# 마이크로 홀로그래픽 시스템에서 미디어의 소진효과 Effect of dynamic range consumption for microholographic data storage system

김도형\*, 민철기\*\*, 조장현\*, 김낙영\*, 박경수\*\*, 박노철<sup>†</sup>, 양현석\*\*, 박영필\*\* Do-Hyung Kim, Cheol-Ki Min, Janghyun Cho, Nakyeong Kim, Kyoung-Su Park, No-Cheol Park, Hyunseok Yang and Young-Pil Park

(2011 년 3월 15일 접수; 2011 년 3월 22일 심사완료; 2011 년 3월 24일 게재확정)

#### Abstract

In microholographic data storage system (MDSS), compact recording is required to achieve high capacity.[1] When the data is recorded, neighbor monomer is also affected by reaction at the focal point.[2,3] This unintended process caused more monomer consumption and degradation of total capacity. To avoid this extra consumption of dynamic range, it is required to define the effective dynamic range for MDSS. In this paper, we experimentally investigate the relation between dynamic range consumption and micro grating formation. Dynamic range consumption was monitored by real time read-out system. Micrograting was recorded with different consumption ratio and compared by diffraction efficiency of track direction. Finally, we define suitable dynamic range for MDSS

Key Words: Microhologram,, Photopolymer, Dynamic range

# 1. 서 론

최근 데이터 양의 지속적인 증가와 더불어 고 용량 저장장치의 연구에 대한 필요성이 지속적으 로 대두되고 있다. 그 중 홀로그래픽 광 메모리 시스템은 기존의 광학 메모리가 가지는 물리적인 용량의 한계를 극복할 수 있는 차세대 광학 메모 리 시스템으로써 지속적으로 연구가 이루어 지고 있는 분야이다. 홀로그래픽 광 메모리 시스템은 기록 매체 전체를 정보의 기록에 사용할 수 있다 는 점과, 각도, Shift, 위상부호 다중화 등의 다중화 기법을 이용하여, 기존의 광학 메모리에 비해 월 등한 정보 저장 용량을 구현하는 것이 가능하다. 이러한 홀로그래픽 광 메모리 시스템은 데이터를

†	연세대학교 기계공학과
	E-mail : mat21@yonsei.ac.kr
	TEL: (02) 2123-4677
\$	◎ 정보저장기기연구센터
**	연세대학교 기계공학과



Fig. 1 Page-Bit oriented holographic system

페이지 형태로 기록하는 Page-oriented 홀로그래픽 광 메모리 시스템과 데이터를 기존의 광학 메모리 처럼 이진 형태로 저장을 하는 Bit-oriented 홀로그 래픽 광 메모리 시스템으로 나누어진다. Fig. 1 이 중 Bit-oriented (이하 Micro holographic data storage) 홀로그래픽 광 메모리 시스템은 Page 기반 홀로그래픽 광 메모리 시스템에 비해 시스템의 구 조가 간단하고, 기존의 광학 디스크와 호환을 시 킬 수 있다는 점에서 많은 연구가 이루어지고 있 는 분야이다.

이러한 홀로그래픽 메모리의 기록 매질로는 흔히 철이나 망간 등이 도핑된 광굴절 크리스탈 (LiNbO3 등)과 포토 폴리머가 흔히 사용된다. 이 중 포토 폴리머는 큰 저장용량과 높은 광 민감도 로 인해 가장 널리 쓰이고 있는 저장 물질이다.

본 논문에서는 마이크로 홀로그래픽 광 메모리 시스템에서의 포토 폴리머의 기록 특성과 이러한 기록 특성이 미디어와 기록된 홀로그램에 어떠한 영향을 미치는 지를 분석해 보았다.

## 2. Photopolymer 의 기록 메커니즘

포토 폴리머는 일반적으로 모노머와 Initiator 의 합성물로 이루어져 있다. 이러한 포토 폴리머에 정보를 가진 신호빔과 기준빔이 입사가 되면 간섭 에 의해 간섭무늬가 형성이 된다. 이렇게 형성된 간섭무늬는 포토 폴리머 내부에서 특정한 모양의 밝기 패턴을 가지게 된다.

