

핸드폰 카메라용 플라스틱 렌즈 사출성형의 복굴절 해석

이시욱¹, 조형한², 홍진수³, 류민영[#]

Birefringent Analysis of Plastic Lens Injection Molding for Mobile Phone Camera

S. W. Lee, H. H. Joh, J. S. Hong, M. -Y. Lyu

(Received December 27, 2010 / Revised January 4, 2011 / Accepted January 14, 2011)

Abstract

Optical properties in injection molded plastic lenses for mobile phone camera have been simulated using commercial program, 3D TIMON. Four plastic lenses are being used in mobile phone camera. The quality of photographs taken by mobile phone camera is strongly depends upon optical characteristics of lenses. The variety of optical properties has been investigated according to the injection conditions through the computer simulation. Consequently optimal injection conditions for four lenses have been determined and simulation results of birefringence have been compared with experiments.

Key Words : Plastic Lens, Birefringence, Optical Property, Mobile Phone Camera, Injection Molding, Injection Condition

1. 서 론

사출성형은 고분자 성형 공정 중 생산성과 성형 정밀도가 높기 때문에 플라스틱 제품의 성형에서 가장 많이 활용되고 있다[1, 2]. 최근 기능 및 부품의 정밀도가 증대되면서 정밀사출성형에 대한 요구가 증가하고 있고[3, 4] 사출금형의 정밀도는 측정 정밀도에 이를 만큼 높아져 있다. 또한 플라스틱 수지의 개발로 인하여 굴절률과 광학적 특성이 개선됨에 따라 핸드폰 카메라용 렌즈와 같은 광학부품의 경우 대부분 플라스틱으로 정밀사출성형을 통하여 제조되고 있다. 하지만 사출성형의 특성상 성형조건에 따라 제품수축과 같은 외관 불량이나 변형이 일어나기 쉽고 성형공정 중 받은 압력이나 냉각이력이 성형이 완료된 후에도 제품에 분자배향이나 잔류응력으로 내재되어 광학적 품

질을 저하시키고 있다. 사출성형 중에 형성되는 잔류응력은 열에 의해 발생하는 것과 흐름에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다[5].

사출성형품의 잔류응력이나 광학적 특성에 관한 연구와[6, 7] 사출성형에서의 복굴절을 예측하는 방법에 관한 연구가[8] 이미 진행되어 왔고 해석 소프트웨어의 개발에 따라 시뮬레이션을 통한 플라스틱 렌즈의 광학특성을 개선하는 연구 등이 진행되어 왔다[9].

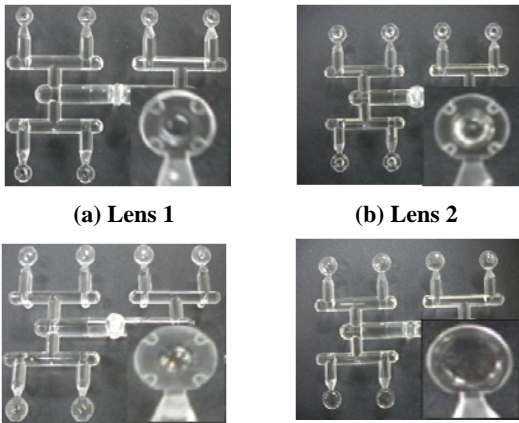
본 연구에서는 사출성형된 핸드폰 카메라용 플라스틱 렌즈의 복굴절을 관찰하고 이를 사출성형해석 프로그램(3D TIMON)을 이용한 광학 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 또한 다양한 사출조건 및 렌즈 형상에 따른 광학 시뮬레이션을 통하여 사출성형조건과 복굴절 간의 연관관계를 관찰하고 복굴절을 최소화 할 수 있는 최적의 사출조건을 예측하였다.

1. CAEPRO㈜, 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과
2. N2A㈜, 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과
3. 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원
교신저자: 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과,
E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr

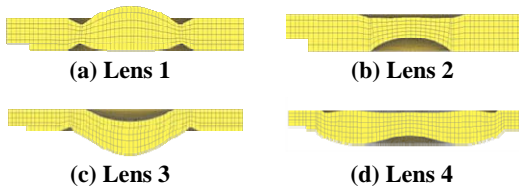
2. 실험

2.1 시편 사출

복굴절 측정을 위해 Fig. 1과 같이 카메라 렌즈 모듈을 구성하는 4가지 형상의 렌즈를 사출 성형하였고 각 렌즈 별 단면형상은 Fig. 2에 나타나 있다. 수지는 ZEON 사의 E48R(COP, Cyclo olefin polymer)을 사용하였다. 사출기는 FANUC 사의 ROBOSHOT S-2000i 50A(50ton)을 사용하였으며 금형온도와 사출온도는 각각 105℃와 280℃로 하였다. 각 렌즈 별 공정설정은 Table 1과 같다.



