

◆특집◆ 정보저장기기

광 정보저장 미디어의 개발 동향 및 광 디스크 기판의 초정밀 설계 및 성형

김동묵*, 강신일**, 임윤철**

Development Trend of Optical Data Storage Media and Design and Fabrication of High Density Optical Disk Substrate

Dongmook Kim*, Shinill Kang**, and Yoon-Chul Rhim**

Abstract

Technology of data storage device has developed noticeably as demands and needs of new media increase. Huge data can be conveniently handled using removable type optical disk. In the present paper, the trend and current issue of development for optical disk media are introduced. Standardization of next generation optical disk media, technology of recording and reading, and applications of magneto-optical devices are also discussed. Finally, a methodology of process optimization for design and fabrication of high density optical disk substrate is proposed.

Key Words : Data storage device (정보저장기기), Optical data storage media (광 정보저장 미디어), Process optimization (공정 최적화), Disk substrate (디스크 기판)

1. 서론

현재의 정보저장기기의 분야는 100Gbit/in² 시대를 눈앞에 두고, 본격적인 인터넷과 멀티미디어 시대를 맞이하고 있으며, 대용량 데이터를 전송하고 저장하는 기술 혁명이 본격화된 시점에 와있다. 정보저장기기 분야에서 기술혁신의 속도는 21 세기에 접어들면서 점점 그 발전속도가 빨라지고 있다. 또, 이들이 인터넷 등의 네트워크에 결합되고, 정보의 송신이나 수집·교환이 보다 빈번하게 행해지면서 정보저장기기는 이들이 이용하는 모든 장치에 필수적인 것이 되었고, 용량, 속도, 신뢰성 등의 성능 또한, 취급하는 정보의 분량이 증가함

에 따라 더욱 더 엄격하게 요구되고 있다. 이에 따라, removable storage 도 역시 대용량화를 추구하고 발전하고 있으며, 휴대용 개인 컴퓨터(Mobile Personal Computer)의 중요 부분으로 자리잡아 가고 있다.

Removable Storage 를 사용하는 광 디스크 드라이브(ODD)는 그 기능에 따라 재생 전용형(ROM), 추기형(WORM), 서환형(RAM)의 3 종류로 분류할 수 있다. ROM 형은 현재는 CD-ROM 이 중심이 되고 있지만, 고급형 PC 의 일부에서는 DVD ROM 이 탑재되기 시작하였다. 사용자의 데이터를 저장하기 위한 WORM 또는 CD-RW 등의 기기가 시장의 수요를 충족시켜 나가기 시작하면서 현재는 일부의 휴대용 PC 를 제외하고는 대부분의 PC 에 CD-ROM , CD-RW 또는 DVD-ROM 이 탑재되고 있기 때문에 앞으로의 PC 시장의 성장과 함께 ODD 는 성장을 계속하게 될 것이다. Removable Storage

* 연세대학교 기계공학과 대학원

** 연세대학교 기계전자공학부

Tel. 02-2123-2829, Fax. 02-362-2736

E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

는 기록방식, 저장용량, 크기, 가격 등이 다양한데 호환성이라는 큰 특징을 살리기 위해서는 규격화 작업이 필수적이다. 따라서 각 회사들은 자신들이 보유한 기술과 특허 등에서 유리한 방향으로 규격화가 진행되도록 하기 위해 노력하고 있고, 이때문에 규격화의 진행이 더디어지고 있으며 일부에서는 규격화가 늦어지면 ODD 시장을 HDD 에게 내줄지도 모른다는 우려의 목소리가 나오고 있다. Removable Storage 는 타인과 데이터를 교환할 수 있다는 점이 대단한 장점 중의 하나이므로 그 디바이스가 물량 면에서 어느 정도 보급되어 있다는 것도 시장에서는 큰 경쟁력 중의 하나가 될 수 있다.

Removable Storage 는 사용목적의 관점에서 두 그룹으로 분류할 수 있다. 하나는 기존의 FDD 를 치환하기 위한 일종의 보급형 디바이스로서 PC 의 표준 저장장치의 자리를 지향하고 있는 것이며 다른 하나는 대용량의 데이터를 대량으로 취급하는 전문형 디바이스이다. 보급형 디바이스의 경우에는 용량보다 가격이 중시된다. 드라이브의 가격뿐만 아니라, 미디어의 가격이나 입수 용이성도 중요한 포인트가 된다고 할 수 있다. 전문형 디바이스는 주로 기존 HDD 의 역할을 보완하는 것이라고 할 수 있다. PC 에는 일반적으로 대용량의 HDD 가 탑재되어 있지만 화상이나 음성 등 대용량의 데이터를 대량으로 취급하는 경우 미디어의 교환만으로 용량을 무한하게 늘릴 수 있는 Removable Storage 가 매력적이기 때문이다.

본 연구에서는 먼저 매년 거의 100%의 저장용량 증대를 기록하고 있는 이러한 광디스크 미디어 관련 기술의 개발 동향을 분석하고, 또한 고밀도 차세대 디스크 기판을 제작하는데 있어서, 주요한 요소인 처짐, 전사성, 복굴절 등을 최적화하는 방법론을 제시하고자 한다.

