

홀로그래픽 데이터 스토리지의 연구개발 동향



· 박주연 ·

(주)대우일렉트로닉스
DM 연구소 책임연구원

1. 머리말

최근 급속히 발달하고 있는 정보 통신 산업은 과거 독립적으로 성장해오던 가전기기, 컴퓨터, 통신, 방송, 영상, 오락 등 여러 산업들이 서로 융합된 고도의 기술 집약적 멀티미디어 산업으로 변모해 가고 있다. 또한 전세계적인 디지털 멀티미디어 시대의 도래와 정보화 서비스 기반의 구축으로 정보량이 기하급수적으로 증가하며, 이러한 대량의 다양한 정보의 홍수로부터 유용한 정보를 얻기 위한 필수적인 도구로서의 정보 저장 및 재생, 검색장치 역할을 효율적으로 수행하는 차세대 대용량 정보 저장장치의 필요성이 급증하고 있다. 이와 같이 멀티미디어 사회에서는 기존의 Text나 Image 등의 정보를 포함하여 음성 및 비디오(동영상) 정보가 주류를 이루게 될 것이고 나아가 삼차원 동영상 및 주문형 비디오 등 막대한 정보가 공급되고 소비될 것으로 예측된다. 이에 따라서 각 개인 및 기업 등이 소비하는 정보

의 양도 엄청나게 증가될 것이며 이를 저장하고 관리할 수 있는 대용량 정보 저장장치가 필연적으로 수반되는 새로운 멀티 미디어 정보환경이 형성될 것으로 기대되고 있다. 그림(1)에서 보듯이 향후 정보 통신 기술의 급속한 발전에 따라서 2010년경에는 저장장치에 요구되는 저장용량이 Tera Byte급 이상이 요구되며 통신 환경의 고속화에 따라서 정보 저장장치에 요구되는 데이터 전송률도 수 Gbps급 이상의 처리 속도를 요구하게 될 것으로 전망되고 있다.

따라서 이러한 거시적인 정보 저장장치의 환경변화에 대응하기 위해서는 정보 저장매체의 초 대용량화, 초 고속화, 초 소형화에 대한 요구가 더욱 절실해

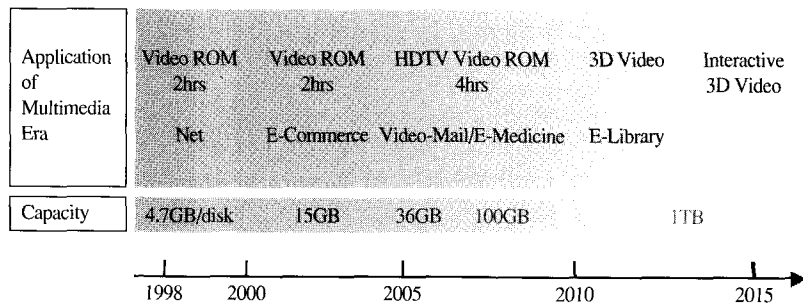


그림 1. 멀티 미디어 시대의 도래에 따른 정보량의 진화.

질 것으로 전망된다. 한 예로, 멀티미디어 정보통신의 총아라고 할 수 있는 주문형 비디오(VOD: Video-On-Demand)의 상용화를 위해서는 비디오 서버의 용량이 100TB 이상, 데이터 전달속도는 1Gb/s 이상이 요구된다. 그러나 기존의 반도체 메모리 기술, HDD(Hard Disk Drives), MOD(Magneto-Optic Disc), 및 CD/DVD 등 기존 저장장치로는 이러한 21세기 고도 정보화 사회에서 요구되는 막대한 양의 정보를 저장하고 처리하는데 있어서 기술적, 경제적 한계가 있음에 따라 새로운 차원의 차세대 초대용량 정보 저장매체 및 원천기술의 개발에 대한 필요성이 절실히 요구되고 있다. 또한 HDD, CD 및 DVD 등 현재 상용화되고 있는 고밀도 데이터 스토리지 시스템은 각 비트 단위로 기계적인 랜덤 액세스(Random Access)를 하여야 하기 때문에 데이터 처리속도의 한계를 가질 수 밖에 없다는 점을 고려할 때 새로운 차원의 차세대 초고속, 초대용량 저장매체에 대한 관심은 갈수록 커질 전망이다. 이와 같이 2010년 경 예상되는 기존 광 저장장치 및 자기 저장장치를 포함한 2차 저장장치의 기술 한계를 극복하기 위한 방안으로 현재 정보 저장장치 관련 기술의 개발 방향은 그림(2)의 정보 저장장치의 패러다임 변화도에서 보듯이 2차원 저장장치(2-Dimensional Storage)에서 3차원 저장장치(3-Dimensional Storage)로의 패러다임이 천이되고 있는 추세이다.

3차원 저장장치 중 최근 큰 주목하에 연구되고 있

는 기술이 홀로그래프를 이용한 광 저장 장치인 홀로그래픽 데이터 스토리지(Holographic Data Storage)이다. 보통 홀로그래프라고 하면 3차원 영상의 재현을 생각하지만, 보다 정확히는 홀로그래프란 저장될 때 사용된 광파를 똑같이 재생하는 것 또는 그 저장된 상태를 뜻하며, 홀로그래프 저장장치에서는 2차원 광 패턴들을 저장하였다가 재생하게 된다. 저장매체로는 주로 광굴절성 크리스탈(Photorefractive Crystal) 또는 포토폴리머(Photopolymer) 등이 사용되며 2차원 정보를 3차원 체적 홀로그래프로 저장하게 된다. 이러한 저장 방법은 적절한 다중화 기법에 의하여 공간적으로 중첩되어 저장된 정보라도 서로 독립적으로 분리하여 읽어낼 수 있으며, 2차원 영상이 한꺼번에 재생되는 페이지 단위의 읽기를 구현하기 때문에 초대용량의 병렬 액세스 초고속 데이터 스토리지 시스템의 구현을 가능하게 한다[1]. 홀로그래프의 다중기록을 이용한 데이터 스토리지는 요즘 새로운 광굴절성 물질의 개발과 전자분야에서의 SLM(Spatial Light Modulator) 및 CCD(Charge-Coupled Device)등의 광 소자의 놀라운 발전으로 상업화를 고려할 수 있게 되었고, 따라서 홀로그래픽 데이터 스토리지는 원래의 홀로그래피 기술에 광통신, 광컴퓨터, 레이저 및 핵심 소자인 광굴절물질의 개발과 눈부시게 발전하고 있는 전자분야가 합쳐진 시스템 기술이라고 할 수 있다.

2. Holography를 이용한 정보의 기록 및 재생 원리

널리 알려져 있듯이 홀로그래피를 이용하여 정보를 기록/재생하는 방법은 대상 물체로부터의 물체광(Object Beam=Signal Beam)을 기록하고, 후에 이것을 기준광(Reference Beam)을 이용하여 재현하도록 하는 방법이다[2]. Photographic Recording에 있어서 이 과정은 물체의 상을 대상 물체의 빛의 강도(Intensity)만으로 기록하는 Photosensitive Material(Film)상에 대치함으로써 이루어 진다. 이후 현상된 Film에 빛을 조사함으로써 기록된 광 강도 모양 즉, 대상 물체의 상이 재현된다. 반면에 Holographic Recording의 경우는 대상 물체로부터 반사된 물체광

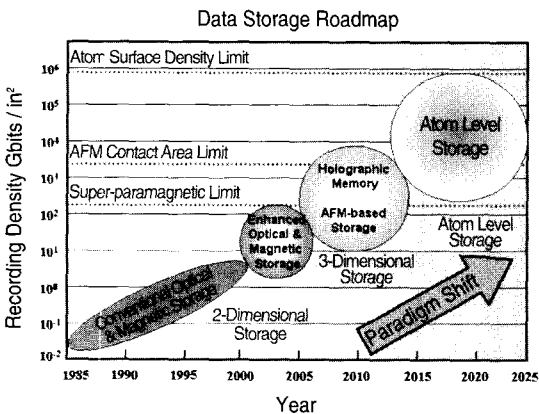


그림 2. 정보 저장장치 기술의 패러다임 변화.

의 강도 뿐만 아니라 방향도 기록한다. 그림(3a)에 나타난 것처럼 대상 물체의 빛의 강도와 방향은 물체광(Object Beam)과 기준광(Reference Beam)의 간섭에 의해서 구성되며, 그림(3b)에서 보듯이 물체광과 기준광은 간섭무늬(Interference Pattern)를 만든다. 이렇게 형성된 간섭무늬는 그림(3c)에서 보듯이 간섭무늬의 강도에 반응하는 물질 속에 기록된다. 마지막으로 그림(3d)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 Hologram을 중첩 기록함으로써 작은 입방체 내부에 방대한 Data를 저장하는 것이 가능하다[3].

