



미세 액상실리콘 제품의 마이크로 버블 개선을 위한 금형설계

동선희^a, 손덕수^a, 이우영^{a*}

Mold Design for Improving the Microbubble of Fine Liquid Silicon Products

Seon-Hee Dong^a, Deuk-soo Son^a, Woo-Young Lee^{a*}^a School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received	11	December	2020
Revised	7	March	2021
Accepted	16	March	2021

Keywords:

Liquid silicon rubber (LSR)
Injection molding
Overflow
Microbubble
Lens-angle supporter (LAS)

ABSTRACT

Owing to its outstanding performance and properties including weatherability, thermal stability, and chemical resistance, liquid silicon rubber (LSR) is used widely for electronics and medical products, and its application has been extended to other industries as well. A common issue found in products with fine features is microbubbles, which are heavily dependent on the molding process and mold structure. Therefore, this study suggests an optimum overflow mold type to minimize the microbubbles trapped in a product throughout a molding simulation and experimental analysis with three different types of overflow. The results show that the sample group produced with the optimum overflow type meets the standard industrial cosmetic criteria.

1. 서론

실리콘(유기 실리콘)은 고유한 물리 화학적 특성으로 산업 전반에 걸쳐 다양한 용도로 사용되고 있으며, 특히 액상실리콘고무(LSR)는 점차 제조단가가 낮아지면서 전기, 전자, 기계, 자동차, 항공 우주 및 일반 화장품, 식품 관련 제품 등에 이르기까지 폭넓게 활용되고 있다^[1,2].

미세 형상의 액상 실리콘 제품을 사출하는 과정에서 에어 트랩(air trap), 웰드 라인(weld line), 마이크로 버블(microbubble) 등의 품질문제가 자주 발생하게 된다. 일반적으로 에어 트랩이나 웰드 라인은 성형해석을 통하여 발생여부의 예상이 가능하나 마이크로 버블은 시뮬레이션만으로 현상을 관찰하는데 한계가 있다. 마이크로 버블은 제품내부에 발생하는 반지름 0.1 mm 이하의 미세한 공기방울을 의미한다. 마이크로 버블은 일반적인 제품에는 크게 영향을 미치지 않으나 미세형상의 박형(thin walled) 제품에서

는 기능적 외관품질 및 강도 저하 등 문제를 일으킬 수 있다.

따라서 마이크로 버블의 발생을 최소화하기 위하여 제품 내부에 발생하는 마이크로 버블을 외부로 유도하는 금형 구조를 고안하는 연구가 필요하다^[1-4].

인공수정체 삽입술에 사용되는 인공수정체 지지체(lens-angle supporter, LAS)는 미세형상을 가진 투명제품으로 기능적 품질을 만족하기 위하여 제품 성형과정에서 에어 트랩, 웰드 라인, 마이크로 버블 등 문제점을 해결해야 한다. 본 연구는 양산에 적합한 금형을 제작하기 위하여 액상실리콘 수지가 금형 캐비티(cavity)내로 주입되어 고온 경화되는 과정에서 발생하는 마이크로 버블 등 문제점을 관찰하고 발생 양상을 분석하여 개선안을 도출하였다.

2. 이론적 배경

액상실리콘고무 사출성형은 주재료(A)와 부재료(B)를 일정 비

* Corresponding author. Tel.: +82-41-560-1134

E-mail address: wylee@koreatech.ac.kr (Woo-Young Lee).

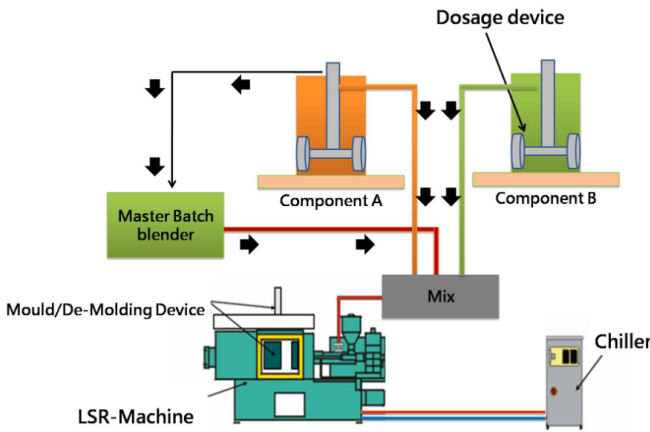


Fig. 1 Liquid silicon rubber (LSR) injection concept

올로 혼합하여 사출기에 공급한 후 금형 캐비티에 원료를 주입하고 가열 경화시키는 시스템이다.

원료의 투입부터 혼합, 성형의 전 과정이 밀폐된 상태로 진행되므로 오염의 염려가 없고 메이커로부터 공급된 원료에 추가의 배합 없이 사용하게 되므로 성분에 대한 신뢰성이 높으며 백금촉매를 사용하는 부가경화 시스템의 원료를 채택함으로써 촉매에 의한 독성의 염려가 없는 점 등이 있다.