2. 개발동향

2.1 표준화

새로운 정보저장 미디어의 표준화는 여러 가지로 매우 중요한 의미를 지니고 있다. 하나의 포맷이 정해지면 호환성을 위해 다른 모든 회사들이 그것에 맞춰야 하므로 처음 표준화를 이루는데 결정적인 영향을 미친 회사는 그만큼 큰 이익을 볼 수 있다. 또한 표준화가 결정되어도 제품으로 생

산되는데 오랜 시간이 필요하므로, 경쟁적인 위치에 있는 다른 정보저장 매체의 추격을 허용하지 않으려면 무엇보다 신속하게 표준화를 이루어야 한다. 특히 ODD 의 경우 HDD 라는 막강한 상대와 경쟁하기 위해서는 신속히 차세대 미디어의 표준화를 마치고 개발에 전력을 쏟아야 하는 것이 사실이다. 이러한 상황에서 DVD 의 차세대를 이끌어 갈 광 디스크의 규격을 둘러싼 논의가 갑자기 활발하게 전개되고 있다. Philips 사와 SONY 가 선행 출발을 하고, 타사에서는 DVD Forum 의 활동을 주시하면서 쫓아가는 구도 중에서 논의의 초점이 되고 있는 것은 디스크의 구조를 변경할 것인가 아닌가 이다. 디스크의 구조에 따라서 사용하는 광학 부품의 종류, 도달할 수 있는 편면 기록 용량, 그리고 CD 나 DVD 의 호환 재생 용이성 등이 결정되게 된다.

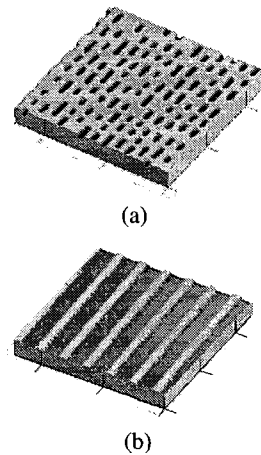


Fig. 1 (a)Surface structure of HD DVD-ROM, (b)HD DVD-RAM

현 시점에서의 기술 제안은 주로 세 가지로 구분된다. 제 1 의 구조는 디스크 기판상에 기록막을 형성하고 그 위에 씌운 두께 0.1mm 의 투명한 커버층을 매개로 하여 정보를 기록 및 재생하는 것이다. Philips 사와 SONY 가 논의 끝에 「DVR-Blue」 방식으로 결정하였고 Pioneer 도 연구 개발의 목표를 박형 커버층 방식으로 결정하였다[1,2]. DVR-Blue 와는 광학계가 다르지만 일본 Victor 도 두께 0.12mm 의 박형 커버층 구조를 제안하고 있다. 제 2 의 구조는, 두께 0.3mm~0.4mm 로 현행

DVD의 0.6mm보다도 조금 얇은 기판을 사용하는 제안이다. LG 전자가 0.3mm, 삼성전자가 0.4mm의 기판을 사용하는 구조를 제안하고 있다. 제 3의 구조는, 현행 DVD와 동일한 0.6mm 디스크 구조를 취하는 방법이다. 현재 NEC가 자사에서 제품화한 편면 용량 5.2기가바이트의 상변화 광 디스크 MMVF(Multi-Media Video File)의 미래형 디스크로서 0.6mm 기판을 사용하는 기술을 제안하고 있는 외에 현행 DVD 장치와의 호환성을 중시하는 여러 제조업체의 검토가 진행되고 있다[3,4].

2.2 데이터의 기록/재생

데이터의 기록/재생에 관한 방식의 개발은 매우 다양하고 활발하게 진행중이다.

상변화방식은 상변화 광디스크의 기록막에 레이저 광을 조사하고, 기록막의 상태를 결정상과 비결정상의 2개의 상태로 조절함으로써 정보를 기록/재생한다. 기록막에 레이저광을 조사하고 고온의 상태에서 급속하게 냉각하면 비결정상이 되고, 저온의 상태에서 서서히 냉각하면 결정상이 된다. 이 결정상과 비결정상의 상태를 레이저 광 파워와 조사시간을 제어함으로써 가역적으로 상변화시켜 정보를 기록/재생하고 있다. 정보의 재생은, 결정상과 비결정상의 반사율 변화로 검출하는데 광 헤드에 되돌아오는 반사광량의 변화를 검출함으로써 가능하다. 데이터의 기록/재생에 관한 다른 방법으로는 자기 초해상 (MSR), 자구 확대 재생 (MAMMOS), 근접장 기록 등에서 응용하는 광자기 기록방식이 있다. 광자기 기록방식에서는 기록을 담당하는 자성막의 재료로 희토류 및 천이 금속 합금의 비결정 재료가 이용되는데 이들은 수직 자기 이방성을 지닌다. 희토류(RE: Rare Earth)로는 주로 Tb, Gd, Dy 등이 사용되며 천이 금속(TM: Transition Metal)으로는 Fe, Co 등이 사용되고 있다. 본 합금계는 Ferri 자성체이고, 보자력이 발산하는 보상 온도 영역을 실온 부근으로 설정한 것으로, 기록된 정보는 실온에서 대단히 안정되게 유지된다. 광자기 기록 방식은 집광된 레이저 빔에 의해 매체의 국소영역을 가열하고 자성막의 보자력을 충분히 내린 후 외부 자계를 인가하여 자성층 내부의 자화 방향을 변화시킴으로써 정보의 기록/재생을 가능케 한다.

