

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

제품·몰드 디자인 보고서

재료와 제조공정 Project

A. 제품 디자인	2
A.1. 작동 최적화.....	2
A.1.1. 디자인 변천.....	2
A.1.2. 운동 시뮬레이션.....	6
A.2. Design for Manufacturing	7
B. 몰드 제작	9
B.1. 분리선 결정과 하코어의 종류.....	9
B.2. 부품 배치.....	9
B.3 몰드 시뮬레이션	11
B.3.1. 파트별 시뮬레이션	11
B.3.2 전체 시뮬레이션	12

-4 조 구성원-

이 름	학 번	소 속
송찬의	2018-17070	기계항공공학부
강지훈	2018-12728	기계공학부
신재호	2017-15593	기계공학부
하창우	2017-16289	기계항공공학부
황준호	2017-14429	기계공학부
강우준	2017-18958	기계공학부
윤석원	2019-15022	자유전공학부
최현도	2017-17939	기계항공공학부
이태훈	2017-11771	기계공학부

A. 제품 디자인

A.1. 작동 최적화

A.1.1 디자인 변천

(1) 1차 디자인

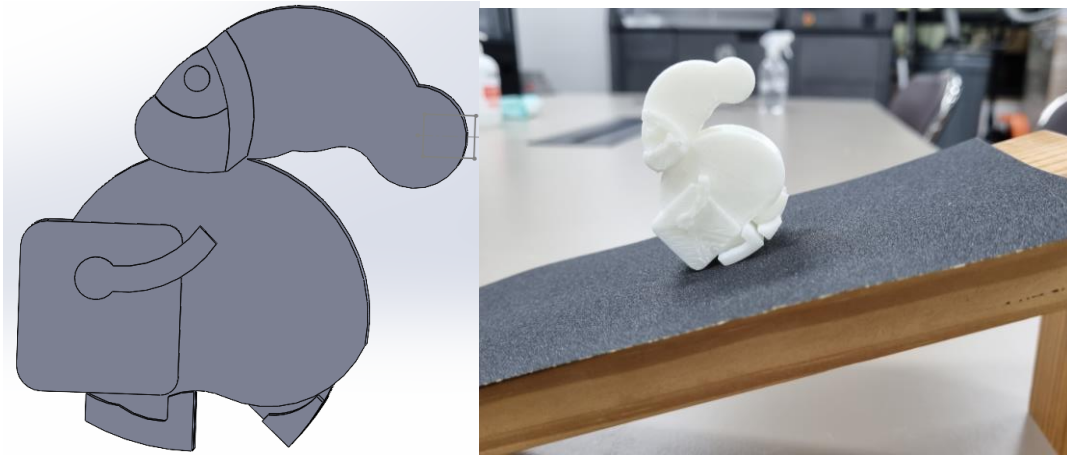


Fig 1. Model 1 design

1차 보고서에 제출한 디자인을 FDM 방식으로 모델링하여 빗면에서 직접 실험한 결과, 자유롭게 움직여야 할 뒷다리의 운동에 문제점이 있음을 확인하였다. 양 몸통과 지나치게 맞물려 있어 거의 긴 형태였다. 따라서 운동 양상을 확인할 수 없었고 Press fit 역시 구멍이 지나치게 작아 결합에 어려움이 있었다.

(2) 2차 디자인

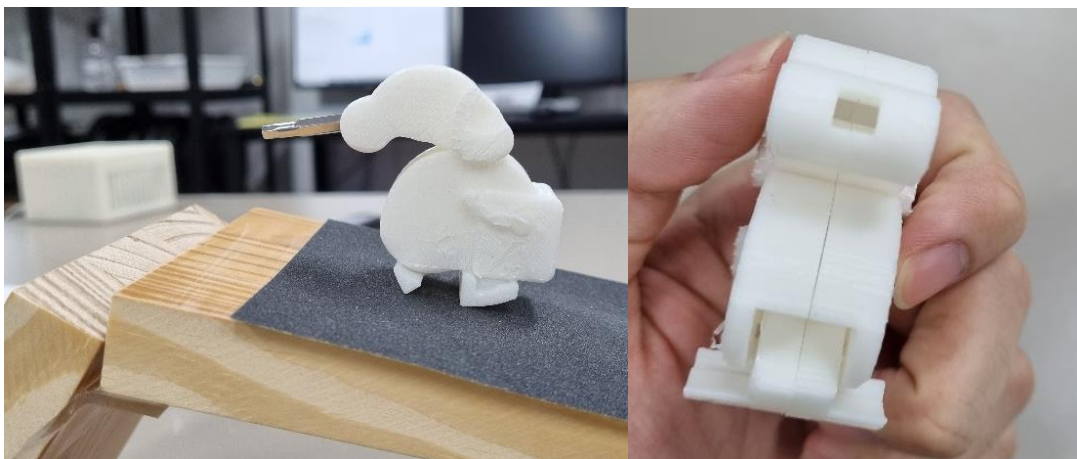


Fig 2. Model 2 design

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

뒷다리와 몸통의 맞물림을 방지하기 위해 다리의 폭을 깎아내고 Press fit 결합 구멍의 반경을 0.2mm 증가시켰다. 그 결과 장난감이 운동함을 확인하였지만 다리가 앞뒤로 움직이며 걸어 내려가지 않고 앞으로 쏠려 굴러 내려가는 운동을 하였다. 장난감의 머리 쪽의 모자 디자인과 앞 쪽의 선물 상자로 인해 무게중심이 지나치게 높고 앞쪽이기에 발생한 문제였다. 이에 대한 해결책을 실험하기 위해 무게중심을 이동시킬 목적으로 뒤쪽에 쇠못을 테이프로 접착하였다.

그 결과 장난감이 일반적인 Ramp walker의 운동과 비슷한 양상으로 움직이긴 하였으나 안정적인 범위 안에서 앞뒤로 움직이지 않았다. 그러나 장난감이 안정된 운동 범위를 벗어나지만 앞쪽의 선물상자와 뒤쪽의 쇠못이 빗면을 치면서 그 반발력으로 넘어지지 않고 내려가는 형태의 운동을 보였다. 이는 목표로 한 장난감의 움직임이 아니었기에 무게중심의 수정과 더불어 안정적으로 내려가게끔 디자인을 수정할 필요가 있었다.

(3) 3차 디자인



Fig 3. Model 3 design

위의 문제점을 해결하고 운동의 안정성을 늘리고자 뒷다리의 곡률반경과 폭을 증가시켰다. 그러자 장난감 초기의 위치에 따라 다른 방식으로 문제점이 생김을 관찰하였다. 먼저 초기 각도를 지나치게 젖힐 경우 장난감의 질량 중심이 빗면과의 접촉점보다 뒤쪽에 위치하여 뒤로 넘어갔다. 또는 각도를 줄여 앞 쪽으로 무게중심이 위치하더라도 앞다리의 길이가 빗면에 닿을 만큼 충분하지 않아 장난감이 앞으로 굴러갔다.

당일 1차 실험과 마찬가지로 쇠못을 접착하여 운동하여도 비슷한 문제점이 발생하였다. 이로부터 디자인의 문제점이 무게중심의 위치가 아닌 앞다리와 뒷다리의 형상에 있다고 추측하였고 수정 전 기존 모델에서 다리의 형상을 수정하기로 결정하였다.

(4) 4차 디자인

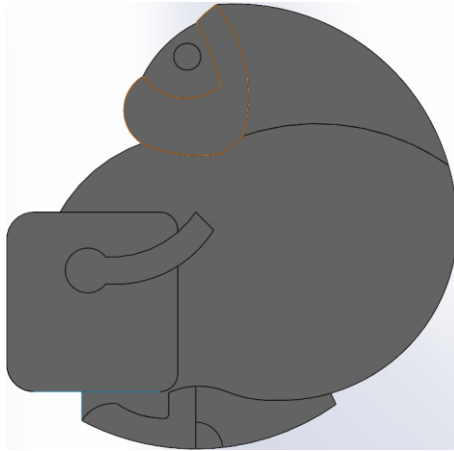


Fig 4. Model 4 design

기존 모델에서 뒷다리의 회전축과 질량 중심이 일치하도록 디자인을 수정하였으나 다리의 곡률 반경은 변화하지 않았기에 10월 11일 모델과 마찬가지로 빗면에서 굴러 떨어졌다.

