

반전표백 방법에 의한 고효율 은염건판 홀로그램 제작

백성훈 · 홍석경 · 김철중

한국원자력연구소 전자광학연구실

은염건판을 반전표백 처리하여 위상형 홀로그래픽 회절격자를 제작하였다. 반전표백에 적합한 화학적 현상액을 사용하고, 표백 후 isopropyl alcohol에 의한 급속탈수 방법으로 회절격자의 효율을 높일 수 있었다. 현상액의 종류와 표백액의 조성 변화 그리고 건조 방법에 따른 회절효율의 변화를 실험적으로 측정하였으며, 각각의 경우에 제작된 회절격자의 특성을 이론적으로 분석하였다. 제작된 회절격자는 최적 조건에서 최고 88%의 효율을 보여, 상용표백 방법으로 제작된 회절격자에 비해 산란이 적으면서도 효율이 높은 결과를 얻었다.

I. 서 론

위상형 고효율 홀로그램을 제작하는데 많이 사용되는 은염건판의 표백방법은 직접표백 (direct bleach 또는 rehalogenation bleach)과 반전표백 (reversal bleach)이 있고, 직접표백은 다시 무정착 은염재생성 표백(fixation-free rehalogenation bleach)과 상용표백 (conventional bleach)으로 나눌 수 있다.^[1] 이 중 무정착 은염 재생성표백 방법은 반상형 홀로그램의 제작에 많이 사용되며, ^[2] 상용표백과 반전표백은 투과형 홀로그램의 제작에 많이 사용된다. 상용표백 방법은 현상 후 정착과정을 거침으로써 현상되지 않은 은염 (silver halide)을 씻어 버리고 표백과정에서 은 (Ag)을 다시 은염으로 만들어 이 재생된 은염으로 홀로그램의 굴절율 변조를 기록하는 방법이며, 반전표백은 현상 후 정착과정이 없이 바로 표백시켜 현상된 은을 씻어 내고 남아 있는 은염으로 홀로그램의 굴절율 변조를 기록하는 방법이다. 이 반전표백 방법으로 제작된 홀로그램은 상용표백으로 제작된 것에 비해 산란은 적으로, 상대적으로 효율이 낮은 것으로 알려져 있었다.^[3]

은염건판을 표백시켜 위상형 홀로그램을 기록시키는 방법에 대해서는 많은 연구가 행해졌으나 주로 표백액의 성분에 대한 연구이고, 현상액의 역할에 대한 연구는 많지 않다. 1987년 Hariharan 등은 현상액이 표백에 의한 은염건판 위상형 홀로그램의 효율에 미치는 영향에 대해서 연구하였는데, 확산 이동 효과가 있는 물리적 현상액은 상용표백에 유리하고, 확산이동 효과가 없는 화학적 현상액은 반전표백에 유리하다는 실험결과를 얻었다.^[4] 그러나 이 Hariharan의 논문에는 이에 대한 이론

적인 분석이 없고, 은염건판의 내부 반사를 막기 위한 antihalation backing, 알콜처리에 의한 효율상승 효과 등을 간과하여 최대 53%의 효율 밖에 얻지 못하였다.

본 연구에서는 화학적 현상액과 표백 후 알콜건조 과정을 사용하여 홀로그래픽 회절격자의 효율을 상당히 높일 수 있음을 보였으며, 현상액과 표백액 그리고 건조과정에 따른 홀로그램의 효율의 변화를 실험하였다. 현상액은 한 종류의 물리적 현상액과 두 종류의 화학적 현상액을 사용하였고, 표백액은 세가지로 농도를 변화하면서 실험하였다. 그 결과 제작된 홀로그래픽 회절격자의 회절효율을 측정하고, 이를 이론적으로 분석하여 각각의 조건에 따른 홀로그램의 굴절율 변조 정도를 규명하였다.

