

論文96-33A-5-15

# 광영상 발생을 위한 화소형 위상격자의 설계 및 제작

## (Design & Implementation of Pixelated Phase Gratings for Optical Image Generation)

李得周\*, 金男\*\*, 李權淵\*\*\*, 殷在定\*\*\*\*

(Deug Ju Lee, Nam Kim, Kwon Yeon Lee, and Jae Jeong Eun)

### 요 약

입사광을 다중빔으로 분리시키는 회절격자의 한 종류로서 격자의 주기를 일정한 크기의 셀들로 구분한 화소형 위상격자를 연구하였다. 화소형 격자는 두 개의 위상부터 16 개의 단계를 갖는 형태까지 설계되고, 각 격자들의 특성을 회절효율과 결과패턴을 중심으로 비교분석하였다. 또한 설계된 격자를 직접 제작하여 얻어진 결과를 제시하였으며, 실시간 응용을 위한 방법으로 공간광변조기를 사용하여 실험하였다. 특정한 세기의 빔 세기를 발생시키는 격자를 설계하고 이를 이용하여 영상을 표현하는 화소형 위상격자를 제작하였다. 이러한 빔 분리는 각 화소의 위상지연을 결정함으로써 설계되고, 최적화를 위한 조건은 회절되는 빛의 회절효율과 목표치로 구성된다.

제작된 격자는 표면양각 형태로서, 한 화소의 크기는  $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 이고, 격자의 주기는 화소의 수에 비례하며  $256\mu\text{m} \times 256\mu\text{m}$  이하이다. 유리기판 위에  $1\mu\text{m}$  이하의 두께로 감광물질을 코팅하고, 레이저(Ar 레이저) 직접 기록 장치로서 설계된 격자 정보에 따라 감광물질에 조사되는 빛의 양을 변화시켜 패턴을 기록한 후 현상과정을 거쳐 양각형 격자를 만들었다. 실시간 응용을 위한 실험에서는 공간광변조기로 Epson사의 비디오 프로젝터에 부착된 액정 디스플레이를 사용하였다.

### Abstract

The pixelated phase grating has been studied as a kind of diffraction gratings splitting an input beam into multiple spots. It consists of regular size cells which produce phase delays, and each cell provokes the phase delay up to sixteen levels. We have compared and analyzed the characteristics of multi-level phase gratings, laying stress on efficiency and resulted pattern. Experimental results obtained from fabricated grating have been presented, and the real-time method using a liquid-crystal spatial light modulator has been demonstrated through experiments. Gratings making beams with specific intensities have been designed and optical images have been generated by them. In order to decide the phase delay of each cell, optimization condition consists of diffraction efficiency and target values.

One period of phase gratings fabricated with surface relief was less than  $256\mu\text{m} \times 256\mu\text{m}$  and size of each cell was  $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ . Surface relief grating has been made by coating photoresist on the glass plate, writing information pattern by Ar laser and developing it. In the experiment for real-time processing, liquid-crystal display of Epson video projector has been used.

\* 準會員, \*\* 正會員, 忠北大學校 情報通信工學科  
(Dept. of Computer & Communication Eng.,  
Chungbuk National Univ.)

\*\*\* 正會員, 順天大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Sunchon Univ.)

\*\*\*\* 正會員, 昌原大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Changwon Univ.)

接受日: 1996年1月10日, 수정완료일: 1996年4월13일

## I. 서 론

1960년대 말과 1970년대 초 동안 여러 가지의 컴퓨터 발생 홀로그램(computer-generated holograms : CGH)은 가상물체의 디스플레이, 공간필터, 광학 메모리, 박량의 광학 소자, 그리고 광 시험에서의 수차보상기와 같은 응용분야로 부터 시작되었다. 최근에, 컴퓨터 발생 홀로그램은 광컴퓨팅에서 복잡한 공간불변 자유공간 광연결을 제공하기에 적합하기 때문에 새롭게 인식되고 있다<sup>[1,2]</sup>. 광 컴퓨팅에서, 재생된 영상의 질적인 요구사항은 영상디스플레이 응용분야에서보다 상당히 더 엄격하다. 영상은 이산적인 점들로 구성되어야 하고, 한 주기의 복잡한 구조를 갖는 격자로서 홀로그램 패턴의 반복에 의해 얻어질 수 있다. 연결소자의 회절효율은 전력손실을 최소화시키기 위해 될 수 있는 대로 높아야 하므로 이진 위상 로만형(Lohmann-type) 홀로그램, 일반화된 다만(Dammann) 격자<sup>[3]</sup>, 또는 키노폼(kinoform)<sup>[4]</sup>과 같이 위상형(phase-only) 홀로그램<sup>[5]</sup>의 사용을 필요로 한다.

