

## 홀로그래ムの 비점수차 특성을 이용한 무지개 홀로그래ム 연구

홍석경 · 백성훈 · 김철중

한국원자력연구소

(1994년 5월 10일 받음)

홀로그래ム 결상의 비점수차 특성을 이용하여, 최적 관찰 위치를 홀로그래ム으로부터 충분히 멀리 하고, 관찰되는 물체상을 홀로그래ム면 앞에 튀어나오도록 할 수 있는 2-step 무지개 홀로그래ムの 제작 구성을 제안하였다. 제안된 구성은, 기준빔과 재생빔의 파면차에 의한 비점수차로 생기는 상 분리 특성과 원주형렌즈(cylindrical lens)에 의한 비점수차의 증감 특성을 조합하여 상 분리의 조절이 가능하다는 점을 이용하고 있다. 제안된 방법으로 제작된 비점수차 무지개 홀로그래ム은 백색광 재생시, 홀로그래ム으로부터 관찰자를 향해 앞으로 튀어 나온 물체의 상에 대해서도 좋은 선명도를 유지할 수 있음을 보여주었다.

### 1. 서 론

무지개 홀로그래ム(rainbow hologram)에서는 재생된 슬릿상(slit image)을 통해서 물체의 상을 보게 되므로, 물체 및 슬릿의 상위치가 중요하다. 최적 관찰 위치가 되는 슬릿의 상위치는 시야(field of view)를 적절히 하기 위해서 홀로그래ム에 너무 가까이 붙지 않도록 충분한 거리가 유지되어야 한다. 물론, 원리적으로, 렌즈를 이용한 1-step 제작과정에서는 슬릿을 렌즈의 초점거리 이상으로 멀리 떨어뜨리고, 원홀로그래ム(primary hologram)을 이용한 2-step 제작 구성에서는 원홀로그래ム 제작시에 기록 건판과 물체 사이의 거리를 멀리 해서 슬릿의 상이 홀로그래ム으로부터 멀게 하는 것이 가능하다. 그러나 렌즈를 이용하는 방법에서는 물체가 기록 건판으로부터 멀리 떨어지게 되므로 물체를 비추는 빔을 많이 잃어버리게 되어 출력이 큰 레이저를 필요로 하고, 시야를 줄이지 않도록 하기 위해서는 홀로그래ム 크기 이상의 대형 렌즈가 필요하다.<sup>[1,4]</sup> 원홀로그래ム을 이용하는 방법에서도 슬릿상의 위치를 홀로그래ム으로부터 50 cm 이상 멀리하기 위해서는 상대적으로 고출력의 레이저를 필요로 한다는 단점이 있다.<sup>[1]</sup>

한편, 백색광 재생 홀로그래ム에서는 관찰되는 물체상의 상흐림(image blur)을 최소화하여 최대의 선명도를 얻기 위해 홀로그래ム 기록 건판면에 물체의 상을 기록해야 한다. 그래서 반사형 홀로그래ム<sup>[5]</sup> 및 보통의 무지개 홀로그래ム<sup>[1,2]</sup>에서는 홀로그래ム면에서 가장 선명한 물체의

상이 재생되는 것을 볼 수 있다. 그러나 전시 효과를 고려해서, 관찰되는 물체의 상이 홀로그래ム면 근처에만 위치하도록 하는 것은 바람직하지 않다. 그런데 무지개 홀로그래ム에서는 반사형 홀로그래ム과는 달리, 슬릿에 의해 한쪽 방향의 시차(parallax)만이 가능하므로, 상흐림(image blur)은 물체상의 한 성분 즉 슬릿의 폭방향 성분에 의해 결정된다. 이러한 원리를 이용해서 Leith와 Chen은 원주형 렌즈(cylindrical lens)를 사용하여, 관찰자가 홀로그래ム을 볼 때 물체의 상이 홀로그래ム면 뒤로 깊숙히 들어가 보이는 무지개 홀로그래ム 제작 구성을 고안하였다.<sup>[6]</sup> 이 비점수차 무지개 홀로그래ム(astigmatic rainbow hologram) 방법은<sup>[6-11]</sup> 원주형렌즈로 비점수차를 일으켜서 상흐림을 결정하는 물체상(슬릿의 폭방향 성분의 물체상)을 홀로그래ム면에 결상하여 우리가 보게 되는 물체의 상(슬릿의 길이 방향 성분의 물체상)이 홀로그래ム면으로부터 멀리에 있는 홀로그래ム을 제작할 수 있다.<sup>[12]</sup> 이 방법은 홀로그래ムの 재생에서 선명한 상의 depth가 늘어나도록 하는 것이 아니고, 관찰자가 보고자 하는 선명한 상의 위치를 홀로그래ム면에서 멀리 위치시킬 수 있다는 것이다.

