

## 1. 서론

정보 저장장치는 정보통신, 정보처리와 함께 멀티미디어 시대의 3대 산업 중의 하나로, 정보 저장장치는 현재 주로 문서와 영상을 저장하기 위한 용도로 수십 Giga Byte의 용량을 가지나, 2010년경에는 HDTV의 고해상도 동영상, 의료용 영상, Home Server, Network Server 등으로 이용 범위가 확대되면서 요구되는 저장용량도 현재의 100배 이상인 수 Tera Byte 이상이 될 것으로 전망되고 있다. 따라서 이러한 거시적인 정보 저장장치의 환경 변화에 대응하기 위해서는 정보 저장매체의 초 대용량화, 초 고속화, 초 소형화에 대한 요구가 더욱 절실해질 것으로 전망된다. 따라서 정보 저장장치 관련 기술의 연구개발 방향은 기존 광 저장장치 및 자기 저장장치를 포

이 집중되어 왔는데 이러한 홀로그래픽 데이터 스토리지는 데이터 기록 및 재생의 원리상 페이지 지향적인 메모리(Page-oriented Memory)로써 입출력 방식으로 LCD, CCD 등을 이용한 병렬 신호처리 방식을 사용함으로써 근본적으로 데이터 전송률(Data Transfer Rate)을 1Gbps 정도로 고속화 시킬 수 있으며<sup>1)</sup> 데이터 접근 시간(Access Time)도 수십  $\mu$ sec 수준으로 매우 빠르게 구현할 수 있고<sup>2)</sup> 저장밀도 측면에서도 이론적으로는 1Tbit/cm<sup>3</sup>의 고밀도 기록이 가능한 장점을 지니고 있다<sup>3)</sup>. 그런데 이에 반해서 페이지 단위의 데이터를 처리하기 위한 초정밀 광학계 및 병렬 신호 처리계의 구현에 높은 비용이 수반되므로 저가의 시스템 구현이 어렵고, 특히 DVD와 데이터 호환성을 유지하기가 어려운 단점이 있다. 최근에 이러한 단점을 보완하기 위해서 페이지 단위로 데이터를 기록하고

# 특집 ─ 광 메모리

## 홀로그래픽 데이터 스토리지의 연구개발 방향

박주연\*

합한 2차 저장장치의 기술 한계를 극복하기 위하여 2차원 저장장치(2-Dimensional Storage)에서 3차원 저장장치(3-Dimensional Storage)로의 패러다임이 천이될 것으로 예상되고 있다.

3차원 저장장치 중 최근 큰 주목하에 연구되고 있는 기술이 홀로그래픽 데이터 스토리지(Holographic Data Storage) 또는 홀로그래픽 메모리(Holographic Memory)라고 부르는 홀로그램을 이용한 광 저장장치이다. 지금까지의 홀로그래픽 데이터 스토리지의 연구 개발 방향은 페이지 단위로 데이터를 기록하고 페이지 단위로 데이터를 읽는 병렬 데이터 기록/재생 시스템으로 사용자에 의한 정보의 기록이 가능한 WORM(Write-Once-Read-Many) 및 RW(Rewritable) 시스템에 연구개발

비트 단위로 데이터를 재생하는 새로운 개념의 홀로그래픽 재생 전용 시스템이 제안되어 이 분야의 연구개발이 매우 활성화되고 있다<sup>4)</sup>. 이러한 홀로그래픽 재생 전용 시스템은 수백 기가 바이트의 데이터 저장용량을 유지하면서도 시스템 가격을 DVD 수준으로 획기적으로 낮출 수 있을 뿐만 아니라 기존 DVD와의 데이터 호환성을 용이하게 구현할 수 있어 그간 홀로그래픽 데이터 스토리지의 상용화를 위한 큰 장벽으로 문제가 되었던 시스템 가격 경쟁력 문제를 크게 해결할 수 있어 홀로그래픽 데이터 스토리지의 초기 상용화를 위한 기록제가 될 것으로 전망되고 있다. 즉, 최근의 홀로그래픽 데이터 스토리지의 연구개발 방향은 그림 1에 도시된 광 저장장치 발전 방향에서 보듯이 DVD 호환 홀로그래픽 데이터 스토리

\* (주)대우일렉트로닉스 디지털 신호처리 연구소(수석연구원)

