

환형 위상변조 Apodizer가 광학 디스크 시스템의 재생 신호에 미치는 영향

정 호 · 정창섭†

전남대학교 자연과학대학 물리학과
☎ 500-757 광주시 북구 용봉동 300번지

박성중

순천청암대학 안경광학과
☎ 540-743 전남 순천시 덕월동 224-9

(2001년 3월 20일 받음, 2001년 6월 21일 수정본 받음)

본 논문에서는 구면수차가 포함된 광학 디스크 시스템에 환형 위상변조 apodizer를 적용하여 bump 형태에 따른 재생신호를 스칼라 회절 이론을 이용하여 조사하였다. 이때 구면수차의 영향을 최소로 하는 최적변수를 결정하기 위해 동(pupil)의 반경 r 에 대한 파면수차량에 절대값을 취해서 얻는 최대치와 임의의 값의 비로 W_R 을 정의하였으며, 원추형과 준원추형 그리고 원추형 bump로 다양한 형태의 bump를 고려하였다. 환형 위상변조 apodizer는 bump 반경과 형태의 변화에 따른 재생신호가 균일한 진폭과 유사한 경향을 나타냈으며, 항상 높은 최대 재생신호를 가졌다. 구면수차의 증가에 따른 최대 재생신호의 변화는 아주 작았으며, 실제 광학 디스크 시스템에 사용 가능한 0.6 이상의 재생신호를 갖는 최소 bump 반경의 변화가 거의 없었다. 특히 W_R 이 0.4와 0.6인 경우에는 구면수차에 대한 보정효과가 가장 큼을 알 수 있었다.

분류코드 : SM.010, SM.020.

I. 서 론

최근 소형 · 경량화된 광학계와 고속 통신 시스템의 발달로 동화상 정보와 같은 대용량의 정보를 저장할 수 있는 고밀도 광학 디스크 시스템의 개발에 대한 연구가 산업체를 비롯한 각 연구소에서 활발하게 수행되고 있다.

이러한 대용량을 저장할 수 있는 고밀도 광학 디스크 시스템에서는 정보가 기록/재생되는 디스크 면상의 bump/pit의 크기가 매우 작기 때문에 광학 디스크 시스템으로부터 정확한 재생신호를 읽기 위해서는 디스크 면상에 맺는 회절광의 중심 spot의 크기도 작아져야 한다. 이러한 중심 spot의 크기를 줄이기 위한 연구로 필립스(Philips)와 파이오니아(Pioneer)에서는 입사광의 파장을 줄이는 방법^[1,2]을 연구하였으며, 마쯔시타와 LG에서는 액정 셔터 방식을 이용한 개구수(NA)를 증가시키는 방법^[3,4]을 사용하였다. 최근에는 여러 산업체에서 다양한 형태의 apodizer를 응용한 연구가 수행되고 있으며, 이러한 연구로 도시바와 대만의 연구소에서는 annular apodizer를 이용한 디스크 면상에 맺는 회절광의 중심강도나 sidelobe 강도 형태를 조사하여 환형 변조위치를 결정하였다.^[5-7] 국내의 삼성전자에서는 구면수차의 영향을 최적화하는 annular mask를 DVD의 optical head에 적용한 연구가 수행되었다.^[8-10] 그 밖에 HOE(Holographic Optical Element)^[11,12]와 optical path filtering^[13] 그리고 grating 특성을 갖는 dual focus objective

lens^[3] 등의 apodizer를 고밀도 광학 디스크 시스템에 응용한 연구가 수행되었다. 또한 본 연구실에서는 다양한 형태의 환형 진폭변조 apodizer를 광학 디스크 시스템에 적용한 연구를 수행하고 있다.^[15-19]

위와 같은 진폭변조 apodizer를 이용한 방법은 광학 디스크 시스템에 포함된 구면수차에 의한 재생신호의 저하를 향상시킬 수 있지만 입사광의 진폭이 변조됨으로서 큰 광량 손실을 발생하게 한다. 그러므로 본 논문에서는 구면수차에 대한 보정효과뿐만 아니라 광량 손실을 최소화하는 환형 위상변조 apodizer를 광학 디스크 시스템에 적용하여 디스크 면에 맺는 회절광의 강도분포와 bump의 반경과 형태의 변화에 따른 재생신호의 변화를 조사하였다. 이때 구면수차의 영향을 최소화하는 위상변조량과 위치를 결정하기 위해 동(pupil)상에서 임의의 위치 r 에 대한 파면수차량의 절대값을 취하여 갖는 최대치와 임의의 값의 비로 W_R 을 정의하였다.