이 때 사용 가능한 대표적인 저장물질로는 광굴절

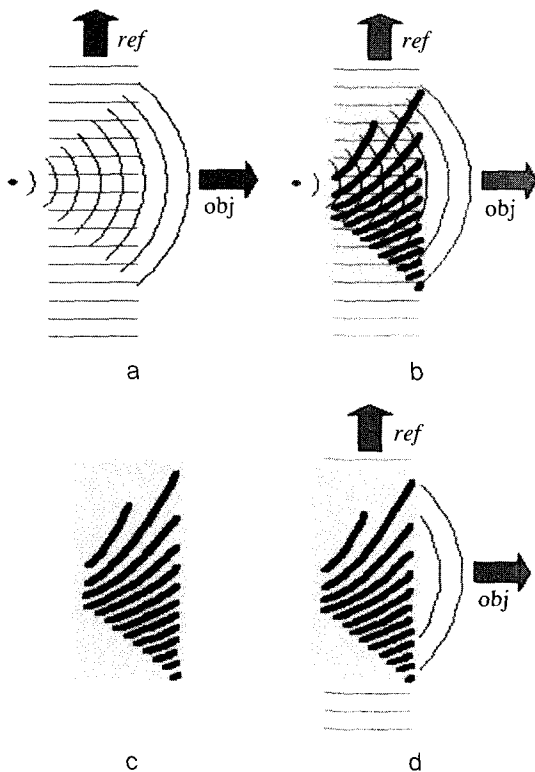


그림 3. Holography를 이용한 정보의 기록/재생 원리.

성 단결정(Photorefractive Crystal)과 포토폴리머(Photopolymer)가 있다. 그림(4)에 체적 홀로그램의 중첩기록 원리 및 저장물질의 광굴절성 효과(Photo refractive Effect)를 이용한 홀로그래픽 디지털 데이터 저장장치의 개략도를 도시하였다. 그림(4)에서 레이저 빔은 Beam Splitter에 의해서 데이터 빔과 기준 빔으로 나누어지고, 데이터 빔은 SLM(Spatial Light Modulator)에 의해 페이지 단위의 이진 데이터가 실리게 되며, 기준 빔은 회전 거울에 입사하게 된다(이것은 다른 기준 광을 만드는 한가지 방법으로써 각 기록시 마다 기준광의 입사각도를 변화시키는 각도 중첩 방법(Angle Multiplexing)이다)[4]. 그 다음 과정으로 두 빔이 저장물질 내에서 만나게 되므로써 저장물질 내에서 밝고 어두운 간섭무늬가 형성되고, 이때 저장물질의 광굴절성 효과에 의해서 이러한 간섭무늬가 저장물질의 미소한 굴절률 변화의 형태로 데이터를 기록하게 된다. 그 다음 데이터를 중첩기록하기 위해서는 기준광의 저장물질로의 입사각도를 바꾸어 다음 페이지를 기록하게 된다. 이와 같은 과정을 계속 반복하면 이진 Data의 Page단위로 구성되는 수백에서 수천 개의 Hologram을 같은 장소에

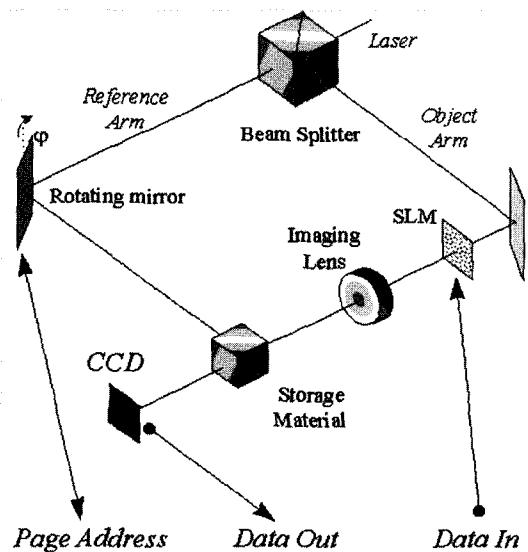


그림 4. Volume Holographic Digital Data Storage System의 개략도.

저장할 수 있다. 데이터를 읽을 때에는 기록시 사용한 동일한 기준빔을 조사하면 그 기준빔과 간섭되었던 데이터 페이지 신호가 나오게 되고, 이 재생광 신호를 CCD로 받아 처리하게 된다. 이와 같이 홀로그래픽 디지털 데이터 스토리지는 동일 장소에 많은 Data를 Page 단위로 기록, 재생하므로써 이론적으로는 1Tb/cm³이라는 엄청난 저장 밀도 및 1Gb/s이상의 빠른 Data 전달률을 갖는 기록 및 재생이 가능하게 된다[5].

3. 홀로그래픽 데이터 스토리지의 장점

현재 우리는 고도 정보화 사회를 지향하고 있고, 따라서 정보의 축적과 이를 활용한 응용분야는 빠른 속도로 발전하고 있다. 이러한 고도 정보화 시대에는 필연적으로 데이터의 저장 및 입출력에 관련된 정보저장장치는 대용량 및 고밀도화(High Capacity, High Storage Density)와 입출력 데이터 전송률의 고속화(Fast Data Transfer Rate) 및 보다 짧은 데이터 접근시간(Short Data Access Time)을 갖도록 요구되어 진다. 이러한 3개의 항목이 대표적인 정보저장장치의 성능을 비교하는 지수로 사용되고 있으며 이러한 3대 지수 측면에서 홀로그래픽 데이터 스토리지는 많은 장점을 가지고 있다.

1) 짧은 데이터 접근시간(Short Data Access Time)

일반적으로 정보저장장치는 컴퓨터의 주기억장치로 사용되는 1차 메모리(Primary Memory)와 보조기억장치로 사용되는 2차 메모리(Secondary Memory) 및 백업장치로 쓰이는 3차 메모리(Tertiary Memory)로 크게 분류할 수 있다. 그런데 그림(5)의 정보저장장치 성능 비교도에서 알 수 있듯이 1차 메모리와 2차 메모리 사이에는 데이터 접근시간(Access Time)이라는 성능 지수면에서 커다란 차이(Gap)가 존재하고 있음을 알 수 있다. 이러한 2차 메모리의 데이터 접근시간의 성능저하 원인으로는 현존하는 2차 메모리인 CD-ROM, DVD-ROM, HDD(Hard Disk Drive), MO Disk 및 RAID(Redundant Array of Inexpensive Disks) 등 광학 및 자기 데이터 저장장치가 데이터의

입출력 및 접근에 기계적인 구동이 수반되므로 데이터 전송과 접근속도를 고속화 하는데 한계를 가지는 단점이 있기 때문이다. 이에 반하여 홀로그래픽 데이터 스토리지는 데이터 기록/재생의 원리상 체적 홀로그래픽의 원리를 이용하는 페이지 지향적인 메모리(Page-oriented Memory)로써 기계적인 구동부를 배제한 시스템 구성이 가능하므로 데이터 접근 시간도 100 μ s 이하로 매우 빠르며, 향후 광 편향소자의 발전에 따라서 데이터 접근 시간을 더욱 단축 시키는 것이 가능하다[6]. 따라서 홀로그래픽 데이터 스토리지는 앞서 언급한 1차 메모리와 2차 메모리의 성능 지수 사이에 존재하는 데이터 접근속도 차이(Gap)를 좁힐 수 있는 유일한 대안으로 받아들여지고 있다. 이와 같은 홀로그래픽 데이터 스토리지에 의한 1차 메모리와 2차 메모리 사이의 데이터 접근시간 성능 지수 간격 개선 효과를 그림(5)에 도시하였다.