(5) 5차 디자인

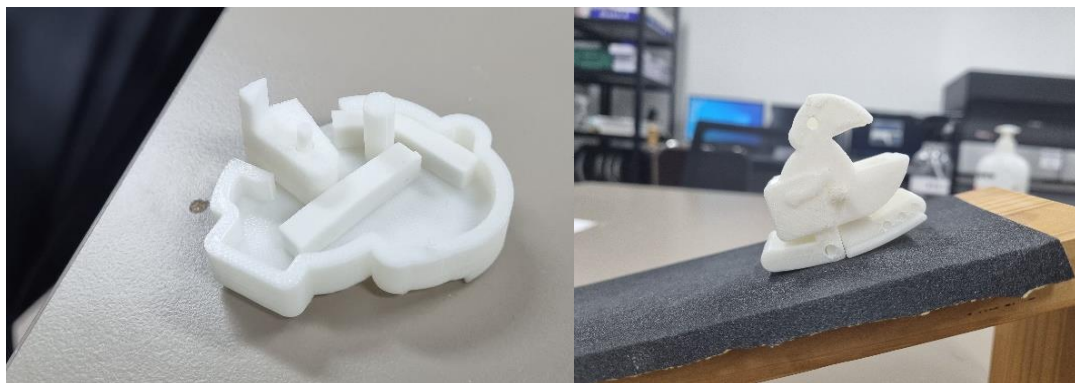


Fig 5. Model 5 design

다리의 회전축과 질량중심이 일치하는 조건을 유지한 채 다리의 곡률 반경을 기존에 비해 4배 증가시켜 안정적으로 운동을 하게끔 수정하였다. 그 결과 장난감을 내려놓은 후 얼마 안된 운동 초기에는 Ramp walker 장난감과 같이 운동하였으나 발이 지나치게 커 큰 마찰력이 작용하고 무게중심의 위치가 적절하지 않았기에 몇 초 뒤에 장난감이 정지하였다. 또한 정지한 시점에서 장난감을 관찰하였을 때 앞발이 빗면에 닿고 몸체가 앞으로 쏠린 채로 멈추었다.

이로부터 무게중심의 위치를 더 뒤로 옮겨야 하고 중력에 의한 복원력을 키우기 위해 위로 올려야 한다는 결론을 얻었다. 이를 실험적으로 확인하기 위해 뒷부분에 다시 못을 달아 실험을 한 결과 운동이 안정적으로 이루어졌다. 따라서 언급한 방향으로 디자인을 수정하기로 계획하였다.

(6) 6차 디자인과 7차 최종 디자인

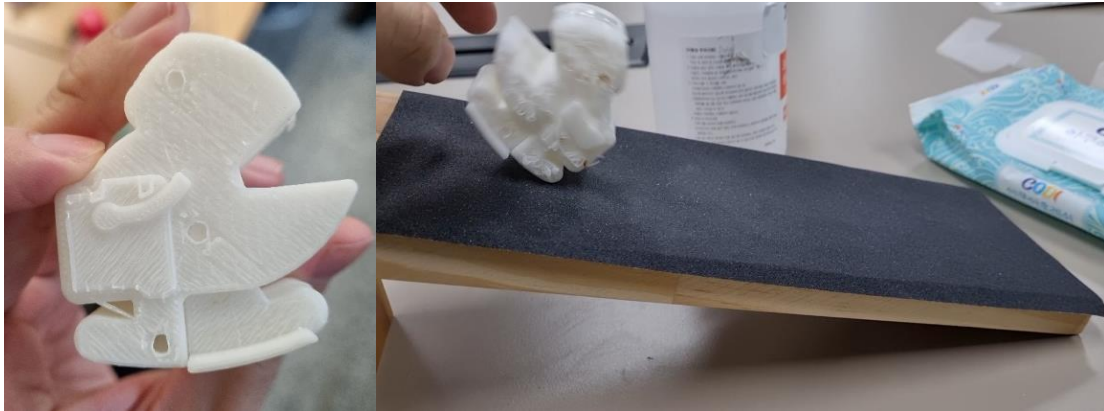


Fig 6. Model 6 design

이전 디자인에서 보인 문제점이었던 지나치게 큰 다리와 이로 인한 마찰력을 줄이기 위해 다리의 곡률 반경을 기존 100mm에서 60mm로 축소하고 발의 크기도 축소하였다. 무게중심의 위치를 언급한대로 위쪽, 뒤쪽으로 옮기기 위해 모자 부분의 부피를 늘리고 뒤쪽으로 이동시켰다. 이렇게 수정하여 다시 실험을 한 결과, 장난감이 이전 모델과 마찬가지로 빗면에서 굴러 떨어졌다.

이로부터 다리의 곡률반경과 발의 크기는 100mm의 길이로 유지하는 것이 가장 안정적이라는 것을 확인하였다. 따라서 이전 디자인에서 무게중심의 위치만 모자를 통해 수정하고, 주어진 몰드의 상판과 하판에 장난감이 들어가야 하므로 앞발의 크기를 소폭 감소시켰다. 또한 뒷다리를 사출 시에 8mm 직경의 밀핀으로 밀 수 있어야 하므로 뒷다리의 두께를 충분히 늘려주었다. 이를 바탕으로 아래와 같이 Model 7 design을 디자인하고 출력한 후 실험해 정상 작동을 여러 번의 실험에 걸쳐 확인했다.

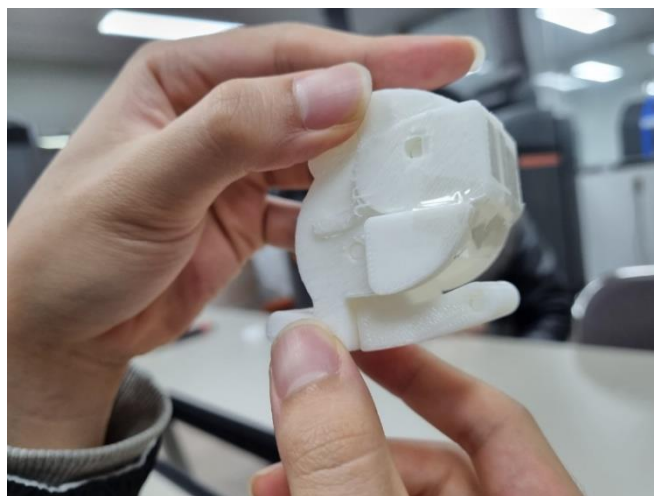


Fig. 7 Model 7 design

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

A.1.2 운동 시뮬레이션

후보군마다 3D 모델을 직접 출력을 해 수작업으로 하기 어려우므로, 실험과 동시에 아래와 같이 SolidWorks 프로그램에서 지원하는 운동 시뮬레이션을 활용해 여러 모델을 실험했다. 빗면의 각도는 실험과 동일하게 20도로, 부품은 앞다리를 포함한 원통형의 몸통과 뒷다리 두개로 설정했다. 질량중심을 축에 놓기 위해 원통을 길다랗고 크게 만들었고, 좌우로의 움직임을 제한했다. 발 곡면과 다리 길이와 형태를 변화시키고, 앞서 만든 ramp walking toy 이론의 5가지 조건을 만족하는 해를 실험하며 적절한 형태의 산타 장난감 수치를 실험했다. 몸통과 빗면 사이, 뒷다리와 빗면 사이, 그리고 몸통과 뒷다리가 겹치지 않게 구속 조건을 설정하고 마찰과 충돌계수 등을 변화시키며 실험했다.

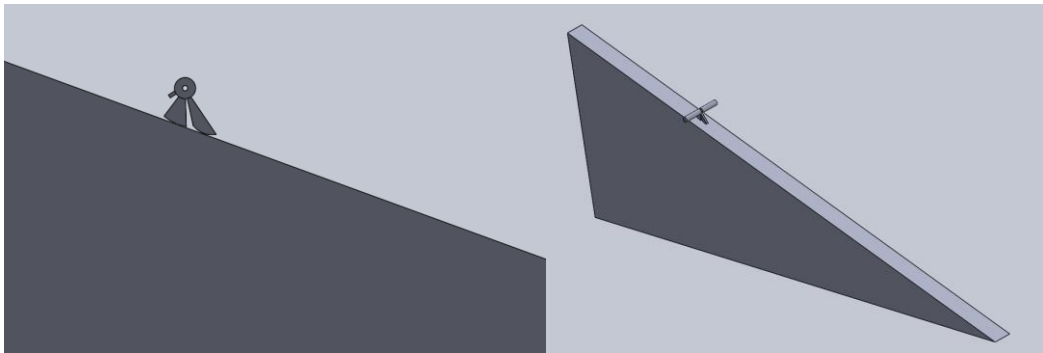


Fig 8. Dynamic simulation using Solid Works Program

A.2. Design for Manufacturing

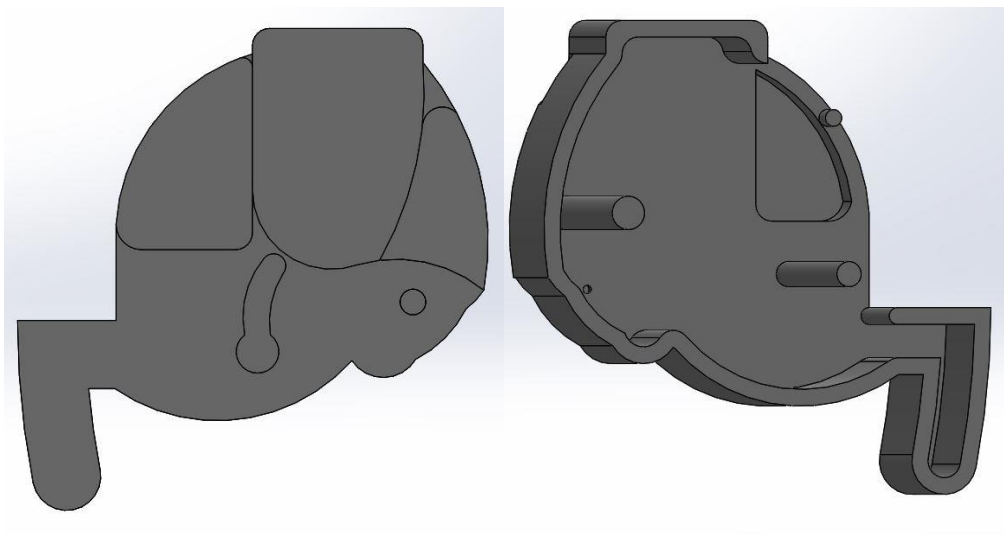


Fig 9. Design before considering manufacture

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

산타 장난감을 위와 같이 제작할 시 빗면 상에서 잘 작동함을 확인하였지만 여러 제작 상의 제한 조건으로 인해 크게 세 가지의 문제점이 존재하였다. 첫 번째로 다리와 몸통 폭이 지나치게 두꺼워 2mm 반경, 6mm 날길이의 Flat 엔드밀로 벽면을 가공하는 것이 불가능했다. 또한 몰드 크기에 비해 큰 폭을 갖는 형상은 사출 시에 어려움이 존재하므로 전체적인 장난감의 폭을 줄이는 일이 불가피하였다.

