

Agfa 8E75 HD 필름을 사용한 Dichromated Gelatin 홀로그래픽 광결합기의 특성

정 만 호

청주대학교 광학공학과

(1995년 8월 30일 받음)

필름형 DCG(Dichromated Gelatin) 홀로그래픽 광결합기의 제작을 위하여 Agfa 8E75 HD 필름을 사용하였다. 이때 홀로그래프의 굴절을 변조의 크기를 높이기 위하여 전처리 과정에서 젤라틴의 부풀림 정도를 조절하였으며, 또한 재생파장과 각도대역폭의 특성을 Kodak 649F 사진건판을 사용하여 얻은 경우와 비교하여 제시하였다.

I. 서 론

최근에 자동차의 개념이 보다 안락하고 안전한 인간 중심으로 바뀌어 가면서, 주행중에 디스플레이에 나타나는 자동차의 속도, 연료 상태, 주행경로 등의 정보를 운전자의 눈앞에 떠올려 운전자가 주행중에 시야에 들어오는 바깥 세상을 보면서 자동차의 정보를 인식할 수 있는 자동차용 Head-Up Display (HUD) 시스템에 대한 관심이 고조되고 있다.

자동차의 경우 지난 80년대 말에 미국의 GM사에서 유리기관에 진공증착으로 다중코팅하여 제작한 재래식 광결합기를 처음으로 사용하여 HUD를 개발하였다. 그러나 이러한 재래식 HUD는 계기판의 파장에 대한 광결합기의 반사율이 낮아 CRT의 밝기를 지나치게 높혀 정보를 식별할 수 있게 하여 CRT의 수명이 짧아지고 외부에서 들어오는 빛의 휘도가 높은 경우 콘트라스트가 낮아지는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 홀로그래픽 HUD를 자동차에 응용하려는 연구가 진행되고 있다.^[1-3] 홀로그래픽 HUD는 앞서 기술한 재래식 HUD의 문제점을 해소할 수 있을 뿐 아니라 가벼우며 또한 소요되는 광학소자의 수를 줄일 수 있어 좁은 공간에 HUD를 장착할 수 있다는 장점이 있다.

HUD용 광결합기는 자동차의 경우 이중으로된 방풍유리창(windshield)의 유리 사이에 삽입하여 장착하게 되므로 홀로그래픽 광결합기의 재질은 필름형태로 사용

이 된다. 따라서 이러한 요구사항을 만족하기 위해서는 필름형 DCG(Dichromated Gelatin) 감광재료를 사용하여야 한다. 홀로그래픽 광학소자 (HOE)의 제작에 필요한 감광재료에는 여러가지가 있으나, 제작하려고 하는 HOE의 종류 및 형태, 그리고 HOE가 사용되어질 파장 영역에 따라서 감광재료를 잘 선정하여 사용하여야 한다. 특히 노출정도가 적당하고, 높은 회절효율을 얻을 수 있으며, 또한 환경적인 안정성이 우수한 감광재료의 선택은 무엇 보다 중요하다. DCG는 이러한 요구 사항을 잘 만족하고 있으며 특히 반사형 체적 홀로그래프의 제작에는 성능이 우수하다. 최근에 필름형 photopolymer 감광재료를 사용한 HOE의 제작에 대한 연구도 있으나 아직은 DCG가 유용되고 있다.^[4,5]

반사형 체적 홀로그래프를 HOE로 사용할 때에는 각도 및 파장대역폭, 중심파장, 그리고 회절효율 등을 고려해야 하며 이들 파라미터들은 젤라틴의 두께, 노출량, 그리고 젤라틴의 경화 정도에 따라 달라진다. 원하는 대역폭은 젤라틴의 두께를 조절하면 얻을 수 있다. 그러나 중심파장은 젤라틴의 경화정도, 노출량, ammonium dichromate 용액의 농도, 그리고 처리과정에서의 온도에 따라 달라지므로 이들을 고려하여야 원하는 값을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 홀로그래픽 광결합기를 제작하기 위한 필름형 DCG 감광재료를 만들기 위하여 디스플레이 홀로그래프를 제작하는데 많이 쓰이는 Agfa 8E75 HD 필름을 사용하였다. 그동안 상용되는 Kodak 649F 건판을 사용하여 DCG 감광재료를 얻는 방법과 Rousselot 등의 젤

*본 연구는 과기처의 특정연구비로 수행되었음.