(a) Lens 1 (b) Lens 2
(c) Lens 3 (d) Lens 4
Fig. 1 Photographs of four lenses



(a) Lens 1 (b) Lens 2
(c) Lens 3 (d) Lens 4
Fig. 2 Cross sections of four lenses

Table 1 Injection molding conditions of lens

	Lens 1	Lens 2	Lens 3	Lens 4
Fill time(sec)	1.42	1.33	1.36	1.25
Packing time(sec)	2.0	3.0	3.0	3.0
Packing Pressure (MPa)	50	50	50	50
Cooling time(sec)	15	15	15	15

2.2 복굴절 관찰

렌즈시편의 복굴절은 Fig. 3에 나타난 Strainoptic 사의 PS-100을 사용하여 측정하였다[10].

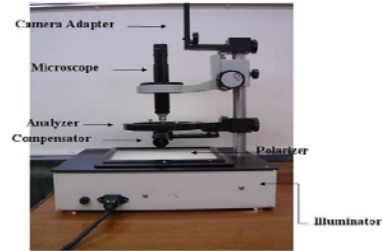


Fig. 3 Photograph of photoelasticity equipment, PS-100

3. 사출성형 시뮬레이션 및 분석

3.1 사출성형의 광학해석

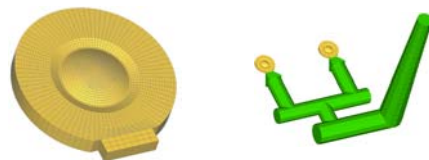
시편의 광학특성을 예측하기 위해 사출성형 해석프로그램 3D TIMON 을 사용하였다. 3D TIMON 은 사출성형해석 외에 별도로 광학해석 모듈을 이용하여 복굴절 및 편광을 계산한다. 식 (1)은 잔류응력과 복굴절의 관계를 나타내고 있다.

$$\Delta n = n_1 - n_2 = C_B (\sigma_1 - \sigma_2) \quad (1)$$

식 (1)은 Rheo-optic Law 로 잔류응력의 주응력 차이가 복굴절과 비례함을 나타낸 식이다[11]. 여기서 n_1 와 n_2 은 주응력 방향의 굴절률이고, σ_1 과 σ_2 는 각각 최대, 최소 주응력이다. 상수 C_B 는 “Stress-optical” 상수로 Brewster 상수라 하고 단위는 Pa 의 역수이다.

3.2 시편 사출성형의 광학해석 및 분석

Fig. 4 는 해석을 위한 메쉬를 나타내고 있다. 3차원으로 해석하기 위해 육면체 요소를 사용하였으며 8-Cavity 해석을 위해 Symmetric 기능을 사용하였다. 해석조건은 시편사출 성형조건과 동일하게 설정하였다.



(a) Mesh in lens (b) Mesh in delivery system
Fig. 4 Mesh for computer simulation using 3D TIMON

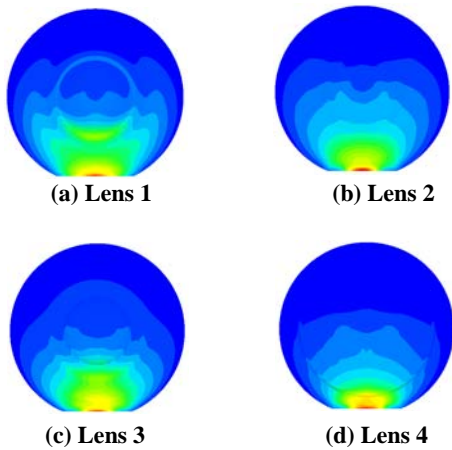


Fig. 5 Predicted birefringences of four lenses

Fig. 5는 렌즈 형상 별 복굴절 패턴 결과를 나타내고 있다. 복굴절 패턴은 게이트 부를 중심으로 확산되는 형태로 나타났다. 또한 렌즈의 형상이나 두께가 변하는 부분에서 광학 수치가 다시 높아지는 패턴이 나타나는데 이는 두께가 변형되는 곳에서 흐름이 불균일하고 냉각 또한 불균일하기 때문이라 판단된다.

