

홀로그래픽 재생 전용 시스템 (Holographic-ROM System)

박 주 연, 남 하 은

(주)대우일렉트로닉스

I. 서 론

3차원 저장장치 중 최근 큰 주목하에 연구되고 있는 기술이 홀로그래픽 데이터 스토리지(Holographic Data Storage) 또는 홀로그래픽 메모리(Holographic Memory)라고 부르는 홀로그래픽을 이용한 광 저장장치이다. 홀로그래픽 데이터 스토리지는 그 원리가 알려진 1960년대 이래로 많은 연구가 진행되었으나 핵심 부품인 CCD, LCD 등 시스템 구성에 필요한 핵심부품 및 최적 저장물질의 부재로 상용화 시스템으로의 구현에 어려움을 겪어 왔으나, 최근 들어 LCD와 CCD 등의 눈부신 발전과 기능성 유기 광저장물질인 포토폴리머(Photopolymer)를 기반으로 한 최적 저장물질의 개발 및 정보화 시대 도래에 따른 대용량 데이터 스토리지 시스템의 필요성에 힘입어 새롭게 각광 받고 있으며^{[1]-[3]} 현재, 상용에 준하는 프로토타입도 선보이고 있다.^{[4]-[5]} 홀로그래픽 데이터 스토리지는 데이터 기록 및 재생의 원리상 페이지 지향적인 메모리(Page-oriented Memory)로써 입출력 방식으로 LCD, CCD 등을 이용한 패러렐 방식을 사용함으로써 근본적으로 데이터 전송률(Data Transfer Rate)을 1Gbps 정도로 고속화시킬 수 있으며 데이터 접근 시간(Access Time)도 수십(sec 수준)으로 매우 빠르게 구현할 수 있고 저장밀도 측면에서도 이론적으로는 1Tbit/cm³의 고밀도 기록이 가능한 장점을 지니고 있다.

홀로그래픽 데이터 스토리지의 시스템 분류는 일반적인 광 저장장치와 유사하게 저장물질의 계

열, 사용자의 정보 기록 가능성 및 시스템 형태에 따라서 다음과 같이 분류할 수 있다. 먼저 저장물질의 종류에 따른 시스템 분류는 광폴리머(Photopolymer)를 채운 한 번 쓰고 여러 번 읽는 기능의 WORM(Write-Once-Read-Many) 시스템과 광굴절성 단결정(Photorefractive Crystal) 및 광굴절성 폴리머(Photorefractive Polymer)를 채움하여 반복기록 재생이 가능한 RW(Rewritable) 시스템으로 크게 분류할 수 있고, 사용자에 의한 정보의 기록 가능성에 따른 시스템 분류는 단순 재생만이 가능한 ROM(Read-Only-Memory) 시스템과 사용자에 의한 정보의 기록이 가능한 기록 가능형(Recordable) 시스템으로 분류할 수 있으며 기록 가능형 시스템은 상기 WORM 시스템과 RW 시스템을 포함하는 개념이며, 시스템 형태에 따른 분류는 회전 디스크형 시스템과 카드형 시스템 및 입방체형(Cubic Type) 시스템으로 크게 분류할 수 있다.

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 및 RW 시스템에 연구개발이 집중되어 왔는데 이 경우 초고속 데이터 전송이 가능한 장점이 있는데 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

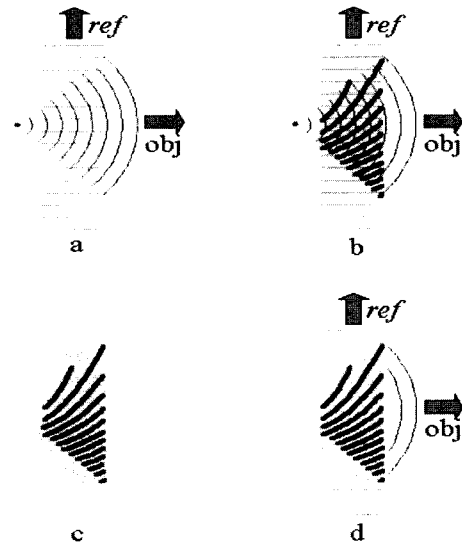
단위로 데이터를 기록하고 비트 단위로 데이터를 재생하는 새로운 개념의 홀로그래픽 재생 전용 시스템이 제안되어 이 분야의 연구개발이 매우 활성화되고 있다.^[6] 이러한 홀로그래픽 재생 전용 시스템은 수백 기가 바이트의 데이터 저장용량을 유지하면서도 시스템 가격을 DVD 수준으로 획기적으로 낮출 수 있을 뿐만 아니라 기존 DVD와의 데이터 호환성을 용이하게 구현할 수 있어 그간 홀로그래픽 데이터 스토리지의 상용화를 위한 큰 장벽으로 문제가 되었던 시스템 가격 경쟁력 문제를 크게 해결할 수 있어 홀로그래픽 데이터 스토리지의 초기 상용화를 위한 기폭제가 될 것으로 전망되고 있다. 본문에서는 차세대 대용량 정보 저장장치 중 중요한 역할이 기대되고 있는 홀로그래픽 데이터 스토리지의 기록/재생 원리를 알아보고 이러한 기록/재생 원리를 응용한 홀로그래픽 재생 전용 시스템의 구현 가능성에 대하여 알아 보고자 한다.