앞에 언급된 기존의 무지개 홀로그래ム 제작 방법<sup>[1, 2, 6, 9, 13]</sup> 보기 편한 최적 관찰위치에서 시야가 좁지 않은 적당한 홀로그래ムの 재생상을 볼 수 있도록 하기 위해서는 다소 큰 출력의 레이저와 홀로그래ム보다 큰 렌즈 등이 필요하다. 게다가 대형 광학 부품에 의한 결상은 수차에 의한 상의 왜곡(distortion)이 심할 뿐만 아니라 구입도

어려워서 실용성에 큰 제약을 받게 된다. 그래서 출력이 작은 레이저를 이용하여 특별히 큰 광학 소자가 없을 때 보기 편한 무지개 홀로그래프를 만드는 것이 쉽지 않다.

본 논문에서는, 기준빔(reference beam)과 공액(conjugate)이 아닌 재생빔으로 실상을 재생할 때 생기는 홀로그래프의 비점수차 특성과, 홀로그래피 결상에서 원주형 렌즈에 의한 비점수차의 증감 효과를 조합하여 최적 관찰위치를 홀로그래프로부터 충분히 멀리 떨어지게 하고 관찰되는 홀로그래프 재생상의 위치를 홀로그래프와 관찰자 사이에 위치하게 해서 물체가 홀로그래프면앞에 튀어나와 있는 것처럼 느낄 수 있는 무지개 홀로그래프 제작 구성을 제안하였다. 그리고 이 구성이, 보통의 광학 요소나 레이저를 이용하여, 대형의 무지개 홀로그래프를 제작할 수 있는 실용적인 광학 구성임을 보이고자 하였다.

## II. 이론적 배경

### 1. 홀로그래프의 상재생

2-step으로 제작하는 무지개 홀로그래프에서는 원홀로그래프에 의해 재생된 실상을 이용하여 홀로그래프를 만들게 되므로 실상의 재생과정이 필요하다. 재생된 상의 depth가 바뀌지 않은 실상을 재생하고자 할 때에는 그림 1(b)에서와 같이 제작시 기준빔의 반대 방향에서 재생빔을 비추어 재생해야 한다. 특히, 왜곡이 없는 동일한 물체상을 재생하기 위해서는, 제작할 때 사용한 기준빔과 공액인 빔으로 재생해야 하며, 이 공액파를 만들기 위해서는 최소한 홀로그래프보다 큰 렌즈나 포물경을 사용해야 한다. 그러나 이와 같은 공액파를 만들 수 없거나 만드는 것이 번거로울 때, 일반적으로 점광원을 사용하여 재생한다. 그래서 점광원의 기준빔을 이용해서 그림 1(a)와 같이 기록하고, 점광원의 재생빔으로 그림 1(b)와 같이 실상을 재생하는 것이 보통 많이 사용되는 재생 구성이다. 그러나 이렇게 재생된 상은 위치 및 크기의 변화와 상의 왜곡 등, 기록시의 물체와 다른 여러 상특성을 보인다.

그림 1과 같은 실상 재생 구조에 대한 Champagne의 nonparaxial 수차 이론에 의하면,<sup>[14]</sup> 그림 2와 같은 홀로그래프 제작 및 재생 구조에서, 홀로그래프 중심 O와의 거리를  $r$ 이라 할 때 Gaussian상의 위치는 기록 물질의 구조 변화가 없고, 재생빔의 파장이 제작시의 파장과 같을 때

$$\frac{1}{r_l} = \frac{1}{r_c} \left( \frac{1}{r_o} - \frac{1}{r_r} \right) \quad (1)$$

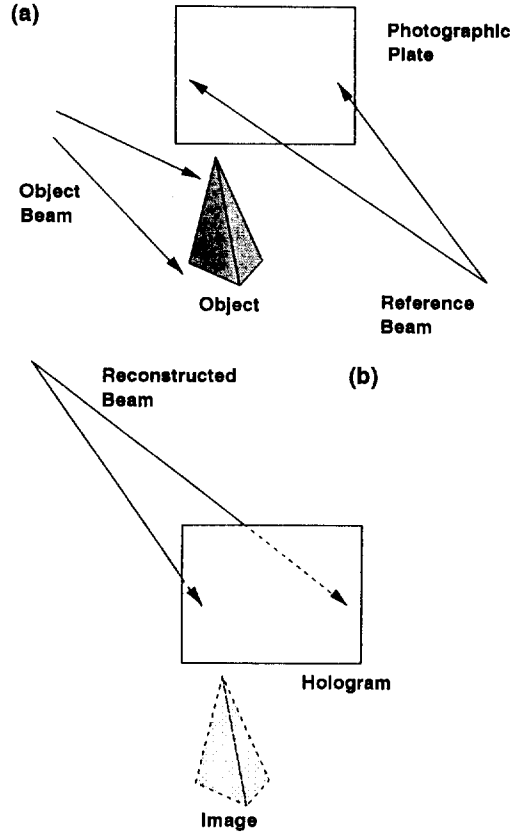


그림 1. 홀로그래프 기록시의 기준 및 재생.

