

균일 냉각을 고려한 Thick-Wall 형상의 플라스틱 렌즈 쾌속 금형 제작

박형필^{1,2} · 차백순^{1,*} · 이상용¹ · 최재혁² · 이병옥²

¹한국생산기술연구원 정밀금형

²아주대학교 기계공학과

(2007. 6. 18. 접수 / 2007. 10. 31. 채택)

Manufacturing of Rapid Tooling for Thick-Wall Plastic Lens Mold with Conformal Cooling Channel

Hyung-Pil Park · Baeg-soon Cha[†] · Sang-Yong Lee · Jae-Hyuk Choi · Byung-Ok Lee

Precision Dies & Mold, Korea Institute of Industrial Technology

Department of Mechanical Engineering, Ajou University

(Received June 18, 2007 / Accepted October 31, 2007)

Abstract : In the optical application demand for high quality lens is increasing. Plastics lenses are demanded more than glass lenses for large size lenses as well as micro-size lenses. It is difficult to apply typical straight cooling channels of injection mold to lens molding due to its non-uniform temperature distribution. In this study, we manufactured molds for plastic lenses with the conventional cooling channels and conformal cooling channels produced by the DMLS process. We evaluated cooling performance for the 2 molds by injection molding experiment. Also, uniformity of the temperature distribution was tested by infrared camera and temperature monitoring. We confirmed that the cooling performance and temperature uniformity with the conformal cooling channels is much improved from the ones with the conventional. The cooling time with the conformal cooling channels was reduced 30% compared with the conventional cooling channels.

Key Words : Lens mold, Direct Metal Laser Sintering, Infrared camera, Injection molding

1. 서 론

광학응용기기 분야에서는 고품질의 플라스틱 렌즈 수요가 갈수록 증가하고 있으며, micro 렌즈 뿐만 아니라 thick-wall 렌즈 분야에도 유리렌즈에서 플라스틱 렌즈로 바뀌고 있다. 그러나 thick-wall 플라스틱 렌즈는 렌즈 중앙부 두께가 두껍기 때문에 제품 성형에 많은 냉각 시간이 소요되어, 생산에 어려움이 있다. 이것은 금형 내의 냉각채널(cooling channel)이 취출핀(ejector pin) 및 슬라이드 코어(slide core)등과 같은 복잡한 부품들로 인하여 구조적인 제약을 받으며, 건드릴(gun drilling)에 의한 직

선가공 밖에 할 수 없기 때문이다. 따라서 렌즈 성형부를 기준으로 냉각채널이 불균일하게 배치되어 온도 분포에 차이가 발생되며, 특히 렌즈 중앙부는 냉각 채널과 멀리 떨어져 있어서 국부적인 hotspot이 발생되기도 한다. 이로 인하여 냉각시간이 길어지는 문제가 발생된다. 또한 불균일 냉각은 렌즈 수축율(shrinkage)에 차이를 발생시켜 형상정밀도를 저하시키고, 불균일한 렌즈 밀도 분포를 초래하게 된다. 이는 렌즈의 기능성을 저하시키는 원인으로 작용하게 된다.

본 연구에서는 thick-wall 렌즈의 생산성 및 냉각 특성 분석을 위하여 직선 냉각채널로 가공된 일반 사출금형과 conformal 냉각채널이 배치된 쾌속금형(rapid tooling)을 제작하였다. 또한 사출 성형 해석

[†] Korea Institute of Industrial Technology
bscha@kitech.re.kr

(injection molding analysis)을 통하여 냉각채널 배치에 따른 thick-wall 렌즈 제품의 온도분포를 분석하였다. 냉각성능의 분석에는 열화상카메라와 열전대를 이용한 측정을 통하여 분석하였다. 마지막으로, 렌즈 금형에 대한 사출성형 실험을 통하여 생산성 및 성형문제점 등에 냉각 채널 배치 효과를 비교하여보았다.

2. 실험

2.1. Thick-wall 렌즈 금형 설계 및 사출성형 CAE

Fig. 1에는 thick-wall 렌즈의 제품 및 금형 설계도를 나타내고 있다. 최대 두께가 10mm로 매우 두껍기 때문에, 팬 게이트(fan gate)를 사용하여 기포 및 플로우 마크(flow mark)를 방지하였으며, 젯팅(jetting) 방지를 위해서 게이트(gate) 앞단에 코어핀(core pin)을 설치하도록 하였다. 또한 제품 둘레에 다수의 가스빼기(air vent)를 설치하여 가스 발생으로 인한 성형압력(molding pressure) 증가 및 제품 불량을 방지하였다. 이러한 고려 사항은 두 금형 모두 동일하게 적용하였다.

