

Design Guide

한국폴리아세탈(주)

KOREA POLYACETAL CO., LTD.

KPAC

서울시 중구 소공로 94, 14층 (소공동, OCI빌딩)

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea

Tel +82-2-728-7400 Fax 82-2-714-9235 www.gpac-kpac.com

1. 제품설계(Shape design of product)

(1) 기본 원칙

사출성형용 금형 디자인에 있어서 가장 중요한 것 중 하나가 제품의 살 두께를 일정하게 유지하는 것이다. 모든 설계는 살 두께가 일정하게 유지되도록 접근해야 한다. 이를 통해 수축과 관련된 사출성형상의 문제를 최소화할 수 있다. 그러므로 설계 시는 플라스틱 제품에서 두꺼운 형상부를 제거하는 데 노력해야 한다. 기본 살 두께를 결정할 때는 살 두께에 관련된 구조, 기능, 미적인 측면과 더불어 사출성형성에 대한 영향도 고려하여야 한다. 성형성에 관한 것으로는 금형 충전에 요구되는 사출압력과 냉각시간과 더불어 금형으로부터의 취출 용이성 등도 고려되어야 한다. 이와 더불어 사용 가능한 사출압력, 속도, 금형의 강성, 취출방법, 수지의 유동경로 등도 고려되어야 한다.

플라스틱 제품의 성공적 개발에 필요한 4요소(성형재료, 제품설계, 금형설계, 성형)의 공통적인 연결고리는 CAE(computer aided engineering) 기술이다. 이 기술을 적절히 활용할 수 있다면 개발자는 상당한 이점을 가질 수 있다. 이를 통해 개발자는 대상재료를 제품설계, 금형설계 및 성형성과 관련하여 평가하는 개념 작업을 수행할 수 있다. 그러나 이 기술의 성공적인 이용은 이 기술의 제한 점을 잘 인식하고 적극적으로 대처하여 잘 사용하는 데 있다.

사출성형용 성형품 설계에 있어서 지켜야 할 주요 원칙은 다음과 같다.

1) 빠기 구매를 준다

이형을 용이하게 하기 위한 빠기 구매는 충분히 준다.

2) 살 두께를 균일하게 한다.

- 살 두께가 너무 두꺼우면 수축이 생기고 너무 얇으면 크랙이 발생될 수 있다.
- 살 두께의 변화는 최소한 $\pm 20\%$ 정도가 바람직하다.

3) 단순한 형상으로 한다.

형상은 단순한 대칭형이 좋으며(성형 수축이 균일) 또한 파팅라인(금형분할면)은 단순(직선의 평면)하게 한다.

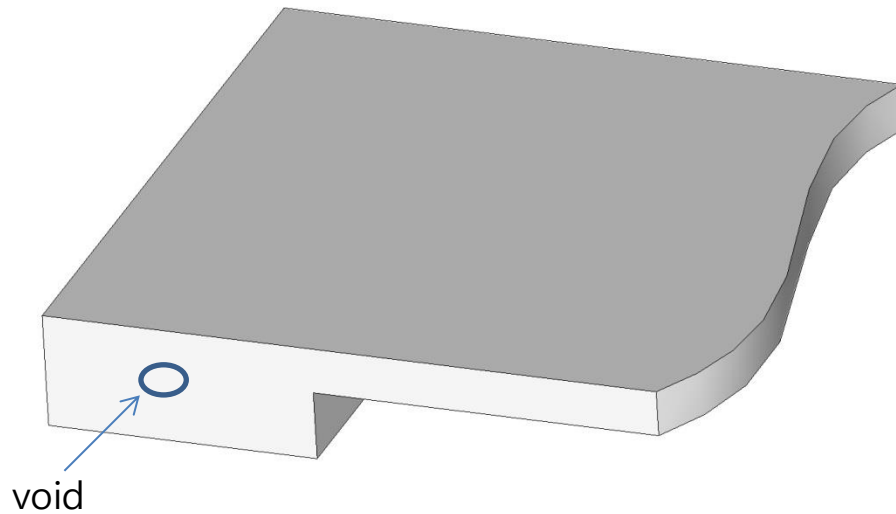
4) 예리한 코너(가장자리, sharp corner)를 만들지 않는다.

예리한 코너는 응력을 집중시켜서 크랙을 발생시키는 요인이 된다.

(2) 살 두께(wall thickness)

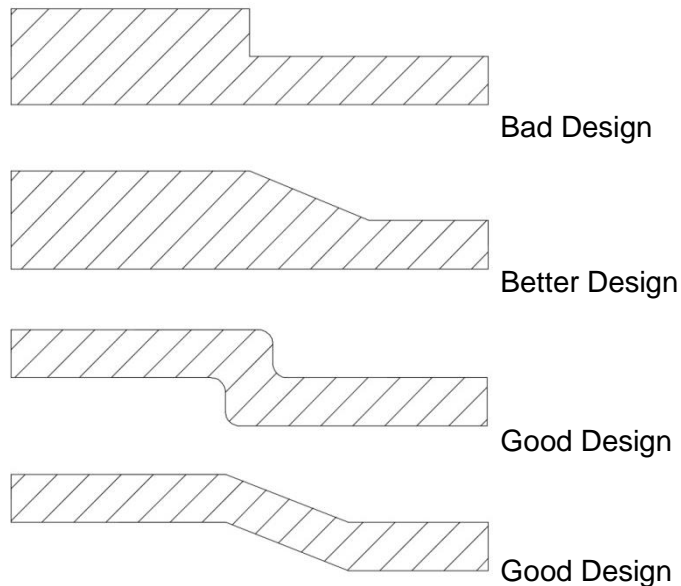
사출성형에 있어 cycle time을 결정하는 첫 번째 요인은 성형품의 살 두께이다. 그러므로 플라스틱 부품 설계는 구조 요건을 만족하는 범위 내에서 살의 두께를 최소화하는 것이 가장 중요하다. 성형품의 두께가 줄어들게 되면 재료 사용량도 감소되고 생산속도도 빨라질 수 있다. 플라스틱 재료비와 냉각시간이 제품원가에서 차지하는 비중이 70% 이상이다. 재료의 양을 줄이는 것은 재료비를 줄이는 가장 간단한 방법이다.

부품 살 두께는 가능한 한 균일해야만 국부적인 변형, 내부 응력 및 크래킹을 줄일 수 있다. 살 두께가 균일하지 않으면 두꺼운 부위에 수축에 의한 void가 발생할 수 있다.

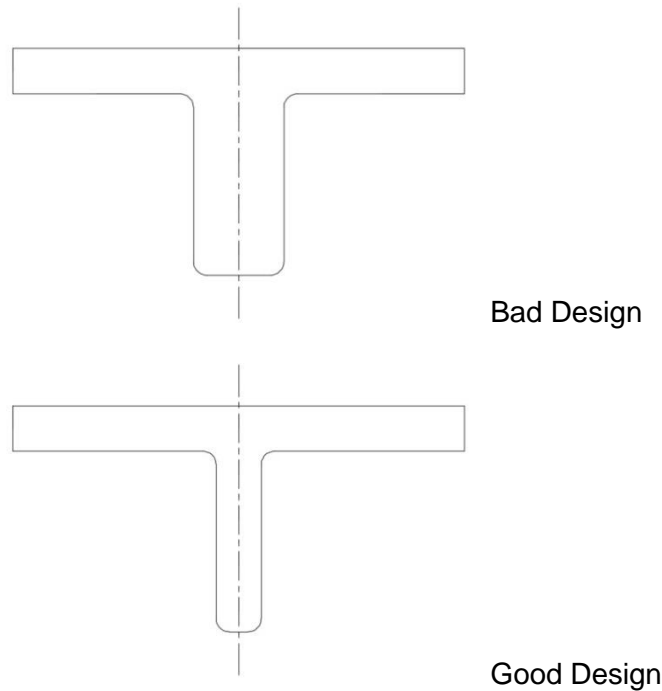


[그림 1] 살두께 design의 예(가능한 점진적인 변화로 변동을 최소화)

만약 살 두께를 일정하게 유지할 수 없다면 그때는 살 두께의 변동을 최소화하도록 해야 하고, 이때 살 두께의 급격한 변화보다 점진적인 변화가 있도록 해야 한다. 살 두께의 변동은 수축의 변동, 휨, 잔류응력 등 원하지 않는 금형 충전패턴과 같은 부정적인 영향을 제공하게 되는 점을 주의해야 한다.



