

고효율 스폿 배열 발생을 위한 줄무늬형 2차원 회절격자*

이득주·윤병호·김 남

충북대학교 공과대학 정보통신공학과

서 호 형

한국전자통신연구소 기초기술연구부

(1994년 11월 29일 받음)

규칙적인 간격의 $M \times N$ 이차원 패턴과 임의 모양 빔 스폿을 발생시키기 위해 일반적인 이차원 Dammann 격자보다 재구성 에러가 작고, 높은 효율을 보이는 줄무늬형 격자를 설계하였다. 회절효율은 일반적인 이차원 Dammann 격자의 효율보다 평균 15~20% 정도 높은 60% 이상을 얻었다. 설계된 격자는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 회절특성을 확인하였으며 우수한 패턴 발생 결과가 확인되었다. 3×3 에서 11×11 까지의 규칙적인 스폿 배열과 문자열에 대한 효율, 계산 시간 및 표준편차를 비교분석하였다.

I. 서 론

자유공간 광 연결, 광 계산, 디지털 광처리 시스템 등의 분야에서 균일한 빔 스폿 이차원 배열 발생기가 아주 절실히 요구된다.^[1] 특히 디지털 광학 응용분야에서는 병렬로 실행되는 이차원 배열 소자가 필요하다. 대체로 4×4 에서 128×128 범위의 배열이 사용되는데, 만약 이러한 배열을 제공하는 광원이 없다면 배열 발생기가 필요하게 된다. 배열 발생기는 입사 레이저 빔을 1차원 또는 2차원의 다중빔으로 분리시키는 광학 장치이다.^[2,3] 배열 발생기는 그 외에도 다중영상(multiple imaging), 공간변화 영상 처리(spacevariant image processing) 그리고 광학 데이터 저장(optical data storage) 등의 분야에 응용되고 있다. 전에는 핀홀(pinhole) 배열, 거울, 미소렌즈(microlens) 배열과 특별히 설계된 격자가 Fraunhofer, Fresnel 회절에 기초하여 사용되었다.

이러한 빔 스폿 발생기에 의해 발생된 스폿 배열은 광전자 소자에 광학적으로 정보를 기호화하거나 전송하기 위해 조사(照射)하는데 사용된다. 위에서 언급된 다중영상, 광통신, 디지털 광 처리 시스템 등의 분야에서 중요하게 사용되는 이진 위상격자가 최근 팬아웃(fan-

out) 소자로 가장 이상적임이 인식되고 있다.^[4,5] Dammann 격자는 Fraunhofer 회절에 기초한 배열 발생기로 1970년대 초 H. Dammann에 의해 이진 위상 홀로그래프를 이용한 고효율의 다중영상 발생을 위해 제안된 후 균일한 세기의 스폿발생 위상격자를 총칭하여 부르게 되었다.^[6] 또한 Dammann은 두 개의 위상을 이용한 격자와 연속적인 위상을 이용한 격자를 설계하여 연속적인 위상을 가진 격자가 월등한 회절 효율을 나타냄을 보였다. 하지만 연속적인 위상을 가진 격자보다 설계와 제작이 용이한 두 개의 위상을 가진 이진 격자에 대한 연구가 더 활발히 이루어졌다. 그 결과 처음에는 0과 π 위상을 사용하였으나 좀더 높은 효율을 갖는 격자를 설계하기 위해 0과 임의의 위상 θ 를 사용하였다. 그리고 이진 위상격자의 한계로 인하여 다위상형(multi-phase 또는 multilevel phase) 격자^[7]가 제안되어 N. Streibl 등에 의해 많은 연구가 이루어졌다. 이 밖에도 A. Vasara 등은 단계위상(steped-phase)을 이용하여 90% 이상의 효율을 갖는 이차원 배열 발생기를 제안하기도 하였다.

