

디지털 다기능 디스크

전 영 관

1. 서 론

디지털 다기능 디스크(Digital Versatile Disk, 이하 DVD)는 많은 정보기록 매체중에서 차세대 멀티미디어 시대에 가장 적합한 기록매체로서 급부상하고 있다. 멀티미디어의 구현은 필요한 정보를 어떠한 형태이든지, 언제, 어디서든지 자유자재로 선택·접근하고, 획득·편집할 수 있는 상태에 도달하는 것을 의미한다. 따라서 정보의 구성요소인 문자, 기호, 데이터, 음성과 영상 까지도 동시에 그리고 실시간으로 처리할 수 있는 기술적 수준에 도달되어야 한다. 이를 위해서는 여러 형태의 정보를 공통된 부호로 효율적으로 전환하고, 모든 정보를 쌍방이 상호 교류할 수 있는 대화성이 있도록 통신기술의 고도화가 선행되어야 한다. 이러한 과정에서 인터넷을 위시로 한 정보통신 기술의 혁신으로 Global Network가 현실화되어 가고 있고, AV(Audio-Video) 가전제품과 컴퓨터가 상호 융합된 새로운 다기능 정보 시스템과 기기도 속속 등장하고 있다.

그러나 효과적인 멀티미디어를 구현해 나가는 데에는 아직까지 해결해야 할 많은 기술적인 과제가 남아 있다. 멀티미디어 수준까지의 정보기술의 혁신이 가능하게 되는 데에는 3대 주요 요소기술이 뒷받침되고 더욱 향상되어야 한다. 즉 ① 디지털 기술과 처리기술을 통하여 형태가 다른 정보를 통합 처리하고, ② 고속 통신 및 정보 처리 기술의 고도화로 실시간 정보를 제공하며, ③ 기록미디어 기술의 지속적인 개발에 의해 대용량의 정보를 저장할 수 있는 수준이 되어야 한다. 특히 동화상과 같은 방대한 용량의 정보를 신속히 송신하고 처리하며, 저장할 수 있는 제반

기술이 동시에 발전되지 않으면 안된다. 이러한 차원에서 DVD가 멀티미디어의 대용량 기록매체의 표준으로 새로이 등장하게 되었고, 향후 그 역할이 주목받고 있다. 여기에서는 기록 재생전용 DVD를 중심으로 한 기술개발 배경과 제조기술에 대하여 설명하고자 한다[1].

2. 개발 배경과 표준화

CD(Compact Disk)는 디지털 광기록 기술을 성공적으로 응용한 표본으로서 지난 15년 넘게 오디오와 비디오뿐 아니라, 컴퓨터의 저장매체인 CD-ROM으로 효과적으로 활용되어 아날로그 미디어를 압도하여 왔다. 그러나 기록용량이 680 MB로서 멀티미디어에 요구되는 그래픽을 응용한 컴퓨터 용도나 고화질 디지털 비디오 프로그램에는 충분치 못하다. 비디오 영상이 수록된 CD-Video는 화질면에서 부족하고, 한 장에는 2시간 이상의 영화 전편을 기록할 수 없었다. 또한 레이저 디스크(Laser Disk, LD)도 기록용량이 1시간 정도이면서 크기가 너무 크다는 사용상 불편점도 있었다.

따라서 디스크의 크기는 CD 정도이면서 간편성이 증대된 고용량의 새로운 미디어 개발이 추진되어 왔고, 그 결과 DVD가 그러한 요구사항을 만족시킬 수 있는 새로운 매체로 개발되게 되었다. 이 DVD는 기록용량이 CD의 약 7배, FD의 3000장에 해당되므로 소비자의 입장에서는 영화 전편을 수록할 수 있음과 동시에, 고화질과 고음질을 제공하며, 제작면에서도 색다른 다양한 부가기능도 포함하고 있다. 따라서 현재의 비디오 테이프를 대체할 가능성이 매우 큰 재생전용 기

록매체로 관심을 받고 있다[2].

DVD는 컴퓨터 응용분야에 있어서도 CD-ROM으로 불충분한 용량과 기능을 부여할 수 있기 때문에 멀티미디어 컴퓨터의 이동형 기록매체로 표준화되어 가고 있다. 따라서 초기에는 DVD가 영화 기록용으로 주로 설계된 관계로 Digital Video Disk라고 명명되었었지만, 여러 응용분야에 적용되어 감으로써 Digital Versatile Disk라는 새로운 명칭으로 불려지게 되었다. 제반 용도 분야에 따른 포맷의 표준화 작업이 지속적으로 이루어져서 현재 video, audio, computer 용 등이 완료되었거나 진행 중에 있다.

영화 한 편을 수록할 수 있는 대용량 디스크는 1980년 후반부터 이미 개발되기 시작하여 도시바의 SD(Super Density) 방식과 소니-필립스 측의 MMCD(Multimedia Compact Disk) 방식으로 양분화 되어 있었다. 두 방식은 Table 1과 같이 서로 호환성이 없다. 따라서 1995년 초부터 도시바와 타임워너를 중심으로 하는 그룹과 소니-필립스를 중심으로 하는 두 그룹간에 표준화를 위한 기술적 논쟁이 시작되었고, 1995년 12월에 하나의 DVD 규격이 합의 제정되었다. 두 방식 중에서 미디어의 수요가 매우 큰 디즈니와 같은 영화 회사와 컴퓨터 회사인 IBM의 종합된 의견을 수용하여, DVD의 기본구조는 도시바측의 디스크 형식을 따르되, 신호 처리방식은 소니 형식으로 일원화 되었다. 이 표준에 의거하여 96년 가을에는 DVD-Video 플레이어와 컴퓨터용 DVD-ROM이 등장하였고, 97년 3월부터 DVD-Video 영화가 판매되기 시작하였다[3].

Table 1. Comparison between SD and MMCD formats

규격	SD format*	MMCD format**
구조	두께 0.6 mm 두장 접합	두께 1.2 mm
기억 용량	편면 5 GB 양면 9 GB	편면 3.7 GB 편면 2층 7.4 GB
기록 시간	편면 142분	편면 135분
신호 변조방식	8-15 방식	EFM plus 방식
Error 정정방식	RS-PC 방식	CIRC plus 방식

*SD: Super Density Disk

**MMCD: Multimedia Compact Disk

3. DVD의 물리적 구조

합의된 DVD의 기본규격을 CD와 대비하여 Table 2에 나타내었다. 기술적인 주요사항으로는 디스크의 크기는 CD와 같은 직경 12 cm, 총두께는 1.2 mm인데, 한 장의 두께가 0.6 mm인 기판 두 장을 접합한 구조이다. 그 중간에는 기록면의 반사막으로 작용하는 알미늄 박막이 있고, 두 장을 접합하는 접착제 층이 있으며 그 두께가 약 40 μm이다. Figure 1에서 볼 수 있듯이 DVD의 기록 피트의 최소 길이는 0.4 μm, 트랙간격은 0, 74 μm로서 CD의 각각 0.5 μm와 1.6 μm에 비하여 대폭 축소되어 약 4배의 면기록밀도를 가진다. 따라서 총 기록용량은 4.7 GB가 되고, 기록 가능시간도 133분에 도달한 것이 대표적인 특징이다. 이러한 디스크 구조가 된 것은 고밀도이면서도 기록 오차율을 최소화시키기 위한 것이다. 신호 변조방식은 기록의 재생 안정성이 높은 8-16 방식이 채택되었다.

또한 고밀도 기록을 위하여 디스크의 구조와 더불어, 고밀도 재생 광학기술도 새로워졌다. 우선 작은 피트의 신호를 재생하는 데에는 레이저 광선의 초점크기를 작게 해야 한다. 이를 위해서는 레이저 광을 단파장화 하든지 대물렌즈의 개구수(Numerical Aperture, 이하 NA)를 크게 한다. 따라서 DVD의 레이저 파장은 635 nm, NA는 0.6로 설계되었다. 반면에, NA가 증가하면 렌즈의 수차현상이 증가하고 디스크의 기술어짐이

Table 2. Main physical parameters of DVD and CD-ROM

	DVD*	CD
Disc diameter	120 mm	120 mm
Disc center hole	15 mm	15 mm
Disc thickness	0.6 mm × 2	1.2 mm
Smallest pit size	0.400 μm	0.834 μm
Largest pit size	1.866 μm	3.058 μm
Track pitch	0.740 μm	1.6 μm
Tilt angle	0.8°	1.6°
Program start radius	24 mm	25 mm
Program end radius	58 mm	58 mm
User data capacity (single layer)	4.7 G/side	0.682 GB

* Single layer

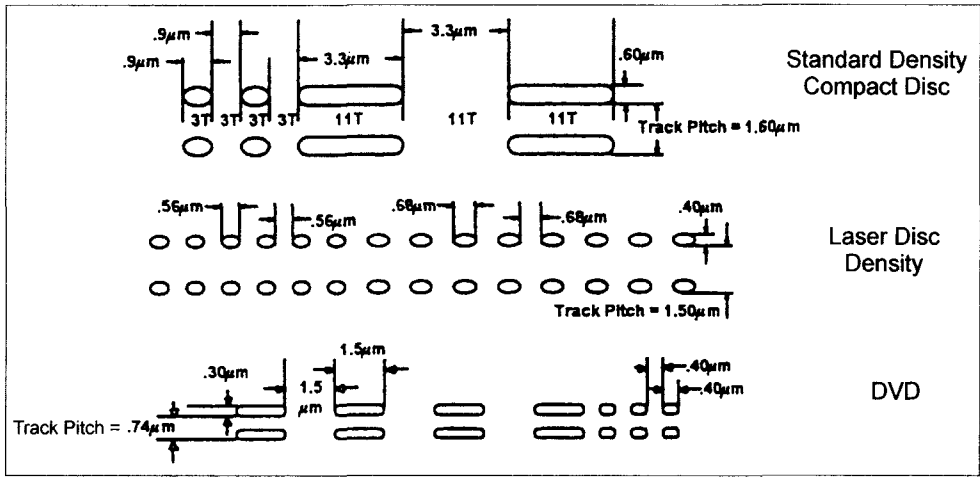


Figure 1. Specifications of tracks and pits in DVD.

나 힘에 의한 초점의 찌그러짐이 NA에 비례하여 상승하므로, NA가 증가한 DVD 광학계에서는 재생의 오차가 증가하게 된다. 이 기술적 문제를 해결하기 위하여, 디스크 구조를 정보기록면까지의 거리가 CD 대비 반인 0.6 mm가 되도록 설계하였다. 그러므로써, 디스크의 틸트나 그 변화에 따르는 재생신호 변동을 저하시켰다[4]. 또한 CD와의 호환성을 고려하여 두께가 반인 기판을 두 장 접합하는 방식을 채택하므로써 기계적 강도도 향상되고 온습도의 변화에 의한 영향도 작아졌다. 더욱이 신호가 각각 기록되어 있는 기판을 두 장 접합하는 경우에는 양면에 기록이 가능하여 단면보다 2배의 기록용량을 갖는 새로운 양면 디스크로 확장할 수 있는 장점도 있다.

4. DVD의 종류와 기능

DVD의 종류는 Figure 2와 같이 구조면에서 단면 1층, 단면 2층, 양면 1층, 양면 2층 등 4가지가 있다. 단면 1층형은 기록이 한 면에만 존재하여 4.7 GB 용량을 가지며, 양면 1층형은 양면의 기판에 모두 기록면이 있는 것을 접합한 것으로 양면에서 읽을 경우 기록용량이 9.4 GB가 된다. 2층형의 디스크인 경우에는 기판에 2개층의 기록면이 존재하며, 재생용 레이저의 초점거리를 조절하여 원하는 기록층을 별도로 읽을 수 있다.