다음으로 장난감을 조립하는 결합부에 문제점이 있었다. 이전 디자인에서는 몸통 안쪽 바닥에서부터 돌출된 직경 2mm 축이 반대쪽 몸통의 구멍과 결합하는 방식으로 조립하였으나 이는 다음과 같은 이유로 수정이 필요한 디자인이었다. 먼저 얇고 긴 길이의 형상을 갖는 축은 구조적으로 매우 불안정하다. 실제 FDM으로 모델링하여 만든 제품의 결합부는 약한 충격에도 흔들릴 정도로 약했다. 또한 몸통의 경우와 마찬가지로 28mm의 긴 축은 몰드 사출시에 어려움이 존재할 것으로 예상되었으며 이를 가공할 수 있는 조건의 엔드밀 또한 존재하지 않았다. 드릴을 사용할 경우 가공이 가능한 디자인이었지만 끝이 평평해지지 않는다는 점, 드릴의 사용 가능여부가 확실하지 않다는 점으로 인해 다른 결합 방법을 찾아야만 했다.

마지막으로 가공 후 몰드 돌출부의 직경이 2mm를 넘어야했기에 원래 디자인에서 작은 간격을 갖는 돌출부 사이를 다듬을 필요가 있었다. 수정 후 디자인은 아래 그림과 같다. 수정 전 존재했던 팔과 엉덩이 사이 두 면이 닿는 틈새를 메웠으며 팔과 몸통을 합쳤다. 또한 몸통과 다리 piece 각각의 두께가 각각 15mm, 12mm였으나 모두 7mm씩 줄여 수정 후에는 8mm, 5mm가 되었다.

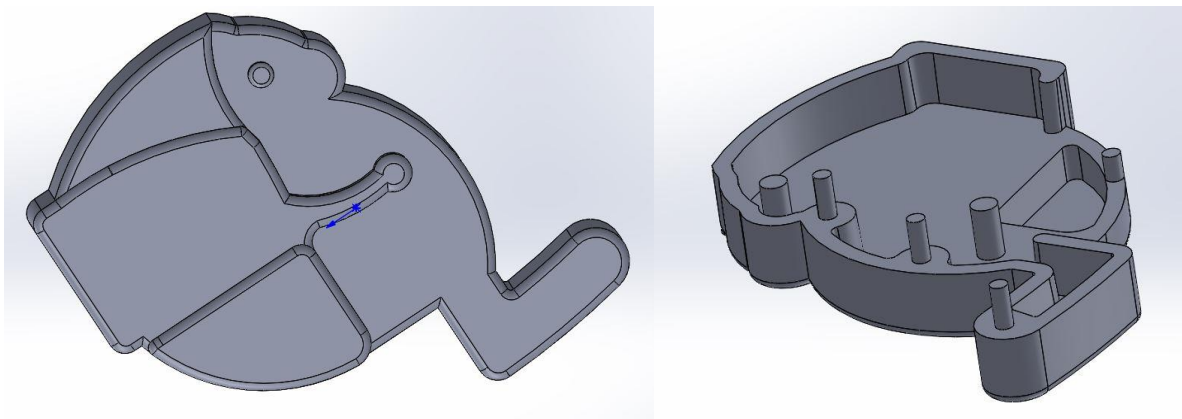


Fig 10. Design after considering manufacture, exterior(left) and interior(right), lettering not included

가장 큰 문제였던 결합부의 축은 엔드밀의 길이 조건을 맞추기 위해 몸통 안쪽의 바닥이 아닌 둘레 벽면에서부터 돌출되게끔 디자인하였다. 옆의 면으로부터 2mm씩 여유를 주어야 하므로 기존의 벽면에서 결합 축을 설치할 원형의 여유 공간을 확장하여 그 위에 결합부를 만들었다. 이러

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

한 방법을 통해 제작 조건을 만족시켰을 뿐만 아니라 벽면을 확장하여 결합부를 설치할 위치를 임의로 조절해 무게중심의 위치를 좀 더 안정적으로 만들 수 있었다. 무게중심의 위치를 기존의 위치보다 약간 앞으로 이동시킬 필요가 있었기에 결합부의 위치를 대부분 앞쪽으로 디자인한 모습을 위의 그림에서 확인할 수 있다.

산타 장난감의 결합부는 원기둥 축과 이를 끼울 수 있는 반대편 piece의 구멍으로 구성 되어있으며, 장난감의 앞발 끝부분과 배를 포함해 총 3곳에 배치되어있다. 유의할 점은 두 몸체 piece가 적절한 힘에 의해 결합하기 위해서는 최종 제품의 축 지름과 구멍 내경 지름이 최대한 비슷해야 한다는 것이고, 이를 위한 적절한 디자인 수치가 필요하다. 구멍과 수축율에 대한 데이터는 공지 사항에 기재되어 있는데, 축 직경 5.95mm, 구멍 내경 6mm일 때 도구를 사용하지 않고 적당한 힘으로 결합 가능하다고 한다. 따라서 같은 비율로 2mm의 축 직경에 대해서는 2.015mm의 구멍 내경이 필요하다고 계산했고, 이를 결합부 도면에 적용시켰다. 뒷발도 결합부가 발 끝쪽에 하나 존재하는데, 동일하게 처리했다.

몸통에 뒷발을 끼워 맞추는 디자인 원리에 따라 근본적으로 뒷발의 폭이 앞발에 비해 작을 수 밖에 없다. 앞발의 폭은 16mm, 뒷발의 폭은 10mm로 이전 디자인에서 두께를 줄임에 따라 뒷다리의 안정성이 떨어졌고, 실제로 FDM을 사용해 직접 작동 양상을 관찰한 결과 잘 작동했지만 운동이 진행하며 뒷다리에 의해 불안정해지는 양상을 보였다. 그러나 2mm endmill 두께에 따른 벽 두께의 제한에 의해 앞다리와 몸통, 뒷다리의 전반적인 제품 두께의 감소는 불가피했다. 이에 뒷다리의 발 끝 부분만 폭을 키워 디자인해, 이러한 근본적인 문제를 해결할 수 있었다. 방법은 발 밑면에 2mm 오프셋을 주고 3mm만큼 돌출시켜 마치 스케이트 날 보조와 같은 형상을 만들었다. 이러한 방법으로 다시 발 자체의 폭을 계산하면 앞발의 폭은 16mm, 뒷발의 폭도 16mm로 안정적인 운동을 위한 디자인을 완성했다.

제품 외관 표면에는 모두 1mm 필렛을 부여했고, sharp corner를 형성하는 외부 벽면에 대해서도 2.5mm 필렛을 부여했다. 또한 이에 대응하는 내부 sharp corner는 0.5mm 필렛을 부여했는데, 이는 abs가 흐르는 벽 두께를 일정하게 유지시키기 위함이다. 필렛으로 인해 매끄러운 형상이 만들어지며, 몰드에 물릴 때 수축함에 따라 상코어 및 하코어에서 외부 벽면이 떨어져나가기 때문에 바깥 면에 대한 구배는 넣지 않았다. 바깥면에 대한 구배를 넣지 않은 다른 이유는 앞다리와 뒷다리 둘 다 두개의 piece가 결합부로 서로 결합하는 제품 디자인에서, 구배에 의해 빗면을 내려올 때 운동이 불안정해질 수 있기 때문이다. 한편 벽면 내부는 0.5mm 필렛을 부여했고 뒷다리의 경우 바닥까지 필렛을 부여했으나 뒷다리와 몸통을 포함한 piece는 옆 내부 벽면만 필렛을 부여했다. 이론적으로는 뒷다리와 몸통 역시 내부 바닥까지 필렛을 부여하는 것이 좋을 것이나, 형상이 복잡해 잘 부여되지 않았고, 내부의 형상은 외관에 영향을 미치지 않기 때문에 최종적으로 내부 바닥은 필렛을 부여하지 않았다. 내부 벽면은 외벽과 달리 ABS(Acrylonitrile butadienstyrene)가 수축함에 따라 몰드에 물리기 때문에 2도 구배를 주어 분리를 도왔다.