프로그래머블 홀로그램은 레이저 빔 조종, 광 컴퓨팅, 그리고 3차원 동영상상을 포함하는 많은 응용분야에 유용하다. 홀로그램을 만드는 방법 중의 하나는 컴퓨터 합성 방법에 의해 공간광변조기에 홀로그램을 기록하는 것이다<sup>[6]</sup>. 특히, 액정 공간광변조기(LC-SLM)은 낮은 전압에서 동작하고 낮은 전력소비, 매트릭스 주소 지정 능력 등 때문에 매우 적합하다. 최근 상업적으로 유용한 트위스티드 네마틱(twisted nematic) 액정 디스플레이 소자가 사용된 프로그래머블 컴퓨터 발생 홀로그램(CGH)이 보고되었다. TN 모드에서 진폭과 위상 변조 모두가 동시에 발생하므로, TN-LC 소자는 위상만 있는 변조기로 사용할 수 없다. 위상만 있는 변조를 얻기 위해서는, 인가 전압이 진폭변조의 문턱전압 이하에서 한정되는 일정한 진폭변조의 범위를 유지해야 한다. 위상변조의 깊이가  $2\pi$  이내인 한계 때문에, 일반적인 위상만을 갖는 CGH는 진폭의 일정한 크기를 갖는 0에서  $\pi$ 까지의 안정한 상태의 이진 양자화를 요구한다. 반면, 진폭형 CGH를 기록할 때는 인가전압에 의해 투과율의 우수한 선형성을 사용해서 양자화 잡음을 줄일 수 있음에도 불구하고 낮은 광 효율의 문제가 남는다.

회절격자는 입사되는 하나의 광원을 빛의 회절이론에 의해 다중빔으로 분리시켜 푸리에 평면에 규칙적인

배열을 발생시키기 위한 광학소자이다<sup>[8]</sup>. 격자의 형태는 광원의 차단과 통과를 이용하는 진폭형과 굴절매질을 통과하는 광원의 위상지연을 이용하는 위상형으로 간단히 구분된다. 진폭형은 회절되는 빛의 보강간섭만을 이용하므로 격자주기에 의해 결정되는 일정 거리마다 모든 회절차들이 존재하고 중앙의 빔을 제거할 수 없는 단점이 있다. 이에 반해 위상형은 회절되는 빛의 위상차에 의해 보강과 상쇄가 동시에 이루어 지므로 일정 거리마다 뺏혀지는 회절차들을 제거하거나 상대적인 세기를 변화시킬 수 있다<sup>[9]</sup>. 이러한 위상형 회절격자의 특성을 이용하면 광 스위칭<sup>[10]</sup>이나 광 커플러<sup>[11]</sup> 등에 사용되는 광 분배기<sup>[12]</sup>로 사용될 수 있을 뿐만 아니라 광 영상을 얻어낼 수 있다<sup>[13]</sup>. 매우 균일한 세기를 갖는 광 배열의 필요성은 설계된 격자패턴을 얼마나 정밀하게 제작하느냐를 가장 중요한 과제로 인식시켰다<sup>[14]</sup>. 그러나 영상을 발생시키는 격자는 영상의 각 회절차의 세기를 배열 발생기만큼 정밀하게 표현하지 않아도 되며 비교적 커다란 출력을 요구한다. 본 논문에서는 다중빔을 발생시키기 위한 화소형 회절격자<sup>[15,16]</sup>를 설계하고, 화소형 회절격자의 다중빔 생성 방법 및 특성을 고찰한 후 흑백 영상과 가중치를 갖는 그레이 스케일 영상을 표현한다. 설계된 격자는 레이저 직접 기록장치<sup>[17]</sup>를 사용하여 제작하고, 공간 광변조기를 이용한 실시간적 실험을 통해 화소형 위상 격자를 이용한 광영상 발생 결과를 제시한다.

## II. 화소형 회절격자

### 1. 화소형 격자의 이론 및 구조

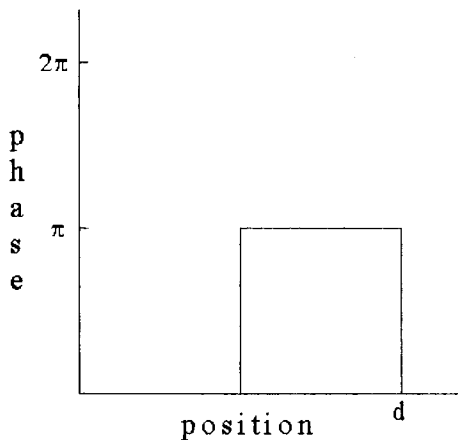
한 주기를 일정한 크기의 셀들로 분할한 구조의 회절격자를 화소형 격자(pixelated grating)라 부른다. 화소형 위상격자는 각 셀들을 통과하는 단색광의 위상 지연 정도를 제어하여 원하는 회절패턴을 얻어내는 방식으로서 두 가지 방법으로 제작될 수 있다. 첫째는, 격자 표면의 두께변화 없이 굴절률의 변화만을 이용하여 위상지연을 일으키는 경우이고 둘째는, 굴절률이 공기와 다른 격자표면의 두께를 변화시키는 양자형태이다. 격자는 제작되기 전 컴퓨터를 이용하여 설계하여야 하는데 위상지연 정도에 따라 간단히 수식적으로 전개가 가능하다. 격자의 출력특성은 Fraunhofer 회절과 같으며, 각 셀들은 0부터  $2\pi$  사이의 값을 갖는 위상지연  $\phi$ 에 따라  $\exp(i\phi)$ 로 표시될 수 있다. 따라서 격자에

의한 회절빔의 세기를 구하는 식은 푸리에 변환 수식에 따라 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