II. 이 론

2.1. 재생신호와 bump 형태

광학 디스크 시스템에서 입사광은 무축화된 대물렌즈를 통해 bump가 연속적으로 배열되어 있는 디스크 면상에 회절상을 맺게 되며, 이 때 디스크 면상에 맺는 회절 광의 강도분포를 Hopkins 환산 극좌표계를 사용하여 표현하면 다음과 같다.^[14]

$$I(p, \psi) = \frac{1}{I_0} \left| \int_0^{2\pi} \int_0^1 f(r, \phi) \exp[2\pi i p r \cos(\phi - \psi)] r dr d\phi \right|^2 \quad (1)$$

†E-mail: cschung@chonnam.chonnam.ac.kr

여기서 (r, ϕ) 는 입사동의 환산 극좌표, (p, ψ) 는 디스크 면상의 환산 극좌표, $f(r, \phi)$ 는 동함수, I_0 는 무수차 광학 디스크 시스템에서 디스크 면상의 상점($p = \psi = 0$)에 맺은 회절광의 강도 분포를 나타낸다.

디스크 면상을 반사하여 동(r', ϕ')으로 되돌아온 회절광의 복소진폭은

$$f'(r', \phi') = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty f(r, \phi) \exp[i\Phi(p, \psi)] \times \exp\{2\pi i [pr \cos(\phi - \psi) - p'r' \cos(\psi - \phi')]\} r p dr d\phi dp d\psi \quad (2)$$

으로 주어진다. 이때 $\Phi(p, \psi)$ 는 bump의 기하학적 높이($H(p, \psi)$)에 의한 위상 높이로 주어지며, bump 형태의 변화를 고려한 회절 대칭성을 갖는 bump의 위상 높이 $\Phi(p)$ 는

$$\Phi(p) = \begin{cases} \frac{4\pi n H(p)}{\lambda} & 0 \leq p \leq (b_0 - \Delta b_0) \\ \frac{4\pi n H(p)}{\lambda} \sin^2 \left[\pi \left(\frac{b_0 - p}{2\Delta b_0} \right) \right] & (b_0 - \Delta b_0) \leq p \leq b_0 \\ 0 & p > b_0 \end{cases} \quad (3)$$

으로 주어진다. 여기서 λ 는 입사광의 파장, n 은 디스크 면을 이루는 물질의 굴절률이고, b_0 는 bump의 환산반경, Δb_0 는 변형된 bump 영역을 나타낸다. 그림 1은 본 논문에서 고려한 bump 형태의 단면이며, 이때 $\Delta b_0/b_0 = 0.0, 0.5, 1.0$ 는 각각 원통형, 준원추형, 그리고 원추형 bump를 나타낸다. 또한 본 논문에서는 bump 중앙에서 기하학적 높이 (nH_0)가 $\lambda/4$ 일 때를 고려하였다.

회절 대칭성을 갖는 동함수와 bump를 고려한 광학 디스크 면에서 반사되어 되돌아온 광의 복소진폭 $f'(r')$ 는

$$f'(r') = f(r') - 2\pi \int_0^{b_0} \int_0^1 (1 - \exp[i\Phi(p)]) f(r) J_0(2\pi p r) J_0(2\pi p r') r p dr dp \quad (4)$$

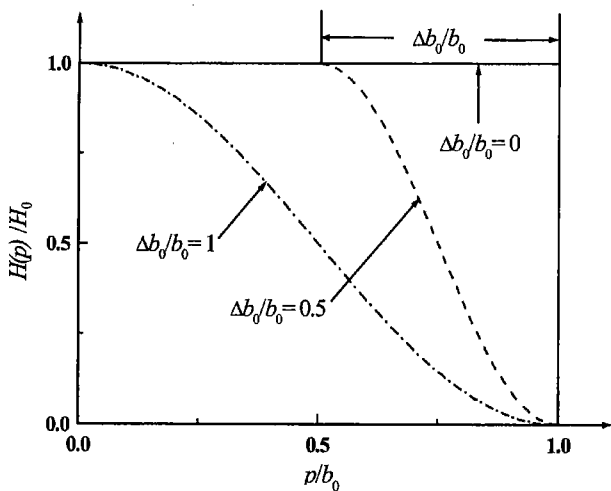


그림 1. Bump 형태의 단면.

으로 표현되며, 이때 회절광의 강도 $I'(r')$ 는 $f'(r')$ 의 제곱으로 주어진다.

디스크 면상에 맺은 회절광은 다시 반사되어 무축화된 대물렌즈를 통과한 후 검출기에 신호를 주게 된다. 이 때 검출되는 재생신호는

$$S = 1 - \frac{E}{E_0} = 1 - \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^1 I'(r') r' dr' d\phi'}{\int_0^{2\pi} \int_0^1 I_0'(r') r' dr' d\phi'} \quad (5)$$

으로 광학 디스크 면상에 bump가 없을 때 반사되어 되돌아온 광량(E_0)과 bump가 있을 때 반사되어 되돌아온 회절광의 광량(E)의 상대적 감량으로 표현된다.