II. 홀로그래픽 데이터 스토리지의 기록 및 재생 원리

홀로그래픽 데이터 스토리지의 기록/재생 원리를 한마디로 요약하면, 홀로그래피(Holography) 기술 및 저장 물질의 광굴절성 효과(Photo-refractive Effect)를 이용하여 정보를 기록하고 재생하는 원리라고 말할 수 있는데 이러한 핵심적인 두 가지 물리적 원리에 기반을 두고 있는 홀로그래픽 데이터 스토리지의 기록 및 재생 과정을 상세히 설명하면 다음과 같다. 널리 알려져 있듯이 홀로그래피를 이용하여 정보를 기록/재생하는 방법은 대상 물체로부터의 물체광(Object Beam)을 기록하고, 후에 이것을 기준광(Reference Beam)을 이용하여 재현하도록 하는 방법이다.^[7] 사진 기록 기술(Photographic Recording)에 있어서 이 과정은 물체의 상을 대상 물체의 빛의 강도(Intensity)만으로 기록하는 광 민감성 물질(Photosensitive Material, Film)상에 대치함으로써 이루어진다. 이후 현상

된 필름에 빛을 조사함으로써 기록된 광 강도 모양 즉, 대상 물체의 상이 재현된다. 반면에 홀로그래픽 기록(Holographic Recording)의 경우는 대상 물체로부터 반사된 물체광의 강도 뿐만 아니라 방향도 기록한다. <그림 1(a)>에 나타난 것처럼 대상 물체의 빛의 강도와 방향은 물체광과 기준광의 간섭에 의해서 구성되며, <그림 1(b)>에서 보듯이 물체광과 기준광은 간섭무늬(Interference Pattern)를 만든다. 이렇게 형성된 간섭무늬는 <그림 1(c)>에서 보듯이 간섭무늬의 강도에 반응하는 물질 속에 기록된다. 마지막으로 <그림 1(d)>에서 보듯이 기록된 간섭무늬에 기준광을 조사함으로써 대상 물체의 3차원 상인 홀로그램을 재현하게 된다. 이러한 홀로그래피를 이용한 정보의 기록/재생 원리 중 체적 홀로그램(Volume Hologram)이라는 방법을 이용하면, 각각 다른 기준광을 가지고 저장 물질의 같은 장소에 많은 홀로그램을 중첩 기록함으로써 작은 입방체 내부에 방대한 데이터를 저장하는 것이 가능하다.

상기 홀로그래피를 이용한 정보의 기록/재생 과정을 수학적으로 표현하면 다음과 같다. 신호광을 $S(x, y)$, 기준광을 $R(x, y)$ 라고 하고 각



<그림 1> 홀로그래피를 이용한 정보의 기록/재생 원리

각의 위상을 $\varphi(x, y)$, $\psi(x, y)$ 라고 하면 신호광과 기준광은 다음과 같이 수학적으로 표현할 수 있다.

$$S(x, y) = |S(x, y)| \exp[-j\varphi(x, y)]$$

$$R(x, y) = |R(x, y)| \exp[-j\psi(x, y)]$$

이제 간섭성이 있는 두 신호광과 기준광을 저장물질에 동시에 입사시키면 입사된 두 광의 간섭현상에 의해서 발생하는 간섭패턴의 광 강도(Intensity) 분포 $I(x, y)$ 는 다음과 같다.

$$I(x, y) = |R(x, y) + S(x, y)|^2$$

$$= [R(x, y) + S(x, y)] [R^*(x, y) + S^*(x, y)]$$

$$= RR^* + SS^* + RS^* + SR^*$$

여기서 R^* 와 S^* 는 각각 기준광과 신호광의 공액파를 나타내며, 위식을 전개하면 최종적으로 간섭패턴의 광 강도 분포는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I(x, y) = |R(x, y)|^2 + |S(x, y)|^2 + 2|R(x, y)||S(x, y)| \cos[\psi(x, y) - \varphi(x, y)]$$

