

은염에 형성된 위상형 회절격자의 고효율에 관한 연구

(A Study on High Efficiency of Phase Grating
in Silver Halide)

金 男*, 吉 相 瑾**, 朴 漢 奎**

(Nam Kim, Sang Keun Gil and Han Kyu Park)

要 約

두께가 5 μm 인 Agfa 8E75 HD 필름에 He-Ne 레이저를 사용하여 고효율 회절격자를 형성하였다. 은염에 기록된 격자의 회절효율은 물질자체에 의해 제한되기 보다는 화학적 처리 과정에 많이 좌우된다. 특히 중크롬산 칼륨 표백액과 알코올 건조를 이용하여 노출량 180 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 에서 71% (두 경계면에서의 반사량을 고려하면 81%)의 회절효율을 얻었다. 중크롬산에 의한 연계결합과 급속 건조에 의한 공기 간격이 굴절을 변조도를 증가시켰다. 알코올 건조에 의해 감광유제가 부풀어 올라 기록 각도보다 큰 각에서 Bragg 조건이 일어나고 이를 전자 현미경 사진을 통해 밝혔으며, 결과적으로 두께의 제어가 고효율을 위한 잠재적 원천으로 작용함을 알 수 있었다.

Abstract

Volume phase diffraction grating is formed in 5 μm Agfa 8E75 photographic emulsion film using He-Ne laser. It is dependent on the chemical processing rather than materials themselves that high diffraction efficiency can be obtained in silver halide emulsions. With potassium dichromate bleach and alcohol drying, overall efficiency of 71% (81% after allowing for reflection at the two surfaces) has been achieved at an exposure of 180 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$. Dichromate cross-linkage and air void by rapid dehydration increase refractive index modulation depth. The grating is swollen, which is newly identified by Scanning Electronic Microscope (SEM) photography, and it causes on-Bragg at larger angle than the recording angle. It is pointed out that controlling the emulsion thickness has an important role as a potential source for high diffraction efficiency.

I. 서 론

홀로그래피를 이용하여 제작하는 홀로그래피 광학 소자(holographic optical element : HOE)가 기존의 광학소자를 대체하여 많이 사용되고 있다. HOE는 기존의 광학소자에 비해 소형, 경량이며 접촉복사(contact printing)을 통해 쉽게 복사가 가능해 대량 생산이 용이하며, 낮은 F수와 수차를 갖는다.¹⁾ 또

*正會員, 忠北大學校 情報通信科
(Dept. of Inf. and Telecom. Eng., Chungbuk Nat'l Univ.)

**正會員, 延世大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Yonsei Univ.)
接受日字 : 1988年 3月 31日

한 공간 필터링이나 영상처리 같은 복합적인 함수를 계산기 홀로그램(CGH)을 이용해 하나의 소자로 결합할 수 있는 장점도 있다.¹²⁾ HOE를 이용하는 응용 분야로는 회절격자, 디스플레이 시스템, 레이저 주사, 푸리에 변환, 홀로렌즈, 정합필터, 공간필터등 많은 분야가 있으며,^{13,14)} 특히 두 평면파의 간섭무늬를 홀로그래피 기법으로 기록시켜 제작하는 격자의 회절효율을 높이기 위한 연구가 계속되고 있다.

일반적으로 널리 사용되는 감광물질로는 은염, 중크롬산 젤라틴(DCG), 포토 리지스트, 포토크롬(photochrome), 열감응 플라스틱(thermoplastic)등이 있다.^{15,16)} 이중 은염물질은 다른 감광물질에 대해 고감도이며 다루기가 용이함으로 위상형 홀로그래피 기록물질로 가장 편리하게 사용되고 있다.¹⁷⁾ 현재 상용화되어 있는 감광유제를 이용하여 얻을 수 있는 결과는 DCG에서 얻을 수 있는 결과에는 못미치나 최근에 밝혀진 바에 의하면 회절효율은 물질에 의해 제한되는 것이 아니라, 화학적 처리과정(chemical processing)에 의해 더 많이 좌우된다는 것이 알려지고 있다.¹⁸⁾

이와 같은 이유로 고감도이며 구입이 간편한 Agfa 8E75 HD 은염물질에 담금질(tanning)이 적은 현상액, 경화제(hardening)를 넣지 않은 정착액, 중크롬산 칼륨 표백액을 이용하여 71% 이상의 고회절 효율을 갖는 회절격자를 제작하였다. 또한 건조시 알코올을 이용하면 효율이 증가하는데 이에 대한 정확한 원인이 규명되지 않아 추천되고 있지 않았으나 실험 결과로부터 정성적 분석을 하였다.

