

## 초부가성 효과에 의한 반전표백 홀로그래피 회절격자의 회절효율 특성

임춘우<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 경북대학교 물리학과

### Diffraction Efficiency Properties of Holographic Gratings by the Reversal Bleached on the Effect of Superadditivity

Chun-Woo Lim<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

(Received March 22, 2010; Accepted April 13, 2010)

**Abstract:** This paper shows that the diffraction efficiency is influenced by superadditivity for the combination of the different developing agent and concentrations in the reversal bleach applied to the Slavich PFG-01 plate to be used for recording transmission holograms. The four developers based on ascorbic acid in combination with metol, phenidone, hydroquinone respectively, were studied. In diffraction efficiency aspect, the superadditivity effect of mixture of two developing agents is lower than one developing agent developer, AAC in the reversal bleach.

**Keywords:** Holographic grating, Diffraction efficiency, Holography recording materials, Holography

#### 1. 서 론

홀로그래피는 3차원 입체상의 재생뿐만 아니라 연상 기억, 광학 소자 등의 분야에 중요한 역할을 하고 있다. 특히 광 패턴인식(optical pattern recognition), 광 컴퓨팅(optical computing), 광메모리, 디스플레이, 차세대 저장매체로 급부상하고 있는 홀로그래피 디지털 데이터 시스템(HDDS) 등의 광 정보 처리는 현대의 정보화 사회에서 중요한 연구 분야로 관심을 모으고 있다.

특히 홀로그래피 광학 소자(holographic optical element)는 회절 현상을 이용하여 입사광의 진행 경로를 바꾸어 주는 회절 광학 소자의 일종이며 그 응용 범위가 넓다. 레이저 프린터, 바코드 판독기 등의 레이저 스캐너, 분광광도계 등과 같은 고정밀 광계측 기기의 소자 뿐만 아니라 신경회로망의 광학소자, 컬러 LCD용 HPDLC(holographic polymer dispersed liquid

crystal), 자동차 또는 비행기용 HUD(head up display) 장치까지 그 응용 분야가 확대되고 있다 [1,2].

일반적으로 널리 사용되는 홀로그래피 기록 매질인 은염(silver halide)은 다른 기록 매질과 비교하여 고 해상도와 큰 감광대역폭, 높은 S/N비(signal-to-noise ratio), 취급의 용이성과 경제적 이점, 균일한 제품으로 상용화될 수 있다는 점과 장치의 안정성이 좋으며 값비싼 고출력 레이저 없이도 제작이 가능하다는 점에서 가장 편리하게 사용되고 있다 [3-5].

은염 감광 유체에 기록된 홀로그래피는 회절효율을 높이기 위해 표백을 하게 되며, 표백 방법은 상용표백, 무정착 은염재생성표백, 반전표백 등으로 나눌 수 있다. 반전표백은 현상된 금속은을 은이온으로 변환하여 용액에 용해시켜 제거하고 비노출영역의 은염만 회절격자를 만드는 방법이며, 비노출영역의 은염은 처리 용액에 큰 영향을 받지 않으므로 산란의 정도가 작다. 일반적으로 상용표백이나 무정착 은염재생성표백과 같은 표백 방법은 Upatnieks [6], Fimia

a. Corresponding author: cwlim@korea.kr

[7], Hariharan과 Chidley [8], Neip, Pascual과 Belendez [9] 등에 의해 많은 연구가 이루어져 왔다.

현상에서 현상 주약은 노출된 은염의 은이온을 잠상이 눈에 보이도록 하기 위해 금속은으로 환원시켜주는 현상액에서 가장 중요한 역할을 한다. 홀로그래프에 사용되는 현상 주약으로는 메톨(metol), 하이드로퀴논(hydroquinone), 페니돈(phenidone), l-ascorbic acid 등이 있다. 현상액은 한 가지 현상 주약을 사용하는 경우도 있지만, 두 가지 현상 주약을 혼합하여 사용하는 경우도 있는데, 그 이유는 각각의 현상 주약이 가지는 효율에 비해 두 가지를 혼합한 경우 더 높은 효율을 나타내는 초부가성(superadditivity)효과 때문이다 [10].

초부가성 효과에 대한 연구는 Metol-hydroquinone을 혼합하여 만든 MQ현상액으로 처음 소개되었으며, Madrigal [11]에 의해 두 가지 현상 주약을 혼합한 현상액을 이용한 회절효율의 증가를 가져온 연구가 이루어졌다. 하지만, 이는 상용표백에 한정된 연구가 대부분이었으며, 반전표백에 대한 연구는 미비하였다. 그래서 두 가지 현상 주약이 혼합된 현상액의 현상력은 다른 변인이 고정된 상태에서 사용한 현상 주약의 농도에 따라 좌우될 수 있으므로, 두 가지 현상 주약의 조성을 달리하여 반전표백에서의 회절효율 특성을 알아보고 고효율의 회절격자를 위한 조건을 알아보았다.