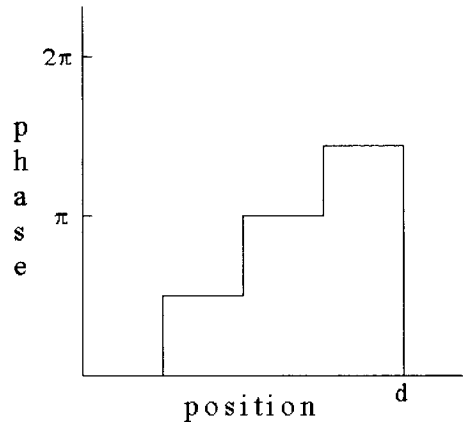
$$I(m, n) = \left| \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \exp(i\phi_k) \exp(-i2\pi [mk/K + nl/L]) \right|^2 \quad (1)$$

식 (1)에서  $I(m, n)$ 은 회절되는 빔들의 세기로서 진폭함수의 자승으로 나타내며  $m$ 과  $n$ 은 회절되어 맺혀지는 빔들의 상대적인 위치를 의미한다.  $K$ 와  $L$ 은 격자의 한 주기에서 분할되는 셀의 수를 의미하며,  $k$ 와  $l$ 은 격자주기에서 각 셀의 위치를 표시한다.

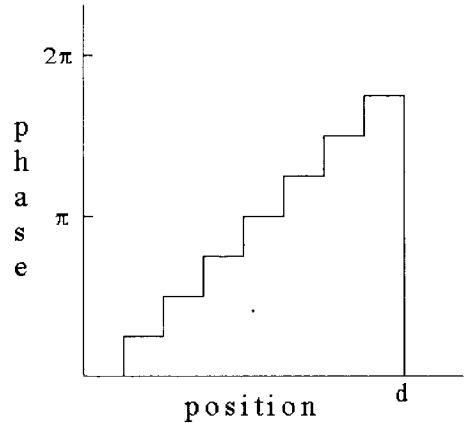
위상 격자는 연속적이거나 이산적인 위상지연을 갖도록 설계될 수 있는데 연속적인 위상지연은 구현하기가 어려운 단점이 있어 대체로 이산적이고 단계적인 구조로 이루어진다. 그림 1(a)와 같이 각각의 셀이 두 가지 위상 레벨  $[0, \varphi]$ 로 표현되는 격자는 BPG(binary phase grating)라고 부르고,  $\varphi$ 는  $2\pi$ 까지의 임의 값이 될 수 있다. BPG가 아닌 여러 개의 위상 레벨을 갖는 격자는 MPG(multi-level phase grating)라 부르는데 각 위상 레벨은 단계적인 크기를 갖는다. 본 논문에서는 편의상 위상 레벨의 수로 구분된 호칭을 사용하여 위상레벨이  $[0, \pi/2, \pi, 3\pi/2]$ 인 경우는 FPG(four-level phase grating),  $[0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi, 5\pi/4, 3\pi/2, 7\pi/4]$ 인 경우는 EPG(eight level phase grating), 16 개의 위상 레벨로 구성된 격자는 SPG(sixteen-level phase grating)라 부른다. 그림 1은 격자의 위상을 높낮이로 표시한 것으로서 0에서  $2\pi$ 까지의 간격을 균일한 단계로 구분하고 있다.



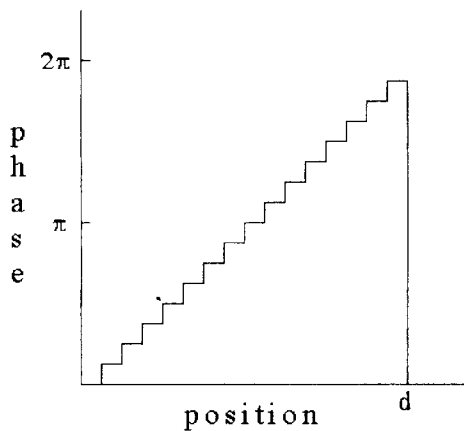
(a) BPG



(b) FPG



(c) EPG



(d) SPG

그림 1. 위상형 회절격자의 위상단계 분포  
Fig. 1. Phase distributions of multi-level phase grating.

2. 설계 및 특징

최소형 회절격자는 규칙적인 크기의 셀들로 이루어져 있기 때문에 설계에서의 첫 단계는 격자의 셀 수와 위상단계 분포를 결정하고 각 셀들에 임의의 위상 값을 부여하는 것이다. 둘째 단계는 0부터 원하는 그레이 레벨의 크기까지로 표현된 출력할 패턴을 입력받고 앞 단계에서 부여된 위상 값들로 이루어진 격자를 FFT(Fast Fourier Transform)시켜 목적함수를 구한다. 목적함수(merit function)는 목표효율에 의한 평균과 계산된 회절빔의 세기의 차와 계산된 평균과 계산된 회절빔의 세기의 차의 합으로 구성되며 식 (2)와 같이 표현 가능하다<sup>[15]</sup>.

$$Mf = \sum_m \sum_n (tar/spots - I_{mn})^2 + W \sum_m \sum_n (Eff/spots - I_{mn})^2 \quad (2)$$

