

# 직접식 금속 쾌속조형 공정을 이용한 고 냉각 특성 사출성형 금형 개발에 관한 연구

안동규<sup>1,\*</sup>, 김현우<sup>2</sup>, 김형수<sup>3</sup>

## Investigation into Development of Injection Mould with High Cooling Characteristics Using Direct Metal RP Technology

D. G. Ahn, H. W. Kim and H. S. Kim

### Abstract

The objective of this paper is to investigate into the development of injection mould with high cooling characteristics using a direct metal RP technology. In order to manufacture the injection mould with a high cooling rate, three-dimensional conformal cooling channels have been generated in the mould. DMT process, which is one of direct metal RP technologies, has been utilized to directly manufacture the metallic mould with three-dimensional conformal cooling channels. In order to examine the performance of the designed mould, injection molding tests have been carried out. The results of the experiments have been shown that a cooling time and the injection time of the proposed mould are reduced by the factor of five and two times in comparison with the injection mould with linear cooling channels.

**Key Words** : High Cooling Characteristics (고냉각 특성), Injection Mould (사출성형 금형), Direct Metal RP Technology (직접식 금속 쾌속조형 기술)

### 1. 서론

1986년 SL (Stereolithography) 공정이 개발된 후, 20 여종 이상의 쾌속조형 (RP : Rapid Prototyping) 공정이 상용화 되었다. 그 후, 쾌속조형공정을 금형 제작에 활용하는 방법에 대한 연구가 다각도 진행되고 있다[1]. 특히, 직접식 금속 쾌속조형공정을 이용한 금형의 직접적 제작의 경우 2차공정 (Secondary Process) 을 줄일 수 있어, 역전공정에 의한 금형의 치수 변경과 금형 제작 시간 상승의 단점을 감소시킬 수 있다. 직접식 쾌속조형공정을 사출성형 금형에 적용할 경우, 금형면 형상에 적응하는 3차원 냉각채널을 금형 내부에 생성할 수 있어 금형의 냉각 성능을 매우 향상시킬 수 있다. 이러한 장점 때문에 최근 직접식 금속 쾌속조형

공정을 이용한 금형 제작 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

SACHS 등은 스테인레스 분말을 적층 재료로 하는 3D Printing 공정을 이용하여 형상 적응형 3차원 냉각수로를 가진 금형 제작 방법과 금형내 온도분포 측정과 해석방법에 대한 연구를 수행하였다[3]. Mazumdar 등 DMD 공정을 이용한 3차원 냉각수로를 가진 사출성형 금형제작에 관한 연구를 수행하였다[4].

본 연구에서는 소형 청소기 케이스 사출성형 금형의 냉각 특성 향상을 위하여 직접식 금속 쾌속조형공정을 이용한 3차원 형상 적응형 냉각 채널을 가진 사출성형 금형 개발에 관한 연구를 수행하였다. 또한, 시사출 실험을 수행하여 제작된 금형의 적용성 및 생산성을 확인하였다.

1. 조선대학교 기계공학과  
2. 조선대학교 일반대학원 기계공학과  
3. (주) 우성정공 기술연구소  
\* 교신저자: 조선대학교 기계공학과,  
E-mail: smart@mail.chsoun.ac.kr

## 2. 금형 설계 및 제작

### 2.1 금형 설계

본 연구의 대상 금형인 소형 청소기 케이스 제작용 사출성형의 금형은 Fig. 1 과 같이 총 6개로 구성된 분할식 금형으로 설계되었다. 금형 내부의 냉각수로는 Fig. 1 과 같이 각각의 분할 금형에 대해서 독립적으로 설계되었으며, 냉각수로가 최대한 금형의 표면에 가깝게 위치하도록 설계하였다.

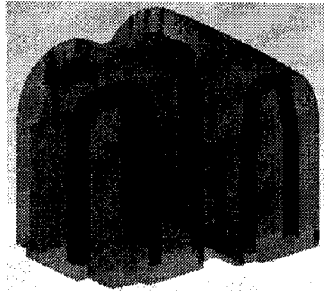


Fig. 1 Design of a target mould with conformal cooling channels

본 대상 금형의 스프루 초기 직경, 러너 직경 및 게이트 크기는 각각 4 mm, 8 mm 및  $5.95 \times 1.63 \text{ mm}^2$  이다.

금형면 설계에 따른 제품의 충전특성과 제품 제작 특성 및 사출성형 조건을 도출하기 위하여, 본 금형으로 제작될 제품에 대한 사출성형 해석을 수행하였다. 사출성형 해석은 Mold flow MPI 6.1 로 수행하였다. 사출성형 해석에 사용된 격자는 Fig. 2 와 같다.