3.3 사출성형조건에 따른 잔류응력 관찰 및 분석

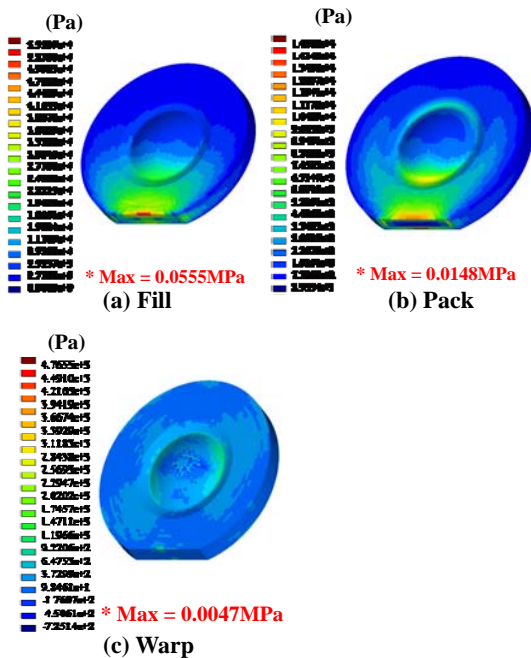


Fig. 6 Residual stress in lens 1 for each phase

Table 2 Composition of residual stresses in lens 1

	Max. Residual Stress (MPa)	Effectiveness
Fill time(sec)	0.0555	74%
Packing	0.0148	20%
Cooling	0.0047	6%
Total		100%

각 렌즈에서 사출성형조건과 복굴절 간의 연관관계를 분석하기 위하여 잔류응력을 충전 시 응력, 보압 시 응력, 냉각 시 응력으로 분류하여 관찰하였다. Fig. 6은 Lens 1의 잔류응력 해석결과이다. Lens 1에서 나타난 잔류응력은 Table 2와 같이 충전 시 발생한 전단응력이 전체 잔류응력의 74%로 가장 높은 것으로 나타났다.

사출성형조건에 따른 잔류응력을 관찰하기 위해 다양한 성형조건의 성형해석을 수행하였고 그 중 Lens 1의 결과가 Table 3에 나타나 있다. 잔류응력이 가장 낮게 나타난 경우는 충전 시 전단응력이 가장 작을 때와 보압압력을 높게 했을 때로 관찰되었고 보압시간은 3.0s 일 때 가장 낮은 잔류응력이 관찰되었다.

Table 3 Residual stress in lens 1 according to various injection molding conditions

(a) Filling				
Filling				
Case	Fill time (sec)	Pressure (MPa)	Shear stress (MPa)	Residual stress (MPa)
Case.1	0.1	28.87	0.558	0.0264
Case.2	0.5	15.54	0.388	0.0156
Case.3	1.0	11.33	0.353	0.0135
Case.4	2.0	12.04	0.714	0.0141
Case.5	3.0	13.61	1.262	0.0162
Case.6	4.0	16.86	2.121	0.0313

(b) Packing			
Packing			
Packing time (sec)	Residual stress (MPa)	Packing Pressure (MPa)	Residual stress (MPa)
1.0	0.0167	10	0.0162
2.0	0.0167	20	0.0168
3.0	0.0148	30	0.0158
4.0	0.0190	40	0.0157
5.0	0.0149	50	0.0150

3.4 게이트 크기에 따른 광학특성 관찰 및 분석

3.3항에서 Lens 1의 잔류응력은 충전 시 발생한 전단응력에 의한 영향을 많이 받는 것으로 관찰되었다. 이를 참고하여 렌즈의 복굴절을 최소화하기 위하여 게이트 크기조정을 통하여 충전 시 발생하는 전단응력을 줄이는 방법을 적용하였다. Table 4는 광학 시뮬레이션에 적용할 4가지 종류의 게이트 크기를 나타내고 있다.

Table 4 Gate sizes for computer simulation

Case	Thickness	Length
1	0.3mm	1.31mm
2	0.35mm	1.40mm
3	0.39mm	1.50mm
4	0.41mm	1.60mm