라틴을 유리판에 코팅하여 DCG 감광재료를 얻는 방법에 관하여는 소개한 바가 있으나^[6] 자동차용 광결합기에 사용할 수 있는 필름형 DCG 홀로그래픽 필터를 제작한 논문, 특히 Agfa 8E75 HD 필름을 사용한 반사형 HOE의 제작에 관한 논문이 전무하다. 따라서 본 논문에서는 상용되는 필름형 Agfa 8E75 HD 은염 감광재료를 사용하여 DCG 홀로그래픽 필터를 제작하였으며, 이미 발표한 논문내용을^[6] 보완하고 처리과정에서의 부풀림 정도 및 감광제의 농도, 그리고 온도에 따른 홀로그래프의 분광특성을 제시하여 자동차용 광결합기로 사용할 수 있음을 보였다.

II. 실 험

홀로그래픽 광결합기의 제작에 사용될 Agfa 8E75 HD 필름의 젤라틴 두께는 6 μm 이다. Kodak 649F의 젤라틴 두께가 15 μm인 것에 비하면 Agfa 8E75 HD 필름의 젤라틴 두께는 상대적으로 작다. Kogelnik의 coupled-wave 이론에 의하면 감광재료의 두께가 작을수록 각도 대역폭은 커진다. 그런데 자동차용 광결합기의 각도대역폭은 운전자의 시야(field of view)를 나타내므로 젤라틴의 두께가 6 μm인 Agfa 필름을 사용하는 것은 타당한 선택인 것으로 판단된다. 그러나 실제로 젤라틴의 두께가 비교적 작은 Agfa 필름을 사용할 경우 회절효율이 낮아지므로 이것을 보상하기 위해서는 홀로그래프의 굴절률 변조율의 크기를 높여 주어야 한다.

본 실험에서는 굴절률 변조율의 크기를 증가시켜 주기 위하여 젤라틴의 부풀림 정도를 조절하였으며 결과적으로 이는 젤라틴의 경화정도를 변화시켜 회절효율에 영향을 미치게 된다. 젤라틴의 부풀림 정도 k 는 식 (1)과 같이 표시할 수 있다.^[7]

$$k = (W - W_0) / W_0 (\%) \quad (1)$$

이때 W_0 는 건조상태의 젤라틴 필름의 무게이며, W 는 부풀어 오른 젤라틴 필름의 무게이다.

DCG 필름을 얻기 위한 전처리 과정으로 먼저 Agfa 8E75 HD 필름을 정착액 속에 담가 은염을 제거해야 하는데 보통 사용하는 Kodak rapid fixer를 사용할 경우 Kodak 649F 건판은 부풀림 정도를 200 정도 얻을 수 있는데 반하여 Agfa 8E75 HD 필름의 경우 25 밖에 되지 않는다. 이것은 아그파 필름의 초기 젤라틴 경화 정도가 상당히 크기 때문이다. 따라서 본 실험에서는 비경화 정착액인 10%의 sodium thiosulfate 용액에 담가 아그파 필름의 부풀림 정도를 140으로 향상시켰다. 그런데 젤

표 1. Preparation of DCG film derived from Agfa 8E75 HD film.

Pre-processing steps

1. Fix in 10% sodium thiosulfate solution for 10 min.
2. Soak in distilled water at 20°C for 10 min.
3. Soak in hot water at 70°C for 10 min.

