

본 논문은 호서대학교 공업기술연구소의 일부 지원을 받아 작성되었으므로 감사드립니다.

4세대 박형 CD 광학 픽업 개발

최영석*, 김성근**

Development of the 4th Generation CD Optical Pick-up with Small Thickness

Y.S. Choi* , S.K. Kim**

ABSTRACT

The 3rd generation optical pick-up used popularly in resent years is composed of many optical and electronic components such as laser diode, photo diode, beam splitter, objective lens, grating lens, concave lens, collimator lens etc. Therefore, the design of its optical system and its main base which the said optical and electronic components are set on, is complicated and needs high precision. Its assembly and adjustment in the production line is also difficult. This complication and the demand of high precision get its production cost to be high and its reliability to be low. In this paper, the 4th generation optical pick-up is designed and developed, with the hologram device which laser diode, photo diode, beam splitter, and grating lens are integrated in. This optical pick-up reduces the number of points of adjustment by 3, compared with the 3rd generation optical pick-up of which the number of points of adjustment is 6. This optical pick-up also decreases by 4 the number of points of UV bonding to have bad influence on environmental reliability, decreases by about 10 the number of parts, and establishes about 20% cost-down of material cost, compared with the 3rd generation optical pick-up.

Key Words : Compact Disc(콤팩트 디스크), Optical Pick-up(광학 픽업), Objective Lens(대물렌즈), Laser Diode(반도체 레이저), Photo diode(수광검출기), Full Mirror(전반사 미러), Hologram Device(홀로그렘 소자), 3 Beam Method(3 빔법), Astigmatism(비점수차법)

1. 서 론

광학픽업이 개발된 이래로 광학픽업 기술은 가격 경쟁력을 확보하기 위하여, 비용 절감, 크기 축소, 부품수 감소등을 통하여, 끊임없이 발달하였다. 또한, 광학픽업 설

계자는 픽업의 가격 경쟁력뿐만 아니라 성능, 신뢰성, 안정성 등도 동시에 확보해야만 하는 상황이다.

광학픽업은 광 디스크에 기록된 피트(pit) 정보를 재생하기 위한 광학계 구조와 포커스, 트래킹을 위한 2축 구동계 구조로 구성되어 있다. 포커스와 트래킹은 광학픽업

* 인덕전문대학, 메카트로닉스과
** 호서대학교, 기계공학부

으로부터 나온 포커스, 트랙킹 에러신호를 서보계에 전달하여 제어된다. 따라서, 광학픽업은 왜곡이나 변형이 없는 에러신호를 발생시켜야 한다. 일반적으로, 광학픽업의 레이저 다이오드(laser diode)에서 나온 광(파장 $\lambda = 780\text{nm}$)은 그레이팅 렌즈(grating lens)에 의하여 0차, ± 1 차의 광으로 회절되며, 이 중 ± 1 차 광은 트랙킹 에러 신호로 사용된다(3 beam method).^(1,6) 이 회절된 광은 빔 스플리터(beam splitter)에서 반사하여 대물렌즈로 향하며, 디스크에 집광된다. 디스크에 집광된 광은 디스크상의 피트에 의해 정보신호로 변조된다. 이 변조된 광은 다시 대물렌즈를 통하여 빔 스플리터에 투과된다. 수축하는 광이 일정한 각도로 기울어진 평행 평판에 입사하는 경우, 비점수차(astigmatism)가 발생하고, 포커스 에러 신호로 이용한다. 빔 스플리터를 투과한 광은 포토 다이오드(photo diode)에 조사되며, 포토 다이오드는 광신호를 전류 신호로 변환시키고 시스템에 전달한다. 그러나, 이러한 많은 광부품을 필요로 하는 광학계의 구성으로는 소형 경량화가 어렵고, 경통부에 고정시키기 위하여 환경신뢰성에 취약한 접착제를 사용할 수밖에 없다. 또한, 생산공정에서도 정밀조정 공정이 6공정(2축 구동부 자세 조정, 가변저항 조정, 그레이팅 렌즈 조정, 포토다이오드 x,y 방향 조정, 레이저 다이오드 z방향 조정)이나 되므로, 가격 경쟁력뿐만 아니라 성능, 신뢰성, 안정성등도 향상시키기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 한 개의 광부품에 여러가지 기능을 부가시킬 수 있는 홀로그램 소자(hologram device)가 제안되었다. 이러한 홀로그램 소자는 레이저 다이오드, 포토 다이오드, 홀로그래픽 광학소자(HOE : Holographic Optical Element)등이 일체형으로 구성되어 있고, 홀로그래픽 광학소자는 그레이팅 렌즈, 빔 스플리터, 썩기 프리즘의 기능을 동시에 구현할 수 있다. 따라서, 본 개발에서는 이러한 홀로그램 소자를 이용하여, 3세대 광학계의 취약점을 근본적으로 극복할 수 있는 4세대 광학계를 설계 개발함으로써, 약 10개의 광부품 및 취부 부품을 줄여, 기존의 3세대 광학픽업에 비해 설계와 구조를 간단히 하고, 조정수와 접착부위를 50% 제거하여, 가격 경쟁력뿐만 아니라, 생산수율, 환경 신뢰성을 향상시켰다.

2. 광학픽업의 원리

2.1 디스크의 재생 원리

광디스크는 트랙상에 형성된 피트의 깊이를 약 $1/4\lambda(\lambda$:

레이저 빔의 파장)로 하고 트랙 폭을 빔 스폿(beam spot)의 크기와 일치시키면, 레이저 빔에 의한 재생에 최적으로 된다.⁽⁷⁾

턴테이블상에서 회전하고 있는 디스크에 대물렌즈를 통하여 레이저 빔을 조사하면, 집광된 빔 스폿은 디스크 트랙상에 기록된 피트에 의해 변조된다. 이러한 변조는 광의 회절 현상에 의한 것으로 디지털 정보의 판독에 이용된다. 대물렌즈를 통하여 디스크 상에 조사된 광은 디스크상의 피트에 의해 회절, 간섭되어서 디지털정보를 읽고, 다시 대물렌즈를 통하여 돌아와서 포토 다이오드에 조사되어 전류신호(RF신호)로 변환된다. 가우스 또는 일정한 강도 분포를 가지는 평면파가 렌즈에 입사하면, 렌즈에 의하여 집광된 광은 디스크상에 약 $1\mu\text{m}$ 크기의 초점을 형성한다. 이것을 Airy Disc라고 하고, 반경 r로서 표시하며, 다음과 같다.^(1,3,4)

$$\gamma = 0.61 \frac{\lambda}{(NA)} \quad (1)$$

여기서, NA는 개구수(numerical aperture)이다.

이러한 레이저광의 피트에 의한 회절현상에서 고려할 사항은 첫째, 광 스폿의 피트 중심에서 벗어난 양이며, 둘째는 디스크의 상하 위치 즉, 디포커스(defocus)량이다. 전자는 광 스폿이 트랙 중심에서 벗어난 양을 나타내며, 후자는 디스크가 초점 면에서 상하로 벗어날 때 발생한다.