II. 홀로그래피 회절격자의 연구배경

홀로그래피 회절격자는 기록되는 간섭무늬의 차원에 의해 평면형과 부피형, 기록방식에 따라 진폭형(밀도 변조)과 위상형(굴절률 변조) 그리고 재생방식에 따라 투과형 및 반사형으로 분류한다. 이러한 격자의 회절현상은 기록물질의 표면양각(surface relief)이나,¹⁹⁾ 기록물질내의 국부적 굴절률(localized refractive index) 변조에 의해 이루어진다.

1960년에 Altman 등은 Kodak 649F에 표면양각을 형성하였으나 젤라틴층의 높은 표면응력(surface stress)에 의해 최대 공간 주파수가 220 lines/mm을 넘지 못하였다. Shankoff는 Ar 레이저를 사용하여 얇은 DCG에 2000lines/mm 이상 높은 주파수를 형성하면서도 80~90%의 높은 효율을 얻을 수 있었다.²⁰⁾ 그런데 이 DCG 건판을 굴절률이 1.54인 용액에 넣었을 때는 회절효율이 1% 이내로 떨어진다는 것을

발견하였다. 그는 이것을 DCG 내에서의 회절구조가 공기-젤라틴층 경계면에서 위상변조에 의해 일어나는 현상이라고 설명하였다. 이러한 관측은 앞서 말한 Altman 등의 표면양각에 의한 위상변조와는 상반되는 것으로서 Shankoff는 공기-젤라틴층 경계면에서의 물리적 틈(crack), 즉 공기간격에 의한 것으로 설명했으며, 또 그는 높은 공간 주파수(2000lines/mm), 얇은 젤라틴층($d < 5 \mu m$) 조건에서 물에 불은(swollen) 젤라틴층의 급속 건조가 물리적인 변형력을 가져와 기록된 격자를 따라 틈을 일으킨다고 가정하였다. 정확한 물리적 설명을 하지는 못했지만 이소프로필 알코올을 이용 급속 건조를 하면 좋은 회절효율을 얻을 수 있다고 제안하였다. 1971년 Pennington 등은 21단계의 복잡한 과정을 통해 은염건판에 550lines/mm에서 50%의 회절효율을 얻었다고 발표하였으나 측정된 방법이나 사용한 은염건판에 대한 자세한 언급이 없었다.¹⁰⁾ 그러나 그들은 은염을 함유하고 있는 딱딱한 젤라틴층과 부드러운 젤라틴층의 굴절률 차가 위상형 홀로그램을 형성한다고 믿었다. 그림 1은 화학적 처리과정에 따른 감광유제내의 변화를 나타낸 것으로 일반적인 표백과정은 노광된 부분의 금속은(metallic silver)이 표백되어 남는 것이며, 역 표백 과정은 노광된 부분의 은염이 제거되는 것으로 금속은에 의한 산란을 줄여 깨끗한 영상을 얻을 수 있다.¹¹⁾

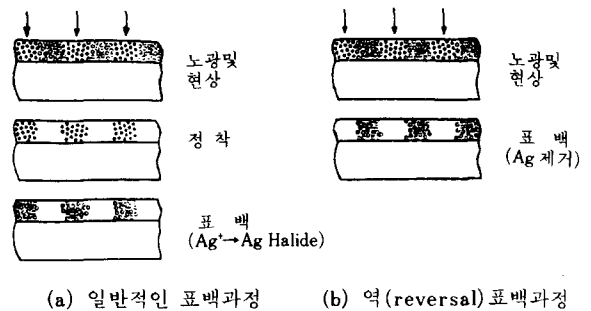


그림 1. 위상형 홀로그램의 내부구조 변화
Fig. 1. Internal structure of phase hologram.

