

# 표백방법에 따른 Slavich PFG-01 홀로그래피 회절격자의 회절효율 특성

임춘우 · 손상호\*

경북대학교

## Diffraction Efficiency Characteristics of Holographic Grating derived from Slavich PFG-01 by a Bleach Technique

Chun-Woo Lim · Sang-Ho Sohn\*

Kyungpook National University

**Abstract:** The characteristics of diffraction gratings, fabricated using Slavich PFG-01 plates as a holographic recording material, were investigated using various bleach techniques. The changes in diffraction efficiencies, under given development conditions, resulting from the use of a new reversal bleach and a new fixation free rehalogenating bleach are investigated. From the experimental results, it was found that the diffraction efficiencies are influenced by the composition of the developer, the reversal bleach and the fixation free rehalogenating bleach. In this study, the highest values of the maximum diffraction efficiency was obtained when PFG-01 plates were developed in AAC developers contained with l-ascorbic acid 20 g/L and sodium carbonate 60 g/L, processed by a reversal bleach, as high as 89.0%. Moreover, the maximum diffraction efficiency of 82.1% was obtained when PFG-01 plates were processed by a fixation free rehalogenating bleach. In addition, higher diffraction efficiencies are yielded in the case of the reversal bleach than in the case of the fixation free rehalogenating bleach.

**Key words:** holographic recording material, holographic grating, bleach techniques, gratings

### I. 서 론

고등 및 대학 등의 일선 학교 현장에서 과학실험수업은 과학적 탐구학습 및 창의성 신장 등에 큰 역할을 담당하고 있으며 그 중요성은 날로 확대되고 있다. 그러나 실험수업의 기반인 실험기구의 문제점으로 인한 실험수업의 기피나 부적절한 실험결과로 인한 실험수업의 불필요성까지 나타나고 있다.

특히 고가의 광학소자 경우, 이러한 문제점은 더 심각하다고 하겠다. 이에 일선 학교에서 사용되는 기계적으로 제작된 광학소자는 낮은 분해능, 수차 등의 문제점과 고가라는 경제적 측면과 실험자와 실험문제의 조건에 맞는 광학소자를 구하기가 어렵다는 문제점을 해결하기 위해 홀로그래피 회절격자를 제작하였다. 특히 회절 실험에 있어 선택 파장, 격자상수, 각선수(슬릿의 라인수) 등의 실험 조건에 적절한 실험기구를 구하기가 힘든 경우가 많았지만, 이러한 문제점을 해

결할 수 있는 홀로그래피 방법을 이용한 고효율의 홀로그래피 회절격자의 제작방법과 특성을 연구하였다.

Gabor에 의해 1948년 처음으로 홀로그래피의 원리가 발표된 후, 홀로그래피는 과학에서 많은 변화와 발전을 가져오게 하였다. 광 패턴 인식, 보안 시스템, 광학 소자, 디스플레이, 광 메모리 등 그 응용 분야가 날로 넓어지고 있다. 특히 최근에 차세대 대용량 저장매체로 급부상하고 있는 홀로그래피 디지털 데이터 시스템(HDDS : Holographic digital data storage)과 새로운 개념의 개인용 디스플레이 NED(Near eye display) 등은 중요한 연구 분야로 관심을 모으고 있다. 이러한 기술의 바탕은 홀로그래피의 원리를 응용한 각종 전자부품들의 역할이 크며, 그 중에서도 가장 널리 이용되는 것이 홀로그래피 광학 소자이다.

홀로그래피 광학소자(Holographic Optical Element : HOE)는 기계적으로 가공하여 제작하지 않고 홀로그래피 방법을 사용하여 제작된 렌즈, 간섭필터, 회절격

\*교신저자: 손상호(shsohn@knu.ac.kr)

\*\*2010년 10월 16일 접수, 2010년 12월 20일 수정원고 접수, 2010년 12월 21일 채택

자 등의 광학소자로서 활용되고 있다. 특히 회절 등의 광학 실험을 위한 광학 소자를 제작에 있어, 선택 파장, 격자상수, 각선수 등의 실험 조건이나 실험 과제에 따른 적절한 광학 소자를 홀로그래피 방법으로 제작할 수 있다는 것이 장점이다.

