

고속 냉각 특성을 가진 사출성형 금형 코어 제작 및 사출 성형

안동규[#]

Fabrication of Cores for the Injection Mould with a High Cooling Rate and Injection Molding Using the Fabricated Core

D. G. Ahn

(Received July 27, 2007)

Abstract

The objective of this paper is to investigate into the fabrication technology of cores for the injection mould with three-dimensional conformal cooling channels to reduce the cooling time. The location of the conformal cooling channels has been determined through the injection molding analysis. The mould has been manufactured from a hybrid rapid tooling technology, which is combined a direct metal rapid tooling with a machining process. Several injection molding experiments have been performed to examine the productivity and the validity of the designed mould. From the results of the experiments, it has been shown that the proposed mould can mold a final product within a cooling time of 3 seconds and a cycle time of 21 seconds, respectively.

Key Words : Conformal Cooling Channel, Injection Mould, Cover of a Vacuum Cleaner, Cooling characteristics, Rapid Tooling

1. 서 론

전통적인 제품 제작 방식인 절삭가공공정과 달리 한층씩 형상을 적층하면 제품을 제작하는 패속조형(Rapid Prototyping : RP) 공정의 경우 광조형(Stereolithography : SL) 공정이 개발된 후로 30여가지 이상의 공정이 개발되었다[1]. 패속조형공정의 경우 초기에는 개발 기간내에 발생하는 시행착오를 최소화하여 개발기간과 개발비용을 최소화하는 방향으로 연구가 진행되었다[2]. 그러나 최근에는 이들 패속조형공정중 중간 역전공정의 활용으로 인한 제품 치수 에러와 제품 제작시 추가적인 금형 제작 비용과 시간을 최소화하기 위하여 CAD 데이터에서 직접적으로 실물 프로토타입(True Prototype)을 제작할 수 있는 직접식 패속틀

링(Rapid Tooling : RT) 공정의 산업적 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3].

사출성형 금형 개발 분야에서는 제품의 생산성 향상과 변형 최소화를 위하여 형상 적응형 냉각채널(Conformal Cooling Channel) 을 가진 금형과 이종 재료 혼합식 금형 개발에 대한 패속툴링 공정의 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[4~5]. Dalgarno 등은 SLS 공정의 LaserForm 재료를 이용한 형상적응형 냉각채널을 가진 사출성형 금형의 제작으로 발생하는 냉각 효율과 생산성 및 경제성 향상에 대한 연구를 수행한 바 있다[6]. Winpeny 등은 Lastform 공정을 이용한 BMW 사의 Rover 25 모델 CVT 콘솔 제작용 형상적응형 냉각채널을 가진 사출성형 금형을 개발하여 금형 개발 비용과 개발 기간을 각각 54%와 33% 감소

[#] 교신저자: 조선대학교 기계공학과,
E-mail:smart@mail.chosun.ac.kr

시켰다[7]. Ahn 등은 DMT 공정[8]을 이용한 고속 냉각 금형 제작 방법에 대한 기초 연구를 수행한 바 있다[9].

본 연구에서는 형상 적응형 냉각수로를 가진 고속 냉각 사출성형 금형 코어 제작 방법에 개발을 수행하고자 한다. 금형 설계를 위한 냉각수로 위치의 사출 성형 특성 영향성에 대한 해석적 고찰을 수행하였다. 또한, 설계된 사출 성형 금형을 제작하기 위하여 하이브리드 패속톨링 방법을 활용하였다. 제작된 금형을 이용하여 시사출 실험과 제품 평가를 수행하여 개발된 금형의 효율성과 실용성을 검증하였다.

2. 금형 코어 형상 및 사출성형을 통한 냉각 채널 위치 결정

2.1 금형 코어의 형상 및 구조

본 연구의 대상 금형은 Fig. 1과 같이 111mm×128mm×94mm의 크기를 가지며, 총 6개로 구성된 분할식 금형으로 설계된 소형 청소기 커버 제작용 사출성형 금형이다.