식 (2)에서 tar는 목표값(target value), spots는 회절빔의 갯수, W는 가중인자(weight factor), Eff는 계산된 효율,  $I_{mn}$ 은 각각의 계산된 회절빔의 세기(intensity), m과 n은 격자의 셀 수를 의미하며, W는 12, tar은 99, m 과 n은 32로 하였다. 처음의 목적함수 값이 계산되면 격자에서 임의의 셀을 선택하여 위상 값을 다르게 바꾸어 결과값을 계산한 후 앞에서 계산된 목적함수 값과 비교하여 더 작으면 새로운 위상 값을 취하고 같거나 크면 전의 위상 값으로 회복시킨다. 이 때 모든 계산은 가장 간략화 시켜  $\Sigma$ 에서 반복되는 계산은 하지 않는 것이 중요하며 프로그램의 효율과 편차의 변화가 아주 미세하여 무시할 수 있을 때 종료한다. 최근 격자의 설계에 SA(simulated annealing) 방법이 자주 사용되나 SA 방법은 많은 반복계산(iteration)을 요구하므로 본 논문에서는 식 (2)와 같은 목적함수를 이용한 반복계산법을 이용하였으며, 설계에 사용된 최적화와 SA 방법을 이용한 경우에 대한 간단한 비교 결과를 제시하였다. 표 1은 3×3 다중빔 발생을 위한 격자를 설계한 예로서 수치를 보는 바와 같이 두 방법은 효율과 편차에서의 두드러진 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. CIM(conventional iterative method)은 일반적인 반복계산 방법이며 E는 효율(eficiency), U는 균일도(uniformity), NI는 반복계산 횟수(number of iterations)를 의미하는데 CIM의 반복계산 횟수가 SA보다 절반밖에 되지 않음을 볼 수 있다. 균일도 U는  $(I_{max} - I_{min}) / I_{average}$ 으로 계산되며 위상 레벨의 수가 커질수록 효율은 증가하고

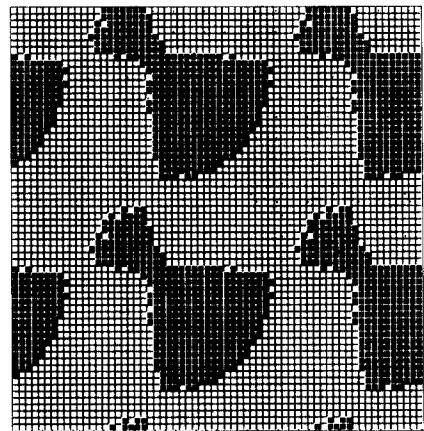
균일도는 감소하였다. 또한 프로그램의 시작과 끝에서 FFT 루틴을 사용함으로써 격자의 크기와 출력패턴의 크기가 클 경우 상대적으로 긴 계산시간을 필요로 하는 IDO(iterative discrete on-axis) 방법의 단점을 보완하였다. 그리고 IDO 방법은 축상의 출력 패턴만을 발생시키므로 본 설계에서는 비축상의 출력 패턴의 설계가 가능하게 하였다.

표 1. SA와 CIM을 이용한 3×3 다중빔 발생 격자의 효율, 반복계산 횟수, 균일도의 비교

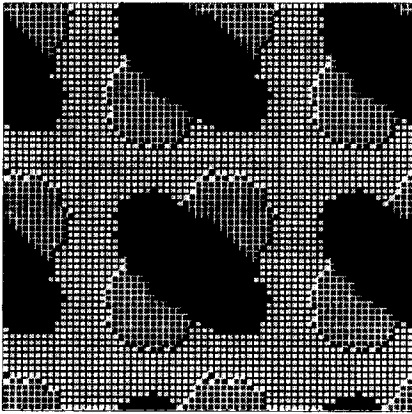
Table 1. Comparison between SA and CIM in terms of efficiency, number of iterations and uniformity of phase grating for generating 3×3 multiple beams.

Number of phase level	CIM			SA		
	E(%)	U(%)	NI	E(%)	U(%)	NI
2	66.51	2.06	15	66.78	2.83	36
4	77.15	1.43	48	76.94	1.00	97
8	87.38	0.40	64	87.89	0.33	143
16	92.00	0.40	150	90.56	0.24	199

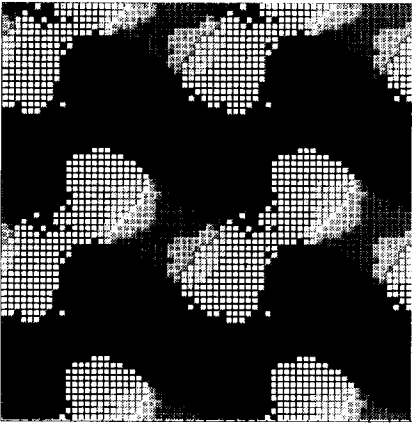
그림 2는 표 1의 위상 격자를 표현한 것으로 CIM과 SA로 설계된 격자가 서로 매우 동일하였으므로 CIM으로 설계된 격자를 제시하였으며 4, 8, 16 개의 위상 레벨을 갖는 격자는 서로 전체적인 모양이 유사함을 볼 수 있다.