일반적으로 널리 사용되는 홀로그램 기록 매질인 은염(silver halide)은 다른 기록 매질과 비교하여 고해상도와 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. 그리고 실제적인 응용에서 가장 중요한 문제가 되는 것은 회절 효율로써 이를 높이기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

은염 유제에 기록된 홀로그램은 회절효율을 증가시키기 위해 표백과정을 거치게 된다. 일반적으로 상용 표백과 무정착 은염 재생성 표백을 활용한 연구는 많이 진행되어 왔으나, 반전 표백에 대한 연구는 앞에서 언급한 표백 방법들에 비해 미비한 상태이며, Hariharan는 Agfa의 은염 유제인 8E75HD로 현상액 MAA를 사용하여 반전표백으로 약 50% 정도의 회절효율과 운병호는 현상액 AAC로 80%의 회절효율을 보고한 바 있다. 이처럼 홀로그램 기록 물질에 대한 연구는 많이 이루어져 왔으나, 대부분 기록 물질은 Kodak과 Agfa와 같은 은염 유제에 한정되어 있었다. 하지만, 이들 Kodak과 Agfa와 같은 은염 유제는 2000년대 중반에 이르러 생산이 중단되었으며, 그 이후 Slavich PFG-01 물질이 대체 물질로 생산되어 이용되기 시작하였다. Slavich PFG-01는 기존의 Kodak과 Agfa와는 은염의 크기, 은 함유량, 은염유제의 두께 등의 특성이 다른 것으로 기존의 연구 결과로는 실험 및 연구에 적용이 어려울 뿐 아니라, Slavich PFG-01에 대한 연구도 미비한 상태이므로 새로운 물질에 대한 화학적 처리 조건과 회절격자의 특성에 대한 연구가 필요하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 은염 물질인 Slavich PFG-01을 사용하여 투과형 홀로그래피 회절격자를 제작하고, 고효율의 회절격자 제작을 위한 현상액의 조성 등과 같은 화학적 처리 과정의 조건들을 파악하고, 반전 표백과 무정착 은염 재생성 표백에 의한 회절격자의 회절 효율 특성에 대해 알아보하고자 하였다.

## II. 실험 방법

같은 진폭을 가진 두 개의 평면파가 만드는 간섭무늬를 기록하는데 서로 강화시키는 부분과 약화시키는 부분이 간섭 줄무늬로 나타난다. 홀로그램 기록 물질 상에서 이러한 간섭을 일으키고 그 간섭무늬를 기록하기 위해 파장이 632.8nm인 He-Ne 레이저를 사용 두 빔을 각각 22.5°로, 두 빔의 세기는 1:1로 하여 공간주파수 1200 lines/mm인 투과형 회절격자를 제작하였다. 기록 물질로 사용한 Slavich PFG-01은 기존의 홀로그램 기록 물질인 Kodak이나 Agfa에 비해 은염의 크기가 10nm 정도 작으며, 은의 함유량도 약 1/2배 정도이다. 그리고 은염 유제 두께의 경우는 Slavich PFG-01이 다른 기록 물질에 비해 약 1.5배 두꺼우며, 분해능은 2,000(l/mm)로 낮다.

Table 1은 무정착 은염 재생성 표백과 반전표백에 따른 화학적 처리과정이다.

현상이 끝난 후, 은염유제에 남아 현상액의 잔여물에 의한 현상작용을 정지시키기 위해 증류수를 사용하여 은염유제를 수세한다. 수세를 끝낸 은염유제는 표백 과정을 거치게 되는데, 본 실험에서는 무정착 은염 재생성 표백과 반전표백 방법을 사용하였다. 표백이 끝난 은염유제는 표백의 잔여물에 의한 표백 작용의 지속을 방지하기 위해 증류수를 이용하여 수세를 하였다. 수세를 한 후, 50%의 이소프로필 알코올과 100%의 이소프로필 알코올로 건조를 한다. 알콜 건조 방법은 젤라틴의 탄닝에 의한 굴절률 변조를 증폭시키는 역할을 하여 홀로그램의 효율과 밀접한 관계가 있다. 그리고 알코올 건조 후 약 24시간동안 상온에서 자연건조를 하여 은염 홀로그래피 회절격자를 완성하게 된다.