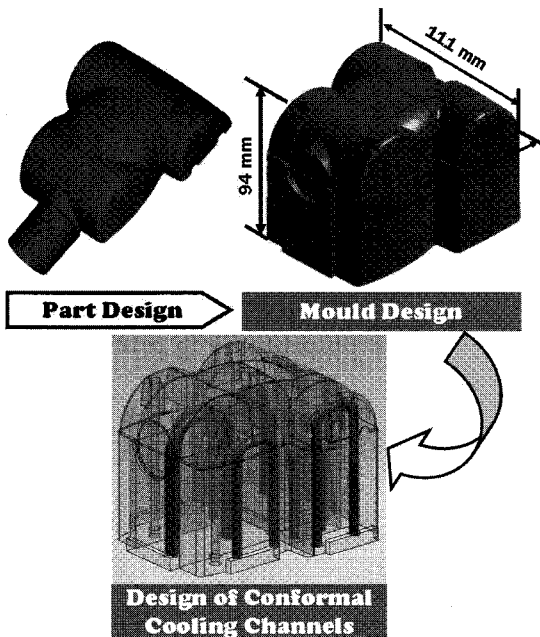


Fig. 1 Design of target mould

금형 내부 냉각수로는 Fig. 1과 같이 기본 설계되었고 냉각수로의 직경은 앞부분 가장 큰 냉각수

로의 경우 8mm이며, 나머지 5개 냉각수로는 6mm이다. 금형 내부 냉각수로 중 5개 부분은 형상 적응형 냉각수로를 적용하였으며, 추후 기계가공으로 제작될 금형 부분은 직선형 냉각 채널로 생성하였다.

2.2 사출 성형 해석 방법

설계된 제품의 충전/제품제작 특성 분석과 초기 사출압력/충진시간/형체력 결정 및 금형면과 냉각 채널 사이의 거리(ϵ)를 결정하기 위하여 사출성형 해석을 수행 하였다. 사출성형 해석은 Moldflow MPI V6.1를 사용하였다.

본 금형의 스프루는 초기 직경이 4mm인 원형 단면의 테이퍼형을 선정하였다. 러너는 직경 8mm인 콜드 러너를 사용하였으며, 게이트는 5.95mm×1.63mm의 면적을 가진 에지(Edge) 게이트로 설계하였다. 사출성형 해석을 위한 해석 격자와 채널 거리의 정의는 Fig. 2와 같다. 사출성형해석에 사용된 절점과 격자 개수는 각각 40,896개와 26,710개이다. 사출성형 재료는 ABS 수지를 사용하였다. 사출 해석에 사용된 금형면과 냉각 채널 사이의 거리는 각각 3.5mm, 18.5mm, 33.5mm 및 48.5mm이다.

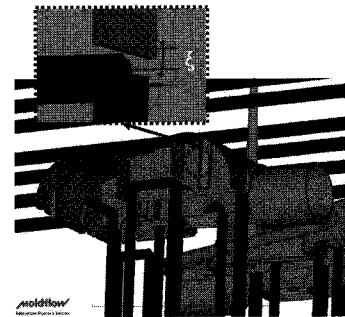


Fig. 2 Meshes of injection molding analysis

2.3 사출 성형 해석 결과 및 냉각채널 위치 결정

Table 1과 Fig. 3은 형상 적응형 냉각수로를 가진 소형 청소기 커버 금형에 대한 사출성형 해석 결과이다. 본 해석 결과 Table 1 및 Fig. 3과 같이 사출 시간 2.0초에서 금형내 수지의 완전 충전이 일어남을 알 수 있었다. Table 1의 결과에서 금형면과 냉각 채널 사이의 거리가 가까워질수록 제품의 냉각시간이 감소하는 것을 알 수 있었다.

