

3 차원 사출성형 해석을 통한 냉장고 플라스틱 서랍 제작용 사출성형 금형의 형상적응형 냉각수로 설계[§]

안동규^{*†}, 박민우^{*}, 박승화^{**}, 김형수^{***}

* 조선대학교 기계공학과, ** (주)이디앤씨, *** (주)우성정공

Design of Conformal Cooling Channels for the Mould of a Plastic Drawer of a Refrigerator by Analysis of Three-Dimensional Injection Moulding

Dong Gyu Ahn^{*†}, Min Woo Park^{*}, Seung Hwa Park^{**} and Hyung Su Kim^{***}

* Dept. of Mechanical Engineering, Chosun Univ.,

** ED&C, Ltd., *** Woosung Precision Industries Co. Ltd.

(Received May 11, 2010 ; Revised July 16, 2010 ; Accepted July 16, 2010)

Key Words : Injection Moulding Analysis(사출성형해석), Uniform Cooling(균일냉각), Conformal Cooling Channels(형상적응형 냉각수로), Injection Mould(사출금형), Product Quality(제품품질), Productivity(생산성)

초록: 본 논문의 목적은 3 차원 사출성형해석을 통한 냉장고 플라스틱 서랍 제작용 사출성형 금형의 형상적응형 냉각수로 설계이다. 바람직한 형상적응형 냉각수로의 설계를 얻기 위하여 형상적응형 냉각수로의 직경과 위치가 사출성형 특성과 제품의 품질에 미치는 영향을 정량적으로 고찰하였다. 해석결과로부터 제품의 균일 냉각과 변형 최소화가 가능한 최적의 형상적응형 냉각수로의 설계를 도출할 수 있었다. 본 연구에서 제안된 사출성형 금형과 기존의 직선형 냉각수로의 사출성형 금형을 냉각/제품 제작 시간 및 제품 품질 측면에서 비교한 결과, 형상적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형이 제품의 생산성과 품질을 동시에 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract: The objective of this study is to design the conformal cooling channels for the mould of a plastic drawer of a refrigerator by analysis of three-dimensional injection molding. In order to obtain the desired design of the conformal cooling channels, the influence of the diameter and the position of the conformal cooling channels on the moulding characteristics and the product qualities were quantitatively examined. From the results of the examination, an optimal design of the conformal cooling channels, which ensures uniform cooling and minimum potential deformation of the molded drawers, was estimated. By comparing the designed mould and a conventional mould with linear cooling channels from the viewpoints of the product qualities as well as cooling and cycle times, it was shown that the mould with conformal cooling channels can simultaneously improve the productivity of the injection moulding process and the product qualities.

1. 서론

최근 청정생산기술개발의 일환으로 동일 공정/설비를 사용하지만 제품 생산성을 향상시키는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 생산성 향상과 경량화를 위하여 가전/자동차/전자제품 등의 내·외장품으로 플라스틱 제품이 많이 활용

되고 있다.⁽¹⁾ 플라스틱 제품은 대량 생산이 가능한 사출성형공정으로 제작되는데, 제품 제작 시간과 제품 품질은 금형의 냉각 방법에 따라 현저히 달라지게 된다.⁽²⁾ 일반적으로 사출성형공정에서 냉각 특성은 금형 내부의 냉각수로 설계에 매우 의존적이다.⁽³⁾ 고품질의 플라스틱 제품을 고생산성으로 제작하기 위해서는 균일/고속 냉각이 가능한 금형 설계가 필수적이다.

최근 사출성형 금형 설계/개발자들의 경우 사출성형 제품의 균일/고속 냉각을 구현하기 위하여 기존의 직선형 냉각수로와 달리 냉각수로가 제품 형상에 따라 배열된 형상적응형 냉각수로의 도입

§ 이 논문은 2010년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2010. 4. 22-23, 제주 라마다프라자) 발표논문임.