# 홀로그래픽 데이터 스토리지의 연구개발 방향

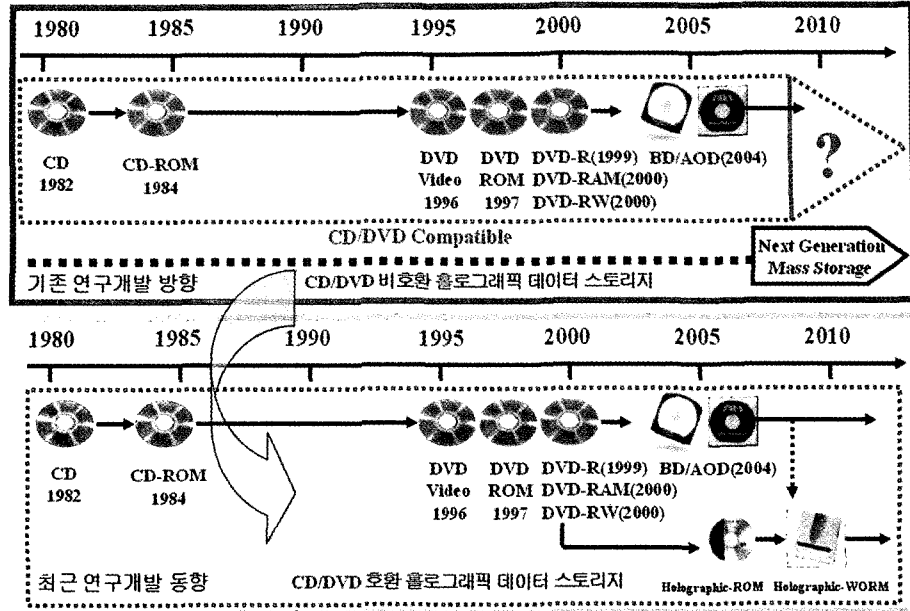


그림 1. 최근 홀로그래픽 데이터 스토리지 연구개발 동향

지 기술을 기반으로 홀로그래픽 데이터 스토리지를 현재 시장의 주류인 DVD 계열 광 저장장치 시장에 편입시키려는 연구개발 전략이 일본을 중심으로 활발하게 전개되고 있는 실정이다.

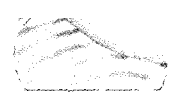
본문에서는 차세대 대용량 정보 저장장치 중 중요한 역할이 기대되고 있는 홀로그래픽 데이터 스토리지의 고밀도 중첩기록 원리에 대해서 알아보고, 또한 최근 큰 주목하에 연구개발이 진행되고 있는 페이지 단위로 데이터를 기록하고 비트 단위로 데이터를 재생하는 DVD 호환 홀로그래픽 재생 전용 시스템에 대해서 소개하고자 한다.

## 2. 홀로그래픽 데이터 스토리지의 고밀도 중첩 기록 원리

홀로그래픽 데이터 스토리지에 있어서 고밀도 기록을 가능하게 하는 핵심 원리는 CD/DVD 등과 같은 기존 광 저장장치와는 다르게 데이터를 공간적인 격리가 없이 저장물질의 동일 장소에 중첩 기록할 수 있다는 기록 원리에서 출발한다. 홀로그래픽 데이터 스토리지에서 이와 같이 동일 장소에 홀로그래픽을 중첩 기록하는 기법을 다중화 기법(Multiplexing Technique)이라고 부르는데 홀로그

램의 다중화 기록/재생 방법으로는 각도 다중화(Angle Multiplexing), 파장 다중화(Wavelength Multiplexing), 위상코드 다중화(Phase-coded Multiplexing), 구면파 이동 다중화(Spherical Wave Shift Multiplexing) 등 여러 가지 기법이 제안되어 있다. 이러한 다중화 방식은 모두 두꺼운 홀로그래픽의 브래그 선택성(Bragg Selectivity)에 기초하고 있다. 한편 브래그 선택성에 기초하지 않은 대표적인 다중화 기법으로는 기준광으로 스펙클 광파(Speckle Wave)를 사용하는 스펙클 이동 다중화(Speckle Shift Multiplexing) 기법이 제안되어 있다<sup>6)</sup>. 이러한 여러 가지 다중화 기법 중 각도 다중화 방식은 그 구성이 매우 간단하다는 장점이 있으므로 현재 홀로그래픽의 다중화 기록/재생에 널리 사용되는 방식이며 본 장에서도 각도 다중화 기법에 준하여 홀로그래픽 데이터 스토리지의 중첩기록 원리에 대해서 설명하고자 한다.

