

미세 형상을 갖는 DVD-RAM 기판의 성형에 관한 연구

성기병 · 문수동* · 강신일**

Fabrication of the Micro-structured DVD-RAM Substrates

K. Seong, S. Moon, and S. Kang

Abstract

Recently, the sub-micron structured substrates of $0.74 \mu\text{m}$ track pitch and 800 \AA groove depth are required for DVD-RAM, and the track pitch is expected to be narrower as the need for the information storage density is getting higher. For the accurate replication of the land-groove structure in the stamper to the plastic substrates, it is important to control the injection-compression molding process such that the integrity of the replication for the land-groove structure is maximized. In the present study, polycarbonate substrates were fabricated by injection compression molding and the land-groove structure regarded as one of the most important geometrical properties for DVD-RAM substrates was measured. The effects of the mold temperature and the compression pressure on the integrity of the replication were examined experimentally. An efficient design methodology using the response surface method (RSM), the central composite design (CCD) technique, and the analysis-of-variance (ANOVA) was developed to obtain the optimum processing conditions which maximize the integrity of the replication with a limited number of experiments.

Key Words : DVD-RAM Substrate, Land-Groove, Injection-Compression Molding, Central Composite Design, Response Surface Method, Analysis-of-Variance

1. 서 론

CD, DVD, MOD 등과 같은 고밀도 정보저장장치의 개발로 인해 광디스크 기판의 구조는 보다 더 미세해 지고

있다. 그러므로 기존의 사출공정으로는 적합한 기판의 제조가 어려운 실정이며, 이에 고밀도 광디스크를 위한 공정 조건과 금형 설계의 새로운 개념의 설정이 필수적이다⁽¹⁾.

* 연세대학교 대학원 기계공학과

** 연세대학교 기계·전자 공학부

광디스크 기판 중에서 DVD-RAM 기판은 상 변화에 의한 데이터 기록방식으로 land와 groove 구조를 가지고 있다^(1,2). Track 방향으로 고밀도를 실현하기 위해 land와 groove를 모두 기록 track으로 사용하고 있으므로 신호의 안전성을 위해서 이러한 미세구조의 전사성이 고려되어 저야 한다. 나노 두께의 기록층을 입히기 위하여 land-groove의 면은 평탄하고 정밀한 치수를 유지하여야 한다.

광학성형품에서의 이러한 전사성을 만족하기 위하여 사출압축성형공정이 각광을 받고 있다. 사출압축성형공정 중의 수지온도, 금형온도, 보압, 압축압력, 냉각시간 등의 공정조건에 의하여 제품의 기계적, 광학적, 형상적 특성이 크게 영향을 받으므로 최적의 공정조건을 구하는 것이 중요하다^(3,4). 그러나 최적의 공정조건을 찾기 위해서는 시행 오차법에 의한 반복적인 무수한 실험이 요구되어지고 있어 지금까지 전문가의 경험에 의존하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 DVD-RAM 기판의 land-groove 미세구조를 정밀하게 성형하기 실험계획법의 하나인 중심합성법(central composite design, CCD)을 도입하여 제한된 실험으로부터 최적의 공정조건을 도출하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1 DVD-RAM 기판의 사출압축성형 및 측정

본 연구에서는 optical grade polycarbonate (Lexan OQ 1020c-112)를 사용하여 Fig.1에 나타난 것처럼 직경 120mm, 두께 0.6mm의 기판을 제작하였다. 본 실험에 사용된 사출 압축 성형기의 사양은 형체력이 35톤, maximum stroke volume이 42cm³, 최대 사출 압력이 1690kg/cm² 이고, 가동판을 전면 압축하는 방식을 사용하였다. 수지의 온도를 360℃로 하여 사출하였다. 충전 시간과 보압 압력은 각각 0.17초와 30~35kgf의 기본 값으로 설정하였다. 압축 압력과 금형 온도가 land-groove 형상에 미치는 영향을 계산하기 위하여 금형 온도 및 압축 압력을 변화 시키면서 기판을 제작하였다. 여기서 압축 압력은 충전과정이 끝난 다음부터 0.8초 동안 가하였다.

Stamper 및 성형된 기판에서의 land-groove 미세형상을 측정하기 위하여 AFM을 사용하였다. Fig.1에 표시한 바와 같이 세 점에서 5μm×5μm의 영역을 측정하였다.

