

## 차세대 DVD 시스템용 Actuator 연구

Study on Dual-Lenses Actuator for HD-DVD System

김석중\*·이용훈\*\*·안영만\*\*정종삼\*\*

Seok Jung Kim, Yong Hoon Lee, Young Man Ahn and Chong Sam Chung

**Key Words :** Dual-lenses Actuator(액추에이터), Working Distance(작동거리), CD, DVD, HD-DVD

### ABSTRACT

Recently, an optical disc system has been proposed using blue laser diode, high NA objective lens and groove only disc structure. A new method is needed to readout CD and DVD in this blue system. In order to readout CD and DVD in HD-DVD system, we adopted dual-lenses actuator in consideration of optical utilization efficiency, optical performance and insurance of sufficient W.D (working distance). This dual-lenses actuator has two objectives in radial direction, one is for CD/DVD and the other is for HD-DVD. We had to solve the induced problems of DC tilt increase, 2<sup>nd</sup> resonance deterioration and AC sensitivity drop caused by disposing two lenses in an actuator. Especially, to solve AC sensitivity drop, we introduced two 2-pole magnets and separated focus and track magnetic circuits. Consequently we presented that dual-lenses actuator has been possessed good performance. And we measured eye patterns of CD, DVD and HD-DVD by using HD-DVD optical pick-up with dual-lenses actuator.

### 1. 서 론

최근 들어 청색 레이저 다이오드와 고개구수의 대물렌즈, 그리고 그루브 온리 디스크(groove only disc)를 적용한 광디스크 시스템이 제안되었다. 그런데 상기 시스템은 back compatibility 때문에 CD 와 DVD 를 동시에 기록 재생할 수 있도록 하여야 한다.<sup>(1-2)</sup> 몇년 전 DVD System 이 시장에 처음 나왔을 때에도 back compatibility 때문에 CD 를 재생할 수 있도록 하기 위한 여러 가지 방법들이 제시되었다. 일부 시스템은 2 개의 꽂업을 적용하기도 하고 다른 시스템에서는 2 개 대물렌즈간의 위치 절환이 가능한 축선통 액추에이터를 통해 호환이 가능하도록 하였으며, 또 다른 시스템에서는 링이 적용된 대물렌즈를 사용하여 DVD System 에서 CD 재생이 가능하도록 하였다.<sup>(3)</sup> 그런데 HD-DVD System 에서 HD-DVD 이외에 CD 및 DVD 를 모두 재생하기 위해서는 현재까지 광학 기술에 따르면 광의 이용효율과 광학성능 그리고 충분한 W.D 확보 측면에서 2 개의 대물렌즈를 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 본 논문에서는 CD 및 DVD 기록 및 재생이 가능한 HD-DVD System 을 구성하기 위해 액추에이터 가동부에 2 개의 대물렌즈를 레이디얼 방향으로 장착하였는데 이 중 하나는 CD 및 DVD 용 대물렌즈이고 다른 하나는 HD-DVD 용

대물렌즈이다. 그러나 2 개의 대물렌즈를 한 개의 액추에이터 가동부에 적용함에 따라 dc tilt량 증가, 2 차공진 저하, 감도 저하 등의 문제점이 야기 되게 되고 그 결과 성능이 양호한 액추에이터를 설계 제작하는데 어려움이 따르게 된다. 따라서 본 논문에서는 상기 문제점을 해결하도록 하여 성능이 양호한 차세대 DVD 시스템용 액추에이터를 설계 제작한 결과를 제시하고자 한다. 그리고 상기 액추에이터를 장착한 꽂업에 의한 저터 특성 결과를 제시하여 호환 꽂업이 가능함을 제시하고자 한다.