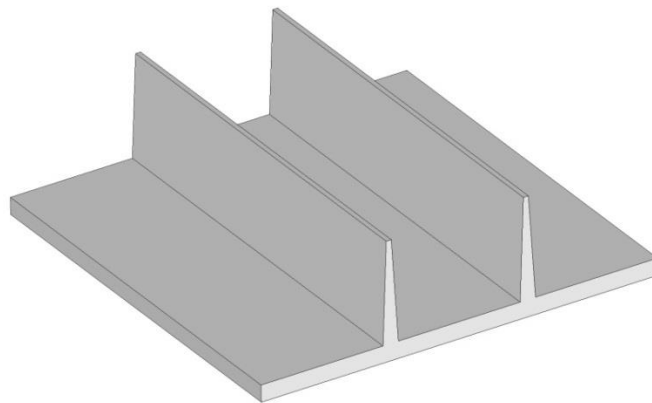
[그림 2] 살두께 design의 예(가능한 점진적인 변화로 변동을 최소화)

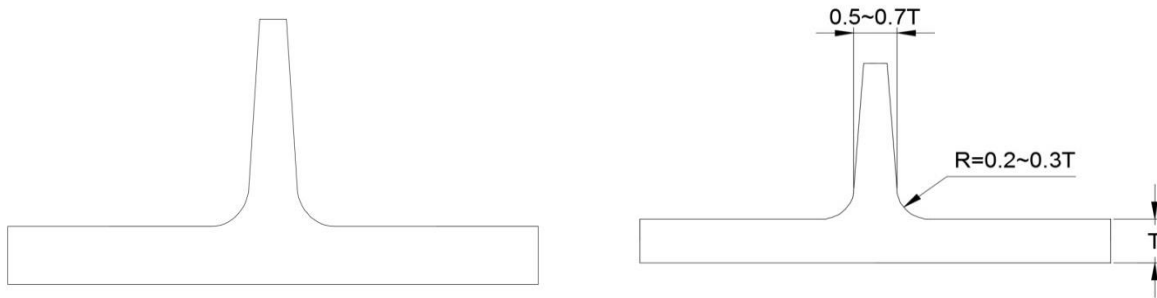


[그림 3] 리브가 있는 제품에서의 살두께 design의 예

(3) 리브(rib)

제품의 강도를 증가시키기 위해 주로 사용되는 것이 리브이다. 제품의 강도를 확보하기 위해서는 살 두께가 두꺼울수록 좋으나, 너무 두껍게 하면 제품의 생산단가를 높이게 되는 부정적인 측면이 있으므로 주의하여야 한다. 이 경우 리브를 설치하여 기본 살 두께를 유지하면서 주어진 성형품에서 강도를 얻을 수 있다. 리브는 가급적 짧게 유지하고, 양면이 대칭적인 구배를 갖도록 설계하는 것이 좋다. 이는 부품의 취출을 용이하게 하기 위한 것이다. 짧은 리브는 충전시 발생하는 문제와 구배에 의해 리브의 끝이 과도하게 좁아지는 것을 방지해 준다. 이런 이유로 하여 몇 개의 짧은 리브를 설치하는 것이 하나의 긴 리브보다 유리한 측면이 있다.

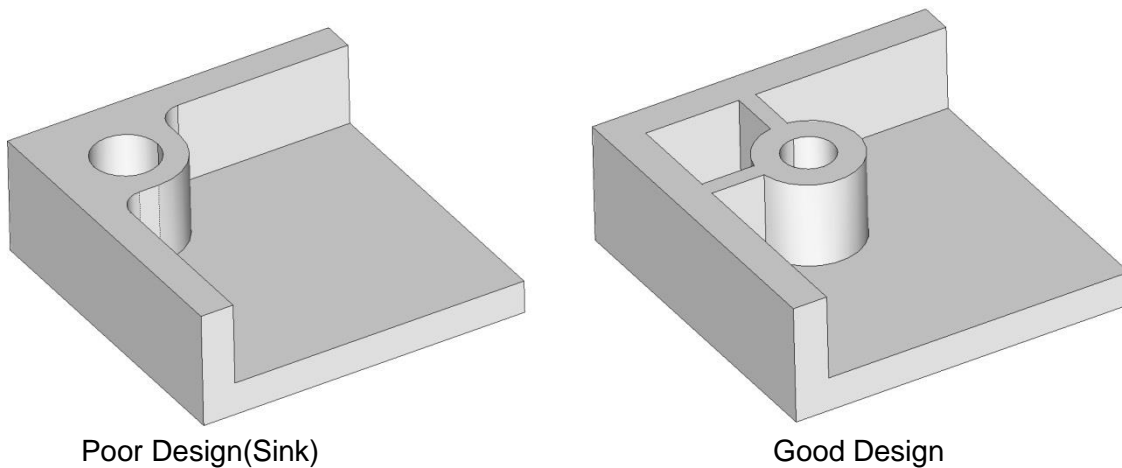




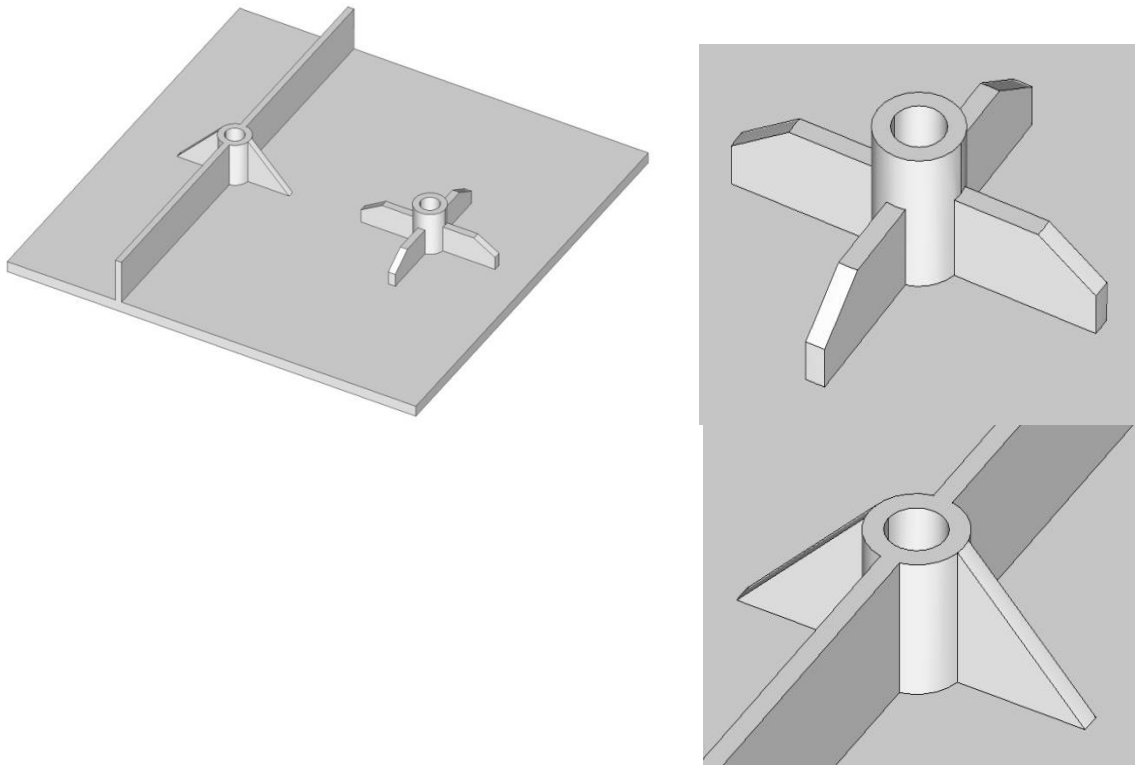
[그림 4] 효율적인 리브 design의 예

(4) 보스(boss)

제품의 기본 살 두께 위에 돌출된 중공 또는 솔리드 상태의 원형체를 보스라 말한다. 이것은 셀프태핑(self-tapping) 스크류, 확장 인서트, 억지끼워맞춤 플러그, 드라이브 핀 등을 이용하여 다른 부품을 조립할 목적으로 사용된다. 보스는 리브를 이용하여 측벽에 연결되거나 지지된다. 보스를 측벽에 직접 부착하게 되면 벽이 두꺼워져 싱크마크나 기공이 발생하기 쉽다. 또한 속이 빈 보스는 코어 주위의 재료 흐름의 특성에 의해 월드라인이 생길 수 있다. 보스의 내경은 일반적으로 보스의 기능에 따라 결정되는데 셀프태핑 나사를 사용할 때는 보통 나사의 핏치 직경이 보스의 내경이 된다. 보스의 외경은 내경의 2.5배 정도로 설계하는데, 이 수치는 강도도 만족시키면서 두께는 얇아야 하는 보스의 특징을 만족시키기 위한 절충 값이다.