Sensitization

4. Soak in ammonium dichromate solution(with 1% of Kodak Photo-Flo 200) for 5 min.
5. Bake at 70°C for 10 min.

라틴의 부풀림 정도를 200 이상으로 높히려면 또 다른 처리 과정이 필요한데 본 실험에서는 건조과정 전에 젤라틴 필름을 뜨거운 물속에 담가 부풀림 정도를 증가시켰다. 전처리 과정에서 형성된 젤라틴 필름은 $(NH_4)_2Cr_2O_7$ 용액속에 담가 감광제를 첨가한다. 젤라틴 필름은 습도에 의한 영향이 매우 크기 때문에 DCG 필름을 제작하는 모든 과정에서의 실험실의 습도를 낮추어야 한다. 본 연구에서는 제습기를 사용하여 실내의 습도를 $35 \pm 2\%$ RH 로 유지하였다. 실제로 실험결과 습도가 높은 경우 제작된 젤라틴이 공기중의 수분을 흡수하여 시간이 흐를수록 회절효율이 저하되고 재생과정이 이동하는 결과를 초래하였다. 본 실험결과 습도를 $35 \pm 2\%$ 로 유지하였을 경우 습도에 의한 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 전처리 과정에서 젤라틴의 부풀림 정도를 측정하기 위하여 정밀도가 10^{-4} 인 저울로 건조상태의 젤라틴의 초기 무게와 부풀어 오른 젤라틴의 무게를 구하였다. 이때 물속에서 부풀어 오른 젤라틴을 꺼내 보면 젤라틴의 기판이 아세테이트 필름이기 때문에 물이 부착되지 않으며 젤라틴 표면에도 물이 부착되지 않고 필름의 아래면으로 흘러내리므로 아래로 모인 소량의 수분을 닦아내어 곧바로 무게를 측정하였다. 표 1에 Agfa 8E75 HD 필름을 사용하여 DCG 필름을 만드는 과정을 나타내었다.

이제 DCG 필름을 노출시킴으로써 HOE를 제작하게 되는데, 본 실험에서는 아르곤 레이저($\lambda = 488 \text{ nm}$)를 입사시켜서 반사형 광결합기로 사용될 반사형 간섭필터를 형성하였다. 본 실험에서는 효과적인 반사형 필터의 기록을 위하여 공기층 반사 기록 방법을 사용하였다. 이 방법은 젤라틴면을 통과한 레이저 빛이 젤라틴면과 인접한 공기층과 반사하여 되돌아 오는 빛과 만나 간섭을 일으키는 방법으로 일반적으로 사용되는 서로 반대 방향에서 입사되는 두개의 빔을 기록재료상에서 간섭시키는 방법, 혹은 한개의 빔을 사용하되 젤라틴 뒷면에 굴

표 2. Procedures of development of DCG film.

1. Soak in 0.5% ammonium dichromate solution for 5 min.
2. Soak in hardening fixer for 5 min.
3. Wash in running water for 10 min.
4. Dehydrate in 50% isopropyl alcohol for 5 min.
5. Dehydrate in 100% isopropyl alcohol for 5 min.
6. Bake at 100°C for 10 min.

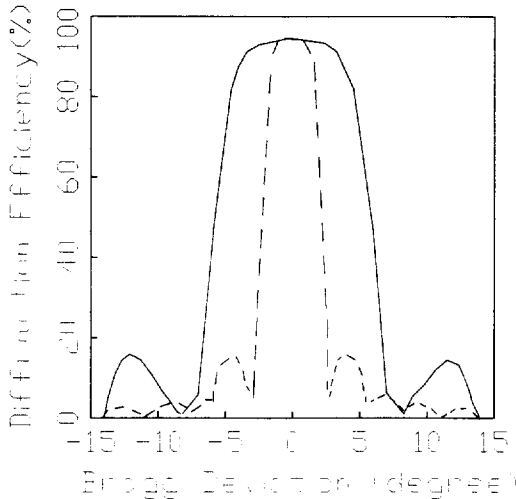


그림 1. 젤라틴의 두께가 각각 15 μm, 6 μm일 때 굴절율 변조율의 크기가 0.021과 0.0525인 홀로그램의 각도변화에 따른 회절효율 특성. (점선은 두께 15 μm, 변조율 0.021일 때, 실선은 두께 6 μm, 변조율 0.0525의 경우임)

질을 정함오일을 바른 거울을 부착하여 젤라틴을 통과한 빛이 거울면에서 반사되어 나온 빛과 만나 간섭무늬를 형성하는 방법 보다 간편하면서도 필요 없는 간섭무늬가 제거된 깨끗한 홀로그램을 얻을 수 있는 장점이 있다. 노출이 끝난 후에 DCG 필름을 현상하여야 하는데 표 2에 그 과정을 나타내었다.