위식에서 처음 두 항은 기준광과 신호광의 광 강도를 의미하며 세번째 항은 기준광과 신호광의 상대적인 위상(Phase)과 관계된 광 강도 변조항으로 신호광의 위상 정보를 광 강도의 변조항으로 대치시킬 수 있어 신호광의 파면(Wavefront) 정보를 기록할 수 있게 한다. 즉, 대상 물체의 빛의 강도(Intensity)만으로 기록하는 보통의 사진기록(Photographic Recording)의 경우에는 신호광의 파면을 기록하는 것이 불가능하지만 위와 같이 신호광에 기준광을 결합하여 간섭패턴을 기록하면 신호광의 파면을 기록하는 것이 가능하게 되며 이것이 홀로그래피의 기본 원리이다.

이제 저장물질의 투과도 $T(x, y)$ 가 노출광의 광 강도에 선형적으로 비례한다고 가정하면 상기 간섭패턴의 광 강도 분포를 저장물질에 기록된

상태, 즉 홀로그래피의 투과도 분포는 다음과 같다.

$$T(x, y) = t_0 + t_1 I(x, y)$$

$$= t_0 + t_1 [RR^* + SS^* + RS^* + SR^*]$$

$$= t_0 + t_1 [|R|^2 + |S|^2 + RS^* + SR^*]$$

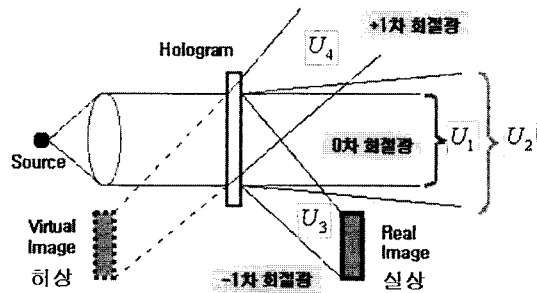
위식에서 t_0 와 t_1 은 저장물질의 투과도에 관계된 선형 비례 상수이다.

여기까지가 홀로그래피를 이용하여 정보를 기록하는 과정이며 정보의 재생과정은 기록시 사용한 기준광과 동일한 재생용 기준광(Readout Beam)을 상기 홀로그래피에 조사하면 되는데 이때 홀로그래피로부터 재생된 투과광은 아래와 같이 표시된다.

$$T(x, y)R = t_0 R + t_1 [R^2 R + |S|^2 R + R^2 S^* + SR^* R]$$

$$= \underbrace{[t_0 + t_1 R^2] R(x, y)}_{U_1} + \underbrace{t_1 |S|^2 R(x, y)}_{U_2} + \underbrace{t_1 R^2 S^*(x, y)}_{U_3} + \underbrace{t_1 R^2 S(x, y)}_{U_4}$$

상기 식에서 U_1 은 감쇄된 재생용 기준광이고 U_2 는 광축에 대해서 다양한 각도로 진행하면서 공간적으로 변동하는 광파로 재생된 신호광의 서로 다른 두 점 사이의 자체 간섭(Self Interference)에 의해서 발생하며 통상 Ambiguity 항이라고 통칭하고 있으며, U_3 는 재생된 신호광의 공액파(Conjugate Wave)에 비례하는 성분으로 실상(Real Image)을 형성하며, U_4 는 신호광에 비례하는 성분으로 정보를 기록한 홀로그래피로부터 재생되기를 원하는 실제적인 정보 성분을 갖는 항으로 재생상의 관점에서는 허상(Virtual Image)을 형성한다. 이와 같은 정보



<그림 2> 홀로그래피 재생시의 재생 투과광

를 기록한 홀로그램의 재생과정에서 출력되는 재생 투과광 사이의 관계를 <그림 2>에 도시하였다.