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

B. 몰드 제작

B.1. 분리선의 결정과 하코어의 종류

하코어와 상코어의 경계에 부품이 놓이게 되는 경우, 분리선은 부품의 바닥 면 근방으로 잡아 외관이 보이는 면을 상코어 쪽으로 가게 했을 때 정상적인 사출에 유리하다. 바닥 면을 기준으로 분리선까지의 거리를 결정했고 크게 세가지 요인을 고려해 결정했다. 첫번째는 cooling 과정 후 상코어와 하코어가 분리될 때 하코어에 부품이 붙어있어야 한다는 것이다. 이는 복잡한 형상이 하코어 쪽에 와야 하고, 전체 부품의 부피의 반절 이상이 하코어에 오도록 설계해야 함을 의미한다. 두번째는 러너를 통해 게이트로 ABS 주입시 에어트랩이 없어야 하고, 싱크마크를 최소화해야 한다는 것이다. 또 ABS가 채워지는 지점이 부품의 아래쪽이나 위쪽이 되거나, 충전 과정 속에 중앙에 공기가 갇히게 되면 가스밴드를 통해 공기가 나오지 못해 제품 형상에 문제가 생긴다. 세번째는 산타 몸체 부품에는 바닥면보다 더 깊게 들어간 면이 있는데, 이는 하코어 쪽에 위치해야 한다는 것이다. 첫번째와 두번째 이유를 고려해 분리선은 산타 몸체의 경우 부품 내부 바닥면에서 1mm 들어간 지점, 다리의 경우 바닥면으로 설정했고 세번째 이유를 고려해 하코어는 양각 하코어를 사용해 디자인했다.

B.2. 부품 배치

안정적인 제조 과정을 위해선 하코어에 무겁거나 몰드를 잡을 수 있는 구조를 배치하는 것이 좋기 때문에, 각 부품의 내부가 하코어 방향을 향하도록 하였다. 하코어와 상코어의 경계는 내부의 벽의 경계와 같다. 원하는 운동을 위해서 제작하려는 파트의 크기를 크게 설계하였으나, 몰드의 크기가 제한적이기 때문에, 적절한 부품 배치가 필요했다. 러너의 좌우에 균형 있는 분배를 위해 한쪽에 각각 몸통과 다리 부분을 한 파트씩 배치하였다. 특히, 밀핀의 위치를 평평한 내부에 맞추는 것이 중요하였다. 원활한 배치를 위해 각 밀핀을 하나씩 막아 양쪽에 밀핀이 3개씩 사용되도록 하였고, 각각의 밀핀의 길이는 6개 모두 25mm이다. 그 결과, 그림Fig 11, 12와 같이 적절한 배치가 완성했다. 가스 벤트는 각 파트의 중심에서 적당한 지름으로 4개의 원을 그려 형성하였다. 각 원의 반지름은 그림의 왼쪽부터 40, 34, 34, 40이었고, 각 원의 중심은 정중앙에서 양옆으로 50, 14로 배치했다.

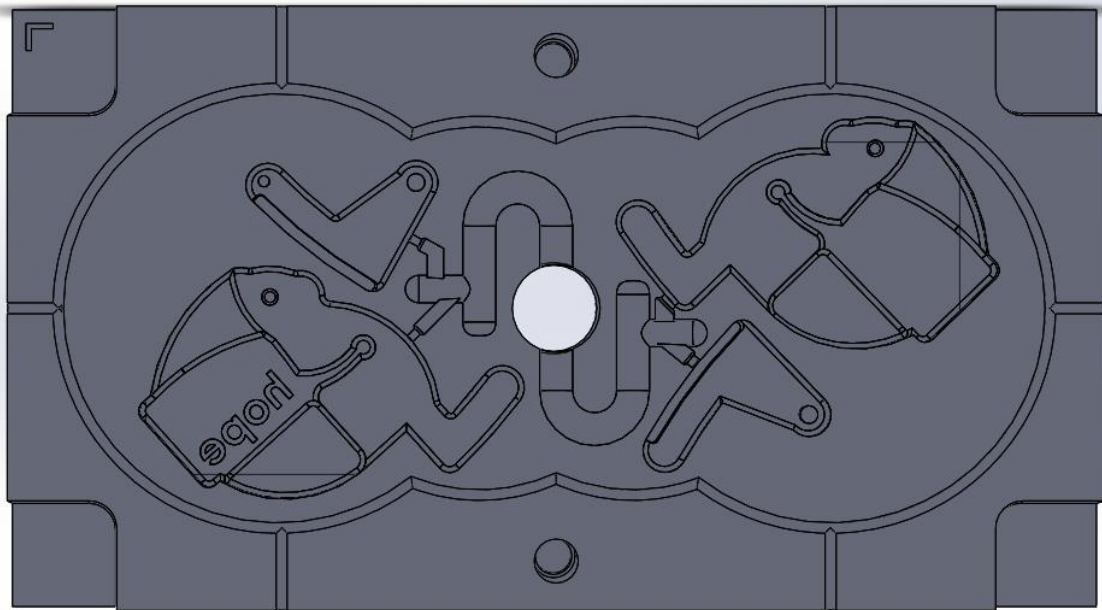


Fig 11. Positioning of parts on mold

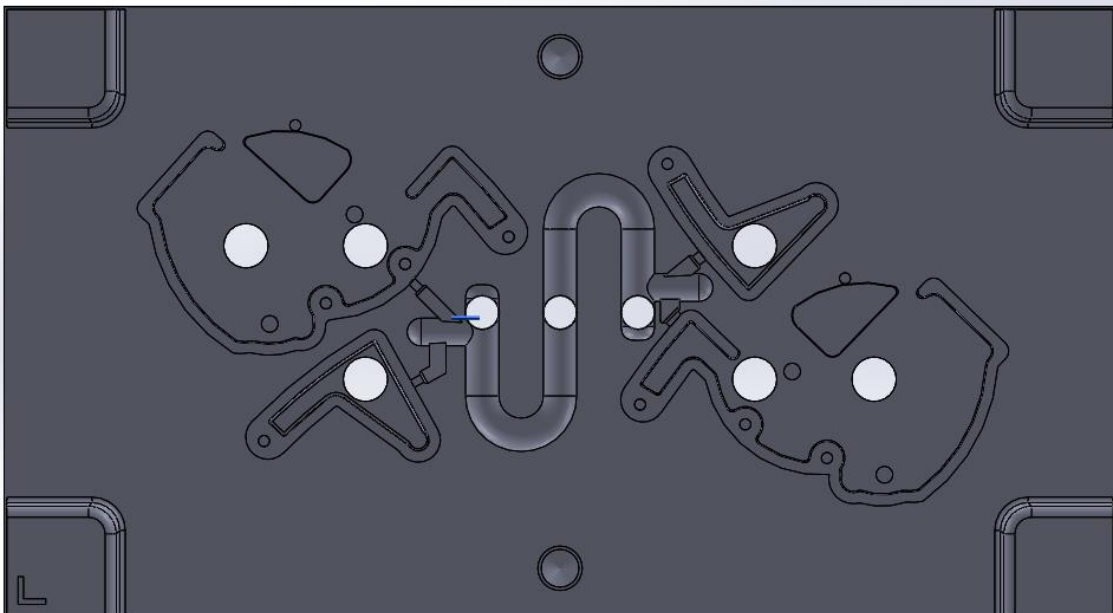


Fig 12. Positioning of ejector pin on mold

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

B.3. 몰드 시뮬레이션

B.3.1 파트 시뮬레이션

몰드 플로우 시뮬레이션을 통해 실제 몰드 가공에 앞서 발생할 수 있는 문제점이나 현상을 미리 파악하였다. 특히, 문제가 생길 수 있는 제품의 부분이나 게이트 형상, 위치 등을 파악해 수정해 나가는 것을 목표로 하였다. 이 때 앞서 언급한 바와 같이 파트의 형상과 밀핀 위치, 하코어의 양각 부분을 고려하여 파트들을 배치하였을 때 러너에서 나오게 될 게이트의 위치는 한정적이다. 따라서 먼저 게이트가 연결될 만한 파트의 영역에 사출점을 지정하여 몰드 플로우 시뮬레이션을 진행하였다. 이를 통해 각 파트 별 ABS 몰딩의 특성, 특히 충전시간을 분석하였다. 해당 결과로부터 각 파트로 연결되는 게이트의 단면적비와 형상을 설계하고 러너-게이트-파트로 연결되는 전체 형상을 설계하였다.

위에서 제시한 배치로부터 실현 가능한 게이트의 위치를 하나씩 정하고 솔리드웍스를 이용해 몰드 플로우 시뮬레이션을 진행하였다. 이 때 메쉬 설정은 산타의 몸통(Part A, C)는 사이즈 2mm 사면체로, 다리(Part B, D)는 사이즈 1mm인 사면체로 진행하였다. 이것은 해당 부품들에 곡면이 많이 포함되어 있기 때문이다. 해당 시뮬레이션의 충전시간, 충전 완료시의 압력과 온도 분포, 싱크마크에 관한 결과는 E-drawing 형태 파일로 첨부하였다.

