

우레탄레진(TSR-755)을 이용한 시작형몰드의 냉각채널 배치에 따른 영향 해석

김광희^{1*}, 김정식², 이윤영²

¹(재)송도테크노파크 기술혁신본부, ²(재)송도테크노파크 디지털설계기공실

The Effect of cooling channel in prototype mold(TSR-755)

Kwang-Hee Kim^{1*}, Jeong-Sik Kim² and Yun-Young Lee²

¹Division of Technical Innovation, Songdo Technopark

²Digital Design & Machining Dept., Songdo Technopark

요약 본 연구에서는 시작형 몰드재료로 우레탄 레진(TSR-755)을 이용하여 레이저 조형으로 다양한 형태의 냉각채널을 가진 몰드로 가공했을 경우, 사출성형 상용패키지(Simpoe-Mold)를 사용하여 냉각채널 변화에 따라 사출물의 냉각시간과 변형량을 비교 검토 하였다. 해석결과, 사출물 주변의 적절한 냉각채널배치로 기존 금속재질의 시작형 몰드 대비 19% 최대 변형량 감소와 46%의 냉각시간 단축이 가능한 것으로 나타났다.

Abstract The urethane based on prototype mold is very useful for making prototype. Especially, the method of stereolithography mold was turned out to be rapid and accurate 3-dimensional modeling data. Urethane resin (TSR-755) has heat resistant and is good for make hundreds of prototypes. In this study, we compared with various designed cooling channel and analyzed of cooling effect and deformation using commercial code Simpoe-Mold for injection mold. As a result, efficiently arranged cooling channel could make 19% of shrinkage to reduce and 46% cooling time to reduce.

Key Words : Urethane Resin, Cooling Channel, Prototype, Mold, Cooling Time

1. 서론

제품 개발과정에서 제품설계 후 시제품제작을 통한 성능과 조립성, 생산성의 평가는 제품개발의 성공을 좌우하는 매우 중요한 과정이다.

지금까지 제품의 조립성과 기능성, 디자인을 평가하기 위해 필요한 시제품은 수십개 미만일 경우에도 대부분 금형을 통해 제작하였으므로 이에 따른 개발기간과 비용 부담이 컸다.

최근에 시제품 제작과 관련하여 다양한 기술의 도입과 함께 제품개발과정에서 시제품제작에 따른 비용과 시간적 부담을 최소화하려는 많은 시도가 진행되고 있다.

그 중 액상의 우레탄 재질을 레이저로 경화, 적층하는 레이저조형 몰드는 기존의 시작형 금형과 기존의 시작형

금형과 레이저조형의 장점을 조합함으로써 시제품제작에 따른 비용과 시간을 절감해주는 방법이라고 할 수 있다.

[표 1] 시제품 제작방법 비교 [1]

| 공법 | 소요시간* | 상대적품질* | 상대원가* |
|--------------|-------|--------|-------|
| CAD Modeling | 1 | 2 | 1 |
| 기계가공 | 1 | 7 | 10 |
| 레이저조형 | 3 | 5 | 7 |
| 주형 | 3 | 5 | 5 |
| 사출성형 | 10 | 10 | 3 |

* 공법별 상대적 비교 수치를 나타냄

그림 1은 우레탄 원료의 레진으로 제작된 시작형 몰드로 비교적 단순한 형상의 화장품용기, 휴대폰 커버 등을 사출한 예이다.

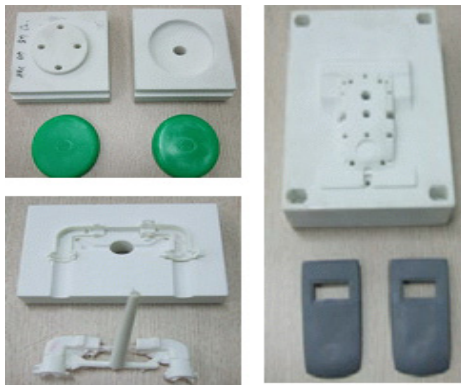
*교신저자 : 김광희(kkhkbs@step.or.kr)

접수일 09년 02월 12일

수정일 09년 04월 10일

게재확정일 09년 04월 22일

레이저 조형의 적층방식으로 제작하므로 조형시간이 빠르고 제품의 형상의 제한이 적음은 물론 몰드 주변 냉각채널을 자유롭게 설계할 수 있다. 또한, 최근 지속적으로 개발되고 있는 강성이 보완된 재질을 적용 할 경우, 기존 시작형 금형을 대체하여 수백개 이내의 시험사출에 적용할 수 있는 것으로 알려졌다.