III. 결과 및 논의

Kogelnik의 coupled-wave 이론에 의하면 Bragg 각도에서 반사형 체적 홀로그램의 회절효율은 식 (2)와 같이 주어진다.^[8]

$$\eta = \tan^2(\pi \Delta n T / \lambda \cos \theta) \quad (2)$$

여기서, Δn 은 굴절율 변조율의 크기, T 는 젤라틴의

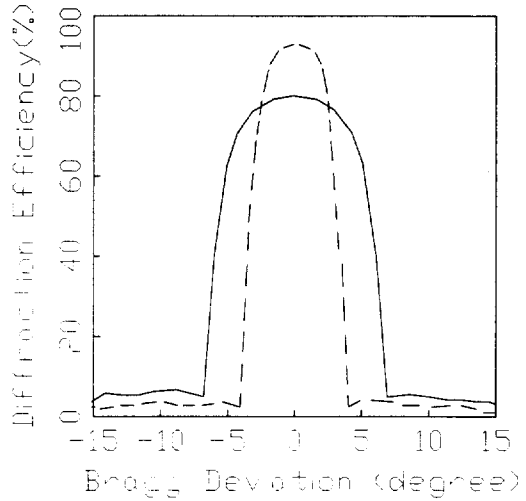


그림 2. Agfa 8E75 HD 필름을 사용하여 제작된 DCG 반사형 필터의 각도대역폭(점선은 Kodak 649F를 사용하여 얻은 결과).

두께, λ 는 재생파장, 그리고 θ 는 재생빔이 홀로그램 격자면의 수직선과 이루는 각도이다.

그림 1은 젤라틴의 두께가 각각 15 μm, 6 μm일 때 95%의 회절효율을 얻기 위한 굴절율 변조율의 크기가 0.021과 0.0525인 홀로그램의 각도변화에 따른 회절효율 특성을 식 (2)를 사용하여 계산한 결과를 나타내고 있다. 실선은 젤라틴의 두께와 굴절율 변조율의 크기가 각각 6 μm, 0.0525인 경우이고 점선은 각각 15 μm, 0.021인 경우이다. 그림 1을 살펴보면 젤라틴의 두께가 6 μm인 홀로그램의 경우 두께가 15 μm인 홀로그램과 비교해 같은 회절효율을 갖는 홀로그램을 얻기 위하여 굴절율 변조율의 크기를 높여야 하는 문제가 있으나 각도 대역폭이 5°에서 12°로 증가하는 것을 알 수 있다. 이때 각도대역폭은 최대 회절효율의 50% 되는 지점에서의 값을 나타낸다. 그림 2는 실제로 Agfa 8E75 HD 필름과 Kodak 649F 사진건판을 사용하여 제작된 DCG 반사형 필터의 각도대역폭을 측정된 값을 나타내고 있다. 점선으로 된 곡선은 젤라틴의 두께가 15 μm인 DCG 홀로그램으로 Kodak 649F 사용하여 얻은 결과를 나타내며 각도대역폭은 7° 정도임을 알 수 있다. Agfa 8E75 HD 필름을 사용한 경우 각도대역폭은 계산 결과와 일치하였으나 회절효율이 80% 이상 향상되지 않았다. 그 이유는 필름기판으로 되어있기 때문에 변형되지 않는 범위 내에서의 처리과정에 한계가 있는 것으로 판단된다.

그림 3은 DCG 필름을 얻기위한 전처리 과정에서 젤라틴의 부풀림 정도를 높이기 위하여 물의 온도를 높

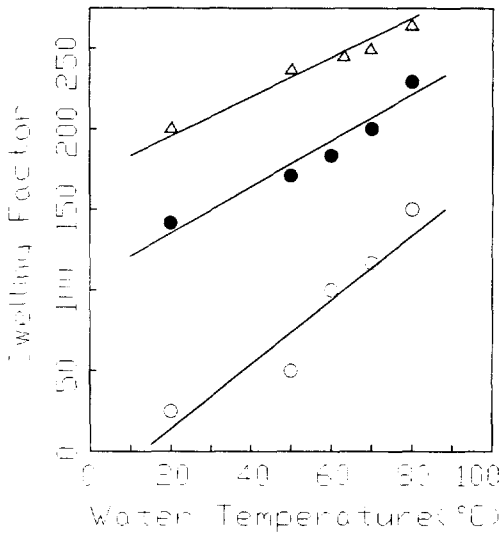


그림 3. DCG 필름을 얻기위한 전처리 과정에서 물의 온도에 따른 젤라틴의 부풀림 정도.
 (△-△: 경화 정착액에서 전처리된 Kodak 649F, ●-●: 비경화 정착액에서 전처리된 Agfa 8E75 HD 필름, ○-○: 경화 정착액에서 전처리된 Agfa 8E75 HD 필름).