이때 포토 폴리머 내부의 Monomer 들이 빛에 의 해 반응을 하기 시작하고, 상대적으로 어두운 쪽 에 있는 Monomer 들이 밝은 쪽으로 확산이 되면 서 폴리머 형태로 결합이 되기 시작한다. Fig. 2 이 러한 일련의 과정을 거쳐 모노머의 재분배가 이루 어진다. 이러한 현상이 일어난 직후 포토 폴리머 내부의 물질의 밀도는 격자와 같은 형태로 재배열 이 일어나고 이는 빛의 입장에서 볼 때 굴절율의 변조를 일으킨다. 이 굴절율의 변조를 기록함으로 써 포토폴리머에 정보가 기록이 된다.

각각의 포토폴리머 미디어들은 반응 할 수 있는 고유의 모노머의 양을 가지고 있고, 이 모노머의 양은 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템의 전체 적인 용량을 결정하는 가장 중요한 파라미터이다. 일반적으로 이러한 파라미터를 미디어의 다이나믹 레인지 라고 말한다.

즉 홀로그래픽 데이터 스토리지의 저장 용량은 이 한정된 포토폴리머의 다이나믹 레인지를 다중화 기록을 통해 얼마나 효율적으로 사용하는가에 따 라 결정이 된다. 일반적으로 Page 기반의 홀로그 래픽 데이터 스토리지의 경우 기록 영역에서 미디 어의 모든 Volume 를 사용하기 때문에, 저장 시스 템의 용량을 최대한으로 늘리기 위해 미디어의 다



Fig. 2 Recording mechanism of photopolymer

이나믹 레인지를 모두 사용해서 기록을 하게 된다. 반면에 마이크로 홀로그래픽 스토리지 시스템은 두 렌즈를 통한 빛이 홀로그램의 내부에 국소적인 영역에 간섭 무늬를 형성을 시켜 가능한 작은 영 역에 홀로그램을 기록을 하게 된다. 이러한 기록 방식은 홀로그램이 포토폴리머의 내부에 국소적으 로 기록이 되기 때문에, 기록 영역뿐 만 아니라 주변의 모노머의 반응에도 영향을 주게 되며 이는 메모리 시스템의 전체적인 용량의 저하를 가져오 게 된다.

본 논문에서는 이러한 원치 않은 미디어의 손실이 홀로그램의 기록에 어떤 영향을 끼치는지를 실험 적 모델링을 통해 검증하고, 저장 용량의 최대화 를 위한 효과적인 다이나믹 레인지의 사용에 대한 제안을 하였다.

#### 3. 실험

#### 3.1 실험 장치 구성도

연구를 위한 실험 장치의 구성은 다음의 Fig. 3 과 같다. 실험 구성은 일반적인 더블사이드 마이 크로 홀로그래픽 메모리 시스템의 구조를 가진다. 광원으로는 532nm 의 Nd-Yag 레이저를 사용하였다. 광원의 빔은 Spatial filter 을 통해 확대가 된 후 lambda/4 를 통과하여 원 편광으로 변환된다. 이렇 게 변환된 빔은 BS 를 통해 신호빔과 기준빔으로 나누어진다. 신호빔과 기준빔은 양쪽 방향의 오브 젝티브 렌즈(NA 0.2)를 통해 미디어의 양쪽에서 집속 되었다. 기록 미디어는 쿠폰형태의 포토 폴 리머를 사용하였고, 미디어의 정확한 정렬을 위해 전동 Linear stage 가 사용이 되었다.

#### 3.2 실험 진행

실험의 진행은 먼저 포토폴리머의 다이나믹 레인 지를 측정하고, 다이나믹 레인지의 소모양이 마이 크로 홀로그램의 기록에 어떠한 영향을 미치는 지 를 확인하는 순서로 진행을 하였다.

먼저 정확한 다이나믹 레인지의 측정을 위해 홀로 그램의 생성을 실시간으로 모니터링 하기 위한 방 법이 구현되었다. 실시간 모니터링의 과정은 다음 Fig. 4 과 같이 이루어진다. 기록 작업이 시작되면 먼저 신호빔의 일부가 BS 를 통해 반사되어 PD 에 서 측정된다. 이후 홀로그램의 기록이 진행될수록 기준빔의 일부가 신호빔으로 커플링이 이루어져 PD 에서 측정이 되게 된다.

