



## 저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2011년 8월  
석사학위논문

사출성형 제품의 기능적 특성 향상을 위한  
이중사출성형 금형 개발에 관한 연구

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

박 민 우

사출성형 제품의 기능적 특성  
향상을 위한 이중사출성형  
금형 개발에 관한 연구

Investigation into the development of  
double-shot injection mould for improvement  
of functionality of plastic parts

2011 년 8 월 25 일

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

박 민 우

사출성형 제품의 기능적 특성  
향상을 위한 이중사출성형  
금형 개발에 관한 연구

지도교수 안 동 규

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2011 년 4 월

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

박 민 우



# 박민우의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 한길영



위원 조선대학교 교수 박정우



위원 조선대학교 교수 안동규



2011 년 5 월

조선대학교 대학원

# 목 차

LIST OF TABLE .....	I
LIST OF FIGURES .....	II
ABSTRACT	

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 이중사출 개요 .....	1
제 2 절 연구 배경 및 관련 연구 .....	3
제 3 절 연구 목적 및 방법 .....	5
제 2 장 인덱스 축 회전 방식을 적용한 사출성형 제품의 기능적 특성 향상을 위한 이중사출 성형 금형 설계 .....	6
제 1 절 인덱스 축 회전 방식 .....	6
제 2 절 직접 금속 제조 기술을 이용한 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출성형 금형 설계 .....	8
1. 직접 금속 제조 기술 .....	8
2. 다중슬라이스 금형 재료 선정 .....	10
3. 대상 금형 설계 방법 .....	11
4. 대상 금형 사출성형 해석 .....	13
가. 대상 제품 및 금형 사출성형 해석 모델링 .....	13

나. 대상 금형 이중사출성형 해석 결과 및 고찰 .....	18
5. 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중 사출성형 금형 설계 .....	25
제 3 절 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형 설계 .....	26
1. 3 차원 측정 .....	26
2. 대상 금형 설계 방법 .....	27

**제 3 장 기능적 특성 향상을 위한 이중사출성형 금형의  
    3 차원 사출성형 해석 .....** 29

제 1 절 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 사출성형 해석 .....	29
1. 다중슬라이스 금형의 3 차원 형상적응형 냉각수로 설계안에 따른 해석 결과 및 고찰 .....	29
2. 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형 제품과 직선형 냉각수로를 갖는 금형 제품의 사출성형 특성 비교/분석 .....	38
제 2 절 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형의 사출성형 해석 .....	43
1. 대상 금형 사출성형 해석 모델링 .....	43
2. 1 차 성형품의 사출성형 해석 결과 및 고찰 .....	49
3. 2 차 성형품의 사출성형 해석 결과 및 고찰 .....	59

제 4 장 사출성형 제품의 기능적 특성 향상을 위한 이중 사출성형 금형 제작 및 시사출 실험 .....	69
제 1 절 직접 금속 제조 기술을 활용한 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출성형 금형 제작 및 제품 품질 평가 .....	69
1. 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중 사출성형 금형 제작 .....	69
2. 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중 사출성형 금형의 시사출 실험 및 제품 품질 평가 .....	72
제 2 절 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형 제작 및 제품 특성 평가 .....	74
1. 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형 제작 .....	74
2. 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형의 시사출 실험 및 제품 특성 평가 .....	76
제 5 장 결론 .....	82
REFERENCES .....	84

감사의 글

## LIST OF TABLES

Table 1	Material properties of the multi-sliced mould .....	10
Table 2	Initial condition of injection moulding analysis for the flat plate with a partly large volume .....	16
Table 3	Design alternatives of 3D conformal cooling channels for the flat plate with a partly large volume .....	30
Table 4	Results of injection moulding analysis for different design of the 3D conformal cooling channels (Flat plate with a partly large volume) .....	37
Table 5	Results of injection moulding analysis for three types of mould (Flat plate with a partly large volume) .....	42
Table 6	Initial condition of injection moulding analysis for a human-friendly computer mouse .....	46
Table 7	Process condition of injection moulding analysis for a human-friendly computer mouse .....	48
Table 8	Fill time of the 1st product for different process conditions for a human-friendly computer mouse .....	49
Table 9	Results of 1st shot injection moulding analysis according for different packing times (Human-friendly computer mouse) .....	58
Table 10	Fill times of the 2nd product for a human-friendly computer mouse for different process conditions .....	60
Table 11	Results of the 2nd shot injection moulding analysis for different packing times (Human-friendly computer mouse) .....	68
Table 12	Experimental conditions of injection moulding experiments for the human-friendly computer mouse .....	77
Table 13	Test results of touch sensibility using the human-friendly computer mouse .....	81

## LIST OF FIGURES

Fig. 1 Concept of double-shot injection moulding .....	1
Fig. 2 Concept of double-shot injection moulding using rotation of the index-axis .....	7
Fig. 3 Manufacturing procedure of the mould using direct metal tooling process .....	9
Fig. 4 Functional decomposition of mould geometry for the multi-sliced mould .....	10
Fig. 5 Core design of the multi-sliced mould for the flat plate with a partly large volume	11
Fig. 6 Design of the flat plate with a partly large volume .....	12
Fig. 7 Cooling channel design of the initial mould for the flat plate with a partly large volume .....	12
Fig. 8 Methodology of double-shot injection moulding analysis for the flat plate with a partly large volume .....	13
Fig. 9 Procedure of mesh generation for the flat plate with a partly large volume .....	14
Fig. 10 Procedure of mesh generation of the mould for the flat plate with a partly large volume .....	15
Fig. 11 Design of runner system and cooling channels for the flat plate with a partly large volume .....	16
Fig. 12 PVT curves of resin for the flat plate with a partly large volume .....	17
Fig. 13 Filling patterns for the flat plate with a partly large volume .....	18
Fig. 14 Formation of air traps and weld lines for the flat plate with a partly large volume	19
Fig. 15 Variation of the injection pressure-time curves for the flat plate with a partly large volume .....	20
Fig. 16 Variation of the clamping force-time curves for the flat plate with a partly large volume .....	21
Fig. 17 Temperature distributions in the moulded product at the ejection time for the flat plate with a partly large volume (Initial mould design) .....	22
Fig. 18 Volumetric shrinkages of the moulded product for the flat plate with a partly large volume (Initial mould design) .....	23
Fig. 19 Deflections of the moulded product for the flat plate with a partly large volume	

(Initial mould design) .....	24
Fig. 20 Design of multi-slices double-shot injection mould with 3D conformal cooling channel for the flat plate with a partly large volume .....	25
Fig. 21 Three-dimensional scanning procedure for the computer mouse .....	26
Fig. 22 Result of three-dimensional scanning for the computer mouse .....	26
Fig. 23 Design of mould for a human-friendly computer mouse .....	27
Fig. 24 Design of a human-friendly computer mouse .....	28
Fig. 25 Design of mould for a human-friendly computer mouse .....	28
Fig. 26 Mesh generation of multi-slices mould for the flat plate with a partly large volume	29
Fig. 27 Design of 3D conformal cooling channel for the flat plate with a partly large volume .....	30
Fig. 28 Variation of 1st product temperature distribution at an ejection time for different design conditions (Flat plate with a partly large volume) .....	31
Fig. 29 Comparison of 1st product temperature distributions at an ejection time for the flat plate with a partly large volume .....	32
Fig. 30 Variation of temperature-cycle time curves for different mould designs (Flat plate with a partly large volume) .....	33
Fig. 31 Variation of volumetric shrinkages of the 1st product for different design conditions (Flat plate with a partly large volume) .....	34
Fig. 32 Comparison of volumetric shrinkage distributions of the 1st product for the flat plate with a partly large volume .....	35
Fig. 33 Variation of the deflection distributions of the 1st product according to mould designs (Flat plate with a partly large volume) .....	36
Fig. 34 Comparison of deflection distribution of the 1st product (Flat plate with a partly large volume) .....	36
Fig. 35 Final design of multi-slices injection mould with 3D conformal cooling channels for flat plate with a partly large volume .....	37
Fig. 36 Design of injection mould with linear cooling channel for flat plate with a partly large volume .....	38
Fig. 37 Comparison of temperature distributions of the 1st product between the multi-sliced mould with 3D conformal cooling channels and the mould with linear cooling	