Table 1 Processing Schedule

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

**Table 2** Developer Composition(g/L)

Formula	MSC	AAC	HSC	MAA	PAAC	HAAC
L-ascorbic acid		20		20	20	20
Metol	1.0			1.0		
Phenidone					0.2	
Hydroquinone			10			6
Sodium carbonate	60	60	60	60	60	60

Table 2는 실험에 사용된 현상액들의 조성을 나타낸 것이다.

현상 주약으로 l-ascorbic acid, metol, phenidone, hydroquinone을 사용하였으며, 알칼리 상태의 현상액을 만들어 현상 활동을 촉진시키는 역할을 하는 촉진제는 탄산나트륨(sodium carbonate)을 사용하였다.

Table 3과 Table 4는 각각 무정착 은염 재생성 표백에 사용된 표백액의 조성 and 반전표백에 사용된 표백액의 조성을 나타낸 것이다.

**Table 3** Fixation Free Rehalogenating Bleach Composition

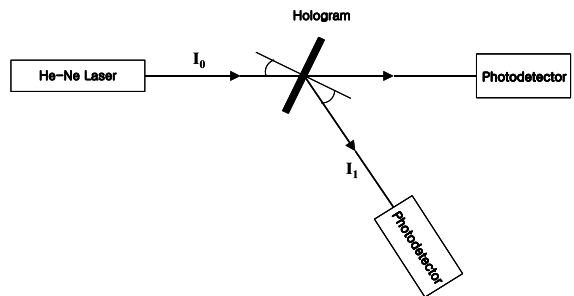
Potassium dichromate	0.8g
Potassium bromide	10g
Sulfuric acid	1.0mL
Distilled water	1.0L

**Table 4** Reversal Bleach Composition

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

표백방법은 상용표백(conventional bleach)과 정착과정을 생략한 무정착 은염 재생성 표백(fixation free rehalogenation bleach) 그리고 반전표백(reversal bleach)으로 분류한다. 일반적으로 많이 이용하는 상용표백은 현상 후 정착과정을 통하여 현상되지 않은 은염을 제거하고 표백과정에서 금속은을 다시 은염으로 재생성하여 굴절을 변조를 기록하는 방법이다. 그러나 상용표백은 정착과정에서 비노출영역의 은염이 제거되므로 감광유제의 두께가 감소한다는 점과 처리과정 동안 입자 크기가 증가함으로 인한 산란의 정도가 강해진다는 단점을 가지고 있다. 이러한 상용표백의 단점을 보완하기 위해 정착 단계를 생

략한 것이 무정착 은염 재생성 표백과 반전표백이다. 무정착 은염 재생성 표백은 현상된 금속은을 바로 표백하여 은염으로 변환시킨 노출영역과 비노출영역에 남아 있는 은염의 조성 and 농도 차에 의한 굴절을 변조로 회절격자를 만드는 방법으로 은염의 제거가 상용표백에 비해 적으므로 감광 유제층의 두께 변화가 최소화되는 장점을 지니고 있다. 그러나 은염 생성 수준이 너무 높으면 은염들이 거대하게 응집하여 산란광량을 크게 한다. 반전표백은 현상된 금속은을 은이온으로 변환하여 용액에 용해시켜 제거하고 비노출영역의 은염만으로 회절격자를 만드는 방법이며, 비노출영역의 은염은 처리 용액에 큰 영향을 받지 않으므로 산란의 정도가 작다.



**Fig. 1** Apparatus for measuring diffraction efficiencies

홀로그램 회절격자의 회절효율을 측정하는데 사용한 장치는 Fig.1과 같다. 홀로그램의 회절효율 측정에 있어, 회절효율은 입사광(I0)에 대한 Bragg 각도에서 1차 회절광(I1)의 비로 정의한다. 실제로 회절효율을 측정할 때에는 입사광이 은염유제의 경계면에서 반사가 일어나므로 순수한 입사광은 반사된 광을 제외하여야 하며, 본 실험에서는 반사광을 제외한 회절효율을 측정하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 metol을 현상 주약으로 사용한 현상액 MSC에서의 무정착 은염 재생성 표백 과 반전표백에서의 회절효율을 나타낸 것이다.