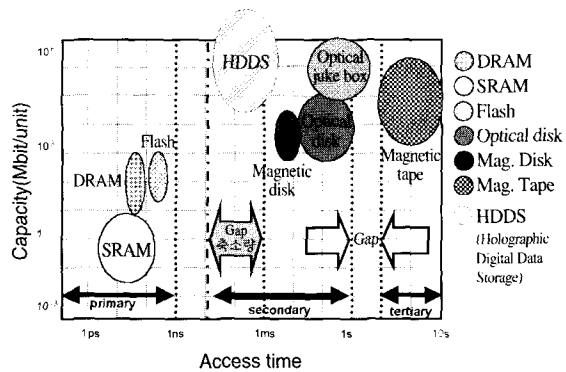


그림 5. HDDS에 의한 2차메모리의 Access time 개선.
HDDS : Holographic Digital Data Storage

2) 높은 저장밀도(High Storage Density)

현재 정보저장기기의 주류를 이루고 있는 HDD 계열의 자기 저장장치는 MR/GMR(Magneto-Resistive/Giant Magneto-Resistive) 헤드를 이용한 기록/재생 방식의 등장으로 면기록 밀도 증가율이 연 60%에 달하는 비약적인 발전을 하고 있으며, 기존의 수평자기 기록의 기록밀도 한계를 극복하기 위한 방법으로 수직 자기기록에 대한 연구가 진행되고 있으나, 이는 곧 Super Paramagnetic Effect에 의한 상자성의 한계

(~100Gbits/in²)로 인하여 저장밀도의 지속적인 증가는 기대할 수 없는 점에서 저장밀도의 확장성 측면에서 커다란 단점을 가지고 있다. 또한 DVD계열의 광 저장장치는 다층기록(Multilayer Recording) 방식을 이용하여 대용량화를 시도하고 있으나, 근본적으로 빛의 회절현상으로 인해서 데이터 저장용 홈(Pit)을 레이저 광원의 파장이하로 기록/재생할 수 없기 때문에 기록밀도의 개선에는 한계가 존재한다. 최근에 이러한 빛의 회절 한계를 극복하기 위해서 SIL

(Solid Immersion Lens) 등을 이용한 근접장 기록(NFR : Near Field Recording)에 대한 연구가 진행되고 있으나, 이 기술 역시 기존의 광자기 기록(Magneto-optic Recording) 기술과 HDD의 기술을 활용하기 때문에 저장밀도의 획기적인 증가에 대한 궁극적인 해결책을 제시하지 못하며, 현존 정보 저장장치와 차세대 정보저장장치의 과도기적 성격을 갖는 정보 저장장치로 고려할 수 있다. 한편, 1980년대에 끝이 났던 나노 탐침(Nano Probe)을 이용하여 표면의 Topology나 물리현상을 모니터링 할 수 있는 SPM 기술이 개발된 이래 이를 정보저장기에 응용하고자 하는 연구가 1990년대 들어 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 활발히 진행 중이다[7]. 이 기술은 궁극적으로 원자나 분자레벨의 정보를 기록/재생할 수도 있어 저장밀도를 획기적으로 증대시킬 수 있는 신개념의 저장기술임에는 틀림없지만 저장기기로의 구현되기까지는 다소 시간이 걸릴 것으로 예측되고 있다.

반면에 홀로그래픽 데이터 스토리지의 경우에는 기록/재생의 원리가 저장물질의 체적을 이용하는 3차원 저장장치이며, 체적 홀로그램의 중첩기록 특성을 활용하므로 저장밀도를 획기적으로 증대시키는 것이 가능하며 이론적으로 V/λ^2 (V : 저장물질의 체적, λ : 사용 광원의 파장)의 막대한 저장밀도를 구현

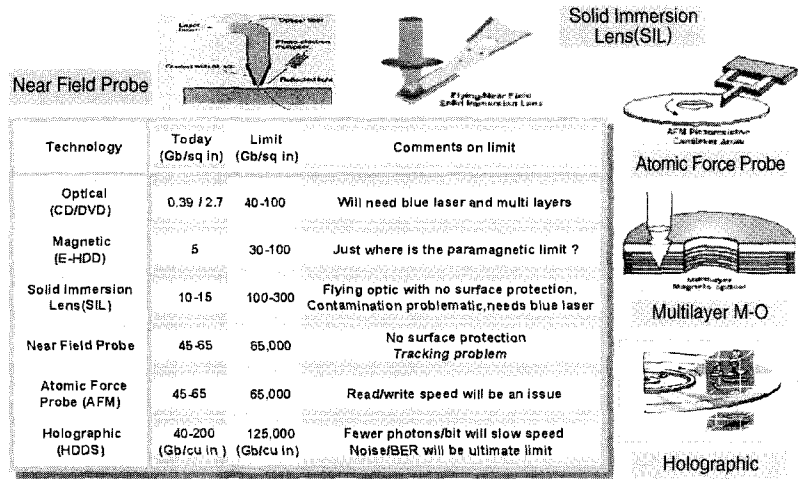


그림 6. 대용량 저장매체의 저장밀도 비교도. (자료출처 : Optical Science Center, Univ. of Arizona, 1998)

하는 것이 가능하다[1]. 또한 최근에 주목 받고 있는 “Correlation Multiplexing” 이라는 데이터 중첩기술을 사용하는 경우에는 저장물질의 깊이 방향으로 이동 선택성(Shift Selectivity)을 부가할 수 있어 데이터를 가상 레이어(Virtual Layer)에 다층으로 중첩 기록할 수 있어 초고밀도 기록/재생이 가능하다[8]. 이와 같이 홀로그래픽 데이터 스토리지는 저장밀도의 고밀도화라는 측면에서 커다란 장점이 있다. 그림(6)의 각 저장매체별 저장밀도 비교도에서 보듯이 홀로그래픽 데이터 스토리지가 저장밀도의 확장성 측면에서 다른 저장매체 대비 탁월한 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

3) 빠른 데이터 전송률 (Fast Data Transfer Rate)

현존 저장 장치인 HDD, CD/DVD 등은 데이터의 기록/재생 원리 자체가 시리얼한 기록/재생 방식이다. 즉 정보의 기록/재생을 각 Bit 단위로 처리하므로 데이터 처리 속도 및 전송률에 있어서 한계를 가질 수밖에 없다. 이에 반하여 홀로그래픽 데이터 스토리지의 경우는 기록/재생 원리 자체가 병렬 방식이다. 즉 정보의 기록/재생을 각Bit의 묶음인 페이지(Page) 단위로 처리하므로 데이터 처리속도 및 전송

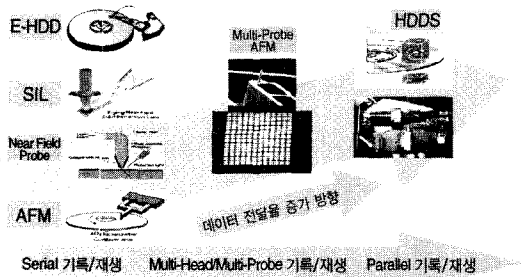


그림 7. 기록/재생방식에 따른 데이터 전달률 비교도.

률을 매우 크게 높일 수 있는 장점이 있다. 즉 초당 1000프레임을 처리할 수 있는 1000×1000 픽셀의 SLM과 CCD를 사용하는 경우 $1000 \times 1000 \times 1000 = 1\text{Gbits/s}$ 의 매우 빠른 데이터 전송률을 구현할 수 있다[6]. 그림(7)에 차세대 정보 저장장치를 기록/재생 방식에 따라 분류하고 각각의 데이터 전달률 경향을 도시하였다.

한편 상기 이외의 장점으로는 기존의 Tape나 Disk의 경우 저장 매체 상에 큰 결함이 발생할 경우 중요한 데이터의 복구할 수 없는 치명적인 손실이 발생하나, 홀로그래픽 데이터 스토리지의 경우에는 홀로그래픽 저장 매체에 큰 결함이 발생하는 경우에도 데이터가 완전히 손실되지 않고 단지 홀로그램을 조금 어둡게 할 뿐이므로 원 Data의 복구가 가능하다. 즉, 높은 신뢰도(Reliability)의 시스템 구현이 가능하다.

또한 홀로그래픽 기록과 재생은 홀로그램 상에 맺히는 기준광의 정확한 위치에 덜 민감하다. 즉, 홀로그램을 저장하는 저장 매체의 위치가 어떤 이유로 변경되어도 기록시와 동일한 광원의 입사 각도만 유지 된다면 홀로그램 상에 맺히는 기준광의 초점의 위치에는 크게 영향 받지 않는다. 즉, 홀로그래픽 데이터 스토리지는 광 Disk 등의 광 메모리 시스템에 비하여 진동 문제에 대하여 강인하다는 것을 의미한다.

