

사출성형 융합공정 기반 수술실 무영등용 PMMA 렌즈 제작에 관한 연구

강보안^{1*}, 오형종¹, 정병호¹, 정남인²

¹남부대학교 의료공학과, ²지엔에스티(주) 연구개발부

A Study on the PMMA Lens Fabrication for Surgical Light Based on Injection Molding Convergence Process

Bo-An Kang^{1*}, Hyeong-Jong Oh¹, Byeong-Ho Jeong¹, Nam-In Jeong²

¹Department of Biomedical Engineering, Nambu University

²Division of Research & Development, GNST Inc.

요약 본 연구는 수술실 무영등용 PMMA 렌즈를 무결함 상태로 사출성형하는 조건을 조사하였다. 렌즈 제작용 수지는 PMMA를 적용하였으며 금형은 자체 제작한 가열-냉각 방식의 금형을 사용하였다. 사출성형 시 금형의 가열온도가 낮을수록 플라스틱 수지의 유동성에 영향을 미쳐 미성형이 발생하거나 웰드 라인, 플로우 마크가 발생하고, 가열온도가 높으면 휨 변형이 발생하였다. 이러한 결함은 냉각시간이 길어짐에 따라 PMMA 수지 결정화에 기인하는 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 PMMA 수지로 결함이 없는 렌즈를 성형하는 최적의 조건은 금형 코어의 가열온도는 110[°C]였으며, 냉각시간은 25[sec]임을 밝혀내어 최적의 가열-냉각 온도 프로파일링을 확립하는 계기를 마련하였다. PMMA 소재를 이용한 광학렌즈의 제작은 낮은 생산단가를 구현할 수 있으며 이로 인해 수술실 무영등에 적용된 플라스틱 광학 렌즈에 적극 활용될 것으로 기대된다.

• **Key Words** : 융합기술, PMMA, 무영등, 플라스틱 광학렌즈, 사출성형

Abstract We studied on the injection molding conditions of defect-free PMMA lens for surgical light. When the heat temperature of mold is low, more imperfect molding or weldlines and flow marks have showed. A defective lens depends on low fluidity of the PMMA resin and its temperature is high, a flexural strain has occurred. The longer cooling time of specimens, the more cracks have occurred due to resin crystallization.

In this study, optimal molding conditions for defect-free PMMA lens is as follows. The heat temperature of core mold was 110 [°C] and also the cooling time was 25 [sec]. PMMA materials can realized low expense to produce plastic optical lens and applications.

• **Key Words** : Convergence, PMMA, Surgical Light, Plastic Lens, Injection Molding

1. 서론

최근 병원의 수술실은 수술대와 수술용 무영등이 일

체가 되도록 설계되고 있으며, 장비의 디지털화가 진행되고 있다. 장비의 디지털화에 따라 수술실에서 안정적

*교신저자 : 강보안(bakang@nambu.ac.kr)

접수일 2014년 12월 7일

수정일 2015년 1월 25일

게재확정일 2015년 2월 20일

인 조명은 수술대와 환자 조직의 시야를 가능한 최상으로 제공하기 때문에 수술 성공에 매우 중요한 역할을 한다[1, 2].

또한, 수술실 무영등은 수술시 의사가 환자의 환부를 정확히 판단할 수 있도록 빛을 집중시키고 수술 과정에서 환부에 그림자가 생기지 않도록 하는 기능의 렌즈가 사용되며, 충분한 조도를 갖도록 렌즈가 설계되어야 한다[3, 4].

빛을 집중시키는 수술실 조명렌즈는 수술용 광원으로서 우수한 컬러 렌더링 및 최대 휘도를 가져야 하고, 적외선 발생은 가능한 적어야 하며 조직의 색을 구분하는데 연색평가지수가 85~100사이를 충족해야 한다[5, 6]. 빛을 한 점으로 모이게 하는 비구면 렌즈 방식의 광학렌즈는 렌즈 중심에서 주변까지 곡률이 연속적으로 변화하는 렌즈로서 이상적인 결상으로 구면렌즈 대비 선명한 상을 구현하고, 부품을 줄일 수 있어 콤팩트한 광학계 설계가 가능하다[7, 8].

