



1. 머리말

비 접촉식으로 정보를 읽고 쓰는 광디스크는 고밀도의 정보를 정확하게 읽고 쓰기 위해 광 스폿을 디스크에 잘 집광 시키고 동시에 정보 트랙을 추종하는 것이 중요하다. 여기에 최근에는 고밀도화의 진행에 의해 광디스크에서 요구되는 광 스폿의 추종 오류도 훨씬 작아지고 추종속도에서도 고속화가 진행되어 왔다. 이러한 고밀도화, 고속화뿐만 아니라 소형화의 가속에 따라 대물렌즈를 위치시키는 액추에이터의 역할이 중요해지고 있다. 또한 디스크에 대한 렌즈의 평행도 오차로 발생하는 콤팩 수차로 인한 데이터 오류를 감소시키기 위한 틸트 기능의 추가로 기능의 확장도 이루어지고 있다.^(1~4)

본고에서는 액추에이터의 기본적인 동작원리를 설명하고, 형태와 특성에 따라서 분류하여 그 특징을 소개하였다. 그리고 최근의 기술개발 동향을 소개하고 향후의 발전 방향에 대해서 기술하고자 한다.

2. 액추에이터의 동작 원리와 분류

디스크가 포커스 혹은 트랙 방향으로 어떤 주파

* E-mail : kimkwang@samsung.com

수 성분을 가지며 흔들림이 있는 경우 서보 루프를 포함한 액추에이터는 항상 원하는 디스크 트랙상에 초점이 맺히도록 하는 역할을 수행하게 된다. 이러한 역할을 수행하는 액추에이터의 구동 원리와 종류를 설명하고 각각의 장단점을 비교한 후 가장 일반적인 와이어 스프링 지지방식에 대해서 좀 더 자세히 설명한다.

2.1 구동 원리

상용화된 광디스크 드라이브에서 액추에이터의 구동 방식은 그림 1과 같이 대부분 전자기력의 원리를 이용하고 있다. 즉 코일과 자석에 의한 전자기회로의 구성으로 가동부를 코일 또는 영구자석으로 선택할 수 있다. 액추에이터는 포커스 방향과 트랙 방향으로 병진운동이 가능하도록 되어 있으며, DVD의 출현으로 렌즈의 틸트를 위한 회전운동이 필요한 경우도 있다. 영구자석 자계에 의한 가동코일의 형태로 운동을 하여 대물렌즈를 포함한 가동부를 원하는 위치로 이동시키는 역할을 하게 되는데, 이때 발생하는 힘(추력)을 크게 하기 위해 그림 2와 같이 코일에 작용하는 자속 밀도와 유효코일 길이를 크게 할 필요가 있다.⁽⁵⁾ 코일에 공급되는 전류를 크게 하면 좋으나 과열 등의 문제가 발생된다.

유효코일 길이를 크게 하는 방법으로는 그림 3과 같이 영구자석을 다극으로 분극시키는 방법이

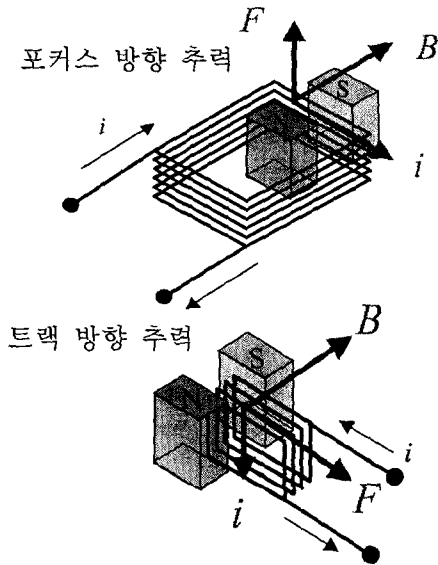
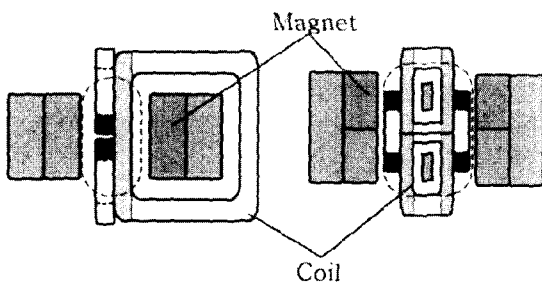


