

이웃한 국소 홀로그램 기록을 위한 기준빔의 겹침 특성

오용석 · 김복수 · 장주석*

부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

Ⓣ 608-737 부산광역시 남구 대연3동 599-1번지

김지덕 · 이홍석

삼성종합기술원 이석한 연구팀

Ⓣ 440-600 경기도 용인시 기흥읍 농서리 산 14-1번지

(2002년 9월 26일 받음, 2003년 2월 7일 수정본 받음)

국소홀로그램 기록방법에서 저장밀도를 높이기 위해서는 각 홀로그램은 이웃한 홀로그램들과 가깝게 기록되어야 한다. 이 경우에 두 인접한 홀로그램의 기준빔들은 공간적으로 겹칠 수 있다. 본 논문에서는 공간다중화를 위한 기준빔의 이동 거리에 대해서 겹침을 최소화하는 최적의 기준빔 폭이 존재함을 시뮬레이션 및 실험적으로 보인다. 따라서, 저장밀도를 높임에 따르는 국소홀로그램의 장점의 희생을 최소화할 수 있다.

주제어 : reference beam overlap, localized hologram, holographic memory.

I. 서 론

홀로그래피 메모리 시스템에서는 많은 양의 정보를 저장하기 위해 여러 가지 다중화 방법을 사용한다. 각다중화, 회전다중화, 위상다중화 등의 기록방법에서는 다중화를 하기 위해서 기록 매질의 한 부분에 홀로그램을 중첩시켜 기록한다.^[1-7] 이 경우 몇 가지 문제점들이 있다. 첫째, 균일한 회절 효율을 얻기 위하여 각 홀로그램의 노출시간을 조정해서 기록한다. 둘째, 중첩 기록 때문에 전체적으로 회절 효율이 낮아진다. 셋째, 저장된 홀로그램들 가운데에서 선택적으로 하나만 지우거나 다른 페이지로 교체할 수 없다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여, 많은 수의 홀로그램을 서로 분리된 작은 기록 영역에 독립적으로 기록하는 방식, 즉 국소 홀로그램 기록 방식이 제안된 바 있다.^[8-11] 이 방식을 홀로그래피 메모리 시스템에 사용할 경우, 홀로그램들을 충분히 분리하여 기록하면 저장밀도가 낮아진다. 따라서, 기록밀도를 높이기 위해서는 각 홀로그램이 이웃한 홀로그램에 가능한 한 가깝게 기록되어야 한다. 이 경우에 인접한 두 홀로그램의 기준빔들은 공간적으로 겹칠 수 있다.^[12] 그러므로, 이전에 생성된 홀로그램은 뒤이어 기록되는 홀로그램에 의해 지워질 수 있다. 그리고, 나중에 기록되는 홀로그램은 바로 전의 홀로그램에 의해 격자 생성에 영향을 받을 수 있다.

본 논문에서는 주어진 국소 다중화 이동거리에 대해서 기준빔의 겹침과 누화(cross-talk)잡음을 최소화하는 최적화된 입사 기준빔 크기와 원통렌즈 초점거리가 존재함을 컴퓨터 모의 실험 및 실험을 통해 보인다. 편의상, 원통렌즈에 입사하는 기준빔의 세기분포가 1차원 가우시안 세기분포인 기준빔과 균일 세기분포인 기준빔의 두 가지 경우에 대해서 조사하였다.

II. 이론적인 배경

국소 홀로그램 기록방식은 한 곳에 여러 장의 홀로그램을 기록하는 중첩 홀로그램 방식과는 다르게 기준빔을 원통렌즈로 집속하여 신호빔과 교차시킨다. 따라서, 기록매질을 지나갈 때의 기준빔 폭은 작아지고 이 매질의 얇은 영역에 하나의 홀로그램이 저장된다. 그리고, 기록매질을 일정거리만큼 옆으로 이동시킨 뒤에 또 다른 영역에 다른 홀로그램을 기록한다. 이러한 절차를 반복하면 각각의 독립된 영역에 홀로그램들이 순차적으로 저장된다.

그림 1은 기준빔과 신호빔의 기록 구조에 따른 국소 홀로그램 방법을 보여 준다. 그림 1(a)는 90° 구조 기록방법이고, 그림 1(b)는 디스크형 기록방법을 나타내고 있다. 일반적으로 기준빔의 세기가 신호빔의 세기보다 매우 크고 재생 시에는 기준빔만 사용하므로 기준빔의 겹침에 대해서만 논의한다.

그림 1(b)의 디스크형 기록 구조에서 면적 저장밀도(S_{2d})는 다음과 같이 계산된다.

$$S_{2d} = \frac{N^2}{\delta_x \delta_y} = \frac{N^2 d}{2 \delta_x \lambda f_s} \quad (1)$$

여기서, $\delta_x = 2\lambda f_s / d$ 의 관계를 사용하였고,^[7] δ_x 와 δ_y 는 각각 x 와 y 축 방향의 매질 이동거리, N^2 은 페이지 당 데이터 비트 수, λ 는 광원의 파장, f_s 는 신호빔 축 푸리에렌즈 초점거리, d 는 데이터 비트를 표현하는 화소 크기이다. 예를 들어, $N^2 = 1 \times 10^5$, $\lambda = 514.5 \text{ nm}$, $f_s = 50 \text{ mm}$, $d = 100 \mu\text{m}$, $\delta_x = 10 \mu\text{m}$ 일 때 $S_{2d} \approx 20 \text{ bits}/\mu\text{m}^2$ 이다.