	channels an ejection time (Flat plate with a partly large volume) .....	39
Fig. 38	Variation of temperature-cycle time curves for different designs of the cooling channels (Flat plate with a partly large volume) .....	40
Fig. 39	Comparison of volumetric shrinkage distributions of the 1st product between the multi-sliced mould with 3D conformal cooling channels and the mould with linear cooling channels an ejection time (Flat plate with a partly large volume) .....	41
Fig. 40	Comparison of deflection distributions of the 1st product between the multi-sliced mould with 3D conformal cooling channels and the mould with linear cooling channels an ejection time (Flat plate with a partly large volume) .....	42
Fig. 41	Method of double-shot injection moulding analysis for a human-friendly computer mouse .....	43
Fig. 42	Procedure of mesh generation for a human-friendly computer mouse .....	44
Fig. 43	Procedure of mesh generation of double-shot injection mould for a human-friendly computer mouse .....	45
Fig. 44	Design of runner system and cooling channels for a human-friendly computer mouse .....	46
Fig. 45	PVT curves of resin for a human-friendly computer mouse .....	47
Fig. 46	Filling patterns of the 1st product for a human-friendly computer mouse (Injection time = 3sec, Max. injection pressure = 30MPa) .....	49
Fig. 47	Formation of air traps and weld lines in the 1st product for a human-friendly computer mouse .....	50
Fig. 48	Variation of the injection pressure-time curves according to different injection time and maximum injection pressure for a human-friendly computer mouse .....	51
Fig. 49	Effects of injection time and maximum injection pressure on the clamping force for a human-friendly computer mouse .....	51
Fig. 50	Temperature distribution in the 1st product at the ejection time according to injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse .....	52
Fig. 51	Variation of temperature-cycle time curves according to different injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse .....	53
Fig. 52	Variation of volumetric shrinkage distributions of each product according to	



	injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse .....	54
Fig. 53	Variation of deflection distributions of each product according to injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse .....	55
Fig. 54	Variation of volumetric shrinkage distributions of the 1st and 2nd products according to different packing times for a human-friendly computer mouse .....	56
Fig. 55	Variation of deflection distributions of the 1st and 2nd products according to different packing times for a human-friendly computer mouse .....	57
Fig. 56	Filling patterns of the 2nd product for a human-friendly computer mouse (Max. injection pressure = 10MPa) .....	59
Fig. 57	Filling patterns of the 2nd product for a human-friendly computer mouse (Injection time = 3sec, Max. injection pressure = 15MPa) .....	60
Fig. 58	Formation of air traps and weld lines in the 2nd product for a human-friendly computer mouse .....	61
Fig. 59	Variation of the injection pressure-time curves of the 2nd product according to different injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse .....	62
Fig. 60	Effects of injection time and maximum injection pressure on the clamping force of the 2nd product for a human-friendly computer mouse .....	62
Fig. 61	Variation of temperature distributions in the 2nd product at the ejection time for different injections time and maximum injection pressures (Human-friendly computer mouse) .....	63
Fig. 62	Variations of volumetric shrinkage distributions in the 2nd product for different injection times and maximum injection pressures (Human-friendly computer mouse) .....	64
Fig. 63	Variation of deflection distributions in the 2nd product for different injection times and maximum injection pressures (Human-friendly computer mouse) .....	65
Fig. 64	Variation of volumetric shrinkage distributions in the 2nd product for different packing time (Human-friendly computer mouse) .....	66
Fig. 65	Variation of deflection distributions in the 2nd product for different packing times (Human-friendly computer mouse) .....	67
Fig. 66	Final design of the multi-sliced mould core with 3D conformal cooling channel ·	69

Fig. 67 Manufacturing procedure of the multi-sliced mould core with 3D conformal cooling channel using rapid tooling process .....	70
Fig. 68 Multi-sliced mould set with 3D conformal cooling channel for injection moulding experiments .....	71
Fig. 69 Injection moulding apparatus with the multi-sliced mould set for experiments .....	72
Fig. 70 Finally manufactured a plastic flat plate with a partly large volume from the multi-sliced double shot injection mould .....	73
Fig. 71 Manufacturing process of injection mould for the human-friendly computer mouse ·	74
Fig. 72 Fabricated mould set for the human-friendly computer mouse .....	75
Fig. 73 Injection moulding experiments for the human-friendly computer mouse .....	76
Fig. 74 Product of the human-friendly computer mouse for the initial resin .....	78
Fig. 75 Finally manufactured the human-friendly computer mouse .....	78
Fig. 76 Microstructure in the vicinity of the welded region (Human-friendly computer mouse)	79
Fig. 77 3D measurement of the moulded human-friendly computer mouse .....	80
Fig. 78 Positional accuracy of the moulded human-friendly computer mouse .....	80

# ABSTRACT

## Investigation into the development of double-shot injection mould for improvement of functionality of plastic parts

Park Min Woo

Advisor : Prof. Ahn Dong-Gyu, Ph. D

Dept. of Mechanical Engineering

Graduate School of Chosun University

One of recent issues related to an injection moulding process is the improvement of the product quality and the productivity through the innovation of the process and the mould design. Double-shot injection moulding process has been developed to improve the quality of the mould product and the productivity of injection moulding process. In addition, the double-shot injection moulding process can assign the desired functionality to the moulded product through a successive moulding of two types of resins with different compositions and colors. The objective of this thesis is to develop double-shot injection moulds for the improvement of functionality of plastic parts. A rotating type of the double injection mould with an index axis was adopted to reduce a manufacturing time of the plastic part. In this thesis, two types of double-shot injection moulds were designed. The first type was a multi-sliced double-shot injection mould incorporating with a proper three-dimensional conformal cooling channels in a hot spot region. Preliminary three-dimensional numerical analysis was performed to estimate a hot spot region, in which the residual temperature was higher than other region of the moulded part, in the mould product. The three-dimensional conformal cooling channels was assigned in the vicinity of the hot spot region. A proper design of the three-dimensional conformal cooling channels was chosen through the investigation of the influence of the diameter and position of the

conformal cooling channels on the temperature distribution and the product quality. The second type was a double-shot injection mould for a human-friendly computer mouse with two different materials according to the required functionality. The human-friendly computer mouse was designed to be manufactured from the injection of a TPE (Thermoplastic elastomer) resin with a soft property on the base structure consisting of ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) plastic part. Through the injection moulding and over-moulding analyses, a proper double-injection moulding conditions were estimated. Two types of the double-injection moulds were fabricated to perform the injection moulding experiments. The first type of double-injection mould was divided into conventional and hot spot regions. The core of the hot spot region was manufactured from the hybrid metal rapid tooling technology. The results of injection moulding experiments for the first type of double-injection mould showed that the multi-sliced mould can remarkably improve the product quality and the productivity in comparison with the conventional mould. The results of injection moulding experiments for the second type of double-injection mould showed that a proper human-friendly computer mouse with the improved emotional characteristics can be manufactured when the proposed mould design and moulding condition were adopted.

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 이중사출 개요

이중사출이란 2 종의 다른 수지 (Resin) 또는 다른 2 가지색의 수지를 사용하여 2 개의 사출장치와 가동판에 회전 기구를 설치한 구조의 사출기 또는 코어 (Core) 나 슬라이드 (Slide) 구조를 이용하여 이중사출이 가능하게 설계된 금형으로 최초에 성형한 1 차 성형품과 2 차 캐비티 (Cavity) 와의 공간에 2 차 수지를 충전 (Filling) 하여 성형하는 것이다.

이중사출 방식은 Fig. 1 과 같이 금형 회전 방식, 코어 회전 방식, 슬라이드 방식으로 나눌 수 있다. 금형 회전 방식은 2 개의 금형을 회전시켜 사출하는 방식으로 가동판에 회전 기구를 설치한 구조로서 금형을 2 세트 취부하여 먼저 1 차 금형에 성형 후 회전판을 회전하여 2 차 금형의 고정측과 1 차 성형품과의 공간에 2 차 수지를 충전하는 방식이다. 코어 회전 방식은 1 개의 금형 내 2 개의 코어를 회전시켜 사출하는 방식으로 가동판에 금형 코어를 회전시킬 수 있는 기구가 설치되어 있어야 하며 1 차 코어의 캐비티에 성형 후 회전판을 회전하여 2 차 코어의 캐비티와 1 차 성형품과의 공간에 2 차 수지를 충전하는 방식이다. 슬라이드 방식은 1 개의 금형 내 슬라이드 구조를 적용하여 1 차 사출시 슬라이드로 2 차 게이트 (Gate) 를 막고 2 차 사출시 슬라이드를 열어 2 차 수지를 충전할 수 있도록 하여 사출하는 방식이다.