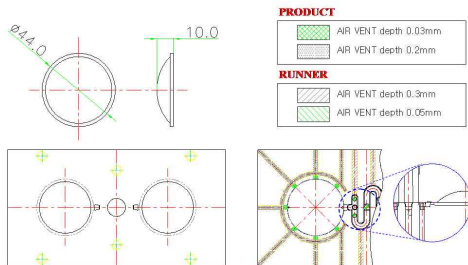


Fig. 1. Drawing of lens mold.

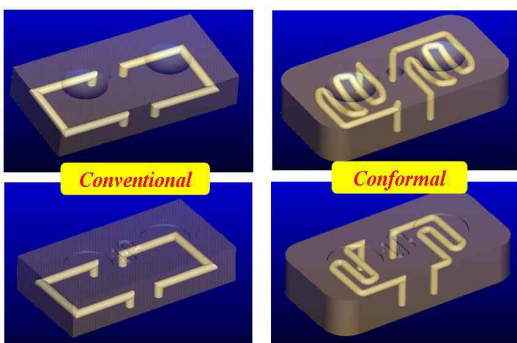
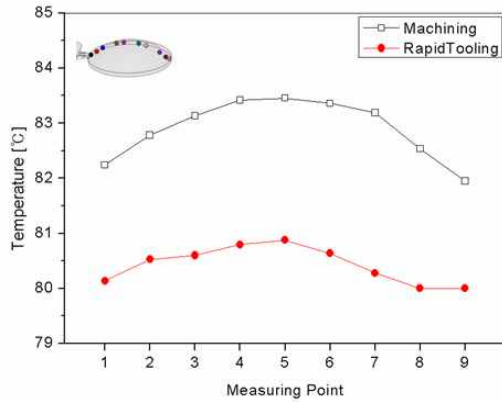
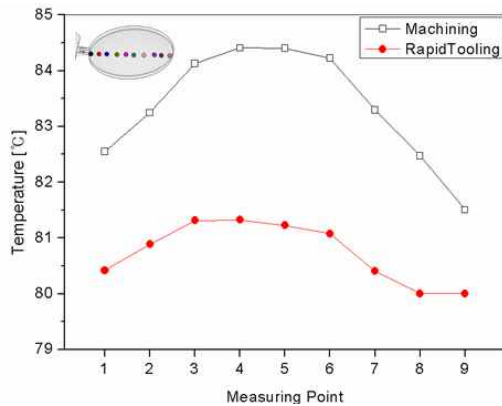


Fig. 2. 3D CAD model of cooling channel.

Fig. 2에는 냉각성능 평가를 위하여 직선 냉각채널 구조로 설계된 일반적인 사출금형과 conformal 냉각 채널 구조로 설계된 쾌속금형을 보여주고 있다. 그러나 conformal 냉각 채널은 복잡한 채널 구조로 인한 냉각수의 압력 강하 및 층류 흐름이 발생되기 때문에 설계 시 고려해야 한다.



(a) upper side



(a) bottom side

Fig. 3. Temperature distributions on Lens Part

상용 CAE 해석 프로그램 Moldflow 6.0을 사용하여 냉각 채널에 따른 제품의 온도 분포를 알아보았다. 해석에 사용된 수지온도, 냉각시간 및 냉각수 온도 등의 성형조건은 동일하게 적용하였으며, 렌즈 제품의 위아래 9개 지점에 대한 온도를 분석하였다. Fig. 3에 보듯이 직선형 냉각채널이 적용된 제품의 온도 분포가 높게 나타났으며, 냉각 채널의 영향으로 위치별 온도 분포에도 큰 차이가 있음을 확인할 수 있다. Conformal 냉각 채널이 배치된 경우는 상대적으로 낮은 온도를 나타냈으며, 온도 분포도 1도

이내로 균일하게 분포됨을 확인하였다. 또한 상하측의 온도 분포를 비교 했을 때, 하측의 온도가 높고 불균일하게 나타났다. 이는 금형의 접촉면적 차이로 인한 열전달 효과 차이로 판단된다. 해석을 통하여 쾌속금형이 제품의 냉각 및 품질에 효과적임을 알 수 있었다.

