

차세대 광디스크용 레버 구동기의 설계

한창수* (한국기계연구원), 김수현** (한국과학기술원)

Design of lever actuator for the next generation optical disk

Chang Soo Han* (KIMM) and Soo Hyun Kim** (KAIST)

ABSTRACT

The demands of high data transfer rate and high recording density in optical disk memory device are being increased. In order to achieve high performance, lever actuator for optical disk is proposed. Firstly, the role of lever and structure are discussed and the flexure hinge is introduced to enhance the precise movement. Next is to present the magnetic circuit structure and concept design for the lever actuator. Finally, the dynamic modeling of the lever actuator is found and the analysis results are shown. Consequently, the lever actuator shows the possibility as a pickup actuator for the next generation optical disk.

Key Words : Optical disk (광디스크), Pickup actuator (픽업 구동기), Lever actuator (레버 구동기), Flexure hinge (탄성 힌지), High-speed (고배속), High-density (고밀도)

1. 서론

멀티미디어의 발달과 더불어 데이터 저장에 있어서 대용량화, 고속화가 요구되고 있으며, 저장 매체의 하나인 광디스크의 경우도 이 두 가지를 기본적인 개발방향으로 하여 많은 연구가 진행중이다⁽¹⁾. 1990년도 후반에 등장한 DVD (digital versatile disk)는 이를 반영한 광디스크 장치로서 디스크 1장에 영화 1편에 해당되는 동영상을 저장하기 위해 기존 CD에 비해 고밀도와 고배속의 성능을 구현하였다⁽²⁾. 또한 CD-ROM (compact disk read only memory)에서는 데이터 전송 속도를 올리기 위한 배속향상의 경쟁이 계속되고 있다. 이 외에도 기록 밀도를 높이기 위한 청색레이저의 개발, 다중빔을 이용한 고배속에 관한 연구 등이 활발히 진행되고 있다. 이러한 고배속화 및 고밀도화에 부응하기 위해서는 기존에 사용되는 구동기보다 우수한 성능을 가진 픽업 구동기가 요구된다. 본 논문에서는 차세대에 적합한 광디스크용 레버 구동기를 제안하였다.

이 구동기는 기존에 사용되어 오던 구동기들의 장점인 고정밀 이송, 외란에 대한 안정성, 높은 가속도를 가지고 있다. 또한 경사에 대해 능동적으로

대처할 수 있는 구조로의 변경이 용이한 장점을 가지고 있다.

2. 레버 구동기의 설계

2.1 기존의 광 픽업 구동기

광 디스크 장치에 사용되는 구동기로는 지지 방법에 따라 크게 외팔보 방식과 축 회전 방식으로 나눌 수 있다. 외팔보 방식은 대물렌즈를 포함하는 가동부가 고정단과 스프링 방식으로 지지한 것이며, 축회전 방식은 축을 중심으로 상하 운동과 회전 운동을 하는 것이다. Figure 1은 각각 외팔보 방식의 대표적인 구동기인 4-wire 구동기와 축회전 구동기의 대표적인 구동기를 보여준다.

광 픽업 구동기에 있어서 디스크의 고밀도화에 따라 향상되어야 할 성능 변수로는 경사량과 구동 선형성을 들 수 있다. 그리고 고배속화에 따라 개선되어야 할 성능으로는 외란에 대한 안정성 및 구동 가속도이다. 이러한 네 가지의 성능 변수는 차세대의 고밀도 및 고배속용 광 픽업 구동기를 설계하는 데 있어서 유용한 설계 및 평가 기준이 될 수 있다⁽³⁾.