2.2 포커스 에러 검출법

CDP(Compact disc Player)를 연주시킬 때, 디스크면진동, 편심, 외부 진동등이 발생한다. 광학픽업과 디스크사이에는 디스크규격과 조립오차에 의해서 보통 0.2~0.3mm 정도의 면진동이 발생한다. 차량 탑재용 또는 휴대용인 경우, 외부 진동이 메카니즘의 방진 시스템에서 일차적으로 차단되지만, 일부가 픽업에 전달된다. 광학픽업용 대물렌즈의 초점심도는 1mm정도로 작고, 면진동과 외부에서 전달되는 진동은 렌즈의 초점심도보다 상당히 크기 때문에, 2축 구동계로 대물렌즈를 상하로 구동하여 렌즈와 디스크 사이의 거리가 초점심도 이내가 되도록 하여야 한다. 따라서, 광학픽업은 초점오차 신호를 검출하여 렌즈와 디스크사이의 거리를 초점심도 이내로 들게 하는 포커스 서보가 필요하다.⁽⁶⁾

홀로그램 소자에서 이용하는 초점 검출방식은 Fou-

cault법이다. 이 방법은 광속의 밀도변화에 의한 초점 검출법으로서 원리는 Fig. 1과 같다. 이러한 빔의 형상변화를 이용하여 포커스 에러를 검출한다. 디스크가 정초점 위치에 있을 경우, 디스크가 정초점에서 전후로 위치할 경우, Fig. 1과 같이 빔의 형상이 변한다. 여기서 위쪽 빔은 홀로그램 격자 간격이 넓은 부분에 의한 회절 광이며 아래쪽 빔은 격자간격이 좁은 부분에 의한 회절 광이다. 5분할 포토 다이오드, A, B, C, E, F에 검출되는 신호는 디스크 피트에 의한 주신호 RF, 포커스 에러 신호(FE), 트랙킹 에러 신호(TE)이며, 다음과 같이 차동앰프에 의해서 검출된다.

$$RF = A + B + C$$

$$FE = A - B$$

$$TE = E - F$$

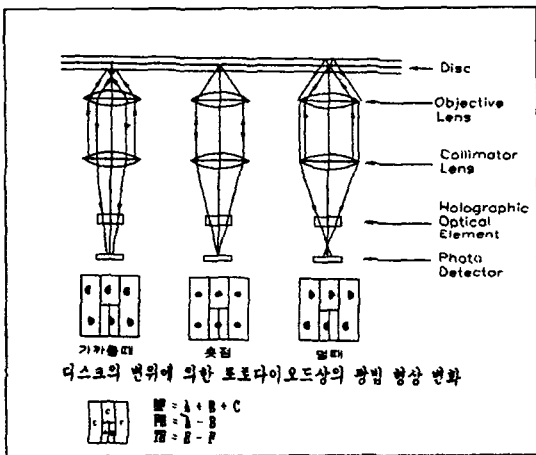


Fig. 1 포커스 에러 검출방법(Foucault method)

2.3 트랙킹 에러 검출법

광디스크 내경의 편심, 트랙 편심, 턴테이블 회전축의 흔들림등에 의하여, 광학피업으로부터 나오는 레이저 빔의 위치는 보통 150~220 μ m 정도의 편심이 발생한다. 트랙위에서 정보를 정확하게 재생하기 위해서는 레이저 빔이 트랙을 정확하게 추적하도록 해야 한다. 빔직경(Beam waist)이 1.6 μ m 정도의 레이저 빔으로 폭 0.5 μ m 정도의 피트 신호를 정확하게 재생하기 위해서는 트랙킹 서보가 $\pm 0.1\mu$ m 오차이내에서 이루어져야 한다. 홀로그램 소자에 사용되는 트랙킹 에러 검출방식은 3 빔법이다. 3 빔법은 회절광의 1차 광(E, F)이 Fig. 2의 ①과 같은 위치에 오도록 회절격자의 각도를 조정한다. 이때 1

차 광은 트랙에 약간 걸쳐 있는 상태이다. 1차 광의 위치에 따른 광량변화 즉, 랜드부와 피트부의 반사광량의 차이(E-F)를 차동앰프에 의하여 트랙킹 에러 신호로 검출한다. Fig. 2의 ①②③④⑤는 주 빔의 트랙에 대한 여러 가지 위치를 나타내고 있다. 이때 1차 광에 의한 출력은 Fig. 2의 하부와 같은 트랙킹 에러 신호를 형성한다.⁽⁶⁾

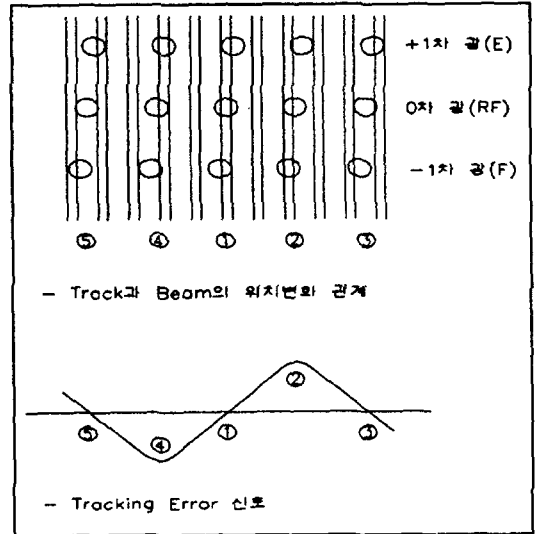


Fig. 2 트랙과 광빔의 위치변화에 의한 트랙킹 에러 신호

3. 광학계의 구성

3.1 홀로그램 소자

홀로그램 기술은 빛의 간섭성을 이용하여 물체에 관한 광학 정보를 간섭모양에 따라 홀로그램 필름에 기록하고, 그 기록한 홀로그램을 조사하여 물체의 형상을 구현하는 2 단계의 과정을 거쳐 상을 형성하는 광학 기술이다. 즉, 홀로그램은 파면변환기능을 가진 광학소자를 의미한다.⁽⁵⁾ 이 점에서 홀로그램 광학계는 입력파면을 출력파면으로 변환하는 소자로 생각할 수 있다. 최근 광학계에 필요한 특정한 위상 전달함수를 가진 홀로그램을 제작하는 것이 가능하게 되었고, 이러한 경우의 홀로그램을 홀로그래픽 광학소자(HOE)라고 한다. 오늘날 대부분의 광학소자는 굴절소자(렌즈, 프리즘)와 반사 미러로 구성되지만, 홀로그램은 회절형의 광학소자이며, 홀로그램 광학소자의 광학적 전달관계는 회절이론에 기초하고 있다. 즉, 입사파, 회절파(출사파) 및 홀로그램 격자의 파동 벡터의 整合으로부터 회절파를 구한다.⁽⁶⁾ 이러한 파면변환 기능을 가진

홀로그래프 소자는 광학픽업용의 광학소자에 응용될 수 있다. 그 장점으로서의 다음과 같다.

- 1) 1개의 홀로그래프 소자에 복수기능 구현이 가능하다.
즉, 포커스 에러 검출, 트랙킹 에러 검출, 빔 스플리터 기능 등의 집적이 가능하다.
- 2) 소형, 경량이므로 광학픽업에 적합하다.
- 3) 반도체공정에 의한 대량생산이 가능하므로 가격 저하가 가능하다.