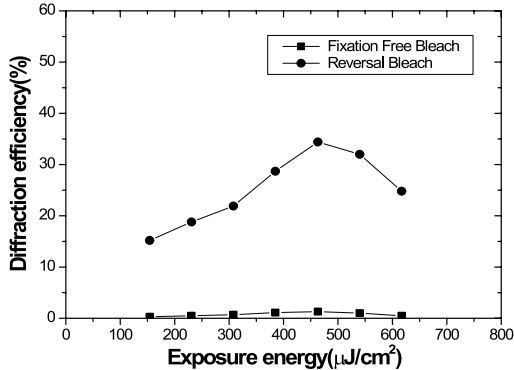


Fig. 2 Diffraction efficiencies vs exposure energy curves of a reversal bleach and a fixation free rehalogenating bleach in the case of MSC developer.

무정착 은염 재생성 표백의 경우 회절효율은 상당히 낮았으며, 반전표백의 경우는 33.4%를 보였다. 현상액에 의해 노출영역의 은염이 금속은으로 환원되어 무정착 은염 재생성 표백에서 다시 은염으로 변환시킨 노출영역과 비노출영역에 남아있는 은염에 의한 굴절율에 따라 회절효율이 결정된다. 무정착 은염 재생성 표백에서 회절효율이 낮은 것은 상용표백 등에서 단점으로 나타난 은염의 재생성에 따른 은염의 크기 변화로 인해 회절효율에 영향을 준 것으로 판단된다. 이러한 점에서 재생성된 은염에 대한 더 구체적인 연구가 필요한 부분이라 생각한다.

현상액 AAC에서 반전표백과 무정착 은염 재생성 표백의 최대회절효율을 비교한 것을 Fig. 3에 나타내었다. 최대회절효율은 반전표백 89.0%, 무정착 은염 재생성 표백 82.1%로 반전표백에서 증가함을 볼 수 있다.

상용표백에서 현상액 AAC를 사용한 연구 중에는 기록물질 Agfa 8E75HD를 사용하여 80%의 회절효율을, 기록물질 BB-640을 사용하여 82.9%의 회절효율을 보고한 바 있다. 그리고 무정착 은염 재생성 표백에서 현상액 AAC를 사용한 연구 중에는 기록물질 Agfa 8E75HD를 사용하여 70%의 회절효율을, 기록

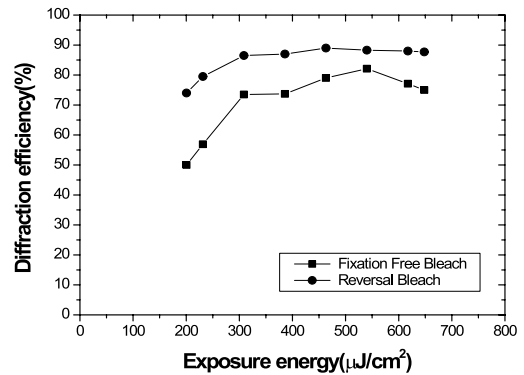


Fig. 3 Diffraction efficiencies vs exposure energy curves for a reversal bleach and a fixation free rehalogenating bleach in the case of AAC developer.

물질 BB-640을 사용하여 69%의 회절효율을 보고하였다. 이러한 기존 연구들과 비교할 때, 본 연구에서 사용한 Slavich PFG-01는 표백방법과 현상액의 조성으로 기존의 홀로그래피 기록 물질들보다 더 높은 회절효율을 얻을 수 있다고 생각한다.