이 네 가지 성능 변수의 관점에서 기존의 대표

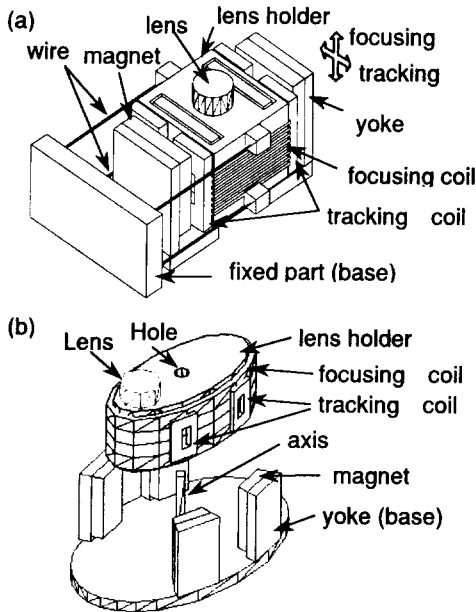


Fig. 1 The kinds of pickup actuator (a) 4-wire type (b) rotary and axis type

적인 외팔보 방식의 구동기인 4-wire 구동기와 축회전 구동기를 표 1에 비교하였다.

Table 1. comparison of two kinds of pickup actuator

	4-wire	축회전
경사량	△	◎
구동 선형성	◎	X
외란 안정성	X	◎
구동 가속도	○	○

◎: 아주 좋음, ○: 좋음, △: 보통, X: 나쁨

두 구동기에서 4-wire 방식은 구동 선형성에 있어서 확실한 우위에 있으며, 축 회전의 경우는 외란 안정성과 경사량 측면에서 비교 우위에 있다. 위 두 구동기에 대한 상세한 정량적인 비교는 이전의 연구에서 소개하였다⁽³⁾. 결과적으로 고밀도 및 고배속을 추구하는 차세대 광디스크용 구동기로서 위의 두 구동기는 매우 불리한 구조임을 보여주고 있다. 이 외에도 조립성, 원가 등 비교할 항목이 더 있지만 각 제조회사의 축적된 기술력, 지적 재산권 등을 고려하여 선정하게 된다. 대체적으로 고배속의 경우는 축 회전형이 유리하고, 고밀도의 경우는 4-wire 형이 유리하다고 할 수 있다.

2.2 레버구동 방식과 기본 구조

레버 구조는 Figure 2와 같이 사용되는 주요 목적이 변위를 확대하거나 힘을 증폭하기 위한 것이

다. 특히 피에조(piezo) 구동기와 레버 구조를 이용한 변위 확대 기구는 산업계의 여러 장치에 많이 적용되었다^{(4),(5)}. 그러나 피에조 구동기는 히스테리시스, 작은 구동범위, 고전압 구동 등 아직까지 저가의 상용화 제품에 적용하기에는 어려움이 많다.

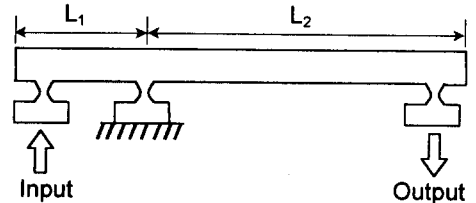
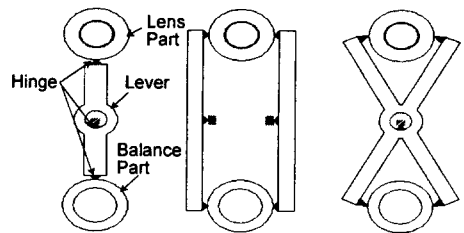


Fig. 2 The moving principle of a lever structure

이러한 피에조 구동기의 변위확대를 위해 사용되는 레버 구조와 코일-자석을 이용한 구동 방식인 VCM (Voice coil motor)를 결합한 구조가 레버 구동기이다. 이 때 광디스크용 픽업 구동기용으로 사용되는 레버 구동기의 주 목적은 변위 확대 보다는 외란에 대한 안정성과 구동 선형성을 동시에 향상시키기 위한 것이다. 본 논문에서 고려한 구조는 Fig. 1에서 $L_1=L_2$ 인 경우이다. 즉 변위 확대나 축소가 없이 입력단에서 들어오는 변위를 출력단으로 전달하는 구조이다. 이 때 일반적으로 입력단의 변위가 손실 없이 출력단으로 전달되기 위해서는 연결부의 강성이 매우 커야 한다. 그리고 구동기 전체의 구동 강성은 작아야 하므로 입력단과 출력단 그리고 중앙의 고정단에서는 연성이 큰 탄성 힌지를 사용한다.