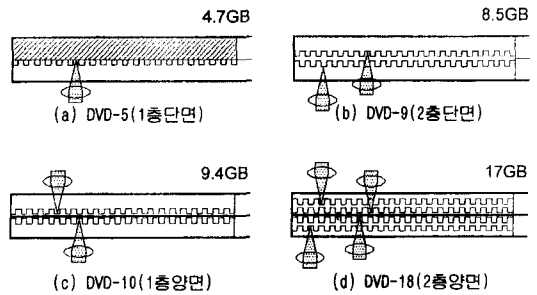


Figure 2. Structures of DVD family.

따라서 단면1층과 양면 2층형 디스크의 기록용량은 각각 8.5 GB, 17 GB가 되며, 기록용량에 따라 각각 DVD-5, DVD-10, DVD-9, DVD-18라고도 한다. 2층형 디스크의 1차 기록층(L₀)은 금과 같은 금속 반투명 증착막이고, 2차 기록층(L₁)은 알루미늄 반사막이다.

용도별로 구분된 DVD의 종류로는 ① 저장된 데이터, 비디오, 오디오를 읽기만 하는 DVD-ROM(Read Only Memory), ② 한번만 쓰고 재생하는 DVD-R(Recordable), ③ 반복 쓰기와 읽기가 가능한 DVD-RAM(Random Access Memory)으로 크게 나눌 수 있다. DVD-ROM은 기록 내용에 따라 다시, ① 프로그램 등의 데이터 저장을 위한 DVD-ROM, ② MPEG-2로 부호화된 비디오 영상을 기록 재생하기 위한 DVD-video, ③ 차세대 오디오를 저장하는 DVD-

audio로 구분된다. 현재 대부분의 규격들은 이미 표준화 완료되었으나, RAM의 용도별 표준 등 아직도 2개 이상의 기술 사항들이 규격 표준화에 경쟁하고 있어서, 각 규격 상품들이 개별적으로 전개될 시에는 향후 호환성 문제가 발생할 가능성이 크며, 이것이 본격적인 시장 활성화의 장애요인이 되기도 한다[5].

CD에 대비하여 월등히 향상된 DVD의 기능에 대하여 DVD-video, DVD-5를 예로 들어 보면 Table 3과 같다.

DVD-video는 4.7 GB의 기록용량과 MPEG-2(Moving Picture Expert Group) 디지털 압축 기술을 병행 추구하므로써 133분 영화 한 편을 완전히 기록함과 동시에, 극장과 같은 Dolby AC-3의 5.1 채널의 입체음향을 재생할 수 있다. 화면의 크기도 16:9의 시네마스코프형이며 동시에 TV와 같은 4:3 규격으로도 전환 가능하다. DVD 화질은 수평 해상도 480~500인 high definition고화질로서 해상도 400~425인 LD보다 좋으며, VCR보다는 훨씬 능가한다. 또한 sub channel로서 다국어 음성 및 다국어 자막, 화면 확대 및 다각도 영상, Chapter별 검색, 다각도 화면, 하이라이트, 작품설명, 등의 많은 새로운 멀티미디어적인 기능이 가능하며, DVD-ROM drive가 부착된 컴퓨터에서도 영화재생이 가능하다[6]. DVD-audio는 한 면에 50곡 이상의 음악을 수록할 수 있으므로 한 음악가의 전곡을 수록할 수도 있으므로 새로운 형태의 대형 기획물을 제작할 수 있다. DVD-ROM은 그래픽을 포

함한 방대한 프로그램과 소프트웨어를 저장하여 배포하기에 적합하며, DVD-R DVD-RAM은 컴퓨터 산업에서 요구하는 방대한 정보의 저장용량을 만족시킬 수 있다.

5. 고밀도 고용량 기록의 관련기술

DVD가 다양한 기능과 고용량의 기록밀도를 가진 통합미디어가 된 것은 CD에서 구축되어 있던 광기록 기술을 단순히 연장한 것이 아니라, CD의 기술보다 한 차원 높은 혁신적인 신기술이 도입된 결과이다. 그 중요한 요소기술로서는 ① 우선 다양한 멀티미디어 정보, 즉 기호, 문자, 데이터, 음성, 및 동화상을 통합한 종합 디지털 기술, ② 디지털 화상신호를 효율적으로 부호화 하고 압축 처리하는 MPEG-2 기술, ③ 고밀도 피트기판 성형 기술을 들 수 있다.

첫째, 정보의 디지털화 기술은 형태가 다른 다양한 아날로그 정보를 모두 동일한 디지털 부호로 전환하므로써 데이터의 호환(interactivity)이 가능해졌다, 따라서 필요한 신호를 상호 교환, 복합, 처리할 수 있으므로 영상과 데이터 등이 서로 병행처리될 수 있고, 방송과 컴퓨터 통신기술이 융합 활용될 수 있는 기반이 되었다.

둘째, MPEG* 압축기술은 방대한 정보인 동화상의 정보를 용도에 맞추어 압축하고 신호를 보정하는 기술이다. MPEG는 동화상, 음성, 기호 등의 정보를 기호화 하는 국제표준이며, 비트속도에 따라 4단계로 나누어 진다. MPEG-1은 CD-

Table 3. Performance characteristics of DVD-video

구분	특성	DVD	CD-video	VHS tape
Video	기록방식	Digital MPEG-2	Digital MPEG-1	Analog
	수평해상도	500 line	240 line	240 line
	재생 시간 자막 언어수	133 min 32개	74 min 1개	180 min 1개
Audio	기록방식	Digital MPEG-2	Digital MPEG-1	Analog
	음질	Digital MPEG-2	Dolby Pro-logic	Dolby Pro-logic
	녹음언어수	5.1 channel 8개	2 channel 1개	2 channel 1개
Computer	기록 용량	4.7 GB	0.68 GB	-

*MPEG: 국제표준화기구(ISO)와 국제전기표준회의(IEC) 공동으로 동화상을 디지털화하고 압축부호화-재생(Compression-Encoding-Decoding) 방식을 연구하여 표준 규격화하는 국제 합동 작업기구

ROM, DAT hard disk로 대표되는 저장미디어를 대상으로 하고, 신호 처리속도가 최대 1.5 Mbps으로 360×240 화소의 화상을 매초 30 frame 처리 전송하는 ISO 표준이다. 주로 video CD에 채용되고 있으며 컴퓨터의 MPEG 보오드에 의하여 게임 등도 재생한다. MPEG-2는 방송 통신 컴퓨터의 전 정보분야를 대상으로 하는 범용 부호화 방식으로 94년 11월에 표준화 되었다. 초기에는 5~10 Mbps 정도의 비트속도로서 현행 TV나 방송의 화질 수준을 제공하는 것이 목적이었으나, HDTV(High Definition TV) 신호를 대상으로 하는 MPEG-3도 흡수하여 범위가 확대되었다. MPEG-2에는 현재 11종류의 규격으로 나누어져 있는데, 화질 면에서는 DVD급(720×576화소, 30 frame/sec, 15 Mbps)과 HDTV급(1920×1152화소, 60 frame/sec, 80 Mbps)로 구분된다. 최근에 방영 계획인 위성 디지털 방송도 MPEG-2에 기초를 두고 있다. MPEG-4는 다양한 형태의 오디오/비주얼 서비스를 지원할 수 있도록, 컴퓨터의 대화형 기능과 통신의 전송기능을 결합하여 미디어 데이터를 유연성 있게 부호화하는 표준으로 제정 중에 있다[7].

셋째, 기판 성형기술은 고밀도의 기판을 제조하는 공정으로서 DVD에 대응하는 형태, 물리적 요구조건, 광학적 특성 등을 만족시키는 플라스틱 기판을 만드는 기술이다. 이에 대해서는 다음에 상세히 기술한다.

한편, CD 대비 DVD의 용량이 증가된 요소별

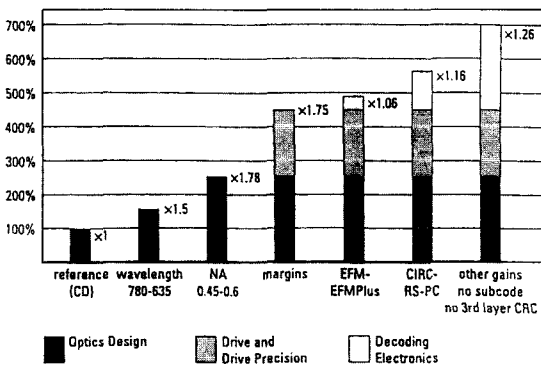


Figure 3. Capacity increase factors in DVD format over CD.

내용을 구분해 보면, Figure 3과 같이 ① 고밀도 피트와 트랙간격에 의한 기본 용량 증량이 3.5배, ② 635 nm의 단파장 레이저와 NA=0.6인 광학계의 도입으로 1.65배 ③ 나머지는 MPEG, 새로운 로직 RS-PC 및 EFM Plus 기록 부호화 등이 기여하여 총 7배의 기억용량인 4.7 GB가 된다.

6. DVD 제조공정 및 기술

DVD 제조 공정은 Figure 4와 같이 근본적으로 CD와 유사한 순서로 구성되며 전체적으로 크게 세 단계로 나눌 수 있다. 첫번째는 디스크에 기록할 내용을 DVD의 다양한 편집기능을 활용한 시나리오를 구성하고 기획한 후, 소요되는 테이타나 영상 신호를 부호화-변조화하여 디지털 master tape을 만드는 공정이다.

두번째는 디지털 신호를 감광성 고분자를 도포한 유리판 위에 레이저로써 요철의 피트가 새겨진 원판을 만들고, 이 원판에서 니켈을 전기도금하여 니켈판 스템퍼를 만드는 원판 제조공정(mastering)이다. 세번째는 이 스템퍼로부터 성형기에서 플라스틱 기판을 만들고 적절한 금속 박막을 형성시킨 후에, 두 기판을 접합하는 복제 공정(Replication)으로 나눌 수 있다.

DVD 제조에는 CD에 비하여 기록피트가 작고 기판이 얇으며 기판을 접착시켜야 하는 새로운 조건이 있으므로, 모든 과정에 있어서 정밀도를 높이고 공정안정성을 높여야 한다. 따라서 미세한 피트를 정확하게 성형해 내고, 두께 균일도를 높이며, 치수 규격과 광학 특성을 만족시키는 접합기술이 매우 중요하고 어려운 기술이라 할 수 있다.

각 공정단계에서의 여러 요소들이 최종 디스크의 치수, 휨, 피트 전사율, 복굴절률 등의 품질 특성에 밀접한 영향을 주므로, 공정 조건의 설정이나 재료의 선택에 있어서 면밀한 생산기술적 연구가 필요하다. 또한 고기록 밀도의 신뢰도를 높이기 위하여 전 제조과정이 철저한 무진 상태에서 운영되어 외부에서 투입되거나 공정중에서 발생하는 이물이 불량발생의 원인이 되지 않도록 하여야 한다.