이를 통해 현재 미디어의 다이나믹 레인지의 소 모를 정확하게 모니터링 하는 것이 가능하다. 이 때 신호빔과 기준빔의 파워가 강할 경우 미디어의 소모가 급격하게 일어나 정확한 모니터링이 불가 능 하게 될 우려가 있다. 이를 피하기 위해서 신 호빔과 기준빔은 각각 10 교 약한 파워로 조정



Fig. 3 System architecture



Fig. 4 Real time monitoring system

해서 사용하였다.

## 4. 실험 결과

#### 4.1 다이나믹 레인지 모니터링

다음 Fig. 5 은 실시간 모니터링을 통해 얻어진 포토폴리머의 Cumulating Curve 이다. 그래프에서 알 수 있듯이 기록이 시작된 후 기록시간이 증가 할수록 마이크로 홀로그램으로부터 회절되는 파워 가 증가하는 것을 확인할 수 있고, 어느 정도 증 가 후에는 반응이 Saturation 되는 현상을 확인할 수 있었다. 이 시점에서는 더 이상 회절 효율의 증가가 일어나지 않고, 이는 기록 지점 부근의 모 노머들이 모두 소비되었음 의미한다. 본 실험에 사용된 포토폴리머의 경우 기록 시작 후 약 30 초 가 지난 시점에서 그래프고 Saturation 되는 경향을 나타내었고, 이 양이 미디어의 다이나믹 레인지임 을 알 수 있다.



Fig. 5 Cumulating curve of photopolymer

#### 4.2 기록 실험

다이나믹 레인지의 손실 정도가 기록된 마이크 로 홀로그램에 어떠한 영향을 주는지를 알아보기 위해서 각각 다른 양의 다이나믹 레인지를 사용하 여 홀로그램을 기록해 보았다. 각각의 홀로그램은 10%부터 Saturation 될 때까지 조건을 변화시키 며 기록을 했다. 각각의 홀로그램의 기록이 끝난 후에는 후처리 과정을 통해 여분의 모노머 들을 전부 소진시켜 주었다.

#### 4.3 미디어 소진 효과

각각의 다른 조건으로 기록이 끝난 직후 미디어 를 전동 스테이지를 통해 옆 Spot 으로 (13.6 µm) 이동시킨 후 미디어의 다이나믹 레인지를 측정해 보았다. 측정된 결과는 다음의 그래프와 같이 나 타났다. Fig. 6 에서 확인 할 수 있듯이 기록이 일 어난 직후 Fig. 6(a) 인접 Spot 의 다이나믹 레인지 가 원래의 양에 비해 감소하는 현상을 볼 수 있었 고, Fig. 6(b) 이를 통해 포토폴리머에 마이크로 홀로그램이 기록될 때 기록 영역뿐만 아니라 인접 영역의 모노머까지 반응을 해서 소모 된다는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 각각 다른 기록 조건에 대하여 인접 영역의 모노머의 소진을 확인해 보았다. Table. 1 실험은 각각의 홀 로그램을 다른 기록 조건으로 기록을 한 후, 인접 영역으로 미디어를 이동시켜 (13.6 /m) 미디어의 소진 효과를 보았다.

결과는 다음의 Fig. 7 그래프와 같이 나타났다. 기 록 영역에서의 미디어의 소진이 심할수록 인접 영 역에서의 미디어 또한 소모되어 감을 그래프를 통 해 확인 할 수 있었고, 특히 기록 영역에서 모든 다이나믹 레인지를 소모할 경우 인접 Spot 에서는 원래 다이나믹 레인지의 30% 정도만이 남는 것을 확인 할 수 있었다.



Fig. 6 (a) Consumption of dynamic range in recording area



Fig. 6 (b) Consumption of dynamic range in adjacent area

Recording Condition (Sec)	Remain Dynamic range(%)
1	1
2	0.94
3	0.83
4	0.71
6	0.58
8	0.49
10	0.42
20	0.31
30	0.26

