

---

# 광 픽업 장치에서의 지-터 특성개선을 위한 회절 광학소자의 설계

이건기\* · 정원근\* · 이주원\* · 김영일\* · 전재철\*

## Design of Diffractive Optical Element for Improving Jitter Characteristics of Optical Pickup

Gun-Ki Lee\* · Won-Geun Jung\* · Ju-Won Lee\* · Young-Il Kim\* · Jae-Chul Jun\*

### 요 약

본 연구에서는 CD, DVD의 기록 및 재생기에 사용되는 광 픽업 장치에서의 빔의 특성을 좋아지게 하기 위하여 DOE(회절광학소자)를 무족화(apodization)와 첨예화의 두 가지 방법으로 설계하여 최적화 알고리즘으로 심플렉스법을 적용하여 기존 광 픽업 장치와 비교 분석하였다. 분석된 결과 무족화에 있어서 기존 광 픽업 장치와 비교하여 2차 피크와 3차 피크는 39%, 63%로 억제되어 현저한 효과를 볼 수 있었고, 첨예화에서는 1차 피크의 폭이 4.8% 줄일 수 있었다. 그러나 이 역시 2차 피크가 커지는 부작용이 동반되는데 광 픽업 장치가 2차 피크의 영향이 적은 환경에서는 지터특성의 개선이 있을 것으로 기대하지만 1차와 2차 피크가 복합적으로 영향을 미치는 경우에는 광시스템에 대한 면밀한 고려하면, 원형상의 경우 단일 슬릿에 비하여 2차 피크의 밝기가 37%에 불과하여 실제의 산업현장에서 2차 피크를 무시하는 것을 고려하면 4.8%의 폭을 줄여 지터 특성이 개선되었다.

### ABSTRACT

A diffractive optical element(DOE) for an optical pickup system is proposed in this thesis. Optimization algorithms are used to synthesise the DOE to meet a detailed specification of the two kind of cost function. The one is so called as apodization which refers to the process of suppressing the secondary maxima and the other is so called as sharpness which refers to the process of reducing the size of primary maxima. The result obtained by simplex optimization method is that the apodization and sharpness are well achieved separately. In apodization, the secondary maxima is reduced up to 39%. And in sharpness, the size of first maxima is reduced to 95.2%.

### 키워드

Diffractive Optical Element, Apodization

### 1. 서 론

1982년의 세계 최초로 SONY에 의해 CD 재생기(Compact Disk Player)가 상품화되면서 1990년대부터 CD 재생기의 일반대중화 보급 시대가 열

린 후, 한 시대를 풍미했던 LP 시대는 CD에 밀려 역사의 뒷골목으로 사라지게 되었다. 이렇게 기계적인 신호의 기록, 재생에서 빛을 이용한 신호의 기록과 재생으로 바뀐 것은 1960년대의 레이저의 개발, 특히 반도체 레이저의 개발과 신호 처리 LSI

개발 등 반도체 기술발전에 의한 것인데 지금에 이르러서는 CD에서 사용하는 780nm의 AlGaAs보다 적은 650nm의 AlGaInP 반도체 레이저가 개발되어 이를 이용하여 기록밀도가 높은 DVD(Digital Versatile Disk)를 실용화 할 수 있게 되었다.

CD나 DVD 재생장치에는 트랙에 기록된 디지털 신호를 읽어내기 위한 광 픽업 장치가 있는데 이는 레이저에서 나온 빛을 볼록렌즈를 통하여 트랙에 집속하여 비추게 되고 이의 반사광을 다시 수광소자를 통하여 읽게 하는 일체화된 장치이다. 이때 레이저 빛을 볼록렌즈로 집속하더라도 회절효과 때문에 일정한 크기의 원판이 형성되는데 이 때문에 트랙에 기록하는 신호의 밀도를 무한히 높일 수 없게 된다. 이 회절효과에 의한 원형의 무늬, 즉 에어리 원판(Airy Disk)의 직경이 파장에 비례하여 기록밀도는 한계를 가지게 된다. 에어리 원판의 직경을 줄이기 위하여 반도체 레이저의 파장을 줄이는 연구와 레이저빔의 형태를 다른 방법으로 가공하는 연구가 계속되고 있다. 에어리 원판은 가장자리로 갈수록 밝기가 줄어들어 원판의 끝에서는 밝기가 0이 된다. 뿐만 아니라 그 원판 너머에는 주 피크에 비하여는 미약하지만 새로운 원형 고리 모양의 2차 피크, 3차 피크가 존재하며 이것은 광 픽업 장치의 해독특성을 나쁘게 한다.[1]