† Corresponding Author, smart@mail.chosun.ac.kr

© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

에 대하여 많은 관심을 보이고 있다.⁽⁴⁾ 특히 형상 적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형의 경우 직접 금속 캐삭조형 공정이 적용되기 시작하면서, 적용 범위가 확대되고 있다.⁽⁵⁾ 형상 적응형 냉각수로를 가진 사출성형금형 개발에서 제품의 균일/고속냉각이 구현되기 위해서는 각 금형에 적합한 형상 적응형 냉각수로의 설계가 도출되어야 한다.⁽⁶⁾

Jacobs 등⁽⁷⁾은 유한요소해석을 통하여 꽃병 받침 제품 제작용 직선형 냉각수로를 가진 사출성형 금형과 형상적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형의 2 차원 열전달 특성에 대한 기초적인 해석을 수행 하였다. Xu 등⁽⁸⁾은 1 차원 냉각 해석을 통한 컵형 제품 제작용 형상적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형의 냉각수로 위치 설계를 수행한 바 있다. Ferreira 등⁽⁹⁾은 에폭시 몰딩으로 제작된 위치가 결정된 형상적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형의 충전 특성, 제품 특성 및 냉각 시간을 C-mold Quick fill 해석 프로그램으로 분석하였다. Au 등⁽¹⁰⁾은 MPI 3.1 을 이용하여 골격형 구조의 형상 적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형의 충전/냉각/정적변형 특성에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 3 차원 사출성형해석을 통하여 냉장고 플라스틱 서랍 제작용 사출성형 금형의 형상적응형 냉각수로의 위치 및 직경에 대한 설계를 도출하고자 한다. 형상적응형 냉각수로의 설계를 도출하기 위하여 냉각수로의 위치와 크기가 충전, 냉각 및 후변형 특성에 미치는 영향에 대하여 정량적으로 분석하고자 한다. 최종적으로 직선형 냉각수로를 가진 기존 사출성형 금형과 형상적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형을 냉각/제작 시간 및 제품 특성 측면에서 비교/분석하여 제안된 사출성형 금형의 생산성과 제품특성 향상 정도를 고찰하고자 한다.

2. 금형 및 형상적응형 냉각수로 설계

Fig. 1 은 본 연구 대상인 냉장고용 플라스틱 서랍 제작용 사출성형 금형이다. 금형의 크기는 265 mm × 280 mm × 155 mm 이다. 금형 내부에의 냉각수로는 Fig. 1 과 같이 10 개의 지름이 10 mm 인 직선형 냉각수로와 1 개의 형상적응형 냉각수로 및 16 개의 배플(baffle)로 구성하였다. 배플 적용 부위는 입/출구로 구성된 직선형 냉각수로의 삽입이 어려운 공간에 대해서 적용하였으며, 배플의 직경은 12 mm 와 16 mm 를 위치에 따라 선택적으로 적용하였다.

형상적응형 냉각수로의 기본 설계는 Fig. 2 와 같다. 형상적응형 냉각수로의 최종 설계는 3 차원 사출성형해석 결과로부터 도출하였다. 형상적응형 냉각수로의 설계 도출을 위한 설계변수는 Fig. 2 와 같이 냉각수로의 중심부와 제품 바닥면까지의 거리(L)와 냉각수로의 직경(D)으로 선정하였다. 3 차원 사출성형해석에 사용된 냉각수로의 직경은 4 mm, 5mm 및 6 mm 이며, 냉각수로의 중심부와 제품 바닥면까지의 거리는 32 mm, 37 mm 및 42 mm 이다. 제품 치수는 Fig. 2 와 같다.

냉각수로의 직경과 냉각수로의 중심부와 제품 바닥면까지의 거리를 조합하여 Table 1 과 같은 총 9 가지의 형상적응형 냉각채널 설계안 및 사출성형해석 조건을 도출하였다.

3. 사출 성형 해석

3 차원 사출성형 해석은 MPI 6.1 을 사용하였다. 런너 시스템 및 냉각수로의 해석 격자는 Fig. 3 과

Table 1 Design alternatives of conformal cooling channels

Design	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D (mm)	4	4	4	5	5	5	6	6	6
L (mm)	32	37	42	32	37	42	32	37	42