지난 20년 동안 진폭형 회절격자를 위상형으로 바꾸는 화학적 처리과정중 회절효율과 깊은 관계가 있는 여러 표백액(bleach)에 대해 많은 연구가 되어 왔다. 1976년 Phillips 등이 ferric nitrate 표백액을 사용한 후 1980년에는 p-benzoquinon을 사용하여 좋은 효율을 얻어 현재까지 광범위하게 추천되고 있다.¹²⁾

1984년 Cooke 등은 은염건판에 CW-C2 현상액과 p-benzoquin이 첨가된 PBQ-2 표백액을 사용하여 약 55%에 이르는 반사형 홀로그램을 제작하였다.¹⁷⁾ 1986년 Hariharan은 은염건판을 이용한 표백된 위상형 홀로그램에 알코올 건조를 통해 두 경계면에서의 반사량을 고려하여(어느 정도 고려했는지 언급없음) 77%의 회절효율을 얻을 수 있었다.¹⁸⁾ 그는 알코올에 의해 약 20% 정도의 회절효율이 증가된다는 실험결과를 발표하기는 하였으나 정확한 해석을 하지는 못하였고, 단지 중크롬산에 의한 연계결합(cross linkage)이 강한 위상변조를 가져왔으리라는 추측을 했을 따름이다.^{13, 14)}

이와 같이 Pennington 등에 의해 제안된 젤라틴층에서의 굴절을 변화에 따른 경도차(hardness differential) 모델과 Shankoff에 의해 제안된 공기간격(void) 모델, 알코올에 의한 급속 건조 등을 고려하여 이하 본 논문에서는 은염물질에 대한 회절격자 구조를 연구하고 중크롬산 표백액과 알코올 건조에 따른 굴절을 변조에 대해 논의하고자 한다.

III. 표백된 위상형 회절격자의 해석

젤라틴 물질에 기록되는 부피형 위상 홀로그램의 특징은 파면(wavefront)이 젤라틴층 두께와 비교하여 천천히 변화하여 회절격자의 특성이 국부적으로 균일하다고 가정한다. 감광물질로서의 중요한 특성은 영상특성(image quality)과 회절효율로 대별되는데 전자는 국부적 격자간격과 격자방향, 두빔의 세기비(intensity ratio) 등에 좌우되어 기록조건등을 알면 일반적으로 쉽게 예측할 수 있다. 그러나 후자는 쉽게 예측하기 어려운데 이는 첫째로 격자의 물질특성 즉 변조, 흡수 등에 대해 알아야 하고, 둘째로 Maxwell 방정식에서 유도되는 전자파 이론에 이러한 성질이 포함된 미분 방정식을 풀어야 한다.

현재 상용화되어 있거나 실험실에서 연구되는 물질들을 사용하여 제작된 가장 간편한 광학소자 조차도 완전한 분석이 되어 있지 않다. 그래서 기록한 홀로그램 회절격자의 구조를 알기 위한 방법으로 임의의 광학 주파수(파장과 격자간격)에서의 회절특성 파라미터를 결정하므로 얻는다. 균일한 격자의 경우 회절효율은 임의의 주파수에서 입사각에 대한 효율만을 측정하므로써 홀로그램의 내부 구조에 대한 정보를 추출하기 어려워 많은 오차가 있었다. 정확한 분석을 위한 방법으로 회절격자의 주 특징 파라미터를 이론적 모델로부터 추정하고 실험 결과와의 분석적 접근이 필요하다. 전에 제안된 모델 등은 이상적인

모델에 제한을 두고 있으며, 수치해석 방법으로는 복잡하고 과다한 계산시간이 요구된다. 결과적으로 이론은 실험 결과와 일치시키는데 한계가 있어 상용화된 감광물질을 이용하여 효율이 우수한 홀로그램 광학소자의 설계에 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 부피 위상형 회절격자에 대해 현재 광범위하게 적용되고 있는 Kogelnik의 결합파 이론(coupled-wave theory)을 이용한다.¹⁵⁾

결합파 이론에 의하면 두 파에 의해 기록되는 순수한 위상형 홀로그램이 이상적인 경우에는 Bragg 각에서 100% 회절효율이 얻어지나, 상용되는 감광물질에서는 물질 자체의 흡수나 산란에 의해 손실이 일어나므로 이상적인 경우와는 다른 조건에서 이루어지며, 실제적으로 이러한 물질들을 다루기 위해 결합파 이론의 주요 파라미터 값에 많은 수정보완이 있어왔다. 또한 부피형 격자에 대한 많은 연구중 Raman과 Nath, Magnusson과 Gaylord 등은 고차 회절파의 고려, Bragg각에서의 벗어남, 비정현파 격자 구조 등에 대해 정밀한 결합파 이론의 해를 구하였다.¹⁹⁾ 그러나 이러한 결합파 방정식의 정밀한 해를 구하는데는 엄청난 계산시간이 요구되며, 실제 디자인에서는 중요한 1차 회절파 이외의 고차파의 영향은 무시할 수 있으므로 회절격자의 해석에 있어서는 1차 회절파에 대한 주 해석만을 하는 것이 일반적이다.¹⁶⁾ 예를 들어 기록시 젤라틴내의 흡수계수, 응력에 의한 간섭무늬의 구부러짐, 평균 유전율 변화, 경계면의 굴절을 정합 등을 고려하여 해석하며 특히 Bragg각 근처에서의 회절파에 초점을 맞춘다.