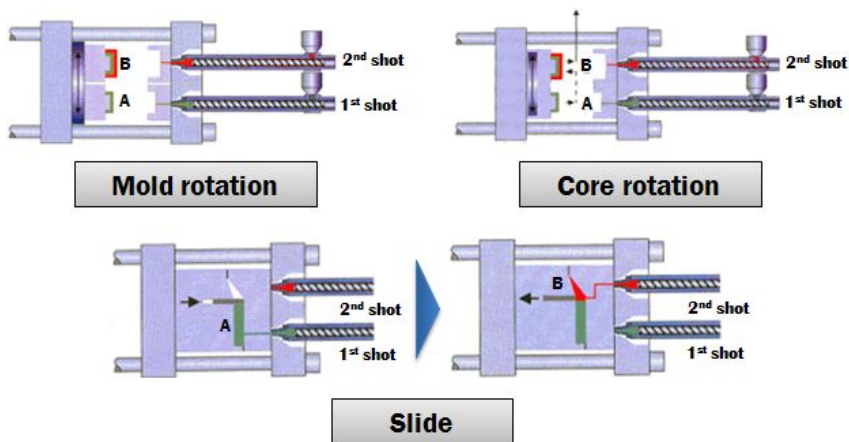


Fig. 1 Concept of double-shot injection moulding

이중사출성형 기술은 1 차측과 2 차측의 캐비티가 정확히 교체되므로 형상의 제약이 적고 제품 적용의 폭이 넓어 디자인의 다양화가 가능하며 내열, 내후, 내강도 등 기능의 향상과 한 번에 사출함으로써 기존의 일반 사출이 2 차례에 걸쳐 2 개의 부품으로 성형하여 용착 또는 도장 공정의 2 차 가공을 수행하여 제품화 하던 것을 한 번의 성형으로 해결되어 원감절감과 생산성 향상을 도모할 수 있다. 또한, 정밀부품에 사용되면 정밀 성형부와 살 두께부와의 분할 성형이 가능하여 재료의 절감과 치수 정밀도의 향상을 가져올 수 있다. 이처럼 이중사출은 금형산업 분야에서 중요한 기술로 급부상하고 있으며 아울러 다양한 분야에 응용될 수 있는 핵심기반 기술이다.

## 제 2 절 연구 배경 및 관련 연구

플라스틱 재료의 사용은 전기/전자 제품, 자동차 부품, 포장/보관 용품, 사무용품, 생활용품 등 우리 생활 주변에서 흔히 접할 수 있고 사용되는 재료여서 그 중요성이 증가하고 있다. 이러한 플라스틱 제품은 사출성형에 의하여 제작된다. 사출성형 공정은 일반적으로 사출온도에서 수지를 캐비티에 채우는 충전 과정 (Filling process) 으로 시작된다. 캐비티가 다 충전된 후 수지의 수축 (Shrinkage) 을 보상하기 위한 보압 과정 (Packing process), 뒤이어 제품이 큰 변형 없이 취출될 수 있도록 냉각 과정 (Cooling process) 이 이루어지며 마지막으로 제품이 이형되는 취출 과정 (Ejecting process) 으로 구성되어 제품이 제작된다. 이 중 냉각 과정은 전체 사출성형 공정에서 50 ~ 60 % 이상을 차지하며, 제품의 품질과 생산성에 가장 큰 영향을 미친다. 냉각 과정에서 냉각수로의 위치 및 형상은 제품의 고속/균일 냉각에 가장 큰 영향을 준다. 그러므로 제품의 품질과 생산성 향상을 위한 고속/균일 냉각이 가능한 냉각수로 설계에 대한 연구가 폭넓게 수행되고 있다.<sup>1-6)</sup> 이에 따라 사출성형에서는 제품의 냉각 시간 단축을 통하여 제품 제작 시간을 감소시키기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>7-10)</sup>

최근, 제품의 제작 시간 단축뿐만 아니라 제품의 품질과 디자인 및 외관 개선에 대한 요구가 증가하고 있으며 원가절감을 목적으로 보다 신속하고 저렴하게 제품을 제작할 수 있는 기술에 대한 요구도 증가하고 있다. 따라서, 제품 제작 시 원가절감과 플라스틱 제품의 품질과 생산성 향상뿐만 아니라 기능 및 외관을 개선하기 위하여 사출성형 제품을 부분적으로 다른 재질 또는 다른 색상의 수지를 사용하여 제작하는 이중사출성형 기술이 제안되고 있으며 이중사출성형 관련 연구도 지속적으로 수행되고 있다.<sup>11-18)</sup> 이중사출성형 기술은 일부 제품에서 1 차 성형품과 2 차 성형품을 사출성형으로 생산한 후 두 성형품을 조립하여 완제품을 생산하는 방식을 개선하여 이중사출기를 이용하여 단일 공정으로 짧은 시간 내에 완제품을 생산하는 방식의 사출성형 기술로 인서트 금형에서 발생하는 수축 변화에 따른 불량 제거로 제품의 품질 및 생산성을 향상시킬 수 있다. 현재 이중사출성형 기술은 금형 산업 분야에서 별도의 2 개 또는 그 이상의 조립 구조 금형에서의 조립 단차를 없앨 수 있고 부품 조립 작업 등에서 발생되고 있는 비용과 시간을 대폭 줄일 수 있는 중요한 기술로 급부상하고 있으며 다양한 분야에 응용될 수 있는 핵심기반 기술이다.

이중사출성형 공정에서는 1 차 성형으로 제품의 기본 형상을 성형하고, 2 차 성형으

로 제품의 외관을 성형하거나 제품의 수축 발생이 가능한 부위 등에 성형하는 방식을 많이 사용한다. 이중사출성형 기술은 전자제품, 자동차 용품 및 생활용품 등 주위에 많이 사용된다. 특히, 후육부를 가진 평판류 제품은 사출성형 시 후육부의 불균일한 냉각으로 후육부에 수축 (Shrinkage) 이 발생하게 된다. 이러한 불량을 해결하기 위하여 후육부를 가진 평판 제작용 사출성형 금형은 제품의 수축 감소가 가능한 금형 설계와 후육부의 열을 제거할 수 있는 효율적인 냉각수로 설계를 필요로 하고 있다. 후육부의 수축 감소를 위하여 이중사출성형 기술을 이용하여 제품의 수축이 발생하는 후육부에 다른 재질을 오버몰딩 (Overmolding) 하거나 3 차원 형상적응형 냉각수로 (3D conformal cooling channel) 를 설계<sup>19-27)</sup>하면 금형의 냉각 성능을 향상시켜 제품의 품질 및 생산성을 향상시킬 수 있다. 또한, 전자 제품 중 컴퓨터 마우스는 손으로 쥐고 바닥에서 움직이거나 손가락으로 버튼을 클릭하여 사용하게 되는데 이와 같은 마우스는 다방면에서 활용되고 있는 컴퓨터의 발달로 그 사용 빈도가 더욱 높아지고 있다. 그래서 장시간 마우스를 손에 쥐고 작업을 하게 되는 경우가 늘어나고 있는 추세인데 종래의 컴퓨터 마우스는 그 표면 소재가 경질의 플라스틱의 단일 재질로 이루어져 있어서 장시간 사용하게 될 경우에는 손에 피로감을 쉽게 느끼는 문제점이 있었다. 그래서 부분적으로 손과 접촉되는 부위에만 다른 재질을 사용함으로써 피로감을 개선할 수 있다. 이와 같이 이중사출성형 기술을 적용한 이중사출성형 금형을 개발하면 제품의 품질뿐만 아니라 기능 및 외관을 개선시킬 수 있다.<sup>28-33)</sup> 이와 관련된 선행 연구는 다음과 같다.

Xu 등은 냉각 해석을 통하여 컵 형태의 제품 제작용 형상적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형의 냉각수로 위치 설계를 수행하였다.<sup>34)</sup> Ferreira 등은 에폭시 몰딩으로 제작된 형상적응형 냉각수로를 가진 사출성형 금형의 사출성형 해석을 통하여 제품의 사출성형 특성 및 냉각 시간을 분석하였다.<sup>35)</sup> Islam 등은 이중사출 성형 시 공정조건이 2 가지 고분자 수지 사이에서의 결합 강도에 미치는 영향과 수지의 결합에 영향을 미치는 요소에 대한 연구를 수행하였다.<sup>36)</sup> Shin 등은 미소 렌즈가 내재화된 이중사출 성형 제품의 웰드라인 (Weld line) 최소화를 위하여 해석과 실험을 통한 결과를 비교/분석하여 제품 형상, 공정 조건, 런너 및 게이트 시스템이 제품 내 웰드라인 생성에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.<sup>37)</sup> Kim 등은 사출성형 해석과 실험을 통하여 자동차 리모콘 케이스 제작용 이중사출성형 금형의 런너와 게이트 설계가 제품의 변형에 미치는 영향에 대한 연구를 수행한 바 있다.<sup>38)</sup>



### 제 3 절 연구 목적 및 방법

본 논문의 목적은 이중사출성형 기술을 통하여 사출성형 제품의 품질 및 외관 개선 등 사출성형 제품의 기능적 특성 향상을 위한 이중사출성형 금형 개발에 관한 연구이다. 사출성형 제품의 기능적 특성 향상을 위하여 다중슬라이스 이중사출성형 금형의 3차원 형상적응형 냉각수로 설계에 따라 제품의 품질 특성에 미치는 영향과 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형의 공정조건에 따라 제품의 품질과 특성에 미치는 영향에 대하여 분석/고찰하고자 한다.