(a) 점광원 기준빔, (b) 점광원 재생빔

의 관계식이 성립된다. 여기에서 첨자  $l, c, o, r$ 은 각각 재생된 상(image), 재생빔(reconstruction beam), 물체(object), 기준빔(reference beam)을 나타내며,  $r_l$ 가 양이면 허상(virtual image)이고 음이면 실상(real image)을 의미한다. 그리고 배율은 실제의 물체와 재생상과의 크기비로 각에 대한 각배율(angular magnification), 횡성분에 대한 횡배율(lateral magnification), 종성분에 대한 종배율(longitudinal magnification)로 나뉜다. 그런데 그림 1과 같은 구조에서 각배율은 1이며, 횡배율  $M_l$ 과 종배율  $M_r$ 은 각각,

$$M_l = \frac{1}{(1 \pm r_o/r_c - r_o/r_r)^2} \quad (2)$$

$$M_r = -M_l^2$$

이다. 그런데 Champagne에 의한 상 위치 및 배율은 수차의 영향이 없는 Gaussian상에 대한 것이며, 실제로는 수차와 그에 의한 상의 왜곡이 있으므로 수차에

의한 상의 왜곡을 고려해야 한다. 그러나 홀로그래피의 수차 이론에 의하면, 3차의 Seidel 수차에서 비점수차를 제외한 기타의 수차 효과는 극히 작아서 홀로그램의 상 왜곡에 별 영향을 미치지 않지만, 비점수차의 효과는 커서 초점의 불일치(focus shift)에 크게 기여하는 것으로 알려져 있다.<sup>[14,15]</sup> 일반적으로 구면 렌즈의 결상에서 비점수차는 Gaussian상의 위치에 동경방향(radial) 성분의 물체상을 맺고 이와 다른 면에, Gaussian 위치에 맺은 성분과 접선(tangential) 관계를 갖는 성분의 상을 맺게 한다. 그러나 홀로그램에서 비점수차에 의한 초점 불일치 효과는, 홀로그램의 중심과 물체면 및 기준면이 이루는, 즉 그림 2에서 O,  $r_o$ ,  $r_i$ 이 이루는 평면과 평행하고, 홀로그램 평면에도 평행한 축 성분의 물체상(이하 x 성분)을 Gaussian 초점면에 맺고 그에 수직하고 홀로그램면에 평행한 축 성분의 물체상(이하 y 성분)을 이와 다른 면에 맺는다.<sup>[15]</sup> 한편 Champagne의 nonparaxial 수차 이론은 Gaussian 상에 대해서는 잘 맞지만, 비점수차에 의한 상에는 잘 맞지 않았다.<sup>[15]</sup> 그래서 Goto 등의 nonparaxial 수차이론을<sup>[16]</sup> 이용하여, 그들의 결과식들로부터 y 성분의 위치  $r_A$ 를

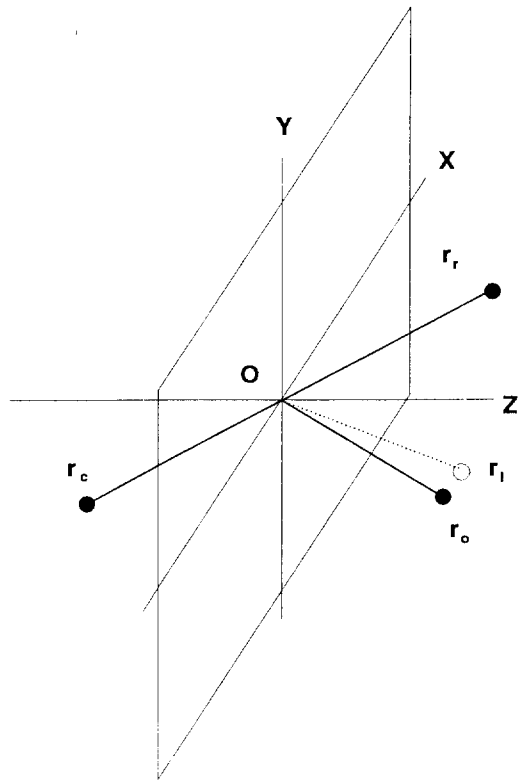


그림 2. 홀로그램의 기록 및 재생 좌표계.