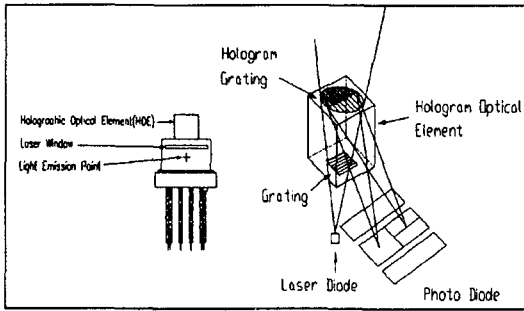


Fig. 3 홀로그래프 소자의 구조(日本, Sharp社)

홀로그래프 소자는 Fig. 3과 같이 레이저 다이오드내에 포토 다이오드가 내장되어 있고, 레이저 다이오드의 직상광에 HOE가 생성되어 있다. 따라서 레이저 다이오드에서 나온 광은 HOE의 회절격자를 통하여 3 빔으로 나누어지며, 홀로그래프 격자에 의하여 회절된 1차 이상의 회절광은 대물렌즈의 구경(aperture)에 의하여 차단되며, 회절격자에 의하여 회절된 3 빔만이 대물렌즈에 의하여 집속되어 광디스크로 조사된다. 광디스크에서 반사된 광은 대물렌즈에 의하여 다시 HOE에 집속되며, 이때 광은 다시 회절되어 포토 다이오드에 조사된다. 홀로그래프소자에 내장된 레이저 다이오드 출력특성은 Table 1과 같다.

Table 1. 홀로그래프소자에 내장된 레이저 다이오드 출력특성

파장(λ)	780 nm \pm 20 nm	
출력(P)	Pmax	5 mW
	Po	2.7 mW
동작 전류(Iop)	55 mA	
Beam 사출각(%)	θ_{\perp} : 25 %	
	θ_{\parallel} : 15 %	
비점격차	13 μ m	

註) 홀로그래프 소자는 I/V 변환 앰프가 내장된 형이다.

3.2 포토 다이오드

일반적으로 CD 광학픽업에서 사용되는 포토 다이오드는 레이저 사용 파장(λ) = 780nm에서 감도가 좋아야 하며 CDP의 데이터 전송 속도(150Kb/sec)에서 응답특성이 좋은 대역폭을 가져야 하고, 온도변화 특성이 좋아야 한다.

3.3 대물렌즈

대물렌즈는 디스크면에 레이저 빔을 거의 무수차로 결상시켜 디스크 면에 기록된 피트 정보를 읽어 다시 포토 다이오드에 집속시키는 기능을 한다. 균등한 강도분포를 가진 평행빔이 렌즈에 입사한 경우, 집광빔은 Airy disc을 형성한다. 이것은 렌즈로 빔을 집광시킬 수 있는 최소크기이며, Airy disc내의 광량은 전체 광량의 84% 정도가 되고, 지름의 크기는 $1.22 \times \frac{\lambda}{NA}$ 이다. 따라서 Table 1, Table 2의 레이저 다이오드와 대물렌즈의 사양에 맞추어 계산하면 각각 2.1 μ m 정도의 크기를 가진다. 일반적으로 사용되는 대물렌즈의 재질은 PC나 PMMA가 사용되고 있지만, 내열성이 약하여 환경성이 양호한 거치형 오디오 또는 컴퓨터 주변장치에 주로 사용되고, 환경성이 열악한 차량 탑재용으로는 렌즈의 열변형으로 수차가 발생하여 사용할 수 없다. 따라서, 내열성이 요구되는 차량 탑재용에는 특수 압축성형으로 제작한 유리 렌즈를 보통 사용한다. 본연구의 광학 픽업은 사용공간과 환경이 열악한 차량탑재용까지 사용할 수 있도록, 내열성이 양호하고, 사출성형으로 양산할 수 있는 재질인 Zeonex 재질을 대물렌즈에 사용하였다.

광학픽업용 대물 렌즈는 일정한 시야 내에서 회절한계 성능을 갖도록 수차가 양호하게 보정되어야만 한다. 즉 수차를 파면수차(wavefront aberration)로 평가할 경우, 상고 1.0 mm에 대하여 0.07 λ 이하의 조건을 만족하여야 한다. Fig. 4, Fig. 5는 광학설계 프로그램인 "Kidger Optics"를 이용하여 설계한 데이터이며, 파면수

Table 2. 대물렌즈의 사양

사용 파장(λ)	780 \pm 20 nm
개구수(NA)	0.45
초점거리(f)	3.04 mm
작용거리(WD)	1.65 mm
배율(M)	-1/5.5
물상 거리(IO)	25.0 mm
재질	Zeonex

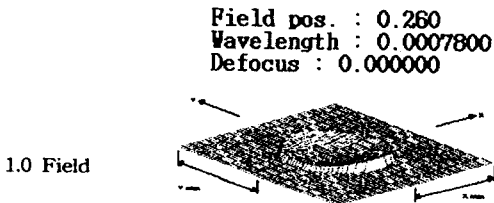
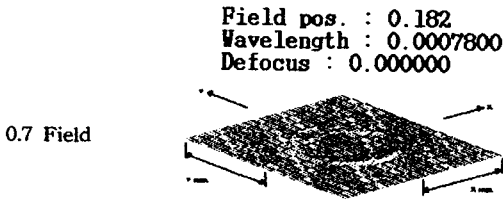
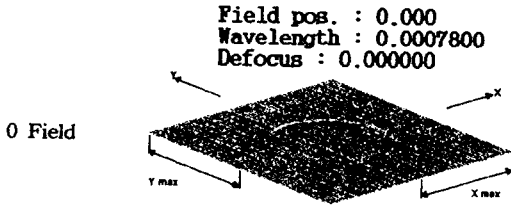


Fig. 4 파면수차

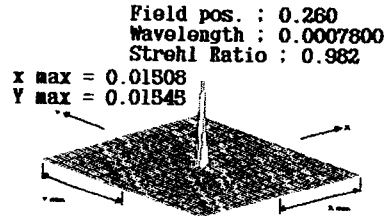
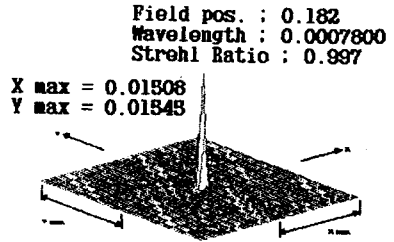
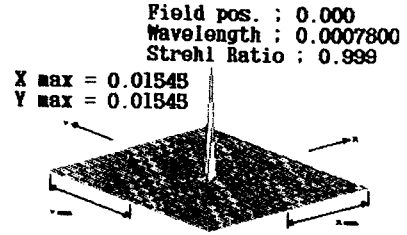


Fig. 5 점분포함수

차와 점분포함수(point spread function)를 각각의 시야(field) 별로 나타낸 것이다. 파면수차는 레이저 다이오드에서 나온 빔이 출사동공(exit pupil)을 통과한 후의 파면 형태를 나타낸 것이며, 축상에서 0.006λ, 0.7 시야에서 0.017λ, 1.0 시야에서 0.036λ이다. 그리고 점분포함수는 레이저 다이오드에서 나온 빔이 출사동공을 통과한 후 디스크에 형성되는 광 스폿의 크기와 강도분포를 나타낸 것이며, 스트렐 비(strehl ratio)는 시야 별로 0.999, 0.997, 0.982로서 최절한계 성능을 충분히 만족하며 광 스폿의 크기도 2.1μm 이하이다.