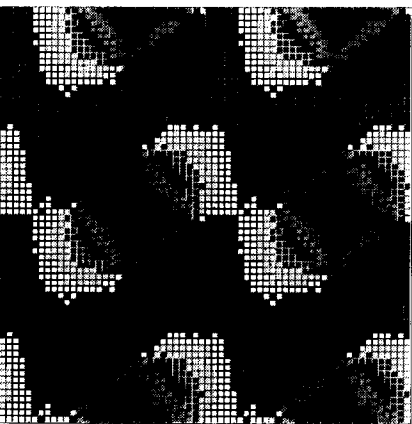
(a) BPG



(b) EPG



(c) EPG



(d) SPG

그림 2. 3×3 다중빔 발생을 위한 32×32 화소형 위상 격자 패턴

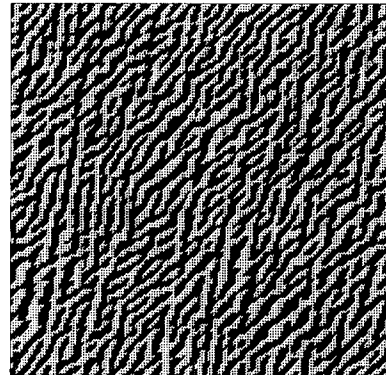
Fig. 2. 32×32 pixelated phase grating patterns for generating 3×3 multiple beams.

이 그림에서 위상 레벨은 이론적인 CPG(continuous phase grating)를 양자화하는 단계 수와 같으며 레벨의 수가 클수록 이론적인 값에 근접해 간다는 것을 알 수 있다. 각 격자는 32×32 개의 셀들로 이루어진 주기를 2×2로 붙였으며 BPG는 구조와 제작이 간단하지만 MPG보다 효율이 비교적 낮고 항상 역대칭을 이루는 패턴을 발생시키며 상대적으로 균일도가 떨어진다. MPG는 BPG가 갖는 단점을 보완할 수 있으나 반도체 리소그래피로 제작할 경우에는 과정이 복잡하므로 격자 구조의 선택은 적당한 절충이 필요하다.

### III. 광 영상 발생

#### 1. BPG의 광 영상 발생

많은 수의 셀로 구성된 위상 격자를 이용하면 원하는 영상을 표현할 수 있다. 흑백 영상은 회절빔의 유무로 표현 가능하고 그레이 스케일 영상은 회절빔의 세기를 조정하여 표시할 수 있다.



(a)



(b)

그림 3. 흑백영상을 발생시키기 위한 이진 위상 격자와 얻어진 영상

Fig. 3. BPG for generation of black and white image and obtained image.

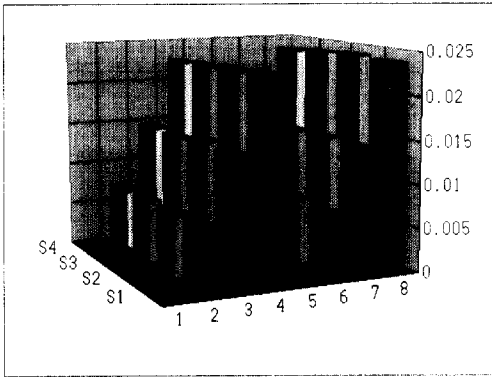


그림 4. 네단계로 구분된 다중빔의 세기 분포  
Fig. 4. Intensity distribution of multiple beams with four levels.



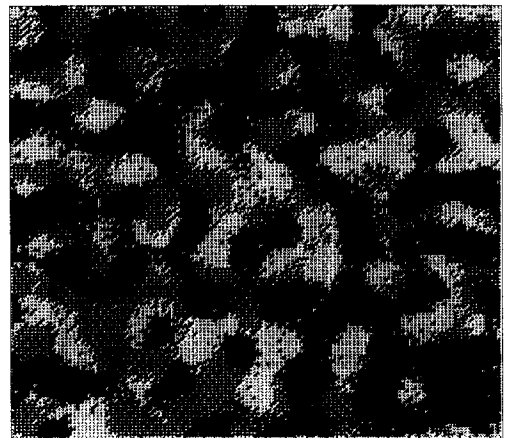
그림 5. BPG에 의해 그레이 스케일로 생성된 영상  
Fig. 5. Gray scale image generated by BPG.

그림 3은 회절빔의 유무를 이용하여 흑백 영상을 발생시키기 위한 격자와 발생된 영상을 보여주고 있다. 격자의 구조는 0과  $\pi$  만의 위상을 갖기 때문에 흑과 백으로 표현하였고, 발생된 영상 또한 흑백으로 나타내었다. 격자의 한 주기는  $256 \times 256$  개의 셀로 이루어졌고 Girl 영상은  $64 \times 64$  화소로 표현되었다. 이진 위상 격자는 지금까지 주로 균일한 세기의 스폿 발생에 사용되었으나 기중치를 갖는 스폿(weighted spots) 패턴을 얻기위한 격자를 설계하면 그림 4와 같이 단계적인 세기를 갖는 다중빔을 생성시킬 수 있다. 또한 스폿의 패턴을 확장하여 영상 크기에 해당하는 수의 스폿을 생성시키고 단계적인 빔세기를 조정하면 그림 5와 같이 레벨 차를 갖는 그레이 스케일 영상을 만들어 낼 수 있다. 그림 3에서의 격자와 그림 5를 발생시키는 격자는 같은 BPG이지만 그림 5의 영상이 좀 더 본래의 영상에 가깝게 표현하고 있다. 그림 5에 주어진 영상은

