

단열층이 DVD 기판의 복굴절 및 전사성에 미치는 영향

김영민*·성기병*·강신일**

Effect of Insulation Layer on Birefringence and Land-groove Pattern in DVD-RAM Substrate

Y. Kim, K. Seong and S. Kang

Key Words: Injection Compression Molding(사출압축성형), Optical Disk Substrates(광디스크 기판), Birefringence(복굴절), Insulation Layer(단열층), DVD-RAM

Abstract

It is necessary to improve mechanical and optical properties in the optical disk substrates as the information storage devices with high storage density using blue laser are being developed. Injection compression molding is regarded as the most suitable process to manufacture optical disk substrates for quality recording and read-out. In the present research, the effects of processing conditions and the insulation layer thickness on gapwise birefringence and the land-groove pattern were investigated. It was found that the values of the birefringence distribution were very sensitive to mold temperature history, and the level of birefringence reduced and, furthermore, the quality of replication was improved due to the insulation layer.

1. 서론

최근 들어 초고속 통신기술의 발전과 정보 취급량의 증가에 따라 정보저장매체의 저장용량에 대한 요구가 급증하고 있다. 그러나, 기존의 CD나 DVD 같은 광학 정보저장매체로써 이러한 요구를 충족시키는 것에는 이미 한계점에 도달했다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 기판의 두께를 줄인 HD(High Density) DVD^{(1),(2)}나 0.1mm의 두께를 가지는 커버레이어(cover layer)를 이용한 방식과 같은 고밀도 광디스크(DVR)^{(3),(4)}가 제시되었다.

HD DVD기판은 일반적으로 사출압축성형공정을 이용하여 제작된다. Fig.1은 사출압축성형공정

을 개략적으로 나타내고 있다. 광디스크 기판의 성형에 있어 중요하게 고려되는 요인으로는 복굴절, 반경방향 처짐량, 전사성등을 들 수 있는데, HD DVD의 경우 기판의 두께가 기존의 DVD 방식에 비해 상대적으로 얇아 공정시 광학적, 기계적 특성을 제어하는데 어려움을 겪게 된다. 이는 액체상태의 폴리머가 금형으로 주입되면서 금형의 벽면온도에 의해 급격히 고화되면서 금형벽면 부근에 고화층(solidfied layer)이 발생하게 되고 이로 인해 유동저항이 증가되어 액체상태 폴리머의 균일한 유동을 방해하기 때문이다. 그 결과, 성형된 복굴절, 반경방향 처짐량, 전사성 같은 광디스크 기판의 중요한 기계적, 광학적 성질들이 저하하게 된다. 따라서 성형조건 및 디스크 금형의 최적화를 통해 광디스크 기판의 복굴절 및 전사성을 향상시키는 것은 매우 중요한 일이다.

최근 몇 년간 복굴절, 처짐량, 전사성 같은 광디스크기판의 중요한 성질들을 향상시키기 위한 연구가 활발하게 진행되어왔다. Shyu와 Isayev⁽⁵⁾는

* 연세대학교 기계공학과

** 연세대학교 기계전자공학부

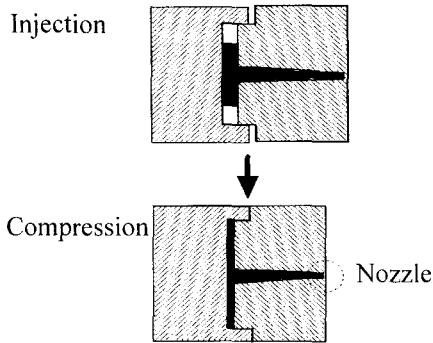


Fig.1 Injection compression molding

일반적인 사출성형공정에 의해 제작된 광디스크 기판의 성형에 있어서 금형온도나 보압(packing pressure)같은 공정조건들의 변화에 의해 복굴절이 크게 영향을 받음을 실험적으로 규명하였다. Greener⁽⁶⁾등은 radial flow 모델을 사용하여 복굴절의 분포를 예측하였으며 이를 통해 금형온도가 성형시 폴리머의 섬유배향에 중요한 영향을 가짐을 알아내었다. 또한 Wu와 White⁽⁷⁾는 폴리카보네이트 재료의 사출성형 및 압축성형시 급속냉각등 여러 가지 공정조건이 복굴절의 발생에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다. Jansen⁽⁸⁾등은 사출성형품의 잔류응력, 복굴절등의 감소를 위한 금형벽면 온도의 제어에 관한 연구를 수행하였다. 또한, Kang^{(9),(10),(11)}등은 사출성형품에서의 잔류응력을 최소화 하기 위한 최적의 금형온도이력을 구하기 위한 방법론을 제시하였고, 사출압축성형에 있어서 주요 공정조건들의 복굴절분포에 대해 미치는 영향을 실험적으로 분석하였으며, 이를 바탕으로 광학적, 기계적으로 우수한 특성을 만