2.2. 금형 제작 및 사출성형실험

기계 가공으로 직선 냉각 채널이 배치된 일반적인 사출금형을 제작하였으며, conformal 냉각채널이 배치된 쾌속금형은 DMLS(Direct Metal Laser Sintering)공정으로 제작하였다. DMLS 공정은 3차원 형상의 제품을 CAD 데이터로 절삭가공이 없이 형상을 구현하는 기술로 Fig. 4에 나타내고 있다. 이 공법은 laser beam을 이용하여 챔버 내에 채워진 금속분말입자를 Layer-by-Layer 방식으로 소결하여 3차원의 자유곡면, conformal 냉각채널 및 under-Cut 등의 형상을 가진 Direct part나 Direct tool을 단시간에 제작할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 절삭가공으로는 가공이 어려운 복잡한 3차원 형상 구현이 가능하며, 기계가공과 비교 하였을 때 제작 시간 및 비용도 절감할 수 있는 장점을 가지고 있다.

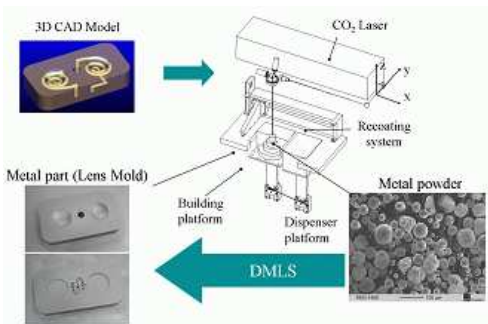


Fig. 4. Schematics of DMLS(Direct Metal Laser Sintering) process.

Table 1. Material properties of DirectSteel20.

Factor(Unit)	DirectSteel 20
Density in skin areas & core areas (g/cm3)	7.6 / 6.3
Tensile strength(MPa)	600
Young's Modulus(GPa)	130
Hardness after laser sintered	225 HV
Hardness after surface hardening	400 HV
Surface roughness before shot-peening(μm)	Ra 10, Rz 50
Surface roughnessafter shot-peening (μm)	Ra 4, Rz 15

Coefficient of thermal expansion(10-6/K)	9
Thermal conductivity(W/mK)	13

본 연구에서는 독일 EOS사의 EOSINT M250X를 이용하여 분말재료를 20μm씩 소결(sintering)하여 conformal 냉각채널이 설계된 렌즈 금형을 제작하였다. 분말 재료는 레이저 소결 후 225Hv의 표면경도를 가지며, 블라스팅(blasting) 처리 후에는 400Hv 이상의 경도를 가지는 Steel 기반의 금속 분말(Direct steel 20)을 사용하였다. Table. 1에 재료 물성을 보여 주고 있다.

Fig. 5(a)에 기계가공으로 제작된 직선 냉각채널을 가진 일반 사출금형을 보여주고 있다. Fig. 5(b)는 DMLS 공정으로 제작된 렌즈 금형을 나타내고 있으며, 표면 연마 및 가스빼기(air vent) 등의 후처리 공정을 하였다. 그러나 분말입자의 소결은 내부에 기공을 발생시키기 때문에, 냉각채널로 냉각수를 흘려보낼 경우 채널 내부 틈새로 누수가 발생되었다. 누수문제는 냉각채널 내부를 에폭시로 도포함으로써 해결할 수 있었다.



Fig. 5. Photo of conventional mold and rapid mold using DMLS process.

Thick-Wall 렌즈 금형에 대한 사출성형 실험을 진행하였다. 실험에는 Atoglas사의 PMMA 수지를 사용하였으며, 동신유압의 80ton Pro-HI80 사출성형기를 사용하였다. Fig. 6에는 사출성형기(injection molding machine)에 장착된 렌즈금형과 미성형(shot short) 실험 결과를 보여 주고 있다. 그러나 본 실험에서는 두꺼운 렌즈 중앙부 두께 문제 때문에, 사출 속도(injection speed)를 느리게 설정하여 젯팅(jetting), 기포(void) 및 수축(shrink) 등을 방지하였다. 또한 렌즈 말단부를 먼저 충전(filling) 시킨 후에, 중

양부가 성형되는 충전 패턴을 확인 하였다. 이는 렌즈 표면에 플로우마크를 형성할 수 있기 때문에, 제품 중앙부의 원활한 성형을 위해서 사출압력(injection pressure) 보다 높은 보압(packing pressure)을 설정하였다. 또한 보압 및 보압시간(packing time)은 양품 생산을 위해서 성형조건(Molding condition)을 다르게 설정하였으며, 그 외의 조건은 동일하게 적용하였다. 보압(packing pressure) 및 보압시간(packing time)이 다른 이유는 Fig. 3의 해석결과에 나타났듯이 냉각방식에 따라 제품의 온도 분포가 다르기 때문이며, 성형조건을 설정을 통해서 제품 품질 및 냉각 성능에서 conformal 냉각채널이 배치된 캐속금형이 우수함을 확인하였다. Table 2에는 실험에 적용된 두 금형의 사출성형 조건을 나타내고 있다.