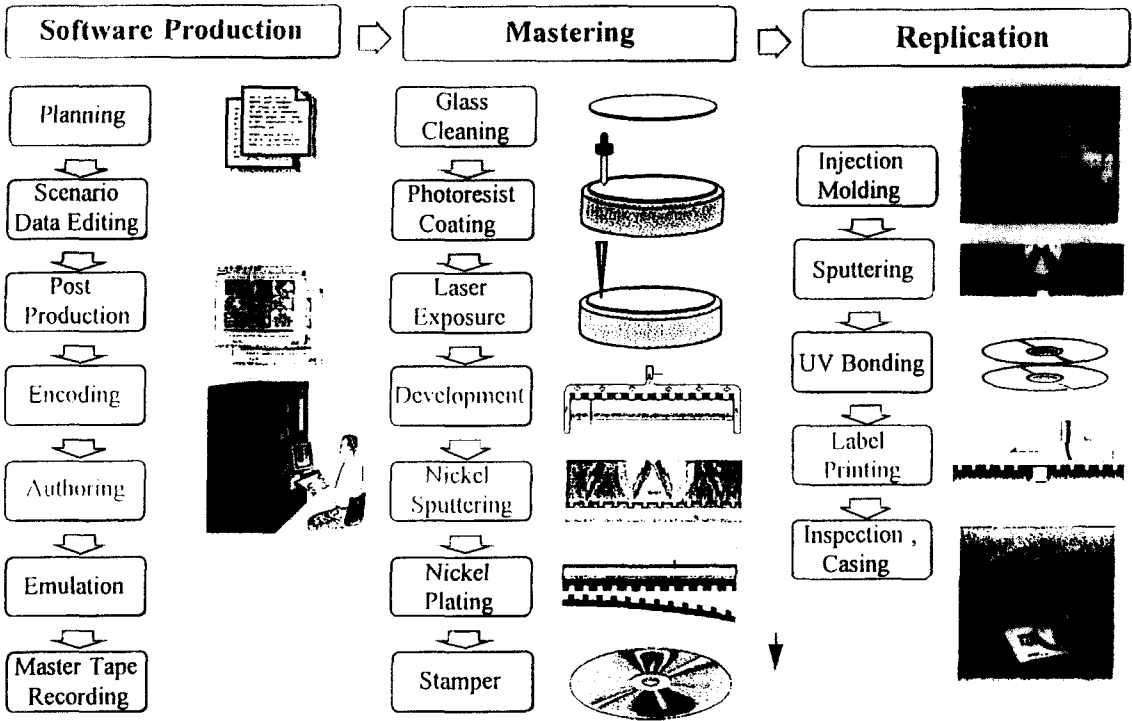


Figure 4. Schematics of DVD manufacturing processes.

6.1. 원판 제조공정(Mastering)

DVD용 기판을 대량 복제하기 위해서는 먼저 기판 성형기의 금형 내에 부착할 스텐퍼(stamper)를 제조하여야 한다. 이 스텐퍼는 후공정인 기판제조 의 원판이 되므로 최종 디스크의 품질을 결정하는 가장 중요한 1차적 요소이다. 또한 스텐퍼는 신호 피트가 새겨진 유리 원판에서 복사해 나오는 것이므로, 초기공정에서 부터 신호 피트의 누락이나 변형이 없이 정확한 피트 형상과 크기를 갖는 피트를 만들기 위한 기술 정립이 필요하다.

DVD 기판 위의 피트는 Figure 5와 같은 형상을 가지고 있다. 이 피트는 재생시 조사되는 레이저 광을 산란, 회절시켜 반사광의 광량 변화를 일으켜 최종적으로 재생신호를 발생한다. 따라서 피트는 폭, 길이, 깊이 뿐 아니라, 기울기도 중요하며 가능한 한 경사가 급한 피트를 만드는 것이 신호특성이 좋다. 이러한 구조 특성들이 원판제조 공정에서부터 결정된다. 원판 제조공정의 주요 세부단계는 원판의 준비공정, 레이저 빔 신호

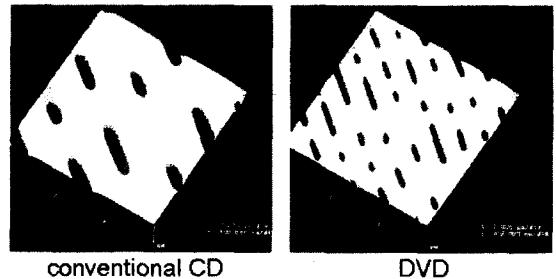


Figure 5. AFM pictures of plastic substrates of CD and DVD.

기록 공정, 그리고 물리적인 피트형성 공정으로 다시 나뉘어 진다[8]. 여기서는 각 공정에서의 유의할 점에 대하여 기술한다.

원판 준비 공정 :

① 원판 세정

평활한 원판을 얻기 위하여 우선 유리판을 연마하여 거울면을 만든다. 이 때에 연마된 유리 표면에 잔존하는 연마재나 주위 이물 등이 부착되어 있으면 최종 원판의 결함이 되므로 충분히 세정한다. 희석된 알카리 약제로 표면을 적신 후

에 회전하는 유리판상에 약액을 떨어뜨리고 자전하는 롤러 브러쉬를 저어 주면서 세정한다. 그 후에 순수로 충분히 세척하고 마지막으로는 질소가스로 유리의 가장자리와 뒷면을 잘 붙여 주면서 수 백회 회전시켜 건조시킨다.

② 포토리지스트 도포

세정된 유리 원판상에 피트를 형성시키기 위하여 포토리지스트를 얇게 도포하고 건조하는 공정이다. 이 공정에서는 도포막이 물리적으로 평활하고 균일하며 화학적으로 안정된 도막을 형성하여야 한다. 따라서 신호에 대응하여 순간적인 레이저광이 조사될 때 정확한 피트가 만들어지도록 하여야 한다. 이 공정에서는 다음과 같은 사항에 대하여 정밀한 관리가 필요하다[9].

가) 막 두께의 균일도

DVD 기록에는 고기록밀도를 위하여 파장 363.8 nm인 자외선 레이저를 사용하여 원판에 신호를 기록한다. 따라서 이 레이저 파장에 감광 특성이 적합한 i선 포토리지스트를 사용하는 것이 일반적이다. 전술한 바와 같이 피트는 그 깊이에 의해서도 광의 반사 회절 특성이 변화하므로 일정한 깊이의 피트를 만들어야 한다. 레이저 조사후 현상에 의한 막의 두께감소를 최소화 하는 경우, 신호의 깊이는 궁극적으로 도포된 포토리지스트의 두께에 대응하게 된다. 따라서 도포된 막의 두께관리로부터 생성될 피트의 깊이를 균일화시킬 수 있다. DVD의 경우는, 피트 크기가 미세함에 따라 일정한 막 두께를 형성하는 것이 우선 중요하다.

그런데 신호 피트의 깊이 h 는 다음과 같다.

$$h = \lambda / 4n$$

여기서 λ : 재생 레이저의 파장, n : 디스크기판의 굴절률로 주어지므로 DVD의 경우에는 약 0.1 μm 이 된다. 도포 방법은 일반적인 광디스크 제조와 동일하게 스핀 코팅하며 두께 편차를 $\pm 10 \text{ \AA}$ 이하로 유지한다. 보통 막 두께의 균일도는 조액의 희석도, 도포량, 회전수, 회전속도, 배기량, 온습도 등에 의하여 변화된다.

나) 베이킹

레지스트를 도포한 후에 용제를 휘발시키고 건

조막을 안정화시키기 위하여 가열하는 단계이다. 유리 원판을 80~100 $^{\circ}\text{C}$ 범위로 가열하지만, 처리조건이 막의 두께나 레지스트의 감도에 영향이 크므로 처리조건을 항상 일정하게 하는 것이 중요하다. 한 예로서 Figure 6은 가열판으로부터 1 mm 상에서 5분간 공중 가열한 후에 가열판에 진공흡착시켜 밀착 가열한 경우의 유리면 내의 온도를 나타내었다 이러한 방법으로 Figure 7에 나타난 대로 더욱 감도가 우수한 결과를 얻을 수 있으며, 막 두께의 편차도 3~8 \AA 수준이다

레이저 빔 기록공정(Laser Beam recording, LBR) :

① 레이저 노광

레지스트가 도포된 원판에 레이저 빔으로 변조된 신호를 노광시켜 피트를 기록하는 공정이며,

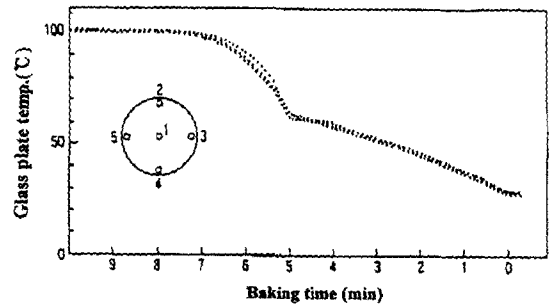


Figure 6. Glass plate surface temperature in baking process (preheating with 1 mm spacing before contact to hot plate).

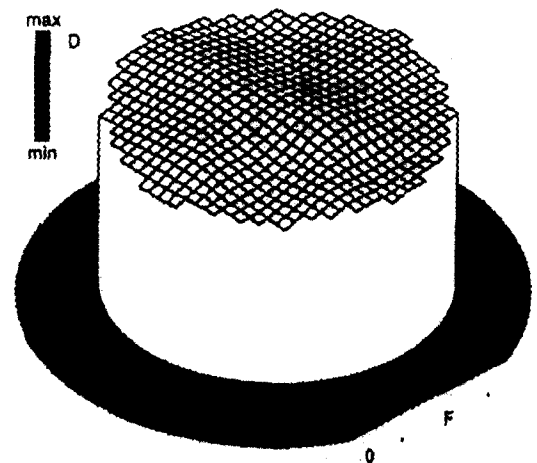


Figure 7. Thickness profile of photoresist coating layer.

Figure 8과 같은 특별히 제작된 광학계(Laser Beam Recorder)에서 수행된다. 사용되는 레이저는 CD의 파장 456.9 nm보다 짧은 파장 363.8 nm의 자외선 레이저를 사용한다. 신호피트가 최종적으로 기판상에서 정확한 형상과 치수를 가져야 하므로 원판의 노광 이후의 제반 공정들을 경과할 때에 발생하는 변화, 즉 공정 margin을 고려하여 원판 상의 피트 형상과 크기를 결정하고, 광학계를 안정화시키는 것이 중요하다. 즉, 기판에서의 트랙간격이 $0.740 \pm 0.020 \mu\text{m}$ 과 신호 불량인 지터(Jitter)가 35 ns 이하가 되어야 하므로, 노광된 원판에서는 최소한 각각 $0.010 \mu\text{m}$, 20 ns 이하가 유지될 수 있어야 한다. Figure 9는 피트의 형상이 원판과 기판에서 어떤 변화를 나타내게 되는지를 보여 주는 한 예이다.

가) 기록 빔의 직경

DVD에 적합한 빔의 크기를 얻기 위하여 광학계의 NA는 0.9로 한다. 노광시에 조사되는 레이저 빔을 회절 한계까지 집속하기 위하여 광변조

기로 변조시킨 후, 빔의 굵기를 다시 확대하여 레지스트에 입사시키는 방식을 채택한다. 이렇게 하여 가능한 한 광이 평면파에 가깝게 되도록 하며, 이론적인 입사 빔의 강도분포 $I(r)$ 는 중심 축의 강도를 1로 정규화 할 때 다음식으로 주어진다.

$$I(r) = \{2J_1(Ra)/Ra\}^2$$

여기서 J_1 : 1차 Bessel 함수

$$R = 2\pi ar/\lambda f$$

a : 기록 렌즈의 개구 직경

r : 기록 렌즈의 중심으로부터의 거리

λ : 레이저 파장

f : 레이저의 초점거리

Figure 10에 전형적인 빔의 강도 분포를 나타내었다. 이 때에 중심강도가 0.5가 되는 폭, 즉 FWHM(Full Width at Half Magnitude)의 이론치는 레이저 파장 363.8 nm, NA 0.9일 때 $0.21 \mu\text{m}$ 이 되고, 실제로 빔의 직경은 약 $0.22 \sim 0.23 \mu\text{m}$ 이 얻어질 수 있다. 이는 빔 크기가 CD의 청색광의 경우보다 20% 정도 작은 수준이며 피트의 폭의 규격인 $0.3 \mu\text{m}$ 을 형성시킬 수 있는 크기이다.