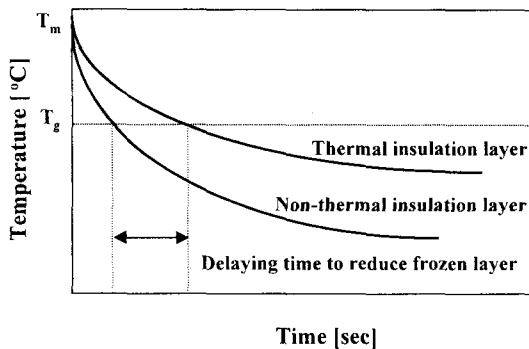


Fig.2 Cooling curve with thermal insulation layer and without thermal insulation layer

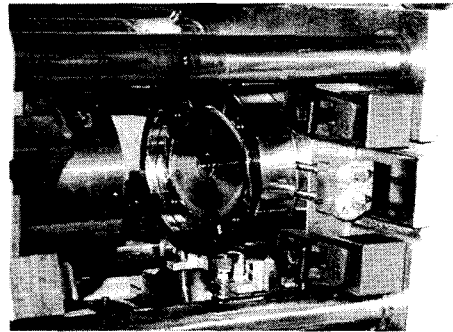


Fig.3 Injection compression mold with a stamper and a thermal insulation layer to fabricate optical disk substrate

족시키는 광디스크 기판성형을 위한 설계 방법론을 제시하였다.

본 연구에서는 금형벽면 온도와 유동중에 있는 폴리머의 온도차를 감소시키기 위한 방법으로서 단열층을 이용하였다. 단열층은 사출압축성형시 금형벽면의 온도가 급격하게 변하는 것을 지연해서 고화층의 성장을 억제하는 역할을 한다. Fig.2에서 단열층의 장착된 경우의 냉각곡선이 그렇지 않은 경우에 비해 시간에 따른 액체상태의 폴리머 온도의 변화가 지연된다는 사실을 확인할 수 있다. 단열층은 DVD-RAM 금형의 스템퍼 뒷면에 장착되었고, DVD 기판 성형에 있어서 단열의 영향을 알아보기 위해 두 개의 다른 두께를 가지는 단열층을 장착하여 각각 실험을 수행하였다. 또한 기판 두께방향 복굴절의 분포와 전사성을 측정하고 이를 분석하였다. 단열층을 디스크 금형의 한쪽면에만 장착되었기 때문에 열전달의 비대칭으로 인해서 반경차집량이 발생하므로 실험결과에서는 반경차집량을 고려하지 않았다.

2. 실험

2.1 DVD-RAM 기판의 제작

이번 연구에서는 일반적으로 광디스크 제작에 사용되는 광학용 폴리카보네이트를 이용하여 두께 0.6mm, 직경 120.0mm의 광디스크 기판을 제작하였다. 일반적으로 DVD기판의 제작에 이용되는 사출압축성형공정으로 실험용 기판을 제작하였으며 금형온도의 광디스크기판의 복굴절 및 전사성에 대한 영향을 규명하기 위해서 각각 90℃,

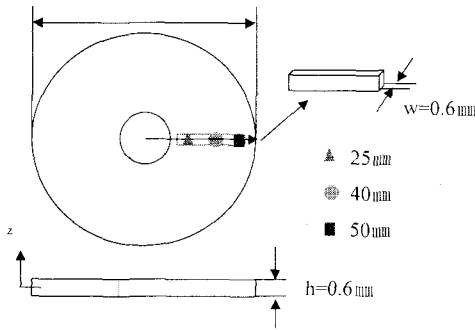


Fig.4 Dimension of the optical disk substrate and specimen and the location of the measurement points

100℃, 110℃로 설정하고 광디스크 기판을 제작하였다.