그림 1 액추에이터의 추력(F)의 개념



점선내의 영역이 유효면적

그림 2 코일의 유효 면적 설계

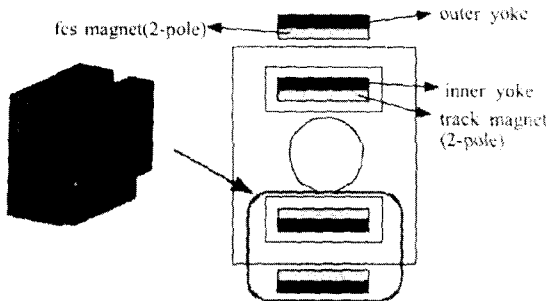


그림 3 분극 자석을 사용한 자기회로

사용되어 왔으며,⁽⁶⁾ 코일과 영구자석간의 간극을 최소화시키기 위해 그림 4와 같은 평판코일이 등장했고 자속 밀도를 증가시키기 위해서 자기회로를 폐회로로 구성하는 방법도 사용되어 왔다.⁽⁷⁾ 이때 각 방향의 운동이 다른 방향의 운동에 영향을 미치지 않도록 자기회로의 간섭과 기구적인 독립적 운동이 필수적이며, 간섭 운동에 의해 부공진이 발생된다. roll, pitch, yaw의 발생이 그 원인이며 고주파 대역에서 제어에 나쁜 영향을 준다. 이를 줄이기 위해 렌즈를 포함한 가동부의 질량중심, 추력의 작용점, 가동부의 지지 위치를 일치하도록 하는 것이 중요하며, 조립 공정에서 야기되는 이러한 요소들의 불일치에도 부공진의 발생이 적어지도록 강건한 설계를 하는 것이 관건이다.⁽⁸⁾

2.2 액추에이터의 분류

크게는 가동부 운동 형태에 따라 구분되며 축섭동 방식과 스프링 지지 방식으로 분류된다. 전자는 충격에 안정적이고 운동의 간섭이 없어 고속가감속 액세스에 대한 렌즈 흔들림을 방지할 수 있으므로 안정된 제어가 가능하나 축과 축수의 관리가 필요하다. 스프링 지지 방식의 형태에 따라 힌지 스프링 방식과 와이어 스프링 지지 방식으로 분류되며, 많은 액추에이터는 와이어 지지방식을 채택하고 있다. 가동부의 종류에 따라 코일이 움직이는 방식과 자석이 움직이는 방식이 있다. 전자는 코일의 전류 공급이 와이어 스프링에 의해서

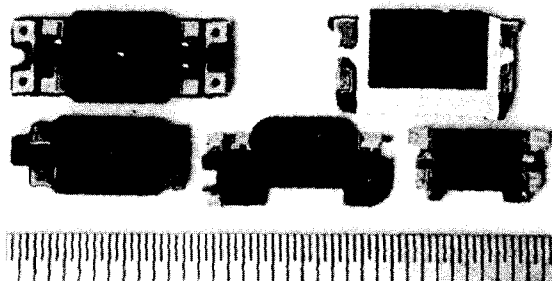


그림 4 각종 평판 코일

특집 광디스크 드라이브의 진동 기술

만 공급되며, 후자는 가동부의 강성을 높일 수 있으며, 전류의 공급 방법이 유리하나 가동부의 질량이 전자에 비해 증가하게 된다. 또한 자기회로와 렌즈의 위치에 따라 대칭형과 비 대칭형으로 분류되며, half height 드라이브에 사용되는 액추에이터는 주로 대칭형이, slim 드라이브에서는 공간상의 제약으로 비대칭형의 자기회로가 많이 적용되며, 앞서 설명한 3중심점(무게 중심점, 힘 중심점, 지점 중심점)이 일치되도록 설계되어야 한다.(그림 5)

와이어 코일 가동형 스프링 지지방식의 구조에 대해서 좀더 자세히 설명한다. 가동부를 지지하고 있는 서스펜션(와이어 스프링)은 일반적으로 탄성을 갖고 있으며, 가동부의 위치는 자기력과 서스펜션의 탄성력의 평형점에 위치하게 된다. 또한