Table 1 Results of injection molding analysis

ξ (mm)	Filled Time (sec)	Cooling Time (sec)	Injection Pressure (MPa)	Clamping Force (ton)	Avg. Shrinkage (%)
3.5	2.0	3.9	78.7	127.9	2.55
18.5	2.0	7.2	78.4	131.8	2.61
33.5	2.0	10.2	78.1	124.3	2.64
48.5	2.0	13.5	77.9	131.8	2.66

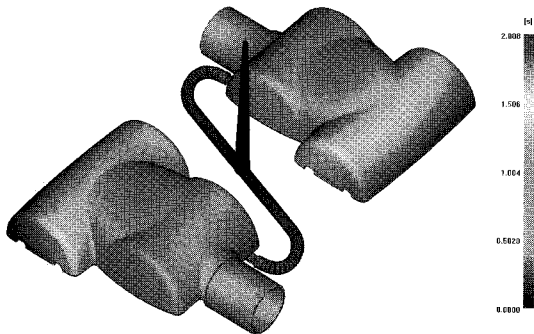


Fig. 3 Results of injection molding analysis(Filling characteristics, $\xi = 3.5\text{mm}$)

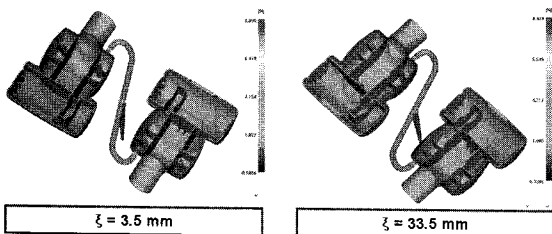


Fig. 4 Variation of volumetric shrinkages according to distance between mould surface and center of cooling channel

금형면과 냉각채널 사이의 거리 변화에 의하여 사출압력과 형체력이 각각 1MPa 및 4ton 내의 매우 작은 변화만이 발생함을 알 수 있었다. 제품의 체적 수축율은 Table 1 및 Fig. 4 와 같이 냉각시간에 관계없이 거의 일정함을 알 수 있었다.

위 결과를 이용하여 본 대상 금형의 설계시 금형면과 냉각채널 사이의 거리가 3.5mm로 결정하였다.

3. 금형 코어 제작

3.1 금형 코어 제작 설계 및 방법

대상 금형의 6개 세부 금형중 직선형 냉각수로 틀을 가지는 1개의 금형은 기계가공으로만 제작하

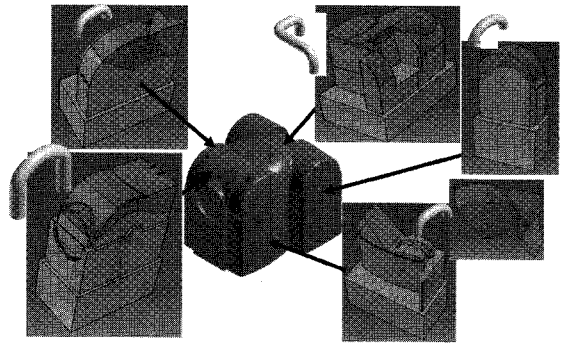


Fig. 5 Geometrical decomposition of the target mould

였으며, 5개의 3차원 형상적응형 냉각채널을 가진 금형은 Fig. 5와 같이 DMT 직접식 쾌속 틀링 공정과 기계가공공정을 혼합한 하이브리드 쾌속 틀링(Hybrid rapid tooling) 공정[11]을 활용하여 제작하였다. 금형 내부에 생성되는 냉각수로의 경우 냉각수 유동시 쾌속틀링으로 제작된 내부 금형면의 침식에 의한 냉각수로 막힘 현상을 제거하기 위하여 냉각수로 형성부에 동 파이프를 삽입하도록 하였다.

하이브리드 쾌속 틀링 공정을 적용하기 위해서는 기계가공과 쾌속틀링 적용부에 대한 금형 형상 분리가 필요하다. 본 연구에서는 Fig. 5 와 같이 금형 형상 분리면은 냉각수로의 질곡이 발생하는 부분중 금형면에 가장 가까운 면으로써, 냉각수로 삽입 후 레이저를 이용한 금형강 적층시 레이저와 냉각수로의 간섭이 발생하지 않는 면을 선택하였다.