4. 홀로그래픽 데이터 스토리지의 핵심 기술별 개발 동향

차세대 저장장치인 홀로그래픽 데이터 스토리지

의 핵심 기술 영역은 차세대 대용량 저장장치의 요구 성능 지수와 관련하여 저장용량(Storage Capacity)과 관련된 고밀도화 및 대용량화 기술영역, 데이터 접근시간(Access Time), 및 데이터 전송률(Data Transfer Rate)과 관련된 시스템 고속화 기술영역 및 시스템 가격(System Cost) 측면과 관련된 시스템 저가격화 기술 영역의 세가지 기술 영역으로 대별할 수 있으며 고밀도화 및 대용량화 기술영역과 관련된 핵심 기술은 고효율 저장물질의 합성, 제조 및 평가 기술, 홀로그램 데이터 다중화 기술, Pixel Matching 기록/재생 기술, 고신뢰도 광신호 검출 기술 및 오류 정정 기술로 구성되고, 시스템 고속화 기술영역과 관련된 핵심 기술은 초정밀 시스템 서보 제어 기술, 구동 Mechanism 집적화 및 신뢰성 확보 기술, 고속 디지털 신호 처리 기술 및 기록/재생 데이터 포맷 기술로 구성되며 시스템 저가격화 기술영역과 관련된 핵심기술은 미디어 대량 제조 및 복제 기술 및 시스템 통합 기술로 구성된다. 아래의 표(1)에 홀로그래픽 데이터 스토리지와 관련된 핵심 기술의 내용을 분류하였고 이러한 핵심 기술별 최첨단 개발 동향 및 발전 전망을 표(2)에 일람하였다.

5. 국내외 연구 개발 동향

정보 저장장치의 기록용량은 기록밀도에 의해 결정되는 것으로, 현재 대표적인 정보 저장 장치인 HDD(Hard Disk Drives)에서 사용되는 정보기록 방식인 자기기록 방식은 정보 기록 매체의 열적 불안정성에 의하여 발생하는 Super Paramagnetic Effect에 의하여 기록 밀도의 한계가 $\sim 100\text{Gbits/in}^2$ 정도로 예측되고 있어, 2010년경 도래할 대용량 정보 저장장치에서 요구되는 성능에 대응하기 어려운 실정이다. 이에 따라 향후 거대한 시장규모를 형성할 대용량 정보저장장치 시장에 확대 진입을 하기 위해서는 새로운 기록/재생 방식을 기초로 한 차세대 정보 저장 기술이 요구되고 있다. 그러나, 차세대 대용량 정보 저장장치의 경우, 차세대 기술의 불확실성, 빠른 기술 혁신 변화 및 대규모 개발 투자비 등의 문제 때문에 개별 기업 또는 연구기관이 단독 개발하기에는 위험부담이 커지면서, 미국 및 일본 등의 이분야 기

표 1. 홀로그래픽 데이터 스토리지의 핵심기술 분류 및 내용.

기술영역	성능지수	핵심 기술 내용	요소기술
고밀도화 및 대용량화 기술	Storage Capacity (Storage Density)	고효율 저장물질의 합성, 제조 및 평가 기술	고성능 광 폴리머 합성 기술 광 폴리머 두께 향상 및 적층 기술 저장물질 기록/재생 특성 평가 기술 고성능 광굴절성 단결성 성장 기술 광굴절성 단결정 고정도 가공 기술
		홀로그래픽 데이터 다중화 기술	체적 홀로그래픽 기록/재생 기술 기록 시간 분배 기술 홀로그래픽 휘발성(Volatility) 방지 기록/재생 기술 가변 파장 광원 기술 공간 광 변조 기술 / 레이저 위상 변조 기술
		Pixel Matching 기록/재생 기술	고성능 광학 부품 설계 기술 기록/재생 Architecture 설계 기술 위상 공액(Phase Conjugation) 재생 기술 SLM, CCD 등 핵심 소자 활용 기술 광학계 조립, 조정 및 평가 기술
		고신뢰도 광신호 검출 기술	SLM, CCD 등 핵심 소자 동특성 분석 기술 채널 특성 분석 및 평가 기술 시스템 모델링 및 시뮬레이션 기술 2차원 Modulation Coding 기술 채널 등화 기술 채널 Noise 제어 및 SNR 개선 기술
		오류정정 기술	2차원 오류 정정 코딩 기술 2차원 인터리빙 기술 오류원인 분석 및 BER Estimation 기술
시스템 고속화 기술	Access Time	초정밀 시스템 서보 제어 기술	고정밀 레이저 빔 편향 기술 디스크 고속 회전 기술 및 방진 기술 음향 광학 레이저 빔 변조 기술 고정밀 Tracking 및 Addressing 기술
		구동 Mechanism 집적화 및 신뢰성 확보 기술	광 헤드 집적화 기술 구동 Mechanism 내구성 확보 기술 시스템 Compact Packaging 기술
	Data Transfer Rate	고속 디지털 신호 처리 기술	고속 인터페이스 기술 High Frame Rate CCD, LCD 활용 기술 고속 Tracking 및 Addressing 기술 고효율 데이터 압축 및 복원 기술
		기록/재생 데이터 포맷 기술	Physical Layer 설계 기술 File Structure 및 Logical Layer 설계 기술 데이터 호환성 확보 기술
시스템 저가격화 기술	System Cost	미디어 대량 제조 및 복제 기술	미디어 양산 공정 기술 Master 홀로그래픽 제작 기술 체적 홀로그래픽 대량 복제 기술 미디어 Substrate 제조 기술
		시스템 통합 기술	시스템 양산 설계 및 제조 기술 시스템 성능 및 평가 및 분석 기술 시스템 신뢰성 및 내구성 확보 기술 양산 자동화 기술

표 2. 핵심기술별 최첨단 개발 동향 및 발전 전망.

기술영역	최첨단 동향	기술발전 전망		
고밀도화 및 대용량화 기술	<p>고효율 저장 물질 합성 제조 및 평가 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> • 두께 500μm급 광 폴리머 Sample 개발 • CROP 기술을 활용한 광 폴리머의 수축율 0.1% 이하 제조 공정 개발 • 반복 기록이 가능한 Photorefractive Polymer 개발 중 • 편광 홀로그래픽 기록 기술을 활용하는 Photoaddressable Polymer 개발 • 광굴절성 단결정의 광학 특성 개선을 위한 Stoichiometric 공정 개발 • 광굴절성 단결정의 Dark Decay를 방지하기 위한 Fixing 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 광굴절성 단결정은 Optical Quality, Dimensional Stability 및 고밀도 중첩 기록을 위해 미디어 두께를 높이는 측면에서는 커다란 장점이 있으나, Sensitivity, Dynamic Range가 매우 낮아 현재의 상태로는 상용화 시스템에 적용하기에는 난점이 있어 이러한 특성을 개선하는 방향으로 연구개발이 진행될 전망이다. • 광 폴리머는 Optical Quality를 유지하며 두께를 올리는 공정 개발 및 기록 후 수축을 줄이는 방향으로 연구개발이 추진될 전망이다. 		
	<p>홀로그램 데이터 다중화 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> • 두께 8mm의 광굴절성 단결정인 LiNbO₃:Fe와 각도 다중화 기법을 사용하여 저장밀도 250Gbit/in² 구현 • 두께 300μm의 광 폴리머와 Peristrophic 다중화 기법을 사용하여 저장밀도 50Gbit/in² 구현 • Polarized Collinear Holography 기법을 사용하여 CD 크기의 Disk에 1TB급 저장용량을 구현하는 기술을 개발 중 • Phase Correlation Multiplexing 이라는 새로운 다중화 기법 개발 • Micro-hologram의 다중기록에 의한 고밀도 기록/재생 기술 개발 • 홀로그래프 기록시 Cross-erase 문제를 개선하기 위한 Two-step-gated 기록 재생 기술 개발 • Gray Scale 기록 재생 기술 개발 		<ul style="list-style-type: none"> • 다중화 기술 중에는 파장 다중화가 가장 이상적이나 광원으로 사용되는 Tunable Laser의 수급 및 가격 문제로 당분간은 상용화에 채용되기는 어렵고, 향후 광원 문제를 해결 하는 방향으로 연구개발이 진행될 전망이다. • 대부분의 다중화 기술은 고밀도 기록을 위해서 미디어의 두께가 매우 중요한 인자이므로 광 폴리머를 채용하는 시스템 경우에는 두꺼운 광 폴리머의 개발이 주요 관건이 됨. • 고밀도 기록을 위해서 개별 다중화 기법을 병용하는 Hybrid 다중화 기법이 주요 연구 개발 분야로 될 전망이다. • 디스크형 시스템에는 Shift 다중화 기법이 경박단소한 시스템 구현 측면에서 유리하나 Wobble 대응력 측면에서 문제가 있어 개선을 위한 연구개발이 진행될 전망이다. 	
	<p>Pixel Matching 기록 재생 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12.8μm Pixel Pitch의 SLM을 이용한 1Mbit/Page급 Pixel Matching 기술 개발 • Pixel Matching의 Auto-alignment 기법 개발 • Over-sampling 기법 개발 • Phase Conjugation Readout을 이용한 Pixel Matching 기법 개발 			<ul style="list-style-type: none"> • Phase Conjugation Readout을 이용한 Pixel Matching은 광학 부품의 정밀 정렬 부담을 줄이는 유효한 방안이나 위상공액파를 만드는 난점이 있어 추가 연구가 필요함. • 9μm 이하 급 Pixel Pitch의 1Mbit/Page급 Pixel Matching 기술로 연구개발이 진행됨.
	<p>고신뢰 광신호 검출 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> • Phase Mask, Axicon, Apodizer 등 광특성 개선용 핵심소자 개발 • Block Modulation Code, Strip Code 등 2차원 Modulation Coding 기법 개발 • Adaptive Thresholding 기법 개발 • Pixel Mis-alignment 보상 기술을 이용한 SNR 개선기법 개발 • Pre-distortion 기법, Inverse Filtering 기법 등 SNR 개선 기법 개발 • Zero-forcing, LMMSE Equalization 기법 등 채널 등화 기법 개발 			
<p>오류 정정 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reed-solomon Code 등 기존 오류 정정 코딩 기법의 성능 개선 기술 개발 • Turbo Code 등 새로운 오류정정 코딩 기법의 적용 기술 개발 • 2차원 오류정정 코딩 기법 개발 • 2차원 인터리빙 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 기 개발된 Reed-Solomon Code를 중심으로 성능 개선 연구개발이 추진될 전망이다. • 오류정정 관련 새로운 알고리즘의 탐색 연구도 함께 병행될 전망이다. 			