그림 2에서 두 인접한 기준빔이 공간적으로 겹치는 모습을 볼 수 있다. 그림 2(a)는 기준빔이 원통렌즈에 입사해서 매질에서 집속되는 모습을 보여준다. 그림 2(b)와 (c)는 그림 2(a)

*E-mail: jsjang@pknu.ac.kr

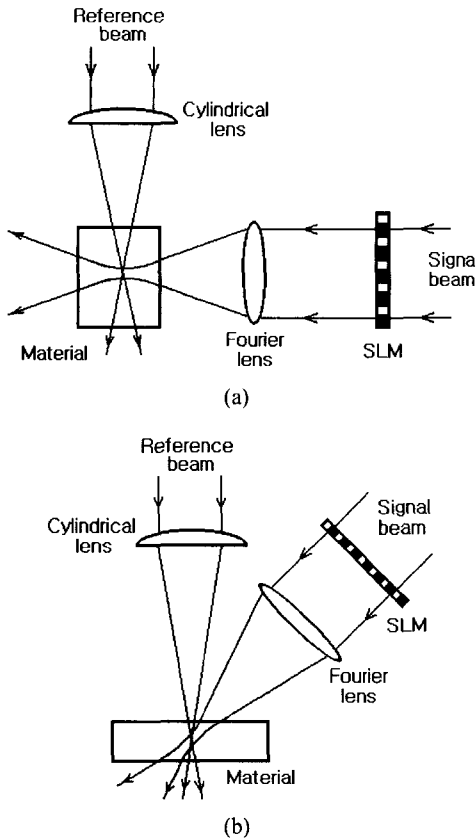


그림 1. 국소 홀로그램 기록방법. (a) 90° 구조, (b) 디스크형 구조.

에서 기록매질 부분(동그라미 속)을 확대한 것으로써, 각각 원통렌즈에 입사하는 기준빔의 크기(D_R)가 작은 경우와 큰 경우이다. 매질 속에서 왼쪽 부분은 이전에 기록된 홀로그램의 위치이고 오른쪽 부분은 뒤이어 기록되는 홀로그램의 위치이다. 중간부분이 기준빔의 겹치는 영역이다. 여기서, D_R' 은 기록 매질 안에서 집속된 기준빔의 최소 크기, δ_x 는 기록 매질의 이동거리이다. 그림 2(b)의 경우에 겹치는 전체 빔 에너지가 높기 때문에 이전 홀로그램은 새 홀로그램의 기준빔에 의해 많이 지워진다. 그리고, $z=0$ 부근에서 기준빔의 위상은 거의 평면파와 같다. 그러므로, 그림 2(b)와 같은 경우에 $z=0$ 부근에서 두 평면파가 중첩되는 것으로 여길 수 있어 이웃한 두 홀로그램 사이에 누화잡음이 발생한다. 따라서, 두 기준빔의 겹치는 빔 에너지의 양과 누화잡음을 줄이기 위해서는 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.

$$\delta_x \geq D_R' \quad (2)$$

일반적으로 회절에 의하여 D_R 이 작아지면 D_R' 은 커지고 D_R 이 커지면 D_R' 은 작아진다. 그림 2(b)의 경우에는 D_R' 이 크기 때문에 δ_x 도 커져야 하고 S_{2d} 는 낮아진다. 식 (1)로부터 N^2 과 δ_x 가 주어진 경우에 δ_x 를 작게 해야 S_{2d} 가 증가함을 알 수 있다. 그림 2(c)와 같이 기준빔을 보다 강하게 집속시키면 식 (2)를 만족하는 δ_x 도 작아지고 S_{2d} 도 증가한다. 또한, 두 기준빔의 빔 에너지 겹침 정도도 낮아진다. 그러나, 기준빔을 너무 강하게 집속시키면 D_R' 은 작아지지만 기록 매질 표면의 기준

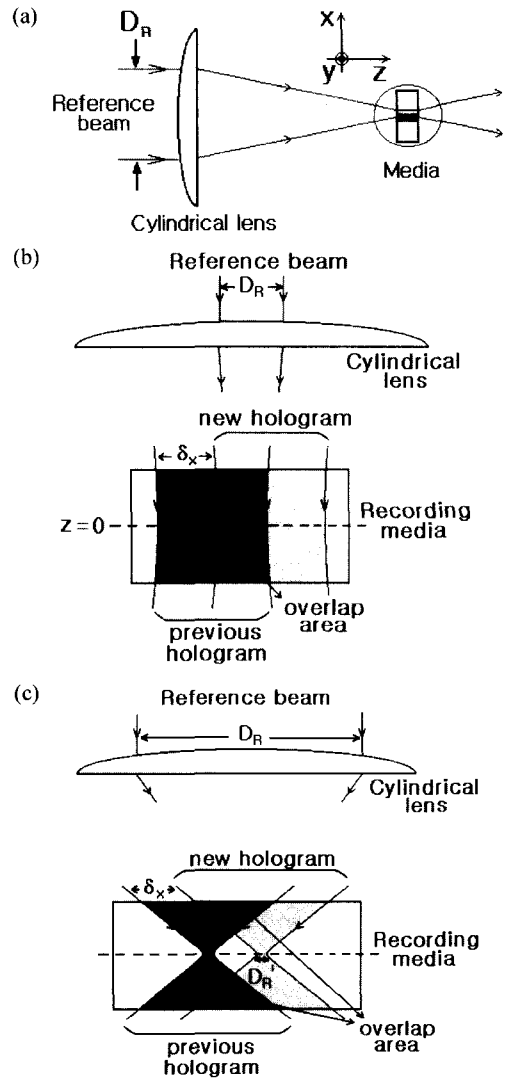


그림 2. (a) 국소 홀로그램의 기준빔 생성도, (b) 그림(a)의 동그라미 부분의 확대 화면(D_R 이 작은 경우), (c) 그림(a)의 동그라미 부분의 확대 화면(D_R 이 큰 경우), D_R : 원통렌즈에 입사하는 기준빔 크기, D_R' : 기록 매질 안에서 기준빔의 최소 크기, δ_x : 기록 매질 이동거리.