DMT 쾌속틀링 공정으로 적층하여 생성하는 부분은 적층후 금형면 정밀도 향상을 위하여 수행하는 후가공 깊이를 고려하여 금형면을 수직 방향으로 1mm 오프셋 시켜 설계하였다. 또한, 오프셋된 금형면 생성시 중첩이 발생하고 쾌속틀링공정으로 정확한 형상이 구현되기 어려운 두께 1mm 이하의 수직형 리브 부분은 쾌속틀링용 CAD 데이터에서는 제외하고, 후가공 공정에서 구현되도록 설계를 하였다. 금형 제작 순서는 냉각수로를 가진 금형 구조부를 기계가공으로 제작한 후, 냉각수로용 동 파이프를 삽입하고 최종적으로 DMT 공정으로 금형 형상부를 생성하도록 하였다. 기계가공부의 금형 재료는 NAC 계열의 KP4M 재료를 선정하였으며, 쾌속틀링부는 KP4M 과 성분비가 유사하며 쾌속 틀링시 경계면의 결합이 매우 우수한 P21 재료를 사용하였다.

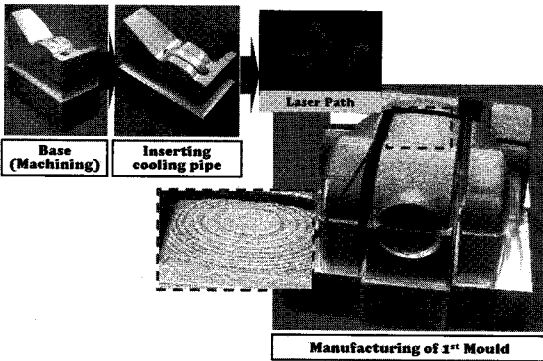


Fig. 6(a) Manufacturing procedure of 1st step mould

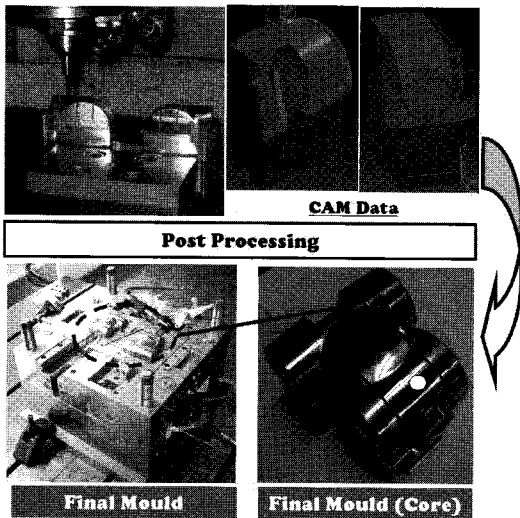


Fig. 6(b) Post-processing of 1st step mould and a finally manufactured mould

3.2 금형 제작 결과 및 고찰

후처리 되지 않은 1차 형상 금형은 Fig. 6(a)와 같이 금형 구조부를 기계 가공으로 제작하고 동파이프로 된 냉각수로를 삽입한 후, 그 위에 레이저 적층 경로에 따라 P21 재료를 DMT 공정으로 적층하여 제작하였다. 금형 제작 시간은 약 56 시간이 소요되었다. DMT 공정의 제작된 금형의 표면 조도를 측정할 결과 DMT 공정으로 적층된 부위의 평균 최대 조도(R_{max})가 약 $186\mu\text{m}$ 로 거친 표면을 나타내었다.

1차 형상 금형의 표면 조도 향상과 1mm 이하의 두께를 가지는 수직 리브의 형상 구현을 위하여 고속가공과 방전가공 및 래핑의 후처리 공정을 수행하였다. 후처리 공정에서는 1차 형상 금형 제작시 반영된 적층 후 가공량 1.0mm를 고려하여