3.4 전반사 미러(Full Mirror)

차량탑재용이나 컴퓨터용 광학픽업은 사용공간이 제약을 받으므로 전반사 미러를 사용하여 레이저 다이오드에서 나온 광을 90도 전환할 필요가 있다. 고반사 미러는 일반적으로 유전체 박막을 다층 코팅하여 99% 이상의 반사율을 가지게 하거나, 금이 적외선 영역에서 반사율이

좋으므로 금을 코팅하는 경우도 있다.

일반적으로, 미러는 고굴절률 물질(H), 저굴절률 물질(L)을 교대로 반복하여 코팅하는 방법이 사용된다. 즉,

$$\text{Air} | \text{HL} | \text{Substrate(Glass)} \quad (2)$$

의 구조로 코팅한다. 여기서 x는 약 10 정도이다. 따라서, 전체 코팅 층수는 약 20층정도이고, 99%이상의 반사율을 갖는다. 그러나, 이러한 경우의 문제점은 코팅면의 구별이 어렵다는 것이다. 즉 코팅 전문가일지라도 유

Table 3. 일반적인 고반사 미러 사양

사용 파장(λ)	780 ± 20 nm
입사각(θ)	45 ° ± 5 °
반사율(R)	99 % 이상 (Rs, Rp)
RMS Aberration	0.015 λ 이하
재 질	White Glass or BK-7
사용 온도(℃)	-20℃ ~ 80℃

심히 관찰하지 않으면 코팅면을 구별하기가 어렵다. 따라서 양산시에 코팅면 선별 공정이 추가되므로, 코팅면을 쉽게 구별할 수 있는 미러 코팅이 바람직하다.

본 개발의 광학픽업에 사용된 미러는 "Macleod Thin Film Design Program"을 사용하여 기존의 유전체 코팅과는 다르게 미러가 유색 코팅이 되도록 설계하여 코팅권이 구별됨과 동시에 기존의 유전체 미러 코팅의 성능을 유지하도록 제작하였다. 즉,

$$\text{Air} | \text{HL} | \cdot | \text{Bulk} | \text{Substrate(Glass)} \quad (3)$$

의 구조로 기판과 유전체 사이에 흡수율이 작고, 기판과 굴절률이 비슷한 벌크상의 물질 층을 형성함으로써 색깔을 나타내도록 제작하였다. 여기서, x는 약 7정도이며 전체 코팅 층수는 약 15층 정도이고, 99% 이상의 고반사이다.

Fig. 6과 Fig. 7의 특성 곡선은 파장 780nm에서 미러

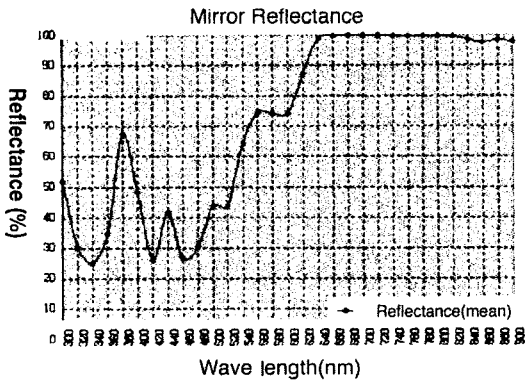


Fig. 6 본개발의미러코팅특성

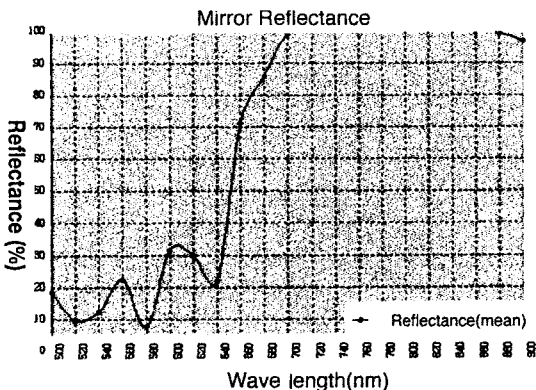


Fig. 7 일반적 유전체 코팅 특성

의 반사율 차이는 거의 없다. 따라서, 적은 코팅 층수로 제작이 가능하고, 코팅면 구별이 용이하므로 광학 픽업의 전반사 미러 코팅으로 적합한 것으로 판단된다.

4. 광학계 발생 수차 분석

일반적으로 출사동공에서 파면은 완전한 구면파가 아니라, Fig. 8과 같은 형태를 가지는 파면으로 변형되며, 파면의 일부는 다른 곳에 초점을 맺는다. 출사동공에서 좌표 (r, θ) 에 대한 파면수차를 $W(r, \theta)$ 라고 하고, 출사동공상의 파면수차의 표준 편차를 WFE rms (wave front error)라고 하면,

$$\begin{aligned} (WFE)^2_{rms} &= \frac{1}{\pi R^2} \int_0^a \int_0^{2\pi} (W(r, \theta) - \bar{W})^2 r dr d\theta \\ &= \sqrt{\overline{W^2} - (\bar{W})^2} \quad (\text{단, } a : \text{출사동공 반경}) \end{aligned} \quad (4)$$

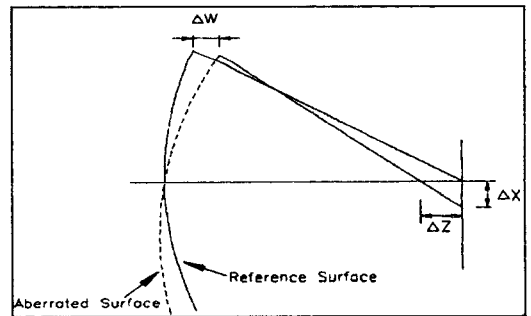


Fig. 8 기준구면의상점 이동

파면수차는 파장(λ)을 단위로 해서 WFE rms가 $\frac{1}{14}\lambda$ 이내일 때, 상의 중심강도가 수차가 전혀 없는 경우의 80% 이상으로 된다. 즉, 실제 물체 상의 밝기를 "1"이라고 하고, 광학픽업 전체의 광학계를 통과하여 결상되는 물체의 밝기가 실제 물체의 80%에 해당하는 경우, Marechal은 이러한 렌즈를 충분히 좋은 광학계라고 정의하였다. 만약 수차가 아주 작다고 가정할 경우, 상평면에서의 강도는

$$\begin{aligned} I &= 1 - \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 (\Delta\phi)^2 \\ &= 1 - \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 (\bar{\phi}^2 - \bar{\phi}^2) \end{aligned} \quad (5)$$

이다. 따라서

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2(\Delta\phi)^2 = \frac{2}{10} \quad (6)$$

로 되며 위의 조건을 만족한다. 이러한 경우 렌즈가 회절한계 성능을 갖는다고 하며, 이것을 Mare'chal criterion이라고 한다. 따라서, 광학픽업의 결상 광학계의 전체 파면수차 WFE rms는 0.07λ 이내로 제한되고 있다. 광학계 전체의 파면수차 WFE rms는 광학 소자 각각의 수차 WFE rms의 RMS 값으로 나타낼 수 있다. 그러므로 같은 WFE rms 값을 가지더라도 각각의 광부품의 수차의 종류가 다르면 광학픽업의 최종 성능도 달라진다.^(2,3) 대물렌즈를 광학픽업에 조립할 때와 포커스, 트랙킹을 위해 대물렌즈를 구동시킬 때, 대물렌즈가 광축에서 벗어나게 된다. 그리고 디스크가 기울어져 있거나 두께 및 굴절률에서 오차가 발생할 경우에도 대물렌즈의 성능이 변한다.