또한 경화 시간이 짧고 자동 주입이 가능하여 생산성을 극대화하고 물성이 우수한 제품을 저렴한 가격에 공급할 수 있는 장점이 있다⁵⁾.

Fig. 1은 본연구의 액상실리콘 사출성형과정을 보여주고 있다. 실리콘(Si)은 크게 무기실리콘(silicon)소재와 유기실리콘 소재로 분류되며, 유기실리콘 제품은 일액타입·이액타입의 상온 경화형(room temperature vulcanization, RTV)고무, 액상실리콘고무, 엘라스토머, 오일, 레진 등 종류가 다양하며, 본 연구에서 사용할 액상실리콘고무(LSR)는 이액형 액상실리콘 고무로 고온 경화형이다.

액상실리콘고무는 경화 과정 중 휘발성 과산화물과 잔류물이 검출되지 않는 장점과 무독성의 특성이 있어 유아용 젓꼭지, 다이빙마스크(diving mask), 스노클(snorkel), 메디컬튜브(medical tube), 음식용기 등에 사용이 가능하다⁶⁾.

액상실리콘고무는 점도가 매우 낮아 유동성이 좋으므로 복잡한 형상과 정밀한 공차를 요구하는 제품에 적용될 수 있으며 사출성형에 대한 자동화 생산이 용이하다⁷⁾. 자동화를 가능하게 한다는 점은 생산성 향상과 생산 비용을 절감하는데 기여한다.

인공수정체 지지체는 인공 수정체 삽입술에 사용되는 의료기기로 수정체 앵글의 높이와 모양을 보전하고 유연성을 보장하는 제품이다. 새로이 개발된 인공수정체 지지체는 기존 일체형 인공수정체에 비하여 삽입후 주변조직 파괴, 후발성 백내장 등 부작용



Fig. 2 Lens-angle supporter

Table 1 Inspection standard of LAS

No.	Inspection item	Inspection criteria	Inspection method
1	External appearance	No damage Not more than 5 bubbles of R0.01 mm or bigger	Microscope
2	Size	Reference external diameter: $\pm 5\%$ Reference height: $\pm 5\%$	Projector
3	Weight	$\pm 5\%$ of reference weight	Electronic scale
4	Tensile load	≥ 0.6 kgf	Tensile load measuring instrument

이 발생해도 재수술이 불가한 문제점을 해결할 수 있는 획기적인 개발 제품이다⁸⁾.

인공수정체 지지체는 안구 삽입용으로 사용되는 지지체로 생화학 안정성이 보장되어야 하는 의료기기이므로 미 FDA인증을 받은 고가의 의료용 액상 실리콘 수지를 사용하며 전 공정은 클린룸(clean room) 환경에서 진행되어야 하며 전수 검사 및 멸균 작업을 마친 후 포장하는 단계를 거친다. 또한 제품의 치수, 외관, 품질 등에 대하여 엄격한 기준을 적용한다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 인공수정체 지지체 제품은 중량 0.1g 미만의 0.2~0.5 mm 얇은 살두께를 가진 투명한 고리형 제품이다. 제품의 특성상 에어 트랩, 웰드 라인 등 일반 사출에서 흔히 발생하는 문제뿐만 아니라 마이크로 버블도 제품의 품질에 영향을 주게 된다. 큰 사이즈의 마이크로 버블이 발생하거나 작은 사이즈의 마이크로 버블이 다량으로 발생할 경우 제품의 기능적 외관이나 인장강도에 심각한 영향을 줄 수 있다.

Table 1은 인공수정체 지지체 생산업체에서 요구하는 검사기준이다.

3. 연구 방법

본 연구는 금형설계 단계에서 성형해석을 통하여 성형과정을 시뮬레이션 하였고 그 결과를 적용하여 금형을 제작하였다.

마이크로 버블은 시뮬레이션만으로는 발생현상을 관찰할 수 없다. 따라서 실제 사출한 제품에 대한 실험적 관찰을 수행하여 결합

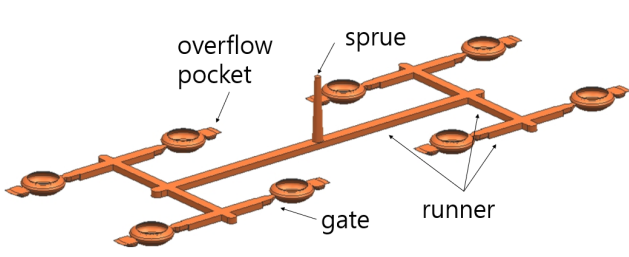


Fig. 3 Cavity layout

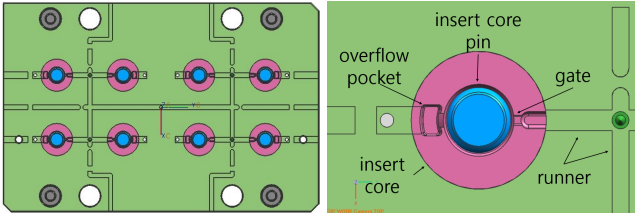


Fig. 4 Mold structure

발생 여부를 판단한 후 오버플로우의 형상변형을 통해 기본적 개선 방향을 도출하고 이후 최종적으로 제품을 양산하는데 적합한 구조를 찾아가는 방법을 적용하였다.