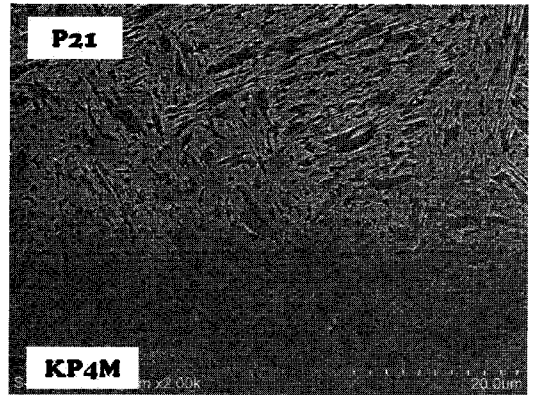


Fig. 7 Microstructures in the vicinity of the welded regions

고속가공 경로 데이터를 Fig. 6(b)와 같이 생성하였다. 최종 금형 형상은 Fig. 6(b)와 같다. 전체 후가공 시간은 약 75시간이 소요되었다. 이 결과로부터 최종 형상 금형 제작을 위하여 총 131시간이 소요됨을 알 수 있었다. 최종 금형에 대한 표면조도 측정 결과 평균 최대조도가 상면 $3.8\mu\text{m}$, 측면 $9.1\mu\text{m}$ 로 향상됨을 알 수 있었다.

기계가공부와 DMT 적층부의 결합 특성을 고찰하기 위하여 이용하여 Fig. 7과 같이 전자현미경으로 결합부 미세조직을 고찰하였다. 미세 조직 고찰 결과 기계가공부와 P21재료가 금속학적으로 완전히 결합되었음을 알 수 있었다.

4. 사출성형 실험 및 제품 특성 평가

4.1 사출성형 실험 및 제품특성 평가 방법

본 연구에서 제작된 금형의 냉각 특성과 제품 생산성을 확인하기 위하여 사출성형 실험을 수행하였다. 사출성형 실험은 사출 성형 해석 결과를 활용하여 250ton급 사출 성형기(Mitsubishi사 450 MN-60 모델)를 사용하였다. 사출성형 실험 재료는 ABS를 사용하였다. 사출 성형 실험은 사전 실험과 본 실험 2 단계로 수행하였다. 사전 실험으로 초기 제품 형상이 제작되는 사출 압력, 보압 시간 및 사출 시간을 선정하였다. 본 실험에서는 사전 실험에서 정해진 사출 압력과 사출 시간에 대하여 냉각 시간을 감소시키면서 수행하였다. 냉각시간은 3-15초 사이로 변화시키면서 실험을 수행하였다.

사출성형 실험으로 취득된 냉각 시간별 제품에 대한 제품 제작성, 제품 정밀도 및 제품 투명도

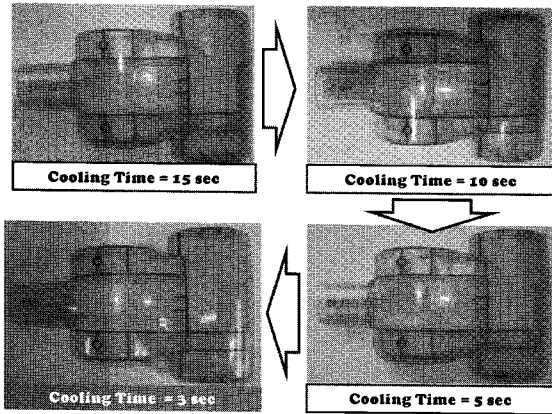


Fig. 8 Produced parts using the designed mould for each cooling time

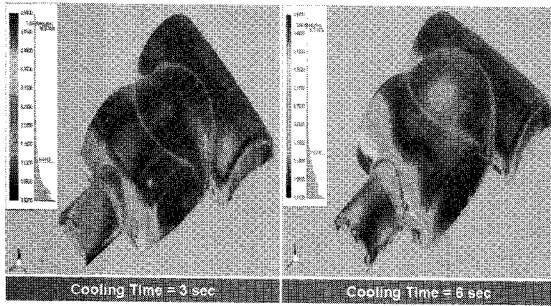


Fig. 9 Error map of final products for each cooling time(Positional errors)

분석을 통하여 금형의 냉각시간과 제품 제작시간을 도출하였다. 제품 정밀도는 접촉식 3차원 측정기(Renishaw 사, Cyclon series II)를 이용한 제품 위치 에러 및 제품 두께 변화를 측정하였다. 제품 투명도를 간접적으로 분석하기 위하여 탁도(HAZE) 측정기(Denshouku 사, NDH-300A)를 이용하여 제품의 탁도를 측정하였다.