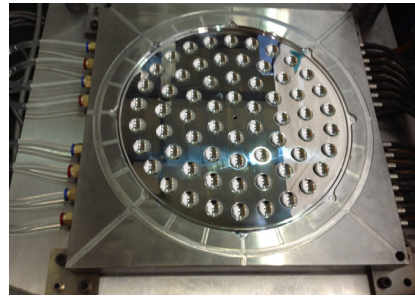
따라서 무영등용 렌즈는 광학적 특성과 열적인 특성 등에 있어서 매우 우수해야 하며, 특히 광학적 결함이 없어야 한다. 이러한 이유로 인해서 최근에는 그 중요성에 따라 가격대비 성능이 우수한 저가의 렌즈 부품제조 기술이 필요로 하게 되었으며, 기존에 사용되고 있는 고가의 유리 광학렌즈를 저가의 플라스틱 렌즈로 대체하는데 필요한 사출성형 조건에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다[9, 10].

이러한 플라스틱 렌즈를 생산하기 위해서는 금형이 필요하며 엄격한 사출 성형조건이 선행되어야 하고, 현재 플라스틱 의료제품을 생산하는 방법으로는 압축성형, 트랜스퍼 성형(transfer molding), 적층성형(laminate molding), 사출성형, 압출성형, 중공성형(blow molding), 캘린더링(calendering), 진공성형, 회전성형 등 다양한 방법이 개발되어 있으며, 그 중에서 플라스틱 제품의 약 70% 이상이 사출성형 방법으로 생산과 있다[7, 8].

따라서, 본 연구에서는 PMMA 수지를 사용하여 무영등에 사용되는 광학렌즈를 무결점 상태로 성형하기 위한 사출조건을 조사하고자 한다.

2. 연구방법

수술실 무영등용 광학렌즈 시편은 240×240×3 [mm] 크기로 제작하였다.



[Fig. 1] Lens mold for sample fabrication

소재는 PMMA를 사용하였으며, 성형성을 높이기 위해 자체 제작한 600×700×550 [mm] 크기의 가열 및 냉각 기능의 [Fig. 1]과 같은 금형을 사용하였다.

렌즈의 광학적 특성을 만족하기 위해 선택한 PMMA 수지의 특성은 [Table 1]과 같다.

[Table 1] Properties of the PMMA resin

Property	PMMA Glastic MCL+
Density (g/cm ³)	1.15~1.19
Transmittance (%)	92
Photoelastic coefficient (10 ⁻¹² /Pa)	-45~-48
RI	1.49
Rg (°C)	101
Tm (°C)	
CTE(ppm/°C)	80
Thermal conductivity(W/m/°C)	0.19
Water Absorption (%)	0.30
Self extinguishable	X
Dielectric constant	3.10

[Table. 2]는 사출성형 조건변화에 따른 렌즈 시편의 결합유무를 관찰하기 위한 사출성형 조건을 나타내었다.

[Table 2] Injection molding conditions

Sample No.	Rate [m/s]	Pressure [kgf]	Position [mm]
1	15	50	150
2	50	60	90
3	40	55	20
4	20	35	10
5	15	20	-

시편의 웰드라인(weld-lines)과 플로 마크(flow mark) 등 표면결함은 몰드온도, 가열시간 및 냉각속도에 따른 렌즈 표면상태이며, PMMA 수지의 성형조건을 변화시

키면서 200배율의 광학현미경으로 관찰하였다.

PMMA 렌즈 시편의 투과도는 400-800nm 영역의 분광기를 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실험에 적용된 PMMA 렌즈에 적용되는 광원으로 사용되는 LED는 제조사인 Cree사의 3W급 white LED를 선정하였다. 제품의 모델은 XT-E-HVW이다. 2차 렌즈의 초점거리는 41.9mm이며, 렌즈와 발광면의 거리를 20[mm]에서 15[mm]까지 변경하면서 simulation을 수행하였다. Simulation의 결과 렌즈와 발광면사이의 거리가 멀어질수록 효율과 발산 각이 줄어드는 경향을 갖는다. 본 실험을 통해 3mm 두께의 PMMA 렌즈를 사출 성형을 수행할 때 몰드의 온도 조건에 따른 시편의 형태를 관찰하기 위하여 가열 및 냉각 시간에 따라 결합형태를 조사하였다.