### 2. 설계(Design) 및 해석(Simulation)

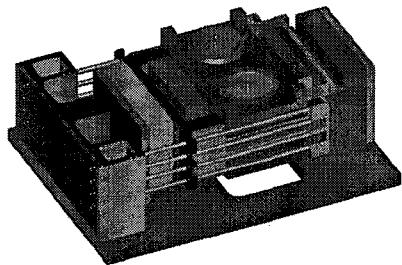
#### 2.1 설계(Design)

본 논문에서 제시하는 바와 같이 한개의 액추에이터 가동부에 레이디얼 방향으로 2 매의 대물렌즈를 장착한 꽂업인 경우에는 디스크 내주와 외주의 반경 차이에 의한 트래킹 서보 신호의 위상차 발생이 없다는 장점을 가지고 있으며, 액추에이터 구조상으로도 탄젠셜 방향으로 렌즈들이 배치되는 경우와 비교해 보면 보빈 크기의 컴팩트(compact)화가 가능한 이점을 가지게 된다. 그럼 1 에 상기 액추에이터의 샤프도 및 실제 사진을 나타내었다. 그런데 2 개의 대물렌즈를 한개의 가

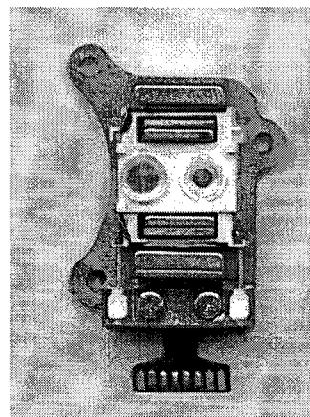
\* 삼성전자㈜ DM 연구소 Media Solution Team  
E-mail : sjkim95@hanmir.com  
Tel : (031) 200-8756, Fax : (031) 200-3144

\*\* 삼성전자㈜ DM 연구소 Media Solution Team

동부에 배치하기 위해서는 2 개 대물렌즈의 공간적인 위치 선정이 반드시 필요하게 된다.



(a) Layout and structure



(b) Photograph of assembled actuator  
Fig.1 Twin-objective actuator

먼저 2 개의 대물렌즈를 레이디얼 방향으로 배치함에 따라 액추에이터의 폭이 기존 액추에이터에 비해 커지게 된다. 이와 같은 상황에서 액추에이터가 최내주로 이동하는 경우에도 액추에이터 가동부와 스픈들 모터간의 부품간 간섭이 발생하지 않도록 하기 위해 로우터(rotor) 크기가 26 [mm]인 스픈들 모터를 적용하도록 하였다. 그리고 서로 상이한 W.D를 가진 2 개 대물렌즈의 초기 위치 선정 또한 디스크와 액추에이터 가동부 간 기구적인 치수 및 가동거리를 고려하여 결정하였다. 표 1에 CD 및 DVD 용 대물렌즈와 HD-DVD 용 대물렌즈의 사양을 나타내었다.

Table.1 Specifications of CD/DVD and HD-DVD lenses

Items	CD/DVD	HD-DVD
Mass(mg)	10	43
Focal length(mm)	2.33	1.76
Working distance(mm)	0.89/1.27	0.24
Numerical Aperture	0.45/0.60	0.85

HD-DVD 용 대물렌즈와 DVD 용 대물렌즈간 작동거리(Working distance) 차이는 1.03mm이다. 이와 같이 작동거리의 차이가 큼에 따라 야기될 수 있는 문제는 광업이 CD 혹은 DVD를 재생시 HD-DVD 용 대물렌즈와 디스크간의 충돌이 발생한다는 점이다. 따라서 본 논문에서 제시된 2 매 대물렌즈 장착 액추에이터의 경우에는 그림 2에 나타낸 바와 같이 HD-DVD 대물렌즈의 초기 위치를 W.D 위치에 두지 않고 W.D 보다 0.35 [mm] 낮은 위치로 설정하여 DVD 혹은 CD의 재생시 HD-DVD 용 대물렌즈와 디스크간 충돌을 방지할 수 있도록 하였다. 그리고 스픈들 모터와 가까운 쪽에 HD-DVD 용 대물렌즈를 배치하고 면 쪽에 CD 및 DVD 용 대물렌즈가 배치되도록 하였다.

