論文98-35D-12-12

# 체적 홀로그래픽 메모리 시스템에서 AOD를 이용한 각다중화

# (AOD-based Angular Multiplexing in Volume Holographic Memory System)

文 洪 燮 *, 吉 相 瑾 **, 金 恩 洙 *

(Hong-Sub Mun, Sang-Keun Gil, and Eun-Soo Kim)

요 약

본 논문에서는 기준빔의 입사각을 AOD(acoustic-optic device)를 사용하여 전자적으로 제어함으로써 정확한 어드레스와 빠른 엑세스 시간(10㎲)을 갖는 각다중화 고밀도 체적 홀로그래픽 메모리 시스템을 구현하였다. 물체빔의 주파수 보상이 불필요한 AOD 각다중화 메모리 시스템을 설계하고, AOD의 편향각을 렌즈 조합으로 확장하여 저장용량을 6배 증가시켜 1㎤의 Fe:$LiNbO_3$ 광굴절 매질에 51개의 이미지를 저장하는 실험을 수행하였다.

**Abstract**

In this paper, we implemented an angularly multiplexed volume holographic memory system using an AOD that is controlled electronically, with rapid access time(10㎲) and accurate repeatability of the reference beam. First we designed an AOD-based angular multiplexing system without the frequency compensation of the object beam, and magnified the deflection angle of AOD through the combination of lens so that we increased the storage capacity up to six times. Finally fifty-one images were stored experimentally in a photorefractive material of 1㎤ Fe:$LiNbO_3$.

## Ⅰ. 서 론

최근 정보통신 산업의 급속한 발전으로 과거 독립적으로 발전해 오던 가전기기, 컴퓨터, 통신, 방송, 영상, 오락 등 여러 산업들이 서로 융합된 고도의 기술 · 지식 집약적 멀티 미디어 산업으로 변모해 가고 있다. 따라서, 기술발전 및 정보환경의 변화에 따른 새로운 멀티 미디어 정보통신 서비스를 위해서는 데이터 저장 매체의 초 대용량화 및 처리속도의 극대화가 더욱 가속화될 것으로 예상된다. 그러나, 기존의 반도체 메모리 기술, 자기저장 기술 및 콤팩트 디스크 기술 등은 이러한 고도 정보화 사회에서 예견되는 막대한 양의 정보를 저장하고 처리하는 데 있어서 기술적 · 경제적 한계가 있음에 따라 새로운 차원의 차세대 초대형 정보저장 매체 및 원천 기술의 개발에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 이에 따라 수백 Gbyte 이상의 막대한 데이터를 실시간 적으로 기록하고 복원할 수 있는 홀로그래픽 3차원 광메모리에 대한 연구가 최근 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다.

비선형 광굴절 매질(photorefractive materials)을 이용한 데이터의 홀로그래픽 저장방식은 기존의 2차원 개념이 아닌 3차원 입체 저장으로 그 정보저장 용량은 21세기 고도정보화 사회에서 연구되고 있는 극초대용

* 正會員, 光云大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Eng., Kwangwoon Univ.)
** 正會員, 水原大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Eng., Suwon Univ.)
※ 본 논문은 한국과학재단 '97 특정기초 연구비 지원에 의해 수행됨.
接受日字:1998年7月24日, 수정완료일:1998年11月23日

량(>Tbyte)의 데이터 저장용량과 저장된 정보를 초고속 병렬 액세스(>Gbyte/s) 할 수 있는 장점을 동시에 제공할 수 있는 차세대 데이터 저장 시스템으로 분석되고 있다. 이러한 홀로그래픽 3차원 광메모리 저장 방법은 광굴절매질의 광굴절 메카니즘에 기초하여 데이터를 각다중화[1]나 위상 부호 다중화[2] 그리고 파장 다중화[3]등의 방법으로 기록된다.