$$\frac{1}{r_A} = \frac{1}{r_i} - \left( \left[ \frac{x^2}{r} \right] - \frac{1}{r_i} \left[ \frac{1}{r} \right]^2 \right)$$

$$\left[ \frac{x^2}{r} \right] = \frac{x_c^2}{r_c} + \left( \frac{x_o^2}{r_o} - \frac{x_r^2}{r_r} \right)$$

$$\left[ \frac{x}{r} \right] = \frac{x_c}{r_c} \pm \left( \frac{x_o}{r_o} - \frac{x_r}{r_r} \right) \quad (3)$$

와 같이 얻을 수 있었다. 여기에서 A는 비점수차를 의미한다.

또한 재생된 상은 분리되어 Gaussian 상위치에는 x 성분의 상이 맺히고, x 성분의 상보다 홀로그램에 가까이 비점수차에 의한 y 성분 상이 맺힌다.<sup>[5,15]</sup> 기준면 및 재생면의 거리에 대한 재생상의 변화는 상의 위치와 비점수차에 의한 focus shift의 변화를 가져 온다. 즉 기준면 및 재생면의 거리 변화에 의한 구면차이를 심화시켜 상의 위치를 변화시키는 것이다. 이때 Gaussian 상위치 보다는 비점수차에 의한 상위치 변화가 상대적으로 적어서, 홀로그램에서의 비점수차 효과는 한쪽 방향의 power가 있는 원주형 렌즈에 의해 보정이나 심화가 가능하다.

**2. 제안된 무지개 홀로그램**

본 논문에서 제안하고자 하는 방법은, 홀로그램에서의 비점수차 특성을 고려하여 물체상을 둘로 분리하고, 이

들이 고안한 비점수차 방법에서는 조절이 곤란한 분리의 정도를 분리된 두상의 관계를 용이하게 조절함으로써 단점을 보완한 것이다.

원홀로그램을 제작하기 위해 그림 3(a)와 같이 기록하고, 재생할 때에는 재생면에 그림 3(b)와 같이 원주형렌즈를 놓을 수 있다. 그러면 x 성분은 렌즈의 유무에 무관하지만, y 성분은 점광원으로부터 원주형렌즈까지의 거리 a, 원주형렌즈의 초점거리 f에 대해  $1/f = 1/a + 1/b$ 인 관계식으로부터, 결과적으로 원래 점광원 위치  $r_c$ 에서  $a+b$  만큼 기록 건판에 더 가까운 곳

$$r_{(eff)} = r_c - \left( a + \frac{fa}{a-f} \right) \quad (4)$$

에서 시작되는 점광원이 된다. 그래서 y 성분의 물체상은

$$r_i' = r_{(eff)} \frac{r_o f_r}{r_r - r_o} \quad (5)$$

와 같이 렌즈가 없을 때에 비해 홀로그램으로부터 더

멀리 맺어 지는데 x성분의 물체상은 그대로이다. 그래서 원주형렌즈를 이용해서 x 성분 물체상보다 y 성분 물체상을 더 멀리에 재생시킬 수 있다. 비점수차 무지개 홀로그램을 제작할 때에는 y 성분 상  $r_H (=r_A' - r_I)$ 은 무지개 홀로그램의 기록면이 되고, x 성분 상위치가 무지개 홀로그램의 물체위치  $r_I$ 가 된다.  $r_H$ 는 식 (3)과 식 (5)로부터 아래와 같이 얻어지며,

$$r_A' = \left[ \frac{1}{r_I'} - \left( \left[ \frac{x^2}{r'} \right] - \frac{1}{r_I' \left[ r' \right]^2} \right) \right]^{-1} \quad (6)$$

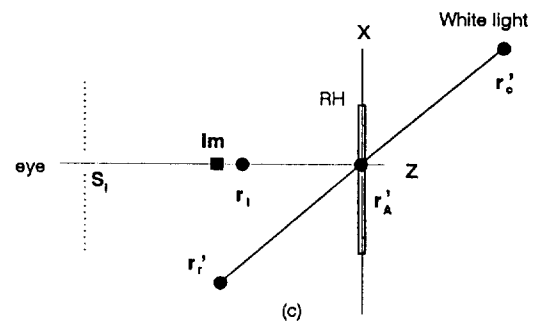
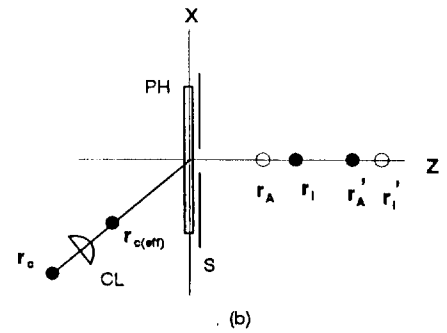
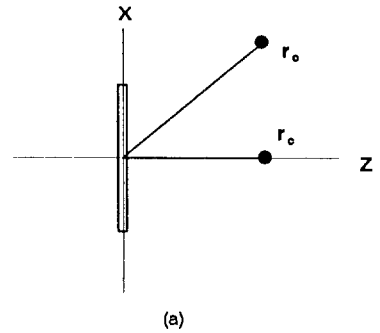
여기에서  $r'$ 는 식 (3)에서  $r_c$  및  $x_c$  대신  $r_{c(eff)}$ ,  $x_{c(eff)}$ 에 의한 것을 의미한다. 따라서 우리가 얻고자하는 무지개 홀로그램의 상위치는 그림 3(c)에서 재생하는 백색광의 위치  $r_c'$ 에 따라