빔 폭은 오히려 더 넓어지므로 전체적으로 빔 에너지 겹침이 높아질 수 있다.

여기서, 주어진 기록 매질의 두께에 대하여 기준빔의 빔 에너지 겹침과 누화잡음을 적절히 낮추면서 동시에 면적 저장밀도를 높일 수 있는 최적화된 실험 파라미터를 찾을 필요가 있다. 그리고, 이러한 파라미터들은 디스크형 기록 매질의 두께에 따라 달라지므로 이에 대한 조사도 필요하다. 우선, 기준빔의 빔 에너지 겹침을 최소화하는 실험 파라미터를 조사한다. 그 뒤에 기록 매질의 두께에 따라 누화잡음과 면적 저장밀도, 기준빔 겹침을 최적화하는 파라미터를 살펴본다.

2.1. 기준빔이 가우시안 세기분포인 경우

그림 3(a)는 기록매질 안에서 기준빔 단면의 빔세기 분포를 보여준다. 왼쪽은 이전에 기록된 홀로그램의 기준빔의 세기분

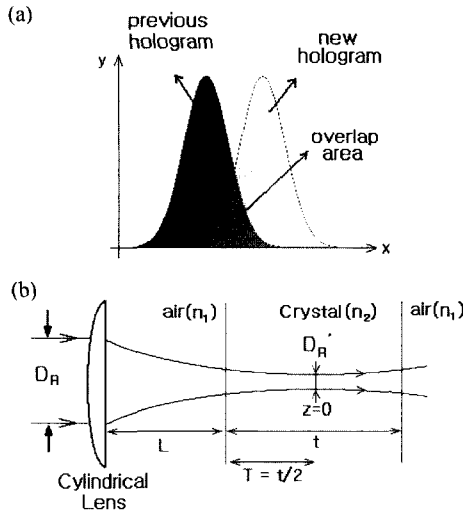


그림 3. (a) 두 이웃한 가우시안 기준빔 단면의 세기분포, (b) 가우시안 기준빔의 겹치는 빔 에너지를 구하기 위한 가상실험 구성도.

포이고, 오른쪽은 새로 기록되는 홀로그램의 기준빔 세기분포이다. 두 분포 꼭선 사이의 겹치는 부분이 구하고자 하는 세기분포영역이다. 그림 3(b)는 두 기준빔의 겹치는 에너지 양을 계산하기 위해 사용된 가상실험 구성도이다. 여기서, D_R 은 원통렌즈에 입사하는 가우시안 기준빔의 폭을 나타내며, D_R' 은 $z=0$ 에서의 기준빔 크기, L 은 원통렌즈에서 매질까지의 거리, t 는 기록매질의 두께, n_1 과 n_2 는 각각 공기와 기록매질의 굴절률을 나타낸다. 매질 안에서의 기준빔 폭은 $z=0$ 에서 최소(D_R')가 된다고 가정하였다. 여기서 기록매질은 $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ 결정으로 가정하였다. 가우시안 기준빔의 경우에 L 은 다음과 같이 계산된다.^[13]

$$L = \frac{a}{a^2 + b^2} - n_{21} T \quad (3)$$

여기서, $n_{21} = n_1/n_2$, $a = 1/f$, $T = t/2$, $b = \lambda/(\pi w_0^2 n_1)$, $w_0 = D_R/2$ 이다. $z=0$ 에서의 기준빔 폭은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$w_1^2 = \frac{\lambda}{\pi n_2} \cdot \frac{[b(L + n_{21}T)]^2 + [1 - aL - an_{21}T]^2}{n_{21}b} \quad (4)$$

여기서, $w_1 = D_R'/2$ 이다. 기록매질 안에서의 기준빔 폭, $w(z)$ 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$w(z) = w_1 \left(1 + \frac{z^2}{z_0^2} \right)^{1/2} \quad (5)$$

여기서, $z_0 = \pi w_1^2 n_2 / \lambda$ 이다. 매질 안의 빔 세기는 다음과 같이 구해진다.

$$I(x, z) \propto |E(x, z)|^2 = \left(\frac{E_0 w_1}{w(z)} \right)^2 \exp\left(-\frac{2x^2}{w^2(z)} \right) \quad (6)$$

식 (6)를 이용하면 $-T < z < T$ 범위에 걸쳐 있는 한 기준빔의 전체 빔 에너지와 두 기준빔이 겹치는 영역의 빔 에너지를 구할 수 있다. 그리고, 두 빔 에너지의 비를 계산한다.