제작 조건을 최적화 시킴으로써 최대 88%의 효율을 얻었는데, 이는 Hariharan이 얻은 53% 보다 훨씬 높은 값이며, 상용표백 방법으로 제작된 홀로그래픽 회절격자의 효율을 증가하는 좋은 결과이다.^[5] 본 연구 결과 반전표백 방법으로도 상용표백에 의한 회절격자의 효율을 증가하는 결과를 얻어, 반전표백은 산란은 적지만 상용표백에 비해 효율이 떨어진다는 지금까지의 통성을 바꿀 수 있었다.

II. 실험

은염건판을 반전표백 방법으로 처리하여 위상형 홀로그래픽 회절격자를 제작하였다. 은염건판으로는 antihalation backing이 된 Kodak 120 plate를 사용하였다. 광원은 파장이 632.8 nm인 He-Ne 레이저를 빔확대기로 확대하여 사용하였다. 두 빔의 세기의 비를 나타내는 빔

표 1. 화학 처리 과정

처리 과정 (모든 용액은 20°C)	시간
1) 현상 (D-19, MAA, AAC)	5분
2) 수세 (증류수)	30초
3) 표백 (농도에 따라 3가지)	맑아질 때 까지 (2-6 분)
4) 수세 (증류수)	5분
5) 건조	
ㄱ) 자연건조	
· Kodak photo-flo 1/200 희석액	30초
· 수직으로 세워 건조	
ㄴ) 알콜건조	
· IPA 50% 수용액	2분
· IPA 100% 용액	2분
· 질소 가스로 급속 건조	

ratio는 거의 1로 하였고, 입사각은 각각 21°로 간섭무늬가 홀로그래프 면에 거의 수직하게 기록되도록 하였다. 은염건판의 광학농도는 노출 값의 log 값과 거의 비례하므로,^[6] 전체의 굴절을 변조를 거의 일정하게 증가시키기 위해 노출을 log 스케일로 증가시키면서 실험하였다.

노출된 은염건판은 표 1과 같은 과정으로 화학처리를 하였다. 현상액은 물리적 현상액인 D-19와 화학적 현상액인 MAA, AAC의 3종류를 사용하여 실험하였다.^[2,7] D-19와 같은 현상액은 현상시 비노출부의 은염이 노출부로 이동하여 노출부의 은염과 같이 은(Ag)이 되어 버리는 확산이동 (diffusion transfer) 효과가 있는데, 이런 확산이동 효과가 있는 현상액을 물리적 현상액 (physical developer) 이라하고, 이 확산이동 효과가 없는 현상액을 화학적 현상액 (chemical developer) 또는 용액 현상액 (solution developer) 이라한다.^[8]

D-19는 Metol-Hydroquinone이 주성분인 탄닝 (tanning=local hardening)이 적은 물리적 현상액으로 은염건판 홀로그래프에 가장 일반적으로 사용된다. MAA는 Metol과 L-ascorbic acid가 주성분인 현상액으로, 특성이 무난하여 투과형 홀로그래프 뿐 아니라 반사형 홀로그래프에도 많이 사용된다. 1987년에 발표된 Hariharan의 연구에서도 반전표백에 MAA 현상액을 사용하여 좋은 결과를 얻었다. AAC는 L-ascorbic acid가 주성분으로 매우 우수한 화학적 현상 특성을 가진다. 반전표백에서 이 AAC를 사용한 실험은 발표된 바 없으나, 본 연구에서 최초로 실험하여 좋은 결과를 얻었다. MAA와 AAC는 상용의 제품이 없어 실험실에서 직접 조성하여 사용하였는데, 그 조성표는 표 2와 같다.

표 2. 현상액 조성표

현상액	성분	합량
MAA	Metol	2 g
	L-ascorbic acid	20 g
	Sodium carbonate	50 g
	Water up to	1 l
AAC	L-ascorbic acid	18 g
	Sodium carbonate	90 g
	Water up to	1 l

표 3. 표백액 조성표

성분	합량		
	A	B	C
Potassium dichromate	0.8 g	2 g	8 g
Sulfuric acid	1 cc	1 cc	1 cc
Water up to	1 l	1 l	1 l

현상이 끝난 은염건판은 간단한 중간 수세를 거친 후 표백 과정에 들어 간다. 표백액은 최근에 많이 사용하고 있는 potassium dichromate가 주성분인 탄닝 표백액을 사용하였는데, 본 연구에서는 potassium dichromate의 농도를 3가지로 변화시켜 가며 실험하였다. 표 3은 본 실험에 사용한 표백액의 조성표이다.