각다중화 방법은 가장 일반적인 다중화 방법 중의 하나로 광굴절매질에 입사되는 기준빔의 방향을 변화시킴으로써 다른 다중화 방법들에 비해 더 많은 영상을 저장할 수 있는 장점이 있다. 현재 주로 연구되고 있는 각다중화 방법으로는 기준빔의 각도를 스텝모터를 이용하는 기계적 제어방법과 AOD(acousto-optic deflector)를 이용하는 전자적 제어방법이 있다. 스텝모터를 이용하는 기계적 각도 제어방법은 비교적 쉽게 시스템을 구성할 수 있지만 느린 처리속도와 기록과 복원 과정에서 발생할 수 있는 스텝모터의 기계적 오차로 인해 기록과 복원시 정확한 어드레스의 제어가 불가능하다는 단점이 있다. 그러나 AOD를 이용한 각다중화 시스템은 모든 데이터 페이지가 기준빔 각도(Bragg조건)로서 정의된다면, 각 페이지는 빔 각도가 변하는 속도만큼 빠르게 재생이 가능하기 때문에 AOD와 같은 전자적인 빔 스캐너를 이용하여 고속 랜덤 엑세스가 가능하고 스텝모터에서 발생할 수 있는 기계적 오차를 제거할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 전자적으로 기준빔의 각도를 빠르고 정확하게 제어할 수 있는 AOD를 이용한 홀로그래픽 각다중화 메모리 시스템을 구현하고, 사용된 AOD 구동에 필요한 전력 증폭기 설계 및 저장 가능한 데이터 용량과 실험 결과에 대해 분석하고자 하였다.

## Ⅱ. 체적 홀로그래픽 메모리에서 각다중화

광굴절 매질에서 체적 홀로그램의 원리를 간단히 살펴보면 다음과 같다. 기준빔과 물체빔에 의한 간섭패턴에 의해 매질의 체적 내에서 광이온화(photo-ionization)현상이 발생하게 된다. 광이온화 현상에 의해 생성된 전하들은 불균일한 밀도를 가지고 있으므로, 확산(diffusion)이나 표류(drift)를 통해 균일한 공간전하분포를 발생시키게 된다. 이러한 공간전하분포는 매질 내에서 내부 전계를 형성하며, 이 전계는 전기광학효과(electro-optic effect)에 의해 물질의 국부적인 굴절률을 변화시키게 된다. 이러한 굴절률의 변화가 광굴절매질에 기록되는 것을 체적홀로그램이라 하고, 기록된 패턴은 회절격자처럼 작용하게 된다. 회절격자가 기준빔으로 다시 조사되면 격자의 평행한 면들은 Bragg조건, $\sin\phi=\lambda/2\Lambda$를 만족할 때에만 파를 회절시키게 된다. 여기서, $\phi$는 격자와 입사 기준빔 사이의 각도를 나타내고, $\Lambda$는 간섭패턴의 주기를 나타낸다. 따라서 홀로그램이 기록시의 각도와 다른 $\theta'$ 의 기준빔으로 조사되면 브라그조건, $\sin(\theta/2)=\lambda/2\Lambda$을 만족하지 않아 회절빔이 발생되지 않는다. 이러한 결과로부터 물체빔은 재생시의 기준빔의 각도가 기록시의 각도와 같을 때에만 복원이 된다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 특정 사이각을 가지고 기준빔과 물체빔사이에 기록된 홀로그램을 복원하는 경우에 기록과 복원시에 기준빔의 각도차에 의존하여 홀로그램을 다중화 시키는 방법을 각다중화 방식이라고 한다. 기록된 홀로그램을 평면파인 기준빔과 물체빔에 의해 형성된 정현파 형태의 굴절 격자라고 하면, 기준빔과 물체빔의 파벡터는 식 (1)과 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}\boldsymbol{k}_r &= k_0(-\sin\theta_r\hat{x}+\cos\theta_r\hat{z})\\ \boldsymbol{k}_o &= k_0(-\sin\theta_o\hat{x}+\cos\theta_o\hat{z})\end{aligned} \tag{1}$$

여기서, $k_0=\frac{2\pi n}{\lambda}$, $n$은 매질의 굴절률이고 $\lambda$는 진공내에서의 빛의 파장이고, 기준빔과 물체빔의 입사각인 $\theta_r$과 $\theta_o$는 매질 내에서 측정된 각이다. 이런 경우에 각 선택도, $\delta\theta_r$은 근사적으로 식 (2)와 같이 주어진다.[4]