회절격자에 레이저 빔이 Bragg각 θ_0 로 입사했을때, 물질의 손실을 고려하면 0차 투과파 S_0 와 1차 회절파 S_1 의 값은 다음 식과 같다.¹⁶⁾

$$|S_0|^2 = \exp(-2ad/\cos(\theta_0)) \cos^2(xd/\cos(\theta_0)) \tag{1}$$

$$|S_1|^2 = \exp(-2ad/\cos(\theta_0)) \sin^2(xd/\cos(\theta_0)) \tag{2}$$

$$x = \beta \epsilon_1 / \epsilon_0 \cdot 4 \tag{3}$$

$$a = \beta \epsilon_0^{11} / \epsilon_0 \cdot 2, \quad \beta = 2\pi\sqrt{\epsilon_0} / \lambda \tag{4}$$

d : 감광유제의 두께

ϵ_0 : 감광유제 평균유전율의 실수값

ϵ_0^{11} : 감광유제 평균유전율의 허수값

ϵ_1 : 감광유제 유전율의 변조 진폭

결합계수 x 는 유전율 변조값 ϵ_1/ϵ_0 에 의해 결정되며, ϵ_0^{11} 값은 흡수율 a 와 밀접한 관계가 있다. 식 (1), (2)에서 보듯이 회절효율은 Bragg 각에서 두항의

값으로 나타나는데 앞의 항은 흡수율(산란량 포함) α , 뒤의 항은 결합계수 x 에 의해 좌우되며, 또한 이 흡수율과 결합계수는 노출량의 함수로서 어떤 특정 노출량에서 식 (5)와 같은 조건을 만족할 때 식 (2)는 최대효율을 갖게 된다.

$$\frac{xd}{\cos \theta_0} = \pi/2 \tag{5}$$

x 값이 노출량에 따라 선형적으로 변한다면 식 (5)를 만족하는 노출량의 2배가 되었을 때는 $\cos(xd/\cos \theta_0) = \pi$ 가 되어 식 (2)가 최소가 되어야 하나 실험 결과인 그림 3에서 보듯이 일치하지 않으므로, 노출량에 따른 변조 모델은 비선형 성질을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 은염 감광물질은 습식 처리과정(wet processing)을 거치므로 감광유제 두께의 변화가 일어나는데,^{11,17)} 식 (2)와 (5)에서 보듯이 두께 d 가 중요한 변수로서 정밀한 제어가 필요하다.

IV. 실험 및 결과고찰

두빔의 간섭을 이용하여 홀로그래피 방법으로 회절격자를 제작하는 장치도는 그림 2와 같다.

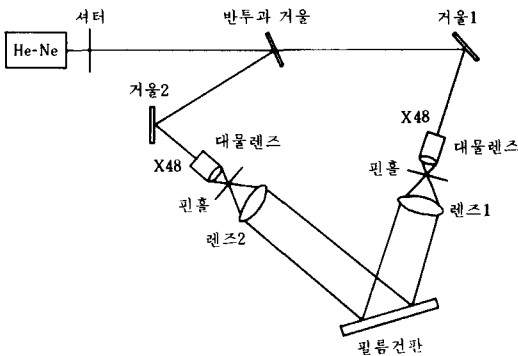


그림 2. 홀로그래피 회절격자의 기록 장치도
Fig. 2. Recording system for holographic diffraction grating.

노출 광원으로는 출력이 25mW인 편광된 He-Ne레이저를 사용하였으며, 배율이 40배인 대물렌즈와 직경이 12 μ m인 핀홀을 결합하여 공간 필터링 한후 평행광을 만들었다. 거울 1과 2에 의해 두빔의 만나는 각도를 조절하는데 본 실험에서는 각 빔을 건판에 25°로 입사시켜 두빔의 각도를 50°로 하였다. 두

평면파가 θ_1, θ_2 로 입사하였을 때 공간 주파수 f 는 다음과 같다.

$$f = 1/\Lambda = (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) / \lambda \tag{6}$$

Λ 는 격자간격, λ 는 레이저 파장이며, $\theta_1 = 25^\circ, \theta_2 = -25^\circ$ 일때 공간 주파수 f 는 1335 lines/mm이다. 고효율을 얻기 위해서는 부피형(volume type)으로 형성되어야 하는데 다음 Q 값이 10보다 커야 한다.^{12,18)}

$$Q = 2\pi\lambda_0 d / n_0 \Lambda^2 \tag{7}$$

n_0 는 굴절율로서 은염 감광물질의 평균 굴절율 1.59를 대입하여 Q 값을 구하면 10보다 큼으로 부피형으로 형성됨을 알 수 있다.