[그림 5] 보스 design의 예



[그림 6] 효율적인 보스 design의 예

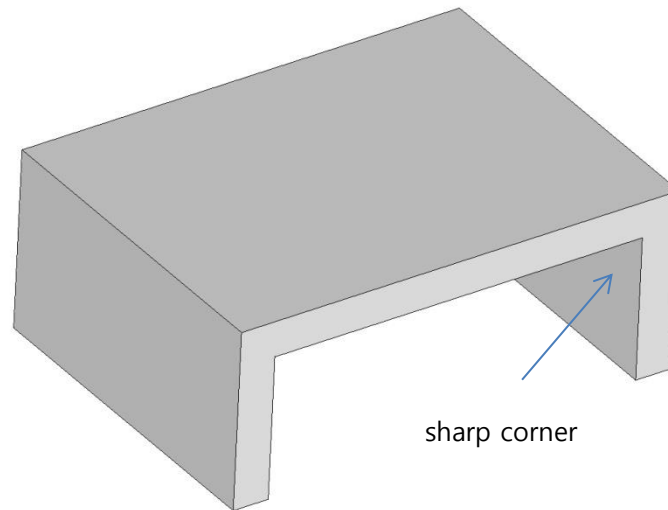
(5) 코어(core)

성형 제품은 보스의 내측과 같이 긴 코어가 필요한 형상을 가지고 있거나 긴 원통과 같은 독립 제품이 될 수 있다. 이와 같이 긴 코어는 몇 가지 문제점을 안고 있다. 고압이 걸렸을 경우 코어가 기울어져서 살 두께가 일정하지 않게 되거나 충전패턴이 기대와 다르게 나타날 수 있다. 따라서 이러한 문제점들을 줄이려면 코어의 최대 높이를 코어 직경의 2.5배 이하로 제한하는 것이 바람직하다.

또한, 수지가 캐비티 내에서 대칭적으로 흘러갈 수 있도록 코어의 중심에 게이트를 설치한 경우에도 코어의 기울어짐 현상은 일어날 수 있다. 코어 힘을 줄이는 방법으로는 셀프 센터링(self-centering) 효과를 가지는 코어를 사용하거나 컵 형상 제품의 밑면을 측벽의 살 두께보다 상대적으로 두껍게 만드는 방법 등이 있다.

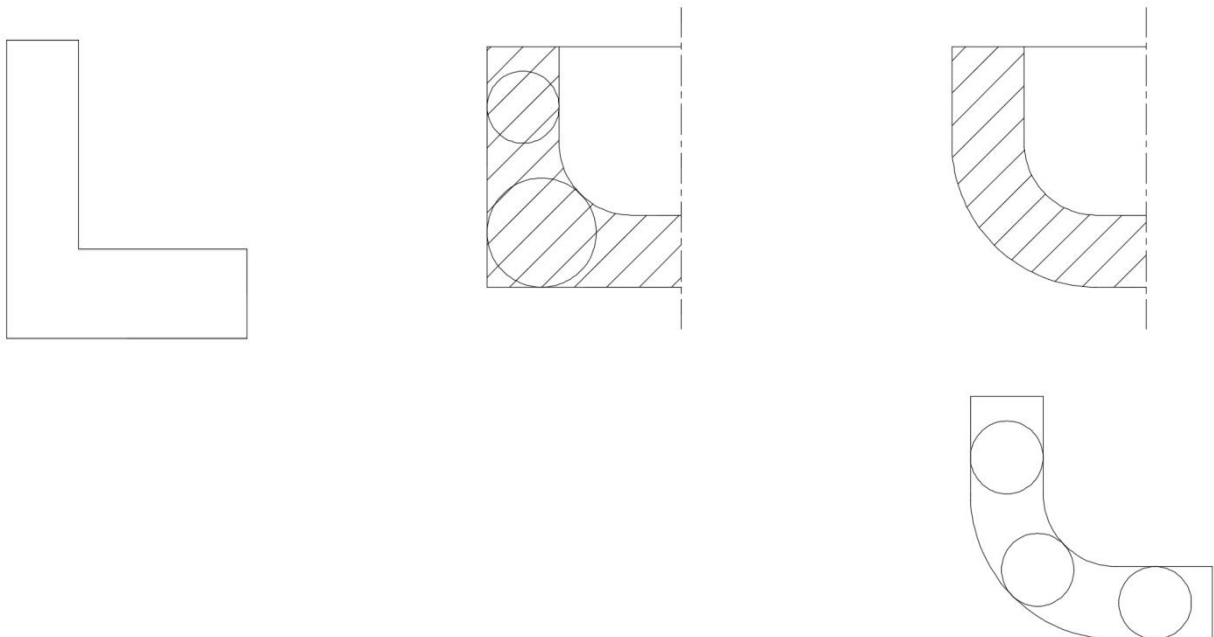
(6) 필렛 및 반경부

대부분의 플라스틱은 노치(notch)에 매우 민감하기 때문에 가급적 날카로운 모서리를 피해야 한다. 성형품에 sharp corner가 존재하면 성형 응력이 발생하거나, 외부에서 응력이 가해질 경우에 응력집중에 의해 파괴되기 쉽다. 특히 내측 모서리에서 발생한 노치(notch)는 응력집중의 원인이 된다.

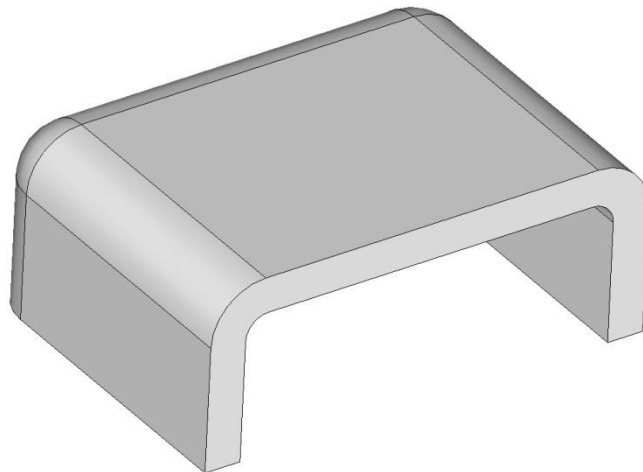


[그림 7] 성형품에 존재하는 sharp corner 예

응력 집중 현상을 줄이기 위해 코너에 살 두께에 비례해서 필렛(fillet)을 주어야 하는데, 이 때 살 두께에 대한 최소 반경비(R/T)는 0.5이다. 예리한 부분일수록 하중을 받을 때 더욱더 파손되기 쉽다. 특히 리브, 거스(gusset), 보스 등과 같이 기본 살 두께와 교차되는 각진 모서리는 추천 반경 값의 2배로 한다. 한편 이러한 교차부위의 체적은 최대한 줄이는 쪽으로 설계가 이루어져야 한다. 코너부의 살 두께를 일정하게 유지하기 위해 내측반경의 크기는 살 두께의 50% 보다 커야 하며, 외측 반경의 크기는 내측반경에다 벽 두께는 합한 값으로 정한다.(내측 반경을 더 크게 하는 것이 좋다.)



[그림 8] Outside corner design의 예



No fillet



Poor(sharp corner in inner part)



Recommended(no sharp corner)

[그림 9] Comparison of fillets

2. 금형 설계(mold design)

가장 기본적인 요구사항은 캐비티(cavity)는 지정된 플라스틱으로 충전되어야 하며, 내부 및 외부 힘에 충분히 견딜 수 있는 강도가 있어야 하며, 성형된 제품에서 이젝팅 될 수 있어야 한다. 즉, 금형 설계상 주된 과제 중 하나는 금형이 열릴 때 제품의 모든 형상이 이젝팅 되는데 저해되는 요소를 없애는 일이다.

사출 성형용 금형 설계에 있어 지켜야 할 주요 원칙은 다음과 같다.

- 금형의 강성을 높게 한다.

사출 성형시의 압력이나 열로 금형의 편심이나 변형을 일으키지 않도록 튼튼하게 만들어야 한다.

- 이형을 좋게 한다.

빠기 구배를 충분하게 주고 윤내기를 잘 하는 것이 좋다.

- 에어벤트(가스빠기)를 준다

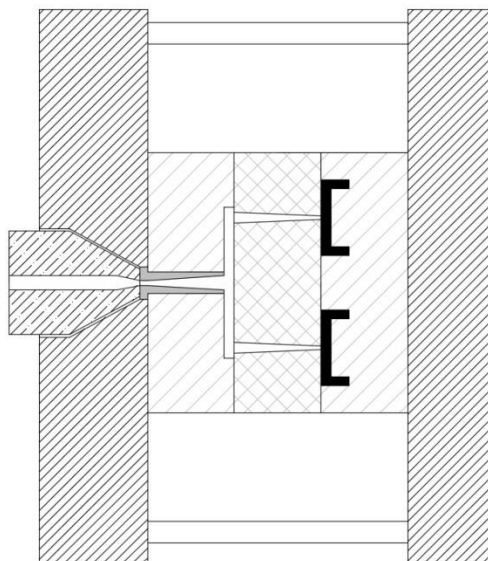
금형 내에 성형재료가 최후에 도달 할 지점에 에어벤트(가스벤트)를 둔다.

- 냉각 효율을 좋게 한다.

금형 내에 다량의 냉각수(또는 가열수)를 순환하기 위한 충분한 크기와 수량의 냉각수 홀을 설치 한다.

- 유동 상황을 예측한다.