2.2 단열층

단열층은 Fig.3에서 나타난 광 디스크 금형의 스탬퍼(stamper) 뒷면에 설치하였다. 또한 단열층이 DVD-RAM 기판 성형에 미치는 영향을 규명하기 위해 단열층의 두께를 33 μm , 78 μm 로 변화시켜가며 실험을 수행하였다.

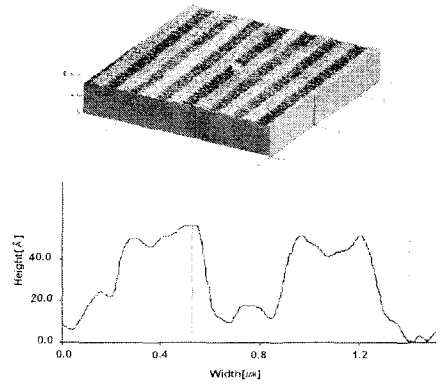
2.3 제작된 기판의 복굴절 및 전사성 측정

전사성을 측정하기 위해 기판의 중심으로부터 25mm, 40mm, 55mm인 부분의 주어진 공정조건에서 제작된 기판의 랜드-그루브 구조를 AFM(Atomic Force Microscope)를 이용하여 측정하였다. 또한 두께 방향의 복굴절 분포를 측정하기 위해 Fig.4에서 나타난 것처럼 광디스크 기판으로부터 폭이 0.6mm의 시편을 제작하였고, 반경방향으로 25mm, 40mm, 55mm인 부분에서 두께 방향의 복굴절 분포를 편광현미경을 이용하여 측정하였다.

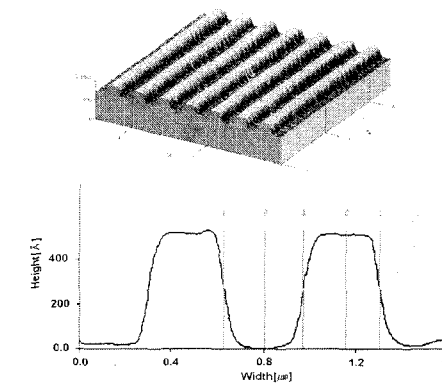
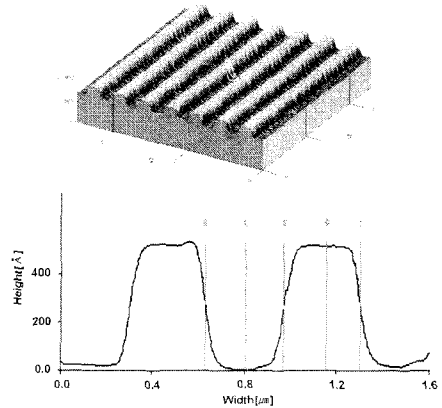
3. 실험결과

3.1 단열층의 전사성에 대한 영향

Fig.5는 금형온도 90℃의 동일한 공정조건에서 단열층의 두께를 변화시켜가며 성형된 디스크 기판의 랜드-그루브 구조를 AFM으로 측정한 결과이다. 디스크 기판 성형에 사용된 스탬퍼의 그루브 깊이와 트랙피치는 각각 500Å, 0.68 μm 이다. Fig.5(a)로부터 단열층이 없는 경우 전사성이 떨



(a) mold temperature: 90℃, insulation layer thickness: 0 μm



(c) mold temperature: 90℃, insulation layer thickness: 78 μm

Fig.5 Land-groove structure at difference insulation layer

어저 충분한 랜드-그루브 구조를 가지지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 단열층이 존재하는 경우인 Fig.5(b)와 (c)의 경우를 보면 우수한 전사성을 보이고 있고 단열층의 두께의 차이에 의한 전사성의 변화는 나타나지 않았다. 이를 통해 단열층은 그 두께에 상관없이 전사성에 매우 큰 영향을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

3.2 단열층이 없는 경우의 디스크 기판 두께방향 복굴절 분포

Fig.6은 단열층 없이 일반적인 사출압축성형으로 제작된 광디스크 기판의 두께방향 복굴절분포의 측정결과이다. 이 결과로부터 복굴절은 금형의 양 벽면쪽에서 첫 번째 peak가 나타나고 중심과 벽면사이에서 두 번째 peak가 나타나며 중심에선 가장 낮은 값을 가진다는 사실을 확인할 수 있다. 첫 번째 peak는 금형벽면에서의 급격한 냉각으로 인한 fountain 효과로 인해 발생하고, 두 번째 peak는 고화층의 성장에 따른 유동저항의 증가로 인해 나타난다.