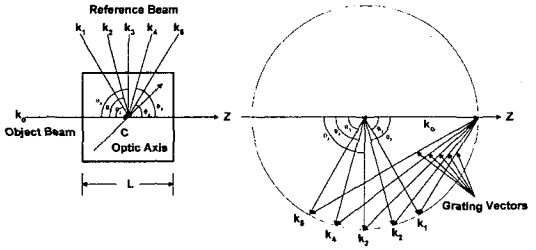
$$\delta\theta_r=\frac{\lambda\cos\theta_O}{nL\sin(\theta_r+\theta_O)} \tag{2}$$

여기서, $L$은 광굴절매질의 두께를 나타내며, $\theta_o$가 작은 경우에 가장 정확하다. 식 (2)에서 알 수 있는 바와 같이 각 선택도는 기준빔과 물체빔의 각이 90 °일 때 가장 우수하며, 이 각도를 중심으로 각 선택도는 대칭적으로 떨어지기 시작한다. 따라서 $\theta_o\approx 0$ °로 하면 식(3)과 같이 된다.[5]

$$\delta\theta_r=\frac{\lambda}{nL\sin\theta_r} \tag{3}$$

같은 체적내에 다중 홀로그램을 저장하기 위하여 식 (3)로 주어지는 각 증가분 만큼 간격을 둔 기준빔을 이용하여 동일평면에서 다중화 시켜서 복원하면 누화

가 없는 영상을 얻을 수가 있다. 그림 1은 90 ° 구조에서 각다중화 방식의 기하학적 구조를 나타낸 것이다.




(a) (b)

그림 1. 각다중화 홀로그램 기하학적 구조
(a) 광굴절 매질 내에서 홀로그래픽 상호작용의 기하학적 구조 (b) 홀로그래픽 상호작용의 파 벡터 공간 설명도

Fig. 1. Geometry of angular multiplexing.
(a) Volume interection geometry in photorefractive material and (b) wave vector space description of holographic interaction.

여기서 $\theta_r(r=1,2\cdots N)$은 기준빔의 파벡터와 z축에 의해 형성되는 각도이고, $n$, $L$은 각각 매질의 굴절율과 두께를 나타낸다. 파장이 $\lambda=500$㎚인 광원과 매질의 굴절율과 두께가 각각 $n=2.2$, $L=1$㎝(대표적 실험 수치값)을 사용할 때, 만약 기준빔의 각도 $\theta_r$이 90 °로 입사되면, 식(3)에 의해 $\delta\theta_r=22.7\,\mu rad \approx 0.001$ °로 최대가 되고, 이 각도를 정점으로 각선택도는 대칭적으로 떨어지기 시작한다. 또한 $\theta_1$에서 $\theta_5$까지의 기준빔의 대역폭 사이에서 각다중화될 수 있는 영상의 개수는 식 (4)와 같이 주어진다.[4]

$$M \approx 1+\frac{nL}{\lambda}|\cos\theta_1-\cos\theta_2| \tag{4}$$

식(4)에서와 같이 $n$, $L$, $\lambda$ 에 동일한 수치값을 적용하고, $\theta_1$과 $\theta_5$의 입사각이 각각 92 °와 88 °이면 두 입사각 사이의 대역폭에 각다중화 될 수 있는 영상의 개수는 식(4)로부터 $M \approx 3,071$정도가 됨을 알 수 있다.

## Ⅲ. AOD를 이용한 각다중화 시스템 구성

### 1. AOD 이론[6]

음파에 의한 빛의 회절 현상은 Brillouin에 의해 최초로 알려 졌으며 C. V Raman, N. S Nath등에 의해 실험적으로 확인되었다. 그후 1960년대 초부터는 높은 간섭 성을 지닌 레이저와 고주파 공학의 발전에 힘입어 초음파와 빛의 상호작용에 관한 연구가 진행되었다. 이런 광파의 회절 현상은 광학 매질의 굴절률이 음파에 의해 변화되는 음향 광학 효과에 기반을 두고 있다. 이를 간단히 살펴보면 AOD의 변환기에 RF 신호를 인가하면 압전 현상에 의해 초음파가 발생되고 이에 따른 응력장(strain field)이 형성된다. 이러한 응력장이 AOD 매질의 굴절률 변화를 일으키는데 이때 매질은 음파의 파장과 같은 주기로 섭동하기 때문에 결국 초음파의 주기와 동일한 굴절 격자가 형성된다. 빛과 음파의 상호 간섭 현상 중에서 가장 간단한 형태로서 평면파가 초음파에 의해 형성된 굴절 격자를 광분할기처럼 부분적으로 통과하는 현상을 들 수 있다.