일반적으로 각도 다중화 기법은 소정의 사잇각을 갖는 신호광과 기준광으로 기록된 두꺼운 홀로그래픽의 회절효율(Diffraction Efficiency)이 기록시 사용된 기록 기준광(Reference Beam)과 재생시 사용된 재생 기준광(Readout Beam) 사이의 각도 차이에 매우 크게 의존한다는 사실에 기초하고 있다. 두꺼운 홀로그래픽의 이러한 특성을 각도 선택성(Angular Selectivity) 또는 각도 민감성



(Angular Sensitivity)이라고 부른다. 각도 선택성은 그림 2에 도시한 것과 같이 신호광과 기준광을 평면파로 구성하여 기록된 간단한 정현파 회절격자(Sinusoidal Grating)의 경우에 가장 잘 설명되고 정량화 시킬 수 있다. 그림 2에서 기록시 신호광  $S$ 의 입사각  $\theta_S$ 와 기준광  $R$ 의 입사각  $\theta_R$ 은 저장 매체 내부에서 측정된 값이며 저장 매체의 두께는  $d$ , 진공 중의 Laser의 파장은  $\lambda$ , 저장매체의 굴절율은  $n$ , 굴절을 변화량은  $n_1$ 으로 표시된다. 이때 저장매체 내부에 형성된 Grating이 투과형 Lossless Dielectric Grating이라고 가정하면 Kogelnik의 Coupled Wave Theory로부터 재생시 출력 신호광  $\hat{S}$ 의 회절효율  $\eta$ 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다<sup>6)</sup>.

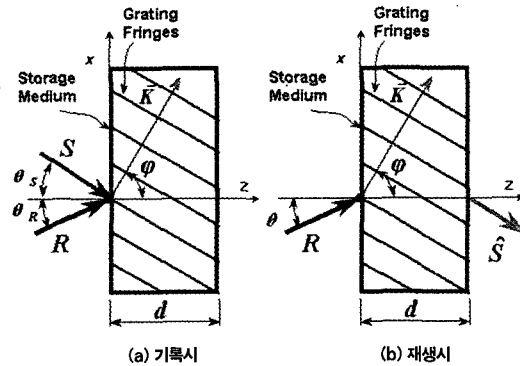


그림 2. Sinusoidal Grating의 기록 및 재생 모식도

$$\eta = \frac{|\hat{S}|^2}{|R|^2} = \frac{\sin^2(\nu^2 + \xi^2)^{1/2}}{1 + \frac{\xi^2}{\nu^2}} \quad (1)$$

여기서  $\nu = \frac{\pi n_1 d}{\lambda(C_R C_S)^{1/2}}$ ,  $\xi = \frac{\delta d}{2C_S}$  이고,

$$C_R = \cos\theta_R, \quad C_S = -\cos(\theta_R - 2\varphi)$$

이며,  $\delta = \Delta\theta K \sin(\varphi - \theta_R) - \frac{\Delta\lambda K^2}{4\pi n}$ ,  $\varphi = 90^\circ + \frac{\theta_R - \theta_S}{2}$ .

$K = \frac{2\pi}{\lambda}$ 이다.

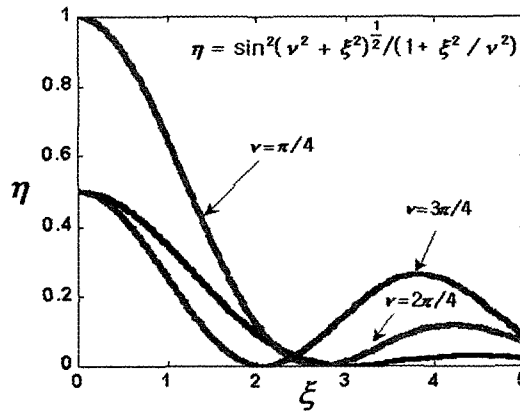


그림 3. Lossless Dielectric Grating을 갖는 홀로그래ムの 재생효율 곡선

또한 위식에서  $\Delta\theta$ 와  $\Delta\lambda$ 는 각각 기록시 사용한 기준광과 재생시 사용한 기준광의 각도와 파장의 차이 값을 나타낸다.

이제 Eq.(1)으로 표시되는 재생 신호광의 회절효율을 기록시 사용한 기준광과 재생시 사용한 기준광의 각도와 파장의 차이 값인  $\Delta\theta$ 와  $\Delta\lambda$ 의 함수인  $\xi$ 에 대해서 계산해보면 그림 3과 같은 결과를 얻을 수 있다.