차세대 광 디스크 미디어의 기록/재생의 실용화에는 크게 두 가지의 기술 개발이 필요하다. 하

나는, 고속 기록 실현이고, 다른 하나는 편면 2층의 기록/재생 가능한 Disk의 실용화이다.

기록 고속화는 항상 요구되어 온 것이기는 하나 DVD의 차세대 광 Disk에서는 더욱 더 상향될 기세이다. 디지털 TV 방송 데이터 전송 속도는 약 19MBit/초~24MBit/초 정도이지만, 차세대 광 디스크의 표준 기록 속도로 33M~38MBit/초를 생각하는 제조업체가 많다. 디스크 기록 속도에서 여유를 기대하기 때문이다. 또한 이러한 속도 여유가 존재하면 고화질상태의 프로그램을 여러 채널로 동시에 녹화가 가능하며, HDD와 병용할 경우 데이터의 백업등에서 효력을 발휘할 것이다. 한편, 데이터 기록/재생에 있어서 2층 기록 방식도 제안되고 있다. Matsushita는 기록층의 2층화를 모색하고 있다[5]. 이 2층 기록은 디스크 편면에 제 1층과 제 2층의 상변화막을 설치하고 각각의 층에서 기록 재생함으로써 용량을 최대 2배로 높이는 것을 목표로 한다.

또한, 근접장 기록 기술에 관한 연구도 활발하다. 예를 들면 소니는 SIL(Solid Immersion Lens)를 사용하는 근접장 기록으로서 트래킹 제어를 실시하면서 데이터의 기록/재생에 성공했다. 근접장 기술은 기록/재생원리의 확인이라는 단계에서 광디스크 장치로서 실현 가능성을 찾는 단계로 드디어 진출했다. 랜드 그루브 구조의 광디스크를 시험제작하여 그루브로 트래킹 제어를 실시하면서 랜드 트래킹에 마크를 기록했다. 제어방식은 일반적인 푸시 풀 방식이다. 최단 기록 마크 길이 107nm로 기록/재생한 경우의 C/N은 41dB이었다. 선기록밀도에서 산출한 면기록밀도는 40 GBit/inch² 이상이다. 단 트랙 피치는 360nm로, 이 면기록밀도에 상당하는 180nm보다 넓혔다.

2.3 광자기 시스템의 응용

광자기 기록은 집광된 레이저 빔에 의해 매체의 국소영역을 가열하여 자성막의 보자력을 충분히 내린 후 외부 자계를 인가하여 자성층 내부의 자화 방향을 변화시킴으로써 정보를 기록한다. 재생은 자성체상에서 레이저광 편향면의 회전 방향 차이를 검출하여 0, 1의 신호에 대응시킨다. 광자기 기록에서의 고밀도화 기술 몇 가지를 소개한다.

2.3.1 자기 초해상

본 기술의 일부는 용량이 1.3기가바이트의

3.5 inch 광자기 디스크(GIGAMO)에 이미 채용되고 있고 또한 ASMO 등에도 응용될 예정이다[6]. 자기 초해상이란 재생시에 광학적 Aperture 중에서 복수개의 기록 자구가 들어가는 것을 자기적인 Aperture 에 여분인 자구를 Mask 하여 분해능을 확보하는 방법이다. 매체의 자성층은 재생층, 중간층, 기록 표면층의 3층으로 구성되어 있다. 저보자력의 재생층은 초기화 자석의 자계에 의해 한 방향으로 일단 초기화되고 재생층의 정보는 전부 소거된다. 이 때 기록층의 기록 자구와의 사이에는 계면 자벽이 생긴다. 일반적으로 디스크가 회전하고 있는 경우 레이저 빔에 의해 국소적으로 가열된 공간의 온도 분포 중 최고 온도점은 빔 스폿 중심에서 후방으로 어긋나게 되는데 자기 초해상은 이 차이를 이용하고 문턱값(threshold) 온도 이상이 되는 영역에서 앞에서 말한 계면 자벽을 해소하여 기록층에 정보를 전사한다. 이에 의해 고온 부분만이 재생에 관한 개구부가 되고 외관상 재생 분해능을 지니고 있다. 이 방식은 빔 후방부가 개구부가 되기 때문에 RAD(Rear Aperture Detection)이라고 불리고 있다. 반대로 전방부를 개구부로 하는 FAD(Front Aperture Detection)도 제안되고 있다. 어느 것이나 재생시에 외부 자계의 인가가 필요하다. 한편, 레이저 스폿이 내려가는 곳을 개구부라고 하는 방식(CAD: Center Aperture Detection)도 있다. 자구층을 재생층과 기록층의 2층으로 하고 그 안에 재생층의 자화 용이축이 실온에서는 면내에, 고온이 되면 수직 방향이 되는 듯한 재료를 선택하는 것에 의해 빔 중심부에서 기록층에 정보를 전사하는 것이 이의 동작 원리이다.