대물렌즈에서 발생하는 주된 수차는 구면수차, 코마수차, 비점수차이다. 구면수차는 렌즈의 두께, 곡률반경 등에 의하여 발생하며, 코마수차는 광축의 경사에 의하여 발생하지만 상고가 발생하지 않는 경우에는 발생하지 않는다. 비점수차도 렌즈의 면정도가 나쁠 때 발생하지만 역시 상고가 "0" 인 경우에는 발생하지 않는다.

4.1 디포커스에 의한 수차

Fig. 8에서와 같이 기준 구면의 상점 이동에 의하여, 축방향으로 ΔZ, 수직 방향으로 ΔX 만큼의 오차가 발생한다. 따라서 상점의 이동량이 ΔZ인 경우, 파면수차의 증가량은

$$\Delta W = \frac{1}{2}\Delta Z \sin^2 \theta = \frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2 (NA)^2 \Delta Z \quad (7)$$

이고,
$$\Delta WFE \text{ rms} = \frac{1}{4\sqrt{3}}(NA)^2 \Delta Z \quad (8)$$

이다. 여기에 Mare'chal criterion ΔWFE rms = $\frac{1}{14}\lambda$ 을 적용하면, 상의 중심강도가 완전 무수차인 경우의 80% 이상을 유지하는 ΔZ 즉, 초점심도는

$$\Delta Z = 2\frac{\sqrt{3}}{7}\frac{\lambda}{(NA)^2} = \frac{\lambda}{2(NA)^2} \quad (9)$$

가 된다. NA=0.45, 파장λ=780 nm 인 경우 초점심도 ΔZ=±1.9 μm 이다. 즉, 디스크 면은 적어도±1.9 μm 이내 이어야 하고, 포커스 서보에 의하여 실현된다.⁽³⁾

4.2 디스크 기판 두께 수차

디스크는 투명한 플라스틱(PC 또는 PMMA)으로 만들어지며 두께는 1.2mm이다. 그 상층 직하부에 피트 신호가 기록되어 있는 얇은 반사막이 있다. 즉, 디스크의 투명한 층으로부터 신호면에 광을 집광하여 신호를 읽기 때문에 미소한 먼지나 상처에 대해서는 비교적 강하다. 그러나, 디스크 기판 두께에 오차가 발생하면 수차가 발생한다. 디스크 두께에 대한 오차(Δd)에 의한 ΔWs는

$$\Delta W_s = \frac{n^2 - 1}{8n^3} r^4 (NA)^4 \Delta d \quad (\text{단, } n : \text{디스크의 굴절율}) \quad (10)$$

이다. 따라서 디스크의 기판 두께오차 Δd에 의한 구면수차 Ws는 (NA)⁴ 에 비례하며, NA가 크게 됨에 따라서 두께오차의 영향이 크기 때문에, CD에서는 디스크의 두께공차를 Δd=0.05mm 이하로 제한하고 있다.⁽³⁾

4.3 디스크 굴절률 수차

디스크의 굴절률이 변화해도 Ws가 변한다. 광학픽업용 대물렌즈는 이미 디스크 재료의 굴절률을 고려하여 디스크에서 발생하는 구면수차를 보정하여 설계한다. 디스크의 굴절률 변화를 Δn 이라고 하면 발생하는 수차는

$$\begin{aligned} W_{40} &= W_{40}(n + \Delta n) - W_{40}(n) \\ &= \frac{d}{8}\frac{(NA)^4}{n^3} \left[-(n^2 - 3)\frac{\Delta n}{n} + (n^2 - 6)\left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2 \right] \quad (11) \end{aligned}$$

로 된다. 따라서 굴절률의 변화에 대한 파면수차의 영향이 (NA)⁴ 에 의하여 변한다.^(3,4)

4.4 디스크 경사 수차

디스크가 대물렌즈의 광축에 대하여 경사져 있을 때, 수축하는 빔이 디스크의 기판을 통과하면 코마 수차와 비점수차가 발생한다. Fig. 9와 같이 디스크가 θ만큼 기울어져 있을 때의 코마 수차는

$$W_c = -\frac{d}{2}\frac{n^2(n^2 - 1)\sin\theta\cos\theta}{(n^2 - \sin^2\theta)^{5/2}}(NA)^3\rho^3\cos\theta \quad (12)$$

비점수차는

$$W_a = -\frac{d}{2}\frac{(n^2 - 1)\sin^2\theta}{(n^2 - \sin^2\theta)^{3/2}}(NA)^2\rho^2\cos\theta \quad (13)$$

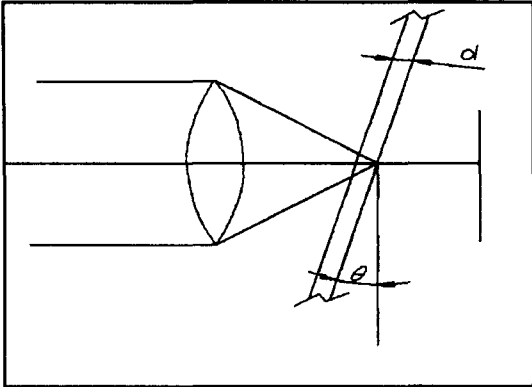


Fig. 9 디스크 경사에 의한 파면수차

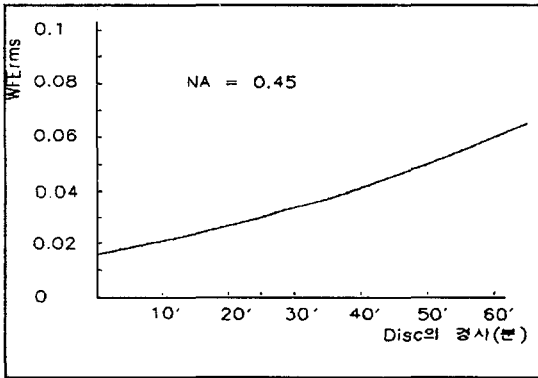


Fig. 10 디스크 경사와 WFE rms의 관계

이다.