$$r_{im} = r_c' = \frac{r_H r_I'}{r_I' - r_H} \quad (7)$$

와 같이 얻을 수 있고, 슬릿상의 위치는 식 (7)에서  $r_H$  대신 슬릿에서  $r_A'$ 까지의 거리를 넣어서 얻어진다.

그림 1과 같이 점광원으로 제작하고, 점광원으로 실상을 재생하는 구성에서는 x 성분의 물체상은 언제나 y 성분의 물체상보다 홀로그램으로부터 더 멀리에 놓이게 되는데, 그림 3과 같이 원주형 렌즈를 사용하여 그 위치 및 초점거리를 변화시킴으로써, y 성분의 물체상이 x 성분의 물체상보다 홀로그램에 더 가까이 또는 더 멀리있게 할 수 있다. 이와 같이 렌즈의 길이 방향을 x 축으로 놓으면 무지개 홀로그램을 제작할 때에, 선명도를 결정하는 y 성분 물체상을 홀로그램 기록 건판에 맺고, 관찰시에 위치를 느끼는 x 성분 물체상은 원주형렌즈를 이용하여 무지개 홀로그램의 재생빔 반대편 방향에 맺게 해서 관찰할 때 무지개 홀로그램의 앞에 물체상이 재생되도록 해서 물체가 홀로그램면으로부터 튀어나오는 효과를 얻을 수 있다. 그러나 렌즈의 길이 방향을 y 축 방향으로 놓으면, 언제나 x 성분의 물체상이 y 성분의 물체상보다 홀로그램에서 더 멀리 맺어지게 되어서, 관찰할 때 홀로그램면 뒤에 깊이 들어간 물체상의 무지개 홀로그램을 얻을 수 있다.

무지개 홀로그램의 제작 구성에서 최적 관찰위치를 결정하는 슬릿상의 위치는 홀로그램을 제작할 때 기록 건판과 슬릿 사이의 거리에 의해 결정 된다. 무지개 홀로그램 제작시의 기준비에 원주형렌즈를 놓으면, y 성분의 물체상은 홀로그램면 근처에 있을 뿐만 아니라 비점수차에 의한 상이므로 재생시 상의 위치 변화가 거의 없고(식 (1)에서  $r_{\pm 0}$ 이므로  $r_I \pm 0$ ), x 성분의 상위치는



PH: Primary Hologram  
CL: Cylindrical Lens  
S: Slit  
RH: Rainbow Hologram  
Im: Observed Image  
SI: Slit Image

그림 3. 원주형렌즈를 이용한 점광원 기준법. (a) 기록, (b) y 성분, (c) x 성분

약간 변하게 된다. 그래서 관찰시에 홀로그램 앞으로 형성된 상은 더 나오게 되고 뒤에 형성된 상은 조금 더 들어가게 된다. 그러나 그러한 효과는 상대적으로 작고 그림 3에서 처럼 슬릿도 물체의 역할을 해서 슬릿의 x 성분 실상은 점광원의 백색광 재생시 제작 때보다 홀로그램으로부터 멀리 떨어지게 되는데 이 효과가 크게 나타나서 이러한 구성에서는 슬릿상의 위치를 조절하는 것이 가능하다. 그래서 1 m 거리의 기준법으로 무지개

홀로그래프를 기록할 때, 기록시에 홀로그래프로부터 거리가 30 cm 떨어진 슬릿은 1 m 거리에 있는 점광원의 백열등으로 재생하면 홀로그래프로부터 75 cm의 거리 (최적 관찰 위치)에서 관찰할 수 있다. 특히 홀로그래프면 앞으로 튀어나온 상의 관찰에서는 최적 관찰 위치를 홀로그래프로부터 멀리하는 것이 더욱 중요하다. 이때 슬릿의 폭을 나타내는 x 성분은 배율이 증가해서, 재생시 폭이 넓어진다는 점을 고려해야 한다.