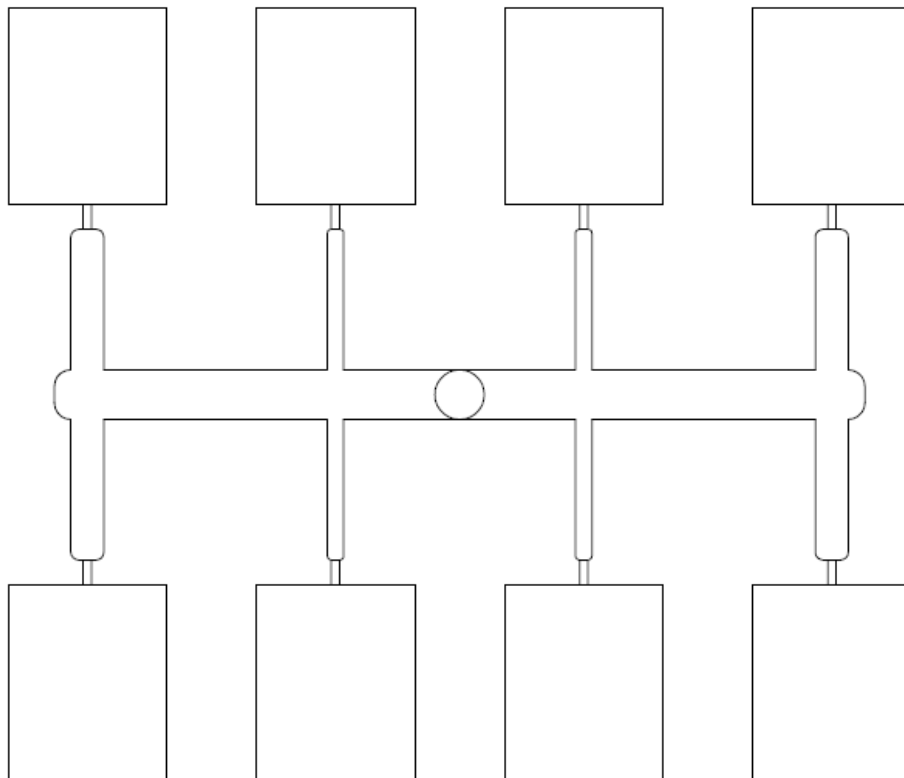
게이트(유입구)로부터 유입 전 성형재료가 어떻게 흘러 갈 것인지 미리 예측해서 웰드 라인(weld line) 위치를 고려해서 금형 구조를 결정한다.



[그림 10] 일반적인 사출성형용 금형 구조

(1) 콜드 런너(cold runner)

런너는 성공적으로 플라스틱 제품을 성형하는데 있어 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 스프루로부터 전달 받은 용융수지를 게이트로 보내는 역할을 한다. 런너 설계 시 고려 사항으로는, 용융수지가 런너를 유동 중에 그 저항(유동저항)에 의해 사출 압력이 저하 되는 것을 막고 유동 저항을 최소화할 수 있는 구조로 해야 한다. 캐비티로의 수지 유 입도 동시 충전이 가능하도록 고려한다. 또한 표면적과 단면적의 비를 최소화함으로써 유동채널의 효율을 극대화 시킨다. 이것은 완전 원형의 런너가 가장 좋으나 반원, 사다리꼴인 단면도 사용된다. 대개 런너의 직경은 게이트가 있는 벽면의 두께보다 큰 것이 좋다. 런너는 가능한 한 짧아야 재 작업을 최소화하고 압력 저하를 줄일 수 있다. 런너의 배열은 원칙적으로 각 캐비티에 균등한 압력이 걸리도록 설계해야 한다. 즉, 충전상태를 균일하게 하기 위해 주 런너의 직경을 바꾸거나 서브 런너의 직경을 바꾸는 방법도 채용되고 있다. 또한 성형품 형상에 있어서 런너 길이가 불균등하게 되면 각 캐비티에 해당하는 2차 런너의 두께, 길이 등을 변화시켜서 동시 충전이 되도록 설계해야 한다.



[그림 11] 충전상태 균일화를 위해 서브런너의 직경을 바꾼 예

런너 설계의 기본 원칙

금형의 런너 시스템은 용융 수지를 성형품 형상의 빈 공간(cavity)으로 유도하여 제품을 성형하도록 하는 역할을 한다. 런너의 배치, 치수 및 연결 형상 등은 충전 과정에 영향을 미치며 최종적으로는 성형품 품질에 영향을 미친다. 런너 설계에 있어 경제적인 측면의 고려(빠른 고화 및 짧은 cycle time)는 성형품 품질에 반할 수 있다. 런너의 설계에 있어 기본 원칙을 다음과 같다.

- 1) 각 캐비티 또는 유동의 끝 단에 수지가 동시 충전되도록 설계한다.
- 2) 유동저항이 적은 형상 및 lay-out 으로 설계한다. 또한 압력, 온도, 소재의 손실을 최소화 하기 위해 짧게 설계하는 것이 좋다.
- 3) 런너 내에서 급격한 압력 손실이 생기지 않도록 설계한다.
- 4) 성형품이 고화될 때까지 보압을 전달하기 위해 런너 두께가 성형품의 최대 두께보다 두꺼워야 한다.
- 5) Multi-cavity 금형의 경우 런너 크기 및 형상은 동일하게 하는 것이 원칙이다. 특히 정밀한 제품의 경우에는 이 규칙을 따르고 정밀하게 가공하는 것이 중요하다.
- 6) 압력 전달에 있어서 런너의 단면적이 클수록 좋으며 열전도면에서 외곽라인의 길이(외주)가 최소이어야 한다.
- 7) 런너의 표면 마무리는 캐비티와 같이 약 50 rms 정도로 한다. 이는 런너에서 압력 강하를 줄여주고 런너의 이형을 좋게 한다.
- 8) 일반적으로 런너 가공의 용이성을 위해 금형의 한쪽 면만 가공을 한다. 이런 경우 런너의 형상을 사다리꼴(trapezoidal) 형상으로 한다.

런너 치수

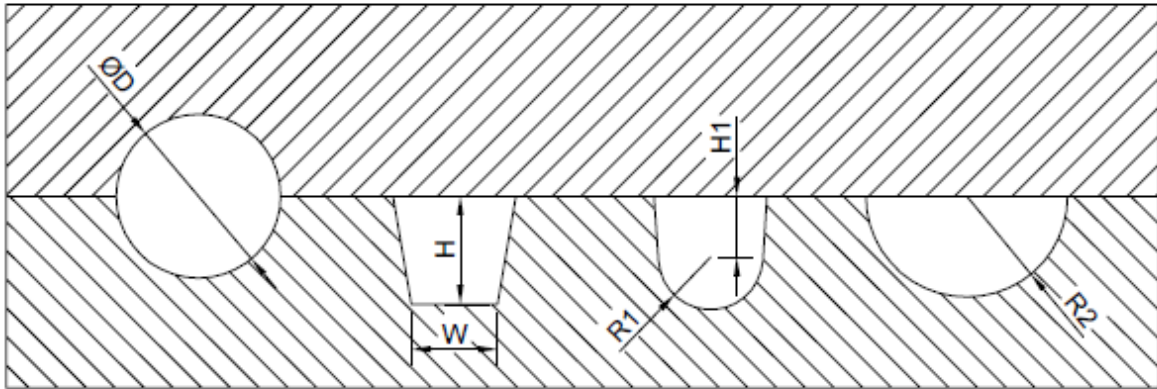
런너는 각 캐비티에 용융 수지가 같은 조건(온도, 압력)으로 동시에 충전 완료되도록 설계돼야 하며 최소의 압력 손실과 재료의 최소 사용이라는 상반된 요구사항도 충족해야 한다. 또한, 런너는 용융 수지의 유로로서의 역할뿐만 아니라 보압을 전달하는 통로이다. 따라서 보압이 충분히 전달될 수 있도록 제품의 가장 두꺼운 부분보다 1.5 mm이상 두껍게 가공하는 것이 일반적인 규칙이다.

런너 직경 > $S_{max} + 1.5 \text{ mm}$

(S_{max} : 제품의 가장 두꺼운 부위 두께)

런너 단면 형상

런너의 단면은 동일 단면적에서 유동 저항이 가장 작은 원형의 단면을 추천하다. 그러나 금형 제작의 용이함으로 반원(semicircle) 또는 사다리꼴(trapezoidal) 형상으로 가공하기도 한다.



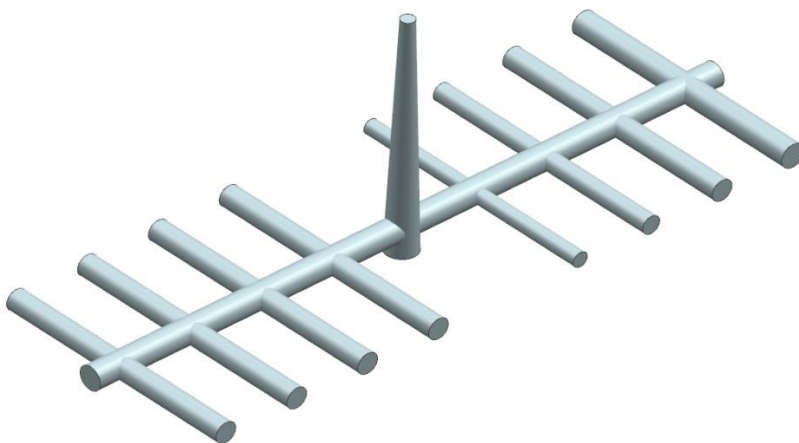
[그림 12] 일반적인 런너 단면의 예

런너 Lay-out

Multi-cavity 금형에서 캐비티 배치는 성형품 형상, 게이트 수, 플레이트 구성 및 게이트 형상에 따라 좌우되므로 런너 lay-out 설계 시 다음 사항을 고려해야 한다.