처리과정 중 확산이동효과는 현상 과정 동안에 비노출영역의 은염이 노출영역으로 이동하여 노출영역의 은염과 함께 금속은으로 환원되는 현상을 말한다. 이는 상용표백이나 무정착 은염 재생성 표백의 경우, 비노출영역의 은염이 노출영역으로 이동하여 금속은이 되면 표백과정에서 모두 은염으로 재생성되어 결과적으로 남아 있는 은염의 양이 증가하여 굴절율 변화가 커지게 되어 회절효율의 상승을 가져 올 수 있다. 하지만 반전 표백의 경우 회절효율은 현상된 은염이 표백과정에서 제거되고 비노출영역에 남아 있는 현상되지 않은 은염과 젤라틴의 굴절률 차에 의존하게 된다. 따라서 반전 표백에서 비노출영역의 은염이 노출영역으로 이동하여 노출영역의 은염과 같이 금속은으로 되면 비노출영역에 남아 있는 은염의 감소로 인하여 굴절률 변화가 작아지게 되며, 결국 회절효율 감소의 원인이 된다.

따라서 현상액 AAC는 반전표백에서 회절효율이 증가하는 것으로 보아, 반전표백에서 확산 이동 효과가 약하게 일어나거나, 무정착 은염 재생성 표백에서 재생된 은염들의 크기 변화로 인한 산란광량의 증가로 반전표백에 비해 회절효율이 낮아진 것으로 생각되며, 반전표백에서 유리한 현상액이라 판단된다.

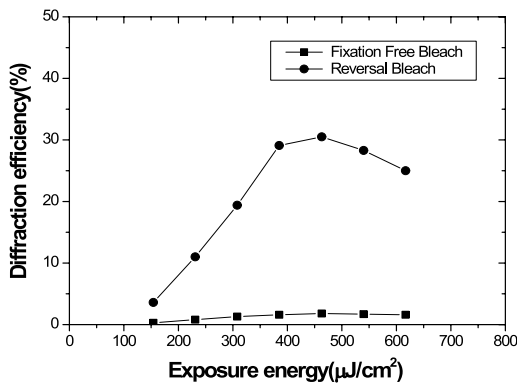


Fig. 4 Diffraction efficiencies vs exposure energy curves for a reversal bleach and a fixation free rehalogenating bleach in the case of HSC developer.

Fig. 4는 hydroquinone을 현상 주약으로 사용한 현상액 HSC에서의 무정착 은염 재생성 표백과 반전 표백에서의 회절효율을 나타낸 것이다. 무정착 은염 재생성 표백의 경우 회절효율은 상당히 낮았으며, 반전표백의 경우는 30.5%를 보였다. Fig. 1의 현상액 MSC와 비슷한 결과를 보이며, 반전표백에 더 유리한 현상액이라고 판단된다.

현상액 MAA를 사용하였을 때, 반전표백과 무정착 은염 재생성 표백에서의 최대회절효율의 결과를 나타낸 것이 Fig. 5이다. 반전 표백에서 76.5%, 무정착 은염 재생성 표백에서 78.0%의 회절효율을 보였다. 두 표백 방법에 따른 회절효율에는 큰 차이는 없지만, 무정착 은염 재생성 표백의 경우 반전표백에 비해 높은

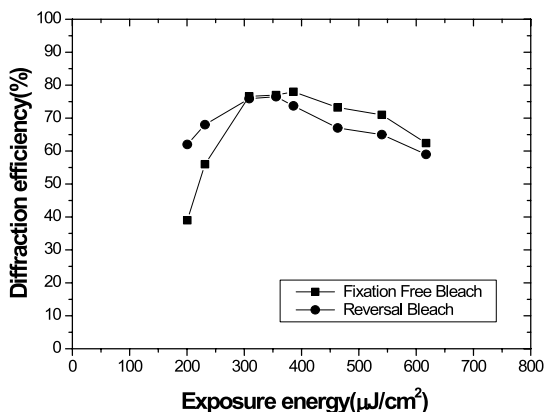


Fig. 5 Diffraction efficiencies and exposure energy curves for a reversal bleach and a fixation free rehalogenating bleach in the case of MAA developer.

노출에너지에서 최대회절효율이 나타남을 알 수 있다. 현상액 MAA는 현상액 MSC에 현상 주약 1-ascorbic acid를 추가로 혼합하여 만든 것이기 때문에 Fig. 2의 결과와 비교하였을 때, 현상 주약 1-ascorbic acid가 회절효율 증가에 영향을 준 것으로 판단된다.