또한, 복굴절은 액체상태의 폴리머의 유동선단의 속도구배에 영향을 받는다. Fig.6의 측정결과를 분석해보면 복굴절 값이 반경이 커짐에 따라 감소하는 경향을 보이는데 이는 액체상태의 폴리머의 반경방향 속도구배가 디스크의 가장자리에 가까워짐에 따라 감소하기 때문이다. 두께방향의 복굴절 분포에서도 중심부분에서 가장 낮은 복굴절 값을 보이는 것은 중심부의 속도구배가 금형 벽면쪽에 비해 작은 값을 가지기 때문이다.

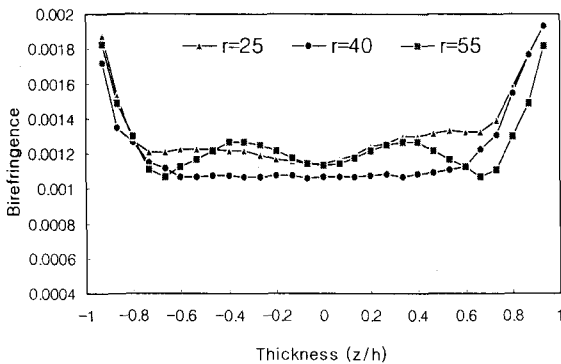


Fig.6 Gapwise distribution of birefringence without insulation layer (mold temperature: 90°C)

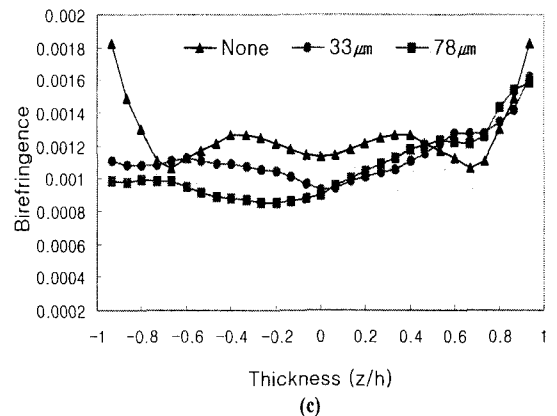
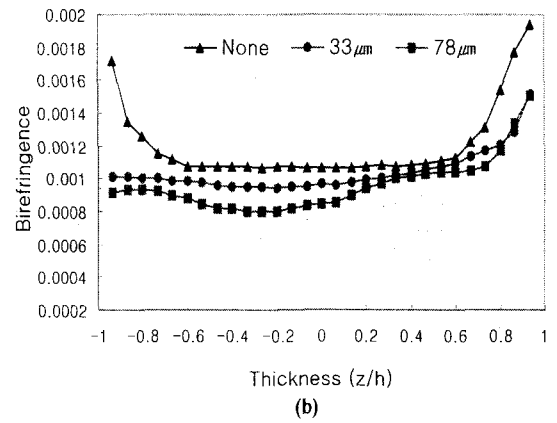
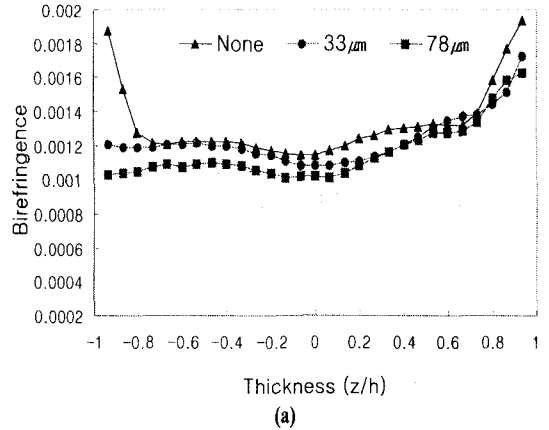


Fig.7 Gapwise distributions of birefringence for different insulation layers(mold temperature: 90°C)
(a) $r=25\text{mm}$, (b) $r=40\text{mm}$, (c) $r=55\text{mm}$