서스펜션은 가동부 운동의 안내기구로서 가동부의 운동 궤적을 결정한다. 따라서 이러한 기구학적인 설계에 의해 의도적인 가동부의 운동을 변화시키는 것도 가능하다. 서스펜션은 강성과 함께 감쇠 특성을 갖는데 원하는 주파수 특성을 갖도록 설계를 하여야 하며 가동부는 서로 수직인 두 방향인 포커싱과 트래킹 방향으로 병진 운동을 하고, 회전이나 비틀림과 같은 불필요한 진동이 없이 운동이 이루어지도록 하여야 한다. 감쇠를 주는 방법으로는 서스펜션의 고정단 주위에 댐핑재를 추가하는 방식, 와이어에 고무 댐퍼등을 설치하는 방식과 서스펜션 자체에 댐핑 재료를 코팅하는 방법이 있다.

3. 액추에이터의 성능

액추에이터 성능은 크게 2가지로 구분할 수 있는데 주파수 전달함수 특성을 의미하는 기본특성과 불필요한 진동특성에 의해 대물렌즈를 포함한 광학계의 성능 열화를 야기시키는 회전(rotation)을 의미하는 안정특성으로 구분할 수 있다. 여기서 액추에이터의 기본특성 사양은 서보 제어기와 관련된 특성값인 감도, 2차 공진 주파수, 부공진 특성 등이 광기록/재생 시스템의 요구 수준을 만족하도록 해야 하며, 안정특성 사양은 광학계와 관련된 특성값인 회전(rotation) 현상이 야기하는 콤팩트차로 인한 광 기록 및 재생 특성의 열화를 허용할 수 있는 크기로 규제 혹은 제어될 수 있도록 하여야 한다. 일반적으로 재생 전용인 CD-ROM 혹은 DVD-ROM 등의 드라이브는 우수한 기본특성을 가지기 위한 노력이 경주되고 있는 반면에 기록용인 DVD+RW, DVD-RW, DVD-RAM 등의 DVD 기록용 드라이브인 경우에는 광학적 마진 확보가 재생 전용 드라이브에 비해 크지 않기 때문에 회전량을 줄이기 위한 다양한 노력이 시도되고 있다.