이로부터 충전 시간은 산타 몸통의 경우 약 2.17 초(Part A)와 2.56 초(Part C) 정도이고 다리의 경우 약 1.55 초(Part B)와 1.60 초(Part D)정도 걸린다는 결과가 도출되었다. 다리의 경우 상당부분이 대칭으로 같기 때문에 비슷한 결과를 내었으나, 몸통의 경우 특히 결합부 측 부분이 있는 Part C 가 모두 채워지는 데 더 오랜 시간이 걸린 것으로 확인되었다. 충전 완료시 압력과 온도 분포의 경우 파트의 대부분의 영역에서 일정한 편임을 확인할 수 있다. 그러나 실제 몰딩 과정에서 발생할 압력, 온도 분포는 러너와 게이트를 합친 전체 형상의 시뮬레이션을 통해서 유의미한 값을 얻을 수 있다. 산타의 엉덩이 쪽 썰매 형상이 가장 두껍기 때문에 싱크마크가 가장 크게 생길 것임을 쉽게 예상할 수 있었고, 따라서 안쪽 벽 부분에서 썰매 형상의 오프셋을 따라 면을 파내어 해당 부분의 싱크마크를 획기적으로 줄일 수 있었다. 위에서 언급한 양각 하코어를 사용해야만 하는 면이 바로 이 부분이다. 첨부된 최종 디자인에서의 결과를 볼 때 싱크마크는 썰매보다 위에 있는 상자 부분/레터링 된 부분에서 최대 0.06mm 정도로 가장 크게 발생하나, 모든 결합축과도 멀리 떨어져 있으며 기능을 하지 않는 부분이기 때문에 이 정도 변화로는 문제가 생기지 않을 것이라 판단하여 보존하였다. 장난감이 잘 걷기 위해서는 뒤 쪽의 질량이 일정 수준 이상 필요하기 때문이기도 하다.

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

B.3.2 전체 시뮬레이션

완전한 대칭의 몰드를 만들 수는 없었지만, 균형 있는 형상이 되도록 게이트를 설계하였다. 우선 게이트의 단면은 다리 파트는 2mm*1mm, 몸통 파트는 3mm*1mm로 설계하였고, 각 파트와 수직인 방향으로 주입되도록 하였다. 사출 후 분리를 원활하게 하기 위해 게이트에서 두께를 특히 얇게 했다. 게이트 직전 사출구는 이 게이트보다 높이와 너비가 0.5mm씩 더 크게 디자인하였고, 원활한 ABS의 흐름을 위해 5도의 구배를 주었다.

이를 통해 Fig 13와 같은 전체 파트를 설계하고 전체 몰드 시뮬레이션을 실행하여 예상되는 문제점을 파악하였다. 이것이 1차 시뮬레이션이다. 이 때 모든 전체 형상 시뮬레이션에서 메쉬 설정은 2mm 사면체로 통일하였으며 사출 지점은 러너의 중앙부분에, 직경 6mm로 배치되었다. 이는 이전의 프로젝트에서 실제 사출된 스프루와 러너가 만나는 부분의 직경을 참고한 것이다. 마찬가지로 각 시뮬레이션 결과에서 충전 시간, 압력, 온도, 싱크마크를 E-drawing 파일로 첨부한다. 모든 drawing에서 좌측 위의 레터링이 되어 있는 파트에서부터 시계방향으로 Part A, D, C, B이다. (좌측-Part A, B, 우측-Part C, D)

1차 시뮬레이션 결과에서 눈에 띄는 불균형은 충전 시간과 충전 후 압력 분포다. Fig 14를 보면 충전 시간의 경우 비교적 균일하나 우측의 산타 몸통인 Part C의 끝부분이 약 2.12초로 다른 파트에 비해 늦게 완료가 됨을 볼 수 있는데, 이는 게이트의 위치가 중앙 쪽 배 부분에 달려있는 Part A와 달리 중앙에서 떨어진 발바닥 부분에 배치되어 있기 때문이다. 따라서 게이트로부터 멀리 있는 벽, 특히 결합축 부분들이 늦게 채워지게 된다. 압력의 경우 Fig 15와 같이 좌우가 상반된 모습을 보였으며, 최대 압력 차이는 약 34MPa으로 계산되었다. 서로 형상 자체는 거의 비슷함에도 불구하고 좌측의 압력이 눈에 띄게 높게 형성되었다. 이것 역시 좌측의 경우 우측보다 먼저 완전히 채워지기 때문으로 보인다. 이러한 분포는 대량생산을 해야 하는 몰드 생산에 있어서 몰드 수명이나 제품 형상에 좋지 않은 형태다. 따라서 게이트의 위치나 형상을 수정하여야 한다.

추가로 온도의 경우 Fig 16와 같이 पार्ट끼리는 거의 비슷하지만 러너 상에서 불균형이 존재하였고, 싱크마크의 경우 개별 파트에서 예측되었던 최대 수치와 거의 비슷한 수치로 같은 위치에서 발생하였다. 이것의 단면도는 Fig 17와 같다. 단면 형상의 바닥면에서 파트가 살짝 파인 것을 볼 수 있다. 그러나 이는 위에서 언급했듯 제품에 무시할 수 있을 만한 영향을 줄 것으로 생각된다. 에어 트랩의 경우 Fig 18와 같이 점으로 표시되었다.