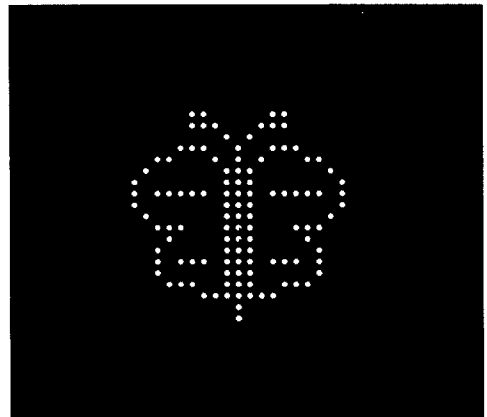
네단계의 빔세기로 표현된 영상이지만 많은 그레이 레벨을 두면 보다 선명한 영상을 얻을 수 있다. 그러나 BPG는 반드시 역대칭의 영상을 발생시키기 때문에 효율이 절반으로 줄어들며, 원하는 영상의 위치가 한쪽으로 치우치도록 설계되어야 한다.

2. MPG의 링영상 발생

두 개의 위상(binary phase)만을 이용할 경우 발생되는 역대칭 영상의 제거를 위해서 뿐만 아니라 보다 더 높은 회절효율을 얻기 위해서는 MPG를 이용한 영상 발생이 요구된다. 얻어진 영상은 역대칭 패턴 중 하나가 남고 다른 하나가 제거된 형태이거나 중심부에 단독으로 존재하는 형태일 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. 나비 모양의 단일 영상을 위한 FPG와 출력 결과  
Fig. 6. FPG for butterfly shaped image and its output result.

그림 6은 중심부에 발생된 간단한 영상의 예로 원하는 하나의 나비모양 영상만이 나타나 있음을 볼 수 있다. 나비 영상의 크기는  $19 \times 19$ 이며 회절빔의 유무로 표현되었고, 격자의 구조는 네 가지의 명암으로 구분되어 보이는데 검고 흰 정도에 따라  $\pi/2$ 씩의 위상차를 갖는다. 그림 7은 Girl 영상을 중앙부에 4 개의 레벨로 빔의 세기를 조절하여 발생시킨 결과로 격자는  $256 \times 256$  개의 셀로 설계되었다. 이렇게 연속적인 위상 분포 형태를 갖는 많은 위상 레벨의 격자를 사용하여 그레이 스케일의 영상을 발생시키면 보다 선명한 영상을 얻을 수 있을 것이다.



그림 7. 네 단계를 갖는 Girl 영상의 발생 결과  
Fig. 7. Girl image having four-level intensities by computer simulation.

#### IV. 광학적 실험 및 제작

##### 1. SLM을 이용한 실험

액정 공간광변조기(LC-SLM)는 입력되는 신호의 크기에 따라 위상지연 특성을 가질 수 있다. 0과 255의 입력값에 대해  $2\pi$ 에 가까운 위상지연 특성을 띠는 격자 정보를 SLM에 디스플레이 시킨 후 평행광으로 만들어진 레이저 광원에 의해 조사되며, 회절되어 분리된 빔들이 푸리에 변환 렌즈를 거쳐 푸리에 평면에 맺힌다. 그림 3에서의 격자를 LC-SLM을 이용하여 실험한 결과가 그림 8에 나타나 있다. 그림 8에서의 결과는 설계된 격자가 영상을 발생시키고 있음을 확인시켜 주고 있으며 원하는 영상을 컴퓨터를 통해 자유로이 발생시킬 수 있음을 보여준다. 얻어진 결과는 선명하지 않고 좌측상단에서 우측하단으로 갈수록 전반적으로

빛의 강도가 약해짐을 볼 수 있는데 이것은 설계에서 제시한  $\pi$ 만큼의 위상지연이 이루어지지 못하고 SLM 자체의 고유패턴에 의해 발생하는 진폭형 격자의 특성에 의한 것으로 판단된다.

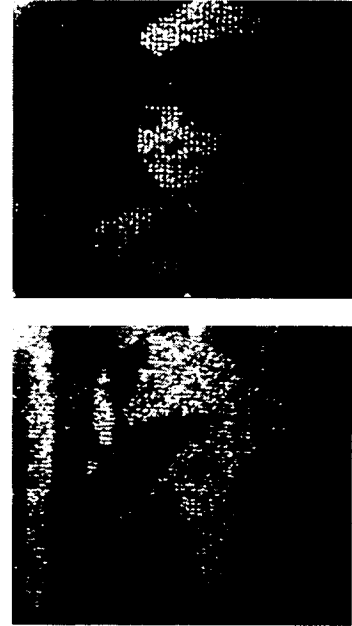


그림 8. LC-SLM을 이용한 광학실험에 의해 얻어진 영상들

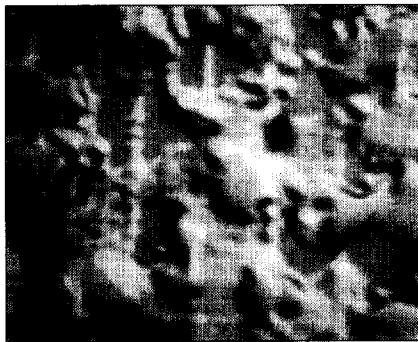
Fig. 8. Images obtained by optical experiment using LC-SLM.