[Table. 3]은 몰드코어 온도와 냉각 시간에 따른 시편의 결합형태를 표로 나타내었다.

[Table.3]의 시편 1에서 보는 바와 같이 코어 온도 25[°C], 냉각시간 17[sec]에서 가열하지 않은 상태로 사출한 결과, 성형이 불완전한 미성형 상태였으며 이 상태에서는 사출기 속도와 압력을 30[%] 이상 올린 상태가 되어야만 결합이 들어들었다.


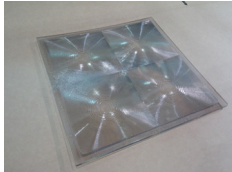
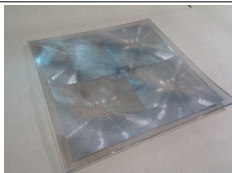
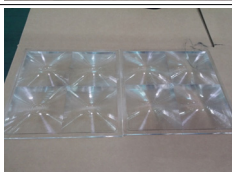

시편 2에서는 몰드코어 온도 60[°C], 냉각시간 20[sec]일 때, 사출한 시편의 표면 광택이 나오지 않고 어두운 색상을 띄는 것을 확인하였다.

시편 3에서 보는 바와 같이 몰드코어의 온도를 100[°C], 냉각시간 20[sec]일 때, 시편에 심한 변형이 발생하였다. 이러한 원인은 사출이후 냉각시간이 부족하데 기 인하는 것으로 판단된다[5, 6].

시편 4에서는 몰드코어 온도 110[°C], 냉각시간 30[sec]일 때, 제품 표면 광택이 좋아지고 시편에 변형이 나타나지 않았으며, 무영등용 렌즈에서 요구되는 투과율과 평탄도 등 광학특성을 충족하였다.

시편 5는 몰드코어 온도 150[°C], 냉각시간 30[sec]일 때, 시편의 상태를 나타낸 것이다. 이 조건에서는 PMMA 수지의 표면 결정화도를 줄이는 효과가 있었으나 시편의 온도가 너무 높아 냉각시간 부족으로 인해 휨 변형이 발생하거나 깨짐 현상이 나타났다[11].

[Table 3] Sample shape as the mold temp, and cooling time variation

No.	Mold Temp. [°C]	Cooling time [Sec]	Defect shape
1	25	17	
2	60		
3	100	20	
4	110	30	
5	150	30	

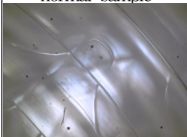
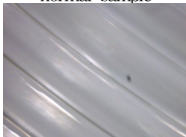
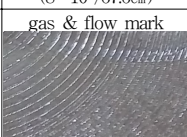
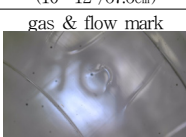
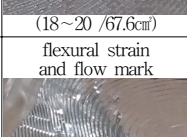
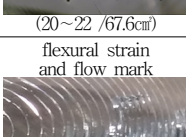
[Table 4]는 몰드온도, 가열시간 및 냉각속도에 따른 렌즈 표면상태로서 성형조건 변화에 따른 웰드라인과 플로마크의 발생율에 대한 시험결과를 나타내며, 200배율의 현미경을 사용하여 관찰한 결과이다.

[Table 4]에서 보는 바와 같이 몰드온도 110[°C], 가열시간 25[sec], 냉각시간 30[sec]인 조건으로 PMMA 수지를 성형하였을 때, 웰드라인은 전체 면적 67.6[cm²]당 약 2[cm²](8~10개소) 발생하여 3[%]이내의 발생율을 나타내었고, 플로마크는 전체 면적 67.6[cm²]당 약 2.7[cm²](10~12개소) 발생하여 4[%]이내의 발생율을 나타내어 무영등용 렌즈의 특성평가 항목을 충족하였다.

이상과 같은 성형조건을 변화시키면서 분석한 결과,

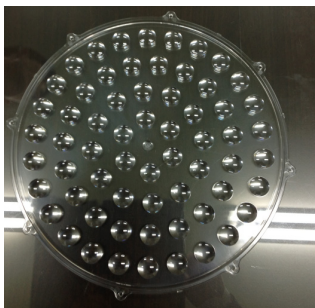
무영등용 광학특성과 표면 상태를 만족하는 PMMA 렌즈를 제작한 시편은 [Fig. 2]와 같다.