② 포토레지스트의 특성

실제 디스크 제조공정에 필요한 재료의 선정이나 처리조건을 효율적으로 설정하기 위해서는 도포된 포토레지스트 막의 감광거동을 사전에 파악할 필요가 있다. Figure 11에는 o-diazonaphthoquinone 계의 I-선과 g-선 포토리지스트를 동일한 방법으로 노광 및 현상한 후의 잔류 막 두께 분율을 비교하여 나타내었다. Figure 11에

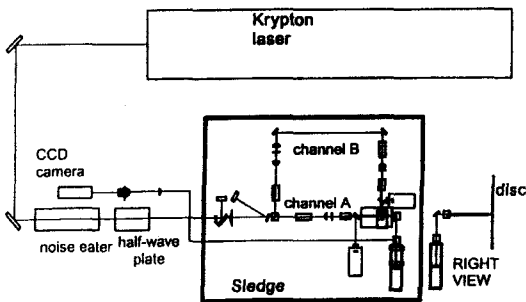


Figure 8. Light path of laser beam recording.

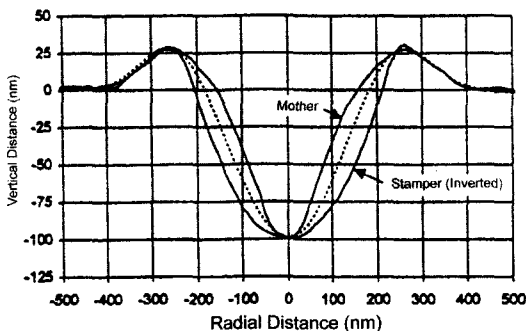


Figure 9. Change in a pit dimension between photoplate (mother) and stamper.

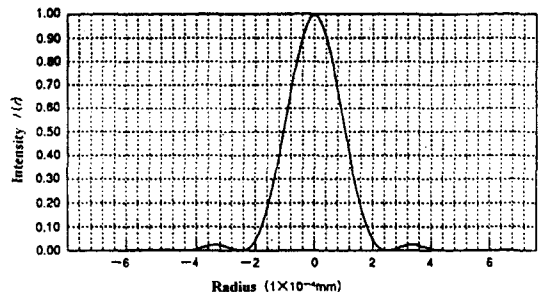


Figure 10. Intensity distribution of a focused spot of recording beam ($\lambda=363.8 \text{ nm}$, $\text{NA}=0.9$).

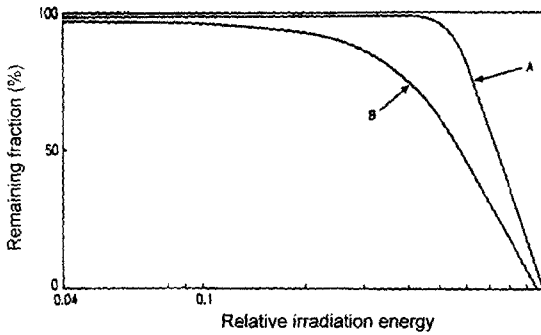


Figure 11. Remaining photoresist thickness versus radiation energy (A: i-line, B: g-line photoresists).

서 곡선의 경사부분의 기울기는 실제 현상 후의 피트의 벽면 경사와 대응하는 값이 된다. I-선용 자외선 레지스트의 경우가 보다 급한 피트의 벽면 기울기를 나타내는 것을 의미한다. Figure 12는 I-선 레지스트를 사용하고 파장 363.8 nm 레이저로 형성한 피트의 실제 형상이다. I-선 레지스트를 사용할 경우 피트의 콘트라스트가 매우 좋으며 신호 재생시 그 신호특성이 명확하게 나타나므로, DVD용으로는 자외선 레지스트가 적합하다는 것을 입증하는 기초 자료가 된다.

피트 형성 공정 : 레이저 빔의 조사로 레지스트 표면에 얻어진 기록 신호를 현상·에칭하여 물리적인 요철의 피트로 형상화 하는 공정이다. 이 과정은 CD와 유사하며 단지 해당 레지스트에 적합한 현상액과 조건을 지키는 것이다. 이 공정

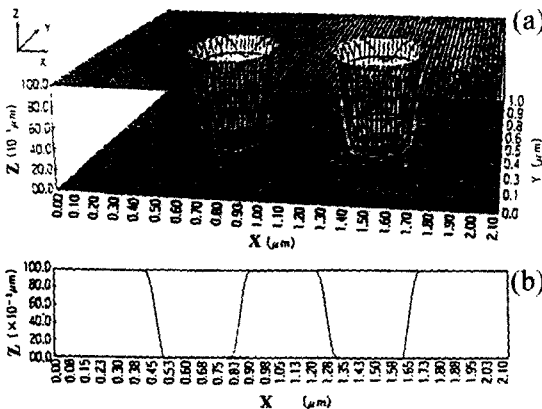


Figure 12. Pit profile formed by a laser beam ($\lambda=363.8$ nm) on i-line photoresist.

이 적절하지 못하면 기판의 표면이 거칠고 피트 모양이 명확하지 않게 된다.

다음으로는 레지스트 면에 형성된 피트로부터 금속 replica, 즉 스탬퍼(stamper)를 만드는 과정이다. 먼저 레지스트 표면에 Sputtering을 하여 도전막을 형성시키고 촉매활성을 위한 전처리를 한 후에 무전해 전기도금으로 스탬퍼 원판을 만든다. 도금의 진행과정을 레이저로 지속적으로 검사하여 적정 두께(약 0.3mm)가 되도록 한다. 이렇게 얻어진 스탬퍼의 AFM 사진을 CD의 것과 함께 Figure 13에 나타내었다.

원판 제조공정의 전 과정은 철저히 무진화 하고 각종 약제는 고순도화 하여 이물의 혼합에 의한 돌기, 줄무늬, 거칠기 등의 불량요소가 없도록 하여야 한다. 또한 온습도도 일정하게 유지하여

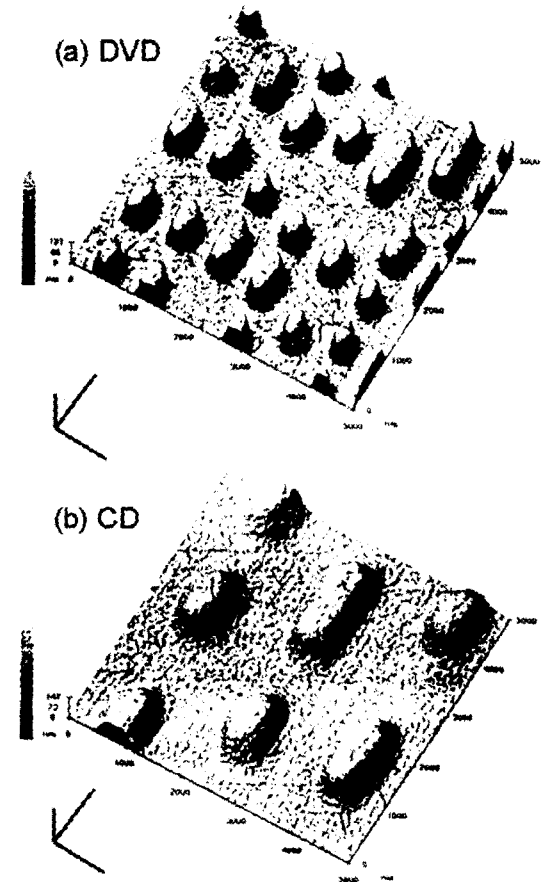


Figure 13. AFM pictures of DVD and CD stampers.

제반 설비의 변동요소나 화학공정이 항상 균일한 상태로 유지되는 것이 매우 중요하다.

6.2. 복제 공정(Replication)

광디스크의 가장 큰 장점은 대용량의 정보매체를 성형기로부터 고속으로 대량 복제하여 매우 경제적으로 디스크를 생산하는 것이라고 할 수 있다. 이러한 DVD의 복제 공정은 앞 공정에서 제조된 스템퍼를 사용하여 최종 디스크를 제조하는 공정이며, 내부적으로는 다시 ① 기판 성형공정, ② 후처리 공정 및 ③ 접합공정으로 세분화 된다[10].

DVD는 종래의 CD 이상으로 그 기판의 제조기술이 제품의 품질과 밀접한 관계를 갖고 있다. 동시에 사용재료, 반사막, 반투명막, 접착재료 등 구성요소들의 특성도 최종 제품의 품질이나 물성에 큰 영향을 미친다. 특히 디스크 기판은 신호를 결정하는 기록피트를 형성하는 것이므로 최종 디스크 품질에 절대적인 영향을 미치게 된다.

기판 성형공정 : 플라스틱 재료를 사용하여 만들어지는 광디스크는 품질면에서 특별히 다음의 3가지의 정밀한 기본 특성을 만족시켜야 하며, 그것이 기판 성형공정에서 이루어진다. 즉, ① 디스크는 드라이브 내에서 하나의 렌즈로 작용되므로 신호품질을 나타내기 위해서는 우선 광학적으로 등방성을 가져야 하고, ② 미세한 피트가 정확히 전부 복제되어야 하며, ③ 디스크의 치수가 규격 범위내에서 정확하고 휨이나 틸트가 없어야 한다. 따라서 양호한 ROM 디스크를 제조하기 위해서는 정보가 실제로 기록된 플라스틱 기판의 성형기술이 절대적인 핵심이다. ROM이든 RAM이든 극히 높은 정밀도의 기판을 성형해야 하며, 이를 위해서는 성형기, 금형, 재료 및 성형조건 등 제반 요소들이 일체가 된 고도의 총체적 초정밀 성형기술이 필요하다[11].

DVD 기판의 성형 기술면에서 고려할 점을 CD에 비교하면 다음과 같다.

- (1) 기판의 두께가 0.6 mm
- (2) 피트밀도가 4배 이상
- (3) 신호에 미치는 복굴절의 영향
- (4) 휨의 제어

(5) 기판 접착과 기판의 두께 균일도

(6) 고온성형에 의한 고생산성

이러한 사항들은 모두 기판이 얇고, 기록밀도가 커야한다는 두가지 궁극적인 제한요건하에서 영향을 받는 품질요소들을 생산공정에서 고려해야 한다는 것이다. 따라서 기판 제조과정 중에 기존의 광디스크에 비하여 관련 요소기술의 향상이 있어야 한다.

가) 두께

기판의 두께가 0.6 mm로서 기존CD보다 반에 불과하므로, 사출성형시에 용융 수지의 유동현상 그리고 금형내에서의 용융 수지의 냉각과정이 매우 상이하게 된다. Figure 14에 한 예로 폴리 카보네이트를 사용한 경우, 수지온도를 380 °C, 금형온도를 110 °C일 때에, 금형내에서 냉각 중인 기판의 두께 중심위치에서의 온도변화를 나타낸 것이다. 수지의 유리전이 온도인 140 °C 이하가 되는 시간이 1.2 mm 성형에서는 3.6초인 것에 비하여 0.6 mm인 경우 1.00초에 불과하다. 따라서 고속 냉각에 대응하는 고속 사출방식을 사용하여야 한다. 그러나 고속사출은 유동을 변화시키므로 복굴절 등의 광학적 성질이나 휨 등의 물리적인 불량을 초래할 수도 있다[12].

나) 고밀도와 복굴절을

DVD의 신호 피트 밀도는 CD에 비하여 4배 정도로서 피트의 크기와 트랙간격을 축소하므로써 고밀도화 하였다. 따라서 성형시에 조밀한 부분까지 확실히 충전되어 명확한 피트를 얻기 위해서는 수지가 고도의 유동성과 박리성을 가져야 한다. 특히 생산성을 증대시키기 위하여 성형 싸이클을 올리게 되면 박리불량이 생기기 쉽고,

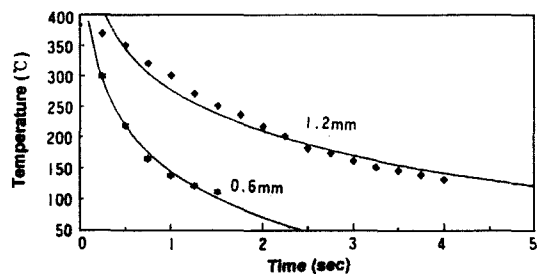


Figure 14. Dependency of melt temperature of polycarbonate during cooling.