Figure 3은 레버의 개수에 따른 구성 가능한 광디스크용 픽업 구동기의 개략도를 보여준다.



(a) 일자형 (b) 양팔형 (c) X자형

Fig. 3 레버의 배치에 따른 개략도

위의 구조에서 구조적으로 안정되고 대칭인 구조를 가지는 양팔형이 광디스크용에 가장 적합한 구조로 판단된다.

Figure 4는 양팔형의 경우에 대해 레버와 힌지의 여러 가지 연결 방법들을 보여준다. 이 세가지 배치 방식은 구동기가 2축으로 구동할 때, 힌지 부분에서 받는 모멘트나 힘의 방향이 달라지게 되는 것 이외에는 큰 차이가 없다. 따라서 이 세가지는 모두 광 디스크용 구동기의 레버 배치 방식으로 적용 가능하다고 볼 수 있다.

다음은 각 레버에 달려있는 힌지의 종류에 관한 것이다.

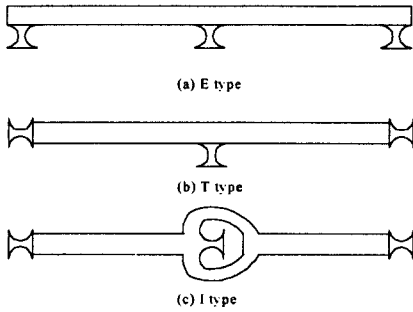


Fig. 4 Arrangement between the lever and the hinge

레버가 탄성 힌지의 종류에 따라 어떤 특성을 가지는 지에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다^{(6),(7)}. Figure 5 는 많이 사용되어지는 힌지의 종류를 나타낸 것이다.

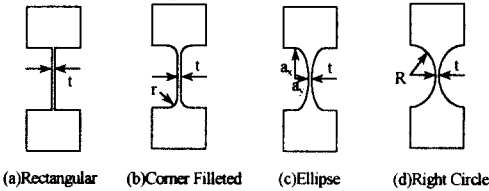


Fig. 5 The kinds of flexure hinge

이렇게 Fig.3, Fig.4, Fig.5 에서 제시한 여러 배치 방법에 따라 조합하면 많은 형태의 레버 구동기를 구성할 수 있다. 이 중에서 본 논문에서는 광 디스크용 구동기에서 중요한 구동 안정성, 대칭성, 고정밀 이송 특성을 고려하여 양팔형, E type, 원형(right circle) 힌지를 선정하였다.

2.3 레버 구동기의 개념 설계

광디스크용 레버 구동기를 설계하기 위해서는 위의 지지(suspension) 구조와 더불어 자기 회로의 구조를 구상해야 한다. 자기회로는 Figure 6 과 같이 구성하였다.

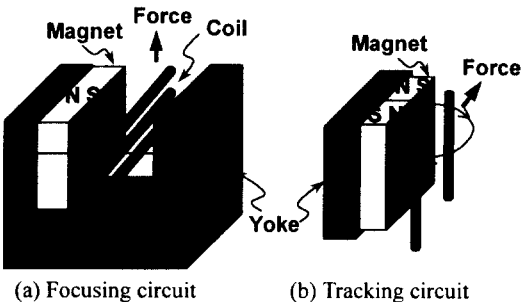


Fig. 6. the magnetic circuit of the lever actuator

이러한 자기회로는 기존의 구동기에서 많이 사용되는 것으로서 본 논문에서는 트래킹 구동기와 포커싱 구동기의 자기 회로를 분리해서 상호간의 간섭을 최소화하였다.