그림 3의 회절효율 곡선도에서 보듯이  $\xi$ 값의 변화에 따라서 회절효율이 0이 되는 점이 존재한다는 사실을 알 수 있다. 즉, 이것은 기록시 사용한 기준광과 재생시 사용한 기준광의 각도의 차이 값인  $\Delta\theta$ 와 파장의 차이 값인  $\Delta\lambda$ 를 잘 조정하여 재생시 기준광으로 사용하면 재생 신호광이 전혀 출력되지 않게 할 수 있다는 점을 의미한다. 이와 같이 재생시 회절효율이 0이 되는 첫번째 점(First Null Point)을 만드는  $\Delta\theta$ 와  $\Delta\lambda$ 의 조건을 각각 각도 선택도(Angle Selectivity) 및 파장 선택도(Wavelength

Selectivity)라고 정의한다. 이러한 각도 선택도 및 파장 선택도를 Eq.(1)에서 재생 회절효율을 0으로 하는 조건으로부터 구하면 다음과 같다.

$$\Delta\theta = \frac{\lambda \cos\theta_S}{nd \sin(\theta_R + \theta_S)} \quad (\text{각도 선택도}, \Delta\lambda=0) \quad (2)$$

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 \cos\theta_S}{2nd \sin^2(\frac{\theta_R + \theta_S}{2})} \quad (\text{파장 선택도}, \Delta\theta=0) \quad (3)$$

이와 같이 기록시 사용한 기준광과 각도 및 파장이 동일한 조건으로 홀로그래ム을 재생하면 최대의 회절 효율을 얻을 수 있고, 위에서 계산된 각도 선택도 및 파장 선택도의 조건을 적용하여 기록시 사용한 기준광을 각도 선택도 및 파장 선택도 만큼 다르게 변경시켜 홀로그래ム을 재

## 홀로그래픽 데이터 스토리지의 연구개발 방향

생하면 회절효율이 0이 되어 재생 신호광이 출력되지 않음을 알 수 있다. 이러한 현상을 반대로 유추하여 소정의 신호광과 기준광을 이용하여 첫번째 홀로그램을 저장물질에 기록한 후 저장물질의 동일 공간에 신호광은 그대로 두고 위의 각도 선택도 및 파장 선택도 만큼 기준광만을 변경시켜 두번째 홀로그램을 완전히 중첩하여 기록한 경우를 고찰해 보자. 이 경우 첫번째 홀로그램의 재생 신호광을 얻기 위해서 첫번째 홀로그램의 기록시 당시 사용한 기준광과 동일한 기준광을 홀로그램에 입사시키면 최대 회절효율을 갖는 첫번째 홀로그램의 재생 신호광이 출력되지만 첫번째 홀로그램과 동일 공간에 중첩 기록되어 있는 두번째 홀로그램의 재생 신호광은 기록 당시 첫번째 홀로그램의 각도 선택도 및 파장 선택도 만큼 기준광을 변경시켜 기록하였으므로 재생 회절효율이 0이 되어 전혀 출력되지 않게 된다. 반대로 두번째 홀로그램을 재생하는 경우에도 위와 똑 같은 원리로 첫번째 홀로그램은 재생효율이 0이 되어 출력되지 않고 두번째 홀로그램만이 재생된다. 즉, 이것은 기록 과정에서 동일 공간에 완전히 중첩 기록된 홀로그램 들을 재생시 서로 완전히 분리하여 재생이 가능하다는 사실을 의미한다.

그림 4에 도시한 것처럼 이 과정을 반복하여 확장하면 저장물질의 동일 공간에 수많은 홀로그램을 각도 선택도 및 파장 선택도의 조건에 맞게만 중첩 기록하면 재생시 독립적이고도 선별적으로 원하는 홀로그램만을 재생하는 것이 가능하여 원하는 재생 신호를 얻을 수 있음을 의미하며 이것이 홀로그래픽 데이터 스토리지의 초고밀도 기록을 가능하게 하는 핵심적인 중첩기록 원리가 된다.

### 3. 홀로그래픽 재생 전용 시스템의 개요

CD-ROM 또는 DVD-ROM 시스템과 마찬가지로 홀로그래픽 재생 전용시스템도 디스크에 데이터를 기록하는 홀로그래픽 디스크 복제기(Holographic Disk Replicator)와 사용자가 데이터를 재생하는 홀로그래픽 디스크 재생기(Holographic Disk Player)로 크게 나눌 수 있는데 홀로그래픽 재생 전용 시스템을 상용화하기 위한 홀로그래픽 디스크 복제기의 주요 요구 성능은 신뢰성 있는 디스크의 대량 복제가 가능해야 하며 디스크의 제조 단가가 저렴해야 한다는 점이고, 홀로그래픽 디