광 픽업 장치에서 신호 비트의 가장자리를 얼마나 정확하게 검출하느냐가 그 성능을 좌우하게 된다. CD에 기록된 비트 신호를 재생할 때, 재생 신호의 영교차점(zero-cross)은, 원신호의 영교차점과 시간축에서 일치할 때가 가장 이상적이나, 실제로 시간 축에 대한 떨림이 발생하는데, 이것을 지터(jitter)라고 한다. 이 지터는 재생 광학계 내부 및 외부 요인의 수차에 의해 발생하는 지터, 전기회로 및 레이저 자체에서 발생하는 잡음에 의한 지터, 회로계에서 발생하는 지터, 빛의 회절에 의한 원판의 크기에 의한 비트 패턴 사이의 간격이 줄어들어 발생하는 지터 등으로 구분할 수 있다. 대부분의 지터들은 그 원인에 따라 다른 처방이 있을 수 있지만 이 중 빛의 회절 특성에 의하여 발생하는 지터는 근본적으로 없앨 수는 없다. 단지 에어리 원판의 크기를 줄여서 지터 특성을 개선할 수 있다.[2]

따라서 본 연구에서는 지터를 줄이는 방법으로 회절광학소자(DOE : Diffractive Optical Element)를 광 픽업 장치의 대물렌즈 전단에 적용하여 빔의 특성을 개선하였다. DOE의 위상지연값의 최적화를 위한 다양한 알고리즘을 분석하여 최적 알고리즘을 구하고, 빔의 특성을 개선하기 위해 2차 피크의 크기를 줄이는 것과 1차 피크의 폭을 줄이는 두

가지 방법을 사용하였다.

## II. 광 픽업 장치와 지터

원형 창 of 회절의 1차 피크인 에어리 원판이 유한한 크기를 하고 있는 점이나 2차, 3차 피크가 있는 점이 망원경이나 현미경 등 광학기구의 분해능을 제한하는 요소가 되기도 하지만 CD에서 트랙의 정보를 읽어줄 때에도 제한을 주게 된다. 반도체 레이저에서 나온 빔이 볼록렌즈를 통해서 집속될 때 초점에 형성되는 빔의 단면은 볼록렌즈에 비추어진 빔의 단면을 한 창 of 모양에 대한 회절상이다. 일반적으로 원형 of 볼록렌즈는 레이저 빔 of 대부분 받아들이므로 CD of 트랙에는 에어리 원판이 비추어진다고 볼 수 있다. 집속 볼록렌즈 of 직경을  $D$ , 초점거리를  $F$ 라 할 때 초점면에 형성되는 에어리 원판 of 직경 즉 spot 크기를 계산해보자. 원형창 of 회절공식에서  $\rho = kR\sin\theta = 3.83$  이고  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $D = 2R$  이고, 렌즈에서 본 에어리 원판 of 각반경을  $\Theta$ 라 하면

$$\Theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

따라서 에어리 원판 of 직경(spot size)은

$$S = 1.22 \frac{\lambda}{NA} \quad (2)$$

이다. 여기서 NA는 조리개수(numerical aperture)로서  $R/F$  이다. 780nm of AlGaAs 레이저를 이용한 광 픽업 장치 of 경우 보통  $NA = 0.45$  를 사용하므로 빔 of 직경은

$$S = 1.22 \frac{780\text{nm}}{0.45} \approx 2.1\mu\text{m} \quad (3)$$

가 되고, DVD인 경우에는 650nm of AlGaInP,  $NA=0.6$ 이 보편적이어서 직경은  $1.3\mu\text{m}$ 로 줄어들어 기록밀도를 높일 수 있다.[3]

그림 1은 CD에 대물렌즈에 의해 집속된 빔이 비추어 지는 것을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 빔은 초점면에서 가장 크기가 작아지기는 하지만 점으로 되지는 못한다. 이 초점면에 바로 반사층이

있어 이것이 노출되어 있는가에 따라서 집속된 빛의 반사여부가 결정된다.[4]

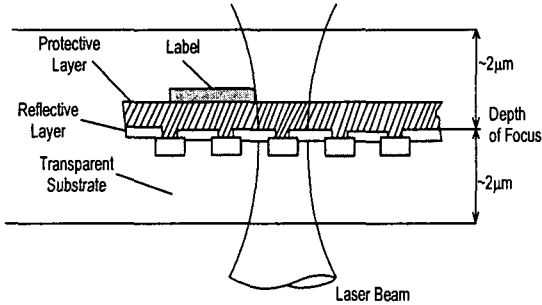


그림 1. CD의 레이저 빔 조사  
Fig 1. The cross section of CD.