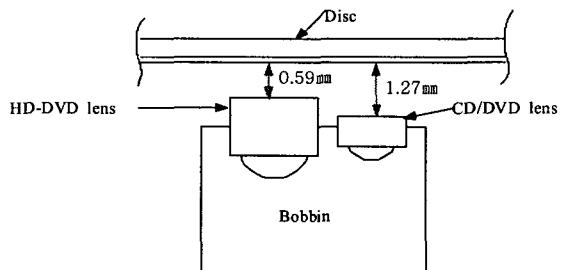


Fig.2 Neutral positions of twin-objective actuator in the axial direction

그런데 상기 액추에이터 구성 과정에서 서로 다른 2 개의 대물렌즈를 한개의 가동부에 장착함에 따라 기존의 1 매 대물렌즈 장착 액추에이터에 비해 가동부의 무게 증가 및 불균형이 나타나게 되며 또한 가동부 크기가 벌크(bulk)해 지고 구조적으로 취약한 보빈 형태를 구성하게 됨에 따라 dc tilt량 증가, 2 차공진 저하, 감도 등의 성능 저하가 나타나게 된다. 따라서 본 논문에서는 상기 문제점을 해결하기 위한 방법으로 먼저 액추에이터 각 부품에 대한 3 차원 모델링을 통해 무게 중심점과 힘 중심점간에 위치 일치가 이루어지게 하였다. 그리고 그림 4에 나타낸 바와 같이 자기회로 구성은 포커스 및 트랙 자기회로를 분리하여, 각각 분극 마그네트를 사용하여 추력증가 및 이에 따른 감도 향상이 이뤄지게 하였으며, 반복적인 가동부 모달 해석 및 실험을 통해 가동부 강성을 증가시킬 수 있는 가동부 구조를 도출하도록 하여 2 차공진(2<sup>nd</sup> resonance) 주파수가 서보계의 차단 주파수(cut-off frequency)의 5 배 수준까지 확보되도록 하였다.

## 2.2 시뮬레이션(Simulation)

상기 2 개 대물렌즈를 장착한 액추에이터의 동 특성을 설계 단계에서 검토하고 이 결과 나타난 문제점을 해결하기 위한 목적으로 강체 모우드 (rigid body mode) 해석, 가동부 모우드 해석, 자기회로 해석 등을 수행하였다. 먼저 강체 모우드 (rigid body mode) 해석의 경우에는 표 2 에 나타낸 바와 같이 포커스 및 트랙 공진주파수를 확인할 수 있을 뿐만 아니라 가동부의 롤링 (rolling), 피칭(pitching), 요잉(yawing)에 관련된 모우드가 나타나는 주파수를 확인하는 것이 가능하므로 부공진(sub-resonance)에 관련된 민감도 및 주파수 위치를 예측할 수 있다.

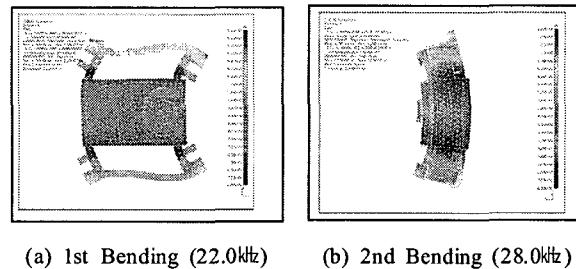
Table.2 Rigid body modes analysis of the twin-objective and one-objective actuator

Modes	Frequency[Hz]	
	twin-objective	one-objective
focus	67.9	69.8
track	68.1	69.8
Y_rotation	114.6	141.5
X_rotation	2985	4594
Y_translation	6150	6765
Z_rotation	7365	9096

표 2 에 2 매 대물렌즈 장착 액추에이터와 1 매 대물렌즈를 장착한 액추에이터의 강체 모우드 (rigid body mode) 해석 결과를 나타내었는데 상대적으로 2 매 대물렌즈 장착 액추에이터의 주파수 특성이 나빠졌음을 확인할 수 있다. 그 원인은 2 매 대물렌즈 장착 액추에이터의 경우 가동부 크기 및 질량 관성 모멘트값이 1 매 대물렌즈를 장착한 액추에이터에 비해 크기 때문이다. 따라서 2 매 대물렌즈 장착 액추에이터의 경우에는 이러한 회전 모우드와 관련된 부공진을 야기할 수 있는 부품공차 혹은 조립공차의 편차 크기가 1 매 대물렌즈 장착 액추에이터의 편차 크기 대비 42~65[%] 수준으로 엄밀하게 관리되어야 함을 알 수 있다.