히면서 물의 온도에 따른 젤라틴의 부풀림 정도를 측정할 값을 나타내고 있다. 여기서도 Kodak 649F 사진건판을 사용한 경우와 비교하였는데 삼각형으로 표시된 실선 부분이 Kodak 649F 사진건판을 경화제가 포함된 rapid fixer에서 전처리한 경우에 해당한다. 아래 부분의 흰색 원으로 표시된 실선은 Agfa 8E75 HD 필름을 마찬가지로 경화제가 포함된 rapid fixer에서 전처리한 경우에 해당한다. Kodak 제품의 경우 상온에서 젤라틴의 부풀림 정도가 200이고, 물의 온도를 70°C로 올릴 경우 250까지 얻을 수 있는데 반하여 Agfa 제품의 경우 상온에서 25이며 물의 온도를 70°C로 올릴 경우 120으로 전처리 과정에서 물의 온도를 증가시켰음에도 불구하고 Kodak 제품에 비하여 상대적으로 젤라틴 부풀림 정도가 작은 것을 알 수 있다. 그림 3에서 가운데 부분의 검은색 원으로 표시된 실선은 Agfa 8E75 HD 필름의 부풀림 정도를 증가시키기 위하여 전처리 과정시 비경화 정착액인 10%의 sodium thiosulfate 용액에 담가 처리한 경우에 해당한다. 이 경우 상온에서 젤라틴의 부풀림 정도가 140이었으며 물의 온도를 60°C와 70°C로 올릴 경우 각각 180, 200이었다. 그림 3에서 알 수 있듯이 물의 온도가 증가할수록 부풀림 정도가 증가하는 것을 알 수 있으나 Agfa 8E75 HD 필름을 사용한 경우 물의 온도가 80°C 이상일

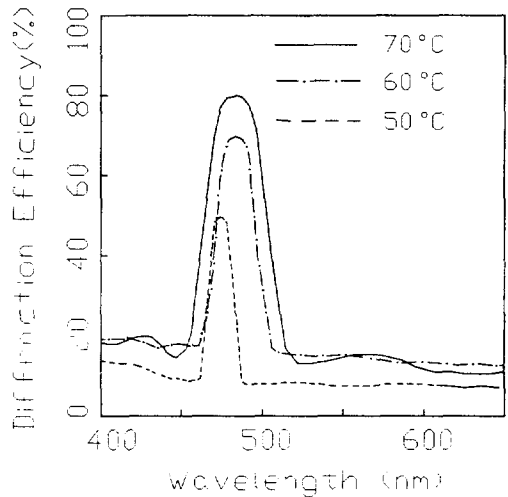


그림 4. 젤라틴의 부풀림 정도를 변화시켜 형성된 DCG 반사형 필터의 분광특성.

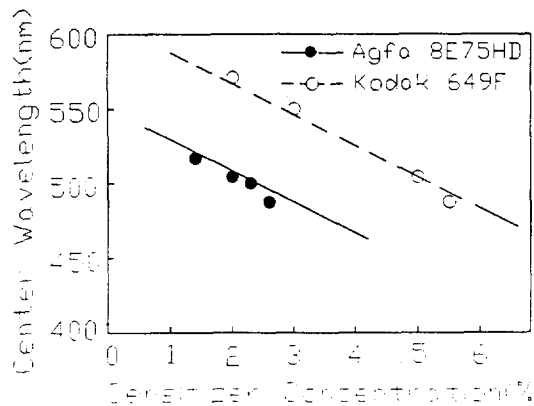


그림 5. DCG 필름에 첨가된 감광제의 농도 변화에 따른 반사형 홀로그래프의 재생파장 특성.

때 젤라틴이 도포된 기판필름이 휘어지거나 변형될 우려가 있으므로 이점을 유의해야 한다.

그림 4는 전처리 과정에서 젤라틴의 부풀림 정도를 변화시켜 형성된 DCG 필름을 사용하여 제작된 반사형 필터의 분광특성을 나타내고 있다. 측정에 사용된 홀로그래프는 모두 감광제의 농도를 2.6% 그리고 노출량을 250 mJ/cm²으로 같게 하였다. 그림 4에서 알 수 있듯이 젤라틴의 부풀림 정도가 클수록 회절효율 값이 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 젤라틴의 부풀림 정도가 증가함에 따라 젤라틴의 경화정도가 증가하게 되고 결과적으로 굴절률 변조율의 크기를 높혀주기 때문이다. 본 연구에서는 전처리 과정에서 물의 온도가 60°C일 때 반

사율이 70%이었으나 70°C인 경우 80%까지 증가하였다.