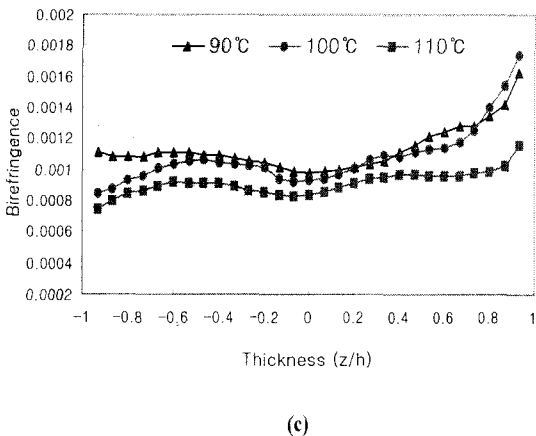
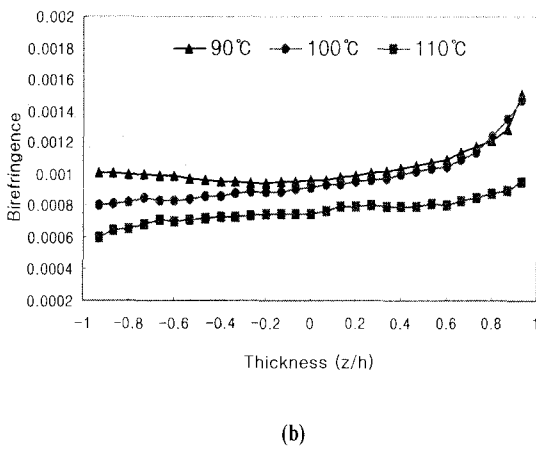
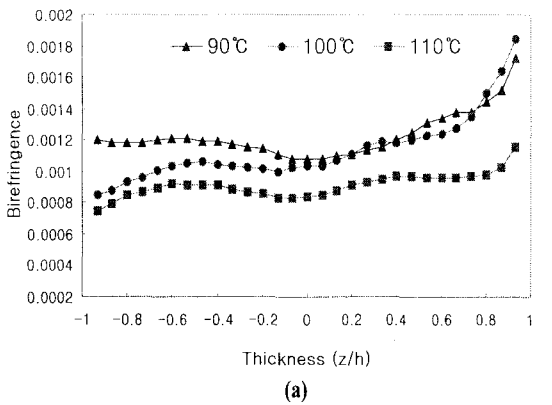


Fig.8 Gapwise distributions of birefringence for different mold temperature(insulation thickness: $33\mu\text{m}$)
(a) $r=25\text{mm}$, (b) $r=40\text{mm}$, (c) $r=55\text{mm}$

3.3 단열층이 복굴절 분포에 미치는 영향

단열층의 디스크내의 복굴절 분포에 미치는 영향을 알아보기 위해 금형온도를 90°C 로 설정하고 다른 공정조건들은 고정된 상태에서 단열층의 두께를 $33\mu\text{m}$, $78\mu\text{m}$ 로 변화를 주면서 디스크 기판을 제작하였다. Fig.7은 이렇게 제작된 기판의 중심으로부터 25mm , 40mm , 55mm 떨어진 지점에서의 복굴절 분포를 측정된 결과를 나타내고 있다.

단열층이 없는 경우와 비교했을 때 단열층이 있는 경우 단열층이 있는 쪽의 첫 번째 복굴절 peak부분이 전체적으로 감소 했음을 확인할 수 있다. 또한 단열층이 두께가 증가함에 따라 전체적인 복굴절 분포가 감소하는 경향을 보인다. 이는 단열층으로 인해 충전시 금형벽면의 온도와 액체상태의 폴리머사이의 온도차이가 줄어들었고 이러한 금형벽면 온도의 냉각 지연효과는 단열층의 두께에 따라 증가하기 때문이다. 그러나 단열층이 장착되어있지 않는 쪽의 복굴절의 첫 번째 peak는 예상했던대로 단열층이 없는 경우와 비슷한 경향을 나타내었다.

3.4 단열층이 있는 경우 금형온도가 복굴절 분포에 미치는 영향

Fig. 8은 $33\mu\text{m}$ 두께의 단열층을 장착한 뒤 금형온도를 90°C , 100°C , 110°C 로 변화시켜가며 제작된 디스크 기판내 두께 방향의 복굴절 분포 측정 결과를 나타내고 있다. 측정된 결과로부터 금형온도가 증가함에 따라 전체적인 복굴절 분포도 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 특히 단열층에 있는 금형벽면 부근의 첫 번째 peak는 금형온도에 비례하여 감소하였다.