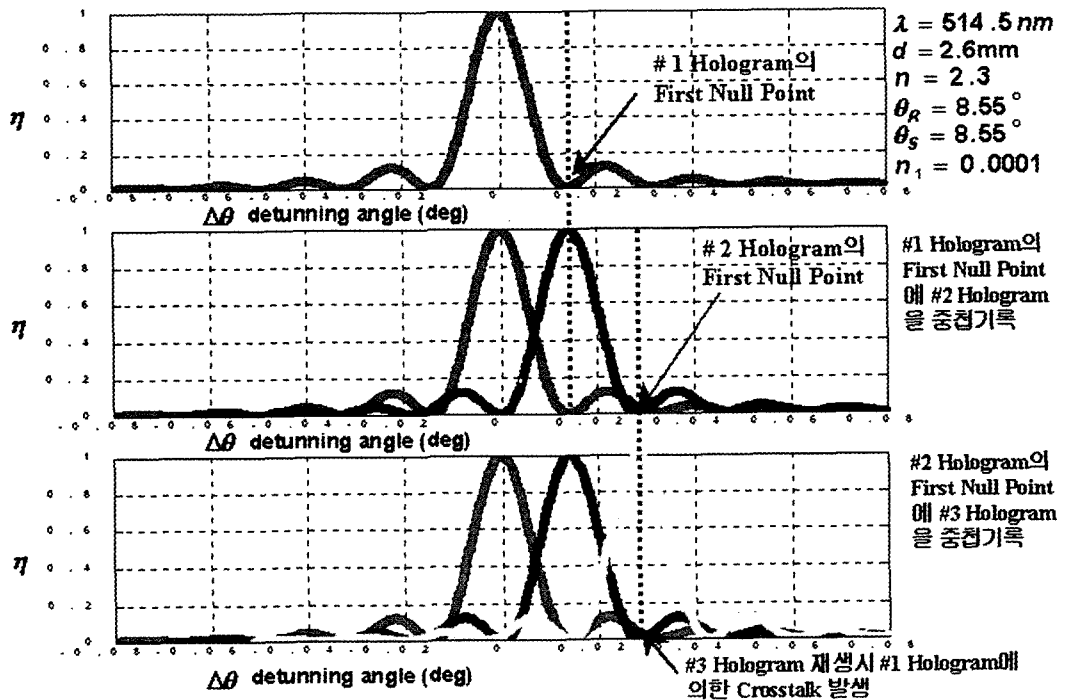


그림 4. 홀로그래픽 데이터 스토리지의 중첩기록 원리도(각도 다중화 경우)

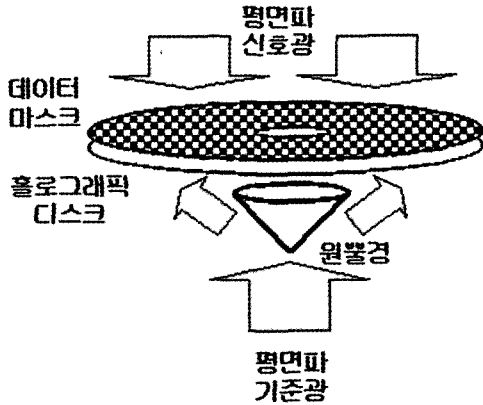


그림 5. 홀로그래픽 디스크 복제기 개념도

스크 재생기는 데이터의 재생 신뢰성이 높아야 되고 단위 저장용량 당 시스템 가격이 저렴하여 시스템의 가격 경쟁력이 있으며 기존 DVD 계열과 데이터 호환성을 갖추어 사용자의 편의성을 도모해야 한다는 점이다. 먼저 홀로그래픽 디스크 복제기의 데이터 기록 및 디스크 대량 복제 원리에 대해서 살펴 보기로 한다. CD-ROM 또는 DVD-ROM 경우에 디스크의 대량 복제의 원리는 마스터링 공정을 이용하여 DVD 포맷에 맞는 데이터를 기록한 스탬퍼(Stamper)를 제작하고 이렇게 제작된 스탬퍼에 사출 성형 공정을 이용하여 디스크를 대량 복제하는데 반해서 홀로그래픽 재생 전용 시스템은 앞서 홀로그래픽 데이터 스토리지의 고밀도 기록을 위한 각도 중첩기록 원리를 응용한 홀로그래픽 리소그래피(Holographic Lithography) 공정을 사용하여 데이터를 디스크에 광학적으로 일괄 기록하는 대량 복제기법을 사용한다. 이러한 홀로그래픽 디스크 복제기의 개념도를 그림 5에 도시하였다.