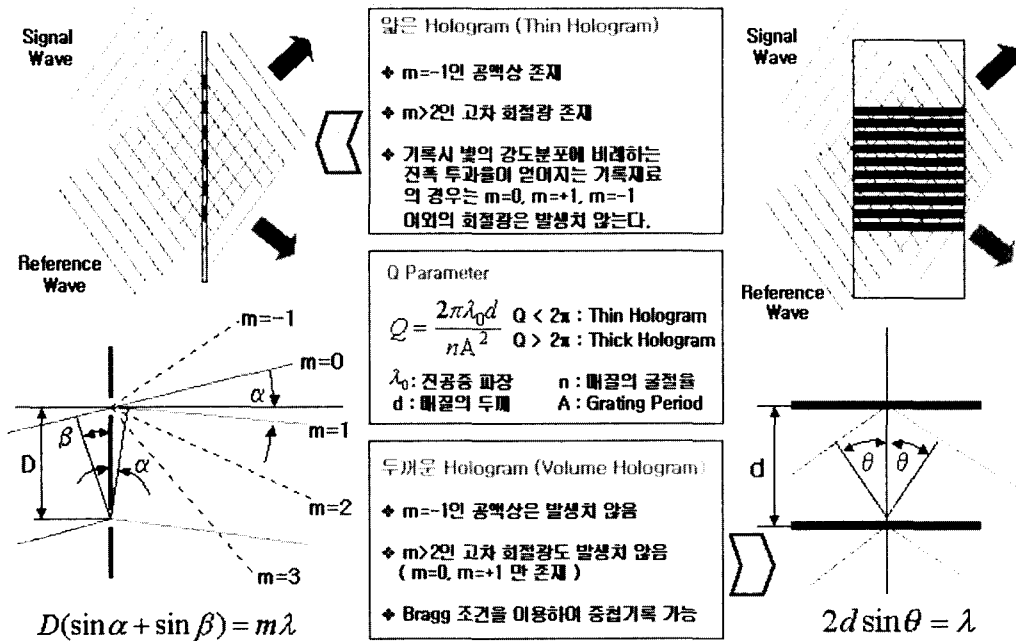
앞서 설명한 바와 같이 홀로그래피를 이용하면 정보를 기록하고 재생하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 그런데 영상기술 측면에서는 보통 홀로그램이라고 하면 3차원 영상의 재현을 생각하지만, 보다 정확히는 홀로그램이란 저장될 때 사용된 광파를 똑같이 재생하는 것 또는 그 저장된 상태를 뜻하며, 홀로그램의 종류는 간섭패턴의 주기(Period)와 홀로그램의 두께의 비율에 따라서 얇은 홀로그램(Thin Hologram 또는 Raman-Nath Diffraction Hologram)과 두꺼운 홀로그램(Volume Hologram 또는 Bragg Diffraction Hologram)으로 구분할 수 있고, 저장물질의 기록 방식에 따라서 진폭 홀로그램(Amplitude Hologram)과 위상 홀로그램(Phase Hologram)으로 크게 구분할 수 있다. 그런데 홀로그래픽 데이터 스토리지의 고밀도 기록 기능을 구현하기 위해서는 고밀도 다중화 기록이 가능한 두꺼운 홀로그램과 위상 홀로그램이 주로 활용되고 있으며, 아래 <그림 3>에 두꺼운

홀로그램과 얇은 홀로그램의 특성을 도시하였다.

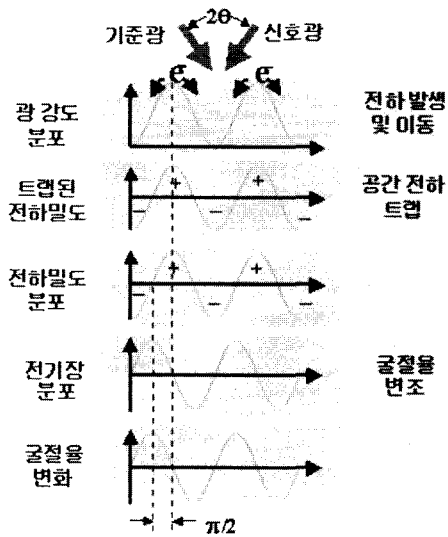
한편, 홀로그래픽 데이터 스토리지의 주관심이 되는 위상 홀로그램을 만들기 위해서 주로 활용되는 대표적인 저장물질로는 광굴절성 단결정(Photorefractive Crystal)과 포토폴리머(Photopolymer)가 있다. 특히 위상 홀로그램을 만들기 위해서 광굴절성 단결정에 정보를 기록하는 물리적 메커니즘은 광굴절성 효과(Photorefractive Effect)로 설명이 가능하다.

아래의 <그림 4>에 광굴절성 효과를 이용한 정보의 기록 과정의 모식도를 도시하였고 이 모식도를 활용하여 광굴절성 효과를 설명하면 다음과 같다.