디스크 경사(θ)가 작은 경우에는 코마수차가 지배적이고, 경사가 증가하면 비점수차도 같이 증가한다. 보통 광 디스크에서는 코마수차가 증가하면 크로스토크(crosstalk)가 증가하게 되고, 신호의 S/N비가 악화되므로 디스크 기판의 경사는 5 mrad (0.29°) 이하로 제한하고 있다. 따라서, 광 디스크의 경우는 평행판에서 발생하는 비점수차의 영향은 없다고 생각해도 된다. (12)식의 코마수차는 $(NA)^3$ 에 비례한다. Fig. 10에 디스크의 경사와 WFE rms의 관계를 나타내었다. 대물렌즈가 기울어져 조립되면 광축에 대하여 디스크가 기울어져 있는 것과 같은 효과를 나타낸다. 디스크가 20' 정도 기울어져 있을 경우 대물렌즈에서 발생되는 수차는 0.03λ 정도이며, 이 양은 설계시 대물렌즈에 허용되는 수차량과 같다. 따라서 대물렌즈의 조립, 경사 정도를 충분히 작게 할 필요가 있다.⁽⁹⁾

4.5 대물렌즈의 수차

레이저 다이오드나 대물렌즈의 조립오차에 의하여 대물렌즈에 입사하는 광이 기울어져 있을 때, 화각이 "0"으로 되지 않게 되면 상고가 발생한다. 상고가 발생하면 비점수차, 코마수차 등이 발생한다. Fig. 11은 대물렌즈의 상고와 WFE rms의 관계를 예로 나타낸 것이다. 이러한 상고에 대한 WFE rms값은 대물렌즈 사양에 의하여 주어진다. Fig. 11에서와 같이 상고가 0.1이상이 되면 WFE rms가 0.07λ 에 접근한다.^(2,3)

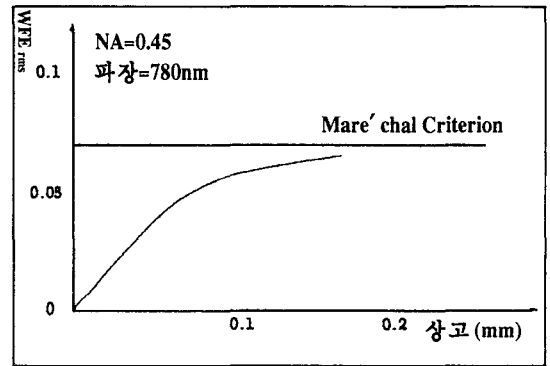


Fig. 11 상고와 WFE_{rms}의 관계

5. 광학계 설계

본 개발의 광학픽업 광학계는 대물렌즈, 전반사 미러, 홀로그래프 소자로 구성되어 있으며, 홀로그래프 소자는 다시 레이저 다이오드(LD), 포토 다이오드(PD), 홀로그래픽 광학소자(HOE)로 나누어진다. 레이저광을 사용 광학계에서 회절한계 이내로 하기 위해서는 레이저 다이오드에서 사출되는 구면파 빔을 가능한 한 왜곡시키지 않고 디스크 정보 피트면에 전달시켜야 한다. 즉, 레이저 다이오드에서 디스크까지 광부품의 RMS 파면수차를 0.07λ 이하로 하지 않으면 회절한계의 빔직경을 얻지 못한다. 즉, 광학 픽업을 구성하는 광 부품, 디스크기판, 광학픽업 대물렌즈 조정 오차를 합한 광학계 전체의 파면수차를, Mare'chal criterion $(\delta W)_{MC}$ 에 의한 허용 최대 파면수차의 0.07λ 이하로 유지시켜야 한다. 이 한계는 광 빔의 중심강도를 80%이하로 허용하는 것으로부터 유도된다. 광 디스크에는 이미 $(\delta W)_{DISC} = 0.05\lambda$ 가 규격으로 주어져 있다. 대물렌즈 조정량 $(\delta W)_{ADJ}$ 를 0.025λ 로 하면, 전체 $(\delta W)_{MC} = 0.07\lambda$ 를 달성하기 위해서는

각 광학 부품의 허용최대 파면수차 (δW)를 엄격히 제한하지 않으면 안된다. 레이저 다이오드에서 디스크까지의 광부품의 허용 최대 파면수차를 각각 $(\delta W)_{LD}$, $(\delta W)_{GT}$, $(\delta W)_{BS}$, $(\delta W)_{OL}$, $(\delta W)_{CL}$... 라고 하면, Mare'chal criterion은 다음과 같이 된다.

$$(\delta W)_{MC} \leq \frac{\lambda}{14} \quad (14)$$

여기서, 광학계 파면수차 $(\delta W)_{MC}$ 는

$$(\delta W)_{MC}^2 = (\delta W)_{LD}^2 + (\delta W)_{GT}^2 + \dots + (\delta W)_{OL}^2 + (\delta W)_{Dsc}^2 \quad (15)$$

이다.^(2,3,4)

5.1 레이저 다이오드

레이저 다이오드는 평행판 유리가 레이저 빔의 사출면 쪽에 있고, 광축 방향에서의 레이저 빔의 원시야 패턴(far field pattern)은 수직방향으로 장축을 갖는 타원형의 빔이다. 즉, 접합면에 평행한 방향과 수직인 방향의 발광점이 다르며, 이를 비점격차라고 한다. 홀로그래프소자의 평균 비점격차는 약 13 μ m 정도이고, 비점수차의 양으로 다음의 식으로 표현된다.

$$W_{22} = \frac{1}{4}(NA)^2 \frac{(T-S)}{\lambda} \quad (16)$$

여기서, T-S는 비점격차, W_{22} 는 비점수차 계수이다. 이러한 비점수차는 대물렌즈에 의하여 보정될 수 없기 때문에 적당한 수차를 할당한다. 그 외 레이저 다이오드에 의하여 발생하는 수차로는, 발산되는 빔이 레이저 다이오드 창(window)에 입사됨에 따라 발생하는 파면수차, 레이저 다이오드 발광 점의 광축이탈에 의한 대물렌즈와 디스크에서 발생하는 비축수차, 레이저 다이오드 제조 과정에서 창에 의하여 발생하는 수차 등이 있다. 그러나, 레이저 다이오드 창에서 발생하는 수차는 대물렌즈 설계시 가상유리(dummy glass)를 삽입하거나, 시야각도(field angle)이내에서 할당된 수차로 보정하기 때문에, 레이저 다이오드 자체에서 발생하는 수차는 고려하지 않아도 된다. 레이저 다이오드 창은 두께가 0.25 mm 이고, 굴절률은 1.49 이다. 일반적으로 레이저 다이오드 자체의 오차에 의하여 발생하는 수차는 레이저 발진파장에 대하여 0.013 λ 정도를 할당하고 있다.

5.2 홀로그래픽 광학소자(HOE)

홀로그램 소자에 사용되는 홀로그래픽 광학 소자는 회절격자와 홀로그램 격자로 구성되어 있다. 그리고 홀로그래픽 광학소자는 평행판이므로 홀로그래픽 광학소자에서 발생하는 수차는 빔이 입사할 때 발생하는 구면수차와 조립과정에서 생기는 수차, 그리고 광학픽업 조립 경사(tilt)에서 발생하는 비축수차등이 있다. 그러나 격자의 경사는 광축의 경사에 영향을 미치지만 아주 미소한 양이기 때문에 광축픽업 광학계에 수차를 가중시키지는 않는다. 따라서, 홀로그래픽 광학소자의 제조 과정에서 발생하는 수차만을 고려한다. 홀로그래픽 광학소자는 평행판 광부품이므로 투과 격자면에 대하여 0.012 λ 만을 고려하면 된다.