## 2. 실험

광원으로는 파장이 632.8 nm, 출력 10 mW인 He-Ne 레이저를 사용하여, 두 빔이 이루는 각도는 45°로, 두 빔의 세기의 비는 거의 1:1로 하여 공간주파수가 1200 lines/mm인 투과형 홀로그래프 회절 격자를 제작하였다. 기록 매질은 Slavich PFG-01 plate를 사용하였다.

표 1은 본 실험에서 반전표백의 처리 과정이고, 표 2는 현상액의 조성이다.

현상액은 l-ascorbic acid를 중심으로 네 가지 현상액을 사용하였다. 첫 번째는 l-ascorbic acid 만을 사용한 AAC, 두 번째는 l-ascorbic acid와 metol을 혼합한 MAA, 세 번째는 l-ascorbic acid와 phenidone을 혼합한 PAAC, 네 번째는 l-ascorbic acid와 hydroquinone을 혼합한 HAAC 이다. 네 가지 현상액에서 각 현상 주약의 농도를 달리하여 반전표백에서의 회절효율 특성을 연구하였다.

**Table 1.** Processing schedule for reversal bleach.

Processing	Time
1. Develop	4 min
2. Rinse in distilled water	3 min
3. Bleach	5 min
4. Rinse in distilled water	3 min
5. Dehydrate	
• Dehydrate in 50% isopropanol	3 min
• Dehydrate in 100% isopropanol	3 min
6. Dry at room temperature	24 h

**Table 2.** Developer composition(g/L).

Formula	AAC	MAA	PAAC	HAAC
L-ascorbic acid	20	20	20	20
Metol		1.0		
Phenidone			0.2	
Hydroquinone				6
Sodium carbonate	60	60	60	60

**Table 3.** Reversal bleach composition.

Potassium dichromate	0.8 g
Sulfuric acid	1.0 mL
Distilled water	1.0 L

일반적으로 현상 주약은 천천히 반응하기 때문에, 알칼리 상태의 현상액을 만들어 현상 활동을 촉진시키는 역할을 하는 촉진제를 포함한다. 현상액은 알칼리성의 용액에서만 기능을 발휘하기 때문에 알칼리를 섞어서 현상활동을 촉진시킨다. 또한 젤라틴 막을 빨리 연화시켜 현상액의 침투를 용이하게 하는 작용도 한다. 본 실험에서는 현상 활동을 촉진시키는 촉진제로 탄산나트륨(sodium carbonate,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )을 사용하였다.

표 3은 반전표백의 조성을 나타낸 것이다.

회절효율은 입사광에 대한 Bragg 각도에서 1차 회절광의 비로 정의한다. 실제로 회절효율을 측정할 때에는 입사광이 은염유체의 경계면에서 반사가 일어나므로 순수한 입사광은 반사된 광을 제외하여야 하며, 본 실험에서는 반사광을 제외한 회절효율을 측정하였다.

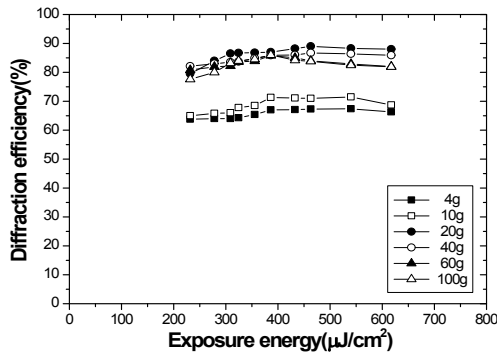


Fig. 1. Diffraction efficiency of AAC.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 현상액 AAC에서 현상 주약 l-ascorbic acid의 양에 따른 반전표백에서 회절효율의 변화를 나타낸 그래프이다. 현상 주약인 l-ascorbic acid의 양이 20 g일 때, 최대회절효율 89.0%를 나타내었다. L-ascorbic acid 4 g, 10 g에서 회절효율은 낮았으며, 100 g 까지 증가시키면서 실험한 결과, 회절효율은 감소하는 것으로 나타났다. 이를 통해 현상액 AAC의 현상작용이 현상 주약인 l-ascorbic acid의 양에 영향을 받을 수 있음을 알 수 있었다.