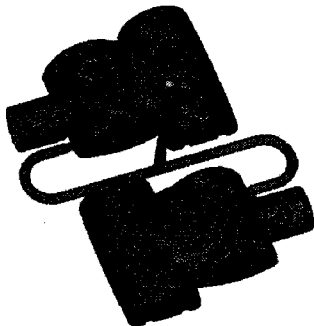


Fig. 2 Design and meshes of the injection parts

### 2.2 금형 제작 방법

본 연구에서 금형 제작은 금형 내부의 3차원 형상적응형 냉각채널을 생성하기 위하여, 현재 국내외적으로 많은 연구가 수행되고 있는 직접식 금속 쾌속조형공정과 기계가공 및 방전가공을 혼합한 하이브리드 쾌속생산 기술 (Hybrid rapid

manufacturing technology) [5] 을 사용하였다.

Fig. 1 과 같이 설계된 금형을 Fig. 3 과 같이 기계가공부와 직접식 금속 쾌속조형으로 제작할 부분으로 기능적 분리를 수행하였다. 기능적 분리의 경계면은 냉각수로의 절곡 발생하는 부분으로써, 냉각수로 삽입 후 레이저를 이용한 금속 적층시 레이저와 냉각수로의 간섭이 발생하지 않는 최대 두께 면을 선정하였다. 냉각수로가 적층 재료에 의하여 막히지 않도록 냉각수로 형성부에 동 파이프를 삽입하도록 제작 공정을 수립하였다.

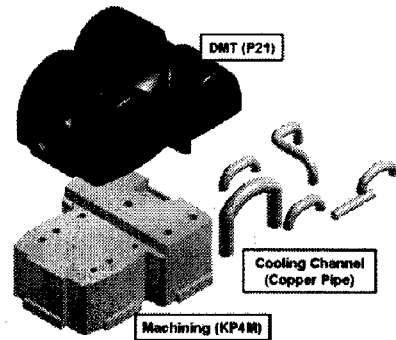


Fig. 3 Functional decomposition of the target mould

금형 제작 재료는 P21 사출성형용 금형강으로 선정하였다. 금형 제작은 냉각 수로용 통로를 가진 금형 구조부를 기계가공하여 제작한 후, 냉각수로용 동 파이프를 삽입하고 최종적으로 직접식 금속 쾌속 툴링 공정인 DMT (Laser-aided direct metal fabrication technology) 공정[6]으로 P21 금형강을 적층하여 초기 금형을 제작하도록 하였다.

1차적으로 제작된 금형은 고속가공, 방전가공과 래핑의 후가공을 수행하여 최종적인 금형으로 제작되도록 하였다.

## 3. 사출 성형 해석 및 금형 제작 결과

### 3.1 사출 성형 해석 결과 및 고찰

본 금형 설계에 대한 사출성형 해석 결과 Fig. 4 와 같이 사출 시간 4.0 초에서 제품이 완전히 충전됨을 알 수 있었다. 충전 특성 분석 결과 게이트부에서 제품 끝단 까지 수지의 유동이 거의 일정하게 유지되다가, 리브부에서 제품의 두께가 얇아 지면서 수지의 고화층이 두꺼워져 유동선단의 속도가 약간 감소하지만 제품의 전체적인 충전은 잘 이루어지는 것을 알 수 있었다. 최대 사출압력 및 최대 사출속력은 각각 74.3 MPa 및 143.0 m/sec 이었다. 제품의 취출 후 변형특성을 분석한 결과

제품 전반에 걸쳐 수축률 편차가 3% 정도인 경미한 수축은 발생하나 팽창은 일어나지 않음을 알 수 있었다. 또한, 최대 형체력은 124.5 ton 정도가 부가됨을 알 수 있었다.

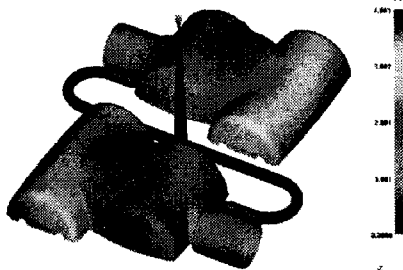


Fig. 4 Results of analysis (Filling characteristics)

### 3.2 금형 제작 결과 및 고찰

본 금형을 DMT 공정으로 1차 형상 생성후, 후가공을 수행하기 위하여 초기 금형 설계에 0.5 mm 오프셋 된 적층용 CAD 데이터를 생성하였다. 또한, 적층용 CAD 데이터에서는 DMT 공정에서 정밀도가 떨어지기 쉬운, 1 mm 전후의 수직형 리브 형상들은 제거하여 후가공에서 구현하였다.