기술영역	최첨단 동향	기술발전 전망
초정밀 시스템 서보 제어 기술	<ul style="list-style-type: none"> • Sub Hologram을 이용한 Servo 기법개발 • 홀로그래픽 디스크의 600 RPM 회전 위치 제어 기술 개발 • 1/1000 Degree 급 분해능의 레이저 빔 편향 기술 개발 • Continuous 기록 재생을 위한 Synchronization 제어 기법 개발 • 디스크의 회전에 의한 Wobble 보상기법 개발 • Stepping Motor의 반복 구동 정밀도 확보 기술 개발 • DVD와 Upper Compatibility를 갖는 홀로그래픽 디스크 제어 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 저장 미디어 내에 서보 제어를 위한 신호를 여하한 방법으로 기록하고, 재생시 서보 에러 신호를 검출하는 Servo Strategy의 개발이 제일 중요한 관건이며 이러한 분야로 연구 개발이 집중될 전망이다. • 회전 디스크형 홀로그래픽 메모리 시스템 경우, 서보제어 기법 측면에서는 기존 CD, DVD 등의 디스크형 광메모리에서 잘 구축된 기술을 계승 발전시키는 방향으로 연구개발이 진행될 전망이다. • 디스크형, Cubic형, Card형 등 시스템 Form Factor에 따라서 Actuator가 상이하게 되므로 연관된 Actuator의 개발 및 서보 제어기법 개발이 병행될 전망이다.
구동 Mecha 집적화 및 신뢰성 확보 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 회전 디스크형 홀로그래픽 메모리용 Disk Drive Unit 개발 • Cartridge 미디어용 Disk Loading Unit 개발 • 광학 헤드 소형화용 MEMS Scanning Mirror 개발 • 광학계 소형화를 위한 Low Aberration 단초점 Fourier Lens 개발 • Laser Diode Array 및 Phase Conjugation Readout 기술을 이용한 Compact 홀로그래픽 메모리 모듈 개발 • 음향광학 소자를 이용한 초소형 초고속 홀로그래픽 ROM 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 광 폴리머를 채용한 WORM 시스템 경우에는 Cartridge 수납형 미디어, ROM 시스템 경우는 Non-Cartridge형 미디어로 구성될 것이며 이에 따른 미디어 Loading Unit도 차별화 설계될 전망이다. • 회전 디스크형 홀로그래픽 메모리 시스템 경우, Disk Drive Unit 개발 측면에서는 기존 CD/DVD 등의 디스크형 광메모리에서 잘 구축된 기술을 계승 발전시키는 방향으로 연구개발이 진행될 전망이다. • 광학계를 소형화하는 기술이 시스템 크기를 결정하는 중요 요소로 이 분야에 연구 개발이 집중될 전망이다.
시스템 고속화 기술	<ul style="list-style-type: none"> • SLM으로 2000 Frame Rate를 갖는 DMD 모듈을 채용한 시스템 개발 • 1000 Frame Rate급의 홀로그래픽 메모리용 반사형 LCD 모듈 개발 • CMOS 기술을 이용한 고속 신호 처리용 재생 출력 검출 소자인 Active Pixel Array Detector 개발 • 1000 Frame Rate 급 디지털 CCD의 고속 신호처리 기술 개발 • PCI-VME Bridge를 이용한 초고속 인터페이스 기술 개발 • FPGA를 이용한 Channel Encoder 및 Decoder H/W Board 개발 • 시스템 End-to-End 데이터 전송을 1Gbps급 디지털 신호처리 기술 개발 • 16개의 Modulation, ECC Board용 병렬 신호처리 기술 개발 • 10Gbps급 재생 신호 검출 기술 개발 • Pulsed Laser를 이용한 초고속 기록 재생 기술 개발 • 고속 기록을 위한 High Sensitivity 1000cm/J 급 광 폴리머 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 홀로그래픽 메모리의 최대 장점이 Page 단위 기록 재생 능력에 의한 초고속성이므로 이 기술 영역이 홀로그래픽 메모리를 기존 저장 장치와 차별화 할 수 있는 핵심 연구분야로 가장 역점을 두고 연구개발이 추진될 전망이다. • 홀로그래픽 메모리는 Parallel한 기록 재생 시스템으로 기존 CD/DVD 등 광 메모리에서 잘 구축된 Serial한 디지털 신호처리 기법을 원용하기 어려워 새로운 고속 디지털 신호처리 기법을 개발하는 방향으로 연구개발이 진행될 전망이다. • 시스템 고속화를 위해서는 데이터의 입출력에 관계되는 SLM 및 CCD 등 핵심소자의 고속화가 필수 요건이므로 이러한 핵심소자의 개발이 주요 관건이 될 전망이다. • 1~10Gbps 급의 Bandwidth를 갖는 데이터를 실시간으로 처리할 능력을 갖는 Chip Set 및 DSP Board 개발이 시스템 고속화에 Neck Point가 될 수도 있어 이 분야와 관련된 연구 개발에 집중적인 자원 투자가 이루어질 전망이다.
데이터 포맷 기술	<ul style="list-style-type: none"> • DEPOM(Data Encoding for Page-Oriented Memory)이라는 Working 그룹 활동 • 데이터 포맷 연구 초기 단계 	<ul style="list-style-type: none"> • 향후 데이터 포맷 국제 표준화와 관련하여 경쟁적으로 연구 개발이 추진될 분야로 현재는 연구 개발 초기 단계임.

기술영역		최첨단 동향	기술발전 전망
시스템 저가격화 기술	미디어 대량 제조 및 복제 기술	<ul style="list-style-type: none"> • Zerowave라는 고효율 광폴리머의 양산 공정 기술 개발 • 저장물질 Packaging용 Substrate로 Molding Process를 이용한 저가의 Plastic Substrate 개발 • 홀로그래픽 ROM 시스템을 위한 체적 홀로그래픽 데이터 대량 복제 기술 개발 • 미디어 대량 복제용 홀로그래픽 디스크의 Mastering 기술 및 제작 시스템 개발 • 고효율 AR Coating 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 광굴절성 단결정은 결정 성장 및 가공에 요구되는 제조 비용이 높아 획기적인 제조 방법이 개발되기 전까지는 단가가 매우 비쌀 것으로 전망되나, 광 폴리머는 제조 공정 상 제조 비용이 저렴하여 미디어 단가 측면에서 앞으로도 가격 경쟁력을 갖출 수 있을 것임. • 홀로그래픽 ROM 시스템의 상용화를 위해서 반드시 미디어 대량 복제 기술의 개발이 선결되어야함.
	시스템 통합 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 회전 디스크형 홀로그래픽 메모리의 Prototype 개발 • Cubic형 홀로그래픽 메모리의 Prototype 개발 • Laser Diode를 광원으로 채용하여 시스템 저가격화 설계 기술 개발 • 광학계, 서보 제어계, 디지털 신호처리계의 통합 및 최적화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심기술별로 시스템 통합된 Prototype 개발 결과를 기반으로 제품화 수준의 기술 개발이 추진될 전망이다. • 제품화 기술 개발시 성능대비 가격 경쟁력을 갖출 수 있는 설계 개념을 도입하는 방향으로 연구 개발이 추진될 전망이다. • 시스템 저가격화를 위해서는 핵심부품의 저가격화가 중요하므로 핵심 부품 업체와의 유기적인 공동연구가 추진될 전망이다.