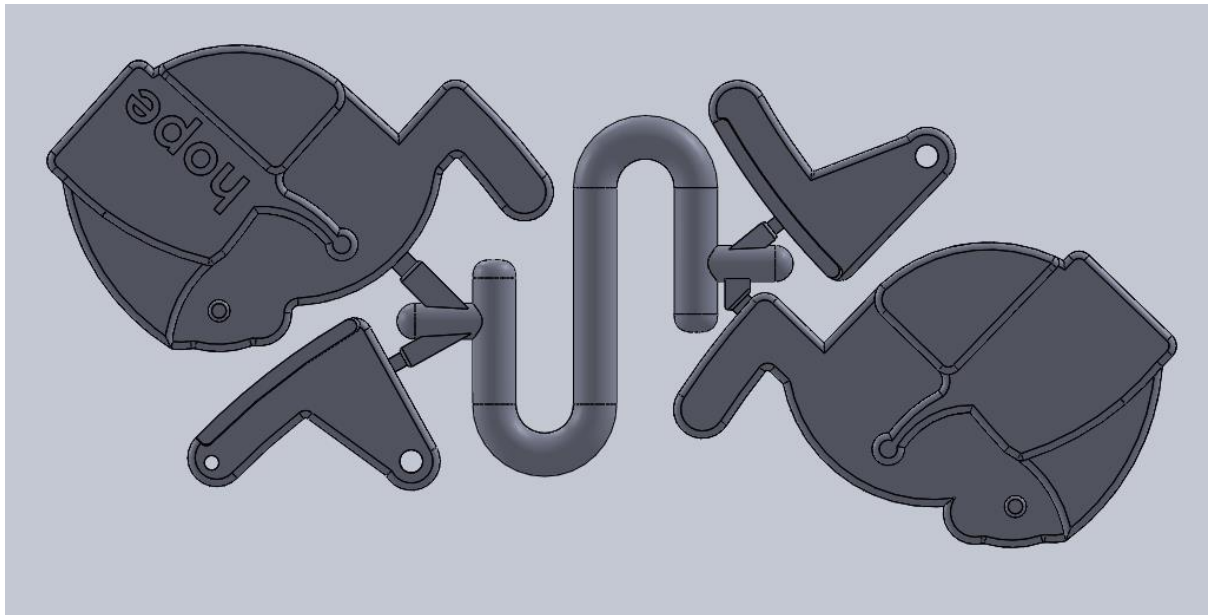


Fig 13. First formation of mold design

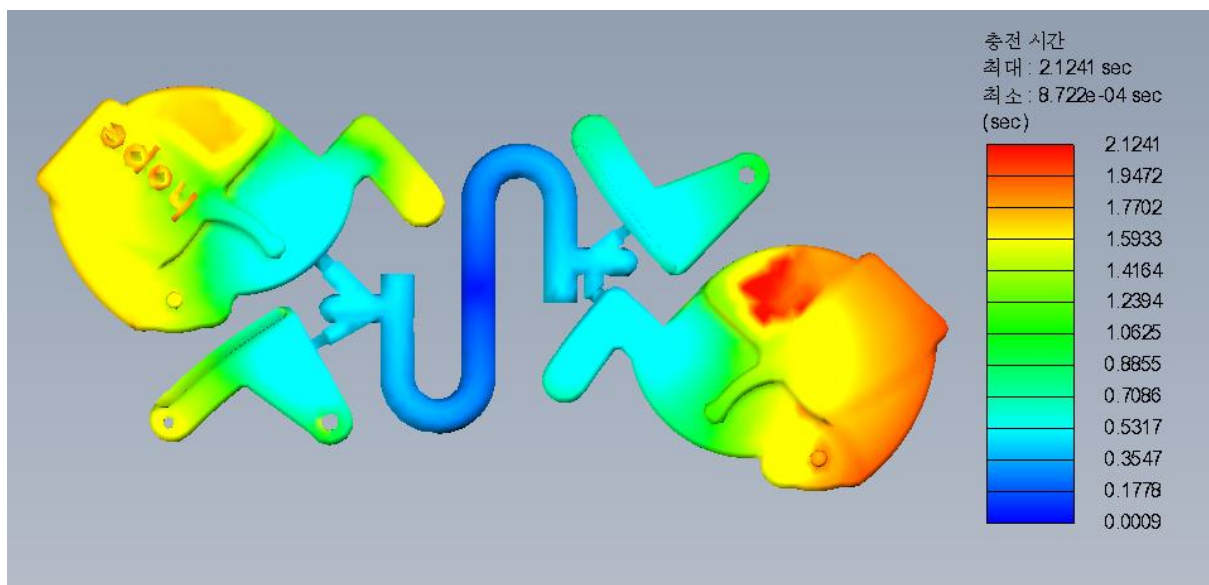
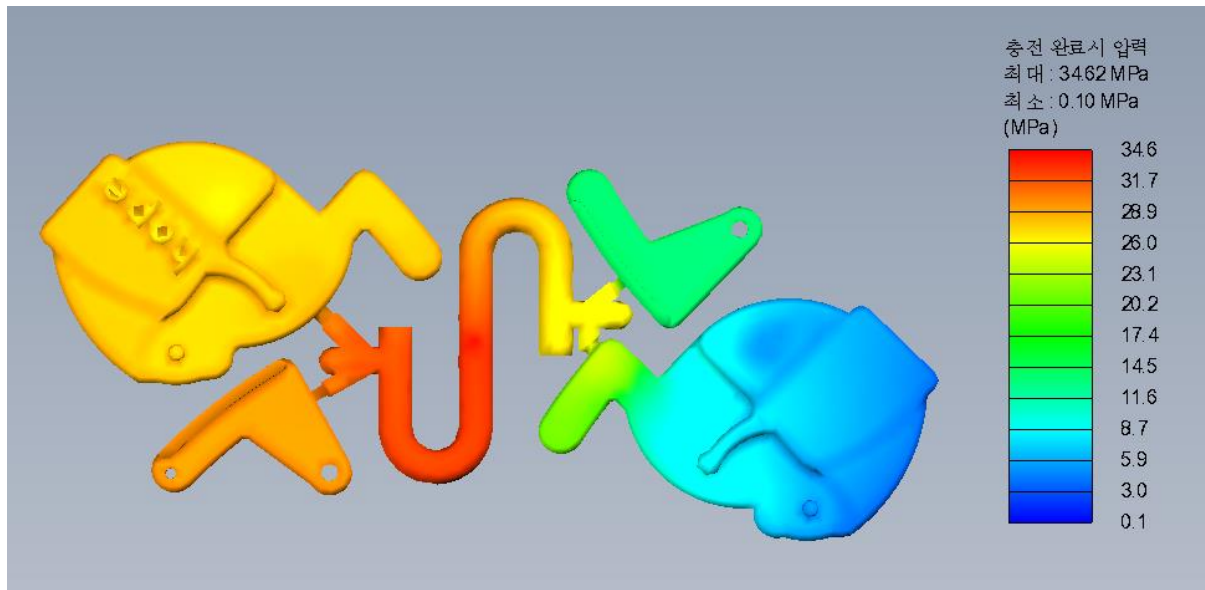
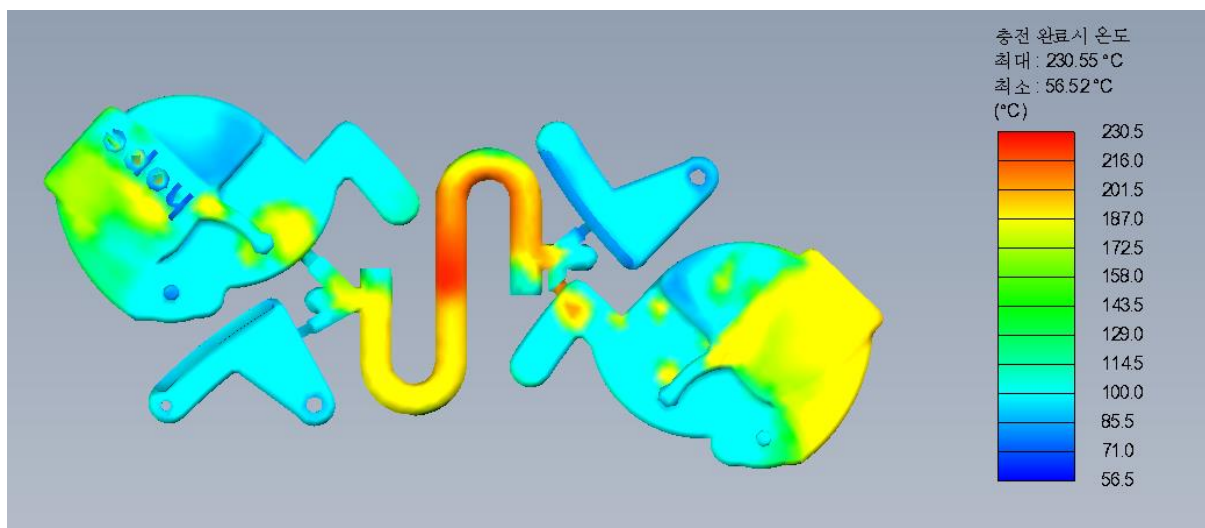
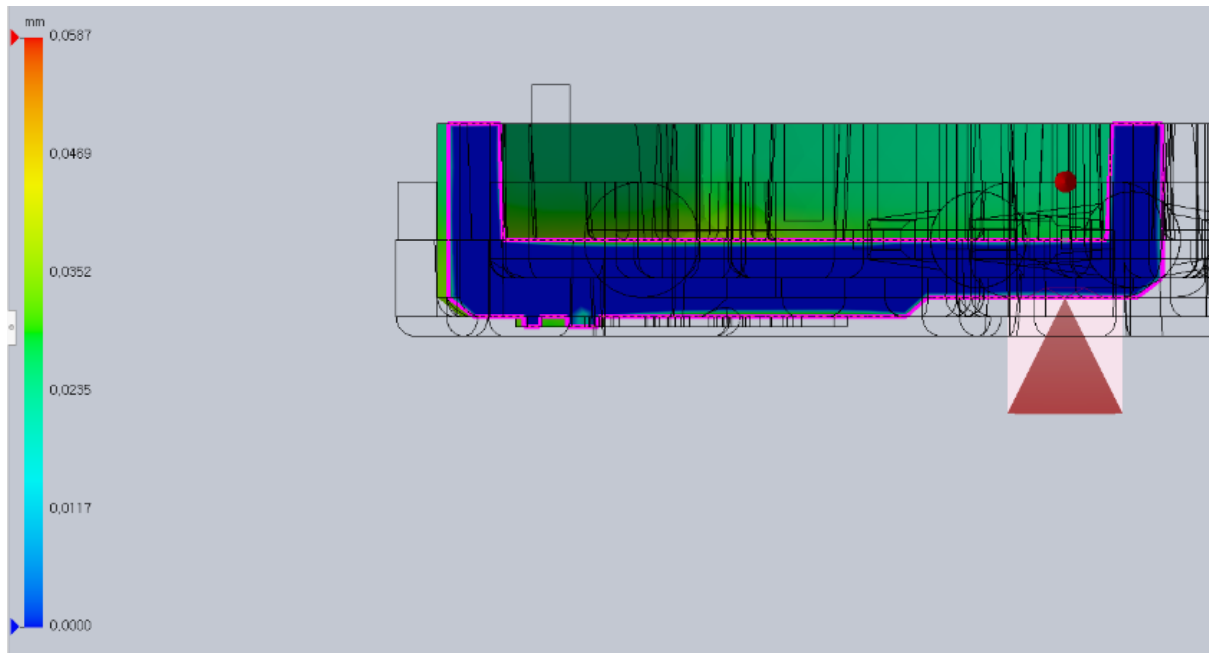
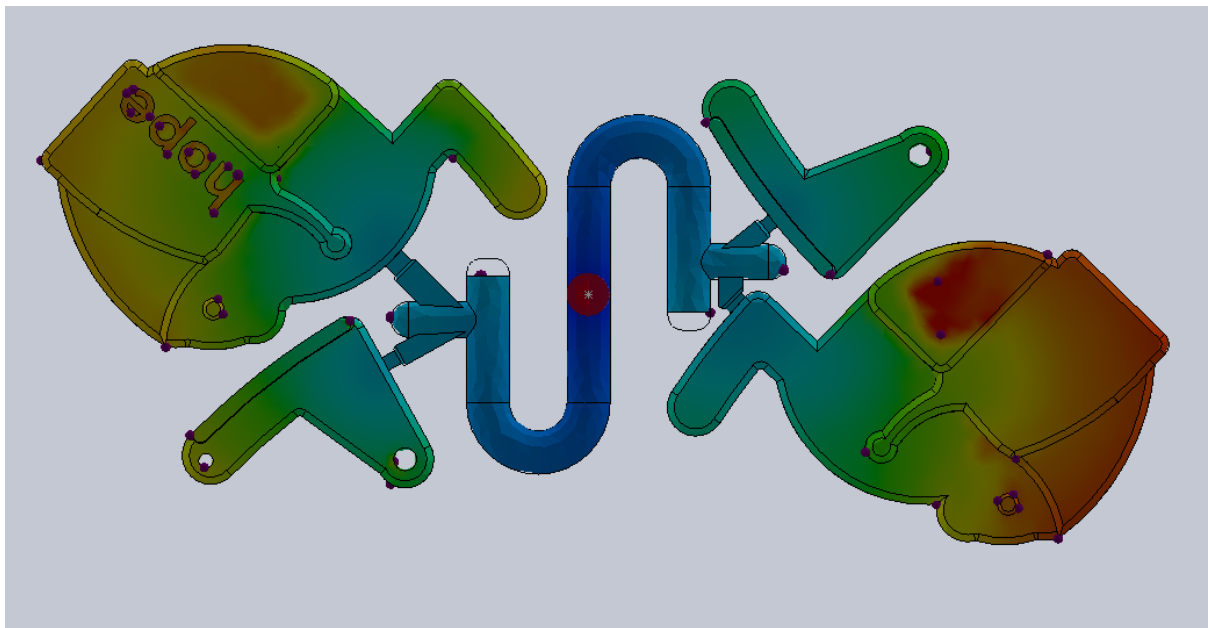