2.2. 환형 위상변조 apodizer와 동함수

본 논문에서는 광학 디스크 시스템에 포함된 구면수차의 영향을 최소화 하기 위해 크기가 1로 규격화된 동(pupil)상에 환형 위상변조 apodizer를 적용하였으며, 그때의 동함수는

$$f(r, \phi, \theta) = \begin{cases} \exp[2\pi i W(r, \phi)] & 0 \leq r < r_1 \\ \exp[2\pi i W(r, \phi) + \theta] & r_1 \leq r \leq r_2 \\ \exp[2\pi i W(r, \phi)] & r_2 \leq r \leq 1 \\ 0 & r > 1 \end{cases} \quad (6)$$

으로 표현된다. 여기서 $2\pi\theta$ 는 위상변조량이고, $W(r, \phi)$ 는 파면수차함수로 주어지며, 이때 회절 대칭성을 갖는 구면수차(W_{40})와 초점이동(W_{20})을 고려한 파면수차함수는 다음과 같다.

$$W(r) = W_{40}r^4 + W_{20}r^2 \quad (7)$$

그림 2는 광학 디스크 시스템의 동(pupil)에서 식 (7)로부터 주어지는 파면수차 형태를 나타내며, 그림 2를 이용한 구면수차의 영향을 최소화하는 환형 위상변조 apodizer의 변조 위치(r_1, r_2)와 변조량($2\pi\theta$)을 결정하였다. 이때 환형 위상변조 위치(r_1, r_2)는 W_R 를 정의하여 구하였으며, W_R 는 동상에서 임의의 위치 r 에 대한 파면수차량(W)과 파면수차량의 극대치의 절대

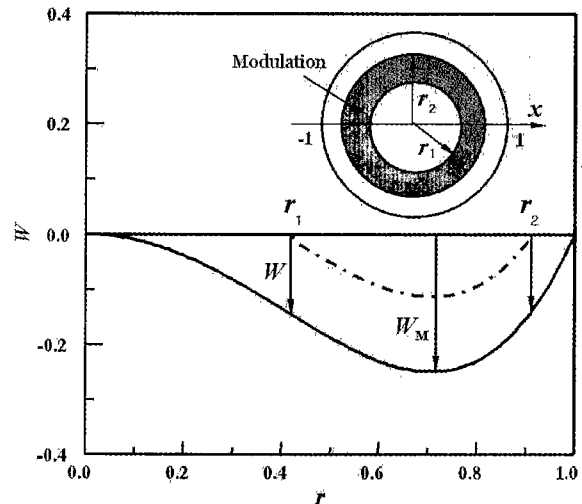


그림 2. 회절 대칭성 수차를 갖는 광학 디스크 시스템의 동에서 파면수차 형태와 환형 위상변조 위치.

값(W_M)의 비로,

$$W_R = \frac{W}{W_M}, \quad 0 \leq W_R \leq 1 \quad (8)$$

으로 정의하였다. 본 논문에서는 W_R 이 0.4, 0.6, 0.8일 때 환형 변조위치(r_1, r_2)를 고려하였다.

또한 구면수차의 영향을 최소화하기 위한 위상변조량($2\pi\theta$)은 본 연구실에서 발표한 파면수차의 분산식을 도입한 최적 위상변조량²⁰⁾으로 결정되며, 다음과 같이 주어진다.

$$\theta = \frac{-\int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} W(r, \phi) r dr d\phi + (r_2^2 - r_1^2) \int_0^{2\pi} \int_0^1 W(r, \phi) r dr d\phi}{\pi(r_2^2 - r_1^2)(1 - r_2^2 + r_1^2)} \quad (9)$$

환형 위상변조 apodizer를 광학 디스크 시스템에 적용한 경우에 디스크 면을 반사하여 되돌아온 회절광의 복소진폭은 식 (3)과 식 (6)을 식 (4)에 대입하면,

$$\begin{aligned} f(r') = & f(r') - (2\pi)^2 [1 - \exp(i\Phi_0)] \int_0^{b_0 - \Delta b_0} J_0(2\pi pr') p \\ & \times \left\{ \int_0^1 \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi pr) r dr dp \right. \\ & \left. - [1 - \exp(2i\pi\theta)] \int_{r_1}^{r_2} \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi pr) r dr dp \right\} \\ & - (2\pi)^2 \int_{b_0 - \Delta b_0}^{b_0} [1 - \exp(i\Phi_0 \sin \left[\pi \frac{(b_0 - p)}{2\Delta b_0} \right])] J_0(2\pi pr') p \\ & \times \left\{ \int_0^{r_1} \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi pr) r dr dp \right. \\ & \left. - [1 - \exp(2i\pi\theta)] \int_{r_1}^{r_2} \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi pr) r dr dp \right\} \quad (10) \end{aligned}$$

으로 주어지며, 이때 재생신호는 식 (10)을 식 (5)에 대입하여 계산할 수 있다.