5.3 대물렌즈

대물렌즈는 광학픽업에서 사용되는 광 부품중 NA가 가장 크고, 시야각도가 작기 때문에 자체수차도 크지만 조립시의 오차에도 민감하다. 대물렌즈를 조립할 때 발생하는 오차는 렌즈 호울더 자체의 오차, 접착시의 오차, 2축 구동부(actuator) 장착오차등이 있으며, 이러한 오차들은 대물렌즈에 입사하는 빔의 광축 위치오차를 발생시킨다.

일반적으로 대물렌즈 자체에는 0.03 λ 정도의 수차를 배분한다. 대물렌즈 조립시 발생하는 오차에 대해서는 0.025 λ 이하가 되도록 대물렌즈를 조정하여야 한다. 대물렌즈가 경사하면, 광축오차가 발생되어 상고가 발생되고, 0.1mm상고 발생시 WFE rms 수차는 Mare'chal criterion에 가까운 약 0.06 λ 정도까지 될 수도 있다.

5.4 전반사 미러

레이저 다이오드에서 발광된 광은 전반사 미러에서 99% 이상 반사되어 대물렌즈에 집속된 다음, 디스크상에 도달하기 때문에, 전반사 미러에서 발생하는 수차는 그 제조 과정에서 발생하는 수차만을 고려한다. 전반사 미러는 평행판 광부품이기 때문에, 제조과정에서 발생하는 수차는 적으며, 일반적으로 0.013 λ 정도의 수차가 할당된다. 그리고 전반사 미러의 경사는 광축을 변화시키기 때문에 대물렌즈의 상고에 의한 수차를 발생시킨다. 따라서 이러한 경사에 의하여 발생하는 수차를 고려하여 전반사 미러의 경사를 조정하여야 한다. 일반적으로 전반사 미러의 경사각은 0.1° 이하로 유지한다.

5.5 조립시의 수차계산

광 부품이 조립될 때, 광축의 벗어남과 경사는 구면수차, 코마수차, 비점수차등의 주된 원인이 된다. 광학 픽업에서 발생하는 이러한 수차들의 영향은 광디스크 플레이 어 성능 척도인 지터(jitter)량에 영향을 미친다. 지터에는 기계전자적인 오차에 의한 지터와 광학적인 오차에 의한 지터로 구분된다. 기계전자적인 오차에 의한 지터의 성분은 비교적 저주파이므로 재생신호로부터 클럭(clock)을 만들 때, PLL(Phase Lock Loop)회로를 사용해서, 재생신호의 시간축 흔들림을 수정발진자의 클럭에 의해 등가적으로 흡수할 수 있다. 광학적인 오차는 직접 지터량에 영향을 미치므로, 광부품의 조립이 정밀해야 한다. Mare'chal criterion을 적용하여 광학픽업 광학계의 수차 배분과 공차를 분석하면,

$$\begin{aligned}
 & [(0.013\lambda)_{LD}^2 + (0.012\lambda)_{HOE}^2 + (0.012\lambda)_{Mirror}^2 \\
 & + (0.03\lambda)_{OL}^2 + (0.05\lambda)_{Disc}^2 + (0.025\lambda)_{Adjust}^2]^{1/2} \\
 & = 0.067\lambda \quad (17)
 \end{aligned}$$

이므로, 광소자에 수차를 충분히 배분하여도 Mare'chal criterion을 만족한다. 광학픽업을 조정할 때 0.025λ의 수차가 허용되는데, NA = 0.45인 대물렌즈를 사용할 경우, 0.05~0.06 mm 정도의 상오 발생에 해당하며, 이에 대한 대물렌즈의 경사정도는 약 20'가 된다. 따라서 홀로그래프 소자, 전반사 미러, 대물렌즈의 조정 정도를 이러한 범위내에 들도록 조정한다. 그리고 디스크에 대하여 0.05λ를 배분한 것은 CD가 연주될 때 발생하는 오차, 디스크 회전 지지부인 턴 테이블에 의한 디스크 경사, 디스크 편심에 의하여 발생하는 오차에 대한 고려이다. 따라서 광학계의 정밀한 조립으로 광학계에 대한 오차량을 줄일 수 있다면, 그에 해당하는 오차량만큼 디스크쪽에 배분할 수 있어 광학 픽업 구동부의 양산성을 향상할 수 있어, 가격 경쟁력을 높일 수 있다.

6. 결과 및 고찰

Fig. 12는 상기의 값들을 기초로 하여 광학계에 배분되는 조정범위 및 거리관계를 나타낸 광학계 구성이다. 광학계 부품의 전체 위치도의 범위는 50μm 정도이며, 전체 경사각은 20' 정도이다. 이렇게 설계된 광학계를 기준으로 하여, Fig. 13과 같이 아연 다이캐스팅(Zn diecasting) 경통부를 설계 제작한 다음, 각 광학 및 전자부품과,

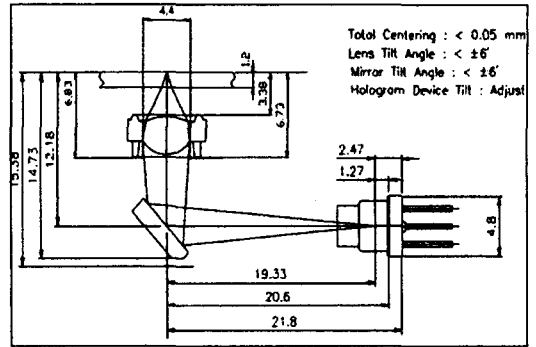


Fig. 12 광학계 거리와 조립공차

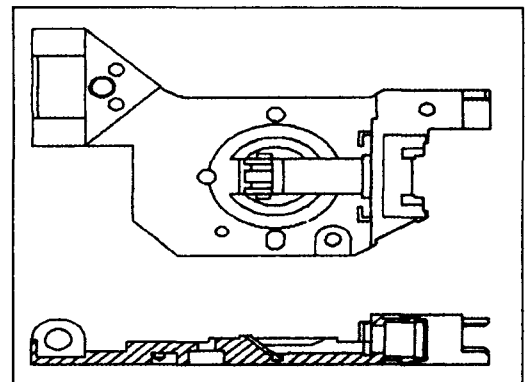


Fig. 13 광학픽업 경통부(Pick-up Base)

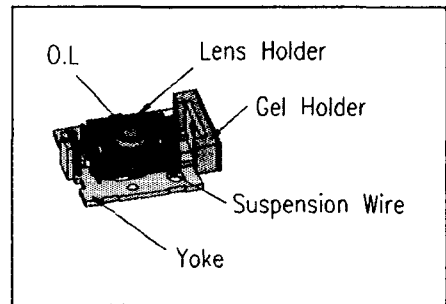


Fig. 14 4 wire suspension형 2축 구동계(Actuator)

Fig. 14와 같은 4 wire suspension형 2축 구동계(actuator)⁽⁶⁾를 조립 조정하여, Fig. 16과 같이 구동되는 4세대 박형 광학픽업을 Fig. 16과 같이 제작하였다.