[그림 1] 시작형 몰드를 이용한 시제품 제작 예

[표 2] TSR-755의 물성치 [2]

| 구분 | 물성치 |
|---------------------------|--------------|
| viscosity[mPa·s] at 25℃ | 6,000-10,000 |
| Specific gravity at 25℃ | 1.50 |
| Tensile strength[MPa] | 75 |
| Elongation[%] | 1-2 |
| Flexural strength[MPa] | 133 |
| Flexural modulus[MPa] | 14,500 |
| Surface hardness(Shore D) | 93 |
| HDT @ 1.81 MPa[℃] | 264 |

본 연구에서는 사출성형해석 상용패키지인 Simpoe-Mold를 사용하였으며, 몰드재질은 폴리우레탄 재질(일본 CMET사, TSR-755)을 이용하여 컵형태의 제품을 시작형 몰드로 만들어 사출성형 할 경우, 냉각채널의 배치에 따른 시험사출품의 최대 변형량을 비교하였다.

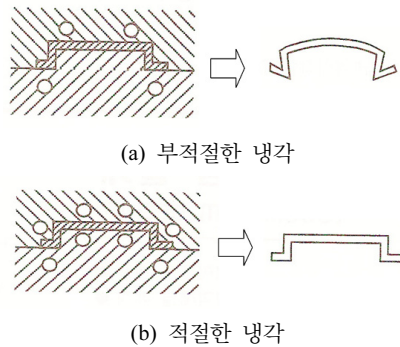
다음의 표2 은 사출해석에 사용된 우레탄아클릴레이트 재질인 TSR-755의 물성치를 나타내는데, 표면경도가 높고 수축이 적으며 내열성이 다른 레진에 비해 우수함을 나타낸다.

2. 해석 방법

2.1 냉각시스템 개요

사출성형 제품생산에서 금형 냉각은 전체 사이클의

2/3이상 차지하므로 효율적인 냉각회로 설계는 냉각시간을 단축하여 생산성을 향상시킨다. 또한 적절한 냉각채널을 통한 균일한 냉각은 잔류응력을 줄이고 치수정밀도를 유지시켜 성형품질을 향상시킨다.[3]



[그림 2] 냉각채널 설치에 따른 제품 비교

이론적인 냉각시간은 가장 두꺼운 제품 두께의 제품 또는 가장 큰 러너 지름의 1.6 제곱에 비례하며 다음과 같이 나타낸다.

$$T_{cool} \propto \frac{(t_{max})^2}{\alpha} \quad (1)$$

$$T_{cool} \propto \frac{(d_{max})^{1.6}}{\alpha} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{k}{c_p \rho} \quad (3)$$

T_{cool} : cooling time

t_{max} : maximum thickness

d_{max} : maximum runner diameter

α : thermal diffusivity

k : thermal conductivity

c_p : specific heat at constant pressure

따라서 제품의 두께가 2배가 되면 냉각시간은 4배가 된다.[4]

2.2 설계변경 인자

금형설계에서 다음과 같은 냉각채널 인자를 고려해야 한다.

- 냉각채널 위치 및 크기
- 냉각채널 배치와 연결
- 냉각채널회로의 길이

• 냉각수의 유량

본 연구에서는 사출품의 형상은 컵형태로 설계하였고, 냉각채널 변화에 따른 최대 변형량을 비교하기 위하여 표 3과 같이 사출조건을 일정하게 유지하였다. 또한 사출물주변의 냉각채널배치와 채널 두께, 냉각수 유속을 변화시켜서 그 영향을 비교 평가 하였다.