2.3.2 자구 확대 재생(MAMMOS)

자기 초해상은 빔 스폿내에 삽입되는 복수개의 기록 자구 중에서 하나를 꺼내는 방법이다. 그러나 재생 스폿에 위치하는 기록 자구가 작은 상태에서 정보로서 꺼내지기 때문에 신호 강도에서는 손해를 보고 있다. 이것을 해결하는 방법으로 MAMMOS(Magnetic Amplification in Magneto Optical System)가 개발되었다[7]. 즉, 기록층에 있는 미소 자구 중 하나를 레이저 빔의 국소 가열에 의해 확대하여 재생층에 전사하고 거기에 외부 자계를 더하여 자구를 스폿 지름으로까지 넓힌 후

자계의 방향을 반전시키고 원래의 상태로 되돌린다는 방식이다.

2.3.3 근접장 기록방식

이것은 광학 헤드의 밑에 반구상의 고굴절율 재료를 사용한 렌즈를 고정하고 렌즈 평탄부 단면에서 누출되는 소멸광을 이용하여 정보를 기록/재생하는 것이다[8]. 이 경우 스폿 크기는 $0.2 \mu\text{m}$ 정도가 되며 소멸 효과를 사용하기 때문에 광학 헤드는 기록층에 근접하고 있어야 한다. 통상 헤드와 매체간의 거리는 100nm 이하로 설정된다. 자체도 막면층에서 인가되기 때문에 자기 헤드와 광학 헤드는 일체가 된다. 이것은 바로 HDD 기술을 광자기 기록에 응용한 것이다.

2.3.4 자벽 이동 검출 방식 (Domain Wall Displacement Detection Method : DWDD)

광자기 디스크에서 자벽 이동 검출 방식(Domain Wall Displacement Detection Method : DWDD)이란 기록 영역과 미기록 영역과의 경계부에 존재하는 자벽을 이동시키는 것에 의해 기록 신호를 검출하는 고밀도 신호 재생 방식의 하나이다. 자기 초해상 방식이 디스크 반(盤)면상에 있어서 2차원적으로 해상도를 향상시키는 것에 비해 DWDD에서는 1차원적으로 선밀도 방향으로만 해상도를 향상시키는 효과를 가진다. DWDD 방식의 경우 현재까지 동작이 확인되고 있는 기록 마크의 길이는 $0.07 \mu\text{m}$ 까지 도달하고 있음에도 불구하고 보고되고 있는 실용적인 선밀도는 $0.12 \sim 0.15 \mu\text{m}$ 에 그치고 있다. 실용적 선밀도를 결정하는 요인으로는 막두께, 조성, 막질 등에 기인한 자기적 성질 등의 불균일성, 표면 조도, 트랙폭 및 형상 등으로 대표되는 형상 인자의 불균일성 등을 들 수 있다. 이들은 디스크 작성시의 성형기술이나 공정 기술의 개선 등에 의해 향상될 수 있다.

이상과 같이, 광자기 기록은 방식 제안이 활발하게 진행되고 있으며 현재 기록 밀도의 면에서는, 자기 초해상이나 근접장 기록으로는 $0.2 \mu\text{m}$ 크기의 자구 길이, MAMMOS에서는 $0.1 \mu\text{m}$ 크기의 자구 길이의 재생에 성공했다는 보고가 있다.

2.4 초고밀도 미디어의 설계 및 생산기술

초고속 통신이 가능해지고 정보 사용주체의 정보 취급량이 급증할 것으로 전망됨에 따라 전체 정보의 취급량은 매 5년마다 약 1,000 배 씩 증가하여 21 세기에는 거대한 시장을 형성할 것으로 예측하고 있다. 이에 부응하는 매체로 자기매체와 꾸준한 경쟁을 보이면서 DVD(Digital Versatile Disc) 등으로 대변되는 광 디스크 산업이 발달하고 있다. 광 디스크의 경우 PC의 보조 저장 장치로서 사용되어져 왔는데, DVD의 경우 고용량, 편리한 이동성과 교환성 등으로 고화질 영상정보를 저장하기 위한 매체로서 각광 받고 있다. 그러나 이와 같은 고 밀도 정보저장의 광디스크를 제작하는데 있어서 기존의 공정으로는 이에 맞는 기관의 생산이 어려운 실정이며 새로운 급형 및 성형공정의 개발이 필요하다.