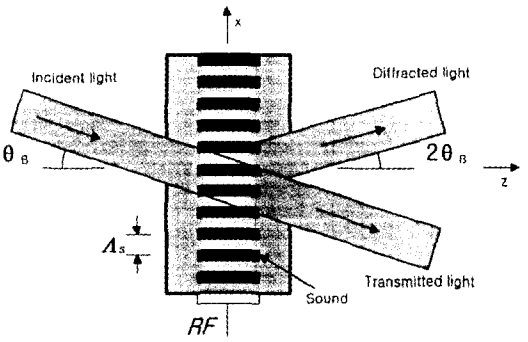



그림 2. AOD에서 Bragg 회절
Fig. 2. Bragg diffraction in AOD.

그림 2는 보강 간섭을 일으키며 Bragg조건을 만족하는 $\theta_B$의 각도로 입사되는 빔이 음파의 파장 $\Lambda_s$ 에 의해 형성된 평행한 반사 격자에 의해 회절되는 것을 나타낸 것이다. 이와 같은 회절 현상을 Bragg 회절(Bragg diffraction)이라고 하며 이는 식(5)과 같이 표현된다.

$$\sin\theta_B=\frac{\lambda}{2\Lambda_s} \tag{5}$$

여기서 $\theta_B$는 입사되는 Bragg각이고, $\lambda$는 광원의 파장을 나타낸다. 보통 $\Lambda_s \gg \lambda$ 이므로, $\theta_B$는 식 (6)과 같이 표현될 수 있다.[6]

$$\theta_B=\frac{\lambda}{2\Lambda_s}=\frac{\lambda f}{2v} \tag{6}$$

여기서 $f$는 음파의 주파수를 $v$는 매질내의 음파의 속도를 나타낸다. 식 (7)은 AOD를 통과하여 회절되는

빔의 각도를 나타낸 것으로

$$\theta_D = 2\theta_B = \frac{\lambda f}{v} \quad (7)$$

식(7)에서 광원의 파장($\lambda$)과 음파속도($v$)는 상수 값이기 때문에 회절각 $\theta_D$는 주파수 $f$ 에 의해 결정된다. 따라서 AOD에 인가되는 RF 주파수가 가변되면 회절각 $\theta_D$가 바뀌게 되어 광굴절 매질에 각다중화 기법을 적용하여 기록할 수 있다.

2. 실험에 사용된 AOD특성 및 RF증폭기 구성

본 시스템에 사용된 AOD는 Intra Action 사의 AOD-70을 사용하였고 그 주요 사양은 표 1과 같다.

표 1. AOD-70의 주요 사양
Table 1. Specification of AOD-70.

| | |
|---|---|
| 음향 광학 매질 | Flint Glass |
| 변환기(Transducer) | $LiNbO_3$ |
| 변환기 인가 전력 | 5W |
| 회절 효율 | 80% (633nm) |
| 중심 주파수 | 70㎒ |
| 주파수 대역폭($\Delta f$) | 40㎒ |
| 매질 내 초음파 속도 | 3900m/sec |
| 개구 크기 | 39×2㎜ |
| 데이터 엑세스 시간($\tau$) | 10㎲ |
| 편향각($\Delta\theta$) | 0.312° |

그리고 해상도수, $N=\tau\times\Delta f$ 로 정의되며 위에서와 같이 $\tau=10\mu s$이고, $\Delta f=40$㎒ 이므로 $N=400$개가 된다. 또한 AOD에 인가되는 고주파발생을 위해 사용된 주파수 발생기는 LEADER ELECTRONICS사의 LSG-17을 사용하였고, AOD에 필요한 5W의 고주파 출력을 얻기 위해 MOTOROLA의 이온이 결합된 비소 에미터 트랜지스터인 MHW5382A을 사용해 제작된 고주파 증폭기를 사용하였다.