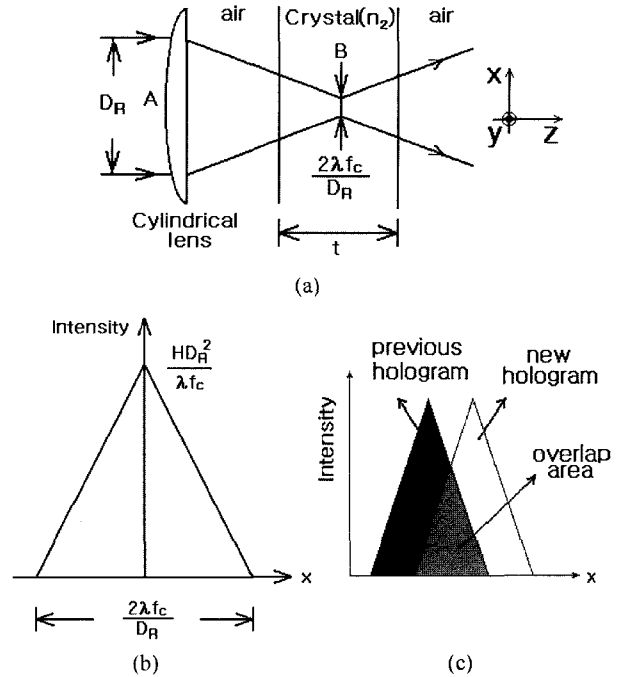


그림 4. (a) 균일한 세기분포 기준빔의 겹치는 빔 에너지를 구하기 위한 가상실험 구성도, (b) B 지점의 기준빔 세기분포, (c) 두 이웃한 기준빔 단면의 세기분포.

2.2. 기준빔이 균일한 세기분포를 가지는 경우

균일한 세기분포를 가지는 기준빔의 에너지 겹침을 알아보기 위한 가상실험에서는 계산을 간단히 하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다. 첫째, 회절효과를 무시하고 기하광학만을 사용한다. 둘째, 원통렌즈의 푸리에 면에서 기준빔 세기분포는 $D_R' = 2\lambda f_c / D_R$ 폭을 가지는 삼각형 세기분포이다. 셋째, 원통렌즈의 푸리에 면을 제외한 기록매질 안에서의 기준빔 세기분포도 삼각형 세기분포이다. 넷째, 기준빔의 전체 빔 전력은 전파되면서 바뀌지 않는다.

그림 4(a)는 겹치는 기준빔 에너지를 구하기 위한 가상실험 구성도이다. 기록매질 안에서 최소 기준빔 크기는 $D_R' = 2\lambda f_c / D_R$ 이고, f_c 는 원통렌즈의 초점거리, t 는 기록매질의 두께이다. 그림 4(b)는 B 지점의 기준빔 세기분포를 나타낸다. 원통렌즈 입사지점(A 지점)의 기준빔 세기가 H 일 때, 원통렌즈의 푸리에 면(B 지점)에서의 빔 세기분포 꼭선의 최대값은 $HD_R'^2 / \lambda f_c$ 이다. 앞의 가정에 의하여 A와 B 지점, 그리고 기록매질 안의 각 위치에서의 기준빔 전체 빔 에너지는 동일하다. 그림 4(c)는 두 이웃한 기준빔이 겹칠 때, 그 단면의 세기분포를 나타낸 것이다. 가운데 부분이 겹치는 영역이다. 가우시안 빔의 경우와 마찬가지로 한 기준빔의 전체 빔 에너지와 두 기준빔이 겹치는 영역의 빔 에너지의 비를 계산할 수 있다.

III. 실험 파라미터와 기준빔 겹침 비율에 관한 컴퓨터 모의실험 결과

그림 5는 원통렌즈에 입사하는 기준빔 크기(D_R)와 두 기준빔 사이의 겹침 비율과의 관계를 나타낸다. 가로축은 원통렌

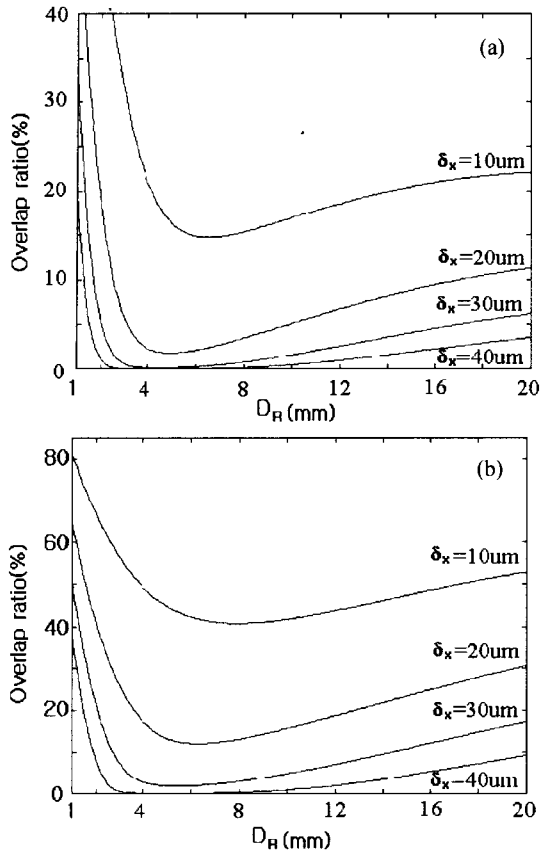


그림 5. 원통렌즈에 입사하는 기준빔 폭(D_R)과 겹침 비율과의 관계. $f_c = 10\text{ cm}$, $t = 2\text{ mm}$, δ_x : 기록매질 이동간격, f_c : 원통렌즈 초점거리, t : 기록매질 두께. (a) 가우시안 세기분포 기준빔, (b) 균일 세기분포 기준빔.