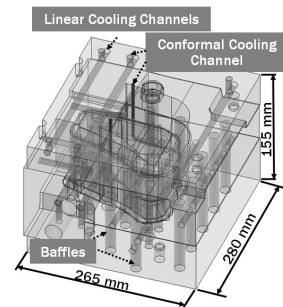


Fig. 1 Mould design of a plastic drawer for refrigerator

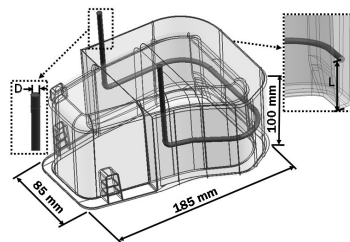


Fig. 2 Design of conformal cooling channels and products

같다. 런너 시스템은 사출 압력의 손실이 적고 성형성이 좋은 스프루 게이트(sprue gate)를 사용하였으며, 스프루 게이트의 형상은 시작 및 끝부분의 지름이 각각 3 mm 와 6.5 mm 인 테이퍼형이었다. 사출성형 해석에 사용된 격자는 제품과 냉각수로에 대하여 각각 삼각형 쉘(shell)과 보(beam) 요소이다. 절점과 쉘 격자 및 보 격자 수는 각각 33,074 개, 65,076 개 및 600 개이다.

사출성형 해석에 사용된 재료는 내충격성 폴리스틸렌(high impact polystyrene: HIPS) 수지를 사용하였다. 사출성형 해석을 위한 HIPS 수지의 PVT (pressure-volume-temperature) 선도는 MPI 6.1 의 데이터베이스를 활용하였다. 수지 사출시간, 보압시간 및 냉각시간은 각각 2.3 sec, 10.0 sec 및 17.7 sec 이었다. 그리고 보압크기는 최대 사출압력의 80 % 로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 충전 및 성형 특성

Table 2 는 3 차원 사출성형해석 결과 취득된 형상적응형 냉각수로 설계안들에 대하여 산출된 충전시간, 최대사출압력 및 형체력이다. Table 2 에서와 같이 형상적응형 냉각수로의 위치와 직경이 충전시간에 미치는 영향은 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 Fig. 4 와 같이 형상적응형 냉각수로의 위치와 직경이 변하여도 동일 충전 형태를 나타내었다. 최대 사출압력과 형체력은 각각 47.3 ~ 48.6 MPa 및 53.0 ~ 55.3 tons 범위였다. 또한, 형상적응형 냉각수로의 직경과 위치가 사출압력과 형체력에 미치는 영향은 각각 1.3 MPa 와 2.3 tons 정도로 매우 작음을 알 수 있었다. 제품의 수축율은 모든 설계조건에서 평균 3.7 ~ 3.8 % 범위와 최대 6.8 % 이내를 나타내었다. 제품 내 웰드라인(weldline) 생성 위치는 형상적응형 냉각수로의 위치와 직경에 관계없이 Fig. 5 와 같은 영역에 동일하게 나타났으며, 모든 설계 안에서 웰드라

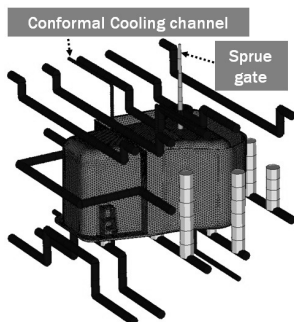


Fig. 3 Meshes of injection molding analysis

인 생성각이 최대 90 ° 이하로 생성됨을 알 수 있었다. 제품 제작시간은 약 30 초 정도 소요되었다.

4.2 온도 분포

Fig. 6, 7, 8 및 Table 3 은 3 차원 사출성형해석 결과 얻어진 형상적응형 냉각수로의 직경과 위치가 제품 내부 온도분포에 미치는 영향을 나타낸다.

Fig. 6 및 Table 3 에서와 같이 제품 취출시점에서 형상적응형 냉각수로에 의하여 제품내 열전달이 영향을 받는 영역 제품 포켓부(pocket region)에서는 냉각수로의 직경이 증가되고 냉각수로 중심부와 제품 바닥면 사이 거리가 감소 될수록 제품내 A 와 B 영역의 온도 편차가 현저히 감소하는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 사용된 9 가지 형상적응형 냉각수로 설계안중 냉각수로의 직경이 6 mm 이고 냉각수로 중심부와 제품 바닥면 사이 거리가 32 mm 일 때, 제품 취출시 A 와 B 영역의 온도 편차가 2.7 ° C 로 가장 작게 나타남을 알 수 있었다.