##### 2. 레이저 기록 장치를 이용한 격자의 제작

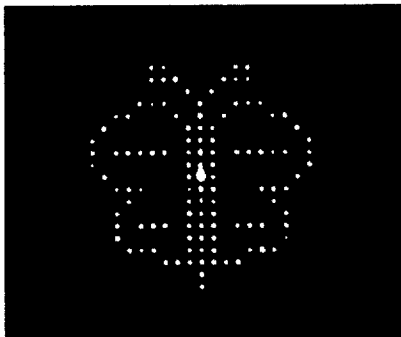
설계된 격자는 반도체 리소그래피로 제작되면 해상도와 정밀도에서 가장 우수한 성능을 가질 수 있지만 연속적인 위상에 가까운 형태의 제작에는 레이저 직접 기록 장치가 효율적이다. 레이저 기록 장치는 셀의 최소 피치를 크게하고 계단 모양을 정확하게 구현해 내지는 못하지만 Fresnel 렌즈같은 연속적인 위상을 필요로 하는 경우에는 더 효과적일 수 있다. 레이저 직접 기록장치는 공냉식 아르곤 레이저, 래스터 방식으로 움직이는 XY 스테이지, 음향광학 변조기, 아날로그/디지털 변환기, 그리고 CCD 카메라 등으로 구성된다. 이 장치는 컴퓨터와 연결되어 위상 정보를 전송 받아 0부터 255까지의 위상 값을 나타내는 그레이 레벨로 음향광학 변조기의 전압을 조정함으로써 통과하는 빛의 양을 이용하여 격자의 구조를  $0.1\mu\text{m}$ 씩 움직이는 XY 스테이지로 제작한다. 이러한 방법으로 격자구조를 기록할 수 있는 기판은 유리면 위에 S1400-27 감광제를

0.7 $\mu\text{m}$  정도 코팅한 것으로 실험에서 사용될 레이저의 파장에 가까운 것으로 코팅될 때 가장 정확한  $\pi$ 의 위상지연을 얻을 수 있으며, 음향광학 변조기에 의해 조절된 위상 변화에 따라 감광정도가 결정되어 현상과정을 거쳐 유리표면에 코팅된 감광제의 잔류 정도에 따라 두께 차를 갖게 된다.

그림 9는 중심부에 발생한 나비모양의 빔 패턴을 발생시키기 위해 설계된 격자를 레이저 직접 기록장치로 제작하여 HeNe 레이저를 조사하여 얻어진 결과를 보여주고 있다. 그림 9(a)는 나비모양의 빔 분리를 위해 최소 변화거리 1 $\mu\text{m}$  한 주기는 128 $\mu\text{m}$ 로 제작한 것을 확대하여 부분촬영한 것으로 표면양각 형태를 명암으로 확인할 수 있다. 그림 9(b)는 이 격자에 10mW 레이저를 직접 입사시켜 발생된 결과를 CCD로 잡은 것이다. 이것은 간단한 MPG 제작의 예로 원하는 하나의 나비모양 빔 패턴만이 나타나 있음을 볼 수 있다. 그림 9(a)에서 격자의 구조는 명암으로 높낮이가 구분되어 보여지는데 계단형이 아니고 연속적인 형태를 하고 있음을 볼 수 있다.



(a)



(b)

그림 9. 레이저 직접 기록장치에 의해 제작되어 확대된 회절격자와 출력 결과

Fig. 9. Enlarged photogram of FPG fabricated laser writing system and its output image.

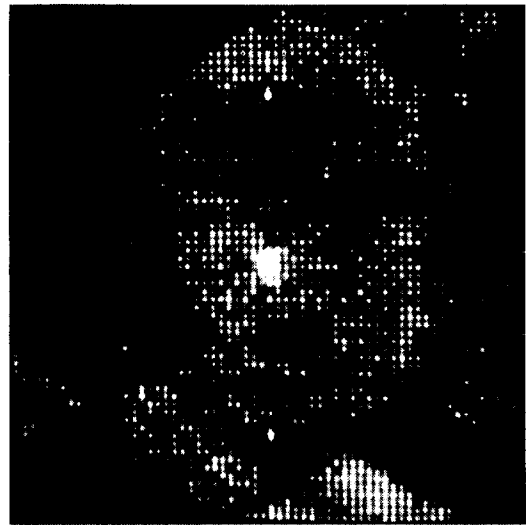


그림 10. FPG로부터 얻어진 그레이 스케일 Girl 영상  
Fig. 10. Gray-scale Girl image produced by FPG.

## V. 결 론

다중빔을 발생시키기 위해 사용되는 회절격자의 회절특성을 이용하여 빛의 밝기로 표현된 광 영상을 발생시켰다. 회절격자는 화소형으로서 BPG와 MPG의 이론과 설계 방법을 3 $\times$ 3 회절격자를 통하여 기술하고 격자의 특성을 비교분석하였다. 또한 광 영상을 발생시키는 방법에 대해 논하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 영상 발생 결과를 제시하였다. 설계된 위상 격자는 공간광변조기를 사용한 광학장치에서 결과가 실험된 후 레이저 기록 장치에 의해 제작되었다. 공간광변조기를 이용한 실험 결과는 명확한 영상을 얻지는 못하였으나 위상 격자를 공간광변조기를 이용하여 실시간적으로 처리할 수 있음을 보였고 레이저 직접 기록 장치에 의해 제작된 회절격자는 중앙부에 비대칭의 영상을 선명하게 발생시켰다. 제작된 격자는 정확한 위상지연을 위한 감광제 두께의 코팅에 어려움이 있으며 정확한 계단 모양의 격자구조를 만들기 어렵지만 우수한 회절특성을 보였다. 컴퓨터 시뮬레이션과 실험 결과는 가상의 영상을 회절 특성을 이용한 화소형 위상 격자로부터 그레이 스케일로 발생시킬 수 있음을 보였다.