본 금형 제작시 금형의 베이스 부를 Fig. 5 와 같이 기계가공 한 후, 냉각수로써 동 파이프를 굽힘 성형하여 삽입하였다. 그 후, DMT 공정으로 P21 금형강 재료를 적층하여 1차 금형을 제작하였다. 본 대상 금형 제작에는 약 56 시간이 소요되었다. 1차 금형의 정밀도 향상을 위하여 고속가공, 방전가공 및 랩핑을 수행하여 최종적인 금형을 제작하였다. 1차 형상 금형 제작시 반영된 적층후 가공량 0.5 mm 를 고려하여 고속가공 경로 데이터를 생성하였다. 전체 후가공 시간은 75 시간이 소요되었다.

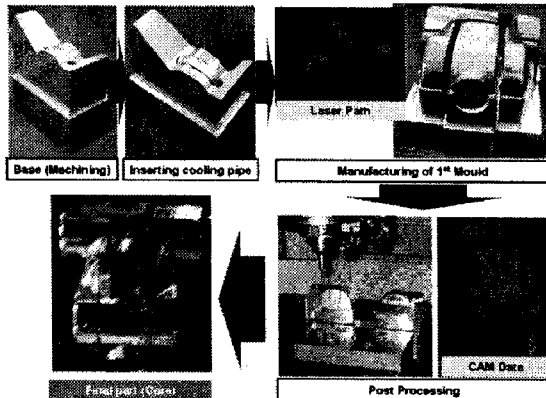


Fig. 5 Procedure for manufacturing the target mould

## 4. 사출 실험 및 결과 분석/고찰

### 4.1 사출 실험 및 제품 생산성 분석/고찰

본 제작 금형의 제품 생산성은 사출 실험을 통한 제품 제작성 비교와 냉각/사출시간 비교를 통하여 분석되었다. 본 대상 금형의 사출 실험은 사출성형 해석결과를 활용하여 250 ton 급 Mitsubishi 사의 450 MN-60 사출기를 사용하여 수행하였다. 시험 사출에 사용된 재료는 ABS 재료이다.

초기 실험을 통하여 제품형상이 구현되는 사출 압력, 평균 사출 속도 및 사출시간은 각각 88.4 MPa, 60 m/sec 및 4초 임을 알 수 있었다. 이 결과는 사출성형 해석 결과와 거의 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 사출 성형 조건 도출 후, 냉각시간에 따른 제품 성형 가능성 평가를 위하여 냉각 시간을 15초 이하로 변화시키면서 사출 성형 실험을 수행하였다. 실험 결과 Fig. 6 과 같이 냉각 시간 3초까지 감소하여도 동일한 형상을 가진 제품을 제작할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 냉각시간이 3초인 경우에도 CAD 데이터와 거의 동일한 제품이 제작됨을 알 수 있었다. 또한, 총 제품 제작 시간이 17 초 소요되었다. 이 결과로부터 기존의 동일 금형에서 냉각 시간과 제품 제작시간이 각각 15초와 41초가 소요된 것에 비하여 80 % 이상의 냉각시간과 60 % 이상의 제품 생산 시간 감소가 가능함을 알 수 있었다. Table 1 은 본 연구에서 개발된 금형과 기존 생산 금형의 사출 성형 시간 비교 결과이다.

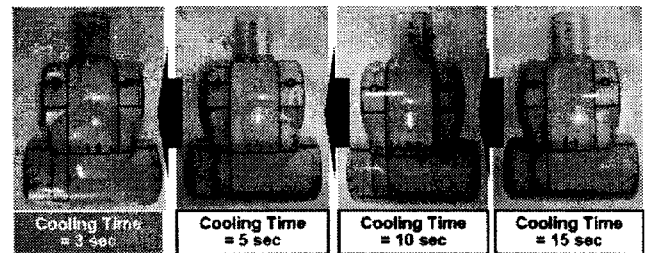


Fig. 6 Final parts produced by the developed mould

Table 1 Results of injection tests

금형종류	냉각시간 (초)	제품제작 시간(초)	생산성 향상 (%)
기존금형	15	41	-
형상적응형 냉각채널을 가진 금형	3	17	241

### 4.2 냉각 시간에 따른 제품 특성 분석 및 고찰

본 개발 금형으로 제작된 제품의 특성을 정량적으로 분석하기 위하여 제품 정밀도 분석과 제품의 탁도 비교를 수행하였다.