이중사출성형에서는 2 가지 수지를 사용하여 사출하기 때문에 수지의 상호 결합이 가능해야 한다. 또한, 수지의 유동은 비뉴턴성 현상에 지배를 받기 때문에 충전 시에 매우 복잡한 변화를 갖으며 각 수지의 PVT 특성에 따른 제품의 특성에 밀접한 영향이 있다. 따라서, 사출성형 시 실제 금형 제작에 앞서 CAE 를 통한 제품의 특성 분석을 바탕으로 사출성형 공정을 최적화 할 수 있는 연구가 대두되고 있다. 본 연구에서는 이중사출성형 금형 및 제품의 특성을 분석/고찰하기 위하여 Moldflow MPI V 6.1 을 이용한 3 차원 사출성형 해석을 수행하고자 한다. 3 차원 사출성형 해석을 통하여 제품의 열점 (Hot spot) 을 선정한 후 제품의 열점에 해당하는 금형 부위에 다중슬라이스 (Multi-slices) 배치 및 3 차원 형상적응형 냉각수로를 설계하고자 한다. 3 차원 형상적응형 냉각수로 설계 시 냉각수로의 직경과 위치에 따른 제품의 온도분포, 수축 및 휨 변형 (Warping) 등의 특성을 분석/고찰하여 최적의 3 차원 형상적응형 냉각수로를 결정하고 결정한 3 차원 형상적응형 냉각수로와 직선형 냉각수로의 비교/분석을 통하여 3 차원 형상적응형 냉각수로를 도입할 경우 일반적인 직선형 냉각수로보다 냉각 특성 및 제품의 품질 개선이 가능함을 검증하고자 한다. 또한, 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 금형 개발 시 3 차원 사출성형 해석을 통하여 이중사출성형의 1 차 성형과 2 차 성형의 공정조건에 따른 사출성형 제품의 품질 특성을 분석/고찰하여 최적의 공정조건을 도출하고자 한다. 이러한 사출성형 해석 결과를 통하여 도출된 최적 사출성형 조건 및 형상적응형 냉각수로 형상을 바탕으로 직접 금속 제조를 이용한 다중슬라이스 이중사출성형 금형과 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형을 인덱스 축 회전 방식을 적용하여 제작 후 시사출 실험을 통하여 제품의 품질 및 특성을 검증하고자 한다.

# 제 2 장 인덱스 축 회전 방식을 적용한 사출성형 제품의 기능적 특성 향상을 위한 이중사출성형 금형 설계

## 제 1 절 인덱스 축 회전 방식

인덱스 축은 이중사출성형 금형에서 하부 금형에 회전 및 승강이 가능하게 설치되어 성형 공간을 구획하는 코어를 지지하는 것으로 코어와 커넥터 (Connector) 에 의해 연결되며 사출 성형기에 설치된 액추에이터 (Actuator) 에 의해 구동되는 축이며 코어에 형성된 워터 자켓 (Water jacket) 에 냉각수 공급 및 배출 수단이 구비되어 있는 이중사출금형의 축이다. 인덱스 축 회전 방식은 코어 회전 방식으로 2 캐비티가 형성된 하부 금형에 회전 가능하게 설치되는 인덱스 축을 회전시켜 인덱스 축에 설치된 1 차 코어와 2 차 코어를 각 캐비티에 위치시키는 코어 회전 단계, 코어가 장착된 하부 금형과 상부 금형을 결합하여 캐비티를 밀폐하는 단계, 1 차 캐비티에 1 차 수지를 주입하여 1 차 성형품을 성형하는 1 차 사출단계, 하부 금형으로부터 상부 금형을 분리하고 인덱스 축을 상승시켜 1 차 코어에 지지된 상태로 1 차 성형품을 2 차 캐비티에 지지시키는 인덱싱 단계, 하부 금형에 대하여 상부 금형을 결합하고 2 차 캐비티에 2 차 수지를 주입하여 1 차 성형품과 결합되어 완제품을 성형하는 2 차 사출단계를 포함하며 1 차 사출단계에 있어서 1 차 성형품과 2 차 사출단계에서 형성되는 2 차 성형품의 결합을 위한 결합부 형성단계가 구비되어 있다.

인덱스 축 회전 방식을 적용한 이중사출성형 금형의 경우 기존의 이중사출성형 금형과는 달리 금형이 하나로 이루어져있어 사출기 톤 수를 줄일 수 있고 불필요한 인력소요비용을 없앨 수 있다. 또한, 2 차 사출단계가 이루어지고 있을 때 1 차 캐비티에 1 차 수지를 주입하는 1 차 사출단계도 동시에 이루어지고 있어서 인서트 금형에서 발생하는 수축 변화에 따른 불량률을 없앨 수 있고 단일 공정으로 생산되어 제품 생산 시간을 대폭 단축시킬 수 있으며 금형의 원가 절감과 제품의 원가도 감소시킬 수 있다. 인덱스 축 회전 방식의 이중사출성형 개념도는 Fig. 2 와 같다.

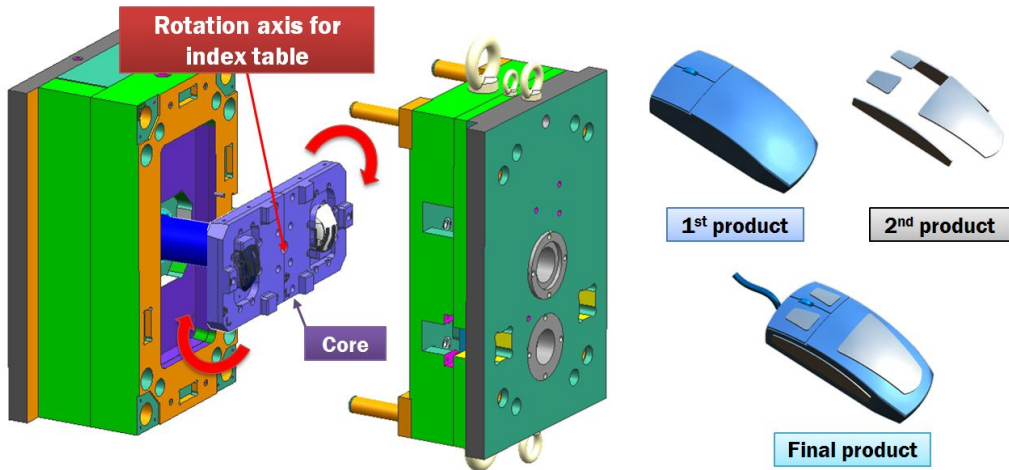


Fig. 2 Concept of double-shot injection moulding using rotation of the index-axis

## 제 2 절 직접 금속 제조 기술을 이용한 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출성형 금형 설계

### 1. 직접 금속 제조 기술

직접 금속 제조 (Direct Metal Fabrication) 기술은 기존의 절삭가공과 같은 서브트랙트 가공 (Subtractive manufacturing) 기술과는 반대로 적층 가공 (Additive manufacturing) 기술로서 금형의 신제작 기술이다. 직접 금속 제조 기술은 크게 PBS (Powder Based System) 와 PDS (Powder Deposition System) 로 나눌 수 있다. PBS 기술은 주로 특수 제조된 금속 분말을 사용하여 수십 마이크론의 층 (Layer) 을 쌓은 뒤 필요한 부위만 선택해서 레이저로 소결 (Sintering) 또는 용융 (Melting) 하는 기술이다. PBS 장점은 어떠한 형상이든 3D 모델만 있으면 제조가 가능하다는 점으로 목업 (Mock-up) 제작 등에 큰 이점을 가지고 있으나, 특수한 분말만을 사용해야 하므로 가격이 매우 비싸 일반적인 제조업에 활용하기에는 매우 어렵다. 대표적인 PBS 기술로는 선택적 레이저 소결 (Selective Laser Sintering) 기술, 직접 금속 레이저 소결 (Direct Metal Laser Sintering) 기술, 선택적 레이저 용융 (Selective Laser melting) 기술 등이 있다. 반면, PDS 기술은 층을 쌓는 작업없이 필요한 부위에 금속 분말을 직접 공급하고 순간적으로 용융시켜 제품을 형성하는 기술이다. PDS 기술은 제품을 제조하는데 공구 경로를 생성하는 것이 중요하며 일부 형상에 대해서는 제조할 수 없는 제약이 따른다. 하지만 분말의 사용에 제약이 없어 제조원가 측면에서 PBS 기술에 비해 매우 저렴하고 이중 금속을 사용하여 고기능성 부품을 제조할 수 있으며 제조 과정에서 열처리 공정을 거침으로 인해 강도가 높고 조직이 치밀하여 매우 각광받고 있는 기술이다. 대표적인 PDS 기술로는 레이저 처리 정형 가공 (Laser Engineered Net Shaping) 기술, 직접 금속 적층 (Direct Metal Deposition) 기술, 직접 금속 성형 (Direct Metal Tooling) 기술 등이 있다.