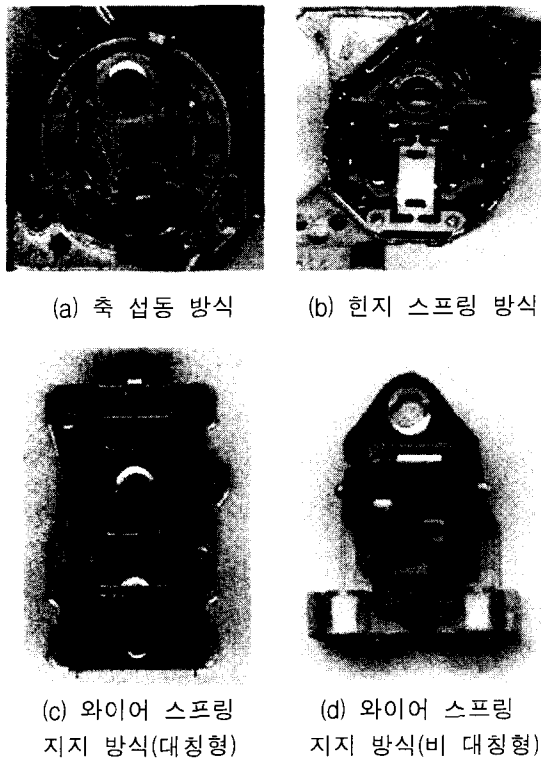


그림 5 각 종의 액추에이터

액추에이터 기본특성에 대해 먼저 살펴보기로 한다. 액추에이터는 서보 제어기와 연계되어 CD-ROM, DVD-ROM, BD-ROM 등 제반 광기록/재생 시스템에서 디스크에 정보를 기록 또는 재생하기 위한 광픽업의 위치 추종기구로 동작하고 있다. 따라서 디스크의 회전속도, 기록밀도 등이 상이한 시스템에 적용되는 액추에이터의 주파수 특성값은 각각의 시스템에 적합한 크기로 최적화 되어야 할 필요성이 있게 된다. 예를 들어 $C(s)$ 와 $P(s)$ 가 각각 제어기와 제어하고자 하는 플랜트, 즉 액추에이터의 전달 함수라고 하자. 이때 제어 시스템은 제어기와 액추에이터로 구성되게 되며, 이러한 제어 시스템의 주파수 영역 설계 사양은 필요 최소 이득(minimum loop gain), 제어 대역폭, 이득 여유와 위상 여유 등으로 주어진다. 여기서 제어기 설계는 궁극적으로 폐루프(closed loop) 전달 함수가 원하는 주파수 응답 특성을 가지도록 만드는 것이지만 폐루프 이득을 직접 다루기가 쉽지 않기 때문에 대신 개루프 이득(open loop gain)을 이용한다. 그림 6은 광디스크 드라이브

에서 트래킹 서보 시스템의 전형적인 개루프 이득, 즉 $C(s)P(s)$ 의 보드 선도와 이 때의 DC 이득, 제어 대역폭, 위상 여유, 게인여유를 나타낸다. 따라서 액추에이터의 제어기 설계를 통해 구성된 제어시스템(액추에이터 + 제어기)에 대한 개루프 특성을 살펴보고 이 결과를 통해 역으로 제반 광디스크 시스템에 적용되는 액추에이터의 필요특성(예를 들면, DC감도, AC감도, 2차공진주파수, 부공진 특성 등)을 설정하는 것이 가능하다.

표 1은 드라이브별 필요게인 및 차단주파수를 계산한 것으로 배속이 증가함에 따라 최소 필요게인 값과 차단주파수가 증가함을 알 수 있다. 따라서 액추에이터 배속 증가에 따라 가속도가 커지는 디스크를 추종할 수 있도록 하기 위해 감도 증가가 필요하며, 개루프 특성 그래프에서 정의된 게인 마진을 확보하기 위해서는 최소한 차단주파수의 5배 범위 이상으로 2차공진주파수의 고역화가 필요하며, 위상 마진을 확보하기 위해서는 제어 주파수 대역의 최소 3배 범위 이내에서는 부공진의 크기를 15도 이하로 관리해야 한다. 일반적으로

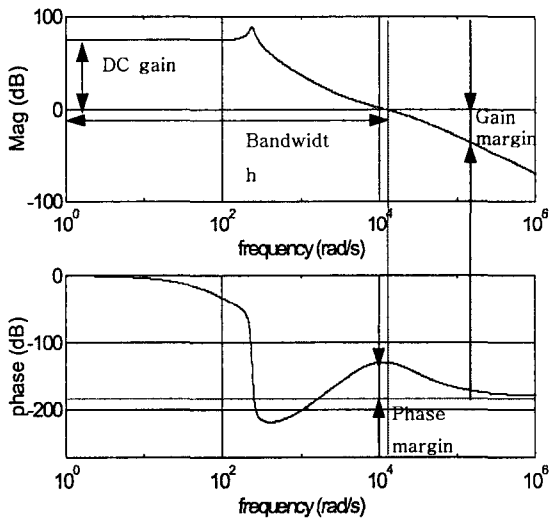


그림 6 광디스크 드라이브에서 트래킹 서보 시스템의 전형적인 개루프 특성

표 1 드라이브별 필요 게인 및 차단주파수

	DVD-ROM 8x	DVD-ROM 12x	BD 1x
Disc size	5.25"	←	5.25"
Track pitch [μm]	0.74	←	0.32
Disc RPM(max)	4596	6895	2345
Eccentricity [μmp]	$\epsilon \leq 35$	←	$\epsilon \leq 35$
Max. accel.[$\%$]	8.10	18.24	1.50
Control resolution[mm]	22.0	←	9.0
Min. DC gain[dB]	64.0	←	68.9
G1 at 200 Hz	47.3	54.4	40.5
Tracking servo bandwidth (f_c)	(f_c) = 5.9 kHz	(f_c) = 8.8 kHz	(f_c) = 3.9 kHz

로 감도 증가를 위해서는 가동부 무게 감소 및 자기회로 최적화 등이 필요하며, 2차공진주파수의 고역화를 위해서는 가동부 강성 증가를 위한 구조 설계 등이 필요하다.