본 연구에서 설계한 금형은 수직사출기용 8캐비티 금형으로 런너(runner)는 H형으로 배열하였다.

호환성을 위하여 코어(core)는 공용으로 사용할 수 있는 메인코어(main core)와 제품 크기 별로 제작된 인서트 코어(insert core) 및 인서트 코어 핀(insert core pin)으로 구분하였고 제품 외관요구에 근거하여 모든 제품 성형부는 경면 래핑(lapping) 처리하였으며 사용 전 미리 아세톤과 에탄올로 세척작업을 하였다.

제품 레이아웃(layout)은 Fig. 3에서 보여주는 바와 같이 8캐비티로 배열하였고 Fig. 4에서는 금형 구조를 보여준다.

사출성형해석(CAE)은 총 네 가지 종류로 분류할 수 있다. 첫 번째 과정인 충전해석은 금형 내부에 용융된 수지가 흘러 들어가는 과정을 분석하고 결과를 도출하는 과정으로 해석 과정을 통해 충전 시간과 금형 내부 압력, 형체력, 웰드 라인의 분포 등을 파악할 수 있다. 두 번째 과정인 보압 해석(packing analysis)은 충전 후 보압으로 충전 완료 하여 제품 형상의 분균일한 수축을 최소화 하기 위한 조건을 설정하고 결과를 도출하는 과정이다.

본 연구에서는 주로 충전과 보압 과정에 대한 해석을 통하여 수지의 흐름을 관찰하고 웰드 라인, 에어 트랩을 개선하기 위하여 오버플로우 포켓을 추가한 금형을 제작하여 사출을 진행하였다. 사출제품에서 성형해석 프로그램에서 발견되지 않았던 마이크로 버블이 발생하여 제품내부와 오버플로우 포켓내부의 압력 차이에 대하여 분석하고 금형 구조에 대하여 개선을 진행하였다.

본 연구에서 사용한 CAE 성형해석프로그램은 Autodesk사의 Moldflow를 사용하였으며, 설정조건은 Table 2와 같다.

Table 2 CAE setting values

Description	Values
Melt temperature	20.0 (C)
Mold temperature	175.0 (C)
Injection location	1
Max machine injection pressure	4.254 (MPa)
Injection time selected	1.10 (s) (Specified)
Velocity/pressure switch-over	Automatic

Table 3 Clean room environmental conditions

Items	Standards
Particles	3,520,000 ≥ 0.5 μm/m ³ or 100,000 ≥ 0.5 μm/ft ³
Air change rate	More than 10 rounds/hr
Air pressure difference	5~20 Pa or 0.5~2.0 mmAq
Illuminance	More than 400 Lux
Noise	Less than 70 dB
Temperature	20~24°C
Humidity	30~65%RH
Floating microorganisms	< 200 CFU/m ³
Falling microorganisms	≤ 20 CFU/Ø9 cm/hr
Surface microorganisms	≤ 20 CFU/Ø55 mm Plate
Operator's hand's microorganisms	≤ 20 CFU/Glove Plate

4. 실험 및 결과

4.1 실험환경 및 장비

본 연구의 실험대상은 의료기기이므로 클린룸 환경에서 진행하였다. Table 3은 사출 및 검사를 진행한 실험환경을 보여준다.

본 연구에서 사용한 장비는 Sodick 사 LS100VRE 액상실리콘 전용 사출기이며 장비는 미세 형상 제품인 점을 고려하여 일부 특수 옵션을 추가하였다.

최소 금형두께를 400 mm로 하고 지름 14 mm 스크류와 지름 12 mm 플린저를 사용하였고 스크류 최대 회전수는 430 rpm, 최대토크는 105 N·m이다. 최대 사출용량은 4.5 cm³이고 최대 사출속도는 400 mm/sec의 유압구동방식의 사출기를 사용하였다.

본 연구에서 사용하는 원재료는 Dow Corning사의 SILASTIC RBL-9200-50 Liquid silicone rubber이며 원재료의 물성은 Table 4와 같다.