위상격자는 격자의 모양에서 대칭 유무에 따라 크게 분리형(separable)과 비분리형(nonseparable)으로 구분한다. 분리형은 처음에 Dammann이 제안했던 격자로 일차원 스폿 배열 발생 격자에서 전이점의 위치를 먼저 정한 다음 일차원 배열 발생 격자를 확장시켜 이차원 배열 발생 격자를 설계하는 것이다. 일반적인 분리형 Da-

*본 연구는 한국과학재단 '94특정연구과제 지원에 의해 이루어짐.

mmann 격자는 항상 홀수 개의 스폿만을 발생시키므로 이러한 제한을 극복하기 위한 방법으로 중앙 빔을 제거(ZOM:zeroth order missing)하는 방법이 제안되었고, 다시 변형되어 짝수 차의 빔을 제거(EOM:even order missing)하는 방법^[8]이 제안되었다. 분리형 격자는 스폿 배열이 중앙을 중심으로 대칭을 이루며, 각 차수마다 빔 세기의 제어가 불가능하다. 좀더 높은 회절 효율을 보이며 발생된 스폿 배열의 각 빔을 자유로이 제어하고, 임의의 원하는 스폿 패턴을 얻기 위한 방법으로 비분리형 격자가 연구되었다. J. Mait는 벌집 모양과 비스듬한 배열 패턴을 발생시키는 비분리형 격자를 설계^[9]하기도 하였으며, J. Turunen 등은 줄무늬형(stripe-geometry)의 격자^[10]를 설계하여 문자열 모양의 패턴을 발생시키는 격자를 제작하기도 하였다. 임의의 스폿 배열 발생 문제에 대한 다소 다른 접근 방법들에는 이 외에도 최적화된 화소형(pixelated) 홀로그램과 kinoform이 있다. Kinoform^[11]은 회절 효율면에서는 최상의 값을 보이지만 제작에서 여러 단계의 과정이 필요한 단점이 있다. 줄무늬형의 격자는 회절 효율면에서는 kinoform보다 못하지만 무시할 수 있는 재구성 에러를 갖도록 최적화가 가능하다. 현재 위상격자는 전력손실을 피할 수 있는 광학적 접속의 장점을 살리고 실시간 광 연결을 위해 공간 광변조기에 빔을 조사(照射)시켜 균일한 세기의 스폿 배열로 분리시키는 연구가 계속되고 있다.

본 연구에서는 분리형 격자보다 회절효율이 높은 줄무늬형 격자를 이용한 N×N 배열 발생을 위해 3×3에서 11×11까지의 격자를 설계하고, 특정 패턴을 발생시키는 격자에 대한 예로써 임의의 문자열 모양의 패턴을 발생시키는 격자를 설계하였다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 발생된 스폿 패턴을 효율, 편차 그리고 수렴 시간 측면에서 분석하였다. 최적화 알고리즘은 경사 감소법(gradient descent)을 사용하였으며, 목적 함수(cost function)는 표준편차를 이용하였다.

II. 줄무늬형 격자의 이론

줄무늬형 격자의 한 주기가 그림 1에 주어져 있다. 위상 투과함수는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$g(x, y) = \exp[i\theta(x, y)] \tag{1}$$

$\theta(x, y)$ 는 격자의 각 위치에서의 위상에 관한 변화를 의미하며, 이 식의 구조는 일반적인 Dammann 격자의 일반화된 표현과 같다. 그리고 L개의 전이점을 갖는 일차원 Dammann 격자가 수직으로 P개 만큼 배열한 형

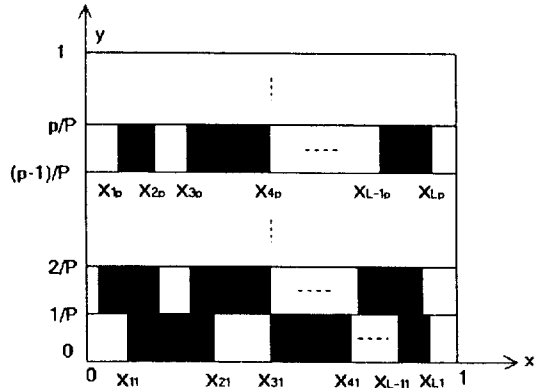


그림 1. 줄무늬형 격자 주기의 구조

태의 구조를 갖는다. 그림에서 밝은 영역은 위상이 π 이고, 어두운 영역은 위상이 0을 나타낸다. 투과함수는 수직으로 배열된 줄무늬의 주기성 때문에 Fourier 시리즈 형태로 표현할 수 있다.