Hariharan의 연구에서는 Agfa 8E75HD를 이용하여 현상액 MAA에서 반전표백으로 70%의 회절효율과 비교하여 Slavich PFG-01는 반전표백에서 6.5%의 회절효율 증가와 무정착 은염 재생성 표백의 경우는 8.0%의 회절효율 증가로 기존의 홀로그래피 기록물질과는 다름을 알 수 있다.

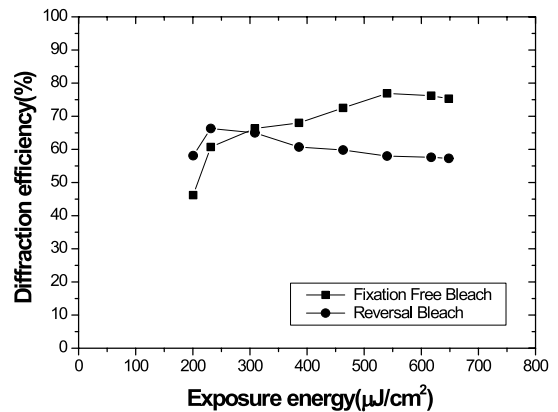


Fig. 6 Diffraction efficiencies vs exposure energy curves for a reversal bleach and a fixation free rehalogenating bleach in the case of PAAC developer.

Fig. 6는 두 가지 표백 과정에서 현상액 PAAC의 최대회절효율의 변화를 비교한 그래프이다. 반전표백의 경우 낮은 노출에너지에서 최대회절효율 66.3%가 나타났으며, 노출에너지의 증가에 따라 조금씩 회절효율이 감소함을 볼 수 있다. 하지만, 무정착 은염 재생성 표백의 경우는 높은 노출에너지에서 최대회절효율 76.9%를 나타내며, 반전표백 방법에 비해 10.6%의 회절효율 상승을 가져 왔다. Fig. 3의 현상액 AAC에서는 무정착 은염 재생성 표백에 비해 반전표백에서 더 높은 회절효율을 나타낸 점과 비교한다면, 1-ascorbic acid와 phenidone 두 가지 현상 주약의 역할에 대해 phenidone의 화학적 특성이 반전 표백보다는 무정착 은염 재생성 표백의 경우가 더 유리하다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 무정착 은염 재생성 표백과 반전표백에서

의 현상액 HAAC의 최대회절효율을 비교한 그래프이다. 최대회절효율은 반전표백에서 76.2%로 무정착 은염 재생성 표백의 72.0%에 비해 약 4.2% 증가하였다. 반전표백의 경우는 노출에너지의 증가에 따라 회절효율이 증가하다가 감소하는 경향을 보이지만, 무정착 은염 재생성 표백은 계속 증가하는 경향을 나타내고 있다. 무정착 은염 재생성 표백에서 노출에너지 증가는 비노출영역 은염의 환원 그리고 표백 과정에서의 은염 재생성에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

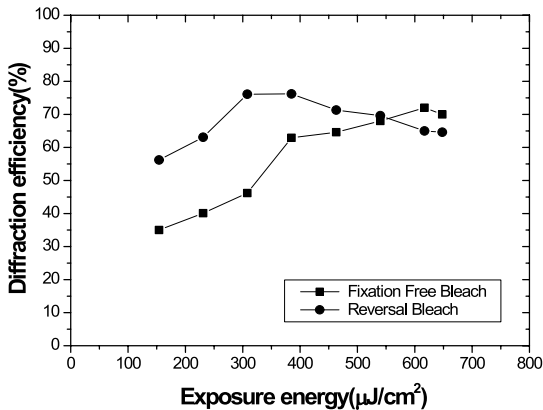


Fig. 7 Diffraction efficiencies vs exposure energy curves for a reversal bleach and a fixation free rehalogenating bleach in the case of HAAC developer.

