

Thick-wall 플라스틱 렌즈의 쾌속 금형 제작 Rapid Tooling Production of Thick-wall Plastic Lens

*박형필^{1,2}, #차백순¹, 김종덕¹, 성병근², 이병욱³

*H. P. Park^{1,2}, #B. S. Cha(bscha@kitech.re.kr)¹, J. D. Kim¹, B. G. Seong², B. O. Rhee³

¹ 한국생산기술연구원 정밀금형팀, ² 포항산업과학연구원, ³ 아주대학교 기계공학부

Key words : DMLS(Direct Metal Laser Sintering), SFT(Spray Formed Tooling), Conformal Cooling Channel, Lens Mold

1. 서론

사출성형 공정을 통한 Thick-wall 렌즈 생산은 냉각과정에 많은 시간이 소요되고, 냉각의 균일도 및 냉각속도차이가 품질에 많은 영향을 미치기 때문에 Micro 렌즈와는 다르게 효율적인 냉각 시스템이 필요하다. 그러나 제품 중앙부가 두꺼운 Thick-wall 렌즈 금형은 취출핀 및 코어등과 같은 복잡한 부품으로 인한 구조적인 제약이 있으며, 특히 냉각채널의 가공이 건 드릴에 의한 직선가공으로 이루어지므로 효율적인 냉각채널 배치는 어려운 문제이다. 이러한 제약은 균일 냉각을 저해하며, 성형부 위치에 따라 냉각속도 차이를 발생시킨다. 이는 렌즈의 불 균일한 수축차이를 발생시키게 되어, 형상정밀도 저하 및 렌즈 내부에 불 균일한 밀도 분포를 초래하여 렌즈 기능을 저하시키는 주요 원인이 된다.

본 연구에서는 효율적인 냉각 시스템이 적용된 렌즈 금형 제작을 위한 방법으로, 금속분말을 적층 소결하는 DMLS(Direct Metal Laser Sintering)공정과 후연을 이용하여 제작된 마스터 형상에 용융된 금속을 분사시켜 금형을 제작하는 SFT(Spray Formed Tooling)공정을 이용하여 Conformal 냉각채널이 배치된 렌즈 금형을 제작하였다. 제작된 금형은 전통적인 가공방식으로 제작된 사출금형과 냉각성능을 비교 평가하였으며, 사출성형실험을 통하여 Thick-wall 렌즈의 성형 사이클 차이를 알아보도록 하였다.

2. LENS 금형 설계

본 연구에서는 Thick-wall 렌즈 생산을 위한 금형설계를 진행하였다. Fig. 1 에는 렌즈의 금형설계도를 나타내고 있다.

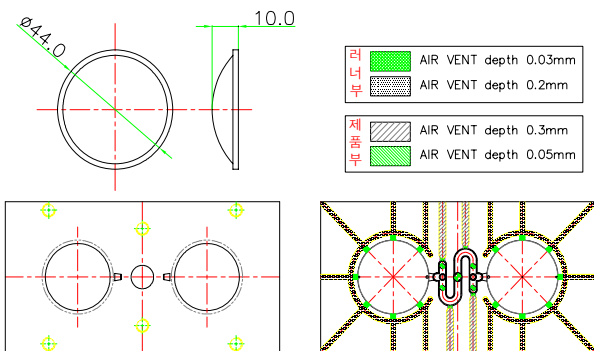


Fig. 1 Drawing of lens mold.

게이트 형상은 렌즈의 최대 두께가 10mm 로 매우 두껍기 때문에 기포 및 플로우 마크 방지를 위해서 팬 게이트를 사용하였으며, 게이트 앞 단에 코어핀을 설치하여 젯팅을 방지하도록 하였다. 또한 렌즈 성형 시 발생하는 가스로 인한 성형압력 증가 및 제품 불량을 방지하기 위해서 러너 및 제품 둘레에 다수의 가스빠기를 설치하였다. 이러한 고려 사항은 세 금형에 모두 동일하게 적용하였다. 또한 냉각성능 평가를 위하여 전통적인 사출금형은 직선형의 냉각채널 구조(a)를, 그리고 DMLS 와 SFT 는 제품 표면과 일정 간격을 유지하며 배치된 Conformal 냉각 채널 구조(b)를 가지도록 설계하였다. Fig. 2 에 설계된 냉각채널의 형상을 나타내었다.

을 나타내었다.

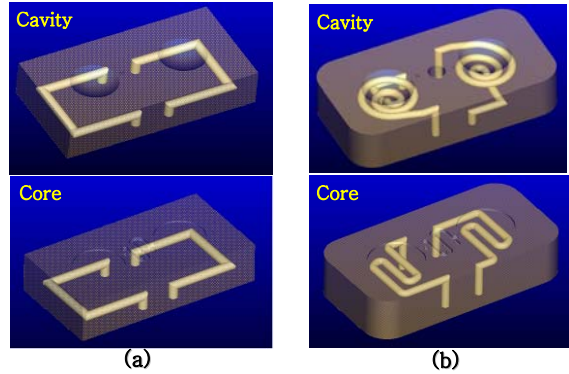


Fig. 2 3D CAD model of cooling channel (a) conventional, (b) conformal.