## 참 고 문 헌

[1] R. L. Morrison and S. L. Walker, "Progress



- in diffractive phase gratings used for spot array generation," *Optical Computing '91, Technical Digest Series*, vol.6, pp.144-147, 1991.
- [2] A. Vasara, M. R. Taghizadeh, J. Turunen et al., "Binary surface-relief gratings for array illumination in digital optics," *Appl. Opt.*, vol.31, no.17, pp.3320-3336, 1992.
- [3] H. Dammann and K. Görtler, "High efficiency in-line multiple imaging by means of phase holograms," *Opt. Commun.*, vol.3, pp.312-315, 1971.
- [4] J. Turunen, A. Vasara and J. Westerholm, "Kinoform phase relief synthesis: a stochastic method," *Opt. Eng.*, vol.28, no.11, pp.1162-1167, 1989.
- [5] E. G. S. Paige and R. H. Scarbough, "Generation of binary, phase-only holograms by on-line feedback of output plane intensity," *Diffractive Optics: 1994 Technical Digest Series*, vol.11, pp.247-250, 1994.
- [6] S. F. Habiby, A. Marrakchi, J. R. Wullert II, J. S. Patel and J. T. Meyer, "Programmable coherent source arrays generated by spatial light modulators," *Appl. Opt.*, vol.31, no.20, pp.3991-3998, 1992.
- [7] J. Amako and T. Sonehara, "Kinoform using an electrically controlled birefringent liquid-crystal spatial light modulator," *Appl. Opt.*, vol.30, no.32, pp.4622-4628, 1991.
- [8] N. Streibl, "Beam shaping with optical array generators," *J. Modern Optics*, vol.36, no.12, pp.1559-1573, 1989.
- [9] P. Mckee, D. Wood, M. P. Damea and C. Dix, "The fabrication of multi-phase optical elements for weighted array spot generation," *SPIE*, vol.1461 Practical Holography V, pp.17-23, 1991.
- [10] R. L. Morrison, S. L. Walker and T. J. Cloonan, "Beam array generation and holographic interconnections in a free-space optical network," *Appl. Opt.*, vol.32, no.14, pp.2512-2518, 1993.
- [11] U. Killat, G. Rabe and W. Rave, "Binary phase gratings for star couplers with high splitting ratio," *Fiber and Integrated Optics*, vol.4, no.2, pp.159-167, 1982.
- [12] H. P. Herzig, D. Prongue and R. Dändliker, "Design and fabrication of highly efficient fan-out elements," *Jpn.J.Appl.Phys.*, vol.29, pp.1307-1309, 1990.
- [13] D. J. Lee, N. Kim, S. H. Song and H. H. Suh, "Gray-level image generation by multi-phase diffraction grating," *IEEE LEOS'95 8th Annual Meeting*, pp.73-74, 1995.
- [14] M. Ekberg, M. Larsson, S. Hard et al., "Multilevel grating array illuminators manufactured by electron-beam lithography," *Opt. Comm.*, vol.88, no.1, pp.37-41, 1992.
- [15] M. R. Feldman and C. C. Guest, "Iterative encoding of high-efficiency holograms for generation of spot arrays," *Optics Letters*, vol.14, no.10, pp.479-481, 1989.
- [16] M. S. Kim and C. C. Guest, "Block-quantized binary-phase holograms for optical interconnection," *Appl. Opt.*, vol.32, no.5, pp.678-683, 1993.
- [17] U. Krackhardt, J. Schwider, M. Schrader and N. Streibl, "Synthetic holograms written by a laser pattern generator," *Opt. Eng.*, vol.32, no.4, pp.781-785, 1993.

## 저 자 소 개



李得周(準會員)

1969년 6월 6일생. 1993년 2월  
충북대학교 정보통신공학과 졸  
업(공학사). 1994년 3월 ~ 현  
재 충북대학교 대학원 정보통신  
공학과 석사과정. 주관심 분야는

Diffraction gratings, Free space optical  
interconnection, Holographic 3D display 등임

金 男(正會員) 第33卷 A編 第3號 參照

현재 충북대학교 정보통신공학과  
부교수



李權淵(正會員)

1959년 11월 19일생. 1986년 2  
월 연세대학교 전자공학과 졸업  
(공학사). 1988년 8월 연세대학  
교 대학원 전자공학과 졸업(공  
학석사). 1995년 8월 연세대학

교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1990년 3월  
~ 1996년 1월 서남대학교 전자공학과 조교수. 1996  
년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 전자공학과 전임강사.  
주관심 분야는 광통신시스템, 광신호처리, 광컴퓨팅,  
광섬유소자, 광굴절결정 등임

殷在定(正會員) 第32卷 A編 第9號 參照

현재 창원대학교 전자공학과  
부교수