Table 5는 본 실험에 사용된 현상액의 표백 방법에 대한 최대회절효율과 노출에너지를 나타낸 것이다. 현상액 AAC를 사용하여 반전표백으로 노출에너지 463(μJ/cm²)에서 89.0%의 최대회절효율을 얻었다. 그리고 무정착 은염 재생성 표백은 현상액 AAC에서 최대회절효율 82.1%이었으며, 노출에너지 540(μJ/cm²)

이었다. Agfa 8E75HD나 BB-640의 경우 최대회절효율이 노출에너지 150~200(μJ/cm²)에서 나타난 것과 비교해 본다면, 은염의 크기와 은염의 두께 차이로 인한 결과로 판단된다.

현상액 MSC, AAC, HSC는 한 가지 현상 주약으로 이루어져 있으나, 현상액 MAA, PAAC, HAAC는 두 가지 현상 주약이 혼합된 경우이다. AAC를 제외한 한 가지 현상 주약으로 된 현상액 MSC와 HSC에 비해 두 가지 현상 주약이 혼합된 현상액의 회절효율이 두 표백방법에서 모두 높게 나타났다. 이는 서로 다른 각각의 현상 주약이 가지는 효율에 비해 두 가지 현상 주약을 혼합한 경우 더 높은 회절효율을 나타낼 수 있다는 초부가성 효과(superadditivity effect)라고 판단된다. 그리고 최대회절효율과 노출에너지와의 관계에서는 실험에 사용된 대부분의 현상액에서 무정착 은염 재생성 표백이 반전표백에 비해 높은 노출에너지가 필요함을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

고등 및 대학 등 과학실험교육에서 사용되는 다양한 실험기구들 중 렌즈, 간섭필터, 회절격자, 무아레 무늬 등의 광학소자는 기계적으로 제작된 광학소자를 주로 사용하였다. 그러나 일선 학교에서 사용되는 이러한 광학소자는 낮은 분해능, 수차 등의 문제점과 고가라는 경제적 측면과 실험자와 실험문제의 조건에 맞는 광학소자를 구하기가 어렵다는 것이 단점이였다. 특히 회절 실험에 있어 선택 파장, 격자상수, 각선 수 등의 실험 조건에 적절한 실험기구를 구하기가 힘든 경우가 많았다. 이에 실험 조건이나 실험 과제에 따른 적절한 광학 소자를 홀로그래피 방법으로 제작함으

Table 5 Maximum diffraction efficiencies(Max. D.E.) and exposure energies (E) for a reversal bleach and a fixation free bleach

Developer	Reversal bleach		Fixation free bleach	
	Max. D.E.(%)	E(μJ/cm²)	Max. D.E.(%)	E(μJ/cm²)
MSC	34.4	463	1.3	463
AAC	89.0	463	82.1	540
HSC	30.5	463	1.8	463
MAA	76.5	355	78.0	386
PAAC	66.3	232	76.9	540
HAAC	81.4	385	72.0	617

로 다양한 실험에 적용하고, 실험 기구에 대한 실험의 문제점을 해결할 수 있는 고효율 홀로그래피 회절격자를 제작할 수 있는 방법과 그 특성을 알아보았다.

Slavich PFG-01을 사용하여 투과형 홀로그래피 회절격자를 제작하고, 고효율의 회절격자 제작을 위한 현상액의 조성 등과 같은 화학적 처리 과정의 조건들을 알아보고, 무정착 은염 재생성 표백과 반전표백에 의한 회절격자의 회절 효율 특성을 조사하였다. 현상액 AAC를 사용하여 반전표백에서 89.0%과 무정착 은염 재생성 표백에서 82.1%의 최대회절효율을 얻었으며, 무정착 은염 재생성 표백의 경우는 반전표백에 비해 높은 노출에너지가 필요함을 알 수 있었다. 기존의 홀로그래피 기록물질인 Agfa 8E75HD나 BB-640로 보고된 회절효율에 비해 더 높은 회절효율 얻을 수 있었으며, 기록물질 특성 차이로 인해 더 높은 노출에너지가 필요함을 알 수 있었다.