본 실험에서 사용된 화학적 처리과정과 표백액 조성비는 표 1, 2와 같다.

표 1. 화학적 처리과정
Table 1. Chemical processing.

과 정	시 간
1. 노출과정	
2. 현상처리(Kodak Developer D-19)	4분간
3. 세척처리(증류수)	1분간
4. 정착처리(Kodak Rapid Fixer Sol. A)	4분간
5. 세척처리(증류수)	1분간
6. 표백처리(표 2 참조)	
7. 세척처리(증류수)	10분간
8. 에탄올 처리	2분간
9. 이소프로필 알코올	4분간
10. 건조(상대습도 50% 미만인 곳)	

표 2. 표백액 조성비
Table 2. Bleacher formula.

표 백 액	액
증 류 수	1000ml
중크롬산 칼륨	0.8g
브롬화 칼륨	4.0g
황 산	1.0ml

은염 젤라틴내의 굴절율 차는 현상액과 표백액의 종류에 따라 많은 차이를 나타내고 있다. 현상과정에서 Kodak D-19 현상액은 많은 황산나트륨 때문에 과도한 담금질이 일어나지 않도록 하였으며, 착화과정에서 경화제인 용액 B를 제외한 용액 A만 사용하므로 젤라틴이 더 이상 경화되지 않도록 하였다.

담금질(tanning)의 주요인은 중크롬산 칼륨 표백액의 크롬 3가 환원에 의해 일어나며 크롬 3가 이온이 젤라틴 분자를 연계결합시켜 현상된 금속 은(metallic silver) 주위에 있는 젤라틴을 견고케 한다. 이러한 경도차가 수용액 속에서 부풀어 오르는 과정과 건조 과정을 통해 강한 굴절을 변조를 일으킨다고 해석된다.

회절효율 η_0 는 다음과 같이 정의한다.

$$\eta_0 = \frac{I_1}{I_0} \quad (8)$$

I_0 : 입사 광량

I_1 : Bragg 각에서 1차 회절파

재생시 입사파가 은염건판의 양면(공기-젤라틴, 필름-공기)에서 반사가 일어나므로 엄밀한 의미의 입사광량은 반사되는 광량을 뺀 $I_0 - I_R$ 이다. 이것을 고려한 효율은 다음과 같다.

$$\eta_1 = \frac{I_1}{I_0 - I_R} \quad (9)$$

I_R : 은염건판 경계면에서의 반사광량

다음 그림 3은 노출량에 따른 회절효율을 나타낸다.

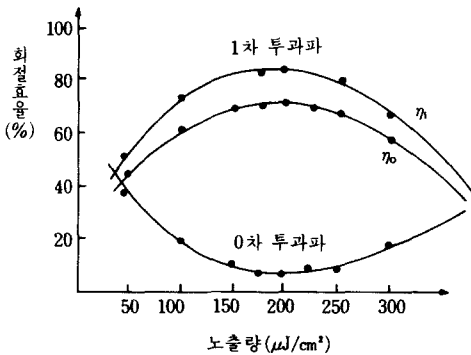


그림 3. 노출량에 따른 회절효율
Fig. 3. Diffraction efficiency vs exposure.

그림 3에서 보듯이 $180 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 일때 최대효율 71%를 보였으며 이때 0차 투과량은 5%였고 반사량을 뺀 효율은 81%를 보였다. 감광유제의 굴절율이 1.59이므로 25° 로 입사하였을때 Fresnel 반사에 의해 약 6.5% 반사가 일어나 두 경계면에서의 총 반사량은 13% 정도 된다. 그림 4는 건조과정에서 알코올 건조가 회절효율에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. 일

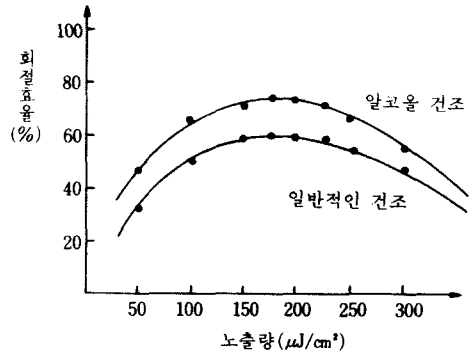
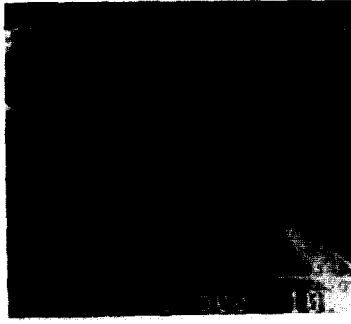


그림 4. 알코올 건조에 따른 회절효율
Fig. 4. Diffraction efficiency due to alcohol drying.