$$g(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(m, n) \exp[i2\pi(mx + ny)] \tag{2}$$

식 (2)에서 $G(m, n)$ 은 회절차들의 진폭함수를 나타내며 식 (3)과 같이 전개된다.

$$G(m, n) = \int_0^1 \int_0^1 g(x, y) \exp[-i2\pi(mx + ny)] dx dy \tag{3}$$

또한 위의 식은 각 스폿의 위치에 따라 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$G(0, 0) = \left[\frac{2}{P} \sum_{\rho=1}^P \sum_{l=1}^L (-1)^{\rho l} \right] - 1 \tag{4}$$

$$G(0, n) = \frac{2}{P} \exp\left(\frac{im}{P}\right) \text{sinc}\left(\frac{n}{P}\right) \sum_{\rho=1}^P \sum_{l=1}^L (-1)^{\rho l} \exp\left(\frac{-i2m\rho l}{P}\right) \tag{5}$$

$$G(m, n) = \frac{1}{Pm} \exp\left(\frac{im}{P}\right) \text{sinc}\left(\frac{n}{P}\right) \sum_{\rho=1}^P \sum_{l=1}^L \exp\left[-i2\pi\left(m\rho l + \frac{n\rho l}{P}\right)\right] \tag{6}$$

위의 식(5)에서 $\text{sinc}(u) = \sin(\pi u) / \pi u$ 이며 상수 m, n 은 회절빔의 위치를 의미하고 P, L 은 각각 한 격자주기에서 줄의 수와 전이점의 수를 나타낸다. 이와 같은 수식에서 전이점의 위치를 결정한 후 격자를 설계하여 Fourier

표 1. 이진 위상을 갖는 일반적인 Dammann 격자와 줄무늬형 격자의 효율

배열크기	회절효율(%)	
	Dammann	줄무늬형
3×3	44.12	62.22
5×5	59.90	62.13
7×7	42.93	63.88
9×9	43.99	60.86
11×11	42.05	60.06

변환하면 원하는 배열 크기의 스폿패턴을 얻을 수 있다. 이 때 스폿의 광세기는 진폭의 제곱에 비례하므로 다음 식과 같이 표현된다.

$$I(m, n) = |G(m, n)|^2 \quad (7)$$

원하는 스폿패턴은 $[-M/2, \dots, M/2][-N/2, \dots, N/2]$ 범위 내의 주어진 영역에 특정한 목표분포 $T(m, n)$ 에 근사하는 방법으로 위상 전이점 위치 x_{nl} 을 최적화해야 한다. 본 논문 내의 모든 $M/2$ 와 $N/2$ 는 소수점 이하 버림된 정수로 취급되었다.