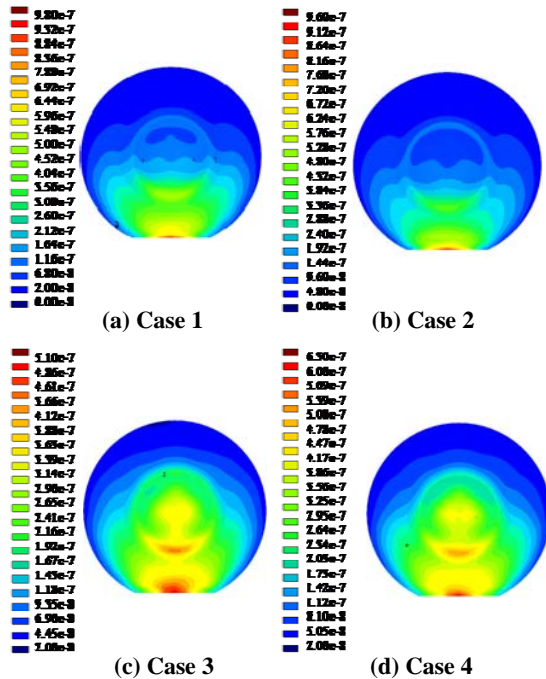


Fig. 7 Birefringences according to gate sizes

각 게이트 크기에 따른 렌즈의 복굴절 패턴은 Fig. 7에 나타나 있으며 게이트 크기가 커짐에 따라 최대 복굴절 값이 줄어드는 경향이 관찰되었다. Fig. 8과 Fig. 9는 게이트 크기에 따른 복굴절

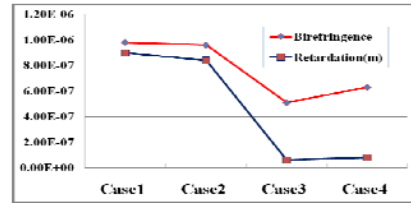


Fig. 8 Results of simulation for four cases

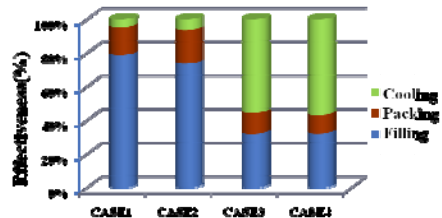


Fig. 9 Composition of effectiveness according to the gate sizes

양과 잔류응력의 영향요인을 분석한 그래프이다. 게이트 크기가 큰 경우 복굴절이 작고 충전 시 발생하는 전단응력의 영향도 줄어든 것으로 관찰되었다. 이는 게이트 크기가 커짐에 따라 게이트 부에서 제품이 받는 전단응력이 낮아져 흐름에 의한 잔류응력이 감소하여 전체적인 잔류응력 수치가 떨어진 것으로 판단된다. 또한 Case 3과 Case 4를 비교해 보면 게이트가 커짐에 따라 오히려 복굴절을 증가하는 것을 관찰할 수 있었는데 이는 게이트의 두께가 커짐에 따라 게이트 부의 두께 별 냉각편차가 더 크게 나타나 열에 의한 잔류응력이 증가하여 나타난 것이라 판단된다.

4. 최적 성형조건 및 실험과의 비교

3장에서 수행한 해석결과를 토대로 4개의 렌즈에 대한 최적 성형조건을 Table 5와 같이 결정하였다. 여기서 최적 성형조건은 본 연구에서 수행한 해석 중 품질이 가장 좋은 조건을 의미하며 각 렌즈의 형상에 따라 최적 성형조건이 조금씩 다르게 나타났다.

Table 5 Injection molding conditions of lenses

	Lens 1	Lens 2	Lens 3	Lens 4
Fill time(sec)	1.0	1.0	1.0	1.0
Packing time(sec)	2.0	3.0	4.0	1.0
Packing Pressure (MPa)	50	50	50	50
Cooling time(sec)	15	15	15	15