제품 정밀도 분석은 접촉식 3차원 측정기를 사용하였다. 본 제품의 정밀도를 분석한 결과 냉각 시간 3초 일 때 Fig. 7 과 같이  $\pm 0.5$  mm 미만의 위치 에러가 발생함을 알 수 있었다.

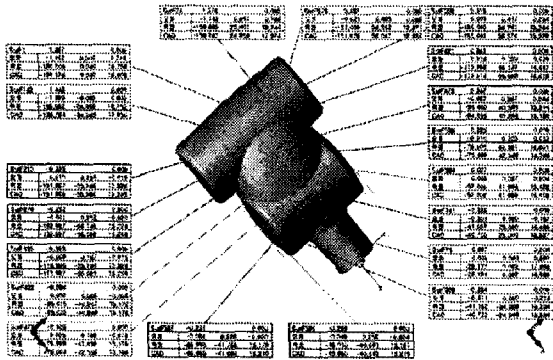


Fig. 7 Dimensional accuracy of the manufactured part (Cooling time = 3 sec)

본 개발 금형으로 제작된 제품의 탁도 분석은 Denshoku 사의 NDH-300A 탁도 측정계 (HAZE meter) 를 이용하여 가시광선 영역에서 수행하였다. 본 탁도 측정기의 정밀도는 0.05 % 이다. 본 제품에 대한 탁도 측정결과 Fig. 8 과 같이 냉각 시간 6초 이상인 영역과 냉각 시간 5초 이하인 영역에서 평균 2 % 이상의 탁도 차이를 나타냄을 알 수 있었다. 특히, 냉각 시간 5초 이하의 영역에서는 탁도가 모두 11 % 이하로 아주 우수한 투명도를 나타내었다.

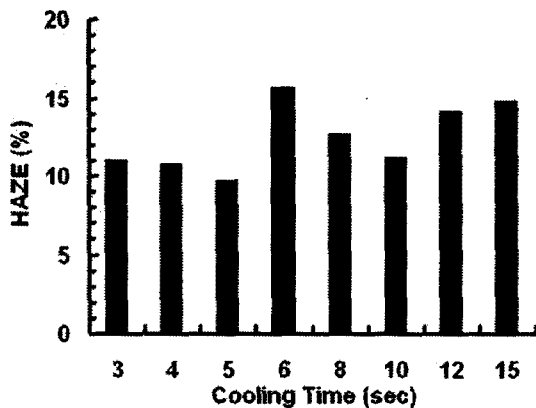


Fig. 8 Influence of the cooling time on the HAZE

#### 4. 결론

본 연구에서는 직접식 금속 쾌속조형 공정을

이용한 소형 청소기 케이스 사출성형 금형의 냉각 특성 향상 방법과 이와 관련된 금형 제작 방법에 대하여 연구를 수행하였다. 본 연구 결과 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 금형의 냉각 성능 향상을 위하여 금형의 기능적 분리를 이용한 사출성형금형 설계 기술 및 직접식 금속 쾌속조형공정과 기계가공을 결합한 하이브리드 쾌속생산공정의 고냉각 특성 사출성형 금형 제작에 적용하는 기술을 확립하였다.

(2) 본 연구에서 설계/제작된 금형을 활용하여 시험 사출과 제품 특성 평가를 수행한 결과 기존 금형에 비하여 본 연구에서 개발된 금형으로 제작된 제품의 냉각/사출시간이 각각 80 % 이상, 60 % 이상 감소될 수 있음을 알 수 있었다.

(3) 또한, 본 연구에서 개발된 금형으로 제품을 제작할 경우 냉각시간이 3초까지 단축되어도 제품의 정밀도와 품질이 유지됨을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 “지역 혁신 사업 : 광주지역 금형 산업육성”의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 안동규, 양동열, 2005, 쾌속조형공정의 원리 및 동향, 한국정밀공학회지, Vol. 22, No. 10, pp. 7~16.
- [2] K. W. Dalgarno and T. D. Stewart, 2003, Manufacture of production injection mould tooling incorporating conformal cooling channels via indirect selective laser sintering, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 215, pp. 1323~1332.
- [3] E. Sachs, E. Wylonis, S. Allen, M. Cima and H. Guo, 2000, Production of injection molding tooling with conformal cooling channels using the three dimensional printing process, Polymer Engineering and Science, Vol. 40, No. 5, pp. 1232~1247.
- [4] M. Knights, 2003, Rapid tooling its faster in molding, too, Plastics Technology on line article, pp. 1~6.
- [5] 안동규, 박상오, 2006, DMT 공정을 이용한 고속냉각 사출금형 제작 방법, 한국정밀공학회 2006년도 추계학술대회 논문집, pp. 17~18.
- [6] <http://www.insstek.com>