Figure 7 은 제안된 자기회로와 레버의 지지구조를 포함하는 광디스크용 구동기의 개념도이다.

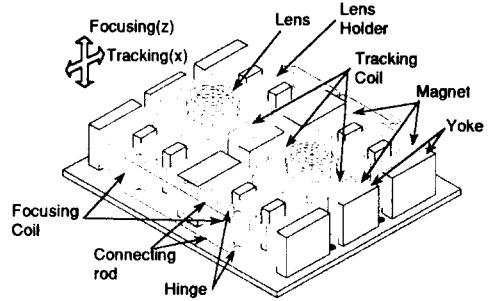


Fig. 7. Concept design of the lever actuator

설계된 구동기는 4 개의 포커싱 코일과 4 개의 트래킹 코일, 4 개의 레버와 각 레버에 3 개의 원형 힌지를 가진 구조이다. 그리고 렌즈를 구동하는 렌즈부에 대해 반대편에도 중량 평형 및 가공의 용이성을 위해 같은 형상의 구동부를 배치하여 대칭적인 구조를 가지도록 설계하였다. 이러한 형태의 구동기는 한쪽의 렌즈는 DVD 용, 다른 한쪽은 CD 용으로 사용하는 CD/DVD 겸용 픽업으로도 사용할 수 있다. 구동 방법은 한쪽 렌즈부의 포커싱 코일에 전류를 가해서 렌즈부가 위로 구동할 때, 반대편의 구동부는 아래방향으로 구동하게 된다. 트래킹 방향도 마찬가지로 한쪽 렌즈부가 오른쪽으로 이동하면 반대편 구동부는 왼쪽으로 구동하게 된다. 이 두 구동부의 중앙부는 지렛대와 고정 되어있다. 이 때, 연결 부재(connecting rod)의 강성이 힌지에 비해 상대적으로 크게 하기 위해서는 연결 부재의 폭과 두께를 적절히 선택하면 된다.

2.4 레버 구동기의 모델링 및 분석

개념 설계한 레버 구동기를 1 축 구동방향에 대해 모델링하면 다음 Fig. 8 과 같이 나타낼 수 있다.

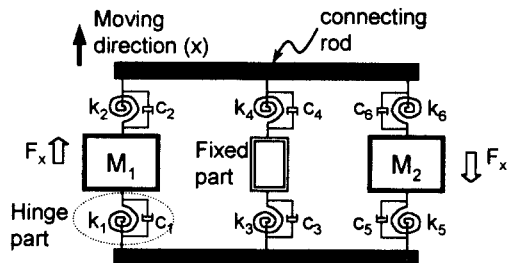


Fig. 8. The dynamic modeling of the lever actuator

모델링은 위 개념도를 개략적으로 묘사한 것으로서 M_1, M_2 는 가동부의 중량, k_1, \dots, k_6 와 c_1, \dots, c_6 는 각각 탄성 힌지의 강성 및 감쇠계수를 나타낸다. 이 시스템은 중앙의 고정부(fixed part)를 중심으로 시소와 같이 움직이게 되며, 포커싱과 트랙킹의 두 방향으로 모두 동일하게 모델링 할 수 있다.

위 모델에서 힘은 각 구동부에 짝힘의 형태로 작용하고, 모든 힌지가 동일한 형상이라고 하면 운동 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$(M_1 + M_2)\ddot{x} + 6c\dot{x} + 6kx = 2F_x \quad (1)$$

이 때, $c=c_1=\dots=c_6$, $k=k_1,\dots,k_6$ 이고, F_x 는 x 방향으로 가해진 힘을 나타낸다. 이러한 구조는 기존에 광디스크에서 많이 사용되어온 구동기와 같이 각 구동 방향에 대해 2 차 시스템의 특성을 가지므로 제어가 용이한 특성을 가진다.