한 가지 현상 주약으로 이루어진 현상액에 비해 두 가지 현상 주약을 혼합한 경우 더 높은 회절효율을 얻을 수 있었으며, 대체로 반전표백에 비해 무정착 은염 재생성 표백에서 높은 회절효율을 나타내었다. 이러한 특성을 바탕으로 다양한 현상액의 조성 및 농도 변화와 표백방법에 따라 Slavich PFG-01을 사용하여 고효율의 회절격자를 제작할 수 있으며, 기존의 홀로그래피 기록 물질을 대체할 수 있을 거라고 생각한다.

그리고 이러한 결과를 통해 제작된 실험기구를 사용함으로써 학교 현장의 과학실험기구 사용에 폭을 확대할 수 있으며, 적절한 실험 기구의 선택을 통한 실험수업의 개선에 도움이 될 것이라고 생각한다.

## 참고 문헌

- Bjelkhagen, H. I.(1995). Silver-Halide Recording Materials for Holography and Their Processing, Berlin: Springer.
- Carrol, B. H., Higgins, G. C., & James, T. H.(1986). Introduction to Photographic Theory : The Silver Halide Process, New York: John Wiley & Sons.
- Hariharan, P., & Chidley, C.M.(1987). Photographic phase holograms; the influence of developer composition on scattering and diffraction efficiency. Appl Opt. 26, 1230-1234.
- Hariharan, P., & Chidley, C.M.(1988). Rehalogenating bleaches for photographic phase holograms. 2: Spatial frequency effects. Appl Opt, 27, 3852-3854.
- Kim, J.M., Choi, B.S., Kim, S.I., Kim, J.M., Bjelkhagen, H.J., & Phillips, N.J.(2001). Holographic optical elements recorded in silver halide sensitized gelatin emulsions. Part I. Transmission holographic optical elements. Appl Opt, 40, 622-632.
- Neipp, C., Belendez, A., & Pascual, I.(2000). The influence of the development in silver halide sensitized gelatin holograms derived from PFG-01 plates, Opt Commun, 173, 161-167.
- Neipp, C., Pascual, I., & Belendez, A.(2001). Effects of overmodulation in fixation-free rehalogenating bleached hologram, Appl Opt, 40, 3402-3408.
- Neipp, C., Pascual, I., & Belendez, A.(2001). Theoretical and experimental analysis of overmodulation effects in volume holograms recorded on BB-640 emulsion, Appl Opt, 3, 504-513.
- Oliva, J., Boj, P. G., & Pardo, M.(1984). Dichromated gelatin holograms derived from Agfa 8E75HD plates, Appl Opt, 23, 196.
- Ulibarrena, M., Méndez, M.J., Carretero, L., Madrigal, R., & Fimia, A.(2002). Comparison of Direct Rehalogenating and Solvent Bleaching Processes with BB-640 Plates, Appl Opt, 41, 4120-4123.

## 국문 요약

본 연구에서는 은염 물질인 Slavich PFG-01을 사용하여 투과형 홀로그래피 회절격자를 제작하고, 고효율의 회절격자 제작을 위한 현상액의 조성 등과 같은 화학적 처리 과정의 조건들을 파악하고, 반전표백과 무정착 은염 재생성 표백에 의한 회절격자의 회절 효율 특성에 대해 알아보았다.

현상액 AAC를 사용하여 반전표백에서 89.0%과 무정착 은염 재생성 표백에서 82.1%의 최대회절효율을 얻었으며, 무정착 은염 재생성 표백의 경우는 반전표백에 비해 높은 노출에너지가 필요함을 알 수 있었다. 기존의 홀로그래피 기록물질인 Agfa 8E75HD나 BB-640로 보고된 회절효율에 비해 더 높은 회절효율을 얻을 수 있었으며, 기록물질 특성 차이로 인해 더 높은 노출에너지가 필요함을 알 수 있었다.

한 가지 현상 주약으로 이루어진 현상액에 비해 두 가지 현상 주약을 혼합한 경우 더 높은 회절효율을 얻을 수 있었으며, 대체로 반전표백에 비해 무정착 은염 재생성 표백에서 높은 회절효율을 나타내었다.

주요어: 홀로그래피 기록 물질, 홀로그래프 회절격자, 표백방법, 회절격자