Table 2. Injection molding conditions.

Factor	Unit	Conventional Mold	Rapid Mold
Melt temp.	(°C)	230	230
Mold temp.	(°C)	90	90
Injection speed	(%)	20	
Hold pressure	(kgf/cm ²)	125	105
Holding Time	(sec)	12.0	10.0



(a) Lens mold installed in the injection molding machine



(b) Result of shot short experiment

Fig. 6. Photo of experimental result

도출된 성형 조건으로 두 금형에 대한 사출성형 실험을 진행하였으며, 제품 성형에 소요되는 냉각시간을 측정하였다. 직선형 냉각채널이 배치된 전통적인 사출금형은 냉각시간이 200초였으며, conformal 냉각채널이 배치된 캐속 금형의 경우 140초가 소요됨을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 캐속금형의 냉각효율이 우수함을 확인 할 수 있었으며, 특히 성형 사이클을 30% 이상 절감할 수 있어 생산성 증대 효과가 있음을 알 수 있었다.

2.3. 냉각 성능 비교

냉각 채널 구조에 따른 금형의 온도 분포 및 냉각 성능을 평가하였다. 사출성형 중에는 제품 냉각에 따른 금형 표면 온도 측정이 어렵기 때문에, 본 연구에서는 금형온도 조절기의 냉각수 온도를 90도로 가열한 뒤에 순간적으로 렌즈 금형의 냉각채널로 유입시켜 동일 시간에서의 금형 온도 분포를 측정하였다. 가열되는 금형온도 분포는 열화상 카메라(Model : IR SnapShot)를 이용하여 15초 간격으로 측정하였으며, K 타입의 열전대를 금형 표면에 부착하여 온도를 실시간으로 측정하였다. 온도측정에는 NI사의 CompactDAQ(Thermocouple Module)과 Signal Express(Labview)를 사용하였다. 두 가지 방식으로 온도 측정을 병행한 이유는, 열화상 카메라의 온도 보정 및 정량적인 측정을 하기 위함이며, Fig. 7에 실험장치를 나타내고 있다.

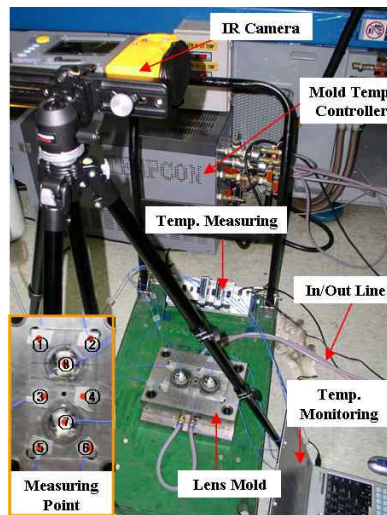


Fig. 7. Photo of measurement system.

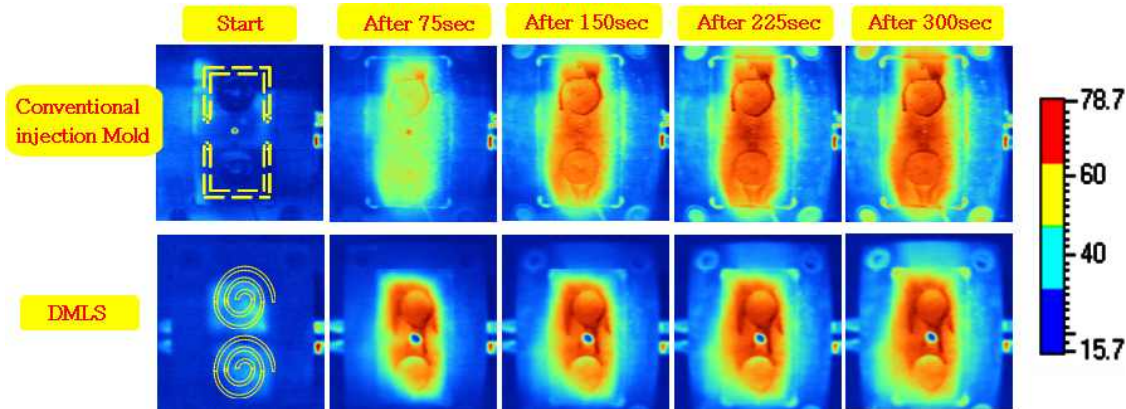


Fig. 8. Comparison of temperature distribution between conventional and rapid mold using DMLS.