한편 광픽업에서 대물렌즈의 회전 현상으로 인해 광학계의 콤팩트수가 증가하게 되며, 이로 인해 전체 광학계 수차가 증가하여 광기록 혹은 재생 신호의 열화가 야기된다. 그림 7에 광픽업에서 대물렌즈 개구수별 디스크 틸트량과 광학계 수차(RMS OPD) 크기를 나타내었다. 대물렌즈 개구수가 0.6인 DVD 계열 드라이브인 경우 허용 수차인 0.035λ 이하를 가지기 위한 디스크 틸트량이 약 0.2도로 규제되어야 함을 알 수 있다.

4. 최근의 개발 동향

앞에서 언급한 기본 성능이외에도 고배속, 고용량에 따라 DVD-RAM, DVD±R, RW과 같은 DVD 광학적 마진을 확보할 필요가 있게 되었다. 이러한 광학신호의 열화를 보정하기 위해서는 디스크와 대물렌즈간의 상대적인 tilt량을 없애는 방향(광축을 디스크에 수직하도록 보정)으로 보정이 이루어져야 한다. 따라서 액추에이터는 3축 이

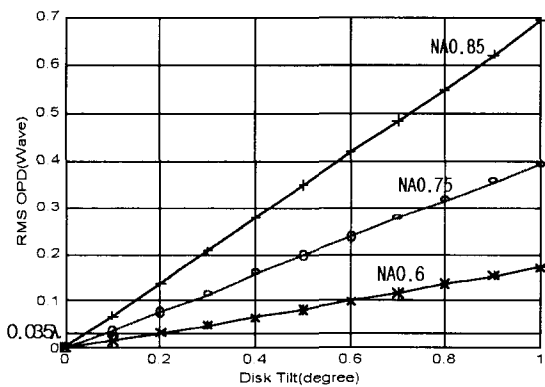
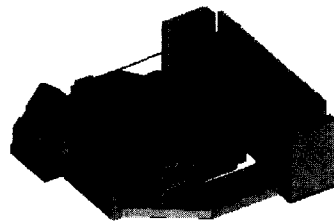
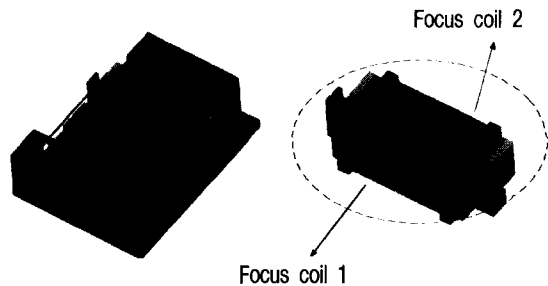


그림 7 광픽업에서 대물렌즈 개구수별 디스크 틸트량과 광학계 수차(RMS OPD) 크기

상의 운동이 필요하게 되었으며 기구학적인 연구도 진행되었다.⁽⁹⁾ 최근에는 그림 8과 같이 half height의 드라이브뿐만 아니라 슬림 드라이브에도 틸트 기능을 부가한 제품이 출시되고 있다. 그 밖에도 성능의 향상과 더불어 휴대성 확보를 위한 드라이브의 소형화는, 드라이브내의 환경온도와 액추에이터 자체의 코일 발열량을 높게 되었고 그림 9와 같이 가동부의 온도가 분포하게 된다. 이러한 고온 온도 조건은 광픽업 액추에이터가 고온 환경에서도 강인한 특성을 갖는 설계를 요구하



(a) Slim tilt actuator



(b) Half height tilt actuator

그림 8 각종 틸트 액추에이터

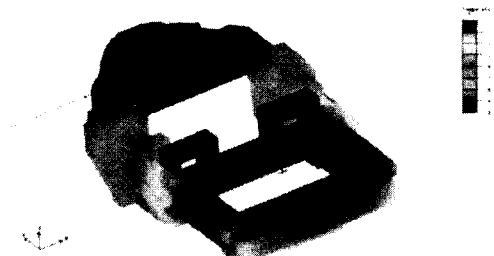
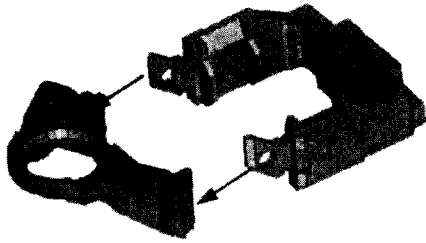
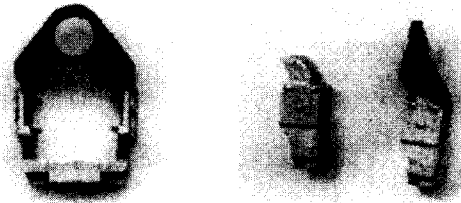