Table 2 Results of injection moulding analysis

Design	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Filling time (sec)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Max. injection pressure (MPa)	48.3	47.7	47.3	48.5	48.2	47.3	48.6	48.3	47.6
Clamping force (tons)	55.0	53.7	53.0	55.3	54.8	53.0	55.0	54.9	53.5
Mean shrinkage (%)	3.7	3.8	3.8	3.7	3.8	3.8	3.7	3.7	3.8

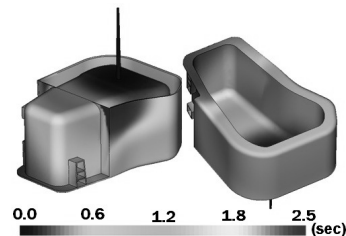


Fig. 4 Filling patterns

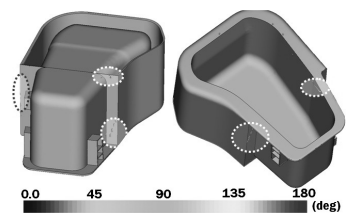


Fig. 5 Formation of weldlines

Table 3 Temperature deviation between A region and B region at the ejection time

Design	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Deviation (°C)	3.5	8.9	14.3	3.1	8.4	13.9	2.7	8.1	13.7

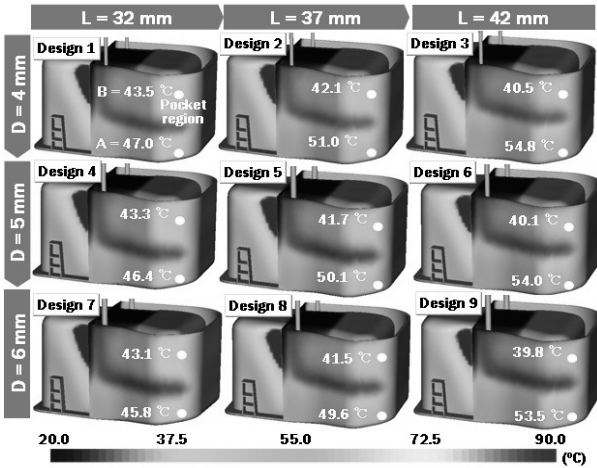


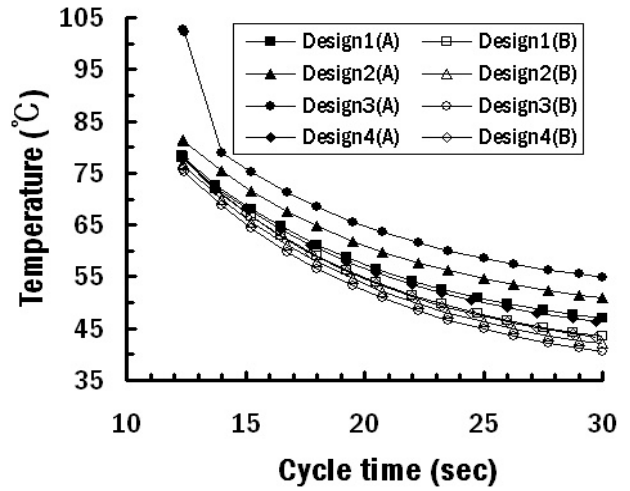
Fig. 6 Temperature distribution in the moulded products at the ejection time (cycle time = 30 sec)

Fig. 7은 제품 냉각공정에서의 각 설계안별 시간에 따른 A와 B 영역 온도 변화이다. Fig. 7에서 형상적응형 냉각수로의 직경이 6 mm 이고 냉각수로 중심부와 바닥면 사이 거리가 32 mm 인 설계안 7(Design 7)이 시간에 따른 A와 B 영역 온도 편차를 가장 작게 발생시킴을 알 수 있었다.