III. 수치결과

구면수차가 포함된 광학 디스크 시스템에 환형 위상변조 apodizer를 적용하여 디스크 면상에 맺는 회절광의 강도분포를 W_R 에 의해서 주어지는 위상변조량과 위치에 따른 중심강도비(CPR)와 sidelobe 강도비(SPR)를 그림 3으로 나타내었다. 이때 CPR은 W_R 의 변화에 따른 apodizer를 사용한 경우와 apodizer를 사용하지 않은 경우에 대한 중심강도의 비로 정의하였으며, SPR는 같은 두 경우에 sidelobe 강도의 비로 정의하였다. 회절광의 강도분포에서 W_R 이 0에서부터 증가함에 따라 CPR은 증가하였다가 감소하는 경향을 나타낸 반면에 SPR은 감소하였다가 증가하였으며, 이러한 경향은 구면수차가 증가할수록 크게 나타남을 알 수 있었다. W_R 이 대략 0.5를 중심으로 CPR와 SPR은 거의 대칭적으로 변화하기 때문에 본 논문에서는 변조위치가 $W_R=0.4, 0.6, 0.8$ 인 환형 위상변조 apodizer를 구면수차가 포함된 광학 디스크 시스템에 적용하였다.

0.5λ의 구면수차를 갖는 광학 디스크 시스템에 환형 위상변조 apodizer를 적용하여 bump 반경과 형태의 변화에 따른

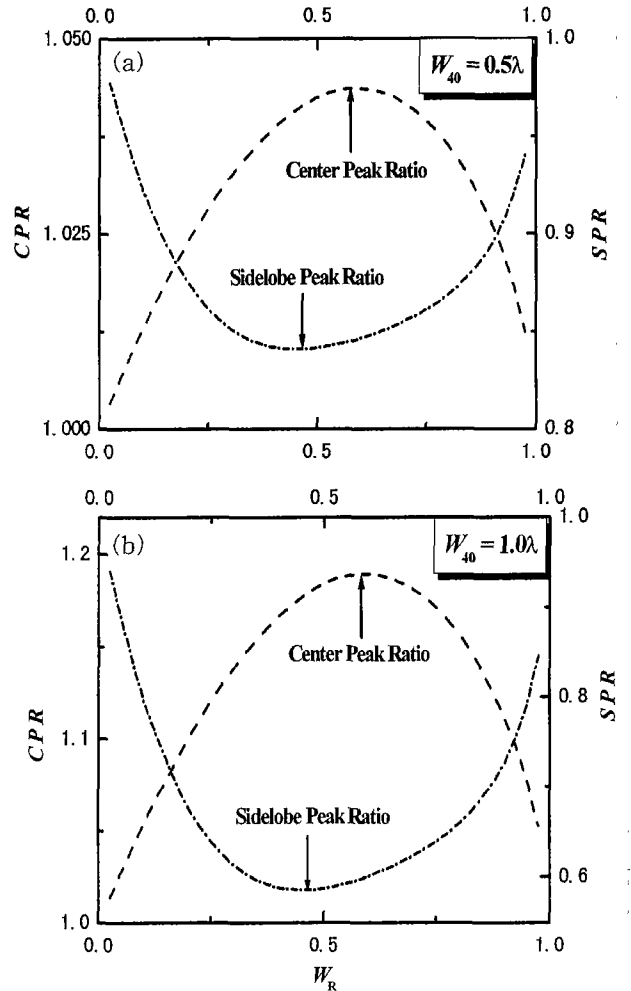
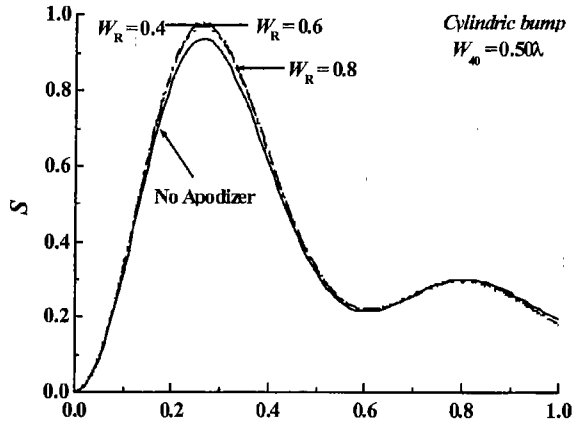