3. 광학 시스템 구성

본 실험에서는 AOD의 주파수 가변에 따른 Bragg 영역에서 발생하는 1차 회절광의 각도 변화를 이용하여 각다중화 시스템을 구성하였고 저장 용량을 증가시키기 위해 한 쌍의 렌즈를 조합하여 AOD의 편향각 대역폭을 확대시켰다. 그림 4는 AOD 편향각 확대를 위한 구성도를 나타낸 것이다.

여기서 $\Delta\theta$와 $\Delta\theta'$는 각각 AOD의 편향각 대역폭과 광굴절 매질에 입사되는 확대된 편향각 대역폭을 나타낸다. 일반적으로 광굴절매질에 입사되는 편향각의 범위가 확대 될수록 저장할 수 있는 영상의 개수는 증가되므로 본 논문에서는 AOD의 편향각 대역폭인 $\Delta\theta$를 그림 5와 같이 렌즈의 조합을 이용하여 확대시킴으로써 광굴절매질에 입사되는 편향각의 범위를 증가시켜 데이터 저장 용량을 증가시켰다.[7]

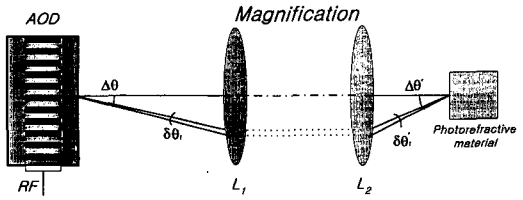



그림 3. 편향각 확대도
Fig. 3. Magnification scheme of deflection angle.

본 논문에서는 그림 3과 같이 L1과 L2의 초점거리가 각각 300㎜, 60㎜인 렌즈를 사용해 25㎜의 AOD 입사빔 직경을 5㎜로 줄여 편향각 대역폭, $\Delta\theta=0.31°$ 를 $\Delta\theta'=1.86°$ 로 6배 확대하였으며, 식(3)에 의해 각선택도, $\delta\theta'_r=25\mu rad\approx 0.001°$ ($\lambda=532nm$, $n=2.1$)이지만, 본 시스템에서는 광 효율과 영상간의 누화(crosstalk)를 고려하여 $\delta\theta'_r=0.01$ °가 되도록 설계하고, 이에 해당하는 AOD의 변조 주파수 간격, $\delta f=\frac{v}{\lambda}\delta\theta_r$ ($v=3900m/s$, $\lambda=532$㎚, $\delta\theta_r=40.92\mu raa$)는 300 [㎑] 로 하여 기록하였다. 따라서 각선택도 $\delta\theta'_r=0.01$ °로 하였을 경우 저장 가능한 이미지 개수는 133페이지며, 이를 640×480의 화소수를 갖는 LCD를 사용하여 기록하면 1bit/pixel으로 하여 5.1MBytes의 기록 용량이 된다. 그림 4는 AOD의 편향각 대역폭을 확장한 홀로그래픽 각다중화 시스템의 전체 구성도 이다.

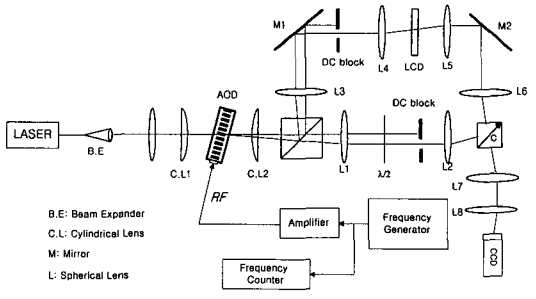



그림 4. AOD를 이용한 홀로그래픽 각다중화 시스템
Fig. 4. Holographic angular multiplexing system using AOD.