술 선진국에서는 정부의 개발 자금 지원 하에 여러 기업 및 연구 기관들의 산학연 공동 연구 콘소시엄을 결성하여 공동 연구를 추진함으로써, 향후 21세기의 거대한 정보 저장장치 시장을 선점하기 위해서 차세대 대용량 정보 저장장치의 연구 개발을 수행하고 있다

앞서 기술한 바와 같이 정보 저장장치의 거시적인 요구 환경 변화 및 2005년 초에 거대한 시장을 형성할 차세대 정보 저장장치의 수요에 대한 대응책으로 최근 세계 각국에서 큰 주목 하에 연구되고 있는 기술이 홀로그래프를 이용한 광 저장장치(이하 HDDS : Holographic Digital Data Storage)이며, 미국을 중심으로 유럽 및 일본 등 기술 선진국에서는 이 분야에 대한 연구가 매우 활성화 되어 있고, 범 국가적 차원에서 집중적으로 투자를 하고 있는 상황이며, 미국의 경우 IBM, Lucent Technologies를 위시한 각 개별 기업 별로도 상용화에 근접한 Prototype의 개발이 이루어지고 있다. 그러나 초고속, 대용량의 성능을 갖는 HDDS의 개발 및 본격적인 상용화를 위해서는 현재보다 우수한 저장물질의 개발 및 데이터 다중화 방법 과 신호처리 기술의 개발이 시급히 요청되고 있다. 이에 따라서 미국의 경우는 HDDS를 전략적으로

개발하기 위하여 위의 NSIC 산하에 홀로그래프를 이용한 광 저장시스템 및 핵심부품 개발 과제인 HDSS (Holographic Data Storage Systems)프로젝트와 광굴절성 저장물질을 개발하기 위한 PRISM(Photorefractive Information Storage Materials)프로젝트를 정부의 자금 지원 하에 산학연 공동연구가 진행되어 성공적으로 완수된 바 있고, 본 연구 결과를 토대로 HDDS를 본격적으로 상용화 하기위한 연구가 미국 내의 각 기업별로 활발히 진행되고 있는 실정이다. 그림 (8)에 미국내의 HDSS 및 PRISM 프로젝트에 상세 내역을 일람하였다.

● 미국

이 분야 기술 선도국이며 최고의 경쟁력을 갖춘 미국의 경우, 정부 산하 기관인 DARPA (Department of Defense Advanced Research Project Agency)의 자금 지원 하에 홀로그래프를 이용한 차세대 대용량 저장장치를 개발하기 위하여 광굴절성 저장물질을 개발하는 PRISM(Photorefractive Information Storage Materials) 프로젝트와 시스템 및 관련 부품을 개발하기 위한 HDSS(Holographic Data Storage System) 프로젝트가 산,학,연 콘소시엄 형태로 국책과제로 진행 완료되었



<p>PRISM Project Photorefractive Information Storage Materials</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 목표 : Holographic Digital Data Storage용 최적의 저장물질 개발 및 고효율 저장기법 개발 □ R&D전략 : 미국 정부(DARPA)의 자금 지원하에 산학연 공동 연구 콘소시엄을 구성하여 연구개발 □ 진행 : 1994년에 시작된 5개년 Project □ 성과 : <ul style="list-style-type: none"> ❖ 상용화 가능한 고효율 WORM형 Photopolymer 개발 ❖ 저장물질 평가 규격, 방법 및 평가장치 개발 ❖ 저장물질의 기록원리 및 시스템 성능 지수간 관계 규명 ❖ 새로운 비열화 재생기법 및 다중화 기법개발 □ 참여기관 : <ul style="list-style-type: none"> IBM GTE Rockwell Optitek(Siros) Hughes SRI Polaroid Stanford Univ. 	 <p>IBM-HOST (Holographic Optical Storage Test Platform)</p>	<p>HDSS Project Holographic Data Storage System</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 목표 : 1Tbit/cm³ 저장밀도, 1Gbps의 데이터 전달률 과 10μs 대의 접근시간의 성능을 갖는 HDDS를 구현 할 수 있는 시스템 기술 및 핵심부품 개발 □ R&D전략 : PRISM Project와 연계하여 미국 정부(DARPA)의 자금 지원하에 산학연 공동 연구 콘소시엄을 구성하여 연구개발 □ 진행 : 1995년에 시작된 \$32million 규모의 5개년 Project □ 성과 : <ul style="list-style-type: none"> ❖ 1Mbit급의 Pixel Matching 기법 개발 ❖ 1000fps(frame/sec)의 재생속도 구현 ❖ HDDS용 모뎀레이션 및 오류 정정 코딩기법 개발 ❖ 1Mbit 픽셀을 갖는 1Gbit/sec 처리능력의 CCD개발 ❖ 1000fps 처리능력의 투과형 SLM 개발 및 1000fps급의 반사형 SLM 채용한 시스템 개발 □ 참여기관 : <ul style="list-style-type: none"> IBM Rockwell Optitek(Siros) Kodak SDL Rochester Photonics Stanford Univ. Arizona Univ. CMU 	 <p>IBM-DEMON (Holographic Storage Demonstrator)</p>
--	---	---	---

그림 8. 미국의 HDDS개발을 위한 PRISM 및 HDSS 국책 Project 내용 일람.

으며, 상기 국책과제 연구 및 참여기관의 개별적인 연구를 통하여 아래와 같은 괄목할만한 성과를 이룩하였다. 현재 시스템기술 관련하여서는 상품화 전 단계까지 도달한 상태이나, 그 동안 광굴절성 저장물질 개발 관련하여서는 획기적인 진전을 보지 못하다 최근 들어 포토폴리머(Photopolymer)를 기반으로 한 저장물질 분야에서 상당한 진척이 이루어져 개발된 저장물질의 최적화 과정을 통하여 조만간 상품화가 가능할 것으로 예측되고 있다.

◇ Lucent Tech.(InPhase Technology) : 최근 Correlation Multiplexing이라는 새로운 다중화 방법 및 포토폴리머를 기반으로 한 새로운 저장물질을 개발하여, 저장밀도 50bit/ μ m²을 실현하였고, 이를 바탕으로 5.25인치 디스크에 저장용량 125GB, 데이터 전송율 50MB/s 급의

획기적인 WORM(Write Once Read Many)형 Removable Holographic Disk 시스템을 상용화하기 위하여 준비 중이며, 같은 다중화 방법을 이용하여 Fe가 첨가된 LiNbO₃에 226Gbits/in²(350bit/ μ m²)의 초고밀도 기록을 구현하므로써 조만간 읽고 쓰기가 가능한(Rewritable) 테라바이트급 HDDS의 상용화에 성공할 것으로 전망되고 있다[9].

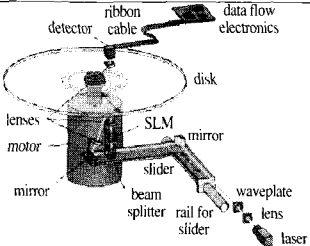
개발 참여회사	현재 Status	비고
<p>해외 (미국)</p> <p>Lucent Technologies (InPhase)</p>	<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2; padding-left: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ HDDS의 상용화 기술 R&D Leader ■ 1Mbit/page 기록/재생 기술 개발 완료 ■ 150GB급 Prototype 개발완료 ■ 독자적인 Storage Material(Photopolymer)개발 완료 ■ Photopolymer에 집중하는 R&D 전략 ■ 초기 상용화는 회전 Disk의 WORM형으로 결정 ■ HDDS 상용화를 위해서 InPhase라는 별도 회사 설립 <p>초기 상용화 Goal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Type : 회전 Disk/Removable/WORM • Capacity : 125GB(5.25"Disk기준) • Data transfer rate : 50MB/s • 저장매체가격 : \$ 10 ↓ </div> </div>	<p>국내 Venture Capital인 Newton Technology에 투자 (2001년)</p>

그림 9. Lucent Tech.의 HDDS 개발 현황.