이와 같이, 원홀로그래프를 제작할 때의 점광원 기준빔 및 무지개 홀로그래프를 기록할 때 원홀로그래프의 재생빔에 원주형렌즈를 놓아, 관찰되는 상의 위치를 조절할 수 있고, 무지개 홀로그래프를 기록할 때의 기준빔에 원주형 렌즈를 사용하여 슬릿의 상위치를 조절할 수 있다. 이때 재생된 물체상의 크기는 원래의 물체보다 항상 커진다.

### III. 실험 및 논의

홀로그래피 결상 및 수차 이론과 무지개 홀로그래프의 구성 원리로부터, 제작 및 재생 구조에 따른 상의 위치 및 배율을 예측하여 제작하고자 하는 홀로그래프의 설정이 가능하다. 여기에서는 4"×5" 크기의 Agfa 10E75 HD 기록 건판을 이용하여 제안된 구성의 무지개 홀로그래프를 제작하고자 하였다. 4"×5" 크기의 홀로그래프 기록 건판에, 물체의 상을 관찰자와 홀로그래프 사이의 공간에 재생하여 홀로그래프의 앞에 튀어나와 허공에 떠있는 물체상을 볼 수 있는 무지개 홀로그래프를 얻고 싶을 때, 물체의 크기는 홀로그래프보다 작고 튀어나온 정도는 10 cm 이내이며 관찰거리는 50~100 cm가 적당할 것으로 생각된다. 실험에 사용된 물체의 크기는 4×5×5(가로×세로×깊이) cm이며, 관찰시의 물체상은 홀로그래프면에서 관찰자를 향해 7 cm 정도 튀어나오고 관찰거리는 60 cm 정도인 홀로그래프를 제작하고자 하였다. 재생상의 배율이 2.4배가 넘으면 홀로그래프 크기보다 커지므로, 실험에서는 배율을 1.5배 정도가 되도록 하였다.

그림 2의 좌표를 기준으로 해서, 각도  $\theta$ 이 50°이고 거리  $r_1$ 이 180 cm인 기준빔으로, 각도  $\theta_0$ 가 0°이고 거리  $r_0$ 가 30 cm인 곳에 위치한 물체의 원홀로그래프를 만들었다. 광원은 파장이 632.8 nm이고 10 mW 출력의 He-Ne 레이저를 사용하였으며 원주형렌즈는 가로, 세로가 3×13 cm 크기 이고 초점거리 +8 cm인 Melles Griot사의 렌즈를 사용하였다. 노출된 Agfa 10E75 HD는 Ilford SP 678C 현상액(30°C)에서 2분간 현상되어 30초 동안 수세 후 Ilford SP679C 표백액에서 2분간 표백되었다. 표백된 건판은 3분 정도 수세를 거쳐 Kodak Photo-Flo에서 30초

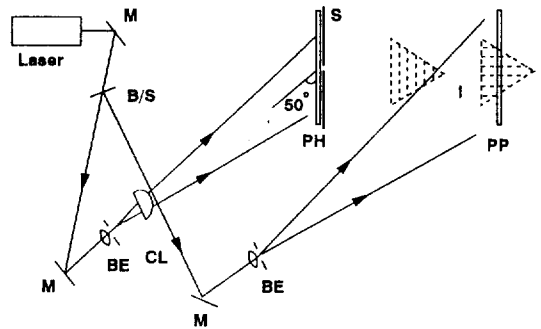


그림 4. 무지개 홀로그래프의 제작 구성

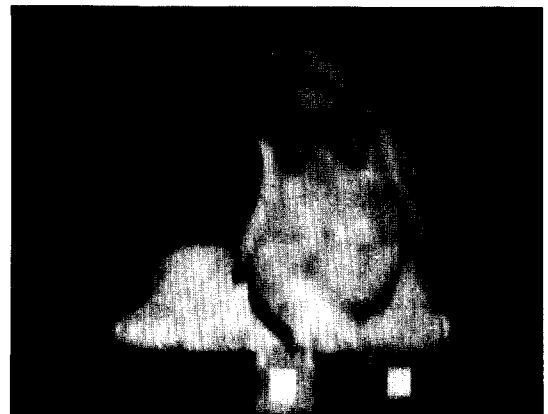
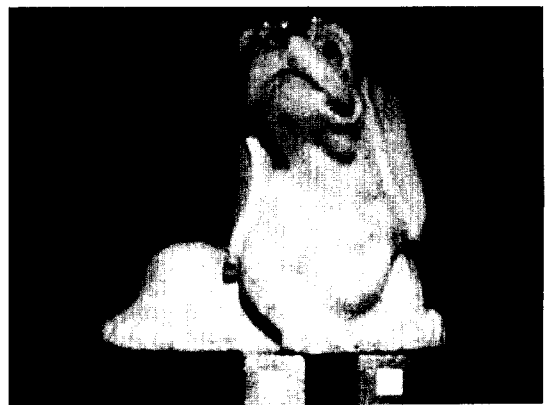


그림 5. 제작된 무지개 홀로그래프의 재생 사진.