<그림 4>의 광굴절성 효과 모식도에서 간섭성을 갖는 신호광과 기준광을 평면파라고 가정하고 소정의 각도로 두 광파를 광굴절성 단결정에 조사하면 앞서 홀로그래피를 이용한 정보의 기록 과정에서 설명한 것처럼 광 강도의 분포를 갖는 명암의 간섭패턴이 형성되는데 이때 광굴절성 단결정 내부에 형성된 간섭패턴 중 광 강도가 높은 부분에서는 광이온화(Photoionization)를 통하



<그림 3> 두꺼운 홀로그램과 얇은 홀로그램의 특성 비교



〈그림 4〉 광굴절성 효과 모식도

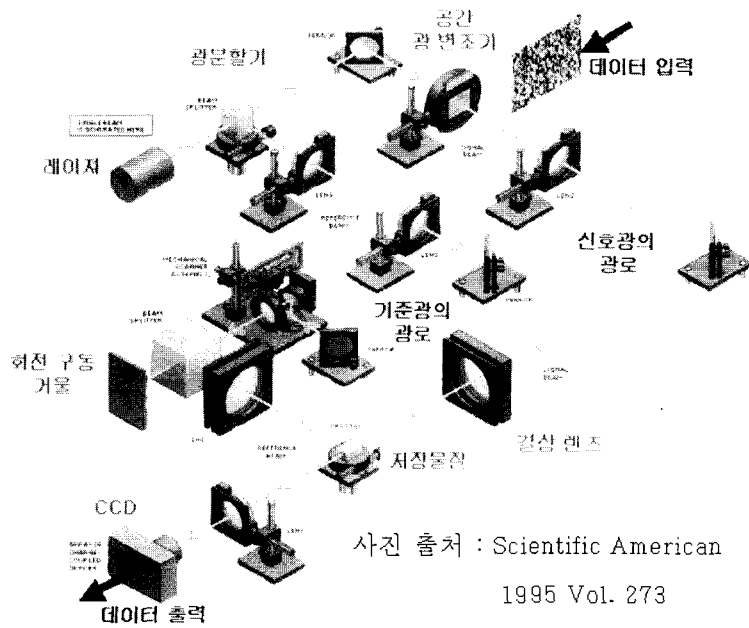
파적으로 광굴절성 단결정 내부는 간섭패턴과 유사한 공간적인 전하밀도 (Charge Density) 분포를 갖게 되는데 이러한 공간적인 전하밀도 분포는 아래의 Poisson 방정식에 따라서 광굴절성 단결정 내부에 전기장 (Electric Field) 을 형성하게 된다.

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

윗식에서 \vec{E} 는 전기장, ρ 는 전하밀도, ϵ_0 는 유전상수 (Dielectric Constant) 를 나타낸다. 또한 이러한 전하에 의한 공간적인 전기장 분포는 아래의 포켈 (Pockel) 의 법칙에 의해서 광굴절성 단결정 내부에 공간적인 굴절율 분포를 형성하게 되어 이러한 공간적인 굴절율 분포 형태로 정보를 기록하고 저장하게 되는 위상 홀로그래프를 형성하게 되는데 이러한 물리적 현상을 광굴절성 효과라고 부른다.^[8]

$$\Delta n = \frac{1}{2} n_0^3 \gamma_c E$$

여 자유 전하 (Free Charges) 가 발생되고 이러한 자유 전하는 전도대 (Conduction Band) 를 통하여 확산되어 광강도 분포가 높은 지역에서 광강도 분포가 낮은 지역으로 천이하게 되고 결



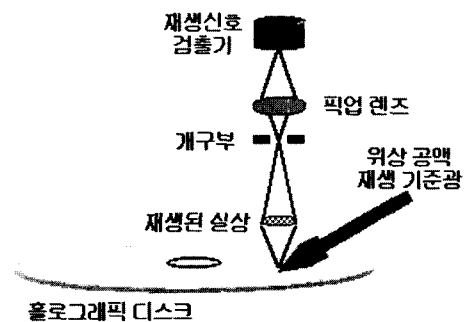
〈그림 5〉 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템의 개략도

위식에서 Δn 은 광굴절성 단결정의 굴절을 변화(Refractive Index Change)를 나타내고 n_0 는 초기 유효 굴절을(Initial Effective Refractive Index)을 γ_c 는 선형 전기광학 계수(Linear Electro-optic Coefficient)를 나타낸다.