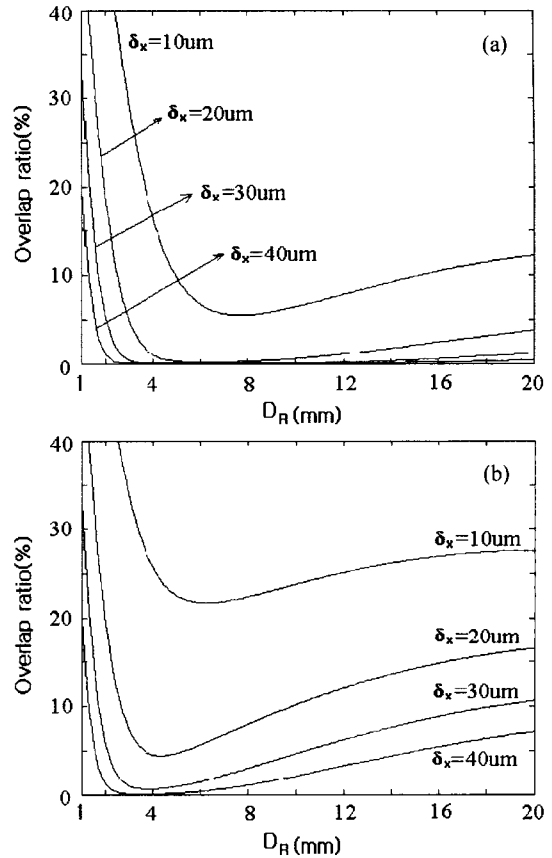


그림 6. 기록 매질 두께(t)에 따른 기준빔 폭(D_R)과 겹침 비율과의 관계. $f_c = 10\text{ cm}$. (a) $t = 1\text{ mm}$, (b) $t = 3\text{ mm}$.

즈에 입사하는 기준빔의 크기를 나타내고 세로축은 두 기준빔의 겹치는 빔 에너지의 비이다. 여기서 기록매질의 두께 t 는 2 mm이고 원통렌즈의 초점거리(f_c)는 10 cm로 두었다. 그림 5(a)는 가우시안 세기분포의 기준빔의 경우이고, 그림 5(b)는 균일 세기분포의 기준빔의 경우이다. 여기서, δ_x 는 매질의 이동거리 즉, 두 이웃한 홀로그램 사이의 간격이다. 가우시안 분포의 경우에 각각의 매질 이동거리에 대해 극소값이 존재하고 5 mm 부근에서 이 값이 위치한다. 따라서, 각 홀로그램 간격에 대해 극소값의 위치에 해당하는 크기를 가지는 기준빔을 사용하면 기준빔의 에너지 겹침을 최소화할 수 있다. 계산의 편의를 위하여 간략화된 균일 분포 기준빔에 대해서도 비슷한 결과가 나올 수 있다. 이 결과는 우리가 가정한 빔 세기분포에 대해서 민감하게 변하지 않는다는 뜻이다.

그림 6은 기록 매질의 두께에 따른 기준빔 크기(D_R)과 겹침 비율의 관계를 나타낸다. 그림 6(a)는 기록 매질의 두께가 1 mm인 경우이고, 그림 6(b)는 3 mm인 경우이다. 일정한 홀로그램 간격(δ_x)에 대해서 기록 매질이 두꺼워지면, 기준빔 겹침을 극소화시키는 D_R 은 작아진다. 이는 매질의 두께가 커질수록 강하게 집속된 빔은 매질 표면 부근에서 훨씬 더 많이 겹치게 되기 때문이다. 반대로, 매질두께가 얇아지면 전체적인 겹침 비율은 낮아지면서 기준빔 겹침을 극소화시키는 D_R 은 커

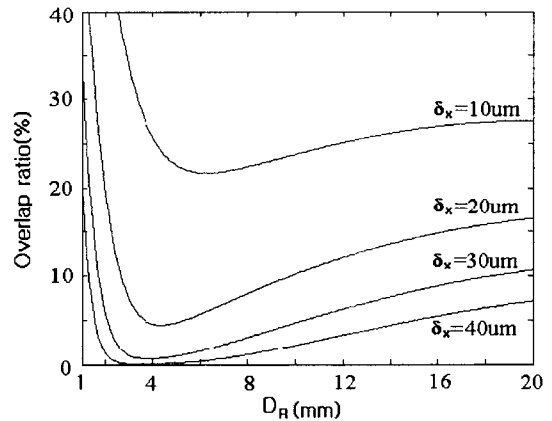


그림 7. 원통렌즈 초점거리(f_c)와 겹침 비율과의 관계. $D_R = 5\text{ mm}$, $t = 2\text{ mm}$.

진다. 그러나, 매질 두께가 작아지면 매질 안에서 기록될 수 있는 신호빔의 폭도 작아져야 한다. 그러면, 1 비트를 표현하는 공간광변조기의 화소크기는 커져야 한다. 따라서, 하나의 홀로그램에 저장되는 데이터 양은 감소하게 되고, 저장밀도는 낮아진다.

그림 7은 원통렌즈의 초점거리(f_c)와 겹침 비율의 관계를 나타낸다. 여기에서는 2 mm 두께의 기록매질과 5 mm 크기의 기준빔이 사용됨을 가정하였다. 마찬가지로 특정한 크기의 기준

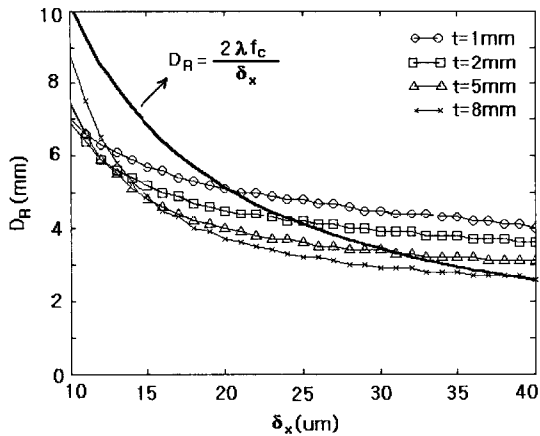


그림 8. 홀로그램 간격(δ_x)과 기준빔 겹침을 최소화하는 기준빔 폭(D_R). t : 기록 매질 두께, D_R' : 기록 매질 안의 기준빔 최소 크기, $\lambda = 514.5 \text{ nm}$, $f_c = 10 \text{ cm}$.