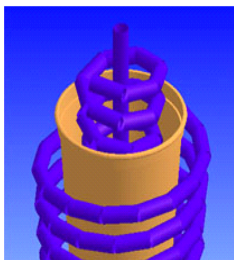
[표 3] 사출조건

| 구분 | 조건 |
|--------------|-------|
| 사출재질 | PP |
| 충전시간 [sec] | 0.25 |
| 사출온도 [°C] | 200 |
| 몰드벽면온도[°C] | 50 |
| 보압유지 시간[sec] | 1 |
| 냉매 | Water |
| 취출온도[°C] | 135 |

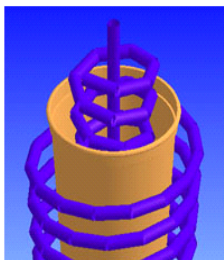
[표 4] 변경 인자

| Case | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| 냉각채널내경 [mm] | 10 | 8 | 6 | 6 |
| 평균유속 [cc/sec] | 250 | 200 | 150 | 150 |

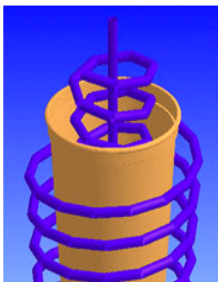
Case 1



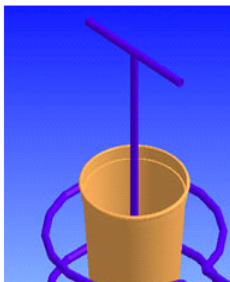
Case 2



Case 3



Case 4



[그림 3] 각 냉각채널배치 형태

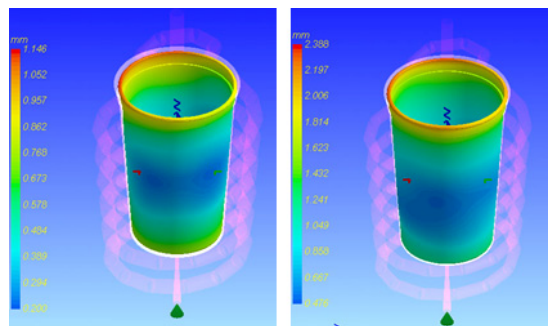
3. 결과 고찰

3.1 냉각 채널 형상 및 냉각 채널의 형태 비교

그림 3과 같이 Case 1, 2, 3은 우레탄 몰드에 적용한 냉각 채널의 형태와 사출성형조건을 보여주고 있다. 또한 기존 금형과의 비교를 위해 Case 4는 일반 금속재질 금형에서 적용되는 방식의 냉각채널의 형태와 사출성형조건으로 설정하였다.

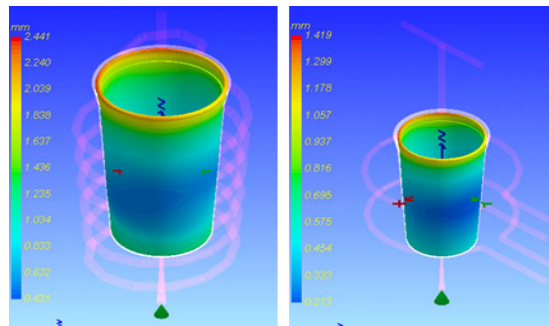
사출의 모든 조건이 동일하지만, 냉각 채널의 두께에 따라 냉각수의 유속이 다른데 냉각 채널의 두께가 큰 경우 유속이 크고, 냉각 채널의 두께가 작은 경우 유속이 줄어들어 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 제품의 취출온도를 135°C로 설정하여 냉각 효율을 비교할 수 있도록 하였다.

3.2 전체 변위



Case 1

Case 2

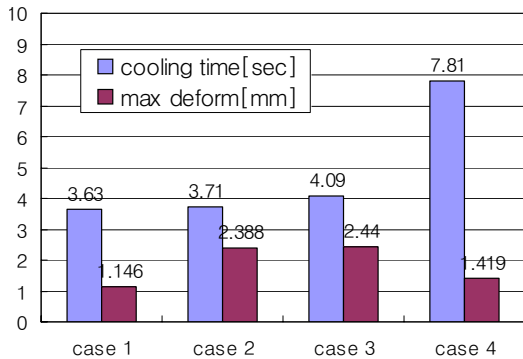


Case 3

Case 4

[그림 4] 각 모델의 변위 분포

모델의 중심점을 기준으로 한 전체 변형분포는 그림 4와 같은데 전체적으로 모델의 최상단부분에서 변위가 가장 크게 나타났다.