광 디스크 기관의 경우 매스터링 공정을 통해 스템퍼를 만든 뒤 이를 사출해 대량 복제함으로써 디스크 기관의 제조원가를 낮추는 방법을 사용한다. 광디스크 기관은 정보를 읽고 쓰는 레이저가 통과하는 부분으로 디스크 성형 공정 단계에 있어서 가장 중요한 부분이다. 사출 성형의 특성상 플라스틱 광학 성형품의 사출성형시 충전 및 보압과정 중 불균일한 복굴절의 분포가 발생하게 된다. 기관을 통과하는 레이저광의 복굴절현상은 디스크의 광학적 우수성을 결정하는 주요 인자로서, 빛이 광학적 이방성이 있는 물질을 통과할 때 빛이 갖고 있는 진동방향에 따라 정상광선과 이상광선이 다른 속도로 통과하는 현상을 말한다. 고분자 수지와 같은 경우는 충전시 유동에 의한 응력분포와 이의 이완에 의해 생기는 복굴절(Flow-Induced Birefringence)과 불균일 냉각에 의해 발생하는 잔류응력으로 인한 복굴절(Thermally-Induced Birefringence)로 구분할 수 있으며 기관의 최종 복굴절은 이 두 가지 영향이 복합적으로 작용하여 발생한다. 따라서 광디스크기관 성형공정에 따라 복굴절의 정도는 크게 달라질 수 있다. 또한, 광 디스크 기관의 경우 광학적인 특성뿐만 아니라 기하학적인 특성도 중요하다. 광디스크 중 ROM 디스크의 경우 정보저장을 위해 기관에 피트(pit)를 필요로 하는 반면에 WORM, RAM은 랜드와 그루브의 형상을 갖는다. DVD-RAM의 경우, 반경방향으로 기록용량을 증가시키기 위해 점차 트랙 피트

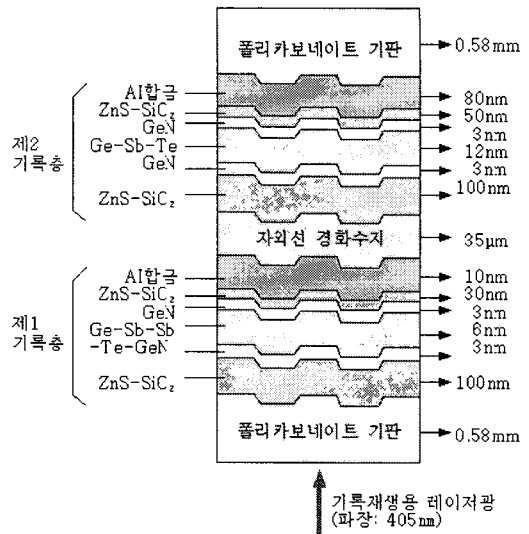


Fig. 2 Two-layer structure of 27 GByte disk media

치를 좁게 하고 있으며, 트랙 방향으로 고밀도를 실현하기 위해 랜드와 그루브를 모두 기록 트랙으로 사용하게 되었다. 랜드는 트래킹시의 안내나 인접한 그루브 트랙으로부터의 크로스토크(Crosstalk)를 억제하는 역할을 한다.

이러한 미디어의 설계고려사항을 기본으로 하여, 마쓰시타전기산업은 2층 기록 디스크를 겨냥해 Ge-Sn-Sb-Te 계 기록막을 개발했다. 이 회사는 기록막에 Sn을 첨가하고, Ge-Sn-Sb-Te 계로 하면 막 두께가 얇아도 결정화 시간을 유지할 수 있다는 것을 발견하고 그림 2과 같이 제 1 기록층에 채용했다. 마쓰시타 전기산업이 발표한 편면 2층 구조 디스크는 두께 0.58mm의 폴리카보네이트 기관 2장에, 각각 기록막이나 유전체막, 반사막 등을 형성한 후, 자외선 경화수지로 맞붙이는 방식으로 제작된다.

차세대 ROM 제조기술의 목표로써 관심을 모은 또 하나의 화제는 양산기술의 향상과 양산비용의 저하기술이다. 파이오니어는 편면 용량 25기가바이트인 재생 전용 디스크의 사출성형에 목표를 세웠고, 박형 커버층을 사용하는 방식을 채용했다. 이에 HDTV 화질로 영화를 담은 패키지 매체를 조기에 실현할 수 있는 가능성이 나타났다. 이 회사는 현행 DVD용 사출성형기를 사용해 용량 25기가바이트의 재생 전용 디스크를 제작하고

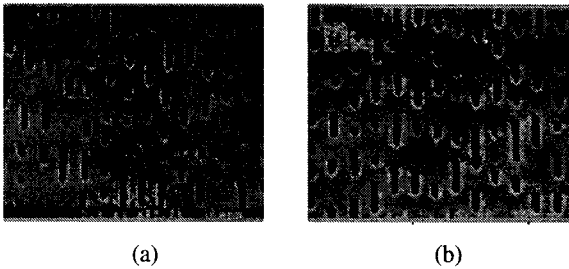


Fig. 3 (a) Disk using PhotoPolymer method, (b) Disk using injection molding

재생 신호의 지터를 측정된 결과 10% 이하로 낮은 값을 얻었다. 이러한 사실에서 대폭적인 설비 변경 없이 차세대 광디스크를 양산할 수 있을 것이라는 전망이 나왔다. 파이오니어가 시험 제작한 편면 25 기가바이트의 재생 전용 광디스크는 기관 성형 시간이 다소길긴 하지만 그림 3 과 같이 사출성형한 폴리카보네이트 기관에서도 유리 2P(PhotoPolymer)법의 포토폴리머로 손색이 없는 전사성을 얻을 수 있었다[9]. 트랙 피치는 0.30 μm , 최단 피트 길이는 0.159 μm 이고, 기록부호화방식은 17PP 를 이용했다.