◇ IBM : IBM은 향후 자기기록 저장 장치인 HDD를 대체할 수 있는 차세대 대용량 저장장치로서 HDDS의 가능성에 주목하여 이 분야에 대규모 연구 개발을 진행 중이며, HOST(Holographic Optical Storage Test Platform)라는 저장물질 개발용 범용 평가 분석 장치를 개발하여 포토폴리머 및 광굴절성 단결정 개발을 의욕적으로 추진하고 있으며, DEMON(Digital Holographic Demonstrator)이라는 HDDS 평가 시스템을 개발하여 디지털 신호처리 기술 개발 및 핵심 부품 개발에도 주력하고 있고, 특히 최근에 개발된 DEMON II에서는 Fe가 첨가된 LiNbO_3 에 각도 중첩 기록 기술을 이용하여 $250\text{Gbits}/\text{in}^2$ 의 초고밀도 기록/재생 기술을 구현하였다[10]. IBM은 HDDS에 관련된 기록/재생 기술, 광학계 설계 기술과 변조 코딩기술, 채널 등화 기술 및 오류정정 코딩기술을 포함하는 디지털 신호처리 기술에 대한 다수의 원천 특허를 보유하고 있으며, 향후 HDDS의 상용화 단계에서 전제될 데이터 포맷의 국제 규격 표준화를 주도하기 위해서 활발히 특허를 출원하는 특허 전략을 펼치고 있다.

◇ Caltech : Peristrophic Multiplexing 기술 및 Spherical Wave Shift Multiplexing 기술의 개발을 통하여 Dupont사의 포토폴리머를 채용한 홀로그래픽 디스크 시스템을 개발하였고, 현재 포토폴리머 개선을

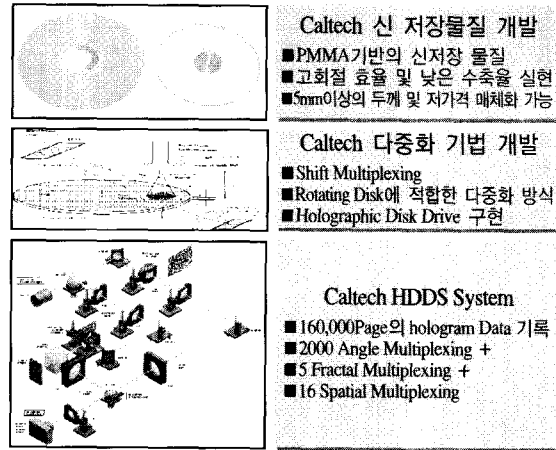


그림 11. Caltech의 HDDS관련 연구 현황.

통하여 $100\text{ bits}/\mu\text{m}^2$ 의 저장밀도를 갖는 홀로그래픽 디스크에 대한 연구를 진행 중이며, HDDS와 기술적인 내용이 같은 홀로그래픽 광 상관기(Holographic Optical Correlator)를 응용한 실시간 화상 인식 분야에 대한 연구도 병행하고 있다.

◇ Stanford University : 압축된 영상 및 비디오 데이터를 홀로그래픽 데이터 스토리지에 기록/재생하고 컴퓨터와 인터페이스 하는 기술을 개발하고 있으며, Aprilis 사의 ULSH-500이라는 포토폴리머를 기반으로 한 디스크 형태의 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템을 개발하여 $6\text{Gbits}/\text{s}$ 의 엄청난 데이터 전송률을 구현하였다[6].

◇ Rockwell : 군사용 자동 목표 추적 등의 특수 목적에 사용하는 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템을 개발하였으며, ROM(Read Only Memory) 형태의 소형 경량의 홀로그래픽 데이터 스토리지 시스템을 구현한 바 있다[4].

개발 참여회사	현재 Status	비고
해외 (미국)	<p>IBM</p> <p>IBM HDDS Prototype (DEMON I)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ HDDS의 상용화 기술 R&D Leader ■ 1Mbit/page 기록/재생 기술 개발 완료 ■ 100GB급 DEMON-I Prototype 개발완료 ■ 독자적인 SLM, Storage Material 개발 중 ■ Crystal/Photopolymer 모두 대응하는 R&D 전략 ■ HDDS(Holographic Data Storage System)국책과제 수행 ■ HDDS를 대체할 유력한 후보로 HDDS에 집중 투자 <p>Extended DRAM Product · Rewritable · Capacity:25GB · Access Time:10ns · Nonvolatile Cache</p> <p>Hard Disk Drive Product · WORM · Capacity:1TB · Access Time:10ms · High Reliability</p> <p>Hard Disk Drive Product · Read Only · Capacity:1TB · Access Time:10ms · High Capacity/Low Cost</p> <p>Rack-mounted archive · Rewritable/WORM · Capacity:1PB · Access Time:10S · High volumetric Density</p>	IBM Almaden 연구소

그림 10. IBM의 HDDS 개발 동향.

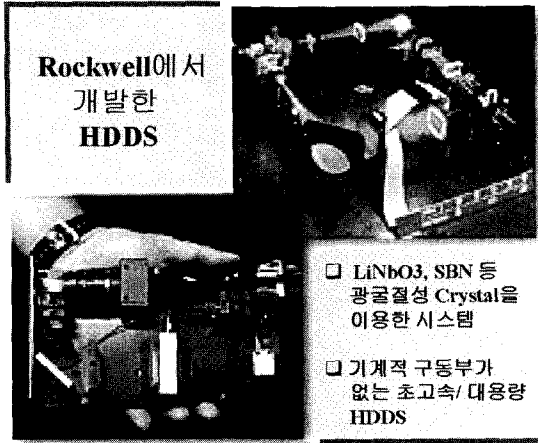


그림 12. Rockwell의 HDDS 개발 현황.

● 유럽

프랑스, 영국, 이탈리아 및 스위스 등이 참여한 범 유럽적인 산,학,연 연구 컨소시엄이 BRITE-EuRAM 이라는 프로젝트 명으로 구성되어 항공공의 자동 물체 인식 장치 및 자동 물체 추적장치, 공장 자동화용 형상 인식 장치에 응용이 가능한 초고속 홀로그래픽 디지털 광상관기 및 대용량 저장장치를 개발 중이며 상기 프로젝트의 참여기관으로는 프랑스의 Thomson-CSF, 영국의 British Aerospace, 이탈리아의 DIST, University of Genoa, 스위스의 IMT 등이 참가하고 있다 [11].

● 일본

현재 CD/DVD 계열의 광 저장장치 시장을 석권하고 있는 일본의 경우 광 저장장치 분야에서의 현 독주체제를 유지하기 위한 전략에 따라서 그동안 홀로그램 대용량 저장장치의 개발에 다소 미온적인 태도를 견지하였으나, 최근 들어 이 분야에 대한 연구개발이 매우 활성화

되고 있는 추세이다. 이러한 극적인 반전의 배경은 홀로그램 대용량 저장장치의 상용화가 최근에 미국을 위주로 급진전되고 있다는 판단에 근거하고 있다. 일본의 광 저장장치 업체의 기술력 및 제품력으로 미루어 볼 때 본 기술분야에서 조만간 미국의 수준에 근접할 수 있으리라 판단된다. 본 분야 관련 업체의 동향은 다음과 같다. Sony사는 DVD와 호환 가능한 홀로그래픽 디스크에 관련된 연구를 중점적으로 수행 중이며 최근 홀로그램의 대량 고속 복제기술을 개발하여 이 기술을 기반으로 하는 Holographic-ROM 시스템을 개발 중이고, Optware사는 DVD와 호환 가능한 Holographic-WORM 시스템을 개발하고 있으며 이외에 Pioneer사, Toshiba사, Matsusita사 및 NTT 등은 네트워크 스토리지에 응용 가능한 홀로그램 대용량 저장장치에 대하여 연구가 진행 중이다.