- 1) 압력 손실과 수지 온도 저하를 막기 위해 런너는 최단 경로로 설계한다.
- 2) 각 캐비티들이 동시에 충전 완료 될 수 있도록 런너 밸런스를 고려한다.
- 3) 게이트가 여러 개인 경우 게이트 밸런스를 고려하여 런너를 설계해야 한다.
- 4) 유동 선단의 고화된 수지가 캐비티 내로 유입되지 않도록 런너 끝에 콜드슬러그 웰(cold slug well)을 가공한다.

기하학적으로 균형 잡힌 런너가 설계되었어도 런너 내부에서 비대칭적인 전단발열에 의해 금형 중심에 있는 캐비티와 외곽에 있는 캐비티 간 충전 완료 시간과 온도, 압력 분포 등의 차이가 발생할 수 있다. 기하학적으로 균형 잡힌 런너 설계가 어려운 경우 CAE 해석을 통해 2차 또는 3차 런너의 직경을 캐비티마다 다르게 가공하거나, 런너의 분지점 위치를 조절하여 유동 밸런스를 얻을 수 있다.



[그림 13] 런너 시스템의 Layout의 예

(2) 핫런너 금형(hot runner mold)

핫 런너는 금형 캐비티에 이르는 수지 유동 부위를 항상 용융된 상태를 유지하도록 하여 스프루(sprue), 런너의 생성 없이 성형하여 성형 자동화 효율을 높인 런너 시스템이다.

핫런너 금형이란 런너가 금형내에 용융된 상태로 머물면서 성형사이클 중에 이젝팅되지 않는 구조의 금형을 말한다. 콜드 런너 금형에 비하여 각 사이클 도중에 핫 런너에 수지가 충전되고 성형품만 이젝팅됨으로서 런너의 처리와 성형 후 런너의 저장 및 폐기가 필요 없다는 것이 가장 큰 장점이다. 런너가 없기 때문에 사출량, 가소화시간, 런너 냉각시간 및 형개 스트로크가 감소된다. 또한, 클램핑 힘도 콜드 런너 때문에 발생하는 성형압력이 없기 때문에 감소된다. 어떤 경우에도 이들 장점 때문에 더 작은 사출용량의 사출 성형기를 사용하여 성형할 수 있다. 핫 런너 설계는 캐비티 판 상면에 런너 통로를 만들어 게이트 위치 선정에 융통성을 발휘할 수 있는 3단 금형의 콜드런너 설계와 유사하다. 더 굵은 유통채널을 사용할 수 있기 때문에 3단 콜드런너 시스템에서 생기는 높은 압력 강화와 관계없이 융통성 있게 게이트를 선정할 수 있다.

핫런너의 장점

- 1) 스프루(sprue), 런너로 인한 재료 손실을 최소화 할 수 있다.
- 2) 스프루, 런너의 충전 및 냉각을 위해 필요한 시간을 줄이고, 계량 양을 적어 계량시간을 줄일 수 있으며, 스프루, 런너 취출을 위해 필요한 clamp stroke가 짧아져 성형품 취출 시간을 줄이는 등 cycle time을 줄일 수 있다.
- 3) 계량 양이 줄어 들고 콜드 런너 대비 낮은 사출압 및 형체력으로 사출기 선택 폭을 넓힐 수 있다.
- 4) 각 게이트가 핫런너에 의해 온도가 조절되어 각 게이트로 유입되는 수지온도가 일정하며, 밸브게이트(valve gate) 사용 시 각 캐비티마다 동일한 보압 시간을 적용하여 캐비티별 품질 편차를 최소화 할 수 있다.
- 5) 밸브 게이트를 사용하면 게이트 개폐를 순차적으로 제어할 수 있어 대형 제품도 웰드라인(weld line) 없이 성형 가능하다. 일반 핫런너를 사용할 때에도 콜드 런너 대비 적은 게이트를 사용하여 웰드라인을 줄이거나 없앨 수 있다.

핫런너의 단점

- 1) 콘트롤러(electrical, hydraulic controller for valve gate), manifold 등 콜드 런너 대비 금형 제작 비용이 많이 들고 부대설비가 많아 고장 가능성이 많아 유지보수에 어려움이 있다.
- 2) 게이트 위치, manifold 직경 변경 및 게이트 추가 등 금형 수정이 어려워 최초 금형 설계 시 엄밀한 검토가 필요하다.
- 3) 이종 소재 또는 color 변경이 어렵다.

- 4) 고정측에 manifold가 있어 고정측 냉각 Line 배치에 어려움이 많다.
- 5) 온도에 민감한 소재나 고함량의 G/F 보강 소재, 용융점이 높은 고기능성 소재는 사용에 제약이 있거나 적절한 type의 핫런너시스템을 찾아야 한다.
- 6) 항상 용융 상태에 있으며 여러 부품들이 조립되어 leakage 문제가 발생할 수 있다.

핫런너의 Heating 방식

핫런너는 manifold, drop 및 nozzle로 구성되며 manifold와 drop에는 수지가 용융 상태에 있도록 히터가 내부 또는 외부에 설치된다. POM의 경우 열분해, F-취기 등의 문제로 manifold 및 drops 모두 외부에서 가열하는 방식이 추천된다.

히터와 manifold와 drops 모두 외부에 있는 경우 핫런너 내에서 압력 강하가 적으며 색상 변경이 용이하다. 그러나 manifold와 drop사이에 leakage 문제가 있고, 외부에 heater가 있어 고정측 냉각에 어려움이 있어 변형이 발생하는 경우가 있다. Manifold와 drop 모두 내부에 히터가 있는 경우 leakage 문제가 적은 장점이 있으나, manifold와 drop에 있는 히터들이 교차하여 수지의 정제 및 분해를 유발한다.

(3) 게이트(gate)

게이트는 캐비티와 런너를 연결하는 통로로서 제품의 기능, 품질, 성형성, 작업성 및 생산성 등에 영향을 미친다. 잘못된 게이트 위치, 수, type, 크기 등은 많은 불량 현상을 유발하므로 게이트 설계는 금형 설계의 중요한 부분이 된다.

게이트의 역할 및 기능

게이트는 캐비티에 보압을 전달하는 역할을 하여 제품의 치수 및 치수 안정성에 영향을 미치며, 캐비티로 충전되는 수지 및 섬유형 보강재의 배향을 제어(변형 및 수축 제어)하여 변형을 유발하거나 변형을 줄일 수 있다. 또한 크기 및 위치에 따라 충전되는 수지의 양을 조절(충전되는 수지의 양을 조절하여 웰드라인 위치 변경 가능)하고, 충전 시 압력 강하에 따른 마찰열을 발생하여 수지의 유동성을 좋게 한다(수지의 재가열). 웰드라인의 위치, 수, 웰드라인 강도 등은 게이트 위치와 수에 직접적으로 영향을 받는다.

게이트 설계 시 주요 고려 인자

게이트 위치, 수, 형상 및 크기 등이 게이트 설계 시 주로 고려해야 할 사항이다. 게이트 위치는 변형, 싱크마크(sink mark), 보이드(void), 치수, 웰드라인 위치, 젯팅(jetting), 미성형, 충전 밸런스, 배향 등에 영향을 미치며, 웰드라인 수 및 위치, 사출압, 형체력, 사출기 사양, 변형, 미성형, 진원도 등을 고려하여 게이트 위치와 수를 결정한다. 게이트 형상은 자동화 여부, 외관의 게이트 자국, 제품형상, 제품 크기 등을 고려하여 게이트 형상을 결정해야 한다. 게이트 크기는 보압 시간에 영향을 미쳐 치수, 싱크마크, 보이드, 변형 등에 영향을 미친다. 또한 과도한 전단발열에 의한 수지온도 상승, 열분해로 인한 변

색 및 가스 발생 여부도 고려해야 한다.

게이트 위치 결정

게이트 위치는 게이트 설계 시 주요 고려 사항 중에서 가장 중요하고 금형 설계 초기에 결정해야 하는 사항이다. 즉, 잘못된 게이트 위치 수정은 다른 인자보다 더 많은 비용이 소요된다. 올바른 게이트 위치를 선정하는데 있어 하기의 사항들을 고려해야 한다.