그리고 l-ascorbic acid의 증가는 과다 현상을 초래할 수 있으며, 결국 비노출영역의 은염까지도 금속은으로 환원시키는 확산이동효과를 가져 온다. 확산이동효과는 현상과정 동안에 비노출영역의 은염이 노출영역으로 이동하여 노출영역의 은염과 함께 금속은으로 환원되는 현상을 말한다. 이는 상용표백이나 무정착은염재생성표백의 경우, 비노출영역의 은염이 노출영역으로 이동하여 금속은이 되면 표백과정에서 모두 은염으로 재생성되어 결과적으로 남아 있는 은염의 양이 증가하여 굴절을 변조가 커지게 되어 회절효율의 상승을 가져 올 수 있다. 하지만, 반전표백의 경우는 현상된 은은 표백과정에서 제거되고 비노출영역에 남아있는 현상되지 않은 은염이 굴절을 변조를 가져 오게 된다. 따라서 비노출영역의 은염이 노출영역으로 이동하여 노출영역의 은염과 같이 금속은으로 되므로 비노출영역에 남아 있는 은염의 감소로 인하여 굴절을 변조에 영향을 미치게 되며, 결국 회절효율 감소의 원인이 된다.

그림 2는 반전표백의 방법을 이용하여 현상액 MAA에서 metol의 양에 따른 회절효율의 변화를 나

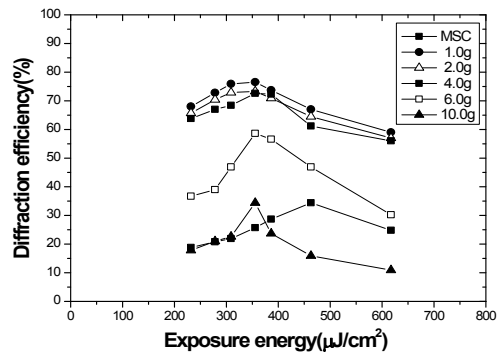


Fig. 2. Diffraction efficiency of MAA.

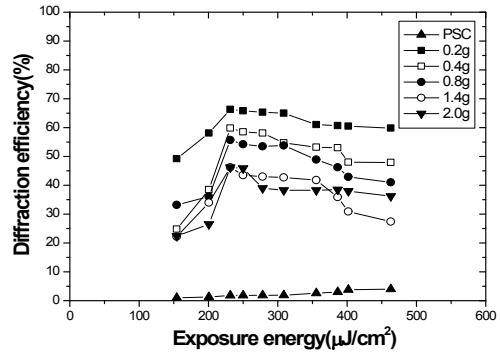


Fig. 3. Diffraction efficiency of PAAC.

타낸 그래프이다. 현상 주약 metol을 한 가지만 사용한 현상액 MSC의 최대회절효율은 34.4%이었다. 그런데 두 가지 현상 주약 l-ascorbic acid와 metol을 혼합한 현상액 MAA의 최대회절효율은 metol 1.0 g에서 80.3%이었으며, 현상액 MSC에 비해 회절효율이 크게 증가하였다. 그러나 그래프에서 보듯이 metol의 양이 증가할수록 회절효율은 감소하였으며, 10.0 g일 때는 상당히 낮은 회절효율이 측정되었다. Metol은 강한 환원력으로 빠른 작용을 하며, 약한 광에 노출된 은염에까지 작용하는 현상 주약이다. 그래서 노출영역의 은염처럼 비노출영역의 은염도 일부분이 환원되는 현상이 생긴다. 그렇게 되면, 금속은으로 환원되는 은염이 증가하면서 비노출영역에 남아 있는 은염은 감소하게 된다. 이러한 효과는 굴절을 변조의 감소와 회절효율의 감소를 가져오게 되는 것이다.

그림 3은 l-ascorbic acid 20 g에서 phenidone의 양을 달리하여 반전표백에서의 회절효율 특성을 나타낸

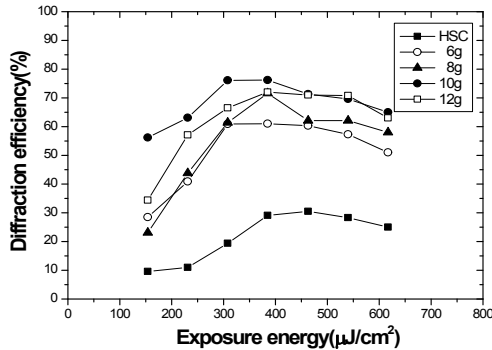


Fig. 4. Diffraction efficiency of HAAC.

것이다. 현상 주약 phenidone을 한 가지만 사용한 현상액 PSC의 최대회절효율은 4.0%이었다.

L-ascorbic acid을 첨가한 현상액 PAAC에서는 phenidone 0.2 g 일 때, 최대회절효율 66.3%로 현상액 PSC에 비해 크게 증가하였다.

그리고 phenidone의 양이 증가할수록 회절효율은 조금씩 감소하였으며, 현상액 MAA에서 metol의 양에 따른 회절효율의 변화(그림 2)와 비슷한 경향을 나타내는 것으로 보아, l-ascorbic acid에 대한 phenidone과 metol의 현상 주약으로서의 비슷한 화학적 특성을 지닌 것으로 생각되어진다. C. Neipp [12]는 상용표백에서 현상액 PAAC를 사용하여 78.2%의 회절효율을 보고하였다. 반전표백에서의 회절효율 66.3%와 비교해 본다면, l-ascorbic acid에 대한 phenidone의 초부가성 효과가 반전표백의 경우 감소하는 것으로 나타났다.