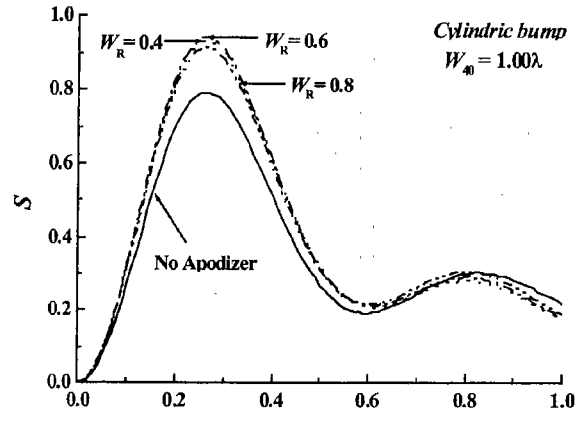
그림 3. 광학 디스크 면상에 맺는 회절광의 강도분포(PSF). (a) 0.5λ의 구면수차 (b) 1.0λ의 구면수차.

재생신호의 변화를 그림 4로 나타냈으며, 환형 위상변조 apodizer에 의한 재생신호의 변화는 apodizer를 적용하지 않은 경우의 대한 재생신호의 변화와 유사한 경향을 가졌다. 또한 그림 4(b)와 (c)는 각각 준원추형 bump와 원추형 bump의 재생신호로서 모든 bump 반경에서 apodizer를 사용하지 않는 경우보다 환형 위상변조 apodizer를 적용한 경우에 대해 재생신호가 항상 높게 나타내고 있음을 보여 주고 있다. 그러나 4-(a)의 원통형 bump에서는 bump 반경이 대략 0.8이상일 때 apodizer를 사용하지 않는 경우에 대한 재생신호가 환형 위상변조 apodizer의 경우보다 높았다.

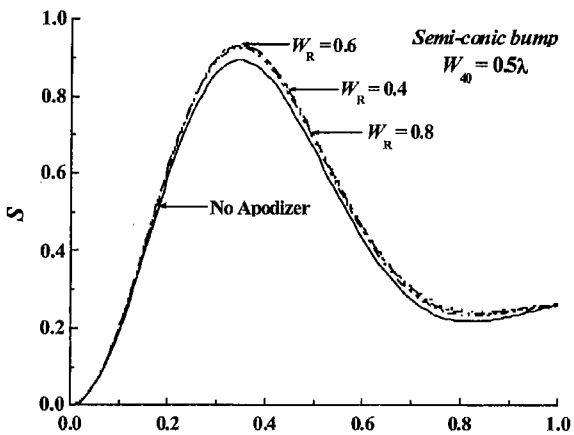
그림 4(a)는 원통형 bump의 반경이 증가함에 따른 재생신호로서 반경이 0인 곳에서 재생신호가 0이 되며, 반경이 증가할수록 재생신호가 증가하여 극대치를 가졌다가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 그 이유는 $b_0=0$ 인 경우는 디스크 면상에 bump가 없는 경우로 재생신호는 발생하지 않으며, bump 반경이 증가함에 따라 디스크 면상에서 bump가 있는 영역과 없는 영역을 반사하여 동으로 되돌아온 회절광은 상호간의 위상차에 의한 상쇄간섭과 보강간섭이 이루어지면서 재생신호는 점점 증가하여 극대치를 가진 후에 감소함을 그림 4에서 알 수



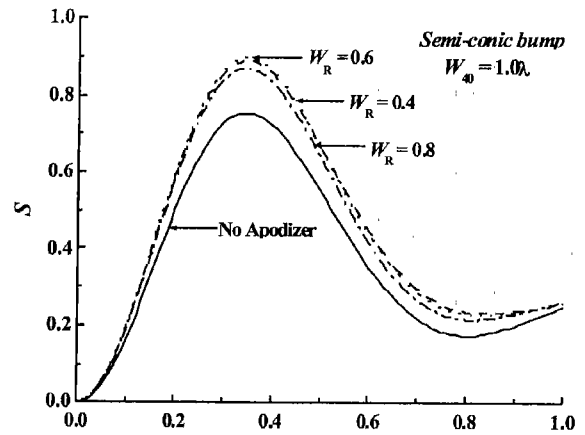
(a)



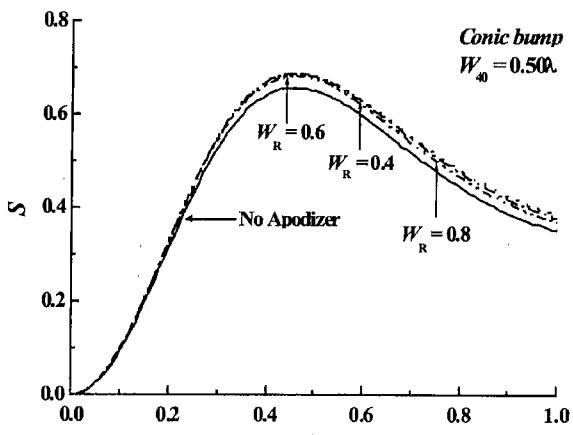
(a)