둘째, 가동부 모우드 해석의 경우 보빈 혹은 가동부의 유연체 모우드(flexible mode)를 계산하는 작업으로 상기 주파수는 액추에이터 2 차공진 주파수를 결정하기 때문에 반복적인 보빈 형상 변경을 하고 이에 따른 2 차공진 주파수 계산을 수행하여 초기 설계치보다 약 3.0[kHz] 높은 주파수로 2 차공진(2<sup>nd</sup> resonance) 주파수를 이동시켰으며, 최종적으로 그림 3 과 같은 가동부 유연체

모우드(flexible mode) 해석 결과를 도출하게 되었다.



(a) 1st Bending (22.0kHz)      (b) 2nd Bending (28.0kHz)

Fig.3 Flexible mode analysis of moving part

마지막으로 자기회로 해석의 경우 포커스 및 트랙 방향 구동시 필요한 추력의 선형성 및 크기 달성 여부를 확인하기 위한 작업이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 초기 설계된 자기회로에 대한 치수 변경을 통해 힘의 불균형 발생, 누설 자속(leakage flux)의 발생을 최대한 억제할 수 있도록 하고, 포커스 및 트랙 방향으로 충분한 추력 발생이 가능하도록 하기 위해 포커스 및 트랙 자기회로를 분리하며, 각각 분극 마그네트를 사용하도록 하였다. 그림 4 에 액추에이터의 자기회로 구조를 나타내었고, 그림 5 에 포커스 및 트랙 자기회로 해석 결과를 나타내었다.

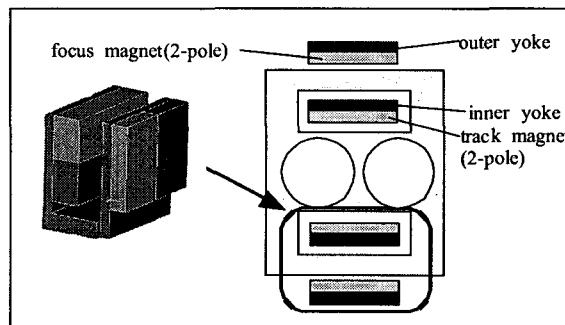
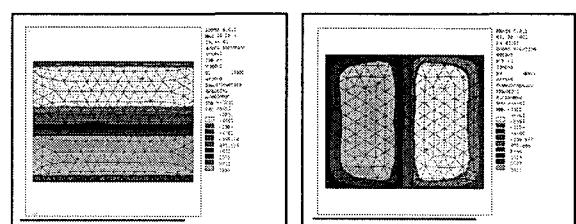


Fig.4 Magnetic circuit using two 2-pole magnets



(a) Flux density distribution in focusing magnet circuit

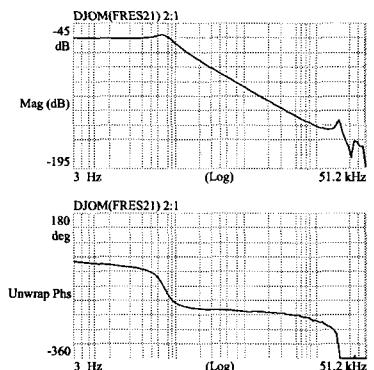
(b) Flux density distribution in tracking magnet circuit

Fig.5 Magnetic circuit analysis of focusing & tracking directions

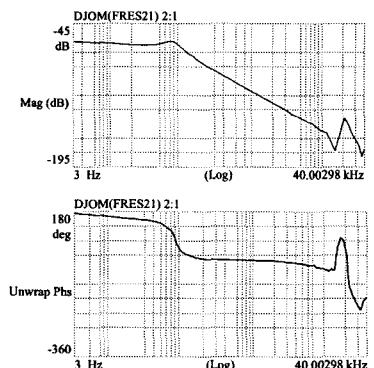
### 3. 제작 및 실험

#### 3.1 제작 및 실험

상기 설계 및 시뮬레이션 과정을 거쳐 제작된 2 개 대물렌즈 장착 액추에이터에 대한 포커스 및 트랙방향 보드 선도(bode plot) 측정 결과를 그림 6에 나타내었다. 그리고 조립, 측정된 액추에이터 성능값은 표 3에 나타내었다.