일반적인 이진 Dammann 격자는 설계가 간단함대 반해 회절효율이 낮고 원하는 스폿을 제어할 수 없는 것이 단점이다. 일반적인 이진 Dammann 격자는 1차원 격자의 경우 60%에서 80%까지의 회절효율 분포를 갖는다. 평균적으로 70% 이하의 효율을 갖는데, 이를 이차원으로 확장할 경우 약 50%의 회절효율을 보인다는 것을 알 수 있다. 그러나 줄무늬형 격자는 표 1에 주어진 효율비교와 같이 평균 60% 이상의 회절 효율을 나타내며, 원하는 스폿을 제어하여 임의의 스폿패턴을 얻을 수 있다. 또한 격자의 수직적인 형태가 일정한 간격을 유지하고 수평적인 거리를 변화시켜 세밀한 간격을 표현할 수 있으므로 재구성 에러가 적게 발생된다. 일반적인 Dammann 격자에 비해 이러한 장점이 있지만 모든 이진 격자의 스폿패턴은 반드시 가운데 수직축을 중심으로 역대칭을 이루므로 줄무늬형 격자로 임의의 특정 스폿패턴을 발생시켰을 때의 효율은 약 30% 정도가 된다. 그리고 임의의 패턴을 형성시키기 위해서는 $m > 0$ 인 회절차나 $m < 0$ 인 회절차에 목표분포 $T(m, n)$ 을 위치시켜야 한다. 즉 $I(m, n) = I(-m, -n)$ 이므로 원하는 스폿패턴 자체가 가지는 효율은 패턴이 가운데 수직축을 중심으로 역대칭이 아니라면 전체 효율의 절반에 해당하게 된다. 그리고 스폿 배열에서 최상측 행 $[N/2]$ 과 최하측 행 $[-N/2]$ 은 가운데 수평축을 중심으로 대칭으로 나타나

므로 원하는 패턴이 상하 대칭이 아니라면 원하는 패턴은 $[M/2 - 1][N/2]$ 크기 배열 내에 위치시켜야 한다.

III. 최적화 방법

격자의 스폿패턴은 이진 형태로 나타나며 원하는 목표패턴 $T(m, n)$ 은 0과 1로 주어진다. 스폿 배열 중 원하는 패턴에 속하는 스폿은 $T(m, n) = 1$ 로, 원하지 않는 스폿은 $T(m, n) = 0$ 으로 주어진다. 그러나 제거되는 스폿의 세기를 완전히 0으로 할 수 없으며, $T(m, n) = 1$ 인 스폿 모두를 균일한 세기로 하기가 어렵다. 따라서 최적화의 목표는 높은 회절효율을 갖으며 원하는 스폿 패턴의 빔 세기를 균일하게 하는 것이 된다. 회절효율은 식 (8)과 같이 표현되며 최대값을 갖도록 해야 한다.

$$E = \sum_{m=-M/2}^{M/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} T(m, n) I(m, n) \quad (8)$$

원하는 스폿패턴에서 빔 세기들을 균일하게 하기 위해서는 각 회절차들의 편차를 최소화해야 한다. 편차 S 는 식 (9)와 같이 표현된다.

$$S = \frac{1}{B} \sum_{m=-M/2}^{M/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} [\bar{T}(m, n) - I(m, n)]^2 T(m, n) \quad (9)$$

위의 식 (9)에서 B 와 $\bar{T}(m, n)$ 은 다음과 같다.

$$B = \sum_{m=-M/2}^{M/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} T(m, n) \quad (10)$$

$$\bar{T} = \frac{1}{B} \sum_{m=-M/2}^{M/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} T(m, n) I(m, n) \quad (11)$$

전이점의 위치를 찾기 위한 최적화 방법으로 경사 감소법(gradient descent)을 사용하였다. 많은 수의 국부 최소값(local minimum)이 존재하므로 편차 0.0003과 효율 60%를 한계값으로 주어 한계값에 만족하는 해를 구하도록 하였다. 그리고 편차가 매우 중요한 요소이므로 편차의 감소와 효율의 증가 정도에 따라 계산 결과를 포기하고 계산을 다시 시작하는 방법 등을 취하였다. 최적화에서의 목적함수는 식 (12)와 같이 주었다.

$$O = \sum_{m=-M/2}^{M/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} [I(m, n) - \bar{T}(m, n)]^2 T(m, n) \quad (12)$$

식 (12)의 목적함수의 기울기가 감소하는 방향으로 전이점의 위치를 변화시키며 최적의 전이점을 찾아간다. 따라서 새로운 전이점은 식 (13)과 같이 구해진다.

$$x_{p_i}^{(k+1)} = x_{p_i}^{(k)} - \beta \frac{\partial O}{\partial x_{p_i}} \quad (13)$$

식 (13)에서 β 는 변화의 폭을 조절하는 스텝의 크기로서 스폿 배열의 크기에 따라 증가값 1~25로 주어졌다. 그리고 반복 횟수가 증가함에 따라 스텝의 크기를 감소시켜 좀더 편차를 안정하게 찾도록 하였다.