Fig 14. Filling time (1st)

Fig 15. Pressure distribution after filling (1st)Fig 16. Temperature distribution after filling (1st)

Fig 17. Maximum sink mark region (1st)Fig 18. Air trap plotted (1st)

위에서 발생한 문제를 해결하기 위해 게이트를 수정하고 다시 몰드 시뮬레이션을 하며, 이를 2차 시뮬레이션이라 하였다. 이렇게 최종 5차 시뮬레이션 까지에 대한 각각의 게이트 형상과 발생했던 문제점, 수정 사항을 Table 1에 정리하여 제시하였다. 모든 시뮬레이션 결과는 따로 첨부하였다.

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

Table 1. Summary of mold flow simulation with different gate formations

	게이트 형상	발생한 문제점	수정 사항
1차	Part A, C: 3mm*1mm Part B, D: 2mm*1mm 기본 형상	Part C가 충전시간이 많이 소요되고, 좌측의 압력이 높음	게이트C가 문제라 판단, 게이트 위치 변경
2차	Part A, C: 3mm*1mm Part B, D: 2mm*1mm 게이트 C의 위치를 엉덩이 쪽으로 이동	예상과 달리 충전시간과 압력차이가 더 벌어짐.	엉덩이 부분이 두께가 더 얇기 때문이라 판단, 위치는 1차와 같게 되돌리고 좌측(게이트 A, B)의 크기를 줄임
3차	Part A: 2.5mm*1mm Part B: 1.5mm*1mm 위와 같이 변경 게이트 위치 1차와 동일	1차보다 시간과 압력차이가 다소 줄어들었으나, 그 효과가 미미함	게이트의 형상을 바꾸지 않고 사출구 쪽을 조작하는 방법을 고안, 즉 압력이 가장 높은 B로 가는 사출구에 두꺼운 방을 만듦
4차	3차와 동일 Part B 사출구에 방을 수직으로 만듦	거의 영향을 주지 않음	결국 거의 대칭인 다리 보다는 산타 몸통 부분의 차이가 불균형을 만든다 판단, 게이트 A의 크기를 획기적으로 줄임
5차	Part A: 1.5mm*1mm Part B: 1.5mm*1mm 위와 같이 변경	시간 차이와 압력 차이가 좌우측이 매우 줄어들음	최종 결정

자세한 결과는 E-drawing을 참고할 수 있다. 최종 결정된 5차 게이트 형상에서 충전 시간은 거의 균형적으로 발생하였고, 압력의 경우 다리는 거의 똑같으나 몸통 부위가 다소 다르다. 그러나 이전 결과들과는 달리 압력의 크기가 가장 큰 러너 부분에서 압력이 거의 대칭적으로 발생하게 됨을 볼 수 있으므로, 이 형상을 최종 선택하였다. 위의 1차 결과와 마찬가지로 5차의 결과를 Fig 19~24에 제시한다.