그림 2는 점으로 집속된 이상적인 레이저로 그 패턴을 읽었을 때에 비하여 유한한 크기의 빔에 의해 읽혀지는 신호가 어떻게 달라지는 가를 보여주고 있다. 0.83~3.56μm의 9 단계의 길이로 되어 있는 PIT에 레이저빔이 지나갈 때 1.5T~5.5T까지의 9 단계로 다른 구형파가 만들어져야 하나 실제의 재생신호는 유한한 대역폭의 신호가 된다. 이렇게 파형이 뭉개지게 되는 것은 바로 에어리 디스크의 유한한 반경, 2차 피크의 존재 등이 그 원인이 된다.[3][4] 실제로 재생신호로부터 신호의 영교차점(zero cross)을 해석하여 원래의 비트 정보를 읽게 되는데 이 과정에서 광 픽업 장치가 가지고 있는 수차 등이 유발시키는 지터가 존재하게 되어 신호 해독에 착오를 일으킬 가능성이 생기게 된다. 이외에도 지터의 발생원인은 서론에서 언급한 것처럼 반도체 레이저의 열적잡음, 전자회로에서의 잡음 등이 있을 수 있다.[5]

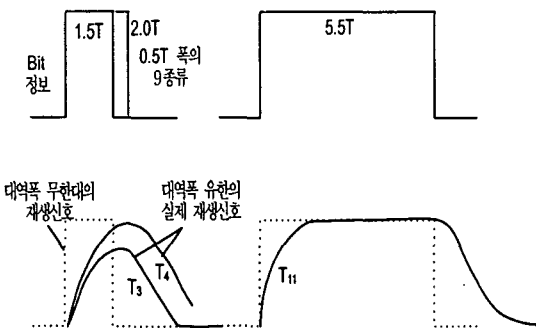


그림 2. 광 픽업의 실제 재생 신호  
Fig 2. The signal of the optical pickup that has the real finite-dimensional beam.

### III. 최적화 알고리즘

수학에서 수치해석을 통하여 방정식의 해를 구하거나 공학설계에서 최적의 조건을 구해내는 문제에 대한 연구는 컴퓨터의 발달과 더불어서 비약적인 발전을 하고 있다. 수치해석 기법은 수학적인 엄밀성을 추구하는 고전적인 해법에서 탈피하여 자연이 평형을 찾아가는 원리를 흉내내는 모의담금질법(simulated annealing method: SA법)이나 유전해법(genetic algorithm : GA법) 등이 개발되어 그 성능이 좋은 평가를 받고 있다.[6][7][8] 최적화 과정의 전형적인 문제로서 몇 개의 파라미터에 의존하는 함수가 의도하는 결과에 도달하기 위한 파라미터를 찾는 문제를 생각해 보자. 파라미터  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ 라 하고 변수를  $x$ 라 하여 함수를  $H(P_1, P_2, P_3, \dots, P_N; x)$ 로 나타내자. 한편  $(x_1, x_2, \dots, x_M)$  값들에 대한 측정치가  $(h_1, h_2, \dots, h_M)$ 이라면 최적의 파라미터들은 다음의 제곱편차의 합이 최소인 경우에서 찾아진다.

$$G(\vec{P}) = \sum_{i=1}^M [H(\vec{P}, x_i) - h_i]^2 \quad (4)$$

여기서  $N$ 차원의 파라미터 공간에서 벡터로 파라미터들을 표시하였고, 제곱편차의 합이 최소가 되는 조건 대신에 가중치를 달리하는 등 다른 요구를 할 수 있을 것이다. 이 함수를 검증함수(test function)라 하면, DOE의 경우라 한다면 파라미터  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ 는 각각 DOE의 각 세포에서의 위상변화값  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_N$ 이 될 것이고,  $(x_1, x_2, \dots, x_M)$ 는  $m=0, 1, 2, \dots, N-1$ ,  $H$  함수는  $I(m)$ 이 될 것이다. 일반적으로  $N \leq M$ 이 되어야 하는데 DOE에서는  $N = M$ 이 되어  $N$ 개의 파라미터를 찾을 수 있다.

앞에서의  $G$ 함수가 최저값을 갖는 벡터  $\vec{P}$ 를 찾는 일은 벡터의 차원이 클 경우에는 어렵고, 또한 계산량이 많아진다. 고전적인 최적화법으로 언덕오르기법(hill-climbing method : HC법)과 심플렉스법(simplex method : SM법)이 있다.

HC법은 수학적인 엄밀성을 추구한 것으로 초기 추정치에서의 구배(gradiant)를 계산하여 최소값으로 추적해가는 방법이다. 여기서 다음과 같이  $G(\vec{P})$ 의 2계미분인 Hessian 행렬을 다음과 같이 정의하자.

$$H(\vec{P}) = \frac{\partial^2 G(\vec{P})}{\partial P_i \partial P_j}, \quad i, j = 1, \dots, N \quad (5)$$

이는  $N$ 차원의 행렬이 된다. 한편 최소값의 방향은  $G(\vec{P})$ 의 구배  $\nabla G(\vec{P})$ 의 반대 방향으로서 다음의 순환계산을 통하여 최소값으로 접근한다.