4.2 사출 성형 실험 결과 및 고찰

본 대상 금형에 대한 사전 사출성형 실험을 통하여 제품 형상이 구현되는 사출 성형 조건이 사출압력, 사출 시간 및 보압 시간이 각각 88.4MPa, 2초 및 2초임을 알 수 있었다.

사전 실험에 도출된 사출 성형 조건에서 냉각 시간을 15초로부터 3초까지 감소시키면서 냉각 특성 실험을 수행하였다. 실험 결과 Fig. 8과 같이 냉각 시간을 3초까지 감소시켜도 외관상 제품에 결함이 없는 제품 성형할 수 있었다. 제품 성형을

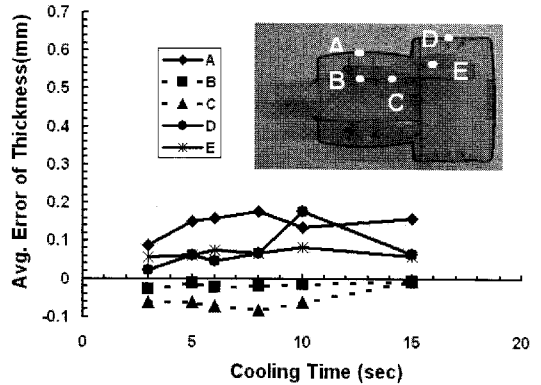


Fig.10 Influence of cooling time on average errors of thickness for ribs and side walls of the molded parts

위하여 소요되는 금형 개폐시간, 사출 재료 계량 시간 및 제품 추출 시간 등의 운용시간이 18초 정도 소요되었다.

3차원 측정기로 각 실험조건에 따라 제작된 제품의 CAD 데이터 대비 위치 정밀도를 측정하였다. 그 결과 Fig. 9와 같이 냉각 시간 3초 일때의 0.1mm의 평균 위치 오차를 나타내며, 측정점들 중 98.1%가 0.5mm의 위치 오차 범위내에 있음을 알 수 있었다. 그러나 냉각 시간 6초의 경우 0.12mm의 평균 위치 오차를 나타내었으며, 0.5mm의 위치 오차 범위내에 96.6%의 측정점이 포함되었다.

Fig. 10은 냉각시간에 따른 제품의 리브부 및 외곽부 기준 두께 대비 실제 제품에서 측정된 두께의 차이이다. Fig. 10에서 냉각 시간 15초 이내에서는 리브부와 외곽부의 두께가 설계 기준 치수 대비 $-0.07\text{mm} \sim 0.18\text{mm}$ 범위를 벗어나지 않음을 알 수 있었다. 냉각시간이 10초 이하에서는 냉각시간이 감소할수록 설계 두께 대비 제품 두께 차이가 미세하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한, 냉각 시간 3초의 경우 설계된 제품 형상과 $-0.06 \sim 0.08\text{mm}$ 의 두께 차이를 나타내는 제품을 제작할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 11은 냉각시간이 제품의 투명도에 미치는 영향을 간접적으로 측정하기 위하여 제품의 탁도를 측정된 결과이다. Fig. 11을 고찰하면 냉각시간이 15초에서 3초로 감소하는 동안 10초에서 탁도 12%로 감소한 후, 6초까지 냉각시간이 감소할수록 다시 탁도가 16%까지 증가한다. 또한, 냉각시간이 5초 이하가 되면 10-11% 대로 현저히 감소된 탁도를 지속적으로 나타낸다. 특히, 냉각시간 5초

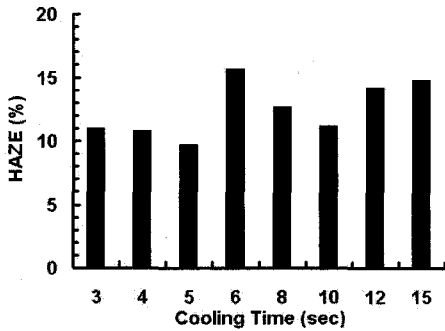


Fig.11 Influence of cooling time on the degree of HAZE

전후로 제품 탁도를 비교해 보면, 냉각시간 5초 이하인 경우가 냉각시간 6초 이상인 경우보다 1~6% 정도 탁도가 감소함을 알 수 있었다. 이 결과로부터 냉각시간이 5초 이하일 경우 투명도가 높은 제품을 제작할 수 있음을 알 수 있었다.