표백을 마친 은염건판은 증류수에서 수세를 한다. 이 수세는 현상액이나 표백액의 잔여물들을 제거할 뿐 아니라, 표백액에 의한 젤라틴의 탄닝을 심하시켜 굴절을 변조를 크게하는 작용도 한다.^[9] 수세 후의 은염건판을 건주시킴으로써 홀로그래프가 완성되는데, 본 연구에서는 수세 후 그냥 말리는 자연건조와 알콜에 담근 후 건조시키는 알콜건조의 2가지 방법으로 실험하였다. 이 알콜건조 방법은 젤라틴의 탄닝에 의한 굴절을 변조를 증폭시키는 역할을 하여 홀로그래프의 효율에 관계된다. 전에는 알콜건조가 상용표백에서는 유리하나 반전표백에서는 불리한 것으로 알려져 있었지만,^[10] 본 실험실에서 연구한 결과 반전표백에서도 알콜건조 결과 홀로그래프의 굴절변조가 커짐을 발견하여,^[11] 본 연구에서도 알콜건조 방법을 실험하였다. 건조방법에 대해서는 표 1에 그 자세한 과정이 있다.

III. 결과 및 논의

제작된 홀로그래프 회절격자의 회절 효율을 측정하였다. 회절효율 η는 다음 (1) 식과 같이 회절격자 내에서의

입사빔의 세기 (I_0)와 회절빔의 세기 (I_1)의 비로 정의된다. 입사빔과 회절빔은 공기와 은염유제,

$$\eta = I_1/I_0 \quad (1)$$

은염유제와 유리, 유리와 공기의 경계면등에서 일부 반사하므로 실험시 측정된 값과 실제 회절효율과는 약간의 차이가 있다. 본 논문에서의 실험값은 모두 이 경계면에서의 반사를 보정하여 준 것이다.

결합파 이론에 의하면 흡수나 산란이 없는 이상적인 위상 투과형 홀로그래픽 회절격자의 효율은 식 (2)로 표시된다.^[12] 식 (3)에서

$$\eta = \sin^2 v = \sin^2(\pi n l T / \lambda \cos \theta_0) \quad (2)$$

v : 총 굴절을 변조

nl : 국부적인 굴절을 변조

T : 회절격자의 두께

λ : 매질내에서의 빛의 파장

θ_0 : 빔의 입사각

위상형 홀로 그래픽 회절격자는 총 굴절을 변조 v 가 $\pi/2, 3\pi/2, \dots$ 일때 회절효율이 100%가 되지만, 실제로 제작된 회절격자는 빛의 흡수나 산란이 있으므로 100%의 효율을 얻기 힘들다. 총 굴절을 변조 v 는 λ 의 함수이므로 두 파장의 빛으로 각각 회절효율을 측정하여 총 굴절을 변조 v 값이 범위를 대략 알 수 있다. 일반적인 투과형 홀로그래프에서 총 굴절을 변조 v 는 $\pi/2$ 내외인데, v 가 $\pi/2$ 보다 작을 때에는 λ 가 짧아지면 효율이 상승하고 v 가 $\pi/2$ 보다 클 때는 λ 가 짧아지면 효율이 하강한다. 본 연구에서는 제작 파장인 632.8 nm 외에도 543.5 nm 파장의 He-Ne 레이저로 효율을 측정하여, 회절격자의 총 굴절을 변조 v 값의 대략적인 범위를 알아내었다.

실험 결과는 현상액의 종류에 따른 효율의 변화, potassium dichromate의 농도에 따른 효율의 변화, 그리고 건조 방법에 따른 효율의 변화의 3가지로 나누어서 살펴본다.