Figure 15와 같이 피트가 박리 시에 변형이 되어 신호재생에 큰 영향을 주게 된다. 따라서 성형의 기본 조건으로서 유동성은 물론이고, 박리가 양호한 성형 조건이나 고분자 재료가 필요하다.

또한 재생 레이저 빔의 크기가 1.24 μm 로 작아졌지만 트랙간격이 훨씬 좁아지므로 해서 복굴절률에 의한 신호오차가 더욱 민감하게 된다. 복굴절률은 100 nm 이하로 유지해야 하며, 복굴절이 커서 재생광선이 타원화 되면, 이 타원 편광이 더욱 인접해 있는 피트들을 감지하게 되므로써 재생 신호에 영향을 미칠 가능성이 더욱 증대된다. 성형기판의 반경방향의 복굴절률 변화를 Figure 16에 나타내었다. CD보다는 고온에서 단시간에 사출하지 않으면 이러한 분포가 얻어지기 어렵다.

다) 휨

기판의 휨이 발생하지 않도록 하는 것도 매우 중요하다. Figure 17과 같이 반경방향의 휨은 규격에 의하면 최외각 위치에서 350 μm 이내로 하여야 한다. 특히 기판의 두께가 얇고, 금형온도나

그 온도분포에 따라서 표면의 고화층이 발달할 때 휨에 크게 영향을 미치며, 기판의 무게편차와 내외주의 수지 밀도가 차이가 나는 것도 휨이 발생하는 원인이 된다.

라) 두께 균일성

또한 DVD 기판의 두께 균일성은 NA가 크다는 광학계의 특성과 두 장의 기판을 접합시킨다는 구조상의 관점에서 특별히 중요하다. 접착층의 두께가 수십 μm 정도이므로 기판의 두께편차가 10 μm 이하로 억제되어야 한다.

종합적으로 DVD 기판성형에서의 유의점을 열거하면, (1) 고속 사출에 의한 내외주의 수지의 밀도차 감소 (2) 수지의 유동성 향상에 의한 전사성과 복굴절률의 감소 (3) 두께분포의 균일화 등을 거론할 수 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 DVD 기판 성형에는 사출압축 성형방식 (Injection-Compression Molding)이 사용되고 있다.

한편, DVD 기판의 품질을 결정하는 주요기술 요소로서 기판 재료, 금형기술, 성형기기 및 성형 조건 등에 대하여 좀더 고찰해 보자.

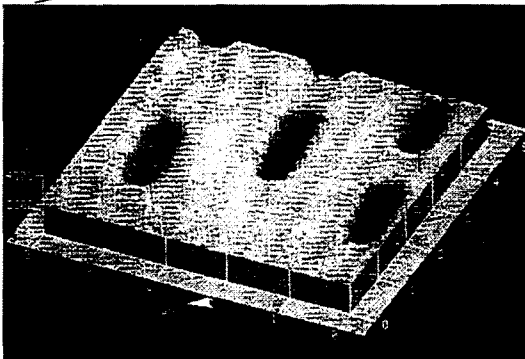
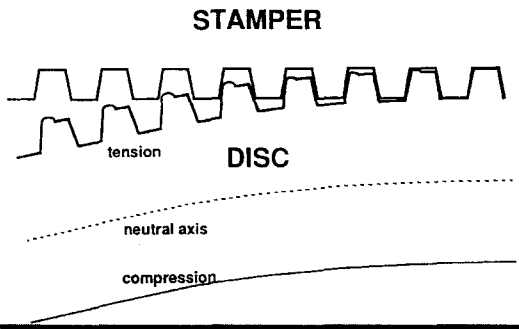


Figure 15. AFM picture of ridged pits formed during unbalanced separation of molds.

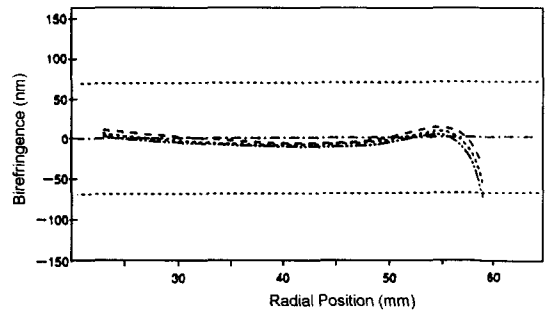


Figure 16. Birefringence of disk substrate along radius.

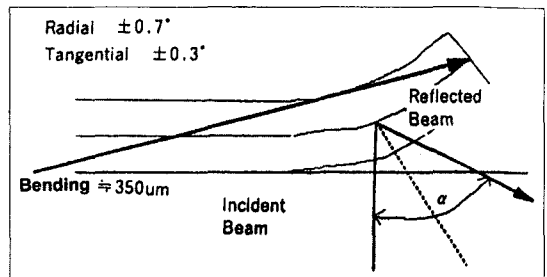


Figure 17. Bending limits of DVD substrate.

기판재료 : 광디스크 기판 소재로는 광학적, 기계적, 내환경적 적성을 가져야 하며 특히 DVD에서는 더욱 정밀한 성형이 요구되므로 보다 높은 조건을 만족시킬 수 있어야 한다. 따라서 많은 비결정성 고분자중에서 현재로는 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC), 폴리메틸메타크릴레이트(Polymethyl methacrylate, PMMA), 비정형 폴리올레핀(Amorphous Polyolefin, APO) 등이 대상이 되지만, 종합적인 소재특성에서 주로 PC가 사용되고 있다. 그러나 다음의 품질요소 및 생산성을 고려하여 기존 CD에 사용하던 소재에 비해 더욱 향상된 PC가 사용되고 또 개발 중에 있으며, 다른 새로운 소재도 검토 중에 있다.

① 기판재료의 요구조건

(1) 고온 내열성 : 복굴절과 전사성, 유동성을 위해 성형기의 실린더 온도를 되도록 높혀 기존보다 30~40 °C 높은 고온 380~390 °C로 설정하여야 한다. 따라서 수지의 열분해 개시 온도가 400 °C 이상이 되어야 한다. PC는 경계선이라 할 수 있는 온도가 약 400 °C이므로 성형 온도 조절에 유의하여야 한다.

(2) gate cut punching에 대응하는 기판강도 : 기판소재는 디스크로서 사용하는 도중의 외부환경, 특히 외부충격에 견딜 수 있는 적절한 물리적 강도를 가져야 함은 물론, 제조공정 중에서는 성형 직후에 gate를 펀칭해 내므로 내부 구멍부분에 균열이 발생하지 않을 수준의 내충격성도 필요하다.

(3) 단파장 레이저광에 대한 투명성 : DVD는 고밀도 기록의 재생을 위하여 단파장의 레이저광을 사용하기 때문에, 사용되는 기판소재는 그 파장 영역에서의 투명도가 높아야 한다. PC는 벤젠을 갖기 때문에 400 nm 근방에서부터 투명도가 저하하므로 현재의 DVD용으로는 큰 문제가 없으나, 향후에 보다 단파장에 대응하기 위해서는 새로운 분자 설계가 필요하다.

(4) 고밀도 피트 전사가 가능한 유동성 : 수지의 유동성을 결정하는 가장 큰 요소는 분자량이다. 따라서 수지의 강도와 유동성의 균형을 맞추면서 분자량을 결정하여야 한다. 일반적으로는 광디스크용 PC는 그 분자량을 강도가 저하하지

않는 정도로 낮춘 상태이므로 분자량을 더욱 낮추는 것은 그리 쉽지 않다. 또한 유동성 개량제를 첨가하는 것은 투명성이나 재현성의 저하 원인이 되기도 한다. 따라서 분자 말단 변성이나 분자 골격의 변성으로 유동성을 향상 시킨다. 또한 실제로 피트나 홈은 기판표면에서 15~20 μm의 스킨층에서 전사가 결정되므로, 이 스킨층의 유동성 향상을 집중적으로 개선하는 것도 중요하다.

(5) 스템퍼로부터의 박리성 : 스템퍼로부터 박리가 잘 안되면 결과적으로 피트의 변형, 착오 및 피트 겹침이 발생하게 된다. 이러한 박리성은 성형조건에 크게 좌우되지만 수지에 첨가된 이형제의 효과도 크다. 또한 가능한 한 저온에서 성형하는 것이 박리에는 유리하므로 저온 성형 가능한 수지의 유동성 향상도 주요한 과제이다.

(6) 광탄성계수 및 고유복굴절률 : 성형 기판의 최종 복굴절은 잔류응력에 의한 복굴절과 분자 배향에 의한 복굴절로 이루어진다. 잔류 응력에 의한 것은 광탄성 계수와 응력의 곱으로 되고, 분자배향에 의한 복굴절은 고유복굴절과 배향계수와 곱으로 생각할 수 있다. 그런데 광탄성계수와 고유복굴절은 분자구조에 기인하고 응력이나 배향은 성형조건에 좌우되므로, 수지 측면에서는 광탄성 계수와 고유복굴절을 작게 하는 분자설계가 필요하다.

(7) 고생산성 성형성 : DVD는 성형 사이클이 4.0초 이하로 생산할 수 있어야 채산성을 맞출 수 있다. 이 때문에 0.1초내에 디스크의 최외각까지 사출 가능한 유동성이나, 단시간에 균일한 용융상태로 가소화될 수 있는 수지가 필요하다. 가급적 저온에서의 성형도 성형 사이클 단축의 한 방법이다.

(8) 이물 감소 : 수지 내에 포함된 이물은 CD의 경우 100 μm 이상의 이물 감소가 중요한 반면, DVD의 경우에는 광선 크기와 트랙 간격이 작으므로 50 μm 이상의 이물 감소가 필요하다.

(9) 불순물 감소 : PC는 고온 고습하에서 흰점이 생기는 결점이 있는데 이는 수지 중에 포함된 불순물로부터 유발되는 가수분해에 의한 것으로 보고 있다. 따라서 광디스크의 수명이나 신뢰성 향상을 위해서는 수지의 수분율은 0.01% 이하로

Table 4. Properties of polymeric materials for DVD application

Properties	Unit	Test method	Test condition	PC	PMMA	APO
Density	g/cm ³	ASTM D1505	23°C/50% RH	1.2	1.2	1.05
HDT	°C	ASTM D648	66 psi	137	88	129
Tensile strength	kg/cm ²	ASTM D638	23°C, 5 mm/min	470	410	420
Flexural modulus	kg/cm ²	ASTM D790	23°C, 5 mm/min	2.5×10 ⁴	3.3×10 ⁴	3.2×10 ⁴
Pencil scratch hardness	-	JIS K5401	2 mm t sheel	HB	≥3H	2H
Transmittance	%	ASTM D1746	23°C, 50% RH	90	-	90
Refractive index	n ^{25D}	ASTM D542	23°C, 50% RH	1.58	1.49	1.54
Retardation (birefringence)	nm cm ² /kg	Ellipsometer (Double Pass)	He-Ne laser (6328Å)	<30	<20	<30
Photoelastic constant	-	Ellipsometer	ditto	+90×10 ⁻⁷	-6×10 ⁻⁷	-8×10 ⁻⁷
Water absorption	%	ASTM D570	24hr immersion	0.2	0.3	<0.01
Environmental durability (FS/initial FS)	%	ASTM D790	120°C air oven 80°C/100% RH	65 40	- -	100 100

*HDT=Heat Deflection Temperature

건조하고 불순물을 최소화하는 것이 중요하다. 또한 불순물은 스탬퍼나 금형의 오염을 일으키기도 한다.