- 1) 요구되는 금형 type과 런너시스템 고려 : 일반적인 2단 금형 사용 시 게이트는 다이렉트 게이트(direct gate)를 제외하고 성형품 주위에 게이트가 위치하며 3단 금형 또는 핫런너 사용 시 제품 내에 게이트가 위치한다.
- 2) 선택된 게이트 위치, 금형 type, 성형소재에 대한 고려: 디스크 게이트(disk gate)는 2단의 콜드 런너 및 핫런너 금형을 필요로 하며 핀포인트게이트는 3단 금형을 필요로 한다.
- 3) 살두께 변화(wall thickness variation): 게이트는 성형품의 가장 두꺼운 곳에 위치해야 한다. 박육부에 게이트가 위치한 경우 후육부의 packing control에 어려움이 있으며 이는 수축, 변형, 기공 등의 원인이 된다.
- 4) 웰드라인 형성 여부 및 위치 고려 : 웰드라인에 의한 외관 문제와 웰드부 강도 저하 문제를 고려해야 한다.
- 5) 게이트 자국 및 게이트부 잔류 응력을 고려해야 한다.
- 6) 유동 패턴 및 수축률 영향 고려: 유동-기인 배향은 불균일 수축에 의한 변형과 잔류 응력을 유발한다.
 - 길고 좁은 성형품은 제품 끝 단의 게이트가 유동-기인 배향을 구조화하여 변형 및 잔류응력을 최소화한다.
 - 3차원 대칭 형상(컵,박스 등)은 라디얼(radial flow)를 갖는 제품 중심의 게이트가 좋다.
 - 2차원 형상(flat disk or square) 제품은 중앙의 게이트가 선호되나 사각 제품의 경우 flow leader를 설계하여 변형을 최소화해야 한다. 평편도(flatness)가 중요한 경우 linear flow를 얻을 수 있도록 팬 게이트 또는 다수 개의 작은 게이트가 유리하다.
- 7) 게이트 위치와 수에 의한 유동 거리(런너와 성형품) 고려: 사출압에 직접적으로 영향 미치며 런너 크기, 제품 두께도 간접적으로 영향 받는다.
- 8) 형체력: 형체면적이 넓은 부위에 gate를 위치하면 유동거리가 길어 형체력이 증가하며 형체면적이 작은 부위에 gate가 위치하면 충전 불균형을 야기한다.
- 9) Core deflection: core 주위의 불균일 충전은 core의 휨을 야기한다.
- 10) Venting: 선정된 gate 위치에 의한 유동 pattern이 parting line에서 venting이 되는지 특별한 venting이 필요한지 확인이 필요하다. 또한 gas trap 여부도 확인이 필요하다.
- 11) Jetting: 고속으로 cavity로 유입되는 용융수지의 관성력에 의해 jetting 현상이 발생된다. 즉, 용융수지가 금형 벽 또는 core에 부딪치지 않고 유입되는 경우 cavity를 가로질

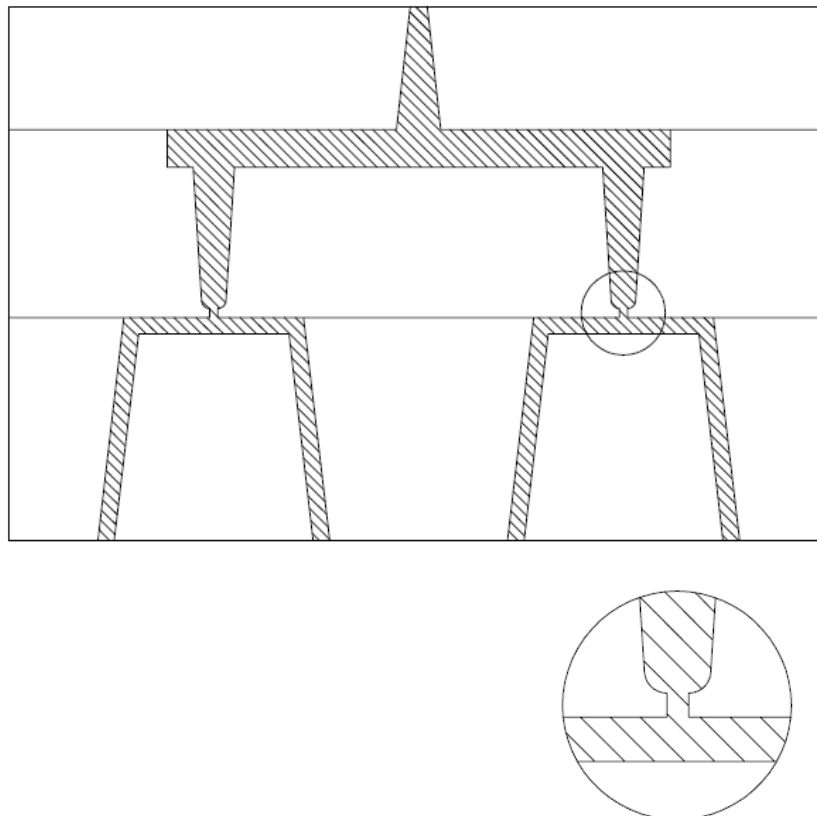
러 jetting이 발생된다. jetting 문제를 개선하기 위해서는 개방된 공간에 gate 설계를 피하고 parting line의 중심보다는 편심되게 gate를 설계하는 것이 좋다. 또한 gate에서 용융수지의 흐름이 급격히 변화되도록 하여 냉각된 유동 선단의 수지가 캐비티 내로 진입하는 것을 막는다.

게이트 형상 및 크기 결정

사이드 게이트(side gate)는 가장 일반적인 게이트 형상으로 게이트가 파팅라인(parting line)에 위치한다. 사이드 게이트의 두께는 제품 두께의 50 ~ 70 %가 적당하며, 게이트 폭은 게이트 두께의 1.0 ~ 1.5배, 게이트 랜드(gate land)는 게이트 두께의 70 ~ 80 % 또는 0.8 ~ 1.0 mm가 적당하다.

핀포인트게이트(pin point gate)는 자동 성형이 가능하며 게이트 위치 선정이 자유롭다. 대형 제품의 경우 다수의 게이트를 적용하여 균형 잡힌 유동 패턴을 얻을 수 있고 사출압도 낮아져 보다 작은 형체력으로 성형이 가능하게 된다. 소형 제품의 경우 multi-cavity 작업으로 생산성을 높일 수 있다. 그러나 제품 외관에 게이트 자국이 남으며 런너의 길이가 길어져 스크랩(scrap) 발생량이 많고 게이트와 런너에서의 전단 발열로 유동 선단 온도가 상승된다.

핀포인트게이트의 게이트 직경은 제품 두께의 60 ~ 70 %가 적당하며 게이트 랜드(gate land)는 0.8 ~ 1.2 mm가 추천된다.

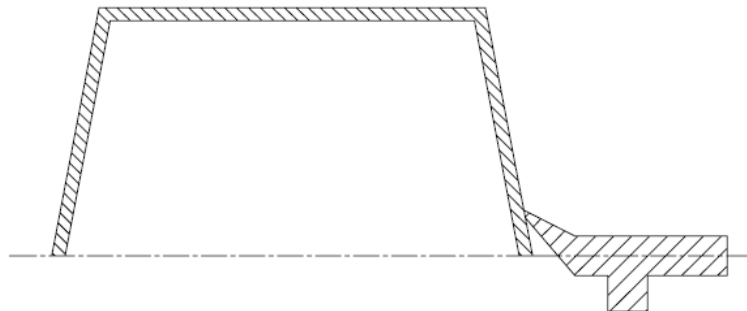


[그림 14] 핀포인트게이트의 예

서브마린 게이트(submarine gate)는 2단 금형에서 자동 성형이 가능하여 소형제품의 multi-cavity 성형에 많이 사용된다. 제품 측면에 게이트가 있고 상대적으로 게이트가 작아 외관 측면에서 유리하나 게이트 구조가 복잡하여 가공이 어렵고 이형 시 게이트 파편에 의한 불량 발생할 수 있어 게이트 설계에 주의를 요한다.

서브마린 게이트의 게이트 직경은 제품 두께의 50 %가 적당하고, 게이트 랜드(gate land)는 0.5 ~ 0.8 mm가 추천된다. 서브마린 게이트는 이형 시 언더컷으로 작용되므로 런너와 게이트가 이형 시 쉽게 휘어야 하며 게이트와 성형품이 떨어질 때 파편이 생기지 않도록 설계해야 한다. 즉, 런너와 gate extension의 단면적은 이형 시 쉽게 휘도록 단면적이 적은 것이 좋고 런너와 gate extension이 만나는 부분은 round 가공하여 쉽게 부러지지 않도록 설계한다. 테이퍼(taper) 형태로 제작하는 경우 center line과 parting line은 30 ~ 45°가 좋다.

서브마린 게이트는 다른 게이트에 비해 정교하여 단단한 재질보다는 인성이 있는 재질 사용해야 한다. 따라서 46 ~ 49 Rc로 열처리된 H13(프리하든강) 재질이 추천된다. 침탄강(carburizing steel, SKD11)은 침탄과정에서 게이트 부분의 경도가 58 ~ 60Rc까지 높아져 부러지기 쉽다.