1) 현상액의 종류에 따른 회절효율

그림 1은 현상액을 바꾸어가며 제작한 홀로 그래픽 회절격자의 노출에 따른 회절효율을 측정된 것이다. 제작시 사용된 표백액은 A 타입으로 potassium dichromate의 농도는 0.8g이며 건조는 자연건조 방법을 사용하였다. 효율은 제작시와 같은 632.8 nm 파장의 He-Ne

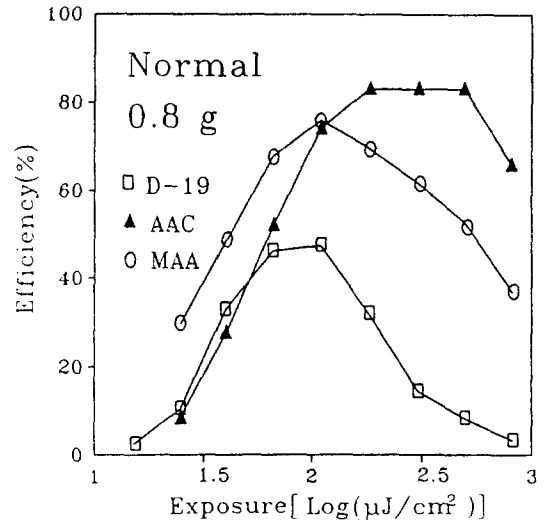


그림.1. 노출에 따른 회절 효율 (632.8 nm 측정).

레이저를 사용하여 측정하였다.

그림에서 D-19로 현상하여 제작한 회절격자에 비해 MAA나 AAC로 현상하여 제작한 회절격자의 효율이 높고, MAA 보다 AAC를 사용한 회절격자의 효율이 높게 나타났다. 이 결과는 현상시의 확산이동 효과에 의한 것으로 해석할 수 있다. 반전표백에서는 현상된 은은 표백과정에서 제거되고, 비노출부에 남아 있는 현상되지 않은 은염이 굴절을 변조를 일으킨다. 따라서 비노출부의 은이 노출부로 이동하여 노출부의 은염과 같이 은이 되는 확산이동 효과가 심하면 비노출부에 남아 있는 은염의 양이 적어지게 되고, 그 결과 굴절을 변조의 정도가 작아지게 된다. 상용표백에서는 이와 반대로, 비노출부의 은염이 노출부로 이동하여 은이 되면 표백과정에서 모두 은염이 되어 결과적으로 남은 은염의 양이 많아지게 되고 굴절을 변조가 커지게 된다. 따라서 상용표백에서는 물리적 현상액을 사용하는 것이 굴절을 변조를 크게하는 반면, 반전표백에서는 화학적 현상액을 사용하는 것이 홀로그래프의 굴절을 변조를 크게하는데 더 유리하다. 반전표백에서 AAC 현상액을 사용한 것은 본 연구가 처음인데 그림 1 에서 보듯 MAA를 사용한 경우 보다 더 높은 효율을 나타내었다. 이 결과는 AAC가 MAA에 비해 화학적 현상 특성이 좋기 때문으로 볼 수 있다.

그림 2와 3은 각각 MAA와 AAC 현상액을 사용하여 제작된 회절격자의 효율을 632.8 nm 파장과 543.5 nm 파장으로 측정된 결과이다. 물리적 현상액인 D-19를 사

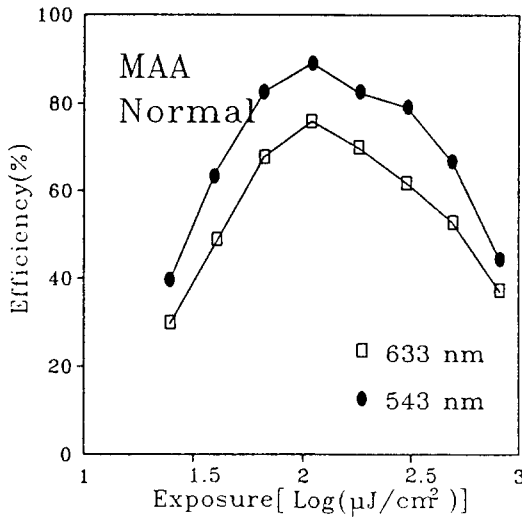


그림 2. 측정 파장의 변화에 따른 회절효율(MAA현상)