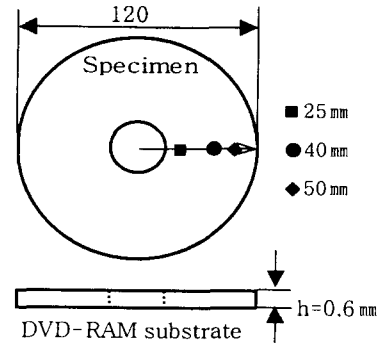


Fig. 1 Dimension of the DVD-RAM substrate and the location of the measurement points

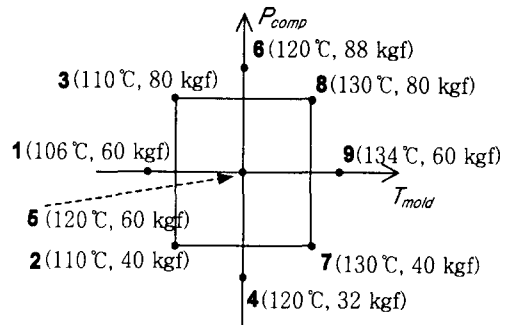


Fig. 2 CCD comprised of the 2k factorial design sets, four axial points sets, and one center point set

3. 최적 공정 조건의 도출을 위한 설계 기법

3.1. 실험 조건의 선정

신뢰성 있는 실험 배치를 위해 중심합성법이 적용되었고, 결과값에 적합한 수학적 모델을 결정하기 위해 반응 표면계획법(Response surface methodology, RSM)을 이용하였다. CCD는 하나의 중심점과 네 개의 축 점, 그리고 2^k factorial design으로 구성되며, 이는 2차함수를 유도하는데 적합한 방법이다^(5,6).

CCD를 적용하여 Fig. 2에서와 같이 9가지의 실험조건을 선정하였다.

3.2. 목적함수의 도출

본 연구에서는 각 공정조건에 의해 성형된 기판의 groove depth와 stamper의 depth와의 차이와 land/groove에서의 거칠기(R_{pw})를 최소화 하는 것이

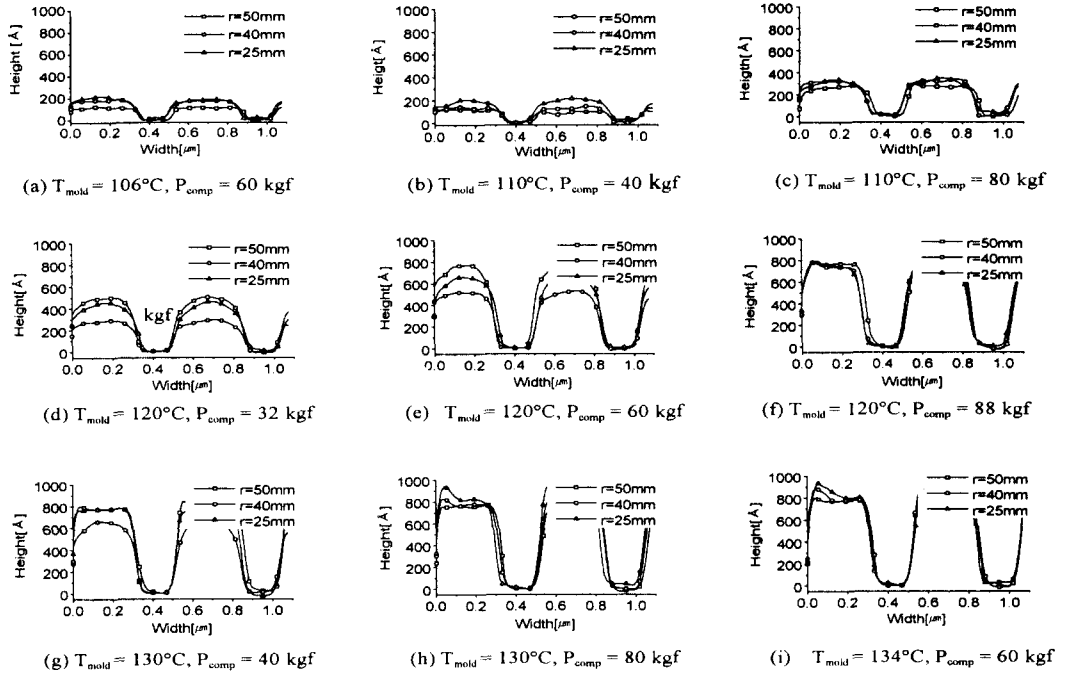


Fig. 3 Land-groove structure profiles obtained at 9 sets of processing conditions

목적이다. 선정된 실험조건에 따른 결과 값들은 2차 곡선으로 curve fitting 되어 지며, 최소화 시킬 인자가 2개 이므로 Table 1에서와 같이 각각의 중요도에 따라 가중치를 주었다. 유도된 2차 함수의 적합성을 검증하기 위해 SAS[®]를 이용하여 ANOVA(analysis of variance)를 실행하였다. 유도된 함수의 R²가 0.9이상이면 이 모델은 적합하다고 간주되어 진다.

4. 결과 및 토의

4.1 Land-groove 구조 형상 분석

요구되는 기관의 groove depth는 stamper의 groove depth인 800Å 지점에서 표면을 측정 한 결과는 Fig.3에 나타내었다. 측정된 모든 기관은 외견상으로 모두 충전된 기관이나 미세구조상으로는 공정조건에 따라 많은 차이다. Fig. 2에 따른 각 공정조건으로 성형된 기관의 세이를 보이고 있다. 금형의 온도가 높아질수록 재료의 유동성이 높아지고, 압축압력이 커질수록 수지에 걸리는 압력이 커지게 되어 stamper의 land groove의 풀 사이에 재료의 유동이 수월해져 성형된 기관의 groove depth가 커짐을 알 수 있다.