그림 5에서 홀로그래픽 디스크에 데이터를 기록하고 디스크를 대량 복제하는 과정은 다음과 같다. 먼저 기존 DVD의 포맷에 준하는 3T에서 14T의 비트열을 레이저가 투과하는 픽셀과 불투과하는 픽셀 형태로 구성하여 DVD의 트랙 규격과 동일한 물리적 규격을 갖는 비트열로 대치한 데이터 마스크를 제작하여 저장물질을 함유하고 있는 홀로그래픽 디스크 위에 서로 회전 중심을 일치시켜 정렬한다. 이후 광원으로 사용하는 레이저를 신호광과 기준광으로 분할하여 각각 평면파가 되도록 조정한 후 일정 크기로 확대된 신호광을 데이터 마스크에 조사

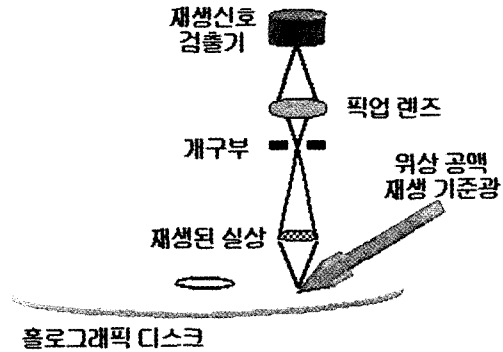


그림 6. 홀로그래픽 디스크 재생기 개념도

면 데이터 마스크의 비트열이 광 변조되어 홀로그래픽 디스크로 입사되는데 이와 동시에 소정의 크기를 갖는 기준광을 원뿔경에 조사하면 원뿔경 표면에서 반사된 기준광은 홀로그래픽 디스크의 반경 방향으로 동일한 각도를 갖는 평면파 형태로 홀로그래픽 디스크에 입사되고, 이렇게 입사된 신호광과 기준광이 저장물질 내에서 서로 만나 간섭하게 되어 앞서 설명한 홀로그래픽 데이터 스토리지의 기록 원리에 따라서 첫번째 마스크의 데이터가 기록된다. 다음으로 두번째 데이터 마스크와 각도 중첩 기록 원리에 준하는 각도 선택도(Angle Selectivity)에 따라서 다른 각도를 갖는 원뿔경을 대치하여 두번째 데이터 마스크의 데이터를 동일한 방법으로 기록하게 된다. 예를 들어 이러한 중첩기록을 20회 반복하여 20매의 홀로그래픽 디스크를 기록했다고 가정하면 DVD의 저장 용량인 4.7GB의 20배에 해당하는 약 100GB의 홀로그래픽 디스크가 용이하게 복제될 수 있다. 이와 같이 홀로그래픽 디스크 복제기는 홀로그래픽 리소그래피 및 각도 중첩기록 원리를 활용하여 수백 기가 바이트의 저장용량을 갖는 디스크의 대량 복제가 가능하고, 대량 복제 원리상 디스크의 제조 단가를 저렴하게 구현할 수 있는 커다란 장점을 갖게 된다<sup>40)</sup>. 한편 이렇게 복제된 홀로그래픽 디스크의 데이터를 재생하기 위한 홀로그래픽 디스크 재생기의 개념도를 그림 6에 도시하였다.

그림 6의 홀로그래픽 디스크 재생기에서 홀로그래픽 디스크로부터 데이터를 재생하는 방법은 위상 공액과 재생(Phase Conjugation Readout) 기법을 활용하게 되는데 이러한 위상 공액 재생 기법은 그 동안 WORM 및

## 홀로그래픽 데이터 스토리지의 연구개발 방향

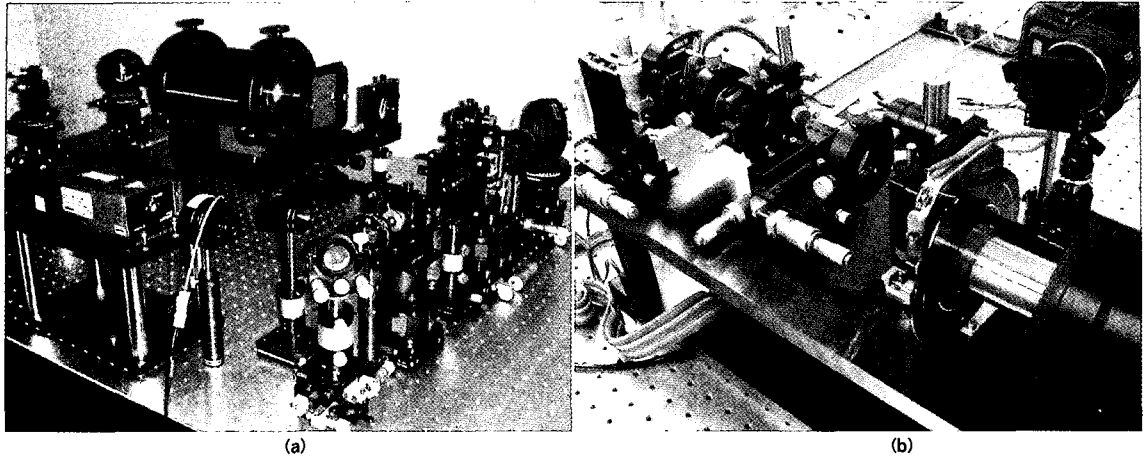
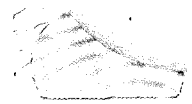