Fig. 17에 Fig. 16과 같이 제작된 4세대 광학픽업의 경사각도에 대한 지터 특성을 나타내었다. 집선방향, 반경방향 모두 지터가 25 nsec 이하로 경사에 강한 특성을 보이고 있다. 일반적으로 광학픽업의 경사는 반경방향

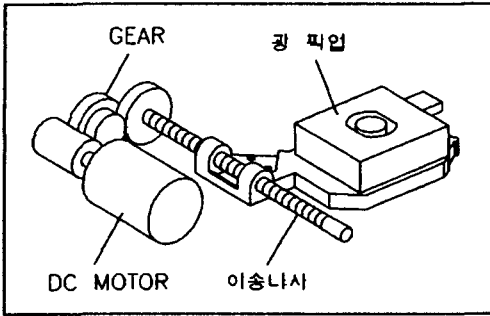


Fig. 15 광학픽업 구동방식

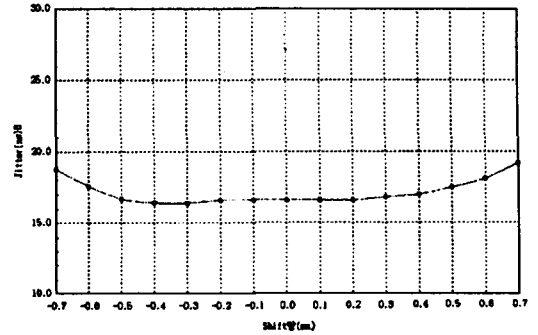


Fig. 18 4세대 광학픽업의 미소이동(Shift) 특성

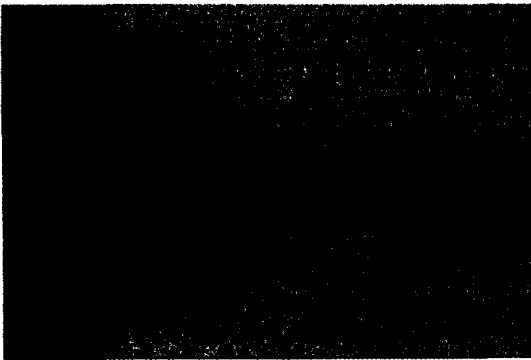


Fig. 16 4세대 광학픽업(차량탑재용)

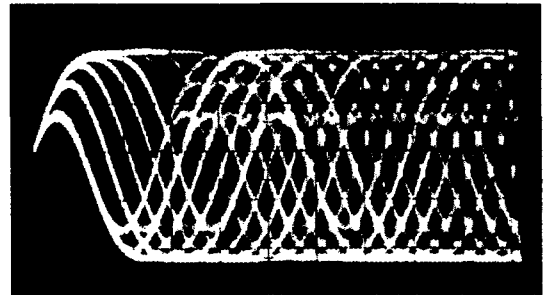


Fig. 19 4세대 광학픽업의 RF 패턴

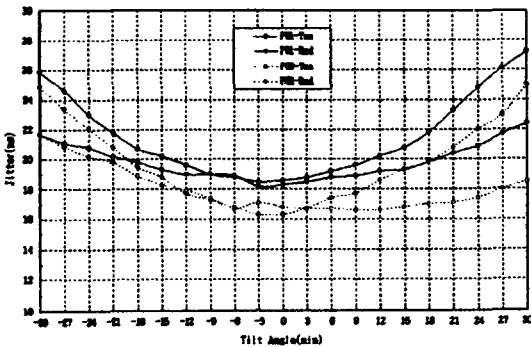


Fig. 17 4세대 광학픽업의 경사 특성

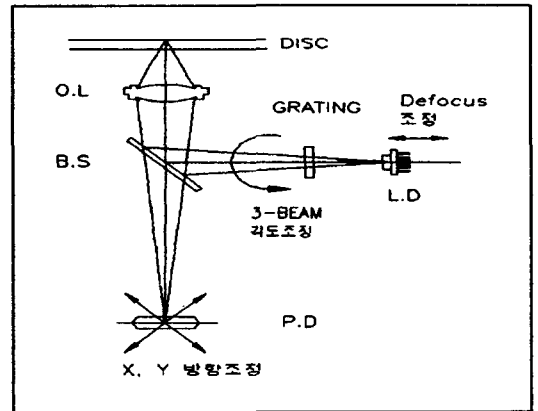


Fig. 20 3세대 광학픽업의 광학계구조 및 조정포인트

0.4°, 접선방향 0.3° 이내에서 동작특성을 측정하며, 광학 픽업의 사양은 정상조건에서 30 nsec 이하로 규정하고 있다

CD가 연주될 때 트래킹 서보에 의해 대물렌즈가 이동 되면 비축수차가 증가하여 RF신호와 트래킹 에러 신호의 레벨이 떨어지고, 지터가 증가하여 시스템이 불안해진다. 일반적으로 광학픽업에서는 ±0.35mm 정도 이동되었을 때, 지터가 20 nsec 이하가 되도록 규정하고 있다. 본 개

발에서는 Fig. 18에서와 같이 대물렌즈가 ±0.5mm 이상 이동되었을 때, 20 nsec 이하의 지터를 유지하므로 비축 성능이 우수하다.

Fig. 19는 RF 패턴이며, RF 패턴의 지터량은 약 16 nsec 정도로 아주 양호한 특성을 보여주고 있다.

본 연구의 4세대 광학픽업은 Fig. 20의 기존의 3세대 광학픽업의 광학계와 비교할 때, 생산라인에서의 조정공정을 6공정에서 3공정으로 간략화시켰고, 그로 인하여

환경신뢰성에 악영향을 미치는 UV 접착공정을 대폭 격감할 수 있어, 환경 신뢰성 조건이 엄격한 차량탑재용으로까지 실현할 수 있었다. 또한, 간결한 광학구조로 인하여, 기존의 3세대 광학 픽업에 비해 약 10개의 부품을 절감하고 생산공정의 간소화로 생산설비가 감소하고, 임금비가 절약되며, tact time이 줄어, 약 20%의 제조원가 절감효과를 얻었다.⁷⁾

7. 결 론

본 연구에서는 다수의 광학 및 전자부품이 집적된 홀로그래프 소자를 이용하여, 4세대 광학계를 구현한 박형 광학 픽업을 제작한 결과, 접선방향 및 반경 방향의 우수한 경사 특성, 우수한 비축성능, 이상적인 RF 패턴을 구현하였으며, 기존의 3세대 광학 픽업에 비해 접착부분을 감소시켜 차량 탑재용까지 가능한 환경신뢰성을 실현하였으며, 가격 경쟁력을 향상시켰다.

참 고 문 헌

1. H.H. Hopkins, "Diffraction theory of laser read

out system for optical video discs", J. Opt. Soc Am., 69, pp.4-24, 1979.

2. W.J. Smith, "Modern Optical Engineering", McGraw-Hill Book Company Newyork, Chap. 4.8, 1966.

3. G. Bouwhuis, J. Braat, A Huijser, J. Pasman "Principles of Optical Disc System", Adam Hilger Ltd, 1985.

4. Born & Wolf, "Principle of Optics", Pergamon Press, p.416, 1970.

5. P. Coops, "Mass production methods for computer generated holograms for optical pick-up", Philips J. Res. pp.481-500, 1990.

6. 中島, 小川, "コンパクトディスク讀本", オーム 社, 1982.

7. 최영석외 25명, "4세대 고신뢰성 차량용 광픽업의 설계 및 제조기술", 국산 신기술, p.15, 1996.

8. 최영석, 이광석, 오재건, "광 Pick-up Actuator", 한국 광학회 제 7회 광기술 워크샵 논문집, pp.25 - 37, 1997.