$$\vec{P}^{(n+1)} = \vec{P}^n - \alpha \nabla G(\vec{P}^n) \quad (6)$$

이 접근이 수렴하는 충분조건은  $\epsilon \geq 0$ 일 때

$$\epsilon \leq \alpha \leq \frac{2}{\|H\|} - \epsilon \quad (7)$$

이다. 이 HC법은  $N$ 차원의 행렬식  $\|H\|$ 을 계산해야 하므로 파라미터의 차원이 높을 때에는 그 차원의 제곱의 행렬값을 계산해야 하므로 엄청난 계산량을 요한다. 그러나 이 방법은 국소 영역에서의 최소점을 확실하게 구할 수 있어 계산의 최종단계에서나 파라미터의 차원이 높을 때 적용할 수 있다. 그러나 위의 두 방법 모두 국소적인 최소점(local minima)을 구할 수 있지만 전체의 최소값을 구하기 어렵다. 따라서 두 방법을 병행하거나,  $N$ 차원 공간을 격자로 나누어 그 모든 격자점을 초기값으로 하여 이로부터 가장 합당한 최소점을 추정하게 할 수 있을 것이다.

심플렉스법(simplex method : SM법)은 국소적인 최소점에서 탈출할 수 있는 가능성을 최적화과정 중간중간에 부여한다. 즉  $N$ 차원의 파라미터 공간에서  $N+1$  개의 점으로 구성된 심플렉스를 구성하여 이들 점 중 최악의 것을 배제하고, 새로운 후보를 선발하는 방식을 거듭하여 심플렉스의 범위가 최적의 해 주변으로 점차 줄어들게 된다는 것을 이용한 것이다.

SM법에서는 다음과 같은 과정으로 최저점을 추적해 나간다. (1) 공간에서 초기 추정치를 기점으로 하여 simplex(일반차원의 삼각형)을 구성하고, (2) 이들 점들 중 최악의 지점을 나머지 지점의 중앙값(mid point)에 대하여 반전시키고(reflection)켜서 이 점이 최악의 것에 비하여 개선되었다면 새로운 simplex로 삼고거나 (3) 최악의 지점을 중앙값(mid point)에 대하여 더 멀리 가게 하여(expand) 개선되었으면 새로운 simplex로 삼거나, (4) 최악의 지점을 중앙값(mid point)쪽으로 당기거나(contract)해서 새로운 simplex로 삼는 선택을 거듭하여 보다 최악의 점을 개선한 simplex를 계속 구성해 나간다. 이 과정은 파라미터의 차원이 늘어나도 계산량은 차원에 거의 비례하는 정도로 늘어나므로 차원이 높은 경우에는 유용하게 쓸 수 있다. 특히

DOE의 최적화 과정처럼 세포의 수가 수십 ~ 수백 개 정도 된다면 이 기법이 HC법에 비하여 훨씬 효율적일 것이다.

#### IV. 실험 및 결과

##### 1. 조건설정

본 연구에서는 단일슬릿 회절무늬에서의 2차 피크를 줄이거나 1차 피크의 폭을 줄이도록 슬릿의 전단에 설치하게 될 DOE를 최적화 과정으로 설계하였다. 슬릿이 1차원적인 창 모양을 하고 있어서 보다 일반적인 2차원의 창과는 달리 단순하기는 하지만 앞에서 단일슬릿의 경우와 원형창의 회절무늬가 비슷한 특성을 갖는데다가 설계의 기본 과정은 대등소이하여, 이 알고리즘을 2차원을 확장하는 데에는 큰 어려움이 없다.

여기서는 슬릿의 폭을 2mm로 하였고, 따라서 DOE의 폭도 2mm이다. 실제 DOE의 제작 시 패턴을 수  $\mu\text{m}$ 로 하는데는 큰 문제가 없을 것이므로 이 2mm의 폭을 수백 구간으로 나누는 것은 현실적으로 적용 가능하다고 생각한다. 16, 32, 64, 128, 256의 구간으로 나누어 심플렉스법으로 최적해를 찾는 시도를 하였는데 구간의 수를 많게 하면 보다 정교한 결과를 얻을 수 있는 것은 당연할 것이지만 64 이상에서는 뚜렷하게 개선된 점을 알기 힘들었다. DOE의 각 세포의 위상함수  $\phi_i$ 를 어떻게 조절하더라도 회절 패턴은 단일슬릿의 회절패턴보다 더 미세한 형태의 패턴으로 되기는 힘든데 이에 따라 불연속적인 패턴이나 임의의 함수로 만드는 것은 거의 불가능하다. 따라서 목표함수를 설정하는데 어려움이 있으며 이 함수에 따라 수렴에 이르는 계산 시간, 결과의 모양 등에 큰 영향을 미치게 되었다. 여기서는 여러 형태의 목표함수를 설정하여 이것과 계산된 회절 함수와의 편차의 제곱합을 검증함수로 삼았고 이 검증함수가 최소값을 갖는 조건을 최적화된 조건으로 설정하였다.