또한 근접장 기록용 디스크 미디어의 개발도 진행중이다. 소니의 경우 SIL (Solid Immersion Lens) 을 사용하는 근접장 기록으로, 트랙킹 제어를 실시하면서 데이터의 기록 재생에 성공했다. 기록 트랙은 렌드 그루브 구조이지만 이번에는 렌드부에만 기록마크를 형성했다. 디스크 표면의 요철을 줄이기 위해 SiO₂ 막을 SOG(Spin On Glass)에 의해 형성했다. 이밖에 성막 공정에 몇 번의 연마공정을 삽입해 성막시에 생긴 돌기 등을 깎아 냈다.

3. 광 디스크 기관의 초정밀 설계 및 성형

최적의 공정 조건을 위한 실험적 최적화의 개발을 위해 실험계획법을 적용하여 최적의 공정 조건을 구하는 설계 방법을 개발하였다[10-16]. 본 연구에서 개발된 최적설계기법을 통해 성형된 기관의 그루브 깊이와 스탬퍼의 그루브 깊이간의 차이, 복굴절, 그리고 반경차짐을 동시에 최소화할수가 있다. 이를 위하여 최적설계기법은, 기관의 성형성에 지배적인 파라미터 선택, 설계 매트릭스 (design matrix) 결정, 설계 매트릭스에 의한 기관의

성형 및 광학적, 기계적 특성 측정, 반응표면계획법(Response surface methodology, RSM)을 통한 목적 함수 도출, 목적함수의 최적화 및 유효성 검증의 순으로 진행되었고, 전체적인 흐름도는 Fig.4 와 같다.

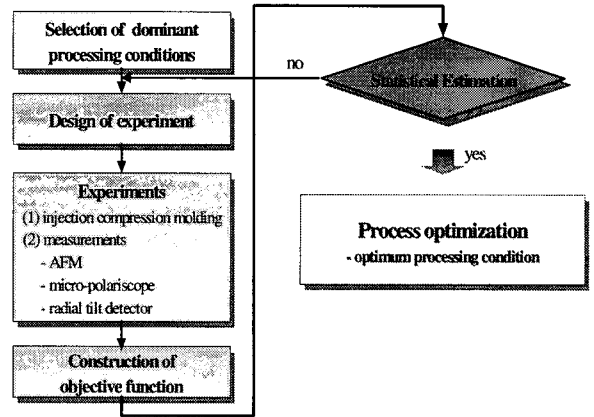


Fig. 4 Scheme for process optimization

3.1 기관의 성형성에 지배적인 파라미터 선택 및 설계 매트릭스의 결정

사출압축성형된 기관의 광학적, 기계적 특성은 공정중의 수지온도, 금형온도, 보압, 압축압력, 냉각시간등의 공정조건에 의하여 크게 영향을 받는다. 이러한 공정조건 중에서 기관의 성형성에 지배적인 영향을 미치는 파라미터의 선정을 위해 시행착오에 의한 반복적인 무수한 실험이 요구되었고, 기관의 특성에 영향을 미치는 지배적인 파라미터로 금형온도와 압축력을 선정하였다. 현재 기관 성형시 최적의 공정조건을 찾기 위해서는 전문가의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 이에 신뢰성 있는 실험 배치를 위해 중심합성법(central composite design, CCD)이 적용되었고, 결과값에 적합한 수학적 모델을 결정하기 위해 RSM 을 이용하였다. CCD 은 하나의 중심점과 네 개의 축 점, 그리고 2^k factorial design 으로 구성되며, 이는 2 차 함수를 유도하는데 적합한 방법이다. CCD 를 적용하여 Fig. 5 에서와 같이 9 가지의 실험조건을 선정하였다.

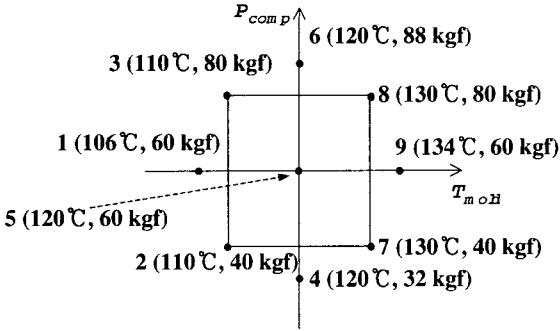


Fig. 5 CCD comprised of the 2k factorial design sets, four axial points sets, and one center point set.

3.2 설계 매트릭스에 의한 기관의 성형 및 광학적, 기계적 특성 측정

설계 매트릭스에 의해 선정된 공정조건에서 성형된 디스크 기관의 복굴절 값과 반경치짐의 측정 결과, 금형온도의 증가에 따라 복굴절 값은 급격하게 감소하였으나 반경치짐은 증가하였다. 압축력을 증가시킬 경우, 복굴절 값은 증가하였고, 반경 치짐은 향상되었다.