직접 금속 제조 기술 중 직접 금속 성형 기술<sup>39)</sup>은 (주) 인스텍에 의해 개발된 기술로써 고출력 레이저를 이용하여 금속 분말을 녹여 붙이는 방식을 통해 컴퓨터의 3차원 CAD 데이터로부터 직접 금속 제품과 금형 등을 빠른 시간 내에 제작할 수 있는 레이

저 금속 성형 기술이다. 직접 금속 성형 기술의 기본 원리는 CAD 데이터를 이용하여 제작하고자 하는 제품을 3 차원 솔리드 모델링하여 STL 파일 형태로 변환 시킨 후, 변환한 STL 파일 데이터를 한 층씩 수직 방향으로 나눈다. 이 후 고출력 레이저 빔을 국부적으로 금속 표면에 조사하면 순간적으로 금속 표면에 용융 풀이 생성되고 용융 풀 안으로 정밀하게 제어되는 금속 분말을 공급하여 레이저 빔 또는 금속 시편을 3 차원 CAD 모델로부터 산출된 공구 경로에 따라 이동시켜 클래딩 층을 형성한다. 이러한 공정을 반복하여 3 차원 CAD 모델과 동일하게 금속을 성형한다. Fig. 3 은 금속을 3 차원 CAD 데이터로부터 직접 금속 성형 기술을 이용하여 제작하는 과정이다.



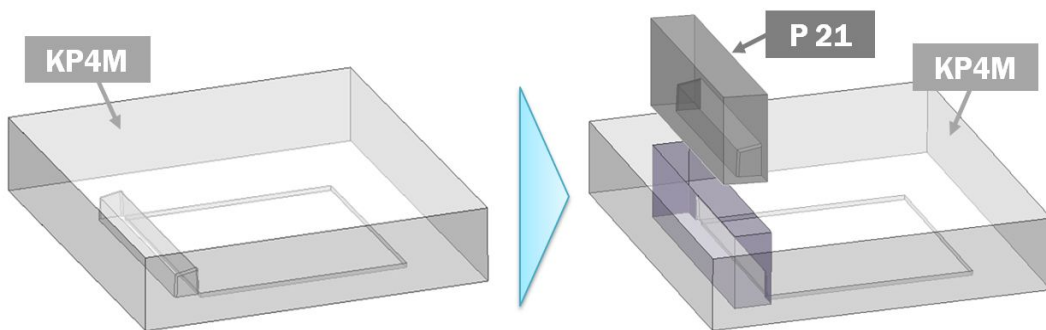
Fig. 3 Manufacturing procedure of the mould using direct metal tooling process

## 2. 다중슬라이스 금형 재료 선정

직접 금속 성형 기술은 레이저 적층 시 한 층이 0.25 mm 씩 적층되므로 대상 금형을 전체 적층하면 제작 시간 및 제작 비용이 많이 소요된다. 본 연구는 금형 제작 시간 및 제작 비용을 줄이기 위하여 제품 특성과 밀접한 영향이 있는 금형 코어부에서 제품의 냉각이 원활하지 않는 후육부에 해당하는 부위에 삽입되는 형식으로 다중슬라이스 금형 코어를 설계하고자 하였다. 다중슬라이스 금형의 기계가공부는 국내 일반 사출 금형강이 KP4M 을 사용하였고, 후육부에 삽입되는 적층부는 KP4M 과 비슷한 성질을 갖고 있는 NAK 80 계열의 성형성이 우수하고 KP4M 과 결합력이 탁월한 P 21 을 사용하였다. 다중슬라이스 금형을 설계함으로써 사출성형 금형의 특성을 극대화하고 제작 시간을 최소화 할 수 있도록 하였다. 금형의 재료별 물성은 Table 1 과 같고, Fig. 4 는 금형의 기능적 분리를 나타낸다.

Table 1 Material properties of the multi-sliced mould

Material	Hardness (H <sub>Rc</sub> )	Thermal conductivity (W/m · K)	Thermal expansion coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C)
P 21	39	38.0	12.9
KP4M	35	20.6	11.8



**Upper core for the 1<sup>st</sup> injection moulding**

Fig. 4 Functional decomposition of mould geometry for the multi-sliced mould

### 3. 대상 금형 설계 방법

본 연구에서는 후육부를 가진 평판 제작용 이중사출성형 금형을 대상으로 직접 금속 성형 기술을 기반으로 한 3 차원 형상적응형 냉각수로를 이용하여 냉각 특성을 향상시키고자 한다. 냉각 시 후육부에서 발생하는 수축을 감소시키기 위하여 1 차 성형과 2 차 성형으로 구성되는 이중사출성형 기술을 도입한 이중사출성형 금형으로 설계하여 1 차 성형 시 수축이 발생하더라도 2 차 성형에 의하여 수축 부위를 오버몰딩 하여 수축을 감소시키고자 한다. 또한, 후육부의 열을 배출시키기 위하여 3 차원 형상적응형 냉각수가 설치되는 입자 코어를 직접 금속 성형 기술을 이용하여 제작 후 후육부 근방에 삽입하도록 하는 방식의 다중슬라이스 (Multi-slices) 사출 금형으로 설계하고자 한다.

연구 대상 금형인 후육부를 가진 평판 제작용 이중사출성형 금형은 1 차 성형품과 2 차 성형품이 결합되어 완제품을 생산하는 인덱스 축 회전 방식의 이중사출성형 금형 기술을 이용한 사출성형 금형으로 Fig. 5 와 같이 540 mm × 250 mm × 110 mm 의 크기를 가진 1 차 코어와 2 차 코어로 구성되어 있는 총 2 개의 캐비티로서 4 개의 상·하형 금형으로 설계된 후육부를 가진 평판 제작용 이중사출성형 금형이다.

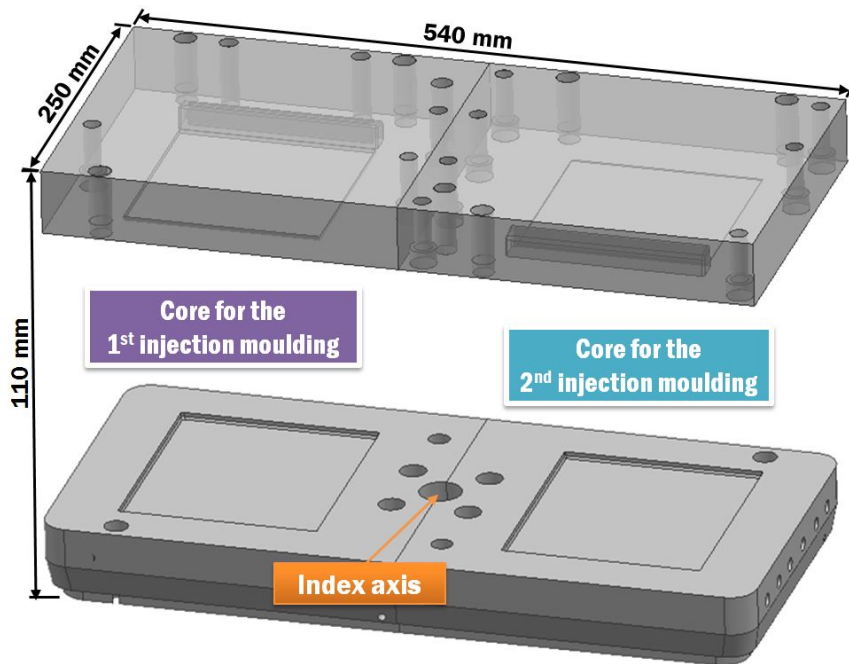


Fig. 5 Core design of the multi-sliced mould for the flat plate with a partly large volume

후육부를 가진 평판 제품은 1 차 성형으로 제품의 기본 형상을 성형하고 2 차 성형으로 1 차 성형품에 오버몰딩하는 방식으로 형상은 Fig. 6 과 같이 설계하였으며, 1 차 성형품과 2 차 성형품의 평판부 두께는 2 mm 이다.