본 연구에서는 목표함수를 다음과 같은 두 가지로 설정하였는데 하나는 2차 피크 이하를 줄이는 것을 주목적으로 한 것으로 1차 피크의 폭은 크게 영향을 받지 않는 것이었고, 다른 하나는 1차 피크의 폭을 줄이는 것을 주목적을 한 것이다.

$$I_{\text{주목화}}(\beta) = \begin{cases} 0 & \beta > 2.5 \\ > 0.6 & \beta < 0.3 \end{cases} \quad (8)$$

$$I_{\text{침예화}}(\beta) = \begin{cases} 0 & \beta > 1.5 \\ > 0.8 & \beta < 0.3 \end{cases} \quad (9)$$

여기서  $I$ 는 DOE가 없을 때 중앙에서 밝기가 1로 되도록 규격화 한 것으로서  $I_{\text{무족화}}(\beta)$ 는  $\beta > 2.5$ 일 때  $I$ 가 0이 되고,  $\beta < 0.3$ 일 때 0.6보다 큰 요구를 한다는 것이다. 그 외의  $\beta$ 에서는 아무런 제약을 가하지 않았는데, 이러한 요구를 통하여 2차 이후의 피크를 되도록 줄이고, 중심의 밝기가 줄어들게 하지 않는 방향으로 최적화를 수행하게 된다. 한편  $I_{\text{침예화}}(\beta)$ 는 폭을 더 줄이게 요구하였기 때문에 1차 피크의 폭을 줄이는 방향으로 최적화를 수행하게 되었다. 이 밖에도 여러 가지의 다른 조건을 부과하였으나 그 조건에 완전하게 맞추는 결과는 얻을 수 없었다.

다음과 같은 검증함수를 최소로 줄이는 최적화 알고리즘을 통하여 목표함수에 접근하게 된다.

$$\text{COST}(\{\phi_i\}) = \int_{-\infty}^{\infty} |I_{\text{목표}}(\beta) - I(\{\phi_i\}, \beta)|^2 d\beta \quad (10)$$

## 2. 프로그래밍

최적화 과정은 심플렉스법을 사용하였고, 프로그램은 Windows 환경에서 비주얼 프로그램이 가능한 Borland의 Delphi Personal Version 6.0을 사용하였다. Delphi는 예전의 Pascal 언어에 기반을 두고, 이를 개체지향적으로 개량한 것으로 C나 C++에 비하여 코드작성과 구조화가 용이하다. 이 프로그램에서는 최적화 과정 중간중간에 계산 결과를 그래프로 나타내게 하여 의도하는 결과로 접근하는지를 살필 수 있도록 하였다.

표 1. 풀림 알고리즘 시물레이션  
Table 1. Simulated annealing algorithm in pseudo-code

```

Select an initial state
Select an initial temperature T>0
Set temperature change count t = 0
Repeat
    Set repetition counter n = 0
    Repeat
        Generate state j, a neighbor of i
        Calculate d = f(j)-f(i)
        If δ<0 then i := j
        else
            if random(0,1) < exp(-δ/T) then i := j
            n := n+1
            Until n = N(t)
            t := t + 1
            T := T(t)
    Until stopping criterion true
    
```

수치해석에서는 연속적인 미분이나 적분 등을 모두 불연속적인 것으로 계산해야 하는데 앞에서 검증함수를 계산할 때  $\beta$ 을  $-30 \sim 30$  까지로 0.1 간격으로 하였고, DOE의 위상값  $\{\phi_i\}$ 은  $-\pi \sim \pi$ 를 0~1로 규격화하였다. 한편  $\phi_i$ 를 대칭적으로 배치하면 파라미터 차원을 반으로 줄일 수 있어 다음과 같은 조건을 설정하였고, 이에 따라 DOE의 구간을 128로 나누어 파라미터 차원은 64로 분석하였다.

$$\phi_i = \phi_{N+1-i} \quad (11)$$

## 3. 최적화 결과

DOE를 대칭적인 구조로 하여 128 단계로 나누었고,  $I_{\text{무족화}}(\beta)$ 와  $I_{\text{침예화}}(\beta)$ 를 목표함수로 하여 각각에 대하여 최적화를 수행하였다. Pentium IV 1.0 GHz 컴퓨터로 계산하는데 약 1시간 정도의 시간이 소요되었고, 심플렉스의 초기값은 난수를 발생하여 수렴을 하고 나면 새로운 초기값으로 계산을 다시 시도하였다.

처음에는 2차 이하의 피크가 줄이고 1차 피크의 폭을 또한 좁히는, 즉 무족화와 침예화를 동시에 충족하는 결과를 얻으려고 하였으나 여의치 못하였다. 즉 1차 피크의 폭을 줄이면 2차 피크 값이 커지고, 반대로 2차 피크 값을 줄이면 1차 피크의 폭이 커지는 방향으로 변화되었다.