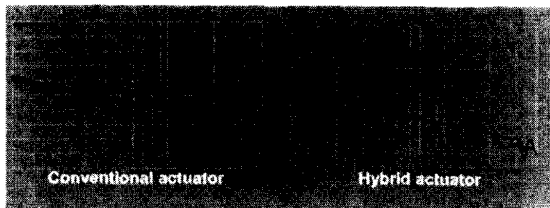
그림 9 코일의 발열에 의한 가동부의 온도



(a) 하이브리드 블레이드의 개념



(b) 마그네슘과 벡트라로 구성된 블레이드



(c) 하이브리드 블레이드의 주파수 변화(우)
그림 10 하이브리드 블레이드와 주파수 특성

게 되었다. 주로 플라스틱 성형에 의해 제작되는 액추에이터의 블레이드(보빈)는 코일발열로 인하여 자체의 온도가 상승시, 강성(elastic modulus) 특성이 열화되어 자체 공진 주파수가 저역으로 이동하는 현상이 발생하여 게인 및 대역 확보(gain margin and servo bandwidth)가 어려우며, 블레이드의 각 부품(대물렌즈, 코일 등)의 손상을 발생하게 하였다. 온도상승이 지나치면 렌즈의 크랙

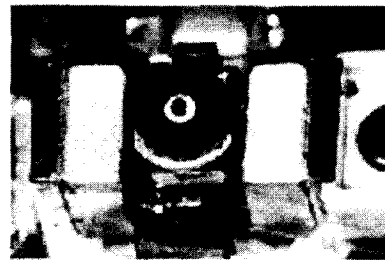
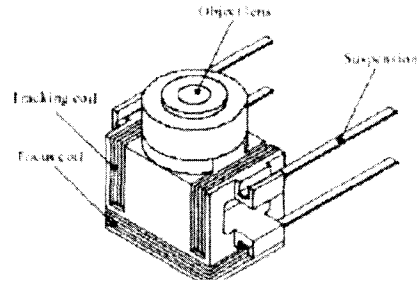
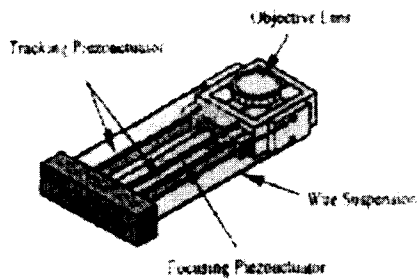
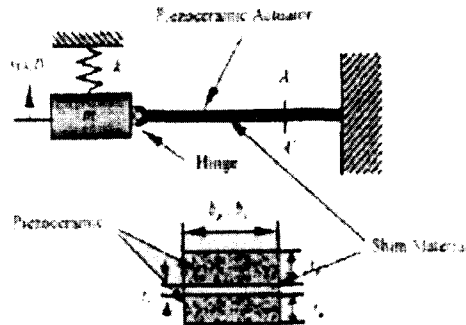


그림 11 DVR-Blue용 소형 액추에이터



(a) schematic configuration



(b) mathematical model (focusing only)

그림 12 Piezo를 이용한 액추에이터

이 발생한다. 이러한 의미에서 방열과 대물렌즈 보호는 상반된 현상을 갖고 있어 그림 10과 같이 2종의 재료를 사용하여 방열, 강성 저하 방지, 대물렌즈 보호를 달성 할 수 있으며, 그 결과를 그림 10에 표시했다.⁽¹⁰⁾

이동형 저장기거나 높은 데이터 전송률을 가지는 저장기에 적용을 위해 그림 11과 같이 블레이드의 내측에 요크가 없는 방식을 채택하여 DVR-Blue에서 소형 대물렌즈를 적용한 2축 구동 액추에이터를 개발하였다. 이 액추에이터는 가동부 무게가 가벼워 100 kHz 이상의 매우 높은 2차공진 주파수 특성을 가지기 때문에 기존 시스템보다 고주파수 대역에서의 위상지연이 억제되어서 보 대역의 확장이 가능하다.⁽¹¹⁾