[Table 4] Defect morphology on Sample surface as the preparation condition variation

fabrication condition	sample morphology	
	weld-lines (number/area)	flow mark (number/area)
mold temp.: 110[°C], heating time: 25[sec], cooling time: 30[sec]	normal sample  (8~10 /67.6cm²)	normal sample  (10~12 /67.6cm²)
mold temp.: 50[°C], heating time: 0[sec], cooling time: 30[sec]	gas & flow mark  (18~20 /67.6cm²)	gas & flow mark  (20~22 /67.6cm²)
mold temp.: 150[°C], heating time: 40[sec], cooling time: 30[sec]	flexural strain and flow mark  (10~12 /67.6cm²)	flexural strain and flow mark  (15~18 /67.6cm²)

[Fig. 2]에서 보는 바와 같이 본 연구에서 조사한 최적 조건[몰드코어의 가열온도: 110[°C], 냉각시간: 25[sec]]에서 제작한 PMMA 렌즈는 육안 상으로 투명성을 유지하고, 400-780nm 영역의 분광 투과율 평균치는 약 94%를 나타내었다.

이러한 광학적 특성은 수술실 무영등에서 요구하는 조건에 충족하기 때문에 제품화가 가능할 것으로 판단된다[12].



[Fig. 2] PMMA lens for surgical light as fabrication

4. 결론

600×700×550 [mm] 크기의 가열 및 냉각 기능의 금형으로 수술실 무영등용 PMMA 렌즈를 240×240×3[mm] 크기로 성형하는 조건을 분석한 결론은 먼저 플라스틱 렌즈 금형으로 시편을 사출할 때 시편의 성형성 및 표면 상태는 사출 온도 변화에 따라 민감하게 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 금형의 가열온도가 낮으면 플라스틱 수지의 유동성에 영향을 미쳐 미성형이 발생하거나 웰드 라인, 플로우 마크 등이 발생하고, 높으면 휨 변형 등의 결점이 발생하였으며 냉각시간은 시편의 변형이나 수축에 의한 휨 변형을 초래하고, 냉각시간이 길어질수록 PMMA 수지 결정화에 따른 깨짐 현상이 발생하였다. 둘째로 PMMA 수지로 결함이 없는 렌즈를 성형하는 최적의 조건은 몰드코어의 가열온도가 110[°C], 냉각시간은 25[sec]로 설정하여 온도 프로파일링을 확립하였다.

향후, 본 연구에서 조사한 PMMA 렌즈 성형조건으로 수술실 무영등에 LED 광원을 적용하여 루미너를 어셈블리하여 완성함으로써 새로운 조명체계를 구축할 예정으로 본 연구체계를 확립해야 할 예정이다. 또한 제작된 제품을 인증시험이나 규격을 시험의뢰를 통해 성능을 인증평가 할 예정이다.

REFERENCES

- [1] Peng Liu, Huihui Wang, Yaqin Zhang, Junfei Shen, Rengmao Wu, Zhenrong Zheng, Haifeng Li, Xu Liu, "Investigation of self-adaptive LED surgical lighting based on entropy contrast enhancing method", Vol.319, No.15, pp. 133-140, 2014
- [2] Junichi Shimada, Yoichi Kawakami, Shigeo Fujita "Medical lighting composed of LED arrays for surgical operation" Proc. SPIE 4278, Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing, and Applications V, 165, May 14, 2001.
- [3] Philipp C Jacobi, Thomas S Dietlein, Walter Konen, "Multifocal intraocular lens implantation in pediatric cataract surgery" Vol. 108, Issue 8, August 2001, Pages 1375 - 1380
- [4] Mingxin Ao, Xiaoyong Chen, Chen Huang, Xuemin Li, Zhiqiang Hou, Xue Chen, Chun Zhang, Wei