(10) pellet 균일성 : 수지의 pellet 형상이 불균일 하면 용융상태가 불균일 하거나 용융시 기포가 침입하여 기관표면에 은색의 줄무늬가 발생하기 쉽다. 따라서 pellet의 형상 및 크기가 일정할 수록 좋다

Table 4에는 DVD 기관의 재료로 사용될 수 있는 3종의 비결정성 고분자의 특성을 광디스크 관점에서 비교하였다. 그러나 앞에 기술한 조건들을 복합적으로 만족시킬 수 있는 경제적인 소재가 흔하지 않은 상태이다. 현재는 성능, 코스트 그리고 생산성 측면에서 종래의 CD용 수지와 동일한 bisphenol A 형의 PC를 DVD의 성형에 맞추어 개량한 품종이 사용된다. PC는 400 nm 전후의 자외선 영역에서부터 1000 nm의 적외선 영역까지 광선 투과율이 높고 안정적인 소재이다. PC의 유동성은 일차적으로 분자량의 조절로 향상시킬 수 있으므로 DVD용은 일반 사출용이나 CD에 비하여 평균 분자량을 더욱 낮게(15000 정도)하고 있으며 그 용융 점도 거동은 Figure 18과 같다. 비교적 PC는 분자량이 저하되어도 내열성의 변화가 작으며, 기계적 강도도 보통보다 우수한 편이다. 특히 PC는 흡수성, 치수 안정성

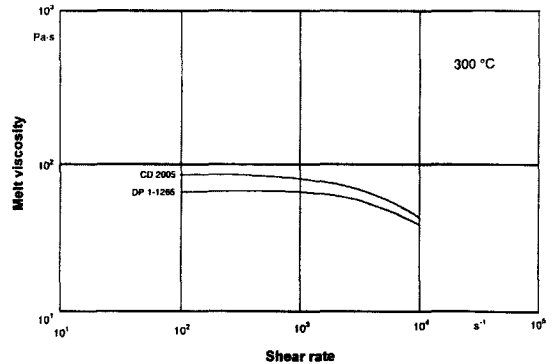


Figure 18. Viscosity characteristics of polycarbonates (CD2005: CD grade, DPI=1265: DVD grade).

에 있어서 우수한 소재이므로 DVD에 적합한 소재라고 할 수 있다[13].

그러나 소재가 개선된다 하더라도 생산 속도를 올리게 되면, 두께 0.6 mm를 사출 성형하는 경우 수지의 유동성이나 피트의 전사성에 문제가 될 수 있으므로 사출금형의 구조와 성형기 및 주면기기를 포함한 고도의 정밀 사출 기술이 필요하다. PC는 구조 점성의 면으로 볼때 사출압력보다는 성형온도에 의한 유동성 향상효과가 크다. 따라서 사출압력을 높이면 복굴절의 문제가 생기므로 성형온도나 금형온도를 높이는 것이 좋고 이에 맞는 금형설계가 필요하다. 그러나,

복굴절이나 유동성 측면에서는 금형온도를 높일 경우, 성형 사이클이 길어지기 때문에 특별한 금형온도 조절장치가 구비되어야 한다.

② 고유 복굴절률의 감소

DVD는 까다롭고 가혹한 성형 조건에 의해 복굴절률이 증가되고 이것을 극복하고자 더욱 복잡한 조건에서 성형하게 된다. 따라서, 우선 소재의 고유 복굴절률이 보다 작도록 개량할 필요가 있다.

PC의 분자구조는 Figure 19와 같이 주쇄 중에 존재하는 페닐기의 분극이방성과 페닐기의 컨퍼메이션 때문에 고유복굴절률이 크다. 일반적으로 지방족계의 고분자가 방향족계에 비해서는 절대치가 작고 또한 분자의 컨퍼메이션에 의해 그 부호도 역이 된다. 따라서 PC의 고유 복굴절률을 감소시키기 위한 개량방법으로는 (1) 고유복굴절률이 plus인 PC와 극성이 다른 재료를 블렌드하거나 공중합, 예로서 styrene을 공중합 또는 블렌드(Figure 20), (2) 분자 발단에 긴 사슬의 알킬기를 도입하여 말단의 유동성을 향상-polyester나 polyether, 또는 주쇄중에 alkylene기를 도입

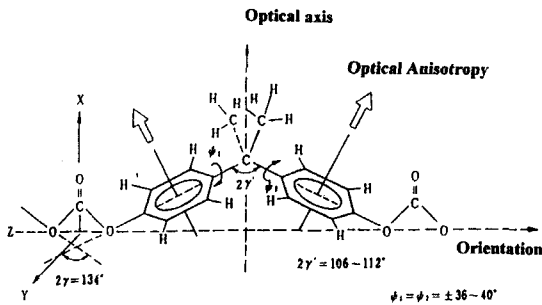


Figure 19. Molecular structure of polycarbonate.

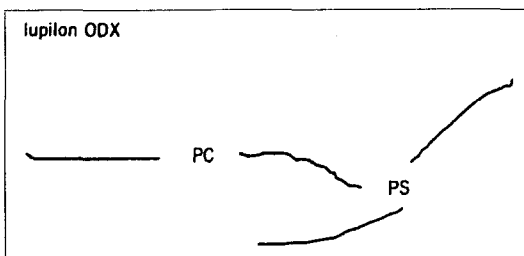


Figure 20. DVD grade polycarbonate modified with polystyrene copolymer.

(Figure 21), (3) PC의 bisphenol A와는 구조가 다른 2가 phenol 또는 지방족 알콜을 단독 또는 공중합 등의 방법이 시도되고 있다. 현재 상품화되어 있는 DVD용 PC로는 Dow Plastics의 Calibre QC1080, GE의 Lexan OQ1030L, Teijin-Bayer의 Makrolon DP1-1265 등이 있으며, 대부분 CD용 보다는 용융 유동특성을 개선한 PC들이다.

금형기술 : DVD 기판 성형용 금형은 기본적으로 CD와 큰 차이가 없다. 금형은 성형품의 치수를 만족시키는 것이 일차적인 기본 목적이다. CD가 도입된 초기에 비하면 현재는 성형기의 용량도 소형화 되었고 성형 싸이클도 20초 수준에서 4초 이하로 크게 단축되었다. 이것은 성형품이 금형 내에서 냉각되는 속도가 특별히 단축되었기 때문이지만 스프루 부분의 냉각에 시간이 걸리기 때문에 더 단축이 어려운 상태이다[14].

DVD 금형은 이러한 현재의 CD용을 기초로 하고, DVD에 적합한 기판 품질, 생산성, 취출방법 등에 대한 새로운 요구특성에 대응하여 설계되어야 한다.

DVD 금형은 코아 캐비티 측의 표면은 경면 가공한 평면이며, 피트부분은 스템퍼를 금형에 부착하여 성형한다. 스템퍼는 무전해 전기도금(electroforming)으로 제조하기 때문에 재질이 니켈 크롬이며, 금형의 구성재료인 강재와 다르다. 따라서 성형시의 열팽창, 사출압력에 의한 응력 등, 재질의 차이점을 고려하여 금형의 구조를 설계하여야 하는 것이 첫째 사항이다.

금형구조에 있어서의 둘째 과제는 금형의 온도 조절 방식이다. 특히 금형의 코아 측과 캐비

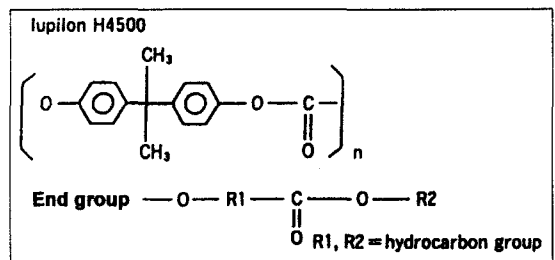


Figure 21. End-modified polycarbonate for DVD application.

티 측의 금형온도를 균일하게 유지하고, 성형품의 광특성을 손상시키지 않으면서 동시에 생산성을 향상시킬 수 있도록 설계되어야 한다. 사출 금형은 고온의 용융재료를 단시간내에 냉각하는 열교환기인 셈이다. 효율이 좋은 열교환기로는 금형온도를 낮추어 방열효과를 최대로 하는 방법이 있지만, 금형온도를 일정 온도 이하로 할 경우 디스크의 광학특성이 저하되므로 한계가 있다. 이상적인 DVD 금형은 캐비티로 용융수지가 충전되는 사출시간만 고온으로 유지하고, 충전이 완료되면 순간적으로 성형품을 대기중으로 배출할 수 있을 정도로 신속히 냉각할 수 있는 기구가 가장 바람직하다. 금형에 관련된 사항을 좀더 상세히 열거해 보면 다음과 같다.

① sprue, gate와 그의 절단

DVD는 기관의 두께가 0.6 mm로 얇기 때문에 금형온도를 110 °C 전후로 설정하여도 기관 부분의 냉각이 아주 짧은 시간에 완료된다. 그러나 sprue는 단면이 원형이고 taper가 있기 때문에 표면적이 작아 냉각효율이 특별히 나쁘다. 따라서 이 sprue가 박리에 문제가 없는 온도에 도달하는 시간은 사실상 기관부분의 성형시간의 수 배 이상이 된다. 사출 성형시의 유동압력은 노즐 직경, 스프루 직경의 4승에 비례하여 손실되므로, 스프루 직경이 굵을 수록 유동성은 좋게 되나, 성형 사이클이 길어진다. 따라서 품질과 생산성을 고려하면서 스프루는 가능한 한 가늘고 짧게 하는 것이 좋다. 게이트는 금형내에서 절단하는 것이 필요하며 이 때 절단 불량을 피하기 위해서는 고속 절단이 되어야 하므로 절단 부품의 정밀도가 중요하다. 유압 기구를 사용하면 절단 시간을 1초 이내도 단축할 수 있고, 절단면의 평활성도 좋게 된다.

② 금형 구조의 정밀도

DVD 금형은 다른 광디스크와 같이 캐비티측과 코아측의 정밀도가 매우 중요하다. 가급적 결합시의 편차가 없도록 모든 기계적인 구조와 가공이 이루어져야 한다. 또한 소량생산(10~10,000 장)에 의해 금형내의 스템퍼의 교환이 빈번하므로 그 교환시에 위치가 항상 정확하도록 특별한 고정방식이 필요하다. 고정방식으로는 진공

흡인, 고정볼트, 힌지방식 등이 있으며 복수의 방식을 조합하여 사용하는 경우도 있다. 스템퍼를 고정하는 데에 있어서의 문제는 교환시간과 용융수지의 흐름의 문제이다. 일반적으로 스템퍼는 스프루, 게이트의 중심부와 그 주변부에 고정하는데 주변부를 강하게 고정하면 구부러짐이 생긴다. 따라서 스템퍼의 두께 등을 고려하여 고정방법도 달리하여야 한다. 또한 캐비티에는 공기 등의 가스배출구로서 미소 공간이 필요한데 재료의 유동성을 고려하여 그 여유 공간을 설계에 삽입하여야 한다. 또한 스템퍼에 접하는 금형면에 미세한 흠집이 있으면 성형품에 악영향을 줌으로 표면처리를 완벽하게 한다.