Table 4 Experimental material

Test1	Property	Unit	Result
ASTM D2240	Hardness ²⁾	Shore A	50
ASTM D412	Elongation ²⁾	%	570
ASTM D412	Tensile strength ²⁾	MPa	9
ASTM D624 B	Tear strength ²⁾	kN/m	42
ASTM D792	Specific Gravity ²⁾		1.13
CTM 1094	Viscosity (10 s ⁻¹)		
	Part A	Pa·s	150
	Part B	Pa·s	150

- 1) ASTM: American Society for Testing and Materials. Materials were tested according to Dow Corporate Test Methods (CTM), which in most cases are similar to the ASTM standard (s) listed above. Copies for CTMs are available on request.
- 2) Cure Condition: 10 min at 120°C, no post-cure

4.2 실험결과

오버플로우 포켓이나 채널 등과 같은 부가적인 구조가 설치되어 있지 않은 원형제품의 성형과정에 대한 시뮬레이션을 진행 한 결과 에어 트랩 및 웰드 라인이 발생하였다.

Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 수지의 유동선단에서 에어 트랩이 발생하는 것을 확인하였다. 일반적으로 파팅(parting)면을 따라 발생하는 소량의 에어 트랩은 에어 밴트(air vent)를 통하여 자연스러운 배기가 이루어지지만 현재 제품 형상으로 볼 때 양산시 미성형이 발생할 가능성이 높다.

웰드 라인은 Fig. 6에서와 같이 수지의 유동선단에서 발생하는 것을 확인하였다. 웰드 라인은 2개 혹은 다수의 유동 선단이 서로 만나는 곳에서 발생하지만 액상실리콘은 점도가 극히 낮으며 Fig. 7의 충전 해석에서 보여 주듯이 전체 충전 시간이 0.5초 미만으로 유동선단의 고화가 이루어지지 않을 것으로 예상된다.

원형 제품의 성형해석 결과를 바탕으로 일차적으로 오버플로우 포켓을 추가한 1포켓(pocket) 타입으로 금형을 개선하였다.

개선된 금형 구조로 성형 해석을 진행하여 Fig. 8에서 보여주는 바와 같이 에어 트랩이 제품 내부가 아닌 오버플로우 포켓내에서 생성되었으며 이는 제품의 품질에 영향을 주지 않을 것임을 확인하였다. Fig. 9는 1포켓 타입으로 개선된 금형구조로 성형 해석을 진행한 결과를 보여주며 웰드 라인이 수지의 유동선단(게이트 반대쪽)에서 발생하는 것으로 나타났으나 Fig. 10에서 보여주는 전체 충전 시간이 0.5008초로 아주 짧은 시간에 충진이 완료되므로 유동선단의 고화가 이루어지지 않아 제품의 품질에는 영향을 주지 않는다고 판단하였다.