그림 7. 대우일렉트로닉스에서 개발한 홀로그래픽 디스크 복제기(a) 및 재생기(b)

RW 홀로그래픽 데이터 스토리지에서 재생신호의 SNR을 개선하는 하나의 데이터 재생 방법으로 주로 연구가 진행되어 왔으나<sup>17)</sup>, 홀로그래픽 재생 전용 시스템에서는 홀로그래픽 디스크 재생기를 구현하는 핵심 기술이라고 할 수 있는데 홀로그래픽 디스크로부터 데이터를 재생하는 과정은 다음과 같다. 먼저 복제된 홀로그래픽 디스크를 재생기에 장착하여 회전 구동시키고 이후 데이터 재생을 위해서는 복제기에서 데이터 기록시 사용한 기준광의 위상 공액파(Phase Conjugation Wave)를 재생 기준광으로 사용하여야 하는데 이러한 위상 공액파를 만드는 일반적인 방법은 위상 공액경(Phase Conjugation Mirror)을 사용하여 정밀한 위상 공액파를 형성하는 것이 통례이나, 디스크 복제기에서 데이터 기록시 사용한 기준광이 평면파이므로 디스크로의 입사각은 동일하고 방향만 반대로 진행하는 평면파가 기록시 기준광에 대한 위상 공액파가 되므로 시스템적으로 구현이 매우 복잡한 위상 공액경을 채용하지 않고도 용이하게 형성할 수 있다. 이렇게 형성된 위상 공액파를 재생 기준광으로 하여 홀로그래픽 디스크의 소장에 트랙에 입사 시키면 홀로그래픽 디스크로부터 재생된 재생상은 위상 공액 재생기법의 원리에 의해서 기록시 데이터 마스크가 놓여 있던 동일한 위치에 실상(Real Image)을 형성하게 된다. 이렇게 재생된 실상은 인접 트랙에 걸친 비트 데이터도 일부 포함하고 있으므로 원하는 트랙의 비트 데이터만 선별 재생하기 위해서 개구부(Aperture)를 통하여 재생된 실상을 필터링하게 되는데 이렇게 필터링된 재생 실상은 픽업렌즈 또는 대물렌즈를 통하여 재생신호 검출기에 결상

되어 전기적 신호로 검출되어 DVD와 유사한 신호 처리계를 통하여 원하는 비트 데이터를 재생하게 된다. 이와 같이 홀로그래픽 디스크 재생기는 DVD-ROM과 같이 비트 단위의 시리얼한 데이터를 재생하는 기법을 채용하므로써 일반적인 홀로그래픽 데이터 스토리지의 초고속 데이터 전송율의 특징을 일부 희생하는 대신에 저가의 시스템 구현이 가능하고 DVD와 데이터 호환성을 용이하게 구현할 수 있는 장점을 갖게 된다고 할 수 있다.

(주)대우일렉트로닉스에서는 앞서 설명한 홀로그래픽 재생 전용 시스템의 세부적인 구현 가능성을 검증하기 위해서 그림(7a)와 같은 홀로그래픽 디스크 복제기와 그림(7b)와 같은 홀로그래픽 디스크 재생기를 별도로 개발하여 시스템의 성능 평가를 수행하였다. 먼저 지름 12cm의 포토폴리머 기반 홀로그래픽 디스크의 전영역 복제가 가능한 저수차 대구경 광 확대기(Beam Expander)와 표면조도 25nm 이하의 원뿔경 및 DVD 포맷에 기반한 데이터 마스크를 자체 설계로 주문 제작하여 홀로그래픽 디스크 복제기를 개발하였다. 또한 홀로그래픽 디스크 재생기를 개발하기 위하여 광 검출기 모듈 등 핵심 부품을 제작하고 홀로그래픽 재생 전용기 개발에서 가장 핵심 기술이 되는 3-Hole 기법(3-Hole Method)라는 트랙킹 서보 기법 및 기존 DVD에서 사용하는 비점 수차법을 응용한 포커싱 서보 기법을 자체 고안하여 적용하므로써 홀로그래픽 디스크 재생기를 성공적으로 구현하였다<sup>18)</sup>. 이와 더불어 현재 DVD와 호환이 가능한 홀로그래픽 디스크 재생기의 픽업 광학계 구조를 고안하여 성능 평가를 수행하고 있다.