빔에 대해서 초점거리가 약 8 cm의 원통렌즈를 사용하면 겹침 비율이 최소가 됨을 알 수 있다.

그림 8은 여러 가지 기록 간격 δ_x 와 기준빔 겹침을 최소화하는 기준빔 크기 D_R 을 나타낸다. 이는 그림 5(a)의 다양한 δ_x 에 대한 곡선에서 극소값에 해당하는 D_R 을 찾아서 표시한 것이다. 굵은 곡선은 균일 세기 분포를 가지는 기준빔의 D_R 과 $D_R' = \delta_x$ 의 관계를 나타낸다. 여기서 식 (2)를 만족시키기 위한 최소 이동 거리를 사용한다는 전제하에 $D_R' = \delta_x$ 로 둔 것이다. 그러므로, 굵은 선과 다른 실선들이 만나는 점은 주어진 기록 매질의 두께에서 기준빔 겹침을 최소화하면서 동시에 누화잡음을 피할 수 있는 D_R 과 δ_x 를 의미한다. 다시 말하면, 이 점들에 해당하는 파라미터들을 이용하면 최적화된 국소 기록을 할 수 있다.

IV. 실험 결과

그림 9는 그림 5에 나타난 컴퓨터 모의실험 결과를 확인하기 위한 실험 구성도이다. 광원으로 파장이 514.5 nm인 아르곤 이온 레이저를 사용하였고, 기록매질로 두께가 2 mm이고 c축이 결정면과 나란하며 Fe가 0.015% 도핑된 LiNbO₃ 결정을 사용하였다. 그리고, 원통렌즈의 초점거리는 10 cm이다. 홀로그램에 저장될 데이터는 한 화소의 크기가 각각 100, 40 μm 인 랜덤패턴과 균일한 체크무늬패턴의 네 패턴영역으로 구성된, 4 cm×4 cm 크기의 크롬마스크의 패턴이다. 기준빔과 신호빔의 사이각은 약 50°이다. 기록매질은 신호빔 축의 푸리에 변환 렌즈의 초점면에서 약간 벗어난 비초점면에 위치하였다. 하나의 국소홀로그램이 기록된 뒤에 기준빔과 신호빔을 차단하고, 기록매질을 δ_x 만큼 이동시킨 다음에 다음 홀로그램을 저장한다. 가우시안 기준빔을 사용하면, 기준빔 폭을 조절하기 위해서 여러 개의 원통렌즈 조합과 부수적인 광학부품들의 삽입이 필요하다. 이 경우에 실험 구성요소들의 공간적 위치가 조금씩 다를 수 있기 때문에 각 기준빔 폭에 대해 동일한 조건으로 실험을 하는 것이 어렵다. 앞 장의 컴퓨터 모의실험에

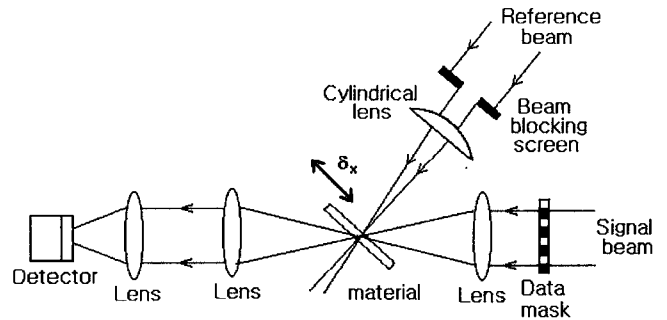


그림 9. 컴퓨터 모의실험 결과를 확인하기 위한 실험 구성도.

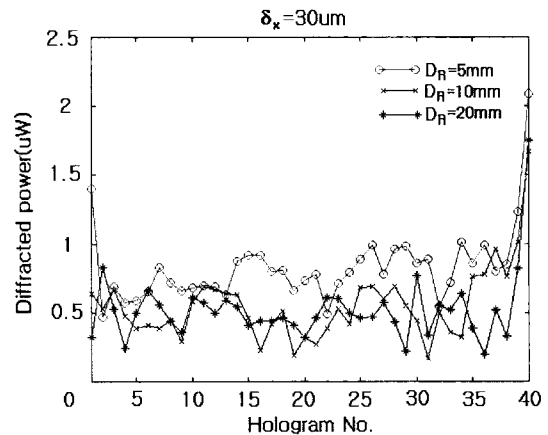


그림 10. 기준빔 폭에 따른 회절빔 전력. $D_R = 5, 10, 20 \text{ mm}$, $\delta_x = 30 \mu\text{m}$, $f_c = 10 \text{ cm}$.