성형해석 결과를 검증하기 위하여 1포켓 타입의 구조로 금형을 제작하여 사출성형을 진행하였다. 사출된 제품은 50배율의 실제현

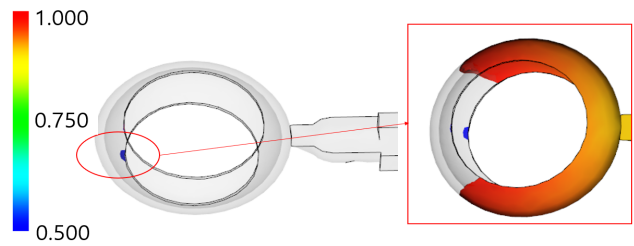


Fig. 5 Occurrence aspects of air trap

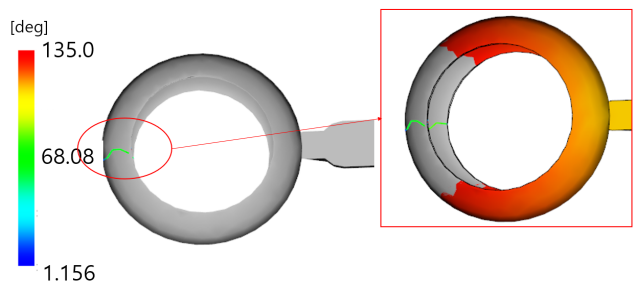


Fig. 6 Occurrence aspects of weld lines

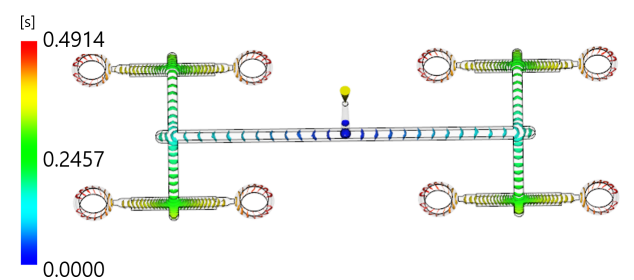


Fig. 7 Existing filling time

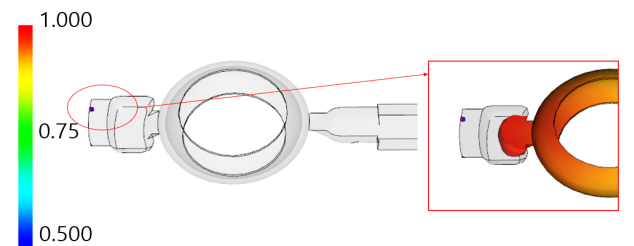


Fig. 8 Occurrence aspect of air trap_1 pocket type

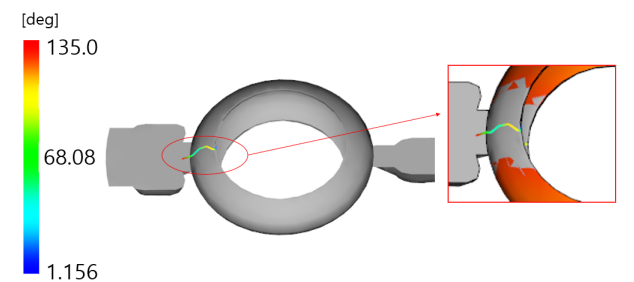


Fig. 9 Occurrence aspect of weld lines_1 pocket type

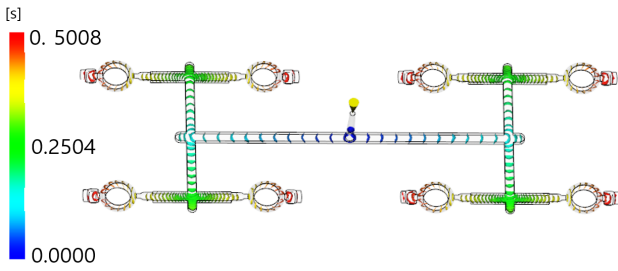


Fig. 10 Filling time_1 pocket type

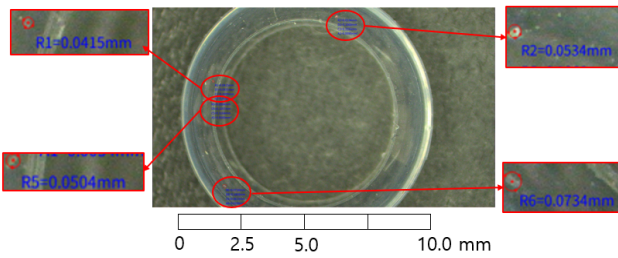


Fig. 11 Injection sample_1 pocket type

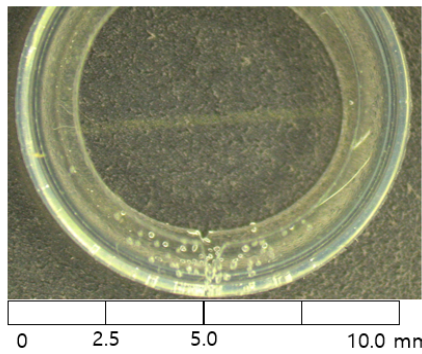


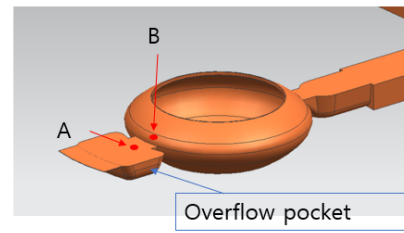
Fig. 12 Filling pattern of short shot sample

미경을 이용하여 관찰하였다.

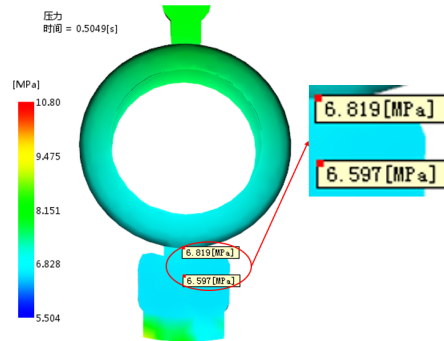
Fig. 11의 사출 샘플 사진에서 볼 수 있듯이 1포켓 타입 금형에서 제작한 제품에서는 웰드 라인 및 에어 트랩은 발생하지 않았으나 대량의 마이크로 버블이 발생하였다. 대부분 반지름 0.05 mm 이상의 비교적 큰 사이즈의 마이크로 버블이 10개 이상 관찰되었고 간혹 반지름 0.1 mm 이상의 기공도 발견하였다.

수지의 충전 패턴을 직관적으로 살펴보기 위하여 소요되는 수지 양보다 계량을 적게 하여 미성형된 제품을 얻어 충전 패턴을 검토하였다. Fig. 12에서는 기포와 마이크로 버블은 수지 유동선단에 집중되어 있고 수지의 흐름에 따라 이동하는 것을 보여준다. 또한 기포와 마이크로 버블이 발생한 제품에서도 우선 충전이 되는 스프루(Sprue)와 런너에서는 기포와 마이크로 버블이 발생하지 않았다.

