의 공극은 자기밀도에 상당한 영향을 준다. Fig. 10은 공극의 변화에 따른 구동 가진력의 변화를 나타낸다. Fig. 10을 보면 공극 2mm 까지에서 가진력의 범위가 256mN에서 158mN까지 완만한 곡선을 그리면서 하락하는 모습을 보이고 있다. 따라서, 설계 시 공극을 적절히 조절하여 틸팅 액츄에이터의 기능을 제대로 수행할 수 있는 설계를 찾아야 한다.

6. 결론

본 연구를 통해서 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터를 구동하기에 적합한 설계안을 제시하였다. 이를 위하여 전자기 기본이론과 전자기 유한요소해석을 통해 자속 밀도와 구동 가진력을 분석하였다. 분

Table 1. Comparison along the coercive force

Coercive force (kA/m)	Magnetic flux density (T)	Exiting force (mN)
800	0.41	233
850	0.43	243
900	0.49	277
950	0.52	294
1000	0.55	311

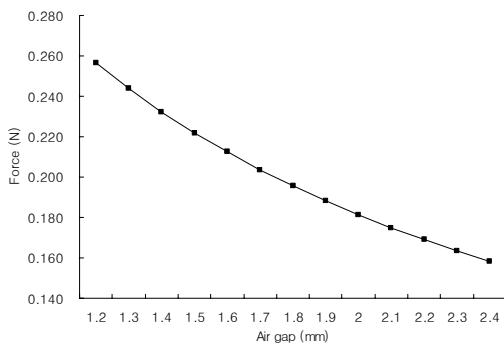


Fig. 10. Comparison of the exiting force along the air gap

석한 렌즈 투과형 액츄에이터의 영구자석의 자속 밀도는 0.41T 이고 구동 가진력은 코일에 2.5V의 전압이 인가되면 233 mN이라는 것을 확인하였다. 이를 통해서 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터의 설계 변수를 도출하였다. 본 연구의 설계안을 통하여 제작된 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터는 각도 변위 $\pm 0.21^\circ$, 강제응답주파수 434.2 Hz로 충분히 프로젝션 TV 용 틸팅 액츄에이터의 성능을 발휘할 수 있다.

본 연구에서 도출된 전자기적 요소인 영구자석의 설계 방안을 시작품에 반영, 제작하여 목표가 되는 가진력, 주파수 레벨, 틸팅 각도 변위 등의 달성여부를 평가하는 측정을 시행하였다. 그리고 측정 결과를 분석하여 렌즈 투과형 틸팅 액츄에이터의 설계 개선 자료로 활용될 수 있도록 하였다.

후 기

이 논문은 2007년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 김운영, 이호철, 1996, “광픽업 지지부 초기 설계를 위한 외팔보 구조진동해석”, 한국소음진동공학회지, 제 6 권 제 6 호, pp.763~770.
- (2) 김석중, 이용훈, 손용기, 이철우, 임경화, 1998, “고밀도 기록용 광픽업의 정밀 액츄에이터 동특성 연구”, 한국소음진동공학회지, 제 8 권 제 1 호, pp.87~98.
- (3) J. H. Park, Y. S. Baek, and Y. P. Park, 2003, “Design and Analysis of a Mini Linear Optical Pickup Actuator”, KSME International Journal, Vol. 17, No. 11, pp. 1616~1627.
- (4) Makato, N., Isao, H., 1996, “Development of Two-axis Actuator with Small Tilt Angles for One-Piece Optical Heads”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 35, pp. 392~397.
- (5) 한창수, 서현석, 이정현, 원종화, 김수현, 곽윤근, 1998, “광디스크용 4 와이어 구동기의 경사에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제 15 권 제 7 호, pp. 52~60.
- (6) N. Takahashi, H. Sato, H. Osawa, and K. Nagai, 1997, “Digital Video Disk/Compact Disk (DVD/CD)-Compatible Pickup Head with Dual lens Rotating Actuator”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, pp.467~473.
- (7) T. Matsui, 1994, “Optical Head Lens Actuator for High Information Bit Rate Recording”, IEICE TRANS. ELECTRON, No.10, pp. 1581~1586.