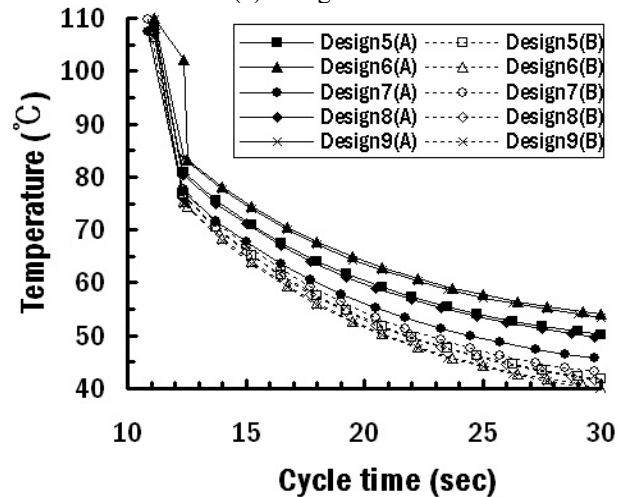
Fig. 8에서와 같이 취출시 가장 높은 온도를 나타내는 제품바닥부의 경우, 형상적응형 냉각수로 중심부와 제품 바닥면 사이의 거리가 32 mm 일 때 가장 낮은 온도 분포를 나타냄을 알 수 있었다. 이 결과로부터 설계안 7을 선정할 경우, 제품내 열량을 가장 균일하고 효율적이며 금형내 냉각수로 전달시킬 수 있음을 알 수 있었다.

4.3 변형 특성

Fig. 9는 형상적응형 냉각수로의 설계조건에 따른 제품의 변형 특성 변화를 나타낸다. Fig. 9에서 형상적응형 냉각수로의 중심부와 바닥면 사이 거리가 증가하고 형상적응형 냉각수로의 직경이 감소 할수록, 변형량이 0.65 mm 이상인 제품 테두리부의 변형이 큰 영역이 상단부에서 하단부로 확대되고 전체적인 변형량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 형상적응형 냉각수로의 중심부와 바닥면 사이 거리가 증가하고 형상적응형 냉각수로의 직경이 감소 할수록 제품 테두리부의 후변형량 차이가



(a) Designs 1~4



(b) Designs 5~9

Fig. 7 Variation of temperature-cycle time curves according to the design of conformal cooling channels (in the A and B regions of the moulded product)

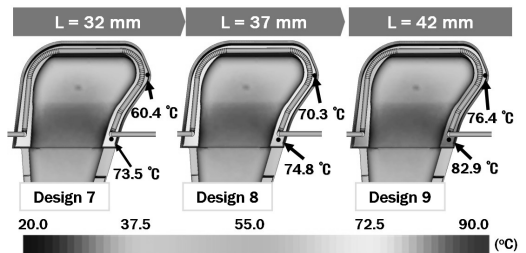


Fig. 8 Influence of distance between the center of cooling channel and the bottom surface of product on the temperature distribution in the product (D = 6mm, cycle time = 30 sec)

크게 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한, 9가지 형상적응형 냉각수로 설계안중에서 설계안 7에서 가장 균일한 제품 변형이 나타냄을 알 수 있었다. 이 현상은 설계안 7의 형상적응형 냉각수로 구조가 제품내 열량을 가장 균일하게 금형내 냉각수로