1포켓 타입 금형의 대부분 제품에서 기포와 마이크로 버블은 수지의 유동선단인 오버플로우 포켓부근에 발생하였으나 다른 위치



(a) Overflow structure



(b) Pressure value at point A, B

Fig. 13 Pressure on A, B point_1 pocket type

에서도 마이크로 버블을 발견한 점으로 미루어 제품 중량이 극히 작고 사출기에서 제어할 수 있는 계량의 정밀도에 한계가 있어 오버플로우 포켓이 완충되었을 경우 포켓내부로 밀려났던 마이크로 버블이 사출내압에 의하여 제품내부로 역 유입될 수도 있다는 가정을 세웠다.

Fig. 13에서 보여주는 바와 같이 오버플로우 포켓이 완충되는 시점에 오버플로우 포켓 내부(A)와 제품내부(B)의 압력은 각각 6.597 Mpa과 6.819 Mpa이며 두 지점의 압력 차이는 0.222 Mpa이다. 이는 오버플로우 포켓의 충진이 완료되고 추가로 수지의 유입이 있어 압력이 증가할 경우 오버플로우 포켓내부의 마이크로 버블이 제품으로 역 유입되고 있음을 추정할 수 있다.

위의 가정에 근거하여 오버플로우 포켓 양측으로 채널을 추가하여 기포와 마이크로 버블이 제품 외부로 충분히 배출할 수 있는 구조를 고안하였다.

Fig. 14에서는 1포켓 + 채널 타입의 배치를 보여주며 1, 2, 3번 채널의 깊이는 각각 0.5 mm, 0.45 mm, 0.6 mm로 설계하였다. 채널 깊이에 차등을 둔 이유는 아래와 같다. 우선 1번 채널을 제품 최대 살두께와 비슷한 0.5 mm로 하여 오버플로우 포켓이 완충된 후 수지의 흐름이 제품 내부가 아닌 채널 쪽으로 유도하기 위함이다. 2번 채널을 0.45 mm로 적게 한 것은 1포켓 타입 금형의 사출 샘플 중에서 간혹 발견되는 미성형불량에 대한 보완책이다. 3번 채널은 2번 채널을 통과하여 다량의 마이크로 버블을 보유한 수지가 최대한 빠른 속도로 외부로 배출할 수 있도록 유도하기 위하여 0.6 mm로 설계하였다.

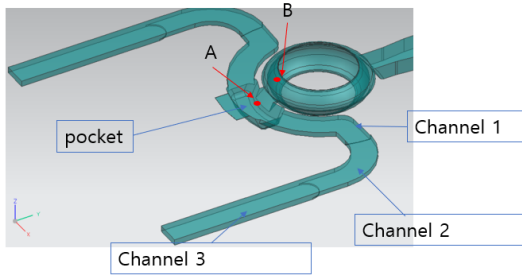


Fig. 14 Layout of overflow pocket and channel

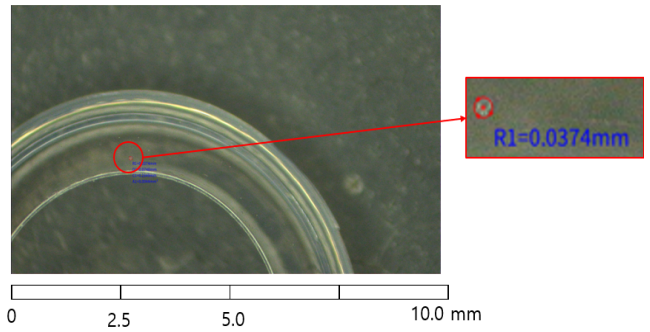
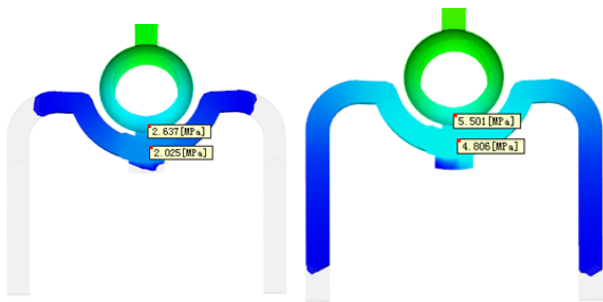