[그림 15] 서브마린게이트의 예

게이트 고화 시간

게이트 고화 시간(gate freeze time)은 성형품의 품질뿐만 아니라 사이클타임(cycle time) 결정에 중요한 역할을 한다. 게이트 고화시간은 이론 냉각시간 계산식을 이용하여 예측할 수 있다. 즉, 이론 냉각시간 계산식에서 이형온도를 게이트가 고화되는 전이온도로 바꾸면 이론 냉각시간을 게이트 고화시간으로 간주할 수 있다.

$$S = \frac{t^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left[\frac{4 (T_c - T_m)}{\pi (T_x - T_m)} \right], \quad \alpha = \frac{R}{C_p \rho}$$

S = 이론적인 냉각시간

t = 최대 부품 두께

a = 물질의 열확산계수

R = 물질의 열전도도

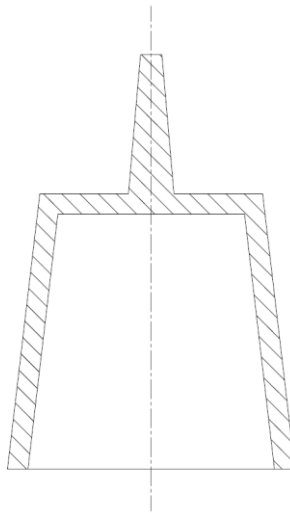
Cp = 물질의 비열

Tx = 제품 취출온도

Tm = 금형온도

Tc = 실린더온도

게이트의 선정은 성형품의 형상, 캐비티수, 성능, 외관, 경제성을 고려하여 결정하는 것이 필요하다. 가능하다면 게이트는 성형품이 가장 두꺼운 벽면에 위치하는 것이 좋은데, 그 이유는 고화가 일어나는 시간 동안 체류압력이 효과적으로 유지될 수 있기 때문이다.



[그림 16] 다이렉트/스프루 게이트의 예

1) 다이렉트/스프루 게이트[direct(sprue) gate]

성형품이 하나인 경우나 성형품의 저부에 직접 게이트를 만드는 경우에 이용된다. 사출압이 직접 성형품에 가해져서, 잔류응력으로 인한 변형이 발생하기 쉬우나 금형구조는 가장 간단하다.

구분	내용
설명	- 스프루(sprue)가 게이트 기능 수행
적용 제품	- 원형 또는 대칭 형상 제품에 적합 - Buckets, helmets, boxes, cups, disk-shaped parts
금형	- 2단 금형
이형 방식	- Manual
장점	- 압력 전달 용이 - 원형 제품의 진원도 만족 - 성형이 용이하며 금형이 간단
단점	- 고화 시간이 길어 사이클타임(cycle time) 지연 - 1 캐비티만 성형 가능 - 게이트 자국
주의점	- 노즐(nozzle) 끝 단의 냉각된 수지로 인한 외관 불량을 막기 위해 cold slug를 대신할 수 있는 dimple 설치 필요 - 게이트부 잔류 응력과 배향을 최소화하기 위해 링 모양의 리브 설치 - 게이트 제거 후 바닥면 평탄도를 얻기 위해 외곽 테두리 또는 게이트 바닥면에 요철(recess, 凹) 설치

2) 사이드 게이트(side gate)

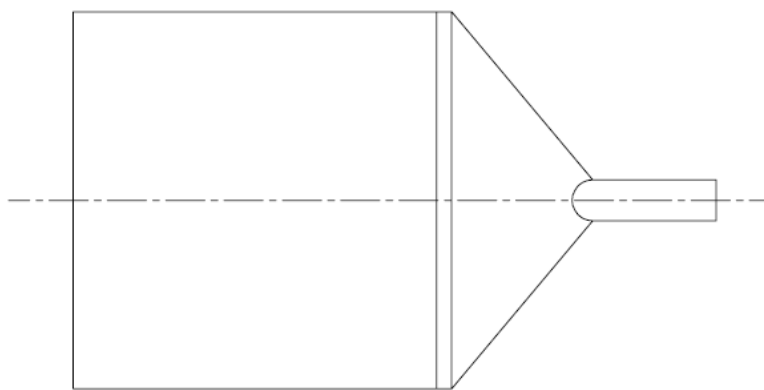
가장 일반적으로 채용되는 것으로, 성형품의 측면에 설치할 수 있는 직사각형, 반원 단형 게이트가 있으며, 캐비티가 여러 개인 금형에 잘 이용된다.

구분	내용
설명	<ul style="list-style-type: none"> - 가장 일반적인 게이트 형태(사각 단면을 주로 사용) - 제품 테두리에 게이트 위치
적용 제품	<ul style="list-style-type: none"> - 대부분의 플라스틱 성형품에 적용 - 게이트가 파팅라인(parting line)에 위치해야 하는 제품
금형	- 2단 금형
이형 방식	- Manual
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 금형 가공 용이 - Multi-cavity 적용 용이
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 제품 측면에 게이트 자국 발생 - 게이트 절단으로 인한 자동화 작업 불가

3) 팬 게이트(fan gate)

사이드 게이트의 구조와 비슷하나, 게이트의 폭이 크고, 부채형태로 되어 있어 대형 성형품에 이용된다.

구분	내용
설명	- 사이드 게이트와 유사하나 게이트 끝을 넓혀 유동 선단이 넓고 균일하게 형성되도록 설계한 게이트
적용 제품	- 박육 제품 - 사이드 게이트 적용 가능 제품으로 젯팅(jetting) 우려되는 제품
금형	- 2단 금형
이형 방식	- Manual
장점	- 게이트부 배향 개선 및 젯팅 발생 최소화 가능 - 게이트부 잔류 응력 및 전단 속도 감소
단점	- 게이트 절단을 위해 별도의 장비와 인력 소요



[그림 17] 팬 게이트의 예

4) 핀포인트 게이트(pin point gate)

핀포인트 게이트의 직경은 0.5~2.0 mm 정도이다. 일반적으로 끝마무리 다듬질이 필요 없다. 성형할 때에는 게이트의 고화시간이 빠르고, 압력이 직접적으로 전달되지 않아 성형품의 잔류응력으로 인한 변형을 줄일 수 있다. 게이트의 단면이 작으면 유동속도가 감소하고, 게이트 부근에 플로우마크(flow mark)가 생기기 쉽다.

구분	내용
설명	<ul style="list-style-type: none"> - 자동 성형 가능 - 다수의 게이트를 사용하여 유동 밸런스 및 사출압 down 가능(대형 제품) - 소형제품의 경우 multi-cavity 작업으로 생산성 향상 가능
적용 제품	<ul style="list-style-type: none"> - 소형 제품의 다수 개 성형 - Multi-gate를 이용한 대형 제품 - 제품 외관에 작은 게이트 자국 잔류 허용 가능 제품
금형	- 3단 금형
이형 방식	- Automatic
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 작은 게이트 자국 / 게이트 분리 용이 - 자유로운 런너 설계(게이트 위치 자유롭게 선정 가능) - 넓은 사출기 선택 포(다수의 게이트 사용시 형체력 down 가능)
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 높은 사출압 및 게이트부 과도한 전단 발열 - 스크랩(scrap) 발생량 多
주의점	- 외관 개선 및 게이트 자국 최소화를 위해 dimple 및 recessed gate로 설계

(4) 벤트(vent)

가스 탄화자국, mold deposit, 미성형 등을 방지하기 위해서 가스 벤트를 적절히 설계할 필요가 있다. 금형의 에어 벤트 설계가 충분하지 않은 경우 미성형이 발생하거나 캐비티 내의 압축된 공기가 단열압축에 의해 급격히 온도가 상승하여 탄화가 발생한다. 또한 기포, 은조(silver streak) 등의 외관 불량도 발생한다. 캐비티내의 공기는 밀핀, 코아 핀, 파팅라인(parting line) 등으로 빠져나가며 보다 원활하게 공기가 빠져 나갈 수 있도록 에어 벤트를 설계해야 한다. 에어 벤트는 런너의 끝 단, 두 개 이상의 흐름이 만나는 곳, 웰드 라인 등에 가공해야 하며, 리브(rib) 끝 단과 같이 공기가 빠져 나갈 수 없는 dead pocket은 core inert를 사용한다. 최근에는 통기성 코어(core)나 밀핀을 사용하는 경우도 많다.

POM 제품의 캐비티 측 에어 벤트 깊이는 0.01 ~ 0.02 mm가 적당하며 폭은 2 ~ 6 mm가 추천된다. 런너 측 에어 벤트는 0.015 ~ 0.025 mm로 캐비티 측보다 더 깊이 가공하는 것이 좋다.

(5) 금형의 냉각

냉각라인의 간격은 제품의 각 부위에 균일한 온도를 제공할 수 있도록 하여야 한다. 냉각라인의 배치는 반드시 금형 내의 물리적 제한을 고려해야 한다. 그리고 냉각라인을 병렬과 직렬 중에 어떤 형태를 선택할 것인지를 신중하게 결정해야 한다. 냉각회로의 형태에 따라 냉각 회로상의 유동균형, 냉매온도변화, 냉각시스템의 유지 보수 등에 영향을 미친다.