### 1) 무족화

무족화(apodization)는 2차 이후의 피크를 억제시켜 거의 하나의 피크만 나타나도록 하는 것을 말한다. 이는  $I_{\text{무족화}}(\beta)$ 로서 실현할 수 있었는데 결과의 그래프를 그림 3에 보였다. 그림에서 최적화를 수행함에 따라서 점차 원하는 회절 무늬의 모양으로 가는 것을 보여주고 있다. 맨 아래 그림은 초기의 상태이고 위쪽으로 갈수록 최적화가 되고 있어 맨 위의 그래프가 최종적인 상태이다. 한편에는 DOE의 위상 그래프를, 오른쪽의 그래프는 이에 대한 회절 그래프이다. DOE의 그래프에서 수평의 중심선들이 0 이고 위상은  $-\pi \sim \pi$  사이의 값을 가질 수 있다. 이 결과에서 2 피크와 3 피크의 1 피크에 대한 상대적인 높이가 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다. 뿐만 아니라 DOE의 각 세포의 위상값도 계산의 마지막 단계에서 거의 변화가 없어 거의 수렴하고 있음을 알 수 있다.

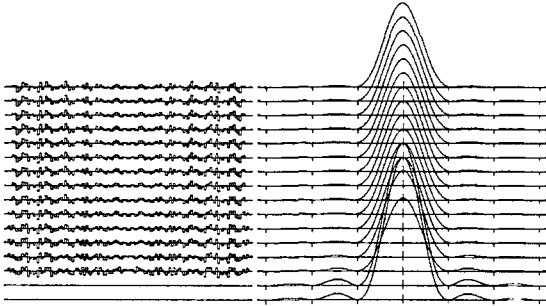


그림 3. Apodization의 최적화  
Fig 3. The optimization process of apodization.

표2는 무족화의 최적화 결과를 보여준다. 무족화의 목표함수가 1차 피크를 0.6 이상이 되도록 요구하였기 때문에 거의 0.6에서 최적화가 이루어진 것을 알 수 있고, 아울러 이 피크의 폭이 10% 정도 늘어났다. 그러나 기대했던 대로 1차 피크에 대한 2차 피크, 3차 피크의 상대적인 크기가 각각 1.83%, 1.07%로 DOE가 없는 것에 비하여 각각 39%, 63%로 억제되었다.

표 2. 무족화의 최적화  
Table 2. The optimization result of apodization

	without DOE	with DOE
1차 피크 높이	1.0	0.6003
1차 피크 폭	6.2	6.8
2차 피크 높이	0.047	0.011
3차 피크 높이	0.017	0.0064

그림 4는 무족화를 위한 DOE의 분포로서 좌우 대칭으로 되어 있는 128개의 세포에서 1~64 번째 세포의 위상값을 보여준다. 단 위상값의 단위는  $\pi$ 이다. 대체로 중첩된 sin 함수의 형태를 하고 있는 것을 알 수 있다.

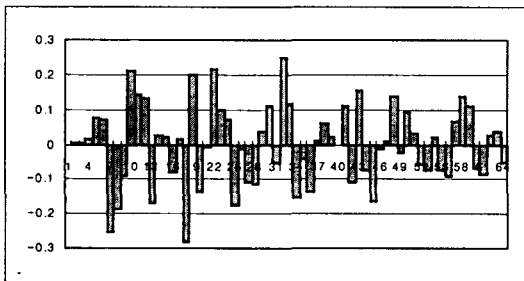


그림 4. 무족화를 위한 DOE의 위상분포  
Fig 4. The phase distribution of the DOE with apodization scheme.

본 연구에서는 각각의 세포에서의 위상값 그 자체를 파라미터로 삼아 이 값들이 관련 없이 독립적으로 변할 수 있는 것으로 하였지만 이 결과로 미루어 보면 위상을 각기 다른 진폭과 주기, 위상을 갖고 있는 sin 함수의 중첩으로 보아 이들의 진폭, 주기, 위상을 결정하는 형식으로 최적화를 수행할 수 있는 가능성을 엿볼 수 있다.

그림 5는 무족화의 최적화 결과 그래프이다. 여기서 점선의 그래프는 DOE가 없는 경우이고 최적화를 수행한 결과는 실선으로 표시하였다.

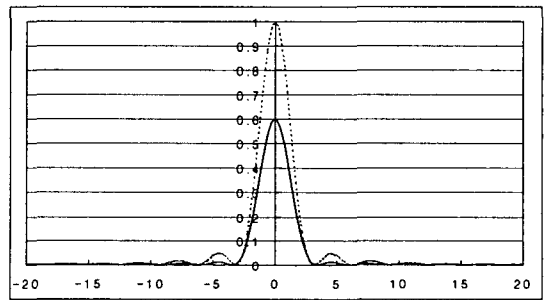


그림 5. 무족화의 최적화 결과  
Fig 5. The intensity distribution on the focal plane.