줄무늬형 격자의 구조는 일반적인 Dammann 격자에서 1차원 격자를 확장시켜 2차원 격자를 설계하기 위해 필요한 전이점의 수보다 아주 많은 수의 전이점이 존재하므로 계산상의 복잡도가 매우 크다. 5×5 스폿 발생 격자를 비교해보면, 일반적인 격자의 경우 구해야 하는 전이점의 수가 2개이지만 줄무늬형은 16개이다. 즉 줄무늬형 격자의 복잡도는 PLMN에 비례한다. M, N은 스폿 배열의 수평과 수직 스폿의 수를 의미한다. 따라서 약 20×20 이상에서의 계산은 쉽지 않으며 많은 계산 시간을 필요로 하므로 커다란 패턴 발생에는 줄무늬형 격자가 적합하지 않음을 알 수 있다. 그러나 복잡도가 패턴의 역대칭으로 인하여 제어하고자 하는 스폿의 수가 반으로 줄어들므로 PLMN에 항상 정비례하지 않고 복잡도의 기울기는 PLMN의 1/2 정도가 된다. PC586-60 MHz를 이용하여 시뮬레이션 하였을 때, 3×3인 격자의 전이점 계산시간은 1초 미만이고, 5×5인 격자는 3초, 7×7 격자는 15초, 그리고 15×15 격자는 5시간 정도가 걸렸다.

IV. 시뮬레이션 결과

줄무늬형 회절격자에서 전이점의 수는 스폿의 수에 비례하며 P와 L은 짝수이며 M과 N은 홀수이다. M, N이 홀수인 이유는 가운데 축을 중심으로 대칭을 이루기 때문이며, P와 L은 격자의 구조상 짝수로 이루어져 있다. 그림 2는 5×5 스폿 발생 격자의 구조를 보여주고 있으며 그림 3은 그림 2와 같은 격자를 통해 발생된 스폿 패턴을 보여준다. 그림 2에서의 전이점은 표 2와 같이 16개의 전이점을 갖는다.

표 2에서 최소 전이점 간 거리는 0.01151이고 스텝을 4로 고정시켰을 때 반복 계산수는 24회이다. 효율은 62.13%이며, 편차는 3.56×10^{-5} 이고 각 회절 스폿 세기는 0.02485이다. 따라서 위의 전이점의 특징을 살려 스폿을 발생시키기 위해서는 격자의 한 주기를 200×200 이상의 작은 화소로 나누어 각 화소를 -1과 1로 표현하여 Fourier 변환함으로써 가능하다. 그림 3은 그림 2를 256×256 화소로 그린 것이고, 그림 4는 그림 2를 128×128 화소로 그린 것을 Fourier 변환한 결과이다. 그림 4는