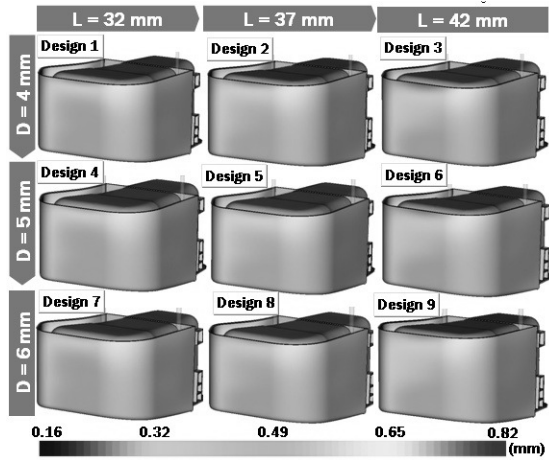


Fig. 9 Deformation characteristics of the products

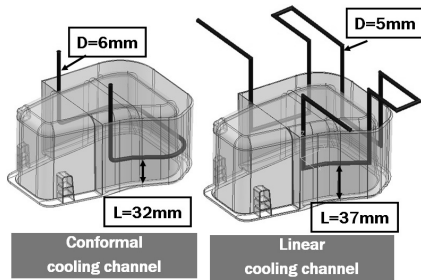


Fig. 10 Designs of conformal and linear cooling channels

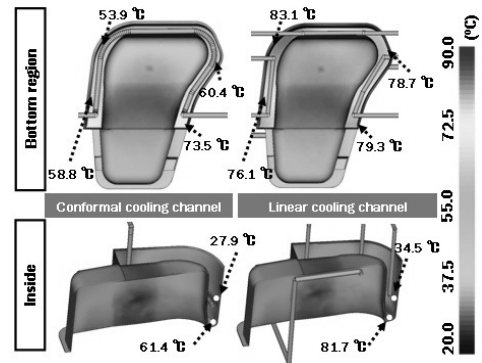
로 전달시켜, 제품이 균일 변형하도록 유도시키기 때문에 사료된다.

위 결과들로부터 냉장고 플라스틱 서랍 제작용 사출성형 금형의 적절한 형상적응형 냉각수로 설계를 냉각수로 직경 6 mm 이고 냉각수로 중심부와 제품 바닥면 사이 거리 32 mm 인 설계안 7 (Design 7)로 결정하였다.

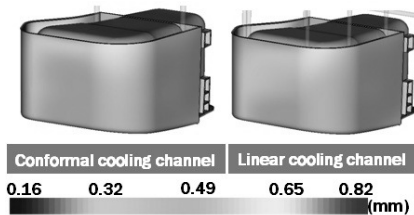
4.4 형상적응형 냉각수로를 가진 금형과 직선형 냉각수로를 가진 금형의 제품 제작 특성 비교

본 연구결과 취득된 최적 형상적응형 냉각수로 설계 조건으로 설계된 사출성형 금형의 제품 제작 특성 향상 정도를 확인하기 위하여, Fig. 10 과 같이 기존 직선형 냉각채널을 가진 사출성형 금형과 제품 제작 특성을 3 차원 사출성형해석을 통하여 비교/분석하였다.

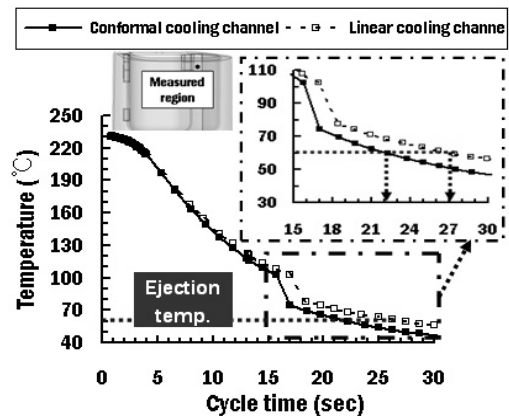
Fig. 11 은 형상적응형 냉각수路与 직선형 냉각수로를 가진 사출성형 금형에 대한 3 차원 사출성형해석 결과이다. Fig. 11(a)에서와 같이 형상적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형으로 제작된 제품 내부의 온도 분포가 직선형 냉각수로를 가진 금형으로 제작된 제품 내부의 온도분포 보다 균일한 온도 분포를 나타낼 수 있었다. 또한 직선형 냉각수로 사용시 냉각



(a) Temperature distribution at the ejection time



(b) Deformation characteristics



(c) Cooling characteristics

Fig. 11 Comparison of the moulding characteristics of the designed mould with those of the previously designed mould

이 잘되지 않는 곡률을 가지는 내부 영역에서도 냉각이 효율적으로 이루어짐을 알 수 있었다.

Fig. 11(b)에서 형상적응형 냉각수로를 도입할 경우 제품내 균일 변형 유도과 최대 변형량 감소가 동시에 가능함을 알 수 있었다. Fig. 11(c)와 같이 사출성형 시간에 따른 제품 내부의 온도 변화를 비교한 결과, 본 제품에 형상적응형 냉각수로를 사용할 경우 제품의 급속 냉각이 가능하고 제품 취출 시간을 약 5 초 정도 단축시킬 수 있음을 알 수 있었다.