그림 5는 DCG 필름에 첨가된 감광제의 농도를 변화시키면서 제작된 반사형 홀로그래프의 재생중심파장의 변화를 나타내고 있다. Varian사의 Cary 17D 분광광도계를 사용하여 측정하였으며 측정시 재생각도를 0°로 하였다. 반사형 필터는 홀로그래픽 광결합기로 사용될 경우 CRT 혹은 액정 디스플레이로 된 자동차의 계기판의 광원의 파장을 재생시키는 중심파장이 된다. 따라서 홀로그래프 제작시 원하는 재생파장을 얻도록 해야하는데 감광제의 농도를 변화시켜서 조절이 가능함을 알 수 있다. Agfa 필름으로 형성된 DCG 홀로그래프의 경우 재생중심파장을 500 nm 근처에서 얻으려면 감광제의 농도를 2% 정도로 조절해야 함을 알 수 있다. 이에 반하여 Kodak 649F 사진건판을 이용한 DCG 홀로그래프의 경우 감광제의 농도가 5%로 상대적으로 크게 나타났다. 이러한 값의 차이가 생긴 근본 이유는 분명치 않지만 젤라틴 필름의 초기 경화정도의 차이에 따른 결과로 보인다.

이상의 결과를 종합해 볼때 Agfa 8E75 HD 필름을 사용하여 홀로그래픽 광결합기용 반사형 필터를 제작할 경우에는 먼저 Agfa 8E75 HD 필름의 젤라틴 부풀림 정도를 크게하기 위하여 전처리 과정에서 물의 온도를 높혀야 하며 이때 필름기판이 변형되지 않는 조건하에서 처리하여야 하는데 본 연구 결과 70°C 정도에서 우수한 특성을 얻었다. 특히 재생파장을 500 nm 근처에서 얻기 위한 감광제의 농도가 2%였으며 이 조건에서는 회절효율 역시 우수한 특성을 얻을 수 있기 때문에 적절한 조건을 찾았다고 할 수 있다.

IV. 결 론

자동차의 방풍유리창내에 삽입된 형태의 광결합기용

으로 사용하기 위하여 필름으로된 Agfa 8E75 HD 필름을 사용하여 DCG 필름을 얻었으며, 이때 제작된 반사형 필터의 성능을 고찰해 볼 때 재생중심파장에서 최대 80%를 얻었으며 각도대역폭은 12°로 나타났다. 이러한 점을 고려할 때 본 연구에서 제작된 시제품을 자동차용 HUD로 사용이 가능하나 몇가지 해결해야할 문제점이 아직 남아 있다. 그중에 대표적인 것으로 크기가 15 cm × 15 cm 이상인 홀로그래픽 광결합기를 제작할 경우 필름면에 균일한 홀로그래프의 제작이 어렵다는 것과, 자동차의 방풍유리창내에 고압과 고온하에서 laminating할 경우에 홀로그래프가 변형되지 않도록 하는 점이 그것이다. 이를 해결하기 위해서는 보완 연구가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] B. J. Chang, Technical Report 134800-1-P, Environmental Research Institute of Michigan (1978).
- [2] Juris Upatnieks, SPIE, **883**, 171 (1988).
- [3] R. D. Rallison, SPIE, **883**, 75 (1988).
- [4] B. J. Chang and C. D. Leonard, Appl. Opt., **18**, 2407 (1979).
- [5] T. Kubota, Appl. Opt., **25**, 4141 (1986).
- [6] 정만호, 한영수, 유연석, 한국광학회 논문지, **4**(3), 276 (1993).
- [7] Francis T. S. Yu, *Optical Information Processing*, John Wiley & Sons, New York (1983).
- [8] H. Kogelnik, Bell Syst. Tech. J. **48**, 2909 (1969).

Characteristics of Dichromated Gelatin Holographic Combiner Derived from Agfa 8E75 HD Film

Man Ho Jeong

Department of Optical Engineering, Chongju University, Chongju 360-764, Korea

(Received: August 30, 1995)

Agfa 8E75 HD film is used to fabricate a film-type dichromated gelatin holographic combiner. The swelling factor of gelatin is controlled to increase the refractive-index modulation of hologram during the pre-processing steps. The characteristics of the reconstructed wavelength and the angular bandwidth are compared with those obtained with Kodak 649F plate.