그림 4는 현상액 HAAC의 hydroquinone에 따른 회절효율의 변화를 보여 준다. 현상 주약 hydroquinone을 한 가지만 사용한 현상액 HSC의 최대회절효율 30.5%에 비해 두 가지 현상주약을 사용한 HAAC의 최대회절효율은 76.2%로 증가하였다. 그리고 hydroquinone이 증가할수록 회절효율은 상승하여, 10.0 g에서 최대회절효율을 나타내며, 그 양이 많아질수록 점차 회절효율이 감소하였다. 앞에서 언급된 현상 주약 metol과 phenidone의 경우는 현상액 AAC에 적게 첨가될수록 회절효율의 상승을 보였지만, hydroquinone의 경우는 다르게 나타남을 볼 수 있다. 이는 현상 주약으로서 metol과 phenidone의 화학적 특성이 비슷하다는 점을 다시 한번 확인해 주는 결과이며, hydroquinone과는 다른 특성이 있음을 의미한다.

두 가지 현상 주약을 혼합한 현상액들의 최대회절

효율은 한 가지 현상 주약을 사용한 현상액들의 최대회절효율에 비해 더 낮은 노출에너지에서 나타났다. 이는 두 가지 현상 주약에 의한 초부가성 효과가 반전표백에서 노출에너지와도 상관이 있으며, 과다 노출로 인한 확산이동효과의 증가를 초래한다고 생각한다.

#### 4. 결론

본 연구는 회절효율이 낮아 적용과 연구가 미비하였던 반전표백에서 회절효율을 증가시킬 수 있는 방법으로 두 가지 현상 주약을 첨가하여 초부가성 효과로 인한 회절효율의 특성을 조사하였다.

현상 주약 metol, phenidone, hydroquinone을 각각 한 가지만을 사용한 현상액에 비해 l-ascorbic acid을 추가하여 두 가지 현상 주약을 혼합한 현상액에서 초부가성 효과로 인해 회절효율이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 l-ascorbic acid와 metol을 혼합한 경우 다른 현상 주약을 혼합한 경우에 비해 높은 회절효율이 나타났다. l-ascorbic acid 한 가지 현상 주약으로 이루어진 현상액 AAC의 경우 가장 높은 회절효율 89.0%를 나타내었다. 즉 l-ascorbic acid의 경우, 다른 현상 주약을 첨가하였을 때 현상액의 회절효율이 감소되는 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 두 가지 현상 주약을 혼합한 현상액의 경우에는 현상액 AAC에 비해 낮은 노출에너지에서 최대회절효율을 얻을 수 있었다.

지금까지의 결과로 볼 때 반전표백의 방법으로도 초부가성 효과를 활용한 현상 주약의 조성과 농도를 달리한다면 홀로그래프 회절효율의 증가를 통해 고효율의 홀로그래프를 제작할 수 있다고 생각한다.

#### REFERENCES

- [1] S.-W. Na, C.-H. Yeo, J.-B. Kim, and H.-B. Chung, *J. KIEEME* **15**, 1070 (2002).
- [2] J.-I. Park, S. Kyung, J.-T. Lee Y.-J. Lee, and H.-B. Chung, *J. KIEEME* **16**, 736 (2003).
- [3] J. Oliva, P. G Boj, and M. Pardo, *Appl. Opt.* **23**, 196 (1984).
- [4] J. Crespo, A. Fimia, and J. Quintana, *Appl. Opt.* **25**, 1642 (1986).
- [5] B. H. Yoon and N. Kim, *Kor. J. Opt. Photonics* **7**, 314 (1996).

- [6] J. Upatnieks and C. Leonard, *Appl. Opt.* **8**, 85 (1969).
- [7] A. Fimia, A. Belendez, and I. Pascual, *J. Mod. Opt.* **38**, 2043 (1991).
- [8] P. Hariharan and C. M. Childley, *Appl. Opt.* **27**, 3065 (1988).
- [9] C. Neip, I. Pascual, and A. Belendez, *Appl. Opt.* **40**, 3402 (2001).
- [10] B. H. Carrol, G. C. Higgins, and T. H. James, *Introduction to Photographic Theory : The Silver Halide Process* (John Wiley & Sons, New York, 1986) p. 350.
- [11] R. F. Madrigal, S. Blaya, L. Carretero, M. Ulibarrena, and A. Fimia, *Opt. Commun.* **199**, 317 (2001).
- [12] C. Neipp, A. Belendez, and I. Pascual, *Opt. Commun.* **173**, 161 (2000).