AOD를 통과한 1차 회절광의 주파수는 도플러 변

이(Doppler shift)현상 때문에 광원의 주파수와 차이가 발생되므로 기준빔에 AOD를 사용하여 각다중화할 경우 물체빔과의 주파수차로 인해 굴절격자의 광학적 불균일성이 발생된다. 이 때문에 물체빔부에 기준빔과 동일한 주파수를 갖도록 주파수 동기 장치가 사용되는데 이럴 경우 시스템이 복잡해지고 경제성이 떨어지게 된다.[8] 따라서 그림 4와 같이 AOD를 빔 분할기 전단에 위치시켜서[9] DC성분을 차단하고 물체빔과 기준빔부의 1차 회절광 만을 사용하여 각다중화 시스템을 구성하였다. 편향각 대역폭에서 높은 해상도를 얻기 위해 C.L1렌즈를 사용해 빔 직경이 25㎜인 타원형 형태로 전 주파수 대역에서 균일한 빔세기를 갖는 중심주파수 70㎒의 Bragg각인 0.27 °로 AOD에 입사시켰다. AOD를 통과한 빔은 초점거리가 같은 C.L2 렌즈를 통과해 원형 평면파로 복원되고 빔 분할기를 거쳐 물체빔과 기준빔으로 나누어진다. 물체빔과 기준빔에서 빔이 광굴절매질과 LCD의 동일한 위치에 입사하도록 4-$f$ 이미징 시스템을 응용하였다[9][10]. 우선 빔 분할기를 통과된 기준빔은 초점거리가 300㎜인 L1렌즈를 통과하여 DC성분은 차단된 후 광굴절 매질 내에서 굴절 격자형성이 용이하게 일어나도록 $\lambda/2$ 위상 지연판을 거쳐 S-편광상태로 60㎜인 L2렌즈를 통과해 5㎜의 빔 직경으로 광굴절 매질에 입사되어 그림 3에서 설명한 바와 동일하게 빔편향 대역폭이 확대된다. 물체빔은 L3렌즈를 통과하여 DC성분은 차단되고 L4렌즈를 통과하여 빔직경이 확대되어 LCD에 입사된다. 다시 L5렌즈와 L6렌즈를 통과하여 광굴절 매질의 동일한 위치에 입사된다. 복원시에 L7과 L8렌즈를 통해 CCD의 동일한 위치에서 이미지를 복원할 수 있게 된다. 실험에 사용된 광굴절매질은 0.02% Fe이 도핑된 $LiNbO_3$(1㎤, 45 °cut)이고 광원은 COHERENT사의 532㎚의 파장을 갖는 100 [㎽] 레이저를 사용하였다. 그리고 AOD에 필요한 5W의 고주파 출력을 얻기 위해 제작된 RF 증폭기를 사용하고 주파수 카운터를 이용하여 AOD에 인가되는 주파수를 측정하였다. 또한 복원된 이미지를 검출하기 위해 LG-Honeywell의 CCD카메라를 사용하였다.

## Ⅳ. 실험 및 결과

그림 5는 본 논문의 실험에 사용된 AOD-70을 이용하여 RF 주파수를 가변에 따른 1차 회절광의 편향각을 나타낸 것이다. 또한 그림 6은 측정된 1차 회절광의 회절 효율을 나타낸 것이다.

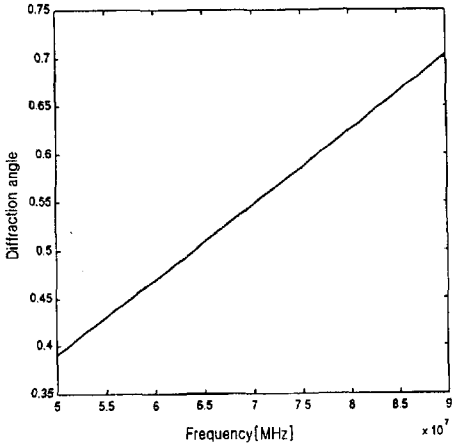



그림 5. 1차 회절광의 편향각
Fig. 5. Deflection angle of the 1st order diffracted light.

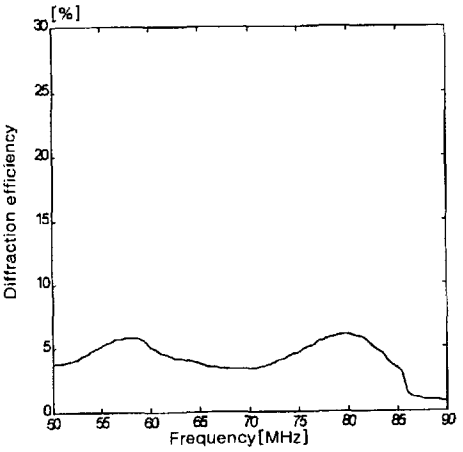



그림 6. 1차 회절광의 회절 효율
Fig. 6. Diffraction efficiency of the 1st order diffracted light.