 Table 1 Dynamic range consumption ratio in each

 recording condition



Fig. 7 Dynamic range consumption ratio

#### 4.4 Efficiency Curve

다음으로 각각의 기록 조건에 따른 홀로그램의 회절 효율을 측정해 보았다. 측정 결과는 다음 Fig. 8 같이 나타났다. 홀로그램의 기록 조건은 다 이나믹 레인지의 소모량을 10%에서 saturation 될 때까지 변화를 주어 가면서 기록을 하였다. 각각 의 홀로그램들은 500 ㎞씩 충분히 떨어뜨려 인접 기록 영역의 간섭을 완전히 배제시켜 주었다. 홀 로그램의 기록 후에는 충분한 시간의 후처리 과정 을 거쳐 남아있는 모노머들은 완전히 소진시켜 주 었다. 이렇게 기록된 홀로그램의 회절 효율을 그 래프를 통해 나타내어 보았다. 각각의 그래프들은 포토폴리머의 다이나믹 레인지의 소모량의 따른 홀로그램의 생성과의 관계를 나타내주고 있다. 흘 로그램의 회절 효율은 일반적으로 포토 폴리머

의 굴절율 변조에 비례하고, 이는 기록시 주어진 에너지의 양에 비례한다. 그런 이유로 오랜 기록 시간 동안 기록한 샘플들은 짧은 시간 동안 기록 한 샘플들에 비해 높은 회절 효율을 나타냄을 확 인 할 수 있었다. 반면에 기록 시간의 증가는 근 처 모노머들을 끌어와 홀로그램의 사이즈를 증가 시키는 효과까지 보임을 확인 할 수 있었다. 특히 Page 기반의 홀로그램처럼 모든 다이나믹 레인지 를 사용하여 홀로그램을 기록하였을 경우 홀로그 램의 크기가 크게 증가함을 확인 할 수 있었다. 이러한 홀로그램의 사이즈의 증가 효과는 전체 저 장 시스템에 있어서 전체적인 용량의 저하를 가져 오게 된다. 본 실험에서 사용된 포토 폴리머의 경 우 다이나믹 레인지의 30% 이상의 영역을 사용했 을 때 기록된 홀로그램의 사이즈가 시뮬레이션 상 의 광학계의 Spot size 보다 커지기 시작하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 이 지점을 중심으로 Side lobe 부분의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있 었다. 이러한 Side lobe 의 증가 현상은 시스템 상 에서 치명적인 노이즈로 작용할 수 있고, 이는 시 스템 전체의 성능을 크게 떨어뜨리게 된다.

#### 5. 결론

본 연구는 마이크로 홀로그래픽 시스템에서 다 이나믹 레인지의 소비와 마이크로 홀로그램의 기 록 상태에 대한 관계를 실험을 통해 증명을 하였 다. 본 연구에서는 홀로그램의 기록 과정에서의 다이나믹 레인지의 소모를 실시간 모니터링 시스 템을 통해 확인하고 이러한 다이나믹 레인지의 소 모가 근접 영역의 모노머를 소모시킴을 실험적으 로 확인 할 수 있었다. 또한 다이나믹 레인지의 소비가 마이크로 홀로그램의 회절 효율을 높여주 는 것과 동시에 홀로그램의 사이즈를 증가시키는



Fig. 8 Diffraction efficiency curve

것을 확인 할 수 있었다. 이런 현상은 마이크로 홀로그래픽 시스템의 전체 저장용량의 저하를 가 져옴을 확인 할 수 있었고, 실제 실험에서 사용된 포토 폴리머의 경우 전체 다이나믹 레인지의 30% 영역을 넘어가서 기록을 한 경우, 홀로그램의 사 이즈가 광학계의 Spot size 보다 커지기 시작했고, Side lob 또한 증가하기 시작하는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 이러한 홀로그램의 사이즈 증가 및 Side lobe 의 증가를 피하기 위한 미디어의 효율적인 사용 영역을 제시했다

## 후 기

이 논문은 2009 년도 기초과학연구의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2009-0089634).

## 참고문헌

- 1] Marc Dubios, Xiaolei Shi, Christoph Erben, Brian Lawrence, Eugene Boden and Kathryn Longley "roholograms Recorded in a Thermoplastic Medium for Three-Dimensional Data Storage", JJAP Vol.25, No. 2B, 2006.
- 2] Guoheng Zhao and Pantazis Mouroulis,"Diffusion mode of hologram formation in dry photopolymer", Journal of Modern Optics, Vol. 41, No. 10, 1994.
- 3] V. L. Colvin R. G. Larson, A. L. Harris and M.L Schilling, "Quantitative model of volume hologram formation in photopolymers", J. Appl. Phys Vol. 81, No. 9, 1 May 1997.