3. DMLS 공정을 이용한 렌즈 금형 제작

DMLS 공정은 3D cad data 를 기반으로 금속분말입자를 Laser beam 을 이용하여 Layer-by-Layer 방식으로 소결하여 자유곡면, conformal 냉각채널 및 Under-Cut 등의 형상을 제작하는 공법으로써 일반 기계 가공과는 다르게 절삭가공이 생략되기 때문에 제작 기간이 상대적으로 짧으며, 기계가공으로는 어려운 형상을 쉽게 가공할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 Conformal 냉각채널이 설계된 렌즈금형 제작을 위하여 독일 EOS 사의 EOSINT M250X 를 이용하였으며, 분말재료를 20μm 씩 적층/소결하여 렌즈 금형을 제작하였다. 분말 재료는 레이저 소결 후 225Hv 의 표면경도를 가지며, 블라스팅 처리 후에는 400Hv 이상의 경도를 가지는 Steel 기반의 금속 분말(Directsteel20)을 사용하였다.

Fig. 3 에는 DMLS 의 개념도 및 제작된 금형을 나타내고 있으며, 제작된 금형은 표면 연마 및 공기빠기 등의 후처리 공정을 하였다. 그러나 DMLS 공정의 특성상 분말입자를 소결하여 금형을 제작하기 때문에, 내부에 기공이 존재하여 냉각채널로 냉각수를 흘려 보낼 경우 금형 표면으로 누수가 발생되었다. 냉각채널의 누수문제는 채널 내부를 에폭시로 도포함으로써 해결하도록 하였다.

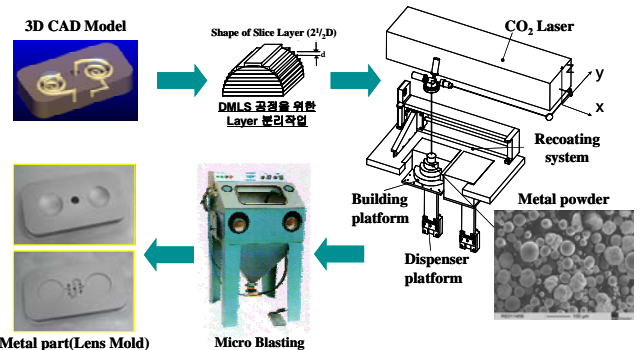


Fig. 3 Schematics of DMLS(Direct Metal Laser Sintering) process.

4. SFT 를 이용한 렌즈 금형 제작

SFT 공정은 두 가닥의 금속 선재를 소모성 전극으로 사용하여 금속선재의 끝 단에 아크를 발생시켜, 아크열에 의하여 용융된 금속선재를 고압의 분사기로 분무화 시켜 Fig. 4 와 같이 마스터 패턴 표면에 부착되어 냉각, 응고됨으로써 금형의 형상을 이룬다. SFT 는 적층속도가 비교적 빠르고, 대면적 코팅이 가능하며, 운용비가 적게 소요되는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 공정으로 제작된 Metal Shell 은 최종 금형을 만들기 위하여 내부를 동 파이프로 Conformal 냉각채널을 배치한 후에, 저융점 금속인 Epoxy-Al 합금을 이용하여 채워주는 Back-filling 공정을 거쳐 최종 금형으로 만들어지게 된다. Fig. 4 에 렌즈 금형 제작에서의 SFT 공정 및 제작된 금형을 나타내고 있다.

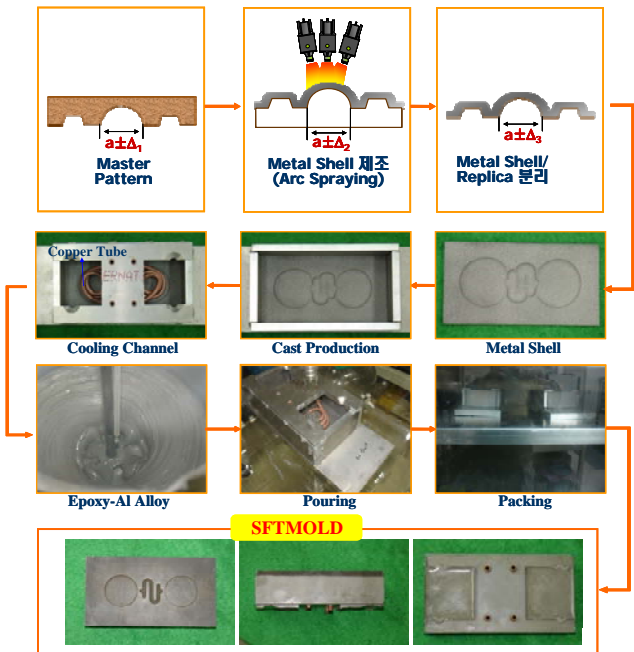


Fig. 4 Procedure of spray-formed tooling and manufacturing process of SFT mold.