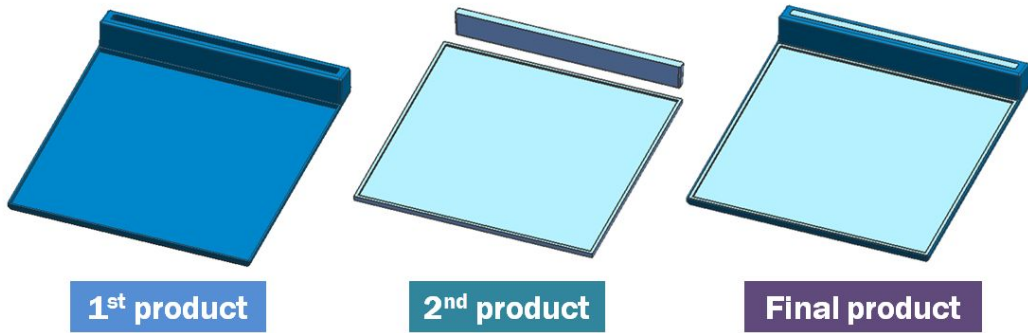


Fig. 6 Design of the flat plate with a partly large volume

본 연구 금형은 제품의 평판부 두께가 얇아서 평판부에 대하여 불균일한 냉각에 따른 휨 변형을 최소화하기 위하여 평판부 위주로 Fig. 7 과 같이 기계 가공으로 제작될 직선형 냉각수로 (Linear cooling channel) 로 1 차 금형과 2 차 금형 모두 동일하게 설계하였다. 후육부에 대한 냉각수로는 설계되어 있지 않아 평판과 후육부의 두께 차이에 의하여 냉각 시 수축량이 틀려짐에 따라 후육부의 냉각 성능 향상을 위하여 금형 면 형상에 적응하는 3 차원 형상적응형 냉각수로는 설치된 다중슬라이스 금형 코어를 사출성형 해석을 통하여 설계하고자 하였다.

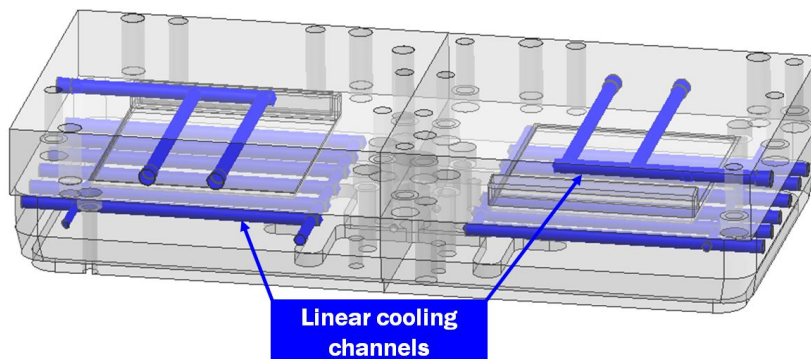


Fig. 7 Cooling channel design of the initial mould for the flat plate with a partly large volume



## 4. 대상 금형 사출성형 해석

### 가. 대상 제품 및 금형 사출성형 해석 모델링

대상 금형은 이중사출 금형으로 이중사출성형 해석은 Fig. 8 과 같이 제품의 충전 특성, 웰드라인 (Weld line) 및 기공 (Air trap) 형성 위치, 사출압력-사출시간 특성 및 형체력 분석에는 오버몰딩 (Overmolding) 해석 기법<sup>40)</sup>을 사용하였고 오버몰딩 해석 기법은 이중사출성형 제품의 냉각 해석을 통한 제품의 수축 및 변형 등의 분석이 불가능하여 이중사출성형 제품의 수축 및 변형 등 냉각 특성을 분석하고자 냉각수로를 삽입하여 1 차 성형에 대하여 일반 사출성형 해석을 수행하였으며 2 차 성형에 대해서는 1 차 성형 제품을 인서트 (Insert) 로 가정한 인서트 사출성형 해석을 수행하였다.

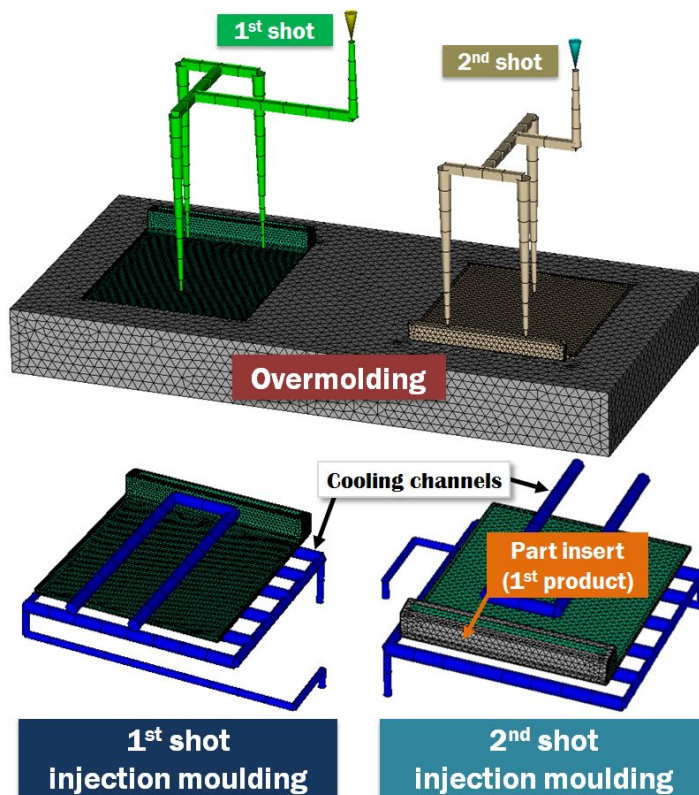


Fig. 8 Methodology of double-shot injection moulding analysis for the flat plate with a partly large volume

본 해석은 후육부를 가진 평판 제작용 이중사출성형 금형에 대하여 실제 수지가 충전되어 추출 될 때까지 제품 및 사출성형 금형의 유동 및 냉각 특성을 분석하기 위하여 Fig. 9 와 같이 1 차 성형품과 2 차 성형품에 대하여 Unigraphics NX 6 에서 설계한 3D 모델링을 STP 파일로 변환하여 Moldflow MPI 6.1 에서 해석 격자를 생성시킨 뒤 사출성형 해석을 수행하였다. 해석 격자 생성 시 현 간격 (Chord height) 은 0.1 mm 이고 생성된 격자의 품질 향상을 위해 자유 에지 (Free edge) 제거, 형상비 (Aspect ratio) 의 최대값, 비 매니폴드 에지 (Non manifold edge) 및 격자 매치 비율 (Mesh match ratio) 등을 확인 및 수정하여 사출성형 해석에 필요한 해석 격자를 완성하였다. 유한요소 격자수는 1 차 성형품이 6,478 개, 2 차 성형품이 6,248 개다.