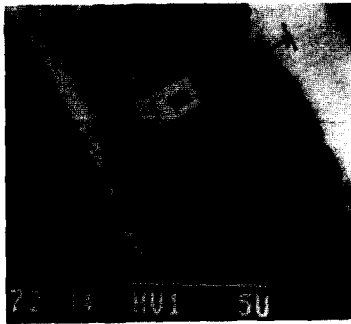
반적인 건조인 경우는(표 1에서 8~9 과정 생략) 최대효율이 58%이나 알코올 건조를 거치면 약 15%정도 효율이 증가함을 알 수 있다. Agfa 8E75 필름건판의 감광유제 두께는 $5 \mu\text{m}$ 이나 현상, 정착, 표백과정을 거치면서 감광유제의 두께에 변화가 일어난다. 최종 건조후 전자 현미경(SEM)을 통해 두께를 측정된 결과 $7 \mu\text{m}$ 이었는데, 이는 담금질 인자가 적은 현상액과 비경화제 정착액에 의해 젤라틴이 물에 부풀어 오른 결과이다. 사진 1은 필름의 단면도를 전자 현미경으로 촬영한 것이다. 노출량에 의해 결합계수 x 가 결정된 상황에서 두께 d 의 증가로 변조가 더 일어나 결과적으로 효율의 증가가 일어난 것이다.

이러한 고효율 현상을 정성적으로 분석하기 위하여 R. R. Syms 등이, Agfa 8E56 홀로그램 건판을 이용하여 얻은 실험치를 해석하기 위해 추정된 결합파 이론의 파라미터 값들에 두께를 $7 \mu\text{m}$ 로 대입하여 컴퓨터 시뮬레이션한 결과 많은 오차를 나타냈다.^{16,17} 오차가 나타난 이유는 일반적인 처리과정을 거치면 감광유제에 수축이 8~15% 정도의 수축이 일어나므로 R. R. Syms 등은 두께를 $4.7 \mu\text{m}$ (원래 두께는 $5 \mu\text{m}$)로 고정하여 결합파 이론의 각 파라미터 값들을 추정하였기 때문이다. 본 논문에서는 감광유제가 부풀어 올라 사진 1과 같으며 두께가 $7 \mu\text{m}$ 일때의 적합한 파라미터 값을 제시하였다.

노출량이 $180 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 인 평면파 하나만·노광시킬 경우 즉, 격자가 없을 때 최대 투과율이 78%이므로 $\exp(-2ad/\cos(\theta_0)) = 0.78$ 에서 $\theta_0 = 15^\circ$ 일때(25° 로 입사할 때 Snell의 법칙에 의해 매질내에서는 15° 로 굴절이 일어남) $ad = 0.12$ 이다. 감광유제의 평균 유전율 $\sqrt{\epsilon_0} = 1.59$, 유전율 변조 $\epsilon_1/\epsilon_0 = 0.0458$ 일때 식(3)에서 결합계수는 x 를 구한다. 이 값을 식(5)에



(a) 필름위에 있는 감광유제



(b) 감광유제만 확대한 경우

사진 1. 물에 부풀은 젤라틴의 단면모습
Photo 1. Cross view of swollen gelatin.

대입하면 두께가 $7\mu\text{m}$ 일때 1.265가 되고, 식 (2)에 의해 71.1%가 되어 실험치와 이론치가 Bragg각 근처에서 잘 일치함을 알 수 있다.