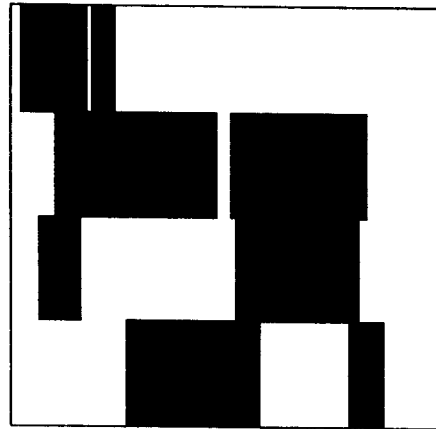


그림 2. 5×5 스폿 발생을 위한 격자의 구조

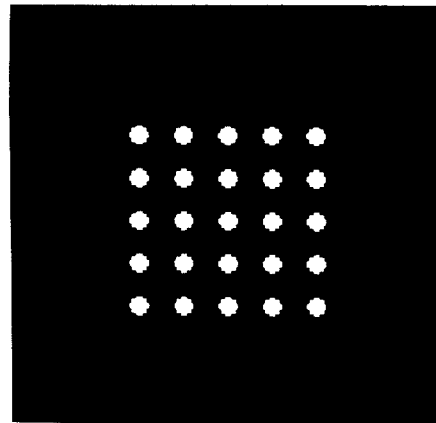


그림 3. 그림 2를 400×400 화소로 구분하여 Fourier 변환한 결과

표 2. 5×5 스폿 배열 발생을 위한 격자의 전이점들

P	L			
	1	2	3	4
1	0.26916	0.58177	0.79386	0.87500
2	0.06325	0.15893	0.52659	0.81612
3	0.10337	0.48198	0.51707	0.83051
4	0.02034	0.17684	0.18735	0.24071

그림 3보다 각 스폿의 세기가 균일하지 않은데 그 이유는 각 전이점이 미세한 위치를 그림이 정확하게 표현하지 못하기 때문이다. 따라서 격자의 각 전이점의 위치를 정밀하게 표현할 수 있는 격자의 제작이 매우 중요함을 알 수 있다.

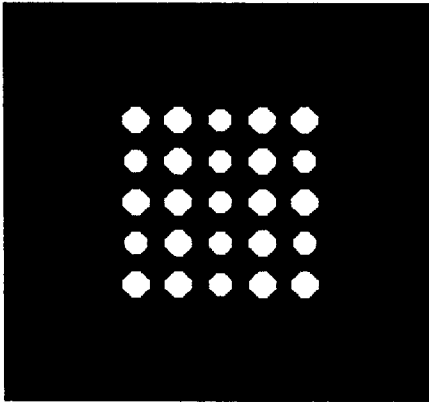


그림 4. 그림 2를 200×200 화소로 구분하여 Fourier 변환한 결과

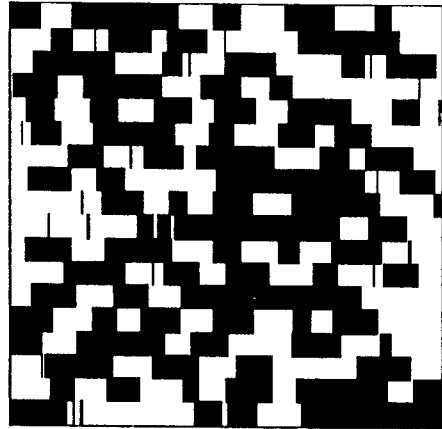


그림 7. OIP 문자열을 발생시키기 위해 설계한 격자($P=18, L=14$, 효율=59%, 표준편차=0.0004)

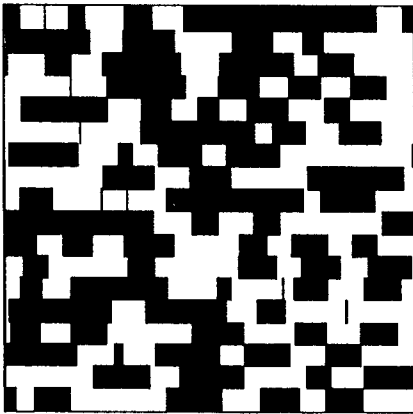


그림 5. CBU 문자열을 발생시키기 위해 설계한 격자($P=18, L=12$, 효율=59.2%, 표준편차=0.00039)