금형의 냉각

금형온도 조절은 성형품의 품질과 생산성에 큰 영향을 미친다. 성형품 품질 측면에서 잘못된 금형온도 조절은 외관불량, 변형 등을 유발한다. 금형온도 조절에 있어서 가장 중요한 점은 설정한 온도로 균일한 온도 분포를 갖게 하는 것으로 냉각 라인 설계는 이에 준하여 설계해야 한다.

금형온도 조절 방식은 냉매순환 방식과 히터(heater) 방식이 있다. 냉매순환 방식은 설계된 냉각 라인 내에 냉매를 순환시켜 냉매의 열 교환에 의해 금형을 가열하거나 냉각하는 방식이다. 히터 방식은 히터 봉을 금형에 삽입하여 히터의 가열에 의해 금형을 직접 가열하는 방식이다.

냉각 라인 설계에 있어 냉각 라인의 위치, 냉각 방식 및 냉각 라인의 구경이 주요 설계인자이다. 냉각 라인의 직경은 유속을 고려하여 결정한다. 냉각 라인 설계에 있어 냉각 라인의 레이놀즈(Re)수가 냉각 효율을 결정하며, 레이놀즈수가 10,000 ~ 30,000의 난류흐름을 얻을 수 있도록 냉각 라인의 내경을 결정한다.

$$Re = d \cdot \rho_L \cdot v / \mu$$

(d : 관(냉각 line)의 내경, ρ_L : 냉매의 밀도, v : 냉매의 동점도, μ : 냉매의 점도)

내경이 작아지면 유로저항에 의해 압력손실이 커지고 유량이 적어져 냉각효율이 떨어진다. 역으로 내경이 커져도 단면적이 커지면서 유속이 감소되고 Re가 작아져 냉각 효율이 또한 떨어진다. 따라서 냉각 라인의 내경을 키우면 그에 따라서 유량도 크게 해줘야 냉각 효율을 높일 수 있다.

균일 냉각의 관점에서 냉각회로와 성형품의 거리는 항상 등거리를 유지하는 것이 이상적이나(균일 온도 구배) 복잡한 형상과 이젝트 핀(eject pin) 위치 때문에 냉각회로를 촘촘히 배치하기가 어려워 어느 정도 거리를 두는 것이 좋다. 즉, 금형과 수지의 열전도율은 100 ~ 400 배 차이가 나기 때문에 캐비티면에서 냉각 라인 벽면까지의 열전도 시간은 충분히 빨라 캐비티면에 가깝게 배치된 경우 불균일 냉각을 야기할 수 있다. 따라서 냉각 라인간 거리는 냉각 라인 내경의 5배, 냉각 라인과 금형 표면간의 거리는 냉각 라

인 내경의 3배가 적당하다.

(6) 언더컷(undercut)

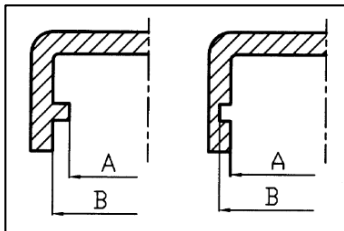
취출판과 취출하우징을 설계할 경우, 가동 측에 있는 형판의 힘을 방지할 수 있는 강성을 주기 위해 지지봉의 배열과 금형의 정렬을 위해 부싱과 가이드 핀의 사용과 캐비티의 파손을 보호하기 위한 리턴 핀의 사용 등을 고려하여야 한다. 취출판의 작동은 기계력에 의한 전진/후퇴, 유공압의 작용으로 행해진다. 취출판의 복귀는 유압실린더와 스프링에 의해 행해진다. 취출 시스템은 제품 설계 시 생기는 언더컷을 고려하지 않고서는 설계할 수 없다.

금형이 열리는 방향에 있는 제품의 돌출부나 구멍은 형개 작업의 제약으로 성형이 불가능하며, 이러한 돌출부나 구멍을 언더컷이라 한다. 언더컷 부위는 슬라이드 코어를 사용하거나 형 분할, 회전 코어(나사 형상 제품의 경우), 변형 코어 또는 변형 밀핀 등을 사용하여 처리한다.

언더컷이 크지 않은 경우 소재의 탄성한계 이내에서 강제로 이형 할 수 있다. POM의 강제 빼기 허용량은 5%이며, 언더컷 허용량은 언더컷 위치에 따라 하기의 두 식을 이용하여 계산한다.

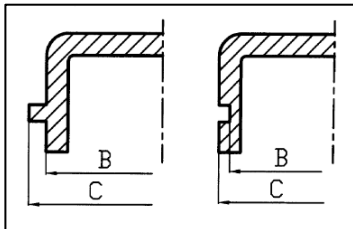
- 내측 언더컷:

$$\text{언더컷 허용량(\%)} = \frac{B - A}{A} \times 100$$



- 외측 언더컷:

$$\text{언더컷 허용량(\%)} = \frac{C - B}{C} \times 100$$



- 1) 슬라이드 코어(slide core) : 제품 외측에 언더컷이 있을 때 주로 사용하며 언더컷 형상을 갖는 코어가 angular pin에 의해 파팅라인을 따라 평행으로 이동한다. 금형 형폐 때는 언더컷 형상이 성형되도록 캐비티를 형성하고 형개 때는 angular pin을 따라 코어가 언더컷부에서 분리되어 성형품의 이형을 돕는다.

- 2) 변형 밀핀 : 언더컷이 작을 때 사용되며 multi-cavities 및 금형 공간이 부족한 경우에 주로 사용된다. 내측 및 외측 언더컷 모두 사용되나 주로 내측 언더컷에 적용된다.
- 3) 탄성 코어 : 언더컷이 작은 부품에 주로 사용되며 스프링강으로 만들어 진다. 스프링강의 탄성 복원력에 의해 이형 될 때 언더컷 구조가 취출된다.

(7) 빼기 구배(draft or taper)

빼기 구배 즉 테이퍼(taper)는 사출성형 제품의 수직벽에 주어지는 경사각으로서 금형으로부터 제품을 이형시키는 것을 용이하게 하기 위해서 필요하다. 빼기 구배는 제품의 형상, 성형 소재, 금형 구조, 금형 다듬질 정도, 엠보(embo.) 가공 여부 및 품질 향상에 따라 달라진다. 일반적으로 재료에 따라 구배 각도가 다르게 주어지는데 그 범위는 $1/8^\circ$ 부터 재료마다 몇 단계로 나누어 이젝팅 문제와 제품설계상의 요구조건에 따라 정해진다. 측벽의 내외측 표면에 설치되는 구배는 좌우 대칭이 되어야 한다. 빼기 구배는 커질수록 취출 시 발생하는 문제는 줄어든다.

빼기 구배는 가능한 큰 게 좋으나 일반적으로 추천되는 POM의 빼기 구배는 $1/2 \sim 1^\circ$ 이다. 얇은 성형품의 경우 이형을 위해 성형품이 코어측에 남아 있도록 코어측 빼기 구배를 캐비티측보다 작게 하는 경우가 있지만 대부분의 경우 캐비티와 코어의 빼기 구배를 같게 한다.

본사

04532, 서울특별시 중구 소공로 94 (OCI빌딩, 14층)
Tel. 02-728-7481 Fax. 02-714-9235

연구소

15850, 경기도 군포시 고산로 166, 104동 201호 (당정동, SK벤티움)
Te Tel. 031-436-1300 Fax. 031-436-1301

Headquarters

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel. +82-2-728-7481 Fax. +82-2-714-9235

EU & America Sales

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel. +82-2-728-7467 Fax. +82-2-714-9235

Asia Sales

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel. +82-2-728-7491 Fax. +82-2-714-9235

China Sales

上海聚醚醚化工贸易有限公司
上海市长宁区天山路1717号SOHO天山广场2幢T2-903C室(200051)
Tel. +86-21-6237-1977 ; E-mail: cpac.sales@gpac-kpac.com

Disclaimer: 1. 상기 자료는 본 제품에 대해 당사의 현재 기술 수준에서 측정된 것이며, 측정 방법 및 조건에 따라 변경될 수 있습니다. 본 제품에 고객에 의해 안료 및 기타 첨가제가 사용된 경우 상기 자료는 적용되지 않습니다. 본 제품은 (치)의학 Implants 용으로는 적합하지 않으며, 고객은 안전 및 보건 기준에 따라 본 제품을 사용해야 합니다. 제품 사용의 결정 및 책임은 고객에게 있으며, 상기 자료는 법적 소송 및 근거자료로 활용될 수 없습니다.

2. 상기 성형수축률은 당사 시험편 금형을 이용하여 특정 사출조건에 한하여 측정된 수치이므로, 측정조건에 따라 다소 변동될 수 있습니다. 귀사에서 제작하고자 하는 금형의 경우 두께, 디자인, 사출기, 사출조건 등이 당사 시험편 금형과 상이하여 상기 수축률과 차이가 있을 수 있으므로, 귀사의 설계조건, 사출성형조건 등을 충분히 검토하신 후 필요 시 보정하여 적용하시기 바랍니다. 제작하고자 하는 금형과의 수축률 차이가 발생할 경우 당사에서는 어떠한 법적 책임도 질 수 없으며, 모든 책임은 귀사에 있음을 분명히 밝혀 드립니다.