이제 앞서 설명한 홀로그래피를 이용한 정보의 기록 및 재생 원리와 광굴절성 효과를 응용하여 구현한 홀로그래픽 데이터 스토리지의 개략도를 <그림 5>에 도시하였으며 <그림 5>를 이용하여 홀로그래픽 데이터 스토리지에서 정보의 기록 및 재생 과정을 설명하면 다음과 같다. <그림 5>에서 레이저 빔은 광분할기(Beam Splitter)에 의해서 데이터 빔과 기준 빔으로 나누어지고, 데이터 빔은 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator)에 의해 페이지 단위의 이진 데이터가 실리게 되며, 기준 빔은 회전 거울에 입사하게 된다(이것은 다른 기준 광을 만드는 한 가지 방법으로 각도 중첩 방법(Angle Multiplexing)이다).^[9] 그 다음 과정으로 두 빔이 저장물질 내에서 만나게 되므로써 저장물질 내에서 밝고 어두운 간섭무늬가 형성되고, 이때 저장물질의 광굴절성 효과에 의해서 이러한 간섭무늬가 저장물질의 미세한 굴절을 변화의 형태로 데이터를 기록하게 된다. 그 다음 데이터를 중첩기록하기 위해서는 기준광의 저장물질로의 입사 각도를 바꾸어 다음 페이지를 기록하게 된다. 이와 같은 과정을 계속 반복하면 이진 데이터의 페이지 단위로 구성되는 수백에서 수천 개의 홀로그램을 같은 장소에 저장할 수 있다. 데이터를 읽을 때에는 기록시 사용한 동일한 기준광을 조사하면 그 기준광과 간섭되었던 데이터 페이지 신호가 나오게 되고, 이 재생광 신호를 CCD로 받아 처리하게 된다. 이와 같이 홀로그래픽 디지털 데이터 스토리지는 동일 장소에 많은 데이터를 페이지 단위로 중첩기록하고 재생하므로써 이론적으로는 $1\text{Tb}/\text{cm}^3$ 이라는 엄청난 저장 밀도 및 $1\text{Gb}/\text{s}$ 이상의 빠른 데이터 전송률을 갖는 초고밀도 기록 및 초고속 재생이 가능하게 된다.^[10]

III. 홀로그래픽 재생 전용 시스템의 개요

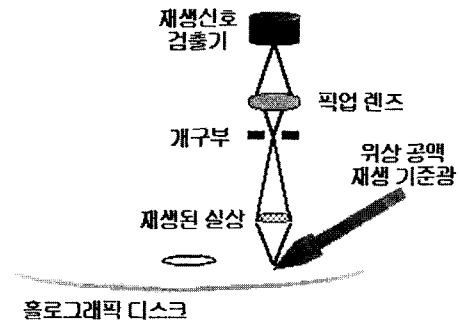
CD-ROM 또는 DVD-ROM 시스템과 마찬가지로 홀로그래픽 재생 전용시스템도 디스크에 데이터를 기록하는 홀로그래픽 디스크 복제기(Holographic Disk Replicator)와 사용자가 데이터를 재생하는 홀로그래픽 디스크 재생기(Holographic Disk Player)로 크게 나눌 수 있는데 홀로그래픽 재생 전용 시스템을 상용화하기 위한 홀로그래픽 디스크 복제기의 주요 요구 성능은 신뢰성 있는 디스크의 대량 복제가 가능해야 하며 디스크의 제조 단가가 저렴해야 한다는 점이고, 홀로그래픽 디스크 재생기는 데이터의 재생 신뢰성이 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 기록/재생 원리에서 설명한 홀로그래피 원리와 광굴절성 효과 및 고밀도 기록을 위한 각도 중첩기록 원리를



<그림 7> 홀로그래픽 디스크 복제기 개념도

응용한 홀로그래픽 리소그래피(Holographic Lithography) 공정을 사용하여 데이터를 디스크에 광학적으로 일괄 기록하는 대량 복제기법을 사용한다. 이러한 홀로그래픽 디스크 복제기의 개념도를 <그림 6>에 도시하였다.

<그림 6>에서 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 비트 열로 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 조정된 후 일정 크기로 확대된 신호광을 데이터 마스크에 조사하면 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 중첩 기록을 20회 반복하여 20매의 홀로그램을 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 된



<그림 7> 홀로그래픽 디스크 재생기 개념도

다.^[6] 한편 이렇게 복제된 홀로그래픽 디스크의 데이터를 재생하기 위한 홀로그래픽 디스크 재생기의 개념도를 <그림 7>에 도시하였다.