서 기준빔의 세기분포가 기준빔이 겹치는 정도에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 알았다. 그래서, 본 실험에서는 균일한 세기 분포를 가지는 기준빔을 사용했고, 가리개를 이용해서 기준빔 폭을 조절했다. 가리개 슬릿의 축 방향 길이(높이)는 2 mm 정도이다. 가리개를 통과하기 전의 기준빔은 가장 넓은 폭의 가리개를 기준으로 생성된다. 가리개 폭이 넓을수록 기준빔의 세기는 약해진다. 실험할 기준빔 크기의 편차가 심할 경우, 가장 작은 기준빔 크기에 대한 실험에서는 기준빔 세기가 낮아서 장시간 노출을 해야 된다. 그러므로, 실험할 기준빔 폭의 편차를 작게 해야 한다.

그림 10은 $D_R = 5, 10, 20 \text{ mm}$ 의 기준빔 폭으로 기록한 홀로그램들에 대해서 각 회절빔 전력을 비교한 것이다. $D_R' = 2\lambda f / D_R$ 의 관계를 이용하면,^[7] D_R' 는 각각 20, 10, 5 μm이다. 기준빔 폭을 제외한 나머지 실험 조건은 동일하다. 기록할 때에 기록매질에 입사하는 기준빔과 신호빔의 빔 전력은 각각 약 12 mW, 2 mW이고, 재생시의 기준빔의 빔 전력은 약 1.2 mW이다. 각 홀로그램의 노출시간은 8초로 균일하고, 30 μm이다. 앞의 컴퓨터 모의실험에서 mm 부근에서 기준빔 에너지 겹침이 상대적으로 가장 낮으므로, 회절빔 전력이 가장 높을 것으로 예상되었다. 그림 10은 컴퓨터 모의실험 결과와 잘 일치한다. 여기서 마지막 홀로그램의 회절효율이 다소 높게 나온 것은 다음과 같은 이유 때문이라고 생각된다. 기록매질의 한 지점에 여러 장의 홀로그램을 저장하는 중첩홀로그램의 경우에

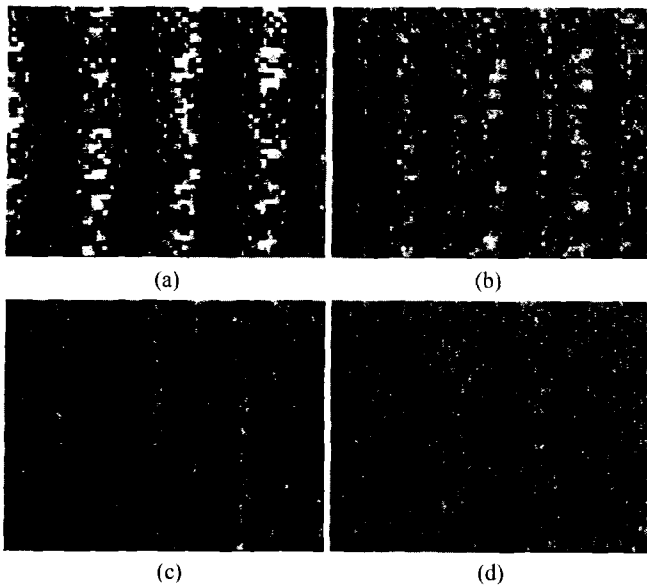


그림 11. 5개의 재생된 영상들 중 3번째 영상의 일부화면. (a) $D_R = 1$ mm, (b) $D_R = 2$ mm, (c) $D_R = 3$ mm, (d) $D_R = 5$ mm.

각 홀로그래프를 동일한 노출시간으로 기록하면, 시간상으로 앞에 저장되었던 홀로그래프들은 뒤에 계속해서 저장되는 홀로그래프들로 인해 지워진다. 따라서, 홀로그래프의 기록순서가 빠를수록 그것의 회절효율은 낮아지고, 기록순서가 늦을수록 회절효율은 지수함수적으로 증가한다. 그래서, 마지막 홀로그래프의 회절효율이 가장 높다. 국소 홀로그래프 기록방식의 경우, 원리적으로는 각 홀로그래프가 공간적인 겹침이 없이 독립된 기록영역에 저장된다. 하지만, 본 실험에서는 면적저장밀도를 고려해서 가급적 국소 다중화 간격을 최소화하려고 하였다. 그러므로, 최적화된 δ_x 를 사용하였다더라도 기준빔의 에너지 겹침이 완전히 0이 되지 않는다. 게다가, 비록 세기는 약하지만 신호빔의 영향도 있을 것으로 판단된다. $D_R < 5$ mm에 대해서는 회절빔 전력에 누화잡음이 더해지는 문제와 기준빔 크기의 편차 문제 때문에 회절빔 전력의 비교실험을 생략하였다.

앞에서 $\delta_x < D_R'$ 이면 홀로그래프 사이에 누화잡음이 생기는 것을 언급한 바가 있다. 마찬가지로 그림 9와 같은 실험 구성을 하고 이를 확인해 보았다. $D_R = 1, 2, 3, 5$ mm, $30 \mu\text{m}$, $\delta_x = 30 \mu\text{m}$, 기준빔과 신호빔의 빔 전력은 각각 약 3 mW, 0.8 mW로 하였다. 이 경우에 $D_R' = 100, 50, 33, 20 \mu\text{m}$ 이다. 5개씩의 데이터 영상들을 기록하고 재생된 영상들을 확인해 보았다. 데이터 마스크의 한 화소크기는 $100 \mu\text{m}$ 이다. 각 실험에서 기준빔 폭을 제외한 기록 조건은 동일하다.