이와같은 측정결과를 바탕으로 금형온도의 증가는 두께방향 복굴절 분포의 전체적인 감소를 가져온다는 사실을 알 수 있다. Fig.7에서 확인할 수 있듯이 금형온도가 90°C , 100°C 인 경우에는 전체적인 복굴절 분포는 큰 변화를 나타내지 않은 반면, 단열층이 있는 금형벽면에 가까운 부분에서의 복굴절 감소가 나타난 반면, 금형온도가 110°C 인 경우의 복굴절 분포는 전체적으로 감소하는 경향을 보였다. 또한, 금형온도가 증가함에 따라 두 번째 peak도 감소하였다. 이것은 냉각시간의 증가에 따라 금형벽면에서의 고화층 성장이 지연되었기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 단열층을 장착한 금형을 이용하여 두께 0.6mm, 랜드-그루브의 높이 500Å, 트랙 피치 0.68μm인 DVD-RAM 기판을 사출압축성형으로 제작하였다. 이를 통해, 단열층의 전사성, 복굴절과 같은 광디스크 기판의 중요한 광학적, 기계적 성질에 대한 영향을 실험적으로 규명하였다. 단열층은 금형온도의 급격한 변화를 지연시켜줌으로써 전사성을 향상시켰고, 금형벽면에서의 고화층의 성장을 억제하여 두께방향 복굴절 분포에서 첫 번째 peak를 감소시킨다는 사실을 확인할 수 있었다. 이는 금형벽면의 온도를 제어함으로써 광 디스크 기판의 주요한 성질들을 향상시킬수 있음을 의미하고 이러한 결과를 통해 광학적, 기계적으로 우수한 특성을 가지는 광 디스크 성형을 위한 새로운 개념의 광디스크 금형 및 성형 공정의 설계가 가능할 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기기 연구센터(과제번호:2000G0203)와 LG전자의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) J.Y. Kim, S.W. Suh, and K.C. Park, 2000, "High Density Optical Disk System adopting 0.3mm-thick Plastic Substrate and a Blue Laser Diode", Satellite ISOM 2000, pp.52-53.
- (2) M.D. Ro, D.S. Yoon, K.G.Lee, I.O. Hwang, S.S. Kim, Y.J. Ahn, C.M. Park, Y.G. Kim, C.S. Chung, I.S. Park, and D.H. Shin, 2000, "Experiment on 0.4mm Molded Substrate for Rewritable High Density Optical Disc", ISOM technica digest, J-08.
- (3) Henk van Houten, 2000, "A Third Generation Optical Disk System for Digital Video Recording (DVR)", Satellite ISOM 2000, pp.54-55.
- (4) Tatsuya Narahara, Shoei Kobayashi, Masayuki Hattori, Yoshihide Shimpuku, Gijs J. van den Enden, Joost A. H. M. Kahlman, Marten van Dijkm, and Roel van Woundenberg, 2000. "Optical Disk System for Digital Video Recording", Jpn. J. Appl. Phys. 39, pp. 912-919.
- (5) G. Shyu and A. Isayev, 1995, "Residual stresses and birefringence in injection molded disk", SPE ANTEC Tech. Papers 41, pp.2973-2977.
- (6) J. Greener, R. Kesel, and B. A. Contestable, 1989, "The Birefringence Problem in Optical Disk Substrates: A Modeling Approach", AIChE Journal 35(3), pp.449-458.
- (7) J. Wu and J. L. White, 1991, "Study of Birefringence Character of Injection and Compression-Molded Polycarbonate and Its Interpretation", Polym. Eng. and Sci. 31(9), pp.652-660.
- (8) K. M. B. Jansen, 1995, "Heat transfer in injection moulding systems with insulation layers and heating elements", Int. J. Hear Mass Transfer 38(2), pp.309-316.
- (9) S. Kang, C. A. Hieber, and K. K. Wang, 1998, "Optimum design of process conditions to minimize residual stresses in injection-molded parts," Journal of Thermal Stresses 21, pp.141-155.
- (10) S. Kang, J. Kim, and H. Kim, 2000, "On the Birefringence Distribution in Magneto-Optical Disk Substrates Fabricated by Injection-Compression molding," Optical Engineering 39(03), pp.689-694.
- (11) K. Seong, S. Moon, and S. Kang, 2001, "An optimum design of replication process to improve optical and geometrical properties in DVD-RAM substrates," J. of Inf. Stor. and Proc. Sys. (JISPS), 3, pp.1-8.