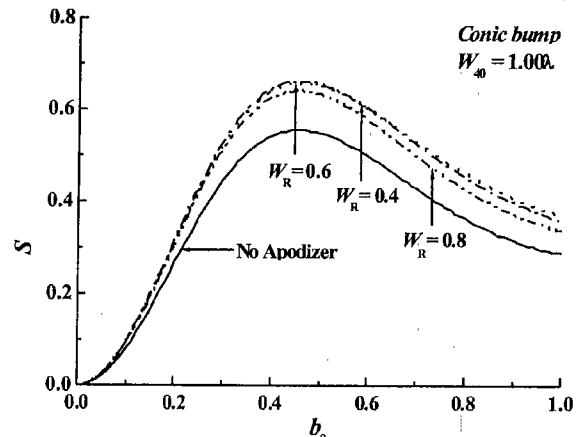
(b)



(b)



(c)



(c)

그림 4. 0.5λ의 구면수차를 갖는 광학 디스크 시스템에서 bump 반경과 형태의 변화에 따른 재생신호의 변화. (a) 원통형 bump, (b) 준원추형 bump, (c) 원추형 bump.

그림 5. 1.0λ의 구면수차를 갖는 광학 디스크 시스템에서 bump 반경과 형태의 변화에 따른 재생신호의 변화. (a) 원통형 bump, (b) 준원추형 bump, (c) 원추형 bump.

있다.^[19]

Bump 형태의 변화에 따른 재생신호의 변화는 원통형 bump에서 원추형 bump로 변형 정도가 증가함에 따라 최대 재생신호가 감소하였으며, 실제 광학 디스크 시스템에 사용 가능한 0.6 이상의 재생신호를 가질 수 있는 최소 bump 반경이 커짐

을 그림 4(a)와 (b) 그리고 (c)를 통해 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 bump 형태의 변화가 커질수록 디스크 면상에서 bump가 있는 영역과 없는 영역을 반사하여 되돌아온 회절광 사이의 위상차에 의한 상쇄 간섭보다는 bump 형태의 변화에 의한 손실되는 광량이 더 커지기 때문이다.

그림 4와 5는 광학 디스크 시스템에 포함된 구면수차가 각

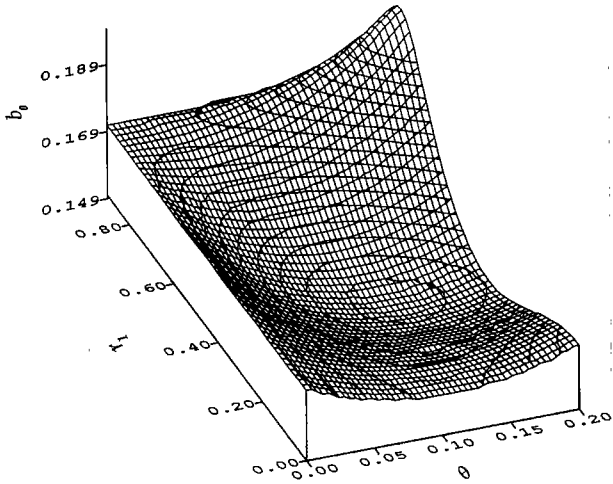


그림 6. 1.0 λ의 구면수차를 갖는 광학 디스크 시스템에 환형 위상 변조 apodizer의 위상변조량 θ 와 내경 r_1 의 변화에 따른 원통형 bump에서 0.6이상의 재생신호를 갖는 최소 bump 반경.

각 0.5 λ와 1.0 λ일 때 bump 반경과 형태의 변화에 따른 재생신호의 변화를 나타내며, 환형 위상변조 apodizer를 사용한 경우에 구면수차가 증가함에 따라 최대 재생신호의 변화와 0.6 이상의 재생신호를 갖는 최소 bump 반경의 변화가 거의 없었다. 그러나 apodizer를 사용하지 않은 경우에는 구면수차의 증가에 따른 최대 재생신호와 최소 bump 반경의 변화가 큼을 알 수 있었다. 또한 환형 위상변조 apodizer의 변조위치를 나타내는 W_R 의 변화에 대한 재생신호의 변화가 거의 없었으며, 이는 식 (9)에 의해 결정된 위상 변조량이 구면수차에 대한 보정효과가 큼을 확인 할 수 있었다. 특히 $W_R=0.4, 0.6$ 인 경우에는 구면수차의 증가에 따른 최대 재생신호의 감소 폭 뿐만 아니라 최소 bump 반경의 변화가 가장 작았다.