그리고 다수의 홀로그램을 저장하기 위해서 계획적 기록(Scheduled recording)방법에 의해 기록 시간을 산출하였다. 최대 M개의 홀로그램을 기록하고, m번째 홀로그램의 크기를 $A_m$이라고 가정하면, M개의 홀로그램을 기록한 후, $A_m$은

$$A_m = A_o\left[1-\exp\left(-\frac{t_m}{\tau_r}\right)\right]\exp\left(-\sum_{m'=m+1}^{M}\frac{t_{m'}}{\tau_e}\right) \quad (8)$$

이 된다[11]. 여기서 $A_o$는 광굴절 매질에 저장된 홀

로그램의 포화 크기이고, $t_m$은 m번째 홀로그램의 기록시간이며, $\tau_r$과 $\tau_e$는 각각 기록 시정수와 삭제 시정수를 나타낸다. 또한 $t_m'$는 m+1번째부터 M번째 홀로그램까지 기록하는데 걸리는 시간의 합이다. 이때 $\tau_r$, $\tau_e$ $A_m/A_o$를 산출하여 각각의 홀로그램의 기록시간을 구할 수 있다. 본 실험에서는 총 51개의 이미지를 기록하였고, $\tau_r=530$, $\tau_e=40000$, $A_m/A_o=0.35$를 사용하여 각각의 기록시간을 구하였다.

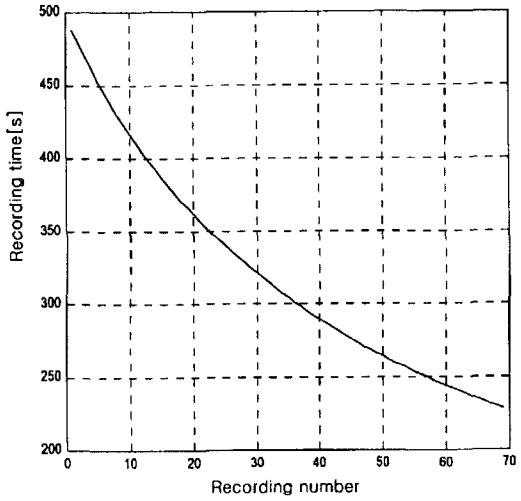



그림 7. 기록 시간
Fig. 7. Recording time.

그림 7은 각각의 이미지의 기록시간을 나타낸다.

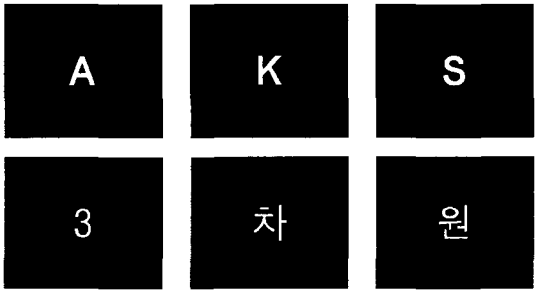



그림 8. 원 영상
(a) 1번째 이미지 (b) 11번째 이미지 (c) 19번째 이미지 (d) 43번째 이미지 (e) 44번째 이미지 (f) 45번째 이미지
Fig. 8. Original images.
(a) 1st image (b) the 11st. image (c) the 19st. image (d) the 44st. image (e) the 45st. image (f) the 46st. image

그림 8은 영문 알파벳 26자와 한글 문자 25개의 이미지를 합친 51개의 이미지중 임의의 이미지를 나타낸 것이고, 그림 9는 그림 4의 시스템을 사용하여 각선택도($\delta\theta$)는 0.01 °가 되도록 주파수 간격($\delta\theta$)를 50㎒에서 300㎑씩 변화시켜 LCD를 이용하여 51개의 이미지를 기록하고 그 중 임의의 복원된 이미지를 나타낸 것이다. 각각의 경우에서 누화 없는 복원 영상을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