3.3 랜드-그루브 구조

측정된 모든 기관은 외견상으로 모두 충전된 기관이나 미세구조상으로는 공정조건에 따라 많은 차이를 보였다. 금형의 온도가 높아질수록 재료의 유동성이 높아지고, 압축압력이 커질수록 수지에 걸리는 압력이 커지게 되어 스템퍼의 랜드 그루브의 끝 사이에 재료의 유동이 수월해져 성형된 기관의 그루브 깊이가 커짐을 알 수 있다. 그러나 과도한 금형의 온도와 압축압력은 금형이 열리는 순간에 스템퍼와 기관이 분리되면서 그루브 면을 잡아뜯게 되는 현상이 발생하게 되어 스템퍼의 그루브 깊이보다 더 큰 그루브 깊이를 지닌 기관이 성형되기도 하며, 이 경우 표면조도는 나빠지게 된다.

3.4 반응표면계획법을 이용한 목적함수의 도출

우수한 특성을 갖는 기관 성형을 위한 본 연구의 목적은 기관의 그루브 깊이와 스템퍼의 그루브 깊이간의 차이 f_1 , 복굴절 f_2 , 그리고 반경방향의 tilt, f_3 를 최소화하는 것이다. 여기서 f_1, f_2, f_3 는 다음과 같이 정의된다.

$$f_1(x_1, x_2) = \|H_{\text{stam}} - h_{\text{sub}}(x_1, x_2)\|^2 \quad (1)$$

$$f_2(x_1, x_2) = \text{BRF}(x_1, x_2) \quad (2)$$

$$f_3(x_1, x_2) = \text{TLT}(x_1, x_2) \quad (3)$$

$H_{\text{stam}}, h_{\text{sub}}, \text{BRF}$ 그리고 TLT 는 각각 스템퍼의 그루브 깊이, 기관의 그루브 깊이, 그리고 복굴절, 반경방향의 틸트를 나타내는 것이다. $h_{\text{sub}}(x_1, x_2), \text{BRF}(x_1, x_2), \text{TLT}(x_1, x_2)$ 는 금형 온도 (x_1) 과 압축압력 (x_2) 의 값에 관한 함수값이 된다. 이와 같이 3 개의 독립적인 목적함수가 존재하기 때문에, 아래의 식을 사용하여 각각의 목적함수를 크기가 0 과 1 사이에 있는 무차원 함수로 변환해야 할 필요가 있다.

$$f_i'(x_1, x_2) = \frac{f_i(x_1, x_2) - f_{i,\text{min}}}{f_{i,\text{max}} - f_{i,\text{min}}} \quad (i=1, 2, 3) \quad (4)$$

이때, 이 최적화 문제는 아래와 같은 제한조건을 갖는다. 여기서, 아래의 제한 조건을 만족시키는, 최적의 금형 온도 (x_1^*)와 최적의 압축압력 (x_2^*)를 찾아야 한다.

$$f(x_1^*, x_2^*) \leq f(x_1, x_2) \quad (5)$$

이때, f 는 다음과 같다.

$$f(x_1, x_2) = a_1 f_1' + a_2 f_2' + a_3 f_3', \quad a_1 + a_2 + a_3 = 1 \quad (6)$$

여기서, 식(6)의 가중치 a_1, a_2, a_3 는 각 목적함수의 상대적인 중요성을 나타내기 위해 도입된 것이다. 이 목적함수는 CCD 접근의 결과에 의해 구하여진 행렬값들로 얻어질 수 있다. 그러면, 식(6)은 아래의 2 차 회귀방정식을 사용하여 구하여질 수 있다.

$$f = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2 \quad (7)$$

여기서, 상수 $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ 은 최소자승법을 통하여 얻어질 수 있는 값들이다. 식 (7)로부터 얻어진 목적함수의 타당성은 ANOVA (analysis-of-variance) 기법으로 검증하였다.

3.5 최적화의 결과

최적화된 공정 조건들과 결정계수 값들이 다양한 가중치에 따라 구하여 졌다. 거의 모든 실험에서 결정계수값이 0.90 이상의 값을 얻었다. Fig.7 에서 볼수 있드시 최적의 공정조건은 한 점 ($T_{\text{mold}} = 124^\circ \text{C}, P_{\text{comp}} = 70 \text{ kgf}$)을 중심으로 원 안에 모여진

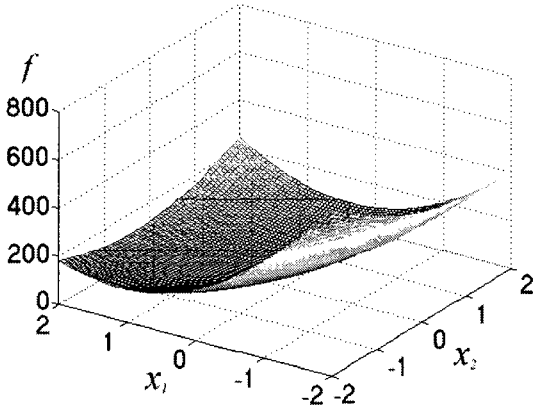


Fig. 6 Three-dimensional plot of the response surface

결과를 나타내었다. 이때, 구하여진 최적 공정조건에서의 결정계수가 0.90 이라는 값은 결과해가 신뢰성이 있는 값을 나타내는 값이다. 이 의미있는 최적값들은 금형온도 (T_{mold}) 값들이 122 ~ 126.5 ° C 이고, 압축압력 (P_{comp}) 값이 66 ~ 77.4 kgf 사이이다.