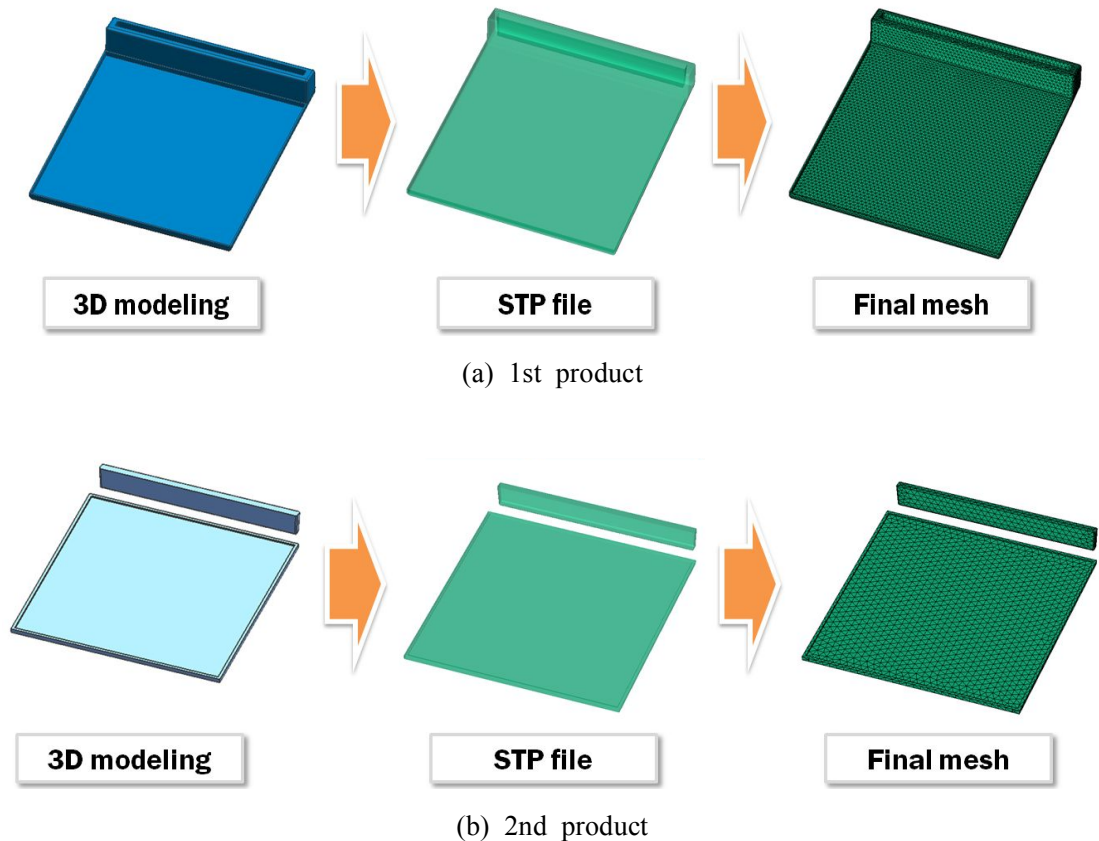


Fig. 9 Procedure of mesh generation for the flat plate with a partly large volume

이중사출성형 금형의 사출성형 해석을 정확하게 수행하기 위해 Fig. 10 과 같이 상·하코어 모두 에지 (Edge) 길이가 10 mm 인 사면체 (Tetrahedron) 해석 격자로 생성하였다. 해석 격자 생성 시 해석 결과에 영향을 주지 않는 필렛 (Fillet) 부분은 단순화시켜 생성하였으며 생성된 격자의 품질 향상을 위해 제품 해석 격자 생성 시와 동일하게 자유 에지 제거, 형상비의 최대값, 비 매니폴드 에지 및 격자 매치 비율 등을 확인 및 수정하여 사출성형 해석에 필요한 해석 격자를 완성하였다. 유한요소 격자수는 상코어 및 하코어 각각 151,225 개, 78,990 개다.

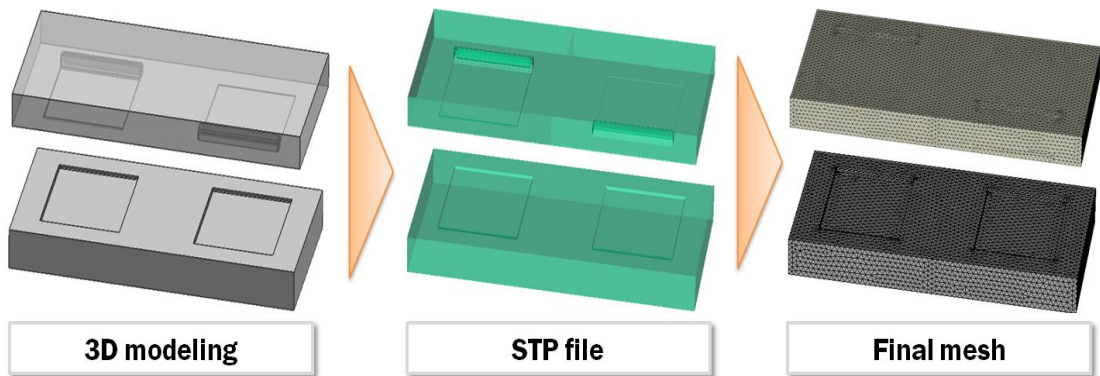


Fig. 10 Procedure of mesh generation of the mould for the flat plate with a partly large volume

1 차 금형과 2 차 금형에 대한 런너 시스템 (Runner system) 및 냉각수로 설계는 Fig. 11 과 같고 사출성형 해석을 위한 런너 시스템 및 냉각수로의 해석 격자는 빔 (Beam) 해석 격자로 생성하였다. 런너는 콜드 런너 (Cold runner) 를 사용하였고, 스프루 (Sprue) 형태는 원뿔형이며 시작 지름은 5.5 mm, 끝 지름은 9 mm 이며 게이트 (Gate) 는 흔적이 거의 없는 핀 포인트 게이트 (Pin point gate) 로서 지름이 1 mm 인 3 점 게이트로 설계하였다. 냉각수로는 직선형 냉각수로로 직경이 6 mm 및 10 mm 이고, 1 차 금형과 2 차 금형 모두 각각 2 개의 입·출구를 갖고 있다.

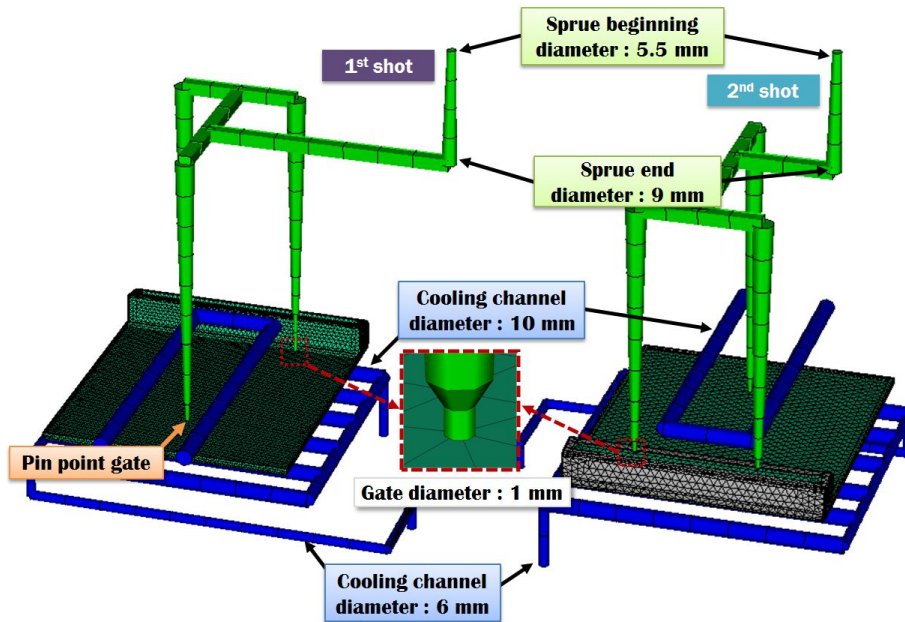
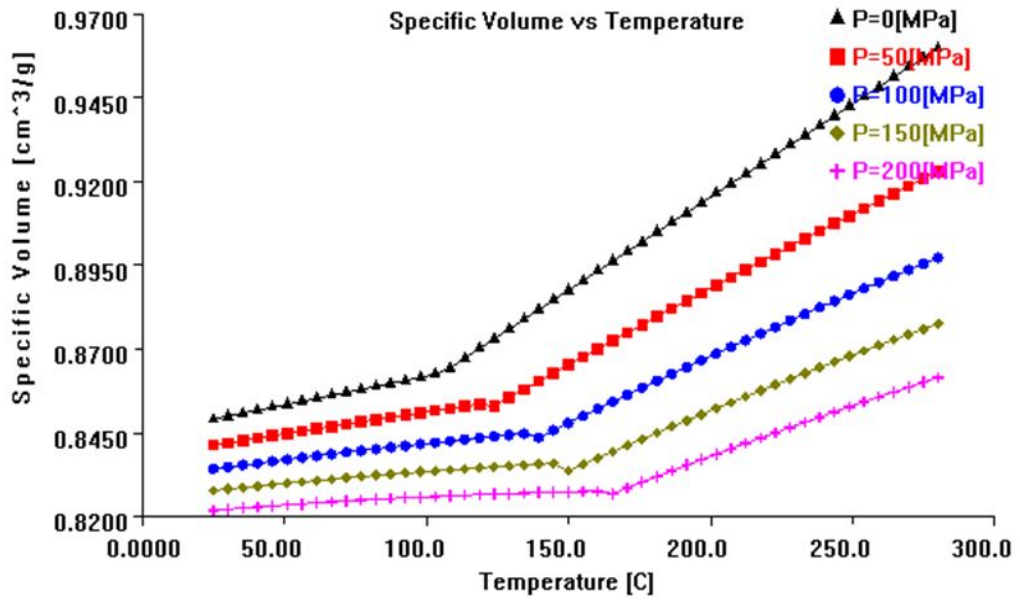