- Wang, "Color discrimination by patients with different types of light-filtering intraocular lenses", Volume 36, Issue 3, March 2010, Pages 389 - 395
- [5] Byeong-Ho Jeong, Kang-Yeon Lee, Nam-In Chung, "digital PID controller design for the heat and cool injection mold system", The 20th International Conference on Electrical Engineering, June, pp.15-19, 2014.
- [6] Byeong-Ho Jeong, Wan-Ki Min, Kang-Yeon Lee, "heat and cool injection molded fresnel lens solar concentrators", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63P, No.4, pp.283-289, 2014.
- [7] Yeong-Eun Yoo, Tae-Hoon Kim, Tae-Jin Je, Doo-Sun Choi, Chang-Wan Kim, Sun-Kyung Kim, "Injection molding of micro patterned PMMA plate", Trans. Nonferrous Met. Soc. China, Vol.21, pp.s148-s152, 2011
- [8] Wenping Zhao, Stephan Barsun, Karthik Ramani, Todd Johnson, Richard King and Steve Lin, "Development of PMMA-precoating metal prostheses via injection molding: Residual stresses", Journal of Biomedical Materials Research, vol.58, No.4, pp.456-462, 2001
- [9] Brian C. Okerberg, "Morphological Studies of Crystallization in Thin Films of PEO/PMMA Blends", Doctor of Philosophy In Materials Science & Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005
- [10] Wenzhong Ma, Jun Zhang, Xiaolin Wang, Shengmin Wang, "Effect of PMMA on crystallization behavior and hydrophilicity of poly(vinylidene fluoride)//poly (methyl methacrylate) blend prepared in semi-dilute solutions", Applied Surface Science, Vol.253, No.20, pp.8377-8388, 2007
- [11] Daisuke Kamei, Hiroharu Ajiro and Mitsuru Akashi, Morphological changes of isotactic poly(methyl methacrylate) thin films via self-organization and stereocomplex formation, Polymer Journal, Vol.42, pp.131-137, 2010
- [12] Shivani Kohli, Shekhar Bhatia, "Flexural Properties of Polyamide vs Injection molded PMMA", European Journal of Prosthodontics Vol.1, No.1, pp.63-67, 2013
- [13] S. Hadrath and N. Morgenbrod, "A Design Approach for an Innovative LED Surgical Light", Classical Optics, OSA Technical Digest (online), IW4A.4., 2014
- [14] Hillenkamp J1, Dydykina S, Klettner A, Treumer F, Vasold R, Bäuml W, Roider J., "Safety testing of indocyanine green with different surgical light sources and the protective effect of optical filters", Vol. 30, No. 10, pp. 1685-1691, 2010
- [15] P. Divya, A. Singhal, Deepak K. Pattanayak and T.R. Rama Mohan, "Injection Moulding of Titanium Metal and AW- PMMA Composite Powders", Trends Biomater. Artif. Organs, Vol. 18, No. 2, January 2005

저자소개

강 보 안(Bo-An Kang)

[중신회원]



- 1998년 2월 : 전남대학교 무기재료공학과 (공학박사)
 - 1987년 1월 ~ 1997년 6월 : 한국유리연구소 (선임연구원)
 - 1998년 3월 ~ 2004년 2월 : 인천전문대학 기계과(강사)
 - 2004년 1월 ~ 현재 : 남부대학교 의료공학과 교수
- <관심분야> : 의공학, 생체재료, 의광학

오 형 중(Hyung-Jong Oh)

[정회원]



- 1994년 7월 ~ 2011년 3월 : 남도금형(주) 부장
 - 2011년 4월 ~ 현재 : 지엔에스티(주) 대표이사
 - 2015년 2월 : 남부대학교 보건경영대학원 의공학과 (의공학석사)
- <관심분야> : 플라스틱 사출금형(자동차, 가전, 의료기 부품)

정 병 호(Byeong-Ho Jeong) [정회원]



- 2006년 2월 : 조선대학교 전기과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 2009 : (주)기영미 다스 선임연구원
- 2009년 2월 ~ 현재 : 남부대학교 신·재생에너지기술연구소장

· 2011년 2월 ~ 현재 : 남부대학교 의료공학과 교수
<관심분야> : 의공학, 의료기기

정 남 인(Nam-In Jeong) [정회원]



- 2008년 8월 : 조선대학교 전기공학과(공학석사)
- 2009년 8월 ~ 2011년 3월 : 남도금형(주) 연구원
- 2011년 4월 ~ 현재 : 지엔에스티(주) 연구개발부 차장

<관심분야> : 플라스틱 사출금형(자동차, 가전, 의료기 부품)