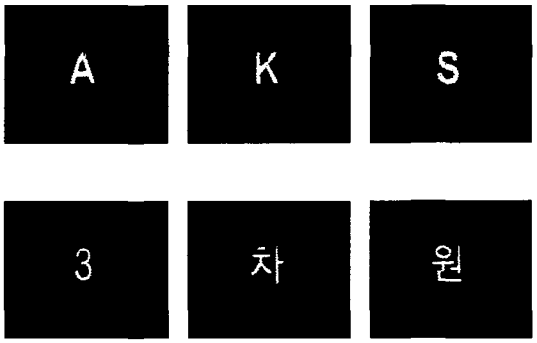



그림 9. 복원 영상
(a) 1번째 이미지 (b) 11번째 이미지 (c) 19번째 이미지 (d) 43번째 이미지 (e) 44번째 이미지 (f) 45번째 이미지
Fig. 9. Reconstructed images.
(a) 1st image (b) the 11st. image (c) the 19st. image (d) the 44st. image (e) the 45st. image (f) the 46st. image

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 AOD의 주파수 가변에 따른 빔 편향 특성을 이용하여 51개의 이미지 데이터를 저장하고 누화 없이 빠른 엑세스 시간(10$\mu$s)에 복원할 수 있었다. 또한 본 시스템에서 사용된 Intra Action사의 AOD-70의 편향각 대역폭을 렌즈 조합을 이용하여 $\Delta\theta'=1.86°$ 로 확대시켜 각 다중화 저장용량을 6배 증가시켜 약 100 페이지의 정보를 저장할 수 있는 체적 홀로그래픽 각 다중화 메모리 시스템을 구현하였다.

## 참 고 문 헌

[1] F. H. Mok, "Angle-multiplexed storage of 5000 holograms in lithium niobate," Opt. Lett., vol. 18, pp. 915-917, 1993.
[2] C. Denz, G. Pauliat and G. Roosen, "Volume hologram multiplexing using a deterministic phase encoding method,"

Opt. Commun., vol. 85, pp. 171-176, 1991.
[3] S. Yin, and H. Zhou, "Wavelength multiplexed holographic storage in a sensitive photorefractive crystal using a visible-light tunable diode laser," Opt. Commun., vol. 101, pp. 317-321, 1993.
[4] J. H. Hong, I. McMichael, and T. Y. Chang, "Volume holographic memory systems: techniques and architectures," Opt. Engin., vol. 34, pp. 2193-2203, 1995.
[5] M. C. Bashaw and L. Hesselink, "Impact of Materials Properties on Multiplex Holographic Data Storage," SPIE Practical Holography Ⅷ, vol. 2176, pp. 132-143, 1994.
[6] A. Yariv, and P. Yeh, Optical Waves in Crystal (Wiley-Interscience, 1984) ch. 9.
[7] L. d'Aura, J. P. Huignard, C. Slezak, and E. Spitz, "Experimental Holographic Read-write Memory Using 3-D Storage," Appl. Opt., vol. 13, pp. 808-818, 1974.
[8] J. H. Sharp, D. M. Budgett, C. R. Chatwin, and B. F. Scott, "High-speed, acousto-optically addressed optically memory," Appl. Opt. vol. 35, pp. 2399-2402, 1996.
[9] X. An and D. Psaltis, "Experimental characterization of an angle-multiplexed holographic memory," Opt. Lett., vol. 20, pp. 1913-1915, 1995.
[10] B.E.A. Saleh, and M. C. Teich, Photonics(Wiley-Interscience, 1991) ch. 4.
[11] D. Psaltis, D. Brady, and K. Wagner, "Adaptive optical networks using photorefractive crystals," Apl. Opt., vol. 27, pp. 1752-1759, 1988.

## 저 자 소 개

文 洪 燮(正會員)
1969년 1월 7일생. 1996년 광운대학교 전파공학과 졸업(공학사). 1997년 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 대학원 석사과정. 주관심분야는 홀로그래픽 메모리, 광정보처리, 3차원 디스플레이 등

吉 相 瑾(正會員)
1960년 6월 27일. 1984년 2월 연대 전자공학과 공학사. 1986년 2월 연대 전자공학과 공학석사. 1992년 8월 연대 전자공학과 공학박사. 1993년 12월 ~ 1998년 2월 고등기술 연구원 재직. 1998년 ~ 현재 수원대학교 전자공학과 교수. 주관심분야는 광정보처리, 광계측, 홀로그래픽

金 恩 洙(正會員) 第 35卷 D編 第 8號 參照
현재 광운대학교 전자공학과 교수