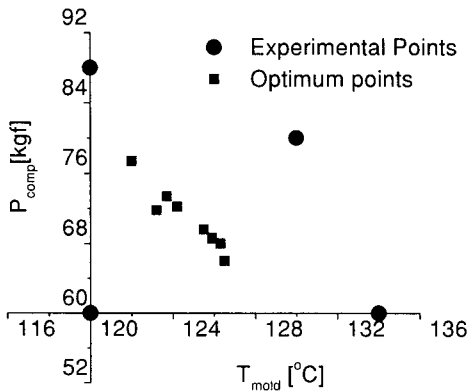


Fig. 7 Optimum sets of processing conditions with different weight values

4. 결론

본 연구에서는 대용량 정보의 효과적 저장, 백업, 그리고 배포와 판매등에 관련하여 고밀도 정보저장기기, 특히 광디스크 미디어의 개발 동향을 고찰하였다. 차세대 광정보저장 미디어의 표준화,

데이터의 기록/재생 방식 등이 논의되었다. 광자기 방식의 정보저장과 관련하여 자기 초해상, 자구확대 재생, 근접장 기록방식, 자벽 이동 검출방식 등이 분석되었다. 마지막으로 고밀도 광 정보저장 미디어의 제조에 필수적인 디스크 기판의 성형과 관련하여 기판의 처짐, 복굴절을 최소화 하고, 전사성을 극대화 시키는 공정설계기법을 제시하였다.

참고문헌

1. B. Tiede et al., "High Data-Rate Phase-Change Media for the Digital Video Recording System," *Jpn. Journal of Applied Physics*, Vol. 39, No. 2B, pp. 762 - 765, 2000.
2. T. Narahara et al., "Optical Disc System for Digital Video Recording," *Jpn. Journal of Applied Physics*, Vol. 39, No. 2B, pp. 912-919, 2000.
3. H. Honma, T. Iwanaga, Y. Yamanaka, M. Okada, and S. Shimonoh, "High Density Optical Recording Technology "MMVF," *International Symposium on Optical Memory Technical Digest*, Sep. 5-8, pp. 102-103, 2000.
4. T. Iwanaga and H. Honma, "Rewritable Optical Disk Using PRML Technology," *Nikkei Electronics Books 98*, Nikkei BP Inc., pp. 201-215, 1998.
5. T. Alkiyama et al., "Rewritable Dual-Layer Phase-Change Optical Disk Utilizing Blue-Violet Laser," *International Symposium on Optical Memory Technical Digest*, Sep. 5-8, pp. 16-17, 2000.
6. K. Itoh, H. Yoshimura, and K. Ogawa, "New 3.5" Magneto-Optical Disk System: 1.3 GB GIGAMO," *Jpn. Journal of Applied Physics*, Vol. 39, No. 2B, pp. 714 - 718, 2000.
7. H. Awano, M. Sekine, M. Tani, N. Kasajima, "0.04 μ m Domain Expansion Readout for the Magnetic Amplifying Magneto Optical System," *Jpn. Journal of Applied Physics*, Vol. 39, No. 2B, pp. 725 - 728, 2000.
8. J. Liu et al., "Theoretical Analysis of Recording Light Distribution in Phase-Change Near-Field Recording Using Solid Immersion Lens," *Jpn. Journal of Applied Physics*, Vol. 39, No. 2B, pp.

- 948-951, 2000.
9. T. Imai, N. Shida, K. Suga, T. Higuchi, et al., "25 Gbyte ROM Disk by Injection Molding," *International Symposium on Optical Memory Technical Digest*, Sep. 5-8, pp. 20-21, 2000.
 10. S. Kang et al., "On the Birefringence Distribution in Magneto-Optical Disk Substrates Fabricated by Injection-Compression Molding," *Optical Engineering*, Vol. 39, No. 3, pp. 689-694, 2000.
 11. S. Kang et al., "Optimum Design of Process Conditions to Minimize Residual Stresses in Injection-Molded Parts," *Journal of Thermal Stresses*, Vol. 21, pp. 141-155, 1998.
 12. S. Kang et al., "Improvement of Optical, Mechanical, and Geometrical Properties of DVD-RAM Substrate," *5th International Symposium on Optical Storage (ISOS)*, Shanghai, China, May 22-26, SPIE publication, 2000
 13. S. Kang et al., "Design and Fabrication of Optical Disk Substrate and Plastic Molded Micro SIL," *2nd International TBOC Workshop (Invited Paper)*, Seoul, Korea, November 29, 2000.
 14. S. Kang et al., "An Optimum Design of Replication Process to Improve Optical and Geometrical Properties in DVD-RAM Substrates," *Journal of Information Storage and Processing System (JISPS)*, Jan. 2001. (to be published)
 15. S. Kang et al., "An Design Methodology to Replicate the Sub-micron Land-groove Structure in DVD-RAM Substrates by Injection-Compression Molding," *International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE)*, Orlando, U.S.A., November 5-10, ASME, pp. 1063-1069, 2000.