③ 온도 조절 기구와 품질

DVD 기관 성형에서 가장 중요한 문제가 금형의 온도 조절 기구이다. 금형의 온도 조절 목적은 성형품의 품질과 생산성에 있다. 온도 조절기구와 관계되는 품질특성은 광학특성과 치수 정밀도이다. 특히 광학특성에서는 복굴절이 큰 문제이다. 복굴절과 치수 안정성은 여러가지 원인 중에서 특히 사출 성형시의 잔류응력의 대부분 좌우한다. 특히 PC는 치수안정성은 좋은 편이지만 잔류응력이 발생이 쉽고, 이 미세한 잔류응력은 기계적 응력과 분자배향에 의한 응력에 의해 발생된다. 디스크의 사출 성형시에는 기계적 응력은 무시할 수 있지만, 성형품의 두께가 0.6 mm로 얇기 때문에 분자 배향 응력이 문제이다. 특히 금형 캐비티에 유입되는 용융 수지가 금형 자체온도에 의해 급히 냉각 고화되고, 고화층이 단열층으로 작용하여 내부에는 유동이 지속되어 성형이 완료된다. 따라서 표면의 급냉 고화층의 안쪽에는 더욱 고속으로 유동하는 재료가 보다 큰 분자 배향을 일으키게 된다. 따라서 복굴절률의 수준이 캐비티의 온도에 의하여 크게 좌우된다. 그러나 캐비티 내에는 유동을 방해하는 요인으로 금형온도 뿐 아니라, 내부 공기도 영향을 주므로 공기 벤트 및 진공 캐비티, 또는 사출압축 성형 방식이 도입되었다. DVD 성형시 금형온도와 복굴절의 관계가 Figure 22와 같다. 가동측과 고정측의 온도차가 없는 것이 이상적이지만, 실제에는 금형, 플래튼의 열용량의 문제로

인하여 몇 °C의 온도차가 생긴다. 110 °C에서 안정한 품질을 얻었다고 판단된다. 금형의 온도 조절 장치는 성형시에 금형온도를 안정하게 유지할 수 있어야 하며, 용융 수지에 의해 온도가 상승하지 않도록 하여야 디스크의 품질 재현성이 유지된다.

④ 피트의 전사성

피트의 전사성은 캐비티 내의 용융수지의 유동성에 관계된다. 피트의 전사성과 금형온도의 관계는 Figure 23와 같다. DVD는 피트가 CD보다 고밀도이므로, 금형온도가 낮으면 특히 가장자리 부분의 전사성이 나쁘게 된다. 그것은 용융수지의 점도변화가 캐비티 내에서 크게 되기 때문이다. 따라서 금형온도는 105 °C 이상이 바람직하다.

⑤ 분리기구

스텝퍼와 기판이 박리 시에 균일하게 분리되지 않으면 피트가 변형, 붕괴되어 광특성이 열화되기 쉽다. 일반적인 분리기구로는 기계적인 충격, 진공 흡인, 압공에 의한 압출방식이 있다. 특히 스텝퍼를 고정축에 고정하는 경우에는 균일한 박리가 될 수 있도록 별도의 기구를 고안할 필요가 있다.

⑥ 부품의 가공정밀도

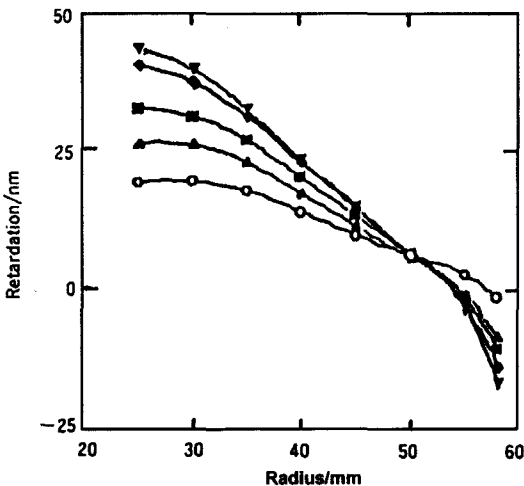


Figure 22. Influence of mold temperatures to substrate birefringences. Moving/stationary; (▼) 90/93, (◆) 95/98, (■) 100/103, (▲) 105/108, (○) 110/113 °C.

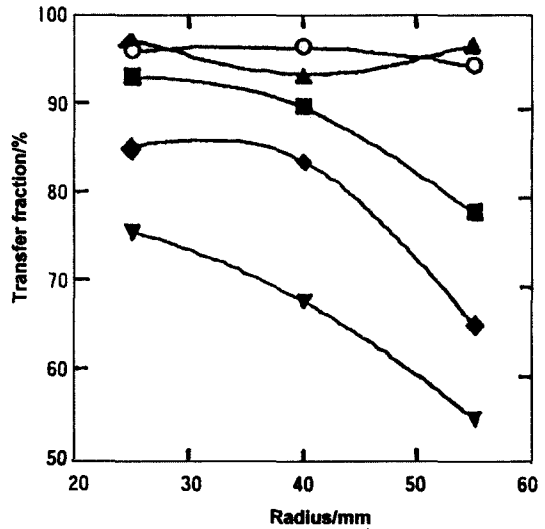


Figure 23. Pit transfer fractions of different mold temperature. Moving/stationary (▼) 90/93, (◆) 95/98, (■) 100/103, (▲) 105/108, (○) 110/113 °C.

기판은 표면의 피트가 전사되어야 하므로 금형에서는 코어나 캐비티의 표면조도가 매우 중요하다. 조도를 향상시키기 위한 표면 연마의 정밀도는 사용 재질에도 관계되며, 연마 시에 수 μm 이하의 탄소입자 구멍이 생기더라도 사용할 수 없게 된다. 특히 마찰면의 크리어런스는 상온에서 뿐 아니라, 고온시에도 정밀도가 유지되어야 하며, 장시간 사용 시에도 견딜 수 있는 소재나 부품으로 구성하되, 부품의 호환성을 고려한 부품의 가공 정밀도가 필요하다.

⑦ 사출압축성형 대응

DVD는 얇은 성형품이므로 성형품질을 고려하면 사출압축방식이 바람직하다. 사출압축방식에는 금형을 약간 연체로 사출한 후에 금형의 가동축을 압축하여 충전하는 방식과, 금형은 완전히 닫은 상태에서 유압을 내려 캐비티 내의 간격이 약간 넓혀진 상태에서 사출하고 코어를 움직여 압축하는 방식이 있다. 따라서 적용하는 성형방식에 따라 작동 원리에 입각한 금형 설계가 되어야 한다. 코아 압축 방식에서는 가동면의 크리어런스, 조도 등 정밀 가공이 특히 필요하기 때문에 일반적으로는 전자의 방식이 주로 사용된다.

전술한 금형기술의 제반 사항을 해결하고 있는 현재의 기술 수준은 DVD-ROM에는 대응할 수 있으나, 현재 이상의 고품위 상품, 특히 고용량의 DVD-R, DVD-RAM 등을 개발할 때에는 이에 상응하는 금형을 별도 개발하지 않으면 안된다. 특히 현재 채용하고 있지 않는 hot runner system, 복수 캐비티 방식 등이 향후의 금형 기술개발 과제로 남아 있다.

성형기와 성형조건 : DVD 기판을 효율적으로 성형하기 위해서는 ① 고정밀도와 ② 성형안정성 그리고 ③ 고생산성을 달성할 수 있는 기능을 갖추어진 특별한 설계의 성형기가 필요하다. 기판의 정밀한 피트 복제는 물론이고, 한 싸이클 시간을 4.0초, 향후에는 3.0초 이하로 할 수 있는 고생산성 성형기가 요구되고 있다. 또한 현재 표준화 작업이 이루어지고 있는 DVD-R, DVD-RAM에는 보다 정밀한 기판이 요구될 것으로 보인다[15].

① 사출압축 방식

근본적으로는 Table 5에 나타낸 바와 같이 CD의 성형에는 사출성형 방식이 일반적인 반면에 DVD에는 사출-압축성형 방식이 사용된다는 것이다. 이 방식은 고밀도의 피트의 전사성을 더욱 향상시키고자 도입된 것으로 금형이 사출압력에 의해 일순간 약간 열려진 후에 압축력을 가하여 수지에 스탬퍼를 보다 밀착시킴으로써 전사성을 향상시키게 된다. 이 때에 금형이 열리는 양에 따라서 수지가 금형내로 유입되는 량이 결정되고, 따라서 기판의 두께가 결정된다. 여기에는 금형의 열리는 량의 균일성이 매우 중요한 요소이며 경험적으로 0.1~0.2 mm가 적합하다.

일반적인 사출성형 방식으로 성형하면 수지가 금형 캐비티 내에 유입되는 때에 얇은 캐비티 내를 흐르는 수지의 압력은 gate 부분이 외주부

분에 비하여 매우 높아진다. 이 때문에 외주의 전사 상태를 개선하기 위해 압력을 올리면 내주 부분의 복굴절률이 상승하게 되고 내주의 복굴절률을 낮추려고 하면 다시 외주의 전사가 나빠진다. 따라서 사출압축 방식은 Figure 24와 같이 압축 기능을 도입하므로써 내주부터 외주까지 비교적 균일한 압력을 걸리게 하여 동등한 전사 및 복굴절을 얻을 수 있는 방식이다. 또한 이러한 색다른 성형 기술은 신호특성이나 광학 특성(복굴절 등)뿐 아니라, 디스크의 기계적 특성(평면성, 전사, 편심, 틸트, 두께 편차 등)의 많은 요구 품질 특성을 달성하는 데에도 도움이 된다.

② 고정밀도와 고응답성

기판이 고정밀도를 요구한다고 해서 사출압축 방식 이외에 DVD 기판의 성형기로서 특별한 기본장치에 변화가 있는 것은 아니다. 단지 성형기 본래의 각 동작 능력이 정밀하고 안정되어야 한다. 특히 자유롭고 정확한 금형 파지력(clamping power, CP)의 제어, 고속사출, 고속 용융, 각 동작의 반복 정밀도의 안정성에 관여 되는 제반 유압장치 등의 기능을 높이는 것이 가장 주요한 기술 개선의 요점이다.

가) Clamping 장치

Clamping 장치의 정밀도도 성형에 큰 영향을 준다. 정적 상태의 요소, 금형을 부착하는 위치에서의 평행도, 최대 CP가 걸리는 때의 플레튼의 변형량 등이 일차적으로 중요하다. 그러나 더욱 고려할 점은 금형, 수지 등의 열영향의 문제이다. 실제 성형에는 100 °C 이상의 높은 온도에서 성

Table 5. Basic processing conditions of DVD-ROM and CD-ROM substrate

조 건	DVD-ROM	Cd-ROM
실린더 습도	360~380 °C	300~360 °C
금형온도	100~120 °C	50~90 °C
사출속도	140~200 mm/sec	70~140 mm/sec
성형방법	사출압축성형	사출성형

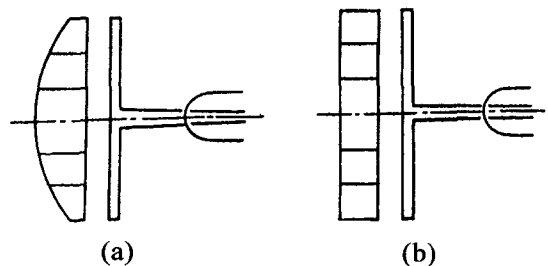


Figure 24. Flow principles of disk substrate processing; (a) injection molding, (b) injection-compression molding.

형이 이루어 지므로, 낮은 온도에서의 성형보다는 각 장치에 미치는 열영향이 크고, clamping 정밀도가 불안정해 지기 쉽다. 이를 방지하기 위하여 플래튼에 수냉각장치를 부착하여 고정밀도를 유지한다. 또한 금형의 캐비티내로 수지가 충전되는 순간의 CP 변화에 대한 응답성과 반복시의 변함없는 정확성 등이 기판 품질에 극히 큰 영향을 미친다. 따라서 요구되는 성형 거동에 맞추어 CP를 단계적이고 자유자재로 변경시간을 설정할 수 있는 것도 중요하다.