용한 실험결과는 그림 1에서 보듯 MAA나 AAC를 사용한 실험결과에 비해 효율이 낮은 이유로 논의에서 생략하였다. 앞에서 논의했듯이 식 (2)에서 재생빔의 파장이 짧아지면 총 굴절률 변조 v 가 커져 회절효율 값이 달라지게 된다. 그림 2에서 MAA를 사용하여 제작된 회절격자의 효율은 632.8 nm의 파장으로 측정했을 때 보다 543.5 nm로 측정했을 때 15% 정도 높게 나타나지만, 그림 3의 AAC를 사용하여 제작된 회절격자의 경우는 5% 정도가 높아 상대적으로 적은 상승폭을 보인다. 543.5 nm 파장으로 측정하여 효율이 상승한다는 것은 현재의 총 굴절률 변조가 $\pi/2$ 가 안된다는 것을 의미하고, 543.5 nm 파장으로 측정할 때의 상승폭이 작다는 것은 총 굴절률 변조가 $\pi/2$ 근처라는 것을 의미하므로, AAC로 현상한 회절격자가 MAA로 현상한 회절격자 보다 굴절률 변조가 큼을 알 수 있다.

측정된 최대 회절효율은 D-19를 사용한 회절격자가 50%, MAA를 사용한 것이 78%, AAC를 사용한 경우 85%이다. 이 결과는 Hariharan이 MAA를 사용하여 50% 내외의 효율을 얻은 것^[4]에 비해 훨씬 높은 값이다. 본 실험 결과는 Hariharan의 결과와 큰 차이를 보이는데, 이는 주로 은염건판에 기인하는 것으로 생각된다. 본 실험에서는 antihalation backing이 된 Kodak 120 plate를 사용하였고, Hariharan은 Agfa 8E75HD plate를 사용하였는데 antihalation backing에 대한 언급이 없는 것으로 보아 backing이 되지 않은 것으로 추정된다. 식 (2)에서

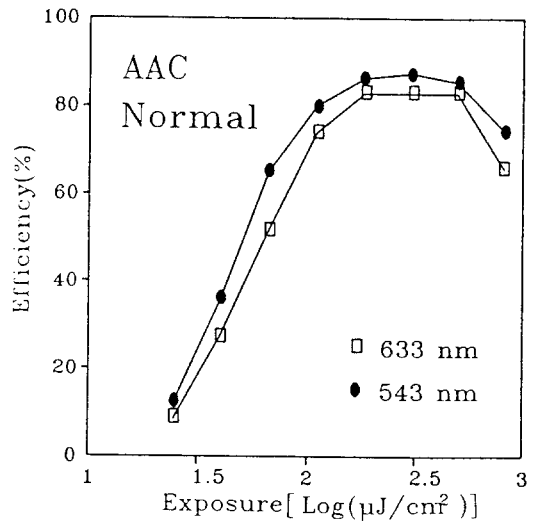


그림 3. 측정 파장의 변화에 따른 회절효율(AAC 현상).

보듯 총 굴절률 변조는 은염유체의 두께 T에 관계하는데 Kodak 120 plate는 은염유체의 두께가 6 micron이고 Agfa 8E75 plate는 7 micron으로 두께의 차이에 대한 효과도 별로 없으므로, 실험 결과가 크게 다른 주 원인은 은염건판 고유의 특성에 인한 것이기 보다는 주로 antihalation backing의 유무에 의한 것으로 여겨진다.