그림 5는 입사각 변화에 따른 회절효율로서 Bragg각이 30° 임을 알 수 있다. 기록각도가 25° 이므로 Bragg각이 25° 이어야 하나 사진 1처럼 감광유제가 부풀어 올라 Bragg각에 천이(shift)를 가져왔다고 해석된다. 반면에 일반적인 화학처리를 거치면 감광유제에 수축이 일어나 Bragg각이 기록각도 보다 작은 각에서 일어난다.^[1] 그림 6은 Bragg 각에서의 값 기준으로서 정규화시킨 것으로서 Bragg 각을 벗어남에 따라 매우 민감하게 회절효율이 감소함을 알 수 있어, 이러한 성질을 이용하여 공간필터(spatial filter)나 주파수 필터(spectral filter)로 사용할 수 있다.^[2]

결론적으로 본 실험에서 고효율 회절 격자의 생성은 화학적 처리와 알코올 건조를 통해 부풀어 오른 감광유제의 두께 d 와 노출량 $180\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 에서 굴절률 변조에 따른 결합계수 x 와의 조합이 최대 변조를 가져와 71%(반사법 고려하면 81%) 이상의 고회절효

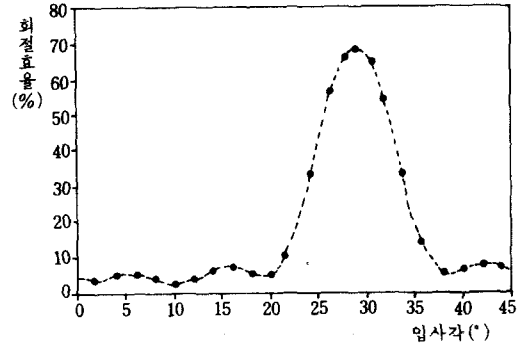


그림 5. 입사각에 따른 회절효율
Fig. 5. Diffraction efficiency vs incident angle.

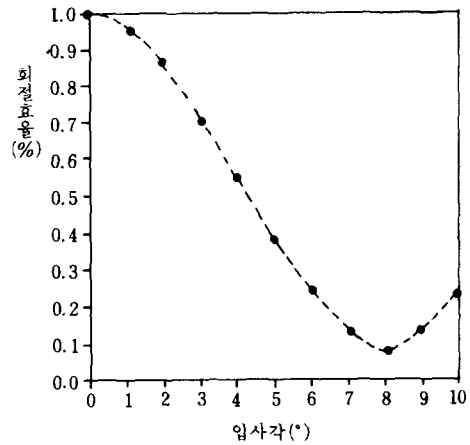


그림 6. Bragg각 근처에서의 회절 각도 민감도
Fig. 6. Diffraction angle sensitivity near Bragg angle.

율을 얻을 수 있었다. 노출량에 따른 결합계수와 처리 과정에 따른 두께의 변화가 회절효율을 높이기 위한 잠재적 원천으로 작용함을 알 수 있어 앞으로 이의 정밀한 제어가 필요하다.

V. 결 론

3가 크롬과 연관되는 젤라틴 층에서의 위상형 홀로그래프에 대한 구조는 정확한 해석은 정립되어 있지 않으나, 주요인은 연계결합 또는 젤라틴 층의 담금질에 의해 나타나고 있다. 즉 담금질된 부분과 비담금질된 부분의 경도차이에 따른 굴절률 변화와 이소프로필 알코올에 의한 급속한 탈수가 DCG에서 얻어지는 변조와 비슷하게 일어나 효과가 더 증가되는

현상이 일어난다. 이소프로필 알코올을 사용하는 경우 물에 부른 홀로그램을 급속건조 시킴에 따라 감광유제 두께의 변화가 일어나 기록각도보다 큰 각에서 Bragg 각이 일어난다. 결론적으로 은염건판의 젤라틴에 담금질이 일어나는 표백액과 이소프로필 알코올에 의해 주어진 젤라틴의 두께변화가 $180\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 노출량에 대해 변조가 최대로 일어나 1차 회절파가 80% 이상 얻어지며 0차 투과파가 최소가 된다. 이와 같은 연구는 1980년 Renesse가 언급한대로 감광유제 내의 고른 입자($30\mu\text{m}$ 정도)와 담금질 현상이 작게 나타나는 현상액에서 산란이 줄어든다는 사실에 기초를 두고 있다.

앞으로 $5\mu\text{m}$ 정도의 얇은 감광유제를 사용하여 높은 회절효율을 얻기 위해 감광유제 두께의 효과적인 제어와 높은 굴절율 변조가 요구된다. 본 연구의 결과는 홀로그래픽 광학소자로서 회절격자, 홀로콘, 홀로렌즈, 퓨리에 변환, 주파수 필터 등에 실제적으로 응용될 수 있다.