또한 기판의 두께 균일성에 미치는 플레이트의 평행도에도 고정밀도를 유지하여야 한다. 그것은 Figure 25에서와 같이 성형동작 중에도 고정 및 이동 플레이트의 기울어짐이 없어야 한다는 것이다. 그러기 위해서는 굽힘 moment free 기구로서 금형 개폐, 금형 압력, 노즐 접촉, 사출 등 각 동작에 있어서 힘과 일치된 위치로 설계되어 있어야 한다. moment가 생기지 않게 한다. 그 지점은 중앙을 정확히 받칠 수 있어야 한다. moment free를 위하여 고강성 고정밀 support, 직압식 clamp 장치 도입, 또한 금형 개폐 실린더의 전진 후진축의 각 유압실의 면적을 동일하게 하여 양쪽을 한 개의 써버로 제어하므로써 개폐 속도 및 정지위치의 안정화도 실현할 수 있어야 한다.

나) 고정밀 사출장치

디스크 전용의 screw를 택하여 혼련성을 향상시키고 온도 균일성을 높이는 것이 우선이다. 또

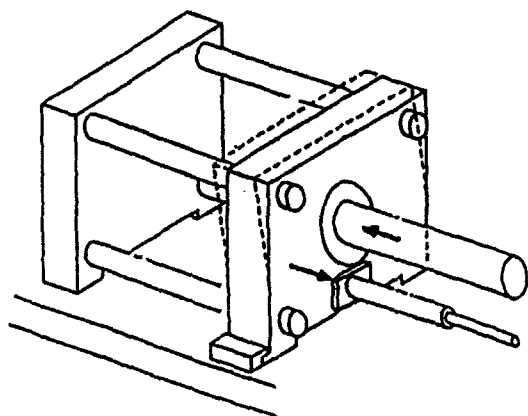


Figure 25. Unbalanced movement of die plates.

한, 고응답 서버를 사용하여 충전 속도, 보압, 스크류 조절, 배압, 회전 등 각 동작을 closed loop control하여 장치의설정치에 따라 정확히 수행되는 응답성과 재현성이 있어야 한다. 또한 CD에 비하여 충전량이 작으므로, 충전이 극히 단시간(0.1 sec)내에 종료되기 때문에 단시간 변화에 대응하는 충전 프로그램이 가능해야 한다. 따라서 미소한 충전 동작에 대응할 수 있는 장치능력이 극히 중요하다.

다) 고정밀도 용융 장치

안정한 용융상태, 수지온도, 고온 안정성이 중요하므로 적절한 기구와 재질이 필요하다. 특히 성형온도가 370~380 °C 정도의 높은 상태이므로 수지온도의 안정성, 수지 충전량의 안정성이 보장되는 용융 가소화 장치이어야 한다. CD에 비하여 사출량이 반이므로 가열장치 내에서의 체류시간이 대폭 단축되어야 수지의 탄화를 방지할 수 있으며, 따라서 배럴에 수지가 1/3~1/4 정도만이 투입가능한 특수 수지공급 장치도 필요하다. 특히 screw, nozzle, screw head, check ling 등의 선단부분의 역할이 성형안정성에 매우 중요하다. screw는 양질의 용융물이 얻어지도록 flight 부분을 2중구조로 하고, 가열 실린더의 온도조절은 외란이 없도록 PID 조절로 하여 0.1 °C 단위로 설정, 제어할 수 있어야 한다.

③ 고생산성을 위한 고싸이클

가) Clamp 개폐 속도의 향상

고려해야 할 점은 금형타치 순간 각 부분의 타치가 유연하게 되어야 하므로 미세조정이 원활한 프로그램이 필수적이다. 또한 개폐동작의 오버런이나 관성에 의한 변동을 억제하는 것도 중요하다. 이를 위해서는 가감속 패턴이나 동작 개시, 종료시의 처리, 저 충격화가 이루어져야 한다. 따라서 초고속형 개폐동작과 저진동의 기능을 동시에 만족시켜야 한다.

나) CP 상승 및 저하 시간의 단축

CP의 정확하고 빠른 압력조절, 타 공정과 연계한 낭비시간을 극히 배제하고, 동작도 동시적으로 이루어지게 한다.

다) 유압시스템

항상 안정된 유압을 actuator에 공급할 수 있

어야 사출의 정밀 안정성이 가능하게 된다.

④ 성형조건

두께가 0.6 mm로 성형하는 데에는 금형의 얇은 캐비티 내를 용융수지가 스킨층을 형성하면서 유동하기 때문에 내주부에 분자배향 응력이 남아 복굴절이나 휨이 크게 된다. CD와 동일한 성형조건으로 성형하면, 디스크 중심부의 복굴절이 큰 마이너스 값이 된다. 그러므로 DVD 성형에서는 좁은 캐비티내를 지나는 용융수지를 보다 저압유동 상태로 충전하도록 하는 성형조건이 필요하다.

전형적인 성형조건을 다음과 같이 제시할 수 있다.

배럴 온도: 360~380 °C

사출 속도: 200-300 mm/s

금형 온도: 100~135 °C

충진시의 캐비티 간격: 100~150 μm

압축 압력: 다단계(저 → 중 → 고)

후처리 시스템과 접합공정 : 성형후 취출된 기판은 서서히 냉각하고 알루미늄으로 반사막을 sputter한다. 반사막의 두께는 광투과도가 70% 이상이 되도록 하며 sputtering시에 이상 피트가 생기지 않도록 유의 한다. sputtering 후에는 보호막을 균일하게 도포하고 UV로 조사하여 경화시킨다. 신호 피트가 2층으로 구성된 디스크의 경우에는 기판상에 반투과막을 sputtering하여 1차 신호층을 형성시킨다. 반투과막의 두께는 반사막과는 확실히 구분될 수 있도록 광투과도를 25~35% 범위로 하되 5% 이상의 오차가 나지 않아야 한다. 알루미늄 박막인 경우는 약 8 nm, Si 화합물인 경우는 약 50 nm 수준이다.

DVD의 접합공정은 CD에는 없는 공정으로서 광자기 디스크에서 적용되는 방식과 동일하다. 디스크의 구조상 반사막의 위치에 따라 UV 방식, UV/hot melting 방식 등이 사용되고 있으며 두께는 30~50 μm 정도이다. 성형된 기판에 양이온계 UV 수지를 도포한 후에 UV 광으로 조사하고 접합한다. 접합후 적절한 온도에서 수지를 완전 경화시켜 접착이 완결되도록 한다[16].

기판 접합기술은 두 장의 기판이 정확한 위치로 접착되고 광학적 영향도 최소화 되도록 수지

의 종류와 접합 방식을 선택하여야 한다. 또한 장기간 사용상의 환경에서도 기판과 금속층과의 접착에 문제가 없어야 하며, 접합 상태, 접착력, 두께 균일성, 기포 등의 문제를 고려하여 방법이나 조건을 선택한다. 특히 기포, 가스, 공기 등의 배출이 용이하도록 하면서도 생산속도가 4.0 sec/매 이하가 될 수 있는 특수 접착 장치가 필요하다. 장치의 기능은 얇은 기판에 어떤 변형도 가지 않게 하여 그 응력이 디스크에 잔류하지 않도록 하여야 하고, UV 접착소재도 경화시 수축이 작고 열응력을 최소로 할 수 있는 것을 사용하는 것이 바람직 하다. 접합공정을 보다 편리하게 하기 위하여 양면 접착 필름 방식으로 접합하는 방법도 제시되고 있다.

양면구조를 갖는 DVD-9과 10의 경우에는 접착층을 두 층간의 분리층으로 하면 되므로 정밀한 두께관리 이외에 추가되는 공정은 없다. 단지 기록층이 4겹인 DVD-18에는 이 분리층에도 신호기록이 되어야 하므로 2P 방식을 채택할 수 있다. 즉 성형된 기판상에 금이나 Si 화합물로 sputtering하여 반투과막을 형성시키고, 그 위에 광고분자를 정확한 두께로 도포한 후에 다시 레이저로 피트를 형성시키는 방식이다. 이렇게 제조된 2층의 디스크를 두 장 접합하여 완성한다.

그러나 접착공정에서 유의할 몇 가지 사항이 있다. ① UV 접착제의 선정에 있어서 PC의 영향을 고려하여야 한다. 접착제의 경화는 PC를 통과한 광선에 의해 일어나는데 PC 자체가 단파장 영역에서 자외선을 크게 흡수하므로 일반적으로 사용되는 단파장 경화제는 문제가 있다 따라서 장파장에 반응하는 경화 시스템을 선택하여야 한다. ② DVD 접합층의 두께는 50 μm 수준이므로 CD에서 사용하던 라벨인쇄용 수지계는 점도가 너무 낮다. 따라서 고점도의 접착제를 선정하여야 한다. ③ DVD-10과 18에서는 두 알루미늄 반사층 사이에서 그리고 DVD-9에서는 반투과막을 통과하여 접착제를 경화시키는 것이므로 UV광선의 침투가 어려운 구조이다. 이러한 제한 요소를 극복하기 위한 접합공정의 개발이 양질의 디스크를 제조하는데 매우 중요하다.

7. 결 언

새로운 고용량 광디스크로서의 DVD는 도입된 지 얼마 되지 않은 상태이나 멀티미디어 시대가 요구하는 기록용량을 충족할 수 있기 때문에, 영화를 비롯한 가전 영상기구나 컴퓨터 관련 기기에의 적용이 큰 관심을 갖고 있다. DVD 전용 재생기가 영화감상용을 중심으로 판매되기 시작했으며, CD-ROM, CD-R 등도 재생 가능한 DVD Drive를 탑재한 컴퓨터가 속속 등장하여 CD-ROM을 대체해 가고 있다. Microsoft사에서 새로운 Window system에 DVD 운영기능을 확대하여 특별한 hardware없이 컴퓨터 software만으로 DVD를 재생할 수 있는 기능을 보강할 것으로 발표하고 있다. 현재까지는 규격의 통일화, 적용 소프트의 개발 등 본격적인 확산에는 시간이 필요하지만, 2~3년안에 새로운 기록매체로서 표준화 될 것이다. 2000년 이후에는 DVD-9 등 고용량과 DVD-R, DVD-RAM 등이 본격화 될 뿐 아니라, 청자색 파장의 레이저가 대량 생산되고 보다 고밀도의 기판 성형기술이 개발되는 경우에는 수 십 GB의 대용량 기록이 현실화 될 전망이다. 그러한 의미에서 플라스틱의 극한 기술을 활용한 새로운 광디스크의 등장은 매우 흥미로운 것이며, 앞으로 보다 고용량으로의 발

전과정에서 전자적, 광학적인 기술혁신과 더불어 고분자 기술의 개발도 한층 적극화 되어야 하리 라고 판단된다.

참고문헌

1. M. Tanaka, *Joho Kanri*, **38**, 47(1995).
2. T. Sugaya, *Joho Shori*, **37**, 1005(1996).
3. 青柳 全, *Technology and Market(Japan)*, **45** (1998).
4. H. Yamada, "IEEE International Conference Proceeding", p. 287, 1997.
5. 原田 衛 *et al.*, *Nikkei Electronics*, **697**, 17(1997).
6. H. Mimura, "IEEE International Conference Pro- ceeding", p. 291, 1997.
7. M. Tanaka *et al.*, *Nikkei Electronics-Asia*, **5**, 48 (1998).
8. G. J. Verhaart, *One to One (The International Media Manufacturing Magazine)*, **86**, (1997).
9. K. Sano *et al.*, *National Technical Report (Japan)*, **43**(3), 92(1997).
10. B. Frazer, *Tape Disc Business*, **6**, 23(1998).
11. 清水 久賀, *工業材料*, **44**(10), 102(1998).
12. 根本 泰, *プラスチック成形技術*, **14**(3), 22 (1997).
13. 上田 昌哉, *工業材料*, **44**(4), 35(1996).
14. 保坂 本夫, *プラスチック成形技術*, **14**(3), 16 (1997).
15. 後藤 孝, *プラスチックエ-ジ*, **1**, 130(1997).
16. 柳澤 薫, *プラスチック*, **48**(3), 64(1996).