<그림 7>의 홀로그래픽 디스크 재생기에서 홀로그래픽 디스크로부터 데이터를 재생하는 방법은 위상 공액파 재생(Phase Conjugation Readout) 기법을 활용하게 되는데 이러한 위상 공액파 재생 기법은 그 동안 WORM 및 RW 홀로그래픽 데이터 스토리지에서 재생신호의 SNR을 개선하는 하나의 데이터 재생 방법으로 주로 연구가 진행되어 왔으나, 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 진행되는 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

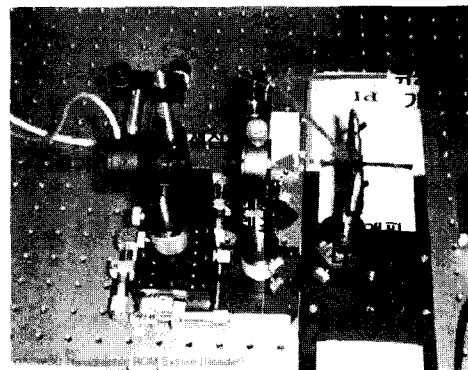
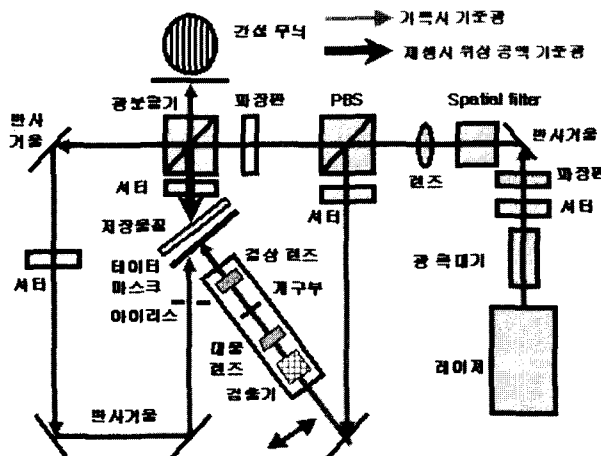
디스크의 소정에 트랙에 입사시키면 홀로그래픽 디스크로부터 재생된 재생상은 위상 공액 재생기 법의 원리에 의해서 기록시 데이터 마스크가 놓여 있던 동일한 위치에 실상(Real Image)을 형성하게 된다. 이렇게 재생된 실상은 인접 트랙에 걸친 비트 데이터도 일부 포함하고 있으므로 원하는 트랙의 비트 데이터만 선별 재생하기 위해서 개구부(Aperture)를 통하여 재생된 실상을 필터링하게 되는데 이렇게 필터링된 재생 실상은 픽업렌즈 또는 대물렌즈를 통하여 재생신호 검출기에 결상되어 전기적 신호로 검출되어 DVD와 유사한 신호 처리계를 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.

전용 시스템의 원리적인 구현 가능성을 검증하기 위해서 <그림 8(a)>와 같은 기록 및 재생 겸용 테스트 베드 및 <그림 8(b)>와 같은 재생기 전용기만을 별도로 구축하여 시스템의 성능 평가를 수행하였다.

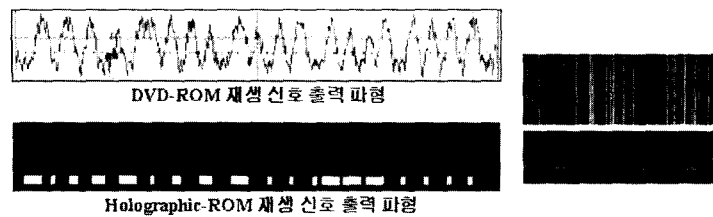
기록/재생 겸용 성능 평가를 이용한 실험에서는 레이저 빔의 파워가 약하여 디스크 전면에 대한 기록을 수행하지 못하였으며 약 1cm 정도의 영역에 데이터를 기록하였고, 기록시에는 검출 부분이 옆으로 이동되어진 상태에서 기록되며 재생시에는 데이터 마스크를 제거하고 검출부가 데이터가 나오는 방향으로 이동되도록 고안하였다. 또한 정밀한 위상 공액파를 만들기 위하여 사그낙 간섭계(Sagnac Interferometer)를 구성하여 기준광의 경로를 정렬하였다. 저장물질의 형태는 디스크 대신에 사각형 타입의 포토 폴리머를 사용하여 직선으로 이동하는 전동 스테이지 위에 장착하였다. 데이터 마스크 제작시 데이터의 형태는 트랙 서보가 필요 없도록 줄무늬 형태를 취하였고 100, 50 마이크로미터의 일정한 폭을 갖는 패턴과 50-200 마이크로미터의 랜덤한 폭을 갖는 패턴, 이 세 가지 종류에 대하여 실험하였으며 결상 렌즈는 0.25 NA를 갖는 대물 렌즈를 사용하였고, 신호의 검출은 파워 미터(NEWPORT 2832-C)에서 사용하는 포토다이오드를 디지털 오실로스코프에 연결하여 수행하