- (a) x 성분을 홀로그래프면에 focus 맺게 함, (b) x 성분을 홀로그래프면에 focus 맺게 하지 않음

동안 담근 후 자연 건조되었다. 제작된 원홀로그래프의 실상을 그림 4와 같이 제작시 기준빔의 홀로그래프 반대편 선상에서 홀로그래프까지의 거리  $r_1$ 가 180 cm인 곳에서 점광원으로 재생하면 x 및 y 성분의 물체상은 홀로그

램으로부터 각각 46, 35 cm (계산치는 각각 45, 37.3 cm)에 형성된다. 이 홀로그래ム에 초점거리가 +8 cm인 원주형 렌즈를 이용하여 그림 6과 같이 재생하면 y 성분의 물체상이 46 cm에서 52 cm로 밀려서 x 성분의 물체상을 건판에 맺게하면 y 성분의 물체상은 홀로그래ム으로부터 6 cm 정도 튀어나온다.

무지개 홀로그래ムの 제작에 사용된 슬릿의 폭은 11 mm인데 홀로그래ム으로부터의 거리가 1 m 정도의 재생광으로 재생하면 이 슬릿에 대한 배율은 1.1이어서 상의 결과적인 배율은 1.65배가 된다. 그래서 이와 같이 제작된 무지개 홀로그래ムの 관찰자는 홀로그래ム으로부터 99 cm 떨어진 곳에서 폭이 21 mm인 슬릿을 통해 홀로그래ム앞으로 실제 물체의 1.65배인 물체상이 6.6 cm 만큼 튀어나온 것을 보게 된다. 그림 5(a)가 본 연구에서 제안된 방법으로 제작한 홀로그래ムの 재생상 사진이다. 그림 5(b)는 (a)와 x 성분 상의 위치는 같으나, 원주형 렌즈를 사용하지 않아서 선명도를 결정하는 y 성분 물체상을 홀로그래ム 기록건판 면에 맺지 못하고 제작한 홀로그래ムの 재생상 모습이다.

Leith와 Chen에 의해 고안된 비점수차 무지개 홀로그래ム 제작 방법은 원주형렌즈를 슬릿과 홀로그래ム 기록건판 사이에 놓아서 상의 위치를 조절하기 때문에 관찰되는 상의 위치를 언제나 홀로그래ム 뒤쪽에 맺게 할 수 밖에 없다. 그리고 Jiang 등에 의해 고안된 방법에서는 비록 홀로그래ム면 앞으로 상의 재생이 가능하지만 원홀로그래ムの 재생시에 원홀로그래ムの 기준빔과 공액인 빔을 사용하기 때문에 홀로그래ム보다 큰 광학요소를 필요로하므로 대형의 홀로그래ム 제작에는 적합하지 않다. 또한 제안된 두 방법 공히 슬릿과 기록 건판 사이에 놓이게 되는 원주형렌즈는, 시야를 줄이기 않도록 슬릿 길이 방향에 대해서는 홀로그래ムの 길이보다 짧지 않아야 한다.

그러나 제안된 구성에서는 관찰되는 상의 위치를 홀로그래ムの 앞 뒤 어디에나 위치시키는 것이 가능하고, 그림 4에서와 같이 원주형 렌즈를 beam expander의 앞부분에 놓기 때문에 작은 원주형렌즈의 사용으로도 충분하다. Leith와 Chen 및 Jiang 등의 방법으로 가로 세로가 30×40 cm 크기의 홀로그래ム을 만들려면 30 cm 정도 길이의 원주형 렌즈가 필요하지만 제안된 방법으로는 3 cm 정도 길이의 렌즈로 충분하다. 그리고 빔이 넓게 퍼지기 전에 빔의 전체면을 덮을 수 있도록 하고 초점이 긴 렌즈를 사용해서 폭이 좁은 슬릿형 빔을 만들면, 빛을 효율적으로 사용해서 똑같은 출력으로도 더 큰 홀로그래ムの 제작을 가능하게 한다. 또한 이렇게 초점거리가 긴 렌즈를 사용하면 렌즈에 의한 수차가 작다는

장점도 있다. 그러나 제안된 구성에서는 상의 크기가 언제나 커지므로 배율 변화에 따른 홀로그래ムの 크기도 고려해야 한다는 점이 하나의 제약이 된다.