위 결과로부터 형상적응형 냉각수로를 가진 플라스틱 냉장고 부품제작용 사출성형 금형을 적용할 경우, 기존 직선형 냉각수로를 가진 사출성형

금형에 비하여 제품 특성과 생산성을 매우 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 3 차원 사출성형 해석을 통하여 냉장고 플라스틱 서랍 제작용 사출성형 금형의 형상적응형 냉각수로 설계에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 형상적응형 냉각수로 직경과 위치가 제품 충전, 성형, 온도 분포 및 변형 특성들에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 분석 결과 제품 충전과 성형 특성은 형상적응형 냉각수로 설계에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 그러나, 제품 내부 온도 및 변형량 분포는 냉각수로의 직경이 증가되고 냉각수로 중심부와 제품 바닥면 사이 거리가 감소 할수록 균일한 분포가 나타남을 알 수 있었다. 이 결과로부터 적절한 형상적응형 냉각수로 설계를 냉각수로 직경 6 mm 이고 냉각수로 중심부와 제품 바닥면 사이 거리 32 mm 인 설계안 7 (Design 7)로 결정할 수 있었다.

둘째, 적절한 형상적응형 냉각수로 설계 조건으로 설계된 사출성형 금형과 직선형 냉각채널을 가진 사출성형 금형을 제품 제작 측면에서 비교/분석하였다. 그 결과 형상적응형 냉각수로 도입할 경우, 직선형 냉각수로에 비하여 제품 내부에 고속/균일 냉각이 가능하고 직선형 냉각수로 사용시 냉각이 잘되지 않는 곡률을 가지는 영역에서도 냉각이 효율적으로 이루어짐을 알 수 있었다. 또한 형상적응형 냉각수로 도입시 제품 품질과 생산성의 향상이 가능함을 알 수 있었다.

추후 본 연구결과로 도출된 형상적응형 냉각수를 가진 플라스틱 냉장고 부품제작용 사출성형 금형 설계를 금형 제작에 적용하고, 제작된 금형으로 사출 성형 실험을 수행하여 제안된 형상적응형 냉각수로의 효율성을 입증할 예정이다.

참고문헌

(1) Spina, R., 2004, "Injection Moulding of Automotive

- Components: Comparison between Hot Runner System for a Case Study," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 155-156, pp. 1497~1504.
- (2) Xu, R. A. and Sachs, E., 2009, "Rapid Thermal Cycling with Low Thermal Inertia Tools," *Polymer Engineering and Science*. Vol. 49, Issue 2, pp. 305~316.
- (3) Lin, Z. C. and Chou, M. H., 2002, "Design of the Cooling Channels in Nonrectangular Plastic Flat Injection Mold," *Journal of Manufacturing System*, Vol. 21, No. 3, pp. 167~186.
- (4) Dalgarno, K. W. and Stewart, T. D., 2003, "Manufacture of Production Injection Mould Tooling Incorporating Conformal Cooling Channels via Indirect Selective Laser Sintering," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 215, No. 7, pp. 1323~1332.
- (5) Levy, G. N., Schindel, R. and Kruth, J. P., 2003, "Rapid Manufacturing and Rapid Tooling with Layer Manufacturing (LM) Technologies, State of the Art and Future Perspectives," *CIRP Annals-Manufacturing Technologies*, Vol. 52, No. 2, pp. 589~609.
- (6) Ahn, D. G., 2007, "Fabrication of Cores for the Injection Mould with a High Cooling Rate and Injection Molding Using the Fabricated Core," *Transactions of Material Processing*, Vol. 16, No. 7, pp. 549~554.
- (7) Jacobs, P. F., 2000, "New Frontiers in Mold Construction: High Conductivity Materials & Conformal Cooling Channels," *Proceedings of ASME Manufacturing in Engineering*, MED-Vol. 11, pp. 389~396.
- (8) Xu, X., Sachs, E. and Allen, S., 2001, "The Design of Conformal Cooling Channels in Injection Molding Tooling," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 41, No. 7, pp. 1265~1278.
- (9) Ferreira, J. C. and Mateus, A., 2003, "Studies of Rapid Soft Tooling with Conformal Cooling Channels for Plastic Injection Molding," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 142, pp. 508~516.
- (10) Au, K. M. and Yu, K. M., 2007, "A Scaffolding Architecture for Conformal Cooling Design in Rapid Plastic Injection Moulding," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 34, pp. 496~515.