[그림 5] 각 모델의 최대 변위와 냉각시간

3.3 변형량 및 냉각시간

그림 5와 같이 우레탄 몰드에서 제작된 제품의 경우, 금속 재질의 금형에서 쓰이고 있는 냉각 채널 방식(case 4)에서 제작된 제품보다 상대적으로 냉각 시간이 단축된 것을 확인할 수 있다. 일반 금형에서의 냉각채널보다 절반가량의 냉각시간으로 취출온도까지 냉각이 가능하였다.

최대 변형량도 일반 금형의 방식인 Case 4보다 우레탄 재질인 Case 1이 적게 나타나는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

신제품 개발에 수백개 이내의 시제품을 제작할 때, 시작형 몰드를 활용하는 것은 제작비용과 시간을 단축하는 좋은 방법이다. 그러나, 실제로 시작형 몰드를 제작하여 사출성형기에 장착 후시험사출 할 경우, 몰드가 파손되거나, 미성형이 일어나는 등 문제점이 발생된다. 일본에서는 이러한 시작형 몰드의 단점을 특수열처리와 표면 코팅 등을 적용하여 기술적으로 상당부분 보완하여 폭넓게 활용하고 있다.

향 후 추가적인 연구를 통해 시작형 몰드의 단점을 극복할 수 있는 몰드설계와 표면처리기술을 확보할 수 있다면, 일선 제품개발현장에서 시작형 몰드의 활용과 보급이 증가할 것으로 기대된다.

본 연구에서 사출성형해석 상용패키지인 Simpoe-Mold를 사용하여, 우레탄 재질 (TSR-755)로 시작형 몰드를 만들어 사출할 경우, 냉각채널의 배치에 따른 시험사출품의 최대 변형량과 냉각시간 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 우레탄 재질의 시작형 몰드는 냉각채널배치와 냉각회로 연결이 자유로우므로 몰드설계의 유연성을 부여할 수 있다.
- (2) 우레탄 재질의 시작형 몰드는 적절한 냉각채널 배치를 통해 기본 금속재질 금형보다 사출품의 냉각 시간을 최대 46% 단축시킬 수 있다.
- (3) 사출물의 최대 변형량도 우레탄 재질의 시작형 몰드는 금속금형대비 19% 줄일 수 있다.
- (4) 일반금형은 몰드베이스를 통해 열이 방출되지만, 우레탄 코어는 베이스로의 열전달보다는 코어속에서 냉각이 이루어지므로 냉각채널에 의한 효과가 상대적으로 크다.

참고문헌

- [1] 정영득, 구본홍, “사출성형해석에 의한 제품 및 금형 설계”, 인터뷰전, pp. 179-186, 2006.
- [2] CMET Inc., "Material information of TSR755", www.cmet.co.jp/resin/index.html, 2008.
- [3] 권태현 외 4인, “사출성형 CAE설계지침”, 문운당, pp.109-124, 2007.
- [4] JSME, "Heat Transfer", JSME Textbook Series, pp. 23-51, 2005.

김 광 희(Kwang-Hee Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계공학과 (공학박사)
- 2009년 2월 ~ 현재 : (재)송도테크노파크 기술혁신본부 본부장

<관심분야>
정밀가공, 최적설계

김 정 식(Jeong-Sik Kim)

[정회원]



- 2002년 3월 : 큐슈대학 대학원
종합이공학연구과 (공학박사)
- 2009년 2월 ~ 현재 : (재)송도테
크노파크 디지털설계가공실 실
장

<관심분야>

열전달, 열유동해석, 신재생에너지

이 윤 영(Yun-Young Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 고려대학교 대학원
기계공학과 (공학박사)
- 2009년 2월 ~ 현재 : (재)송도테
크노파크 디지털설계가공실 선
임연구원

<관심분야>

역설계공학, 동시공학 설계