2) 표백액의 potassium dichromate 농도에 따른 회절효율

그림 4는 MAA로 현상하고, 표백액 중의 potassium dichromate의 농도를 변화하며 제작한 회절격자들의 회절효율을 측정된 것이다. 표백액의 potassium dichromate 농도에 따라 효율은 근소한 차이를 보이고 있는데 전반적으로 potassium dichromate 함량이 2g 일때 효율이 약간 높고, 0.8g 일때와 8g일 때는 거의 비슷한 경향을 보인다. 그림 5는 AAC로 현상하여 제작한 회절격자의 효율을 나타낸 것으로 그림 4와 마찬가지로 표백액의 potassium dichromate의 함량이 2g 일때 효율이 약간 높지만 전체적으로 농도 변화에 대해 큰 차이를 보이지 않는다.

화학처리시 표백액의 potassium dichromate의 농도 차이는 표백시간의 변화를 가져와 농도가 높아질수록 표백시간이 단축된다. Potassium dichromate의 함량이 0.8g일 경우 표백시간은 노출에 따라 4-6분 정도이나, 함량이 8g이 되면 표백시간이 2-3분 이내로 단축된다.

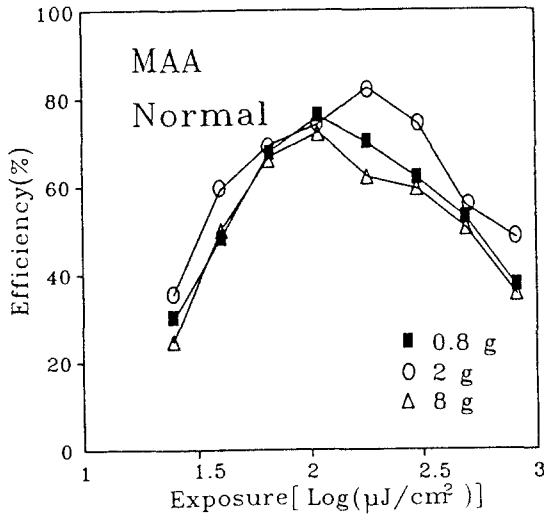


그림.4. 표백액의 농도 변화에 따른 회절효율 (MAA 현상).

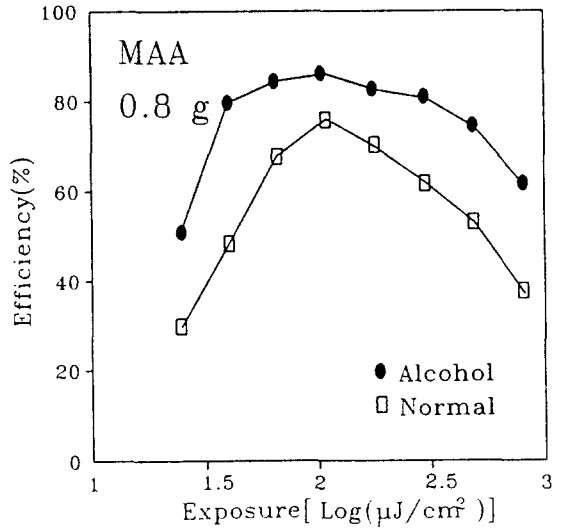


그림.6. 건조 방법에 따른 회절효율 (MAA 현상).

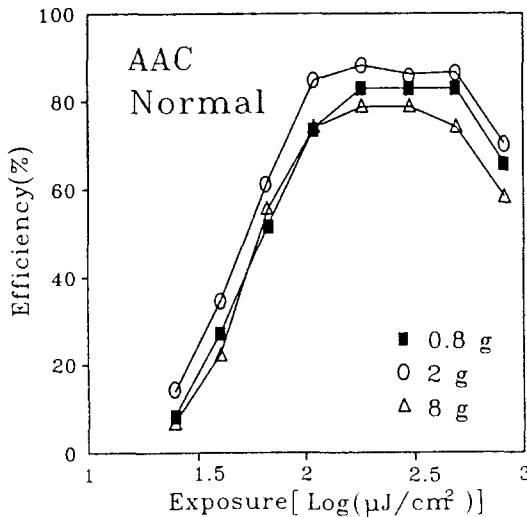


그림.5. 표백액의 농도 변화에 따른 회절효율 (AAC 현상).