## 2) 첨예화

첨예화는 1차 피크의 폭을 줄이는 의도로서 목표 함수를 앞에서의  $I_{\text{첨예화}}(\beta)$ 로 하여 최적화 과정을 수행하였다. 그림 6은 최적화를 수행함에 따라서 점차 원하는 회절 무늬의 모양으로 가는 것을 보여 주고 있다. 맨 아래 그림은 초기의 상태이고 위쪽으로 갈수록 최적화가 되고 있어 맨 위의 그래프가 최종적인 상태이다. 한편에는 DOE의 위상 그래프를, 오른쪽의 그래프는 이에 대한 회절 그래프이다. DOE의 그래프에서 수평의 중심선이 0 이고 위상은  $-\pi \sim \pi$  사이의 값을 가질 수 있다. 이 결과에서 1 피크 폭이 조금씩 줄어드는 것을 볼 수 있다.

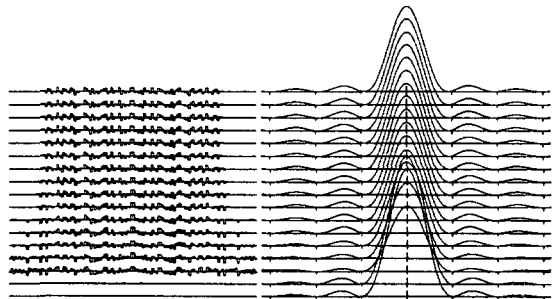


그림 6. 첨예화의 최적화  
Fig 6. The optimization process of sharpness.

표 3에 계산결과를 나타내었다. 첨예화의 목표 함수가 1차 피크를 0.8 이상이 되도록 요구하였으나 거의 0.67에서 최적화가 이루어진 것을 알 수 있어 첨예화가 이루어질 때에는 이 피크의 값이 억제된다는 것을 알 수 있다. 의도한대로 1차 피크의 폭은 4.8% 줄어들었는데 이의 반대 급부로 2차 피크가 56% 늘어나는 것을 알 수 있다.

표 3. 첨예화의 최적화 결과  
Table 3. The optimization result of sharpness

	without DOE	with DOE
1차 피크 높이	1.0	0.667
1차 피크 폭	6.2	5.9
2차 피크 높이	0.047	0.049
3차 피크 높이	0.017	0.024

그림 7은 첨예화를 위한 DOE의 분포로서 좌우 대칭으로 되어 있는 128개의 세포에서 1~64 번째 세포의 위상값을 보여준다. 단 위상값의 단위는  $\pi$ 이다. 위상은 앞에서의 무축화의 경우와는 달리 가장자리에는 거의 0의 위상을 하고 있고 가운데로 갈수록 주기가 짧아지는 진동을 하고 있다. 따라서 DOE의 구간 수를 늘여서 효율적인 최적화 과정을 도입하면 보다 나은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단할 수 있다. 한편 DOE를 2mm로 하였을 때 각 세포의 크기는 약  $16 \mu\text{m}$ 가 되어 실제 제작에는 무리가 없으리라 본다. 그리고 위상의 변화를 주기 위해서는 각 세포의 층의 두께를 달리하게 되는데 위상값이 이 두께에 비례하게 되므로 이 그래프 자체가 DOE의 패턴이 된다고 생각할 수 있다.

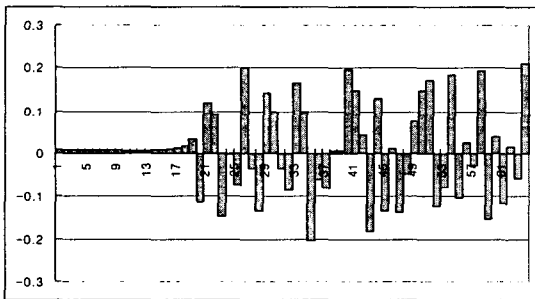


그림 7. 첨예화를 위한 DOE의 위상 분포  
Fig 7. The phase distribution of the DOE with sharpness scheme.

그림 8은 첨예화의 최적화 결과 그래프이다. 여

기서 점선의 그래프는 DOE가 없는 경우이고 최적화를 수행한 결과는 실선으로 표시하였다.

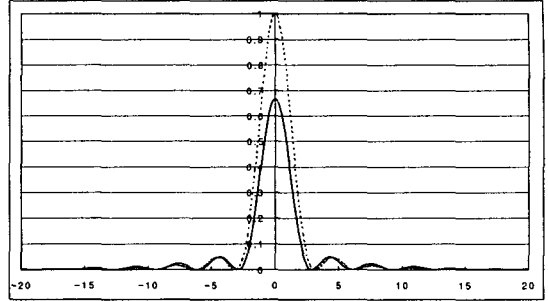


그림 8. 첨예화의 최적화 결과  
Fig 8. The intensity distribution on the focal plane.