그림 11은 각 기준빔 폭에 대해 재생된 영상들 중에서 3번째 영상의 일부 화면들이다. $D_R = 1$ mm인 경우에는 0과 1의 구분이 전체적으로 매우 힘들다. $D_R = 2, 3$ mm인 경우에는 일부 영역에서 0과 1의 판정이 힘들어 지고 $D_R = 5$ mm에서는 보다 명확한 구분을 할 수가 있다. 앞 장에서 설명한 것처럼, $D_R = 1, 2$ mm일 때에는 식 (2)를 만족시키지 못하므로 한 홀로그래프 재생영상에는 그 홀로그래프의 앞뒤에 있는 영상들에 의한 누화잡음이 많이 포함된다. 따라서, 국소 홀로그래프를 기록

할 경우에는 식 (2)를 만족시켜야 함을 확인할 수 있다.

V. 결 론

국소 홀로그래프 방식을 사용한 홀로그래픽 메모리 시스템에서는 저장용량을 높이기 위해 홀로그래프 사이의 이동간격을 가급적 작게 해야 한다. 이 경우에 이웃한 홀로그래프의 두 기준빔이 겹치는 문제가 발생할 수 있음을 확인했다. 인접한 홀로그래프 사이의 누화잡음을 피하기 위한 기준빔 크기와 홀로그래프 간격의 조건을 살펴 보고 실험을 통해 확인하였다. 기준빔의 에너지 겹침을 최소화하는 최적의 조건을 찾기 위해서 기준빔 폭과 원통렌즈 초점거리, 매질두께에 따른 인접한 두 기준빔의 겹침 비율을 컴퓨터 모의실험을 통해 조사해 보았다. 두 파라미터에서 겹침 비율을 최소화하는 실험 변수값이 존재함을 확인할 수 있었다. 컴퓨터 모의실험 결과와 이를 뒷받침하는 실험 결과를 통해서 최적값이 존재함을 실험적으로 확인했다. 기록 매질 두께가 주어진 경우에 기준빔 겹침과 누화잡음, 면적 저장밀도 측면에서 최적의 실험 조건이 존재함을 컴퓨터 모의실험을 통해 확인했다. 따라서, 실제의 실험에서 이 조건들을 사용한다면 보다 향상되고 최적화된 국소 홀로그래프 메모리 시스템의 구성이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] D. Psaltis and F. Mok, "Holographic memories," *Sci. Am.*, vol. 275, pp. 52-58, 1995.
- [2] J. F. Heanue, M. C. Bashaw, and L. Hesselink, "Volume holographic storage and retrieval of digital data," *Science*, vol. 265, pp. 749-752, 1994.
- [3] K. Curtis, A. Pu, and D. Psaltis, "Method for holographic storage using peristrophic multiplexing," *Opt. Lett.*, vol. 19, pp. 993-994, 1994.
- [4] D. Psaltis, M. Levene, A. Pu, G. Barbastathis, and K. Curtis, "Holographic storage using shift multiplexing," *Opt. Lett.*, vol. 20, pp. 782-784, 1995.
- [5] J. H. Hong, L. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian, and E. G. Paek, "Volume holographic memory system: techniques and architectures," *Opt. Eng.*, vol. 34, pp. 2193-2203, 1995.
- [6] C. Denz, G. Pauliat, G. Roosen, and T. Tschudi, "Volume hologram multiplexing using a deterministic phase encoding method," *Opt. Commun.*, vol. 85, pp. 171-176, 1991.
- [7] J. S. Jang, D. H. Shin, and Y. S. Park, "Holographic data storage by combined use of rotational, angular, and spatial multiplexing," *Opt. Eng.*, vol. 39, no. 11, pp. 2975-2981, 2000.
- [8] 신동학, 박연섭, 장주석, 광자기술학회 99, 설악 한화 리조트, 1999, pp. 210-211.
- [9] C. Moser, B. Schupp, and D. Psaltis, "Localizeddf holographic recording in doubly doped lithium niobate," *Opt. Lett.*, vol. 25, no. 3, pp. 162-164, 2000.
- [10] C. Moser, I. Maravic, B. Schupp, A. Adibi, and D. Psaltis, "Diffraction efficiency of localized holograms in doubly doped LiNbO₃ crystals," *Opt. Lett.*, vol. 25, no. 17, pp. 1243-1245, 2000.

[11] C. Moser and D. Psaltis, "Holographic memory with localized recording," *Appl. Opt.*, vol. 40, no. 23, pp. 3909-3914, 2001.

[12] 오용석, 김복수, 장주석, 신동학, 김지덕, 이홍석, 제 9회 광

전자 및 광통신 학술회의, 경주교육문화회관, 2002, pp. 211-212.

[13] A. Yariv. *Optical Electronics* (4th ed., Saunders College Publishing, International edition, 1991), Chapter 2.

Overlap properties of reference beams for localized recording of neighboring holograms

Yong Seok Oh, Fushou Jin, and Ju Seog Jang[†]

*Division of Electronics, Computers and Telecommunication Engineering,
Pukyong National University, Busan 608-737, KOREA*

[†]*E-mail: jsjang@pknu.ac.kr*

Jideog Kim and Hong-Seok Lee

E-team, Samsung Advanced Institute of Technology, Gyeonggi 440-600, KOREA

(Received September 26, 2002, Revised manuscript February 7, 2003)

To maximize the storage density in a localized hologram recording method, each hologram should be recorded as close as possible to its neighboring holograms. In this case, the reference beams used to record two adjacent holograms may overlap in spatial multiplexing. Through simulations and experiments, we show that there exists an optimal reference beam size to minimize the overlap for a given shifting distance of the reference beams in spatial multiplexing. Thus the advantages of the localized hologram recording method can be minimally sacrificed while the storage density is increased

Classification code : IP.010.