## 4. 결론

고도 정보화 시대에는 필연적으로 데이터의 저장 및 입출력에 관계된 정보 저장장치는 대용량화(High Capacity)와 데이터 입출력속도의 고속화(Fast Data Transfer Rate) 및 보다 짧은 데이터 접근 시간(Short Data Access Time)을 갖도록 요구되는데 홀로그래픽 데이터 스토리지는 정보 저장장치가 갖추어야 할 위의 세가지 핵심적인 특징을 고루 갖추고 있어 차세대 대용량 정보 저장장치로 각광을 받고 있다. 최근에 일본의 Optware 라는 회사가 중심이 되어 홀로그래픽 데이터 스토리지의 데이터 포맷을 국제 규격화하기 위한 HISS(Holographic Information Storage System)라는 기술 위원회를 ECMA(European Computer Manufactures' Association)에 설치하여 본격적인 활동을 개시하는 등 홀로그래픽 데이터 스토리지를 상용화하기 위한 노력이 활발히 전개되고 있는 상황이다<sup>9)</sup>. 한편, 본문에서 고찰한 홀로그래픽 재생 전용시스템은 수백 기가 바이트의 데이터 저장용량을 유지하면서도 시스템 가격을 DVD 수준으로 획기적으로 낮출 수 있을 뿐만 아니라 기존 DVD와의 데이터 호환성을 용이하게 구현할 수 있어 그 간 홀로그래픽 데이터 스토리지의 상용화를 위한 큰 장벽으로 문제가 되었던 시스템 가격 경쟁력 문제를 크게 해결할 수 있어 홀로그래픽 데이터 스토리지의 초기 상용화를 위한 기폭제가 될 것으로 전망되고 있고, 현재의 개발 추세로 미루어 보면 2007년 경에는 회전 디스크 형태의 ROM 또는 WORM 기능을 갖춘 초기 제품이 등장할 것으로 예측되고 있다. 따라서 국내 학계 및 산업계의 관련 연구원들의 노력이 경주된다면, 현재의 CD/DVD 계열의 뒤를 이을 수 있는 초일류 상품으로 키워나갈 수 있을 것으로 생각된다.

## 알림

본 논문은 (주)대우일렉트로닉스에서 수행하고 있는 산업자원부 주관 차세대 신기술 개발 사업 중 "차세대 대용량 정보 저장장치 개발 사업" (사업관리번호: 00008145)의 연구결과를 일부 인용하였음을 알려드립니다.

## 참고문헌

- (1) Sergei S. Orlov, William Phillips, Eric Bjornson, Yuzuru Takashima, Padma Sundaram, Lambertus Hesselink, Robert Okas, Darren Kwan, Raymond Snyder, "High-Transfer-Rate High-Capacity Holographic Disk Data-Storage System," *Applied Optics*, Vol. 43, Issue 25, 4902-4914 (2004)
- (2) I. Michael, W. Christian, D. Pletcher, T.Y. Chang, and J.H. Hong, "Compact holographic storage demonstrator with rapid access," *Appl. Opt.*, Vol. 35, No. 14, pp. 2375-2379 (1996)
- (3) P. J. van Heerden, "Theory of optical information storage in solid," *Appl. Opt.* Vol. 2, pp. 393-400 (1963)
- (4) E. Chuang, H. Yamatsu, and K. Saito, "Holographic ROM system for high-speed replication," *Technical Digest, ISOM/ODS 2002*, pp. 144-146
- (5) V.B. Markov and A.M. Darskii, "Shift selectivity of the hologram with a speckle reference wave," *Optica Spektroskopija*, vol. 65, pp. 661-665 (1988)
- (6) H. Kogelnik, "Coupled wave theory for thick hologram gratings," *Bell System Technical Journal*, Vol. 48, No. 9, pp. 2902-2947(1969)
- (7) G.W. Burr, and I. Leyva, "Multiplexed phase-conjugate holographic data storage with a buffer hologram," *Optics Letters*, Vol. 25, No. 7, pp. 499-501 (2000)
- (8) 김근율, 정규일, 조장현, 박주연, 남허은, "홀로그래픽 ROM 시스템을 위한 트랙킹 에러 검출 방법," *한국광학회 2004년 광정보 처리기술 워크샵 논문집*, pp. 63-68 (2004)
- (9) <http://www.ecma-international.org/memento/TC44.htm>

## 약 령



### 박주연

1987년 2월 : 연세대학교 기계공학과 졸업  
 1996년 8월 : 한국과학기술원 자동차 및 설계공학과 졸업  
 1987년 2월 ~ 현재 : (주)대우일렉트로닉스 디지털 신호처리 연구소(수석연구원)  
 주관심분야 : 홀로그래피, 홀로그래픽 메모리, 디지털 신호처리  
 E-mail : jooyoun@dwe.co.kr