Table 1 Optimum sets of processing conditions for different weight values

Case	Weight $a_1 : a_2$	R ²	Optimum real values	
			T _{mold} (°C)	P _{comp} (kgf)
1	0.1:0.9	0.81	122.4	55.9
2	0.2:0.8	0.92	124.7	63.3
3	0.3:0.7	0.94	125.6	64.9
4	0.4:0.6	0.95	126.1	65.7
5	0.5:0.5	0.96	127.0	65.2
6	0.6:0.4	0.96	126.6	66.4
7	0.7:0.3	0.96	126.2	66.6
8	0.8:0.2	0.96	126.7	66.7
9	0.9:0.1	0.96	126.8	66.8

그러나 과도한 금형의 온도와 압축압력은 금형이 열리는 순간에 stamper와 기관이 분리되면서 groove면을 잡아뜯게 되는 현상이 발생하게 되어 stamper의 groove depth보다 더 큰 groove depth를 지닌 기관이 성형되기도 하며 이경우의 표면거칠기도 나빠지게 된다.

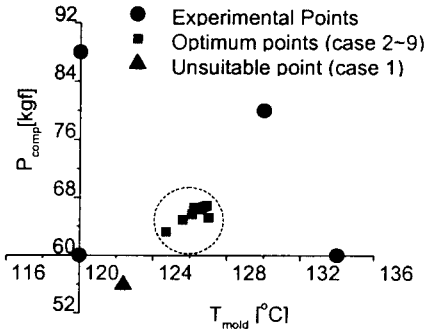


Fig. 4 Optimum sets of processing conditions

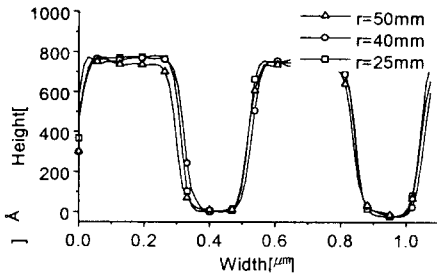


Fig. 5 Land-groove structure in the substrate produced using optimum processing conditions

4.2 최적 공정 조건의 도출

Table 1은 가중치에 따른 금형온도(T_{mold})과 압축력(P_{comp})에 대한 결과값으로부터 유도된 2차 함수가 case 1을 제외하고는 모두 유의함을 보여준다. Fig. 4는 R^2 의 관점에서 적합하지 못한 case1을 제외하고는 나머지 각각의 2차 함수에 대한 최적의 값들이 금형온도가 126.1°C에서 128°C 이내, 압축력이 63.3kgf 에서 66.8kgf 이내의 영역에서 나타남을 보여준다. 도출된 공정조건을 통해 금형온도 126°C, 압축력 65kgf으로 성형된 기판의 land-groove의 형상을 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 3과 비교하면 전사성이 우수한 기판이 성형됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 폴리카보나이트 DVD - RAM 기판을 사출압축성형을 통해 성형하였고 기판위의 land-groove 미세구조를 AFM을 통해 측정하였다.

이를 통해 금형온도와 압축압력이 전사성에 미치는 영향을 조사하였다. 제한된 수의 실험을 통해 최적공정

조건을 도출하기 위한 효과적인 설계방법을 RSM과 CCD 기법을 사용하여 개발하였다. 이를 통해 금형온도 124.7°C~127.0°C, 압축압력 63.3kgf~66.8kgf의 최적 공정조건의 영역을 도출하였고 도출된 공정조건을 통해 성형을 수행하여 전사성이 우수한 기판을 제작하였다. 본 연구에서 제시한 설계방법은 DVD-RAM 기판의 성형뿐 아니라 여타의 정밀 사출압축성형공정에서의 최적설계에 적용하기에 충분한 실용적 가치를 지니고 있다.

후기

본 연구는 한국과학기술재단지정 정보저장기기연구센터의 지원(과제번호: 2000G0203)으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

- (1) Satoh, S. Ohara, N. Akahira, and Takenaga, M., 1998, Key technology for high density rewritable DVD(DVD-RAM), IEEE Transaction of magnetics, Vol.34, No.2, March, pp. 337~342.
- (2) Tanaka, N., 1995, Super Density Disk Technology, Chap.3 in Next Generation Optical Disk Technology, S. Komezawa, Eds., Triceps, pp. 37~58.
- (3) Kang, S., Kim, J., and Kim, H., On the Birefringence Distribution in Magneto-Optical Disk Substrates Fabricated by Injection-Compression molding, Optical Engineering, in press.
- (4) Kang, S., Hieber, C. A., and Wang, K. K., 1998, Optimum Design of Process Conditions to Minimize Residual Stresses in Injection-molded Parts, Journal of Thermal Stresses, Vol. 21, pp. 141-155 (1998).
- (5) Walpole, E., and Myers, H., 1993, Probability and statistics for engineers and scientists, Macmillan Pub, Fifth Edit, pp. 235~462.
- (6) Montgomery, D. C., 1991, Design and Analysis of Experiments, 3rd ed., John Wiley & Sons, pp. 52 1~563.