Fig. 16 Injection sample_1 pocket + channel type



(a) Flow front at Channel 2 (b) Flow front at Channel 3

Fig. 15 Pressure on A, B Point_1 Pocket + Channel Type

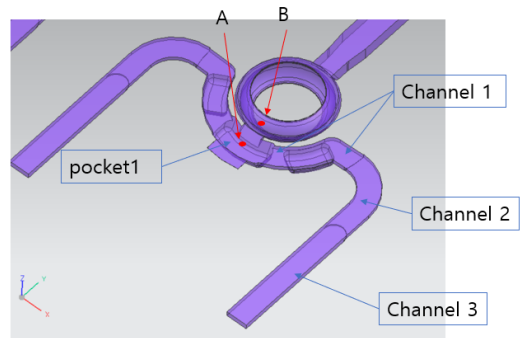


Fig. 17 Layout of overflow pocket and channel

Table 5 Pressure different

Pressure on A	Pressure on B	Difference
2.025 Mpa	2.637 Mpa	0.612
4.806 Mpa	5.501 Mpa	0.695

Fig. 15은 수지의 유동 선단이 2번 채널과 3번 채널을 통과할 때 오버플로우 포켓내부(A)와 제품내부(B)의 압력을 각각 보여 준다.

Table 5에서 보여주는 바와 같이 A, B 2점에서의 압력 차이는 0.6 Mpa 이상으로 1포켓 타입에서 나타난 0.2 Mpa 압력차보다 크게 나왔다.

Fig. 16은 1포켓 + 채널의 구조를 적용한 금형을 이용하여 사출을 진행한 샘플이다. 관찰 결과 반지름 0.1 mm 이상의 기포는 발생하지 않았고 반지름 0.05 mm 미만의 마이크로 버블의 수량도 현저히 감소하였다. 이는 제품 내부의 마이크로 버블이 외부로 충분히 배출되고 오버플로우 포켓에서의 역 유입도 억제 되었음을 알 수 있다. 하지만 마이크로 버블이 여전히 높은 확률로 나타나고 있어 양산을 할 수 있는 수준이 아님을 판단하여 금형구조에 대한 추가 개선이 필요하다.

1포켓 + 채널 타입의 개선을 통하여 포켓 후단부에 채널을 추가함으로써 제품에서 마이크로 버블이 감소되는 것이 검증되어 추가 개선을 위한 방안으로 채널 길이를 늘려 마이크로 버블을 외부로 완전히 배출하는 것이 최선이나 금형사이즈와 구조의 한계로 채널

을 일정 길이 이상 늘리는 것은 불가능 하다. 또한 사용되는 수지가 의료용 액상실리콘으로 고가의 수지이므로 제품 생산원가도 고민 하지 않을 수 없다.

이러한 한정적인 범위에서 마이크로 버블을 좀 더 효과적으로 배출하는 구조로 Fig. 17에서 보여주는 바와 같이 기존 오버플로우 포켓 양측에 포켓 2개를 추가로 배치하였다.

오버플로우 포켓을 추가함으로써 마이크로 버블이 1번 포켓에서 이동할 때 2번 포켓내부의 압력이 제품 내부압력보다 낮으므로 외부로 좀 더 쉽게 배출이 이루어질 수 있도록 하였다.

Fig. 18은 수지의 유동선단이 각각 1번 오버플로우 포켓, 2번 채널에 이르렀을 때와 충전이 완료되는 시점에서 오버플로우 포켓 내부(A)와 제품내부(B)의 압력분포를 보여준다. Table 6에서는 각 시점의 압력차를 보여준다. 세 시점에서 A, B 두 점의 압력 차이는 0.6 Mpa ~ 0.7 Mpa로 비교적 균일하여 마이크로 버블이 제품으로 역 유입되는 것을 억제한다.

Fig. 19에서 보여주는 바와 같이 3포켓 + 채널 구조를 적용하여 사출을 진행한 샘플을 관찰한 결과 반지름 0.01 mm 이하의 아주 미세한 마이크로 버블만 소량 관찰되었다. 이로써 오버플로우 포켓을 추가하는 방안은 제한적인 금형사이즈 내에서 채널길이를 추가하지 않고 마이크로 버블 문제를 해결할 수 있는 효율적인 방안을 확인하였다.