## V. 결 론

광 픽업 장치에서의 빔의 특성을 좋아지게 하기 위한 DOE를 설계는 두 가지 다른 측면으로 하게 되었는데 하나는 원형창의 회절무늬의 2차 피크 이하를 억제시키는 무축화(apodization)이고 다른 하나는 1차 피크, 즉 에어리 디스크의 반경을 줄이는 첨예화로서 이렇게 한 것은 이 둘이 서로 연관되어 무축화를 실현하면서 첨예화를 실현하는 것이 불가능하기 때문이었다. 이는 회절의 한계로 생각되며 보다 깊은 이론적인 검토가 있어야 할 것으로 생각한다.

광 픽업 장치는 원형의 개방면을 가지고 있어 이차원적인 회절로 다루어야 하지만 여기에서는 이와 비슷한 양상을 보이는 단일슬릿의 회절에 적용하여 계산하였고 장치 동일한 알고리즘으로 실제의 모델에 적용해 볼 후속연구의 필요성을 느낀다. 무축화에 있어서 2차 피크와 3차 피크는 39%, 63%로 억제되어 현저한 효과를 볼 수 있었으나 피크의 폭이 10%정도 늘어나서 실제의 광 픽업 장치에 적용하였을 때 지터에 개선효과를 주게 되는지는 확실하기 어렵다.

한편 첨예화의 계산에서 1차 피크의 폭이 4.8% 줄일 수 있었다. 그러나 이 역시 2차 피크가 커지는 부작용이 동반되는데 광 픽업 장치가 2차 피크의 영향이 적은 환경에서는 지터특성의 개선이 있을 것으로 기대하지만 1차와 2차 피크가 복합적으로 영향을 미치는 경우에는 광시스템에 대한 면밀

한 고려가 필요할 것이다. 실제로 원형상의 경우 단일 슬릿에 비하여 2차 피크의 밝기가 37%에 불과하여 실제의 산업현장에서 2차 피크를 무시하는 것을 고려하면 4.8%의 폭을 줄이는 효과는 지터특성 개선효과가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] G. Yang, An optical pickup using a diffractive optical element for a high-density optical disc, Opt. Commun. 159 pp. 19-22, 1999.
- [2] Q. Tan, Y. Yan, G. Jin, M. W, Diffractive optical array element for realizing uniform spot on the plane non-perpendicular to the optical axis with geometrical shape transform, Opt. Commun. 175 pp. 13-18, 2000.
- [3] I. Gur, D. Mendlovic, Diffraction limited domain flat-top generator, Opt. Commun. 145 pp. 237-248, 1998.
- [4] M. R. Taghizadeh, P. Blair, K. Balluder, A. J. Waddie, P. Rudman, N. Ross, Design and fabrication of diffractive elements for laser material processing applications, Opt. and Laser in Engin. 34 pp. 289-307, 2000.
- [5] E. Hecht, Optics 2nd ed, Addison-Wesley, pp496-497, 1997.
- [6] Q. Tan, Y. Yan, G. Jin, M. Wu, Design of diffractive optical element for true beam smoothing, Opt. Commun. 189 pp. 167-173, 2000.
- [7] S. Chatterjee, M. Laudato, L. A. Lynch, Genetic algorithms and their statistical applications: an introduction, Comput. Stat. & Data Anal. 22, pp. 633-651, 1996.
- [8] Q. Tan, Y. Yan, G. Jin, M. Wu, Diffractive optical array element for realizing uniform spot on the plane non-perpendicular to the optical axis with geometrical shape transform, Opt. Communications, 15, 13-18, 2000.

저자소개

이건기(Gun-Ki Lee)



1985년~현재 : 경상대학교 전자공학과 교수  
 경상대학교 공학연구원 연구원  
 ※관심분야 : 디지털신호처리, 생체신호처리

정원근(Won-Geon Jung)



2004년 8월 : 경상대학교 전자공학과 공학박사  
 경상대학교 공학연구원 연구원  
 ※관심분야 : 디지털신호처리, 생체신호처리

이주원(Ju-Won Lee)



2003년 2월 : 경상대학교 전자공학과 공학박사  
 경상대학교 공학연구원 연구원  
 ※관심분야 : 의용전자공학, 인공지능

김영일(Young-Il Kim)



1987년~현재 : 경상대학교 전자공학과 교수  
 경상대학교 공학연구원 연구원  
 ※관심분야 : 디지털신호처리, 음성신호처리

전재철(Jae-Chul Jun)



한양대학교 전자공학과 공학사  
 경상대학교 전자공학과 공학석사  
 경상대학교 전자공학과 수료  
 현 한국 SONY전자(주) 대표이사  
 ※관심분야 : 광학신호처리, 디지털 오디오 신호처리