參 考 文 獻

[1] B.J. Chang and C.D. Leonard, "Dichromated gelatin for the fabrication of holographic optical elements," *Appl. Opt.*, vol. 18, pp. 2407-2417, July 1979.
 [2] 김상근, "CGVH를 이용한 레이저 광 주사장치에 관한 연구", 연세대학교 석사논문, 1986.
 [3] T.K. Gaylord and M.G. Moharam, "Analysis and applications of optical diffraction by gratings," *Proc. of IEEE*, vol. 73, pp. 894-937, May 1985.
 [4] 신광용, 김 남, 박한규, "다중-facet 홀로콘을 이용한 레이저 주사시스템에 관한 연구", 대한 전자공학회 논문집, vol. 25, pp. 566-571, 5월, 1988.
 [5] D.M. Samolovich and A. Zeichner, "The mechanism of volume formation in dichromated gelatin," *Photogr. Sci. and Eng.*, vol. 24, no. 3, pp. 161-166, May 1980.
 [6] R.C. Enger and S.K. Case, "High frequency holographic transmission gratings in photoresist," *JOSA*, vol. 73, no. 9, pp. 1113-1118, Sept. 1984.
 [7] D.J. Cooke and A.A. Ward, "Reflection hologram processing for high efficiency in silver halide emulsions," *Appl. Opt.*, vol. 23, pp. 934-941, March 1984.
 [8] M.G. Moharam and T.K. Gaylord, "Diffraction analysis of dielectric surface-relief gratings," *JOSA*, vol. 72, no. 10, pp. 1385-1392, Oct. 1982.

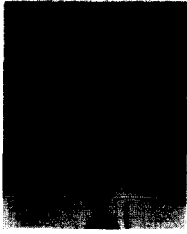
[9] T.A. Shankoff, "Phase holograms in dichromated gelatin," *Appl. Opt.*, vol. 7, pp. 2101-2105, Oct. 1968.
 [10] K.S. Pennington and F.P. Laming, "New phototechnology suitable for recording phase holograms and similar information in hardened gelatin," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 18, pp. 56-57, 1971.
 [11] R.L. Lamberts and C.N. Kurtz, "Reversal Bleaching for low flare light in holograms," *Appl. Opt.*, vol. 10, pp. 1342-1347, June 1971.
 [12] N.J. Phillips and D. Porter, "An advance in the processing of holograms," *J. Phys. Eng.*, vol. 6, pp. 631-634, May 1976.
 [13] P. Hariharan, "Bleached photographic phase holograms," *Opt. Comm.*, vol. 56, pp. 318-320, Jan., 1986.
 [14] W.R. Graver, J.Q. Gladden, and J.W. Eastes, "Phase holograms formed by silver halide (sensitized) gelatin processing," *Appl. Opt.*, vol. 19, pp. 1529-1535, May 1980.
 [15] H. Kogelnik, "Coupled wave theory for thick hologram gratings," *Bell Sys. J.*, vol. 48, no. 9, pp. 2909-2947, Nov. 1968.
 [16] R.R. Syms and Solymar, "Planar volume phase holograms formed in bleached photographic emulsion," *Appl. Opt.*, vol. 22, pp. 1479-1496, May 1983.
 [17] K. Biedermann, "Silver halide photographic materials," *Holographic Recording Materials* ed. by H. Smith, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1977.
 [18] P. Hariharan, "Optical holography," Cambridge Univ. Press, London, 1986.
 [19] 김 남, 전석희, 반재경, 박한규, "Volume phase hologram의 고효율 해석", 전기 전자학술대회 논문집, pp. 402-405, 7월 1988.
 [20] J.M. Heaton and L. Solymar, "Wavelength and angular selectivity of high diffraction efficiency reflection holograms in silver halide photographic emulsion," *Appl. Opt.*, vol. 24, pp. 2931-2936, Sep. 1985.
 [21] R.L. Van Renesse, "Scattering properties of fine-grained bleached emulsions," *Photogr. Sci. Eng.*, vol. 24, pp. 114-124, March 1980. *

著 者 紹 介

金 男 (正會員) 第26卷 第1號 參照
현재 충북대학교 정보통신과
조교수



朴 漢 奎 (正會員) 第25卷 第8號 參照
현재 연세대학교 전자공학과
교수



吉 相 瑾 (正會員)
1960年 6月 27日生. 1984年 2月
연세대학교 전자공학과 졸업. 1986
年 2月 연세대학교 전자공학과 졸
업 공학석사학위 취득. 1987年 9月
~현재 연세대학교 전자공학과 박
사과정 재학중. 주관심분야는 광
정보처리, Neural Network, 패턴인식 등임.