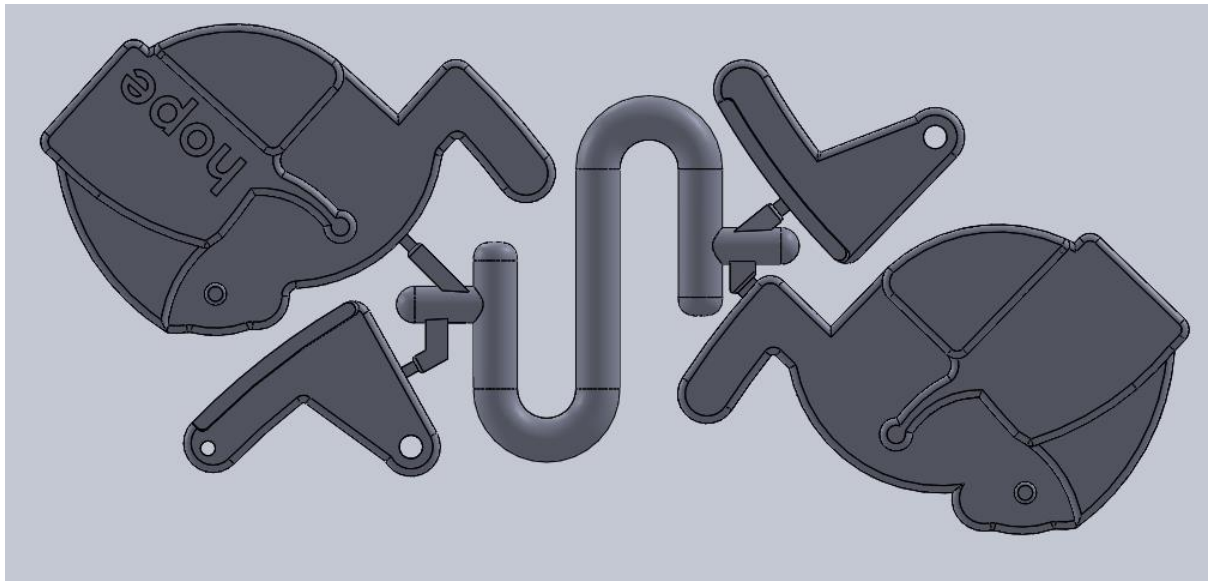


Fig 19. Fifth formation of mold design

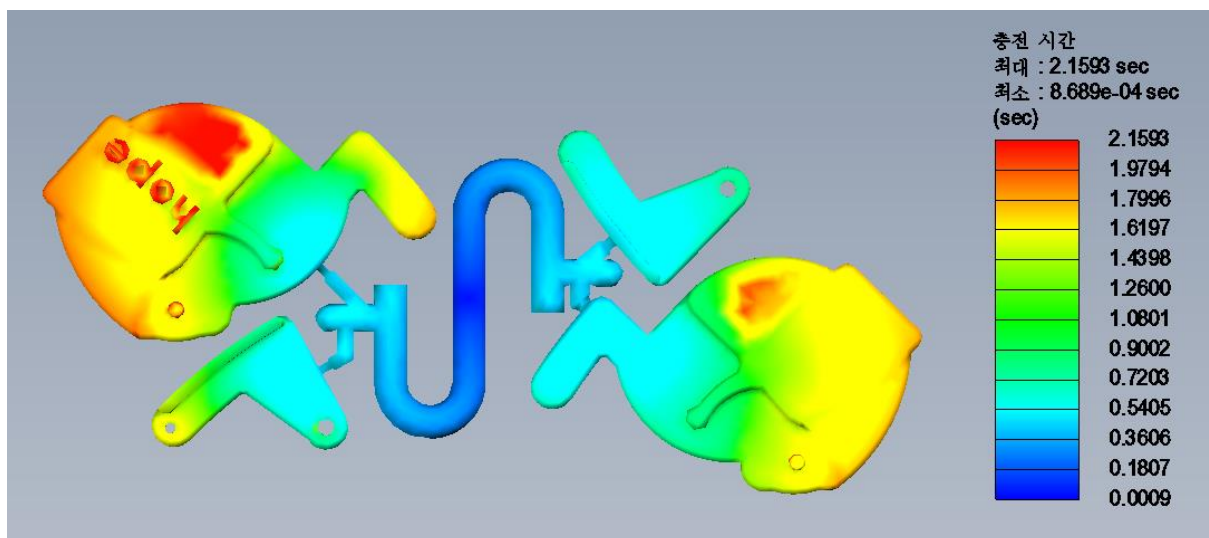
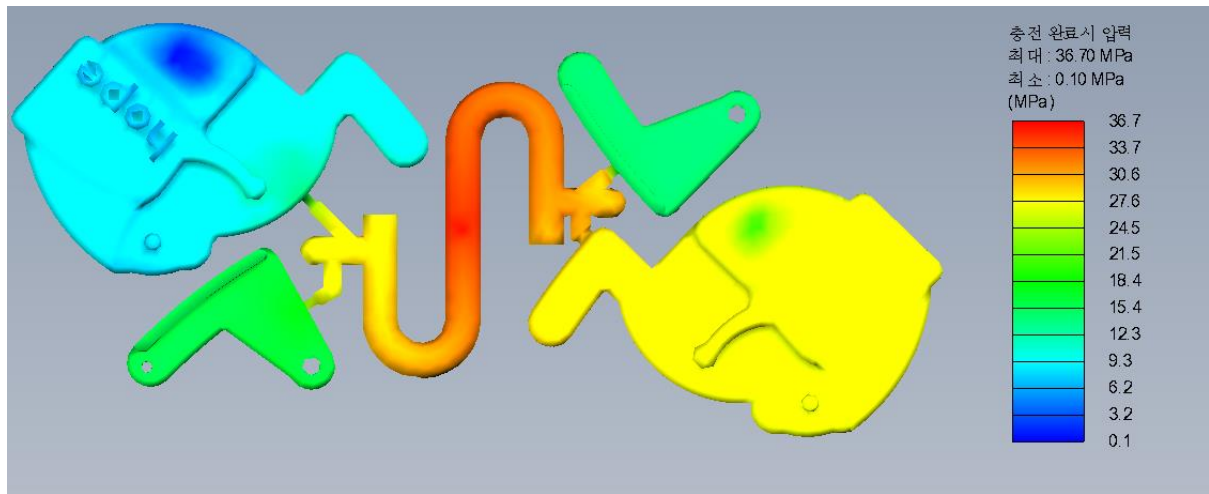
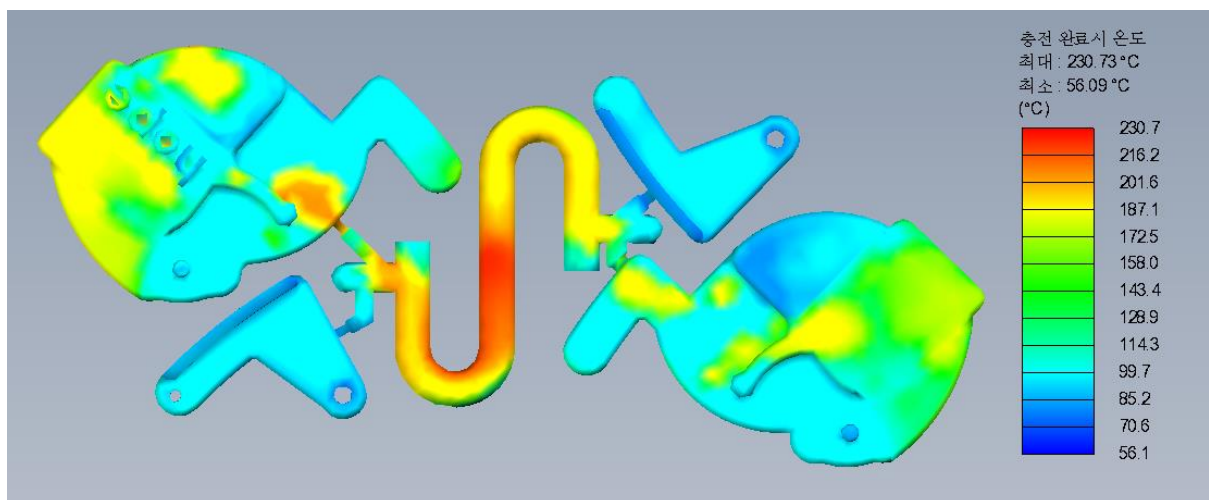


Fig 20. Filling time (5th)

Fig 21. Pressure distribution after filling (5th)Fig 22. Temperature distribution after filling (5th)

(주)관악산타	Mold Design Report	2021.10.21
		Revision -2-

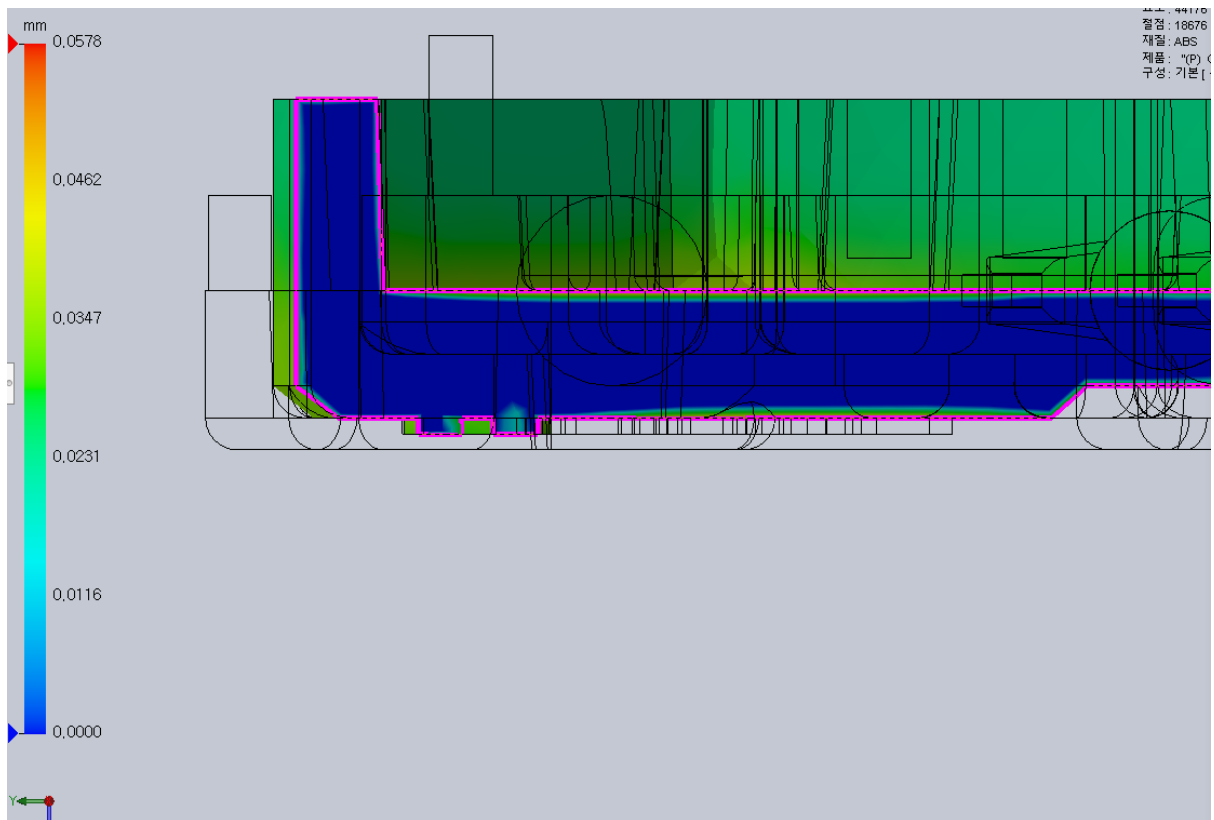


Fig 23. Maximum sink mark region (5th)

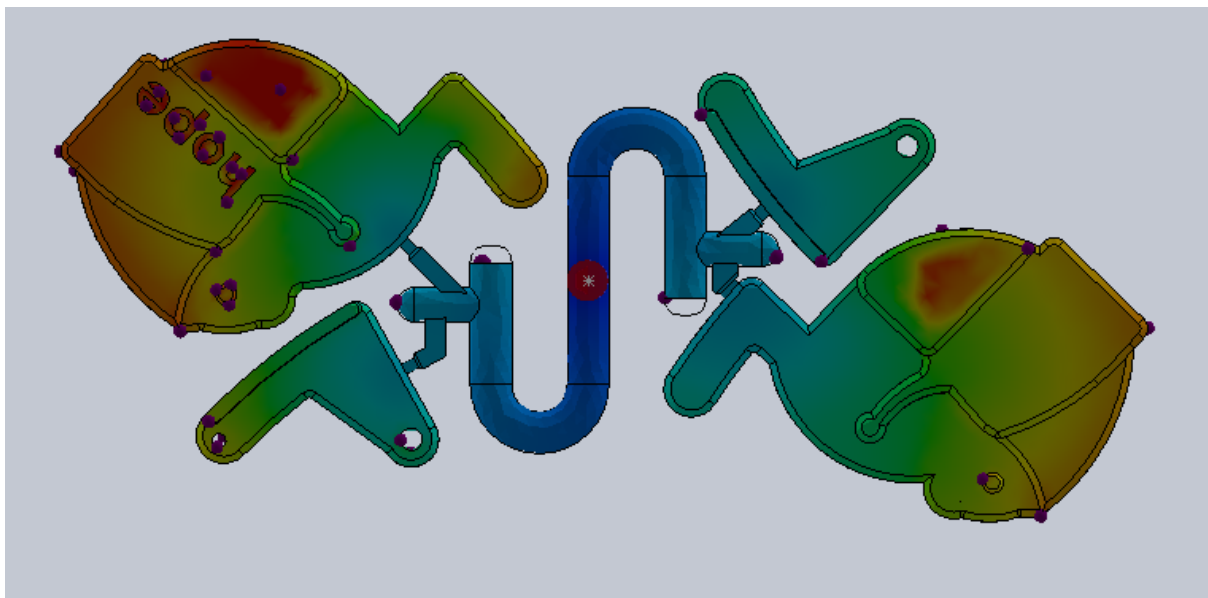


Fig 24. Air trap plotted (5th)