#### IV. 결 론

무지개 홀로그래ム은 밝고 선명한 상을 얻을 수 있고 제작이 용이할 뿐만 아니라 백색광으로 재생이 가능하다는 장점을 가지고 있어서 실제로 전시에 가장 많이 사용되는 홀로그래ムの 하나이다. 그러나 기존의 방법으로 대형 홀로그래ム을 제작하기 위해서는 그에 상응하는 대형 렌즈나 포물경 및 높은 출력의 레이저를 사용해야만 한다. 본 연구에서는 원주형렌즈를 이용하여, 홀로그래ム으로부터 너무 가깝지 않은 충분한 거리의 최적 관찰 위치에서 관찰자를 향해 홀로그래ム면 앞으로 튀어나오거나 홀로그래ム면 뒤로 깊게 들어가 있는 재생상을 볼 수 있는 무지개 홀로그래ム 제작 광학계의 구성을 제안하였다.

제안된 구성은 홀로그래ム을 제작할 때의 기준빔과 재생할 때의 재생빔을 점광원으로 사용하여 실상 재생시에 발생된 비점수차 효과에 의한 상분리 특성 및, 원주형 렌즈에 의한 비점수차의 증감 효과를 조합하여 상의 분리를 조절할 수 있는 특성을 이용하였다.

제안된 방법으로 원홀로그래ムの 재생빔에 원주형렌즈를 넣어 홀로그래ム면 앞에 튀어나오는 물체의 상을 재생하는 무지개 홀로그래ム을 제작하였고, 원주형렌즈의 유무에 따른 상의 선명도를 비교 관찰하였다. 실험 및 논의 결과로부터, 제안된 구성으로 얻어진 홀로그래ムの 재생상이 기록시의 물체상 보다 커지는 제약이 있기는 하지만, 제안된 방법은 큰 광학 소자 및 고출력의 레이저 없이도 무지개 홀로그래ムの 제작이 가능한 실용적인 방법으로, 빛을 효율적으로 이용해 동일한 출력의 레이저로 기존의 방법에 비해 훨씬 더 큰 홀로그래ム을 제작 가능하게 하는 장점이 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] H. J. Caulfield, "Handbook of Optical Holography", Academic Press, (1979).
- [2] Hsuan Chen and F. T. S. Yu, Opt. Lett., **2**, 85 (1978).
- [3] Poohsan N. Tamura, Appl. Opt., **17**, 3343(1978).
- [4] A. D. Galpern, B. K. Rozhkov and V. P. Smaev, Opt. Spectrosc., **63**, 226(1987).
- [5] K. Bazargan and M. R. B. Forshaw, Opt. Commun. **32**, 45(1980).

- [6] Emmett N. Leith and Hsuan Chen, *Opt. Lett.*, **2**, 82(1978).
- [7] Hsuan Chen and Malgorzata Kujawinska, *Opt. Commun.*, **40**, 169(1982).
- [8] Hsuan Chen, *Appl. Opt.*, **18**, 3728(1979).
- [9] Hsuan Chen, Qi-zhe Shan and Ming-yi Chen, *Appl. Opt.*, **20**, 3557(1981).
- [10] Hsuan Chen and Ricardo Pastor, Jr., *Am. J. Phys.*, **55**, 623(1987).
- [11] Emmett N. Leith, Hsuan Chen and James Roth, *Appl. Opt.*, **17**, 3187(1978).
- [12] F. T. S. Yu, Anthony M. Tai and Hsuan Chen, *Opt. Engineer.*, **19**, 666(1980).
- [13] C. Jiang, C. Fan, and L. Guo, *Opt. & Laser Technol.*, **25**, 171(1993).
- [14] Edwin B. Champagne, *J. Opt. Soc. Am.*, **57**, 51 (1967).
- [15] 백성훈, 홍석경, 김철중, *Proc. of 6th Conference on Waves and Lasers*, 156(1991).
- [16] Katsuya Goto and Mikio Kitaoka, *J. Opt. Soc. Am.*, **A5**, 397(1988).

### **Astigmatic Rainbow Hologram Using the Characteristics of Holographic Aberration**

Suc Kyoung Hong, Sung Hoon Baik and Cheol Jung Kim  
*Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-606, Korea*

(Received: May 10, 1994)

A simple 2-step astigmatic rainbow holography method using the characteristics of holographic aberration is proposed. Point sources are used to record and reconstruct primary hologram. When the primary hologram is reconstructed, object image is divided into two components by the holographic astigmatism. This characteristics of holographic astigmatism and cylindrical lens power are used to obtain rainbow hologram of sharp image, no matter how far from the hologram the observed image locates, in front of the hologram. And this hologram has optimum viewing distance long enough.