(a) Bode plot in focusing direction



(b) Bode plot in tracking direction

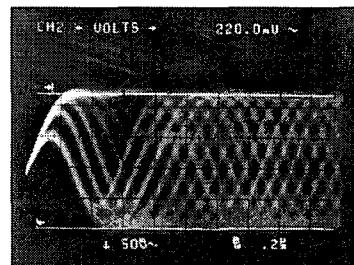
Fig.6 Bode plots in focusing & tracking directions

Table.3 Dynamic characteristics of the twin-objective actuator

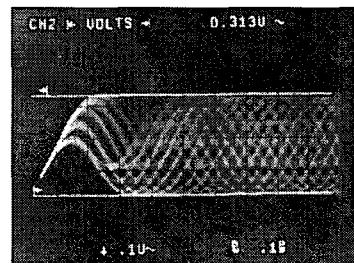
Items	Performance
F DC sensitivity(mm/V)	0.9
C AC sensitivity(G/V)	12.4
S 2nd resonance frequency(kHz)	20.6
K peak level in 2nd resonance(dB) [Gain difference 2nd resonance and 1kHz]	36.8
T DC sensitivity(mm/V)	0.6
R AC sensitivity(G/V)	7.2
R 2nd resonance frequency(kHz)	20.6
K peak level in 2nd resonance(dB) [Gain difference 2nd resonance and 1kHz]	36.7

그림 6 과 표 3에 나타낸 바와 같이 상기 액추에 이터는 포커스 12.1[G/V], 트랙 7.6[G/V]의 AC 감도 특성과 20.6[kHz] 크기의 2 차공진 주파수 특성, 1[kHz] 를 기준으로 한 2 차공진 피크값의 개인마진(gain margin) 특성값이 37[dB] 수준으로 HD-DVD 2 배속, DVD 12 배속, CD 32 배속 대응이 가능한 감도 및 2 차공진 주파수 특성을 확보하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 상기 2 개 대물렌즈를 장착한 액추에이터를 적용한 HD-DVD 광업을 통해 CD 및 DVD 재생이 가능함을 확인할 수 있다.

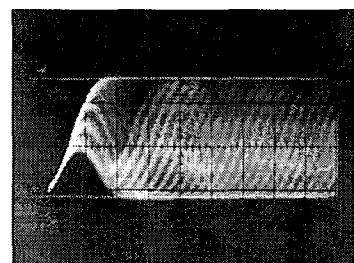
그리고 상기 액추에이터를 적용한 광픽업을 통해 CD, DVD 와 HD-DVD 에 대한 지터값(jitter value, data to clock)을 측정한 결과는 그림 7에 나타내었다.



(a) CD



(b) DVD



(c) HD-DVD

Fig.7 Eye patterns of CD, DVD and HD-DVD

CD 의 경우 10[%], DVD 의 경우 7.2[%], HD-DVD 의 경우 15[nsec]를 나타내었다. 상기 지터값을 측정하는 과정에서 사용된 HD-DVD 시스템 사양은 디스크상의 트랙 피치(track pitch) 0.32[ $\mu\text{m}$ ], 최소 피크길이(minimum pit length) 0.32[ $\mu\text{m}$ ]이고 EFM+ modulation method 를 적용하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 HD-DVD 뿐만 아니라 CD 및 DVD 재생이 가능한 HD-DVD 픽업을 구성하기 위해 액추에이터 가동부에 2 개의 대물렌즈를 레이디얼 방향으로 장착한 액추에이터를 설계, 제작하였다. 그리고 상기 액추에이터는 상당히 높은 크기의 AC 감도 및 2 차공진 주파수를 확보하고 있음을 성능 평가를 통해 확인하였다. 최종적으로는 상기 액추에이터를 장착한 HD-DVD 픽업으로 지터값 특성 결과를 도출하여 HD-DVD 픽업에서 CD 및 DVD 재생이 가능함을 제시하였다.

#### 참고문헌

- (1) Isao Ichimura et al., 2001, "In-Groove phase-change optical recording for a capacity of over 24GB", Technical Digest of ODS'01, pp.139-141
- (2) Tae Kyung Kim et al., 2001, "NA 0.85 3-element objective lens", Technical Digest of ISOM'01, pp.262-263
- (3) Chul Woo Lee et al., 1996, "A Compact Disc Compatible Digital Video Disc Pickup Using Annular Mask", Technical Digest of ODS'96, pp.348-350
- (4) G Bouwhuis et al., 1986, Principles of Optical Disc Systems, Adam Hilger Ltd., Bristol and Boston.