Fig. 11 Design of runner system and cooling channels for the flat plate with a partly large volume

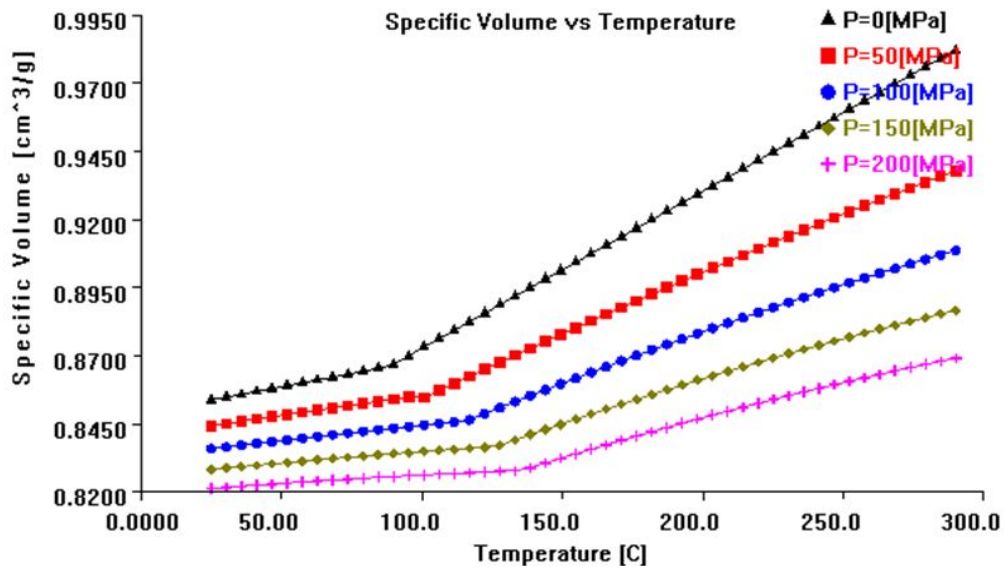
사출성형 해석을 위한 초기 조건은 Table 2 와 같다. 사출성형 해석 시 보압시간은 1 차 성형과 2 차 성형 모두 10 초로 선정하였다. 사출성형 해석에 사용된 수지는 이중사출성형 제품으로 1 차 수지와 2 차 수지로 총 2 개의 다른 수지를 사용하였다. 1 차 성형품에 사용된 수지는 투명성이 뛰어나고 경도가 높고 표면광택이 우수한 아크릴 (PMMA) 수지 이고, 2 차 성형품에 사용된 수지는 성형 가공성이 우수한 PC (Polycarbonate)/ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) 혼합 수지를 사용하였다. 사출성형 해석에 사용된 각 수지의 PVT 선도는 Fig. 12 와 같다.

Table 2 Initial condition of injection moulding analysis for the flat plate with a partly large volume

Stage	Filling Control	Mould temperature	Melting temperature of resin	Coolant temperature
1st shot	Automatic	60 °C	250 °C	20 °C
2nd shot	Automatic	60 °C	265 °C	20 °C



(a) Resin of 1st shot (PMMA)



(b) Resin of 2nd shot (PC/ABS)

Fig. 12 PVT curves of resin for the flat plate with a partly large volume



## 나. 대상 금형 이중사출성형 해석 결과 및 고찰

Fig. 13 은 충전 시간에 따른 수지의 유동 패턴에 대한 해석 결과이다. 1 차 성형품과 2 차 성형품 모두 게이트부에서 제품 끝단까지 수지는 미충진 없이 완벽하게 충전됨을 알 수 있었고, 수지의 충전 시간은 1 차 성형품이 2.7 초 이내, 2 차 성형품은 2 초 이내임을 알 수 있었다.

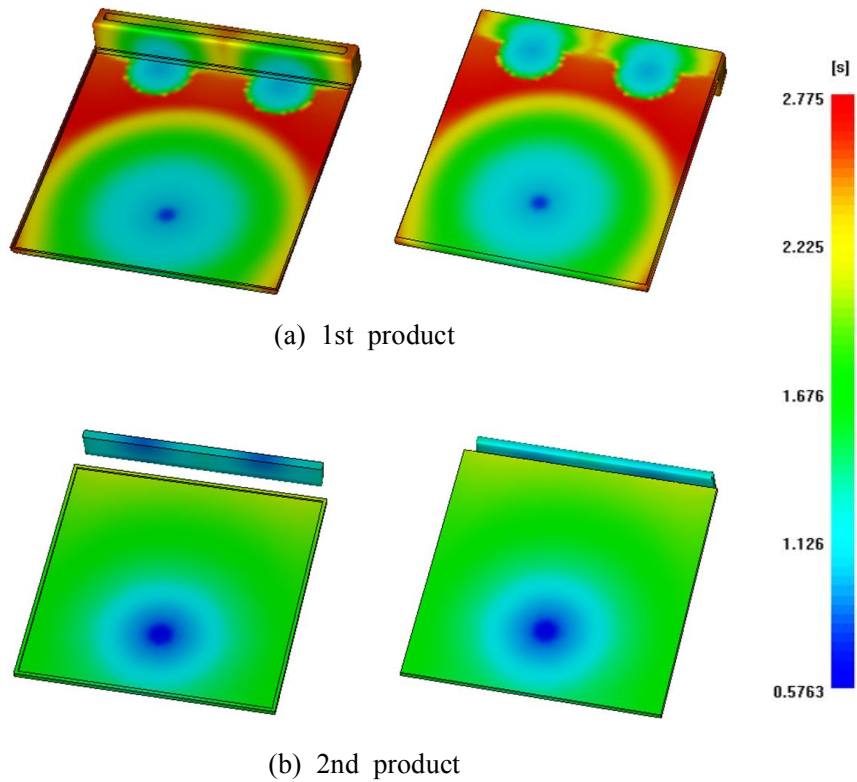


Fig. 13 Filling patterns for the flat plate with a partly large volume

Fig. 14 는 수지의 충전 후 1 차 성형품과 2 차 성형품에 대한 기공 (Air trap) 및 웰드라인 (Weld line) 생성 위치에 대한 해석 결과이다. 제품 형상에 대한 충전 패턴에 따라 수지의 흐름이 만나는 부분에서 발생됨을 알 수 있었다. 특히, 1 차 성형품의 평판부 위에 성형되는 2 차 성형품의 평판부 외관에는 기공 및 웰드라인이 발생하지 않아 제품의 최종 성형 시 외관은 양호함을 알 수 있었다.

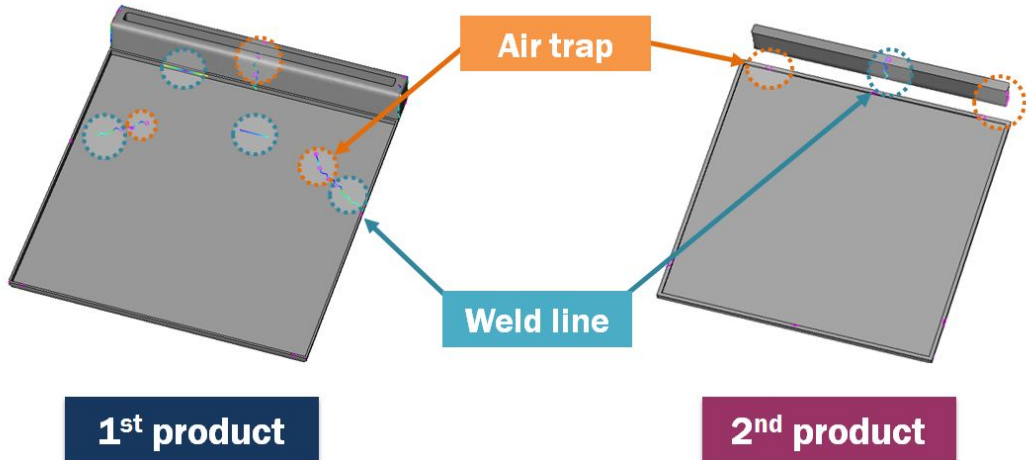