그림 6은 원통형 bump에서 $W_R=0.6$ 인 환형 위상변조 apodizer를 고려하여 외경 r_2 가 0.91일 때, 내경 r_1 과 위상변조량 θ 의 변화에 따른 0.6 이상의 재생신호를 가질 수 있는 최소 bump의 변화를 나타낸다. 0.6 이상의 재생신호를 갖는 최소 bump 반경은 r_1 과 θ 가 0에서부터 증가함에 따라 작아졌다가 r_1 이 대략 0.38~0.48, 그리고 θ 가 대략 0.120~0.160 일 때 최소 bump 반경이 0.149로 극소치를 가진 후에 점차 증가하였다. 이러한 현상은 원통형 bump뿐만 아니라 준원추형 bump와 원추형 bump에서도 유사한 현상을 나타냄을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 일본의 Pioneer Electronic Corporation에서 구면수차를 포함한 DVD 시스템의 RMS aberration을 최소로 하는 최적의 변조위치(r_1, r_2)의 결과와 거의 일치하였다.^[21]

IV. 결 론

본 논문에서는 구면수차가 포함된 광학 디스크 시스템에 환형 위상변조 apodizer를 적용하여 광학 디스크 면상에 맺은 회절광의 강도분포와 bump 반경과 bump 형태의 변화에 따른

재생신호의 변화를 조사하였다. 이때 환형 위상변조 apodizer의 위상변조량과 위치는 W_R 에 의해 결정하였다.

환형 위상변조 apodizer에서 W_R 의 변화에 따른 회절광의 강도분포는 apodizer를 사용하지 않은 경우와 비교하여 중심 강도는 항상 높고, sidelobe 강도는 낮았다. Bump 반경의 변화에 따른 재생신호의 변화는 apodizer가 사용되지 않은 경우와 유사한 경향을 나타냈으며, W_R 에 대한 모든 경우에 apodizer를 사용하지 않은 경우보다 높은 최대 재생신호를 가졌다. 또한 원통형 bump에서 원추형 bump로 bump 형태의 변화가 증가할수록 최대 재생신호는 감소하였다. 구면수차가 0.5 λ에서 1.0 λ로 증가함에 따른 환형 위상변조 apodizer를 적용한 경우의 최대 재생신호의 변화는 아주 작았으며, 실제 광학 디스크 시스템에 사용 가능한 0.6 이상의 재생신호를 갖는 최소 bump 반경의 변화가 거의 없었다. 특히 $W_R=0.4, 0.6$ 인 경우에는 구면수차에 대한 보정효과가 가장 큼을 알 수 있었으며, 이것은 일본의 Pioneer Electronic Corporation에서 발표하였던 DVD 시스템의 RMS aberration을 최소화하는 환형 변조위치와 거의 일치하였다.

이러한 결과들로부터 Digital Video Disc와 같은 고밀도 광학 디스크 시스템 개발에 유용하게 적용되리라 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 두뇌한국21 사업과 한국과학재단의 한국물리학회 특별사업인 지방대 우수교수 연구장려 사업에 의하여 지원되었음.

참고문헌

- [1] Roel van woudenberg, "Short wavelength phase-change recording," *Jpn. J. Appl. phys.*, vol. 37, no. 4B, pp. 2159-2162, 1998.
- [2] F. Yokogawa, S. Ohsawa, T. Iida, Y. Araki, K. Yamamoto and Y. Moriyama, "The path from a digital versatile disc (DVD) using a red laser to a DVD using a blue laser," *Jpn. J. Appl. phys.* Vol. 37, No. 4B, pp. 2176-2178, 1998.
- [3] Y. Tanaka, M. Yamagata, Y. Komma, S. Mizuno, and K. Nagashima, "Lens design for optical head compatible with compact disk and digital versatile disk," *Jpn. J. Appl. phys.*, vol. 37, no. 4B, pp. 2179-2183, 1998.
- [4] 박성찬, 김철민, 송인상, 최인호, 정원울, 고의석, 김진용, "DVD/CD 호환형 SINGLE LENS 광 PICK-UP," 제7회 광기술 워크샵 논문집, pp. 15-24, 1997.
- [5] H. Ando, T. Yokota, and K. Tanoue, "Optical head with annular phase-shifting apodizer," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 32, no. 11B, pp. 5269-5276, 1993.
- [6] H. Ando, "Preventing coma aberration by annular apodizer for optical disk tilting," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 38, no. 2A, pp. 755-766, 1999.
- [7] P. Y. Liu, H. P. Shiel, J. J. Ju, S. T. Tsai, T. M. Yang, T. K. Chang, and J. S. Liu, "A novel dual focus objective lens for DVD/CD pick-up head," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 34, no. 2, pp. 462-464, 1998.