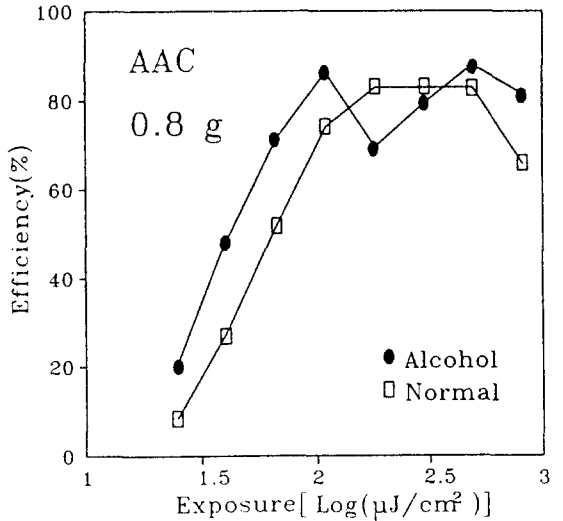


그림.7. 건조 방법에 따른 회절효율 (AAC 현상).

3) 건조방법에 따른 회절효율

지금까지 반전표백에서의 알콜건조는 굴절을 변조를 줄여 홀로그래프의 효율을 낮추는 것으로 알려져 있었으나, [10] 본 연구실에서는 반전표백에서의 알콜건조도 상용 표백에서와 마찬가지로 굴절을 변조를 크게함을 발표하였다. [11] 앞에서 543.5 nm 파장으로 측정하여 확인하였듯이 자연건조에 의해 제작된 회절격자의 총 굴절을 변조가 π/2가 안되므로, 알콜건조로 굴절을 변조를 크게

하면 회절효율을 높일 수 있다.

그림 6은 MAA 현상액과 potassium dichromate의 함량이 0.8g인 표백액을 사용하여 화학처리하고, 각각 자연건조와 알콜건조 방법으로 제작한 회절격자의 효율을 측정한 것이다. 알콜건조한 회절격자의 효율이 자연건조시킨 회절격자의 효율에 비해 전체적으로 상승하여, 적정 노출에서 85내지 90%의 효율을 보인다. 이것은 알콜건조가 홀로그래프의 총 굴절률 변조를 증가시킴으로

써, v 값을 $\pi/2$ 에 가깝게 접근시킨 결과이다. 반면에 AAC현상액을 사용하여 제작된 회절격자의 효율을 나타낸 그림 7은 약간 다른 양상을 보인다. 알콜건조시 적정노출이 아닌 곳에서는 효율이 상승하고 적정 노출인 곳에서는 효율이 하강함을 나타낸다. 이는 AAC를 사용하여 현상한 회절격자의 경우 자연건조 만으로도 홀로그래프의 총 굴절률 변조가 v 가 $\pi/2$ 를 넘어 오히려 회절 효율을 떨어뜨리는 것이다. 따라서 홀로그래프 제작시 굴절률 변조는 크다고 좋은 것이 아니고 여러 변수들을 적절히 조절하여 총 굴절률 변조값 v 가 $\pi/2$ 근처가 되도록 하는 것이 중요하다.

MAA를 사용한 회절 격자의 경우 알콜건조 방법을 사용하였을 때 효율이 상승하였으며, $120 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 의 노출에서 86%의 효율을 얻었다. 또 AAC를 사용한 경우에는 자연건조 방법으로 $200 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 의 노출에서 85%의 효율을 얻었으며, 알콜건조 방법으로 $120 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 에서 87%, $500 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 의 노출에서 88%의 효율을 얻었다. 이 효율 값들은 기존에 발표된 비슷한 연구에서 얻은 53%에 비해 30% 이상 향상된 값으로, 상용표백 방법으로 얻은 85%^[5]에 비해서도 높은 값이다.

IV. 결 론

은염건판을 반전표백하여 고효율 위상형 홀로그래픽 회절격자를 제작하였다. 물리적 현상액인 D-19와 반전표백에 적합한 현상액으로 알려진 화학적 현상액인 MAA, AAC를 사용하여 홀로그래픽 회절격자를 제작하고 각각의 특성을 분석하였으며, 표백액 중의 potassium dichromate의 농도, 건조 방법에 따른 회절격자의 효율 및 굴절률 변조의 변화를 조사하였다.