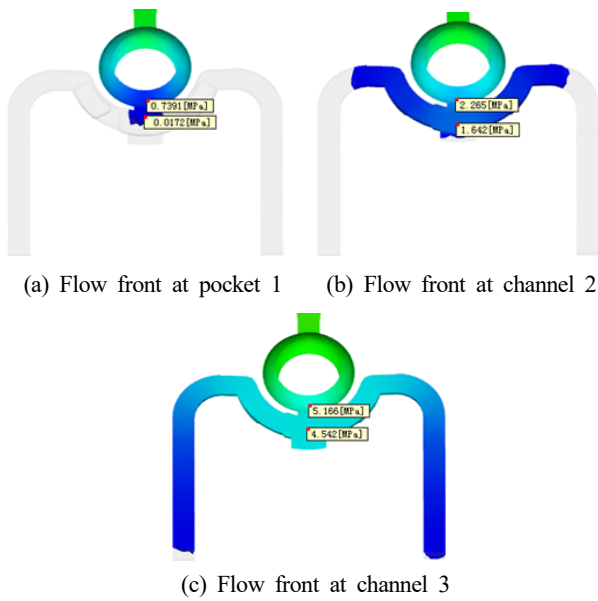


Fig. 18 Pressure on A, B point_3 pocket + channel type

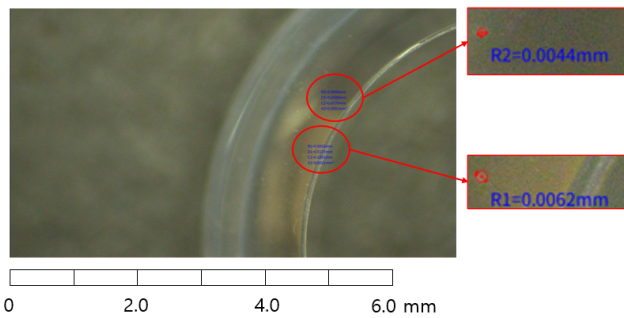


Fig. 19 Injection sample_3 pocket + channel type

Table 6 Pressure different

Pressure on A	Pressure on B	Difference
0.0172 Mpa	0.7391 Mpa	0.7219 Mpa
1.642 Mpa	2.265 Mpa	0.623 Mpa
4.542 Mpa	5.166 Mpa	0.624 Mpa

5. 결론

인공수정체 삽입술에 사용되는 인공수정체 지지체는 의료용 제품으로 엄격한 외관기준을 가지고 있다.

본 연구에서는 우선 일반적인 구조로 금형을 설계했을 때 성형 해석을 통하여 에어 트랩 및 웰드 라인 등이 발생하는 것이 예상되어 오버플로우 포켓을 추가하는 금형구조로 설계를 개선하였다. 개선된 구조를 적용한 금형으로 제품을 사출했을 때 웰드 라인과 에어 트랩은 발생하지 않았으나 제품에서 마이크로 버블이 다수 발견되었다.

제품 내에 산포되어 있는 마이크로 버블을 제거하기 위하여 오버플로우 포켓내의 마이크로 버블이 역 유입되는 것을 방지하는 것과 제품내의 마이크로 버블을 충분히 배출하는 두 가지 접근법을 가지고 오버플로우 구조에 대한 개선안을 제시하고 실험으로 결과를 검증하여 제품의 기능적 품질규격을 만족하는 구조를 도출하였다.

후 기

이 논문은 2020년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었습니다.

References

- [1] Park, K., Park, J. H., Choi, S. R., 2002, Numerical Analysis for Injection Molding of Precision Electronics Parts using Three-dimensional Solid Elements, Trans. Mater. Process., 11:5 414-422, <https://doi.org/10.5228/KSPP.2002.11.5.414>.
- [2] Park, J., 2017, A Numerical Analysis Study on Design of Helical Rib Type Runner for Balanced Filling 8-cavity Injection Mold, Masteral Dissertation, Incheon National University Graduate School of Engineering, Republic of Korea.
- [3] Park, H. P., Cha, B. S., Lee, J. B., Kim, D. H., Kim, J. S., Rhee, B. O., 2013, Effect on Mechanical Strength by Curing Process of Liquid Silicone Rubber, Proc. Korean Soc. Precis. Eng. Spring Conf., 1539-1540.
- [4] Park, K. M., Kim, C. K., 2003, A Study on The Optimum Design of Multi-Cavity Molding Parts using the Runner Balance Algorithm, J. Korean Soc. Precis. Eng., 20:11 41-46.
- [5] Yoon, G. S., Lee, J. W., Kim, G. H., Sohn, J. I., Seo, T. I., 2012, Experimental Study on the Filling Characteristics of Liquid Silicone Rubber According to Flow Distance, Proc. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. Spring Conf., 170.
- [6] Lee, K., 2009, Development of Injection Molding and in-mold Packaging Technologies for Polymer Micro Channels, Masteral Dissertation, Seoul National University of Technology, Republic of Korea.
- [7] Park, S., 2016, Analysis of Pressurized Cavity on Replication of Micro-patterns with Injection Molding, Doctoral Dissertation, Seoul National University of Technology, Republic of Korea.
- [8] Kim, B. R., 2019, Analysis of Flow Pattern Inside Multi-cavity System in Micro Injection Molding, Doctoral Dissertation, Seoul National University of Technology, Republic of Korea.



Seon-Hee Dong

Ph.D. candidate in the School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education. Her research interest is mechanical engineering, injection molding and precision measurement.

E-mail: sunny61@koreatech.ac.kr



Deuk-soo Son

Ph.D. candidate in the School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education. His research interest is mechanical engineering.

E-mail: dsson@koreatech.ac.kr



Woo-Young Lee

Professor in the School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education. His research interest is precision manufacturing process and product design.

E-mail: wylee@koreatech.ac.kr