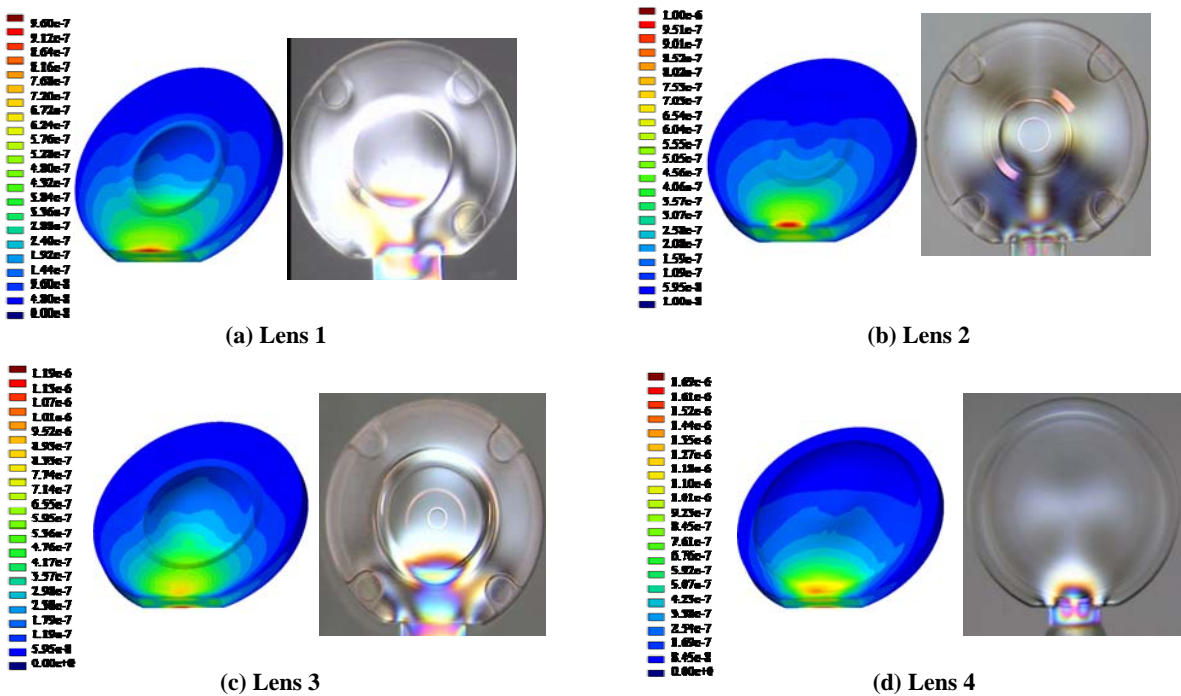


Fig.10 Comparison of simulation(left) and experiment (right) with birefringences

Fig. 10은 해석결과와 복굴절 사진을 비교한 것이다. 공통적으로 제품의 게이트 부에 복굴절 패턴이 집중하고 있고 이를 중심으로 확산되는 형태가 유사하게 관찰되었다. 렌즈의 형상에 따라 패턴이 각각 다르게 나타났으며 해석결과와 실험결과 모두 유사하게 관찰되었다.

5. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 복굴절과 잔류응력을 최소화하여 렌즈의 광학 품질을 높일 수 있는 성형조건을 예측하였다. 시뮬레이션 결과를 토대로 광학적 특성이 우수한 렌즈를 성형하기 위한 최적 사출조건을 도출하였으며 해석결과를 실험과 비교 검토하였다. 본 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

(1) 소형렌즈의 광학적 특성인 복굴절에 미치는 인자는 충전 시 발생하는 전단응력의 영향이 크게 분석되었다.

(2) Gate의 크기를 변경하여 전단응력의 영향을 낮춤으로써 복굴절 수치를 낮출 수 있었다.

(3) 시뮬레이션 결과와 실험결과가 유사하게 관찰되었다.

후 기

본 과제(연구)는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업으로 수행된 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] Dominick V. Rosato, Donald V. Rosato, Marlene G. Rosato, 2000, Injection Molding Handbook 3rd ed, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, pp. 1~27.
- [2] M. A. Kang, M.-Y. Lyu, 2008, Investigation of the Filling Unbalance and Dimensional Variations in Multi-Cavity Injection Molded Parts, Polym. Kor., 32, pp. 501~508.
- [3] C. Liu, L. T. Manzione, 1996, Process studies in precision injection molding. I: Process parameters and precision, Polym. Eng. Sci., 36, No. 1, pp. 1~9.
- [4] V. Pitotter, K. Mueller, K. Plewa, R. Ruprecht, J. Hausselt, 2002, Performance and simulation of thermoplastic micro injection molding, Microsyst.

- Technol., 8, pp. 387~390.
- [5] M.-Y. Lyu, H.-Y. Kim, 2009, Introduction to polymer shaping processes and their principles, Polym. Sci. Technol., 20, No. 2, pp. 157~169.
- [6] W. Dietz, J. L. White, E. S. Clark, 1978, Orientation development and relaxation in injection molding of amorphous polymers, Polym. Eng. Sci., 18, No. 4, pp. 273~281.
- [7] H. Janeschitz-Kriegl, 1977, Injection moulding of plastics: some ideas about the relationship between mould filling and birefringence, Rheol. Acta, 16, No. 4, pp. 327~339.
- [8] F. P. T. Baaijens, 1991, Calculation of residual stresses in injection molded products, Rheol. Acta, 30, No. 3, pp. 284~299.
- [9] T. S. Kwak, H. Ohmori, 2005, Verification for transcription of spherical radius and prediction of birefringence in injection molding optical lens, J. of the Kor. Soc. for Precision Eng., 22, No. 6, pp. 55~60.
- [10] Instructions for using PS-100-SF Polarimeter, Strainoptics, Inc.
- [11] J. L. S. Wales, W. Philippoff, 1973, The anisotropy of simple shearing flow, Rheol. Acta, 12, pp. 25~34.