현재까지 압전소자 액추에이터를 광기에 적용⁽¹²⁾ 하는 데 가장 큰 제약요인은 액추에이터 가동부의 가동거리가 0.5~1 mm로 압전소자를 적용하기에는 가동범위가 너무 크다는 점이며, 또 다른 제약 요인은 압전소자를 구동하는데 필요한 구동전압의 크기가 보통 100 V 수준으로 일반 보이스 코일 모터에 비해 매우 높아서 액추에이터 구동회로의 구성에 제약이 있으나, 보이스코일 모터에 비해 약 1000배 수준의 고정밀성(0.1 mm), 10 배 수준의 고응답성(0.1 m sec)과 큰 발생력을 특징으로 하고 있기 때문에 향후 고밀도, 고속 광기 개발시 활용 가능성이 매우 높다고 생각된다. 현재는 구동전압도 수십 V 이하로 낮아 졌으며, 특히 HDD를 중심으로 많은 연구가 진행되고 있다.

5. 맺 음 말

이 글에서는 광디스크 픽업의 액추에이터에 대해서 개략적인 설명을 하였다. 액추에이터는 드라이브의 고속화, 고밀도화, 소형화에 따라서 크기와 성능이 변해왔으며, 이러한 변화를 결정하는 중요한 역할을 하고 있다.

전자기력이 주도를 이루던 구동원에서도 압전력과 정전기력 등을 이용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

향후 고속화, 고밀도화, 소형화가 더욱 진행되면 방열의 문제, 가동부의 경량화 및 고강성화, 적절한 구동원의 선택 등의 관점에서 접근해야 하리라 본다.

참 고 문 헌

- (1) Kim, S. J., et. al., 2000, "Development of 3-Axis Lens Actuator to Compensate Disc Tilt in HD-DVD Optical Pickup", Proceeding of Satellite ISOM 2000, pp. 83~84.
- (2) Asao, J., Haguruchi, T. and Horinouchi, S., 2002, "High Response Actuator with Tilt Function for 12.7 mm Slim Optical Disc Drives", ISOM/ODS 2002, pp. 326~328.
- (3) Choi, I. H. and Suh, M. S., et. al., 2001, "3-Axis Actuator in Slim Optical Pick-up for Disc Tilt Compensation", ODS 2001, pp.178~180.
- (4) 정호섭, 이호철, 윤용환, 2002, "기록용 고밀도 광디스크를 위한 박형 틸트 구동기", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 788~793.
- (5) 정영민, 이진원, 김 광, 2002, "슬림 광디스크 드라이브를 위한 고감도 3축 구동 액추에이터", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 1000~1003.
- (6) 김석중, 이용훈, 안영만, 정종삼, 2002, "차세대 DVD 시스템용 Actuator 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 777~781.
- (7) Song, B. Y., Jang, D. J. and D. S. Nam, et. al., 2002, "The Actuator for High-speed CD/DVD Rewritable System", ISOM/ODS 2002, pp. 353~355.
- (8) 정덕영, 송병륜, 이영빈, 외 3명, 2002, "광픽

업 액추에이터의 롤링 저감 대책”, 한국소음진동공학회 춘계 학술대회논문집, pp. 368~372.

(9) Kim, K., Kim, D. H., Lee, J. W. and Cheong, Y. M., 2002, “Design and Development of Three-Axis Actuator for Slim Optical Pick-up”, 2002yr JSME Annual Meeting, Vol. 5, pp. 57~58.

(10) 이진원, 정영민, 김 광, 2002, “하이브리드형 광픽업 액추에이터의 고온 특성”, 한국소음진동

공학회 추계 학술대회논문집, pp. 1010~1014.

(11) Hashimoto, G., et. al., 2001, “A Miniture Two-Axis Actuator for DVR-Blue”, ISOM 2001, pp. 28~29.

(12) Choi, S. B., et. al., 2000, “Positioning Tracking Control of an Optical Pick-up Device Using Piezoceramic Actuator”, Smart Structures and Materials 2000, pp. 370~376.