실험 결과, 알려진 바대로 물리적 현상액인 D-19를 사용하여 제작한 회절격자의 효율에 비해 화학적 현상액인 MAA나 AAC를 사용하여 제작한 회절격자의 굴절률 변조가 크고 효율이 높았다. 또 MAA를 사용하여 제작된 회절격자 보다 AAC를 사용한 회절격자의 굴절률 변조가 큰 것을 확인하였다. 표백액 중의 potassium dichromate를 변화하면서 실험한 결과, 이 농도 변화는 홀로그래프의 굴절률 변조에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 화학처리 후 건조 방법으로 자연건조와 알콜건조를 실험하였는데, 알콜 건조를 한 경우 현상액과

표백액에 관계없이 총 굴절률 변조 값이 증가되었다. MAA를 사용하여 제작한 회절격자는 전체적으로 알콜건조가 효율을 상승시켰으나, AAC 현상액을 사용하여 제작한 회절 격자는 자연건조 만으로도 적정 노출에서 총 굴절률을 변조가 $\pi/2$ 근처이므로 알콜건조시에 적정 노출에서 효율이 떨어지고 적정 노출이 아닌 곳에서는 효율이 상승하는 결과를 보였다.

실험 결과 현상액과 건조방법을 적절히 선택하여 최고 88%의 효율을 얻었다. 이 실험 결과는 기존에 보고된 50% 내지 70%의 효율에 비해 상당히 향상된 것으로, 산란이 심한 상용표백에 의한 결과를 능가하는 것이다. 본 연구에서는 효율과 굴절률 변조만을 연구하였는데 앞으로 이 방법에 대한 산란 정도, 분해능 등에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] N. J. Phillips, A. A. Ward, R. Cullen, and D. Porter, Photographic science and engineering, Vol. 24, 120 (1980).
- [2] J. Crespo, A. Fimia, J. A. Quintana, Applied Optics, Vol. 25, 1642 (1986).
- [3] P. Hariharan, Optical Holography, Cambridge Studies in Modern Optics #2, Cambridge University Press, 1984.
- [4] P. Hariharan, C. M. Chidley, Applied Optics, Vol. 26, 1230 (1987).
- [5] 정만호, 이원원, 새물리, Vol. 28, 327 (1988).
- [6] R. L. van Renesse, Photographic science and engineering, Vol. 24, 114 (1980).
- [7] P. Hariharan, C. M. Chidley, Applied Optics, Vol. 28, 422 (1989).
- [8] S. A. Benton: "Photographic materials and their handling", Handbook of Optical Holography, e.d. H.J. Caulfield (Academic Press, New York, 1979) p. 349.
- [9] William R. Graver, James W. Gladden, and W. Eastes, Applied Optics, Vol. 19, 1529 (1980).
- [10] P. Hariharan, Optics Communications, Vol. 56, 318 (1986).
- [11] 백성훈, 홍석경, 김철중, 응용물리, Vol. 4, 179 (1991).
- [12] H. Kogelnik, Bell System Technical Journal, Vol. 48, 2909 (1969).

Fabrication of High Efficiency Silver Halide Holograms by Reversal Bleaching Process

Sung Hoon Baik, Suc Kyoung Hong and Cheol Jung Kim
Electro-optics dept.
Korea Atomic Energy Research Institute

High diffraction efficiency holographic gratings in silver halide emulsion were fabricated by using reversal bleaching process. The diffraction efficiencies of gratings were improved greatly by applying rapid drying procedure with isopropyl alcohol after bleaching with optimized developers. The dependency of diffraction efficiencies on the different groups of developers, the concentration of bleaching solutions, and the drying methods are investigated experimentally and the results were analyzed theoretically. Same as usual reversal bleaching process, the fabricated gratings showed very low scattering compared to those made by conventional bleach process. The maximum diffraction efficiency was 88%.