5. 냉각 성능 평가 및 사출 성형 실험

Fig. 5 에는 서로 다른 냉각 채널 구조로 제작된 금형의 냉각 성능 평가 시 측정된 온도분포를 나타내고 있다.

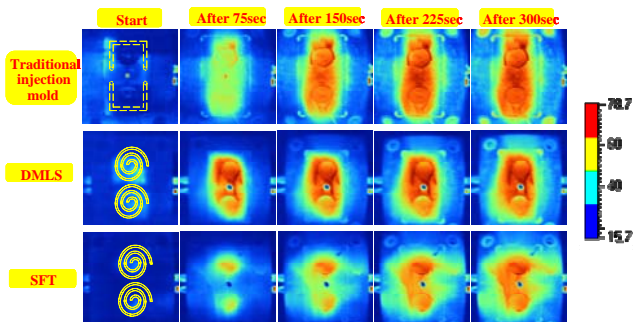


Fig. 5 Comparison of temperature distribution for conventional mold, DMLS mold and SFT mold..

실험 방식은 금형온도 조절기의 냉각수 온도를 90 도로 가열한 뒤에 순간적으로 렌즈금형의 냉각채널로 유입시켜 동일 시간에서의 금형 온도 분포를 열화상 카메라(Model : IR SnapShot)로 매 15 초 간격으로 측정하였다. 일반적으로 열화상 카메라의 온도 분포는 각 재료의 방사율에 따라 다르게 나타나기 때문에 각각의 실험은 접촉식 온도계를 이용하여 표면온도를 확인한 뒤에 측정부위의 온도에 맞는 방사율을 적용하도록 하였다. 렌즈 금형 둘레로 냉각채널

이 배치되어 코어 전체를 점진적으로 가열시키는 전통적인 사출금형의 경우, 300 초 이후에 금형의 성형부 온도가 평형상태로 유지됨을 확인 할 수 있었다. Conformal 냉각채널이 배치된 SFT 금형의 경우는 225 초 이후, DMLS 는 150 초 이후에 성형부 온도가 안정화 됨을 확인할 수 있었으며, 이를 통하여 Conformal 냉각채널이 배치된 DMLS 금형과 SFT 금형이 전통적인 사출금형에 비해서 빠르게 냉각될 수 있음을 확인 할 수 있었다.

세 종류의 렌즈 금형에 대한 시험사출을 통하여 실제 생산에서 냉각채널의 효과가 성형사이클 시간 단축에 효과가 있는지 판단하도록 하였다. 실험에는 Atoglas 사의 PMMA 수지와 동신유압의 80ton Pro-HI80 사출성형기를 사용하였다. Fig. 6 에는 사출성형기에 장착된 렌즈금형과 생산된 렌즈를 나타내고 있다. 성형조건 중 사출속도는 성형 불량률을 줄이기 위해서 느리게 설정하였으며, 보압의 경우는 성형중의 사출압력 보다 높게 설정하여 제품 외관의 수축을 없애도록 하였다. 이러한 조건을 만족하며 전통적인 사출금형에서 성형된 렌즈의 냉각시간은 200 초가 소요되었으며, Conformal 냉각채널이 배치된 DMLS 금형과 SFT 금형의 경우는 130 초, 140 초의 냉각시간이 소요됨을 확인할 수 있었다. 실험을 통하여 Conformal 냉각채널이 설치된 금형이 전통적인 사출금형에 비해서 30~35% 의 냉각시간 단축 효과가 있음을 확인하였으며, 모두 양품의 렌즈를 성형할 수 있었다.

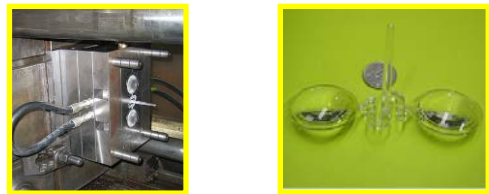


Fig. 6 Lens mold installed of the injection molding machine and injection molded lens.

6. 결론

본 연구에서는 사출금형의 냉각성능 향상과 Conformal 냉각채널의 배치에 대한 실험을 진행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. DMLS 공정 및 SFT 공정을 이용하여 렌즈 금형을 제작하였으며, 사출성형을 통하여 고품질의 렌즈 생산이 가능함을 확인 할 수 있었다.
2. 사출성형을 통하여 전통적인 사출금형에 비해서 DMLS 금형과 SFT 금형이 성형 사이클을 30~35% 절감할 수 있었다.
3. 금형온도 조절기를 이용한 냉각성능 실험을 통하여 DMLS 금형이 가장 냉각 성능이 우수함을 확인할 수 있었으며, 이는 정확한 냉각채널의 배치 및 금형재료의 물성차이로 판단된다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역연고산업진흥사업(RIS)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. F. G. Steil, "New concept in mold conformal cooling design", ANTEC, 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, 123, 269 ~ 272, 2001.