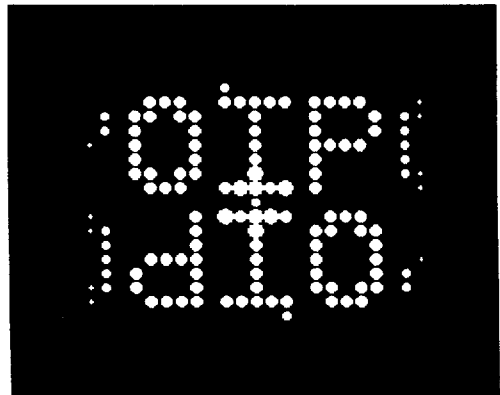


그림 8. 그림 7을 400×400 화소로 구분하여 Fourier 변환한 결과

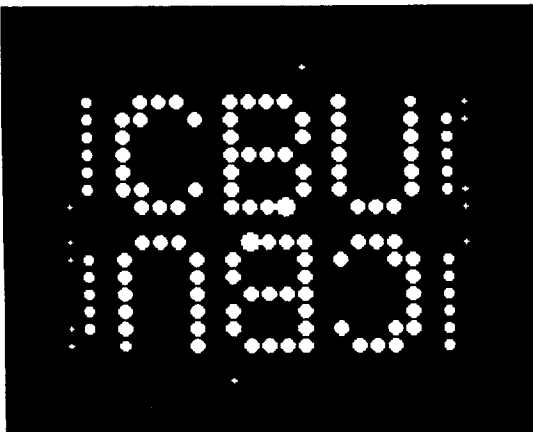


그림 6. 그림 5를 400×400 화소로 구분하여 Fourier 변환한 결과

7×7 스폿 발생 격자는 63.88%의 회절 효율과 8.76×10^{-5} 의 편차를 갖으며, 전이점의 위치를 구하는데 있어 반복계산 수는 21회이다. 평균 0.013의 스폿 세기를 갖는 이 격자는 7×7임에도 불구하고 $P=6, L=4$ 이다. 즉 제어해야 하는 전이점의 수가 24보다 작다는 것을 알 수 있으며, 더 큰 배열 패턴의 경우 전이점의 수를 스폿 수의 절반 이하로 잡아도 해를 구하는데 문제가 없음을 알 수 있다. 9×9 격자는 $P=8, L=6$ 으로 60.86%의 회절 효율과 4.95×10^{-5} 의 편차를 갖는 전이점을 찾았으며, 11×11의 경우도 60.06%의 회절 효율을 갖는 전이점을 찾았다. 이와 같이 대칭형의 패턴은 60% 이상의 효율을 갖는 격자의 해를 구하기가 쉽지만 비대칭형인 임의의 특정 패턴을 얻기 위해서는 이보다 많은 반복계산이 필요하다. 그림 6은 CBU라는 문자열을 나타내는 패턴을

19×15로 설계하여 격자의 전이점을 그림 5와 같이 그려 얻은 결과이다. 회절효율은 59.02%로 배열의 크기가 작은 대칭형 격자보다 약간 낮으며 편차도 0.00039로 아주 좋은 편차를 보이지 못한다. 하지만 계산 반복횟수를 좀더 늘리면 보다 높은 효율과 낮은 편차의 해를 구할 수 있을 것이다. 그림 6에 나타난 CBU 문자열은 400×400 화소로 그린 격자를 Fourier 변환한 것이지만 각 문자에 해당하는 스폿이 다른 스폿보다 월등한 세기로 나타나 있다. 충분한 전이점의 수를 정해줌으로써 최소 전이점 간 거리가 작아서 격자를 그림으로 표현하지 못하는 부분이 있어도 그 오차를 줄일 수 있었다. 격자 설계는 P=18, L=12로 하였으나 그림에서 보여지는 전이점의 수는 이에 훨씬 못미치는 갯수를 보이고 있다. 즉 P=18이지만 대부분의 줄에서 L=10 또는 8이다. 그러나 격자에서의 전이점의 수는 170으로서 제어해야 하는 전이점의 수 143보다 크기 때문에 그림 6과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 8은 문자열 OIP를 CBU와 같이 19×15로 설계하여 400×400 화소로 그려 얻은 결과이다. 최적화에 의해 얻어진 효율은 59%이고 표준 편차는 0.0004이다. 그림 7에서 보듯이 전이점의 수는 P=18, L=12 또는 10으로서 제어가능 스폿 수는 202이다. 문자열 상하에 나타난 스폿들은 전체 효율에 포함되지 않는 고차 회절법에 의해 발생된 것들이다.