IV. 홀로그래픽 재생 전용 시스템의 구현 가능성 검증

(주)대우일렉트로닉스에서는 홀로그래픽 재생



<그림 8> (a) 홀로그래픽 재생 전용 시스템 실험장치, (b) 홀로그래픽 디스크 재생기(기록/재생 겸용 성능 평가)



〈그림 9〉 홀로그래픽 재생 전용 시스템의 재생 신호 검출 파형 및 재생 신호 영상

였으며 아래 〈그림 9〉에 50-200 마이크로 미터의 랜덤한 폭을 갖는 데이터에 대한 재생 신호의 검출 결과 및 기존 DVD-ROM의 재생신호 파형을 비교하여 도시하였다.

〈그림 9〉에서 보듯이 검출된 재생 신호로부터 0과 1을 분명히 구분할 수 있고, 재생 신호의 파형으로부터 변조된 신호의 폭을 구분할 수 있으며 재생 출력 측면에서 현재 DVD-ROM에서 사용하는 5mW급 레이저를 사용하여 재생했을 때 신호처리가 가능한 수준의 출력을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 본 성능 실험을 통하여 홀로그래픽 재생 전용 시스템의 원리적인 구현 가능성은 충분하다고 판단되나, 실제 DVD 포맷에 준하는 3T~14T의 데이터 마스크를 적용하지 못한 점 등 본 실험 상의 여러 제약 조건을 감안하면 추가적인 성능 평가가 필요할 것으로 생각되며, 보다 신뢰성 있는 재생 신호를 얻어 내기 위해서는 홀로그래픽의 재생 균일도를 향상시키고, 적절한 채널 등화기 등의 사용과 관련된 추가적인 연구가 필요할 것이다.

V. 결 론

고도정보화 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 세 가지

핵심적인 특징을 고루 갖추고 있어 차세대 대용량 정보 저장장치로 각광을 받고 있으며 특히 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 그간 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 2005년 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.

참 고 문 헌

- [1] J. F. Heanue, M. C. Bashaw, L. Hesselink, "Volume Holographic Storage and Retrieval of Digital Data",

- Science*, vol.265 (1994)
- [2] F. H. Mok, "Angle-multiplexed Storage of 5000 holograms in lithium niobate", *Opt. Lett.* 18, 915-917 (1993)
- [3] G. W. Burr, F. H. Mok, and D. Psaltis, "Storage of 10,000 holograms in $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ ", Conf. On Laser and Electro-Optics (CLEO), Anaheim, CA (1994)
- [4] Allen Pu and D. Psaltis, "High-density recording in photopolymer based holographic three-dimensional disks", *Appl. Opt.* vol.35, No.14, 2389-2398 (1996)
- [5] D. Psaltis and F. Mok, "Holographic Memory", *Scientific American*, vol. 273, No.5, 70-75 (1995)
- [6] E. Chuang, H. Yamatsu, and K. Saito, "Holographic ROM system for high-speed replication, Technical Digest, ISOM/ODS 2002 144-146
- [7] D. Gabor, *Nature*, 161, 777 (1948)
- [8] A. Ashkin, G.D. Bovd, J.M. Dziedzic, R.G. Smith, A.A. Ballman, J.J. Levinstein, and K. Nassau, *Appl. Phys. Lett.* 9, 72 (1966)
- [9] J. H. Hong, I. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian, and E. Paek, "Volume holographic memory systems-techniques and architectures", *Opt. Eng.*, 34(8) 2193-2203 (1995)
- [10] G. Zhou, A. Pu, O. Ivanova, and F. Mok, "Out interface for holographic memories", in *Optoelectronic Interconnects*, J. Bristow and S. Tang, Editors, Proceedings of SPIE, Vol. 3632, 292-296 (1999)

저자 소개



박주연

1987년 2월 연세대학교 기계공학과 졸업, 1996년 8월 한국과학기술원 자동화 및 설계공학과 졸업, 1987년 2월~현재: (주)대우일렉트로닉스 영상연구소 (책임연구원), <주관심 분야: 홀로그래피, 비선형 광학, 홀로그래픽 메모리, 광상관기>



남하은

1978년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업, 2000년 2월 미국 보스턴대 MBA, 1978년 2월~현재: (주)대우일렉트로닉스 영상연구소 (연구소장, 이사), <주관심 분야: 영상 신호처리, Display 기술, 저장장치 기술>