또한 Fig. 8 에서 고정부에 외란이 유입되었을 때, 연결 부재에 매달려 있는 두 개의 중량은 서로 동적으로 발란스를 유지하게 되어 연결 부재의 강성이 매우 클 때, 외란에 의한 고정부에 대한 상대적 흔들림이 없게 된다.

이와 같이 레버형 구동기는 4-wire 구동기와 같이 마찰이 없으므로 구동 선형성이 우수하며, 동시에 축 회전형과 같이 외란에 의한 영향을 받지 않는 장점이 있다. 또한 양쪽으로 구동하기 때문에 구동 가속도를 높이는 데 용이하며, 자기 회로의 구성과 배치에 따라 경사 방향 구동을 위한 설계 변경을 쉽게 할 수 있다. 이러한 성능들은 차세대에 요구하는 픽업 구동기에 매우 적합한 것으로 판단되며, 레버형 구동기가 고밀도 및 고배속을 위한 구동기로서 적합함을 보여주는 것이다.

추후의 연구로는 각 힌지 부분에 대한 이론적인 해석을 수행하여 구동기의 강성을 구하는 식을 정립하고, 유한요소법을 이용하여 이러한 해석 결과의 타당성을 검토한 후, 샘플을 제작하여 그 성능을 테스트할 것이다.

3. 결론

기존에 널리 사용되고 있는 구동기는 고밀도화 및 고배속화 되는 차세대 광디스크용 픽업 구동기에서 요구되는 성능을 만족하기 어려운 구조로 되어있다. 따라서 기존 구동기의 장점을 결합한 레버형 구동기를 제안하였다. 이 레버형 구동기는 마찰이 없이 구동하므로 구동 선형성이 우수하고, 중량 평형된 구조를 가지고 있으므로 외부의 외란에 대해 안정된 구조를 가지고 있다. 또한 구동 가속도와 경사량 측면에서도 설계에 따라 기존의 구동기에 비해 우수한 성능을 낼 수 있도록 고안되어 있다. 본 논문에서는 이러한 레버 구동기의 가능한 여러 구조

들을 제시하고, 제시된 것을 조합하여 광디스크용 픽업 구동기로서의 가능성을 검토하였다. 또한 한 예로 개념 설계한 픽업용 레버 구동기를 보이고, 그 동적 모델링을 하였다.

결론적으로 레버형 구동기는 차세대 광디스크용 픽업 구동기에 요구되는 성능을 만족하는 구동기로서의 충분한 가능성을 가진다고 볼 수 있다. 그리고 추후의 연구를 통해 상용화가 가능한 차세대용 레버형 구동기를 개발하고자 한다.

참고문헌

1. Shozo Saegusa and Shinobu Yoshida, "Mechatronics in optical head mechanism," Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 31, No.3, pp. 172 -176, 1997.
2. Masahara T. et al., "Special report (DVD vies with VOD)," NIKKEI Electronics, pp. 50 - 50, May 1990.
3. 한창수, 김수현, "고배속 및 고밀도 광 픽업 구동기를 위한 설계변수의 고찰," 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp31-34, 2000.
4. T. Tojo, K. Sugihara, "Piezoelectric-driven turntable with high positioning accuracy(1st repost) - operation principle and basic performance," Bull., JSPE, Vol.23, No.1, pp67-71, 1989.
5. F.E. Scire and E.C. Taegue, "Piezodriven 50- μ m range stage with subnanometer resolution," Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 25, No. 4, pp315-320, 1991.
6. J.M. Paros and L. Weisbord, "How to design flexure hinge," Machine Design, No. T-27, pp151-157, 1965
7. Renyi Yang, Musa Jouaneh, and R. Schwiezer, "Design and characterization of a low profile micropositioning stage," J. Precision Eng., Vol.20, pp20-29, 1996