● 국내

국내 기업체로는 대우전자, 삼성전자에서 차세대 대용량 저장장치로 부각될 HDDS의 가능성에 주목하여 수년 전부터 이 분야에 대한 기반 기술 관련 연구를 진행하여 왔으며, 국내 연구소로는 ETRI, 대학에서는 강원대, 경희대, 광운대, 부경대, 부산대, 서

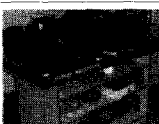
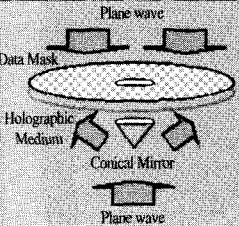
개발 참여회사	현재 Status	비고
Optware	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Sony의 기존 HDDS 관련 연구원들이 창업 ■ CD Form Factor의 Removable WORM Holographic Disk ■ CD/DVD와 호환 가능한 HDDS System 개발 중 ■ 독자적인 Collinear Holography, Shift Multiplexing 적용 ■ 저장용량 1TB 및 전송속도 1Gbps의 System 상용화 목표 ■ Optical Fiber Network와 직접 연결 가능 ■ 현재 Prototype 개발 중이며, 상용화 시점은 미발표 	
해의 (일본) Sony	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Hologram Data 대량복제 기술을 개발 ■ Hologram의 대량복제 기술에 기반하여 Holographic ROM 시스템 개발 중 ■ DVD와 호환 가능한 Disk Form Factor의 Holographic-ROM 시스템 ■ Angle/Wavelength Multiplexing 적용 ■ Conical Mirror와 Phase Conjugation Readout 기법을 채용 ■ 재생 전용기본 시스템 Cost를 대폭 낮출 수 있는 Architecture 임 	<p>수년 전까지 일본의 Storage 업계의 Major들은 HDDS의 상용화 시점을 멀리 보고, 기초연구만을 수행하였으나 최근 미국에서의 Breakthrough를 통한 HDDS의 상용화 가능시점의 단축에 고무되어 현재 활발히 연구 개발을 수행 중이며, Optware, Sony 등은 DVD와 호환이 가능한 HDDS 시스템을 제안하는 등 많은 연구성과를 발표 중</p>

그림 13. 일본의 HDDS 개발 동향.

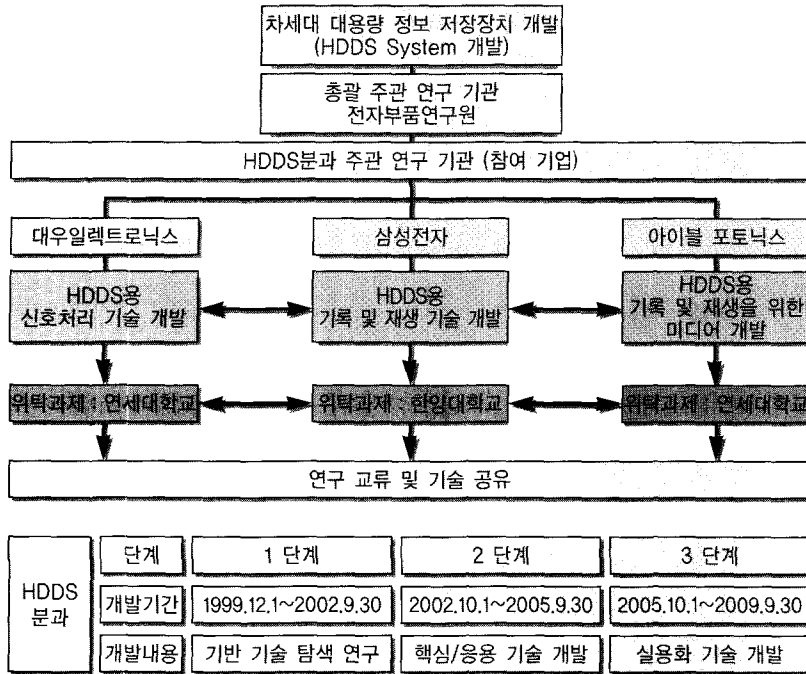


그림 14. 차세대 대용량 정보저장장치 개발 과제 HDDS분과 연구개발 추진체계.

울대, 성균관대, 순천대, 아주대, 영남대, 충북대 등에서 개별적으로 연구가 수행되어 오다가 지난 1999년 12월에 산업자원부에서 주관하는 국책 사업의 하나인 차세대 신기술 개발 사업 중 차세대 대용량 정보 저장장치 개발과제로 선정되어 정부의 연구 개발 자금 지원 하에 산학연 콘소시엄을 구성하여 본격적인 연구가 수행되고 있다. 그림(14)에 도시한 차세대 대용량 정보저장장치 개발 과제의 HDDS 분과 연구 개발 추진 체계에서 보듯이 과제의 총괄 주관기관은 전자부품 연구원이 맡고 있으며, 참여기업으로는 대우전자, 삼성전자와 벤처기업인 아이블 포토닉스가 참여하고 있고, 대학교로는 연세 대학교와 한양 대학교가 참여하여 현재 2단계의 1차년도 과제를 활발히 추진하고 있다.

6. 맺음말

본격적인 멀티미디어 시대의 도래와 함께 고속, 대용량의 정보 저장장치의 중요성은 날로 증가되고 있

으며, 이러한 기능을 갖춘 저장장치에 대한 시장의 수요 또한 급팽창하고 있는 추세이다. 이에 따라서 현존하는 어떠한 정보 저장장치보다도 고속, 대용량성의 측면에서 탁월한 성능을 갖고 있는 홀로그래픽 데이터 스토리지의 상용화를 위한 연구 개발이 전세계적으로 활성화되고 있다. 또한 그 동안 홀로그래픽 데이터 스토리지의 상용화에 큰 걸림돌로 생각되어 왔던 최적 저장 물질의 부재라는 문제는 그동안 포토폴리머를 중심으로 많은 혁신적인 개선이 이루어져 상용화가 가능한 수준의 성능을 갖는 포토폴리머들이 개발됨으로써 홀로그래픽 데이터 스토리지의 상

용화 가능성을 더욱 높게 만들고 있고, 현재의 개발 추세로 미루어 보면 2003년~2004년 내에 회전 디스크 형태의 ROM 및 WORM 기능을 갖춘 초기 제품이 등장할 것으로 예측되고 있는 실정이다. 현재 이러한 홀로그래픽 데이터 스토리지의 상용화에 가장 앞서 있는 곳은 미국이지만, 국내에서도 차세대 대용량 정보 저장장치 개발 국책과제를 통한 정부의 지원 및 개발 참여 기업의 자발적인 연구개발 노력으로 상당한 수준의 기술을 확보하게 되었으며, Prototype 제작과 같은 상용화를 전제로 한 가시적인 연구결과들이 생산되고 있음은 매우 고무적인 일이며, 정부의 정책적 지원과 학계 및 산업계의 관련 연구원들의 노력이 경주된다면, 현재의 CD/DVD 계열의 뒤를 이을 수 있는 초일류 상품으로 키워나갈 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

[1] P. J. van Heerden , "Theory of optical information

storage in solid," Appl. Opt. 2, 393-400, 1963.

[2] D. Gabor, Nature, Vol. 161, p. 777, 1948.

[3] H. Kogelnik, "Coupled wave theory for thick hologram gratings," Bell Syst. Tech. J., Vol. 49, No. 9, p. 2909, 1969.

[4] J. H. Hong, I. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian, and E. Paek, "Volume holographic memory systems - techniques and architectures," Opt. Eng., Vol. 34, No.8, 2193, 1995.

[5] 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, p. 292, 1999.

[6] H. J. Coufal, D. Psaltis, and G. T. Sincerbox(Eds.), Holographic Data Storage, Springer, 2000.

[7] B. Terris, H. J. Mamin, R. Ried, and D. Rugar, "AFM-based storage : Route to ultra-high areal densities?," Data Storage, p. 21, Aug. 1998.

[8] V. Markov, J. Millerd, J. Trolinger, and M. Norrie, "Multilayer volume holographic optical memory," Opt. Lett. Vol. 24, p. 265, 1999.

[9] S. Campbell, K. Curtis, A. Hill, T. J. Richardson, M. C. Tackitt, and W. L. Wilson, Optical Data Storage, 8, OSA Technical Digest Series, p. 168, 1998.

[10] G. W. Burr, C. M. Jefferson, H. Coufal, M. Jurich, J. A. Hoffnagle, R. M. Macfarlane, and R. M. Shelby, "Volume holographic data storage at an areal density of 250gigapixels/in²," Opt. Lett. Vol. 26, No. 7, p. 444, 2001.

[11] J. H. Sharp, D. M. Budgett, C. R. Chatwin, and B. F. Scott, "High-speed, acousto-optically addressed optical memory," Appl. Opt. Vol. 35, No. 14, p. 2399, 1996.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성 명 : 박 주 연

❖ 학 력

- 1987년 2월
연세대학교 기계공학과 졸업
- 1987년 1월 - 1994년 8월
대우전자(주) Optical Media연구소
(선임연구원)
- 1994년 9월 - 1996년 8월
한국과학기술원 자동화 및 설계공학과
졸업
- 1996년 9월 - 현재
(주)대우일렉트로닉스 DM 연구소
(책임연구원)

❖ 주 관 심 분 야

- 홀로그래피, 비선형 광학, 홀로그래픽 메모리, 광상관기