- [8] C. W. Lee, C. S. Chung, K. H. Cho, P. Y. Seong, and T. K. Kim, "A compact-disc-compatible digital versatile disc pickup using annular mask," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 36, no. 1B, pp. 486-490, 1997.
- [9] J. H. Yoo, C. W. Lee, K. H. Cho, H. S. Choi and J. W. Lee, "An optical head with special annular lens for laser disc-compatible digital versatile disc pickup" *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, no. 4B, pp. 2184-2188, 1998.
- [10] C. W. Lee, C. S. Chung, J. H. Yoo, Y. H. Lee, T. K. Kim, Y. K. Son, S. J. Kim, P. Y. Seong, and K. S. Kim, "A compact disc-recordable compatible digital versatile disc pickup with a lens for 780 nm and 650 nm Wavelength," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, no. 4B, pp. 2197-2200, 1997.
- [11] M. O. Freeman, H. F. Shih, H. R. Chang, J. K. Wang, C. L. Chen, R. N. Chuang, and M. W. Chang, "High efficiency HOEs for holographic DVD pickup heads," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 34, no. 2, pp. 456-458, 1998.
- [12] M. Yamada, S. Kajiyama, Y. Kanou, Y. Matsumura, and Y. Tsuchiya, "DVD/CD/CD-R compatible pick-up with two-wavelength two-beam laser," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 44, no. 3, pp. 591-600, 1998.
- [13] V. Boopathi, Y. Wu, and T. C. Chong, "High density optical storage based on superresolution techniques employing optical path filtering and saturable absorption," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 34, no. 1-2, pp. 404-406, 1998.
- [14] C. S. Chung and H. H. Hopkins, "Influence on the read-out signal of the height profile of the pits (or bumps) on optical discs," *J. Mod. Optics*, vol. 42, no. 1, pp. 57-83, 1995.
- [15] 박성종, 정창섭, "단락된가우스 광이 광학 디스크 재생 신호에 미치는 영향," *한국광학회지*, vol. 7, no. 4, pp. 434-439, 1996.
- [16] S. J. Park and C.S. Chung, "The influence of gaussian beam on the read-out signal in an optical disc system with a residual aberration," *J. Kor. Phys. Soc.*, vol. 32, no. 1, pp. 35-41, 1998.
- [17] S. J. Park and C. S. Chung, "Effect of amplitude modulation on the read-out signal in an optical disc system with a residual aberration," *Optics & Laser Tech.*, vol. 30, no. 3,4, pp. 85-91, 1998.
- [18] 박성종, 심상현, 정창섭, "Central obstruction 반경에 따른 무수차 광학 디스크 시스템의 재생 신호 변화," *새물리*, vol. 39, no. 1, pp. 8-12, 1999.
- [19] 박성종, 심상현, 정창섭, "Shaded apodizer가 광학 디스크 시스템의 재생 신호 변화," *한국광학회지*, vol. 10, no. 6, pp. 443-447, 1999.
- [20] 이영철, 정창섭, 박성종, 이윤우, "광학계의 위상 변조 조건에 따른 중심 강도 변화," *한국광학회지*, vol. 11, no. 2, pp. 67-72, 2000.
- [21] T. Yanagisawa, K. Koike, M. Ogasawara, U.S. Patent 6124988, 2000.

Effect of annular phase apodizer on the read-out signal in an optical disc system

Ho Jeong and Chang Sub Chung[†]

Department of Physics, Chonnam National University, Kwangju 500-757, KOREA

[†]E-mail: cschung@chonnam.chonnam.ac.kr

Seong Jong Park

Department of Ophthalmic Optics, Sunchon Chongam College, Sunchon 540-743, KOREA

(Received March 20, 2001 ; Revised manuscript received June 21, 2001)

We have studied effects of annular phase apodizer and bump shapes on the read-out signal in an optical disc system, using scalar diffraction theory. In order to determine the optimum parameters of annular phase apodizer which will minimize the influence of spherical aberration, we defined W_R as the ratio between the maximum wavefront aberration and some absolute value of wavefront aberration at any position r in the pupil. A cylindric bump, a semi-conic bump and a conic bump were also considered as different types of bump shape. As the radius and shape of bump varies, the read-out signal from an optical disc system with an annular phase apodizer was similar to that from an optical disc system without apodizer. When spherical aberration increases, the maximum read-out signal of an optical disc system with an annular phase apodizer and minimum bump radii giving read-out signal higher than 0.6 rarely varied. Especially, the optimum parameters at $W_R=0.4$, 0.6 gave the most compensated effect of a spherical aberration.

Classification codes : SM.010, SM.020.