V. 결 론

줄무늬형 이진 회절 격자의 특성 및 설계방법을 이론적으로 전개하였으며 경사 감소법을 이용하여 최적화된 전이점을 구하고, 3×3부터 15×15까지의 계산시간을 비교함으로써 줄무늬형 격자의 계산 복잡도가 증가하였다. 편차는 10⁻⁴ 이하이고 효율은 3×3은 62.22%, 5×5는 62.13%, 7×7은 63.88%, 9×9는 60.86% 그리고 11×11은 60.06%으로 모두 60% 이상의 높은 값을 얻었다. 또한 대칭형 격자의 설계뿐만 아니라 임의의 패턴을 갖는 격자를 설계하였으며, 문자열 CBU는 59.02% 효율과 OIP 문자열은 59.0%의 효율을 나타내는 이진 위상격자를 통해 각 회절차의 세기를 제어할 수 있음을 보였다. 시뮬레이션 결과는 각 스폿의 전이점을 구한 후 줄무늬형 격자를 그려 화소단위로 Fourier 변환한 것이다. 결과를

통해 줄무늬형 격자가 일반적인 Dammann 격자보다 높은 효율을 갖으며 특정 스폿을 제어함으로써 광연결 및 자유공간 광 스위칭에 사용될 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] R. L. Morrison, S. L. Walker, and T. J. Cloonan, "Beam array generation and holographic interconnections in a free-space optical network", *Appl. Opt.* **32**, 2512-2518(1993).
- [2] U. Krackhardt and N. Streibl, "Design of Dammann-grating for array generation," *Opt. Comm.* **74**, 31-36(1989).
- [3] N. Streibl, "Beam shaping with optical array generators", *J. Modern Optics* **36**, 1559-1573(1989).
- [4] U. Killat, G. Rabe and W. Rave, "Binary phase gratings for star couplers with high splitting ratio", *Fiber and integrated optics* **4**, 159-167(1982).
- [5] H. P. Herzig, D. Prongue and R. Dändliker, "Design and fabrication of highly efficient fan-out elements", *Jpn. J. Appl. Phys.* **29**, 1307-1309(1990).
- [6] H. Dammann and K. Gortler, "High efficiency in-line multiple imaging by means of phase holograms," *Opt. Comm.* **3**, 312-315(1971).
- [7] M. Ekberg, M. Larsson and S. Hard et al., "Multilevel grating array illuminators manufactured by electron-beam lithography", *Opt. Comm.* **88**, 37-41(1992).
- [8] 서호형, 광종훈, 정종술, 이일항, "짝수 개의 회절법 어레이 생성을 위한 이진 위상격자의 설계", *한국 광학회* **5**, 45-50(1994).
- [9] Joseph N. Mait, "Designs for two-dimensional nonseparable array generators", *SPIE* **1555**, 43-52(1991).
- [10] J. Turunen, A. Vasara and J. Westerholm, "Stripe-geometry two-dimensional Dammann gratings", *Opt. Comm.* **74**, 245-252(1989).
- [11] J. Turunen, A. Vasara and J. Westerholm, "Kinoform phase relief synthesis: a stochastic method", *Opt. Eng.* **28**, 1162-1167(1989).

Stripe-geometry 2D Gratings for High-Efficiency Array Spot Generation

Deug-Ju Lee, Byeong-Ho Yoon and Nam Kim

Dept. of Computer & Communication Eng., Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

Ho-Hyung Suh

Research Dept., Electronics & Telecommunications Research Institute, Taejon, 305-600, Korea

(Received: November 29, 1994)

The 2D patterns of $M \times N$ or arbitrary uniform intensity beam spots have been generated using the stripe-geometry gratings which have less reconstruction error than conventional two-dimensional Dammann gratings. The obtained efficiencies were 60% or more, and they are higher than Dammann gratings about 15~20%. The designed gratings have been verified by computer simulation, and they have been compared up to 11×11 in terms of their efficiencies, computation times and standard deviations.