위 분석 결과들로부터 본 연구에서 설계된 금형을 진공 청소기 커버 제품 사출 성형 공정에 적용할 경우 냉각 시간 3초 및 제품 제작 시간 21초의 고속 냉각 사출성형 금형을 제작할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 진공 청소기 커버 제작용 형상 적응형 냉각수로를 가진 고속 냉각 사출성형 금형 코어 개발을 위한 금형 설계/제작 방법에 대하여 연구를 수행하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 사출 성형 해석을 이용하여 금형의 냉각 성능이 향상되는 형상적응형 냉각채널의 금형 내부 위치 및 배치를 결정할 수 있었다.

둘째, 금형 형상 분리 설계 기법과 하이브리드 쾌속 툴링 공정을 본 대상 금형 개발에 적용함으로써 냉각성능이 현저히 향상되는 형상적응형 냉각수로를 내부가 형성된 사출 성형 금형을 구현할 수 있었으며, 금형 제작 효율을 향상시킬 수 있었다. 또한, 제작된 금형에 대한 쾌속 툴링과 기계가공 경계영역의 미세 조직 분석을 통하여 경계영역의 결합 특성을 검증할 수 있었다.

셋째, 본 연구에서 제작된 금형을 활용하여 사출 성형 실험과 제품 특성 평가를 수행한 결과, 형상적응형 냉각수로를 가진 사출 성형 금형을 청소기 커버 제품 제작에 적용할 경우 냉각 시간 및 제

품 제작 시간이 각각 3초 및 21초까지 단축될 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 냉각시간이 3초인 경우 제품의 평균 위치 오차, 격벽부 두께 오차 범위 및 제품의 탁도가 각각 0.1mm, -0.06~0.08mm 및 11%인 양호한 제품이 제작됨을 알 수 있었다.

추후 추가적인 금형 내부 열전달 해석 및 사출 성형 공정중 금형 내부 온도 변화 분석을 수행하여, 금형의 냉각특성 향상에 대한 정량적 분석을 수행할 예정이다.

후 기

본 논문은 2007년도 조선대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] T. T. Wohlers, 2006, Wohler's Report 2006 : Rapid prototyping & manufacturing state of the industry annual worldwide progress report, Wohler's Associates, Inc.
- [2] D. Y. Yang, D. G. Ahn, C. H. Lee, C. H. Park, T. J. Kim, 2002, Integration of CAD/CAM/CAE/RP for the development of metal forming process J. Mater. Process. Technol., Vol. 125-126, pp. 26~34.
- [3] Z. Shin, Y. Yan, R. Zhang, Q. Lu, L. Guan, 2003, Rapid Manufacture of Metal Tooling by Rapid Prototyping, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 21, pp. 469~475.
- [4] <http://www.pomgroup.com/atmfortooling.asp>
- [5] M. Knights, 2003, Rapid tooling its faster in molding, too, Plastics Technology on line articles, pp. 1~6.
- [6] K. W. Dalgarno, T. D. Stewart, 2003, Manufacture of production injection mould tooling incorporating conformal cooling channels via direct selective laser sintering, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 215, pp. 1323~1332.
- [7] D. I. Wimpenny, B. Bryden, I. R. Pashby, 2003, Rapid laminated tooling, J. Mater. Process. Technol., Vol. 138, pp. 214~218.
- [8] <http://www.insstek.com>
- [9] 안동규, 박상오, 2006, DMT 공정을 이용한 고속냉각 사출금형 제작 방법, 한국정밀공학회 2006년도 추계학술대회 논문집, pp. 17~18.