Fig. 8에는 열화상 카메라로 측정된 온도분포를 나타내고 있다. 전통적인 사출금형의 경우 렌즈 성형부 둘레로 직선형 냉각채널이 배치되어 코어 전체가 점진적으로 가열되고 있으며, 가열이 200초 이상 진행 된 후에는 온도 분포가 안정화됨을 확인 하였다. 그러나 conformal 냉각채널이 배치된 쾌속 금형의 경우는 렌즈 성형부에 가열이 집중되어 전통적인 사출금형과는 다르게 급속히 가열되었다. 또한 렌즈 성형부 온도가 75초 이후에 균일하게 유지됨을 확인하였다.

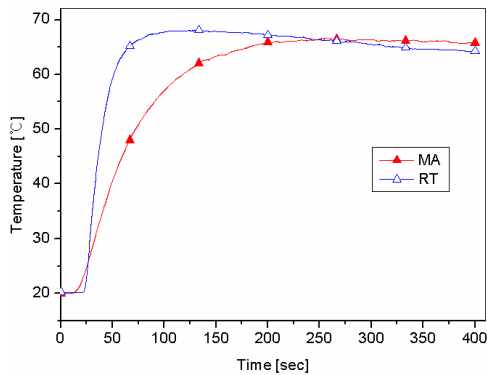


Fig. 9. Comparison of temperature data between conventional and rapid mold.

Fig. 9 에는 열전대로 측정된 렌즈 성형부의 온도 그래프를 나타내고 있다. 두 금형 모두 가열이 진행되며 온도가 증가하고 있지만, 온도 상승 속도는 다르게 나타남을 확인할 수 있다. 직선형 냉각채널 금형의 경우 온도 안정화까지 이르는 데 약 200초 이

상이 소요되며, 쾌속금형의 경우 온도 가열이 빠르게 진행되어 75초 이후에 안정화되고 있음을 정량적으로 분석할 수 있었다. 이를 통하여 빠른 가열 효과를 가지는 쾌속금형이 냉각에도 효과적임을 알 수 있었다. 또한 사출성형실험에 나타난 냉각시간 단축 효과도 이를 통하여 분석 할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 전통적인 사출금형과 쾌속 금형을 제작하였으며, 제작된 금형의 냉각채널 배치에 대한 사출성형 실험 및 냉각 성능 평가를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. DMLS 공정을 이용하여 광학제품(렌즈) 생산을 위한 쾌속금형을 제작하였다. 제작된 금형의 사출성형을 통하여 고품질의 렌즈 생산이 가능함을 확인할 수 있었다.
2. 쾌속 금형의 냉각채널은 epoxy로 처리하여 주요 문제점인 누수 현상을 해결할 수 있었다.
3. 냉각성능 실험을 통하여 쾌속 금형이 전통적인 사출금형에 비해서 냉각 성능에서 우수함을 확인할 수 있었으며, 이는 렌즈 성형부에 대해서 균일하게 배치된 냉각채널과 열전도율이 우수한 금형재료의 물성차이로 판단된다.
4. 사출성형실험을 통하여, 전통적인 사출금형에 비해서 쾌속금형이 30%의 냉각시간을 절감할 수 있었다.

참고문헌

- 1) F. G. Steil, New concept in mold conformal cooling design, ANTEC, pp. 916-920, 2005.
- 2) M. W. Khaing, J.Y.H. Fuh and L. Lu, Direct metal laser sintering for rapid tooling: processing and characterization of EOS, Journal of Material Processing Technology, Vol. 123, pp.269-272, 2001.
- 3) W. E. Biles, T. J. Gormet, et al., Computer-aided design and rapid tool development in injection molding processes, Proceedings of the 17th international conference on Computers and industrial engineering, pp. 659-662, 1995.
- 4) H. J. Um, J. P. Kim and K. Park, Performance evaluation of an aspheric lens connecting with CAE analysis of injection molding, Conference proceedings of KSTP, pp. 90-95, 2006.
- 5) H. P. Park, B. S. Cha, et al., Production of pre-form mold by Direct Metal Laser Sintering(DMLS) process, Fall meeting of KSPE, pp.197-198, 2006.
- 6) F. E. H. Tay and E. A. Haider, Laser sintered rapid tools with improved surface finish and strength using plating technology, Journal of Material Processing Technology, Vol. 121, pp. 318-322, 2002.
- 7) S. I. Chung, Y. G. Im, et al., Development of rapid tooling technology for shoe mold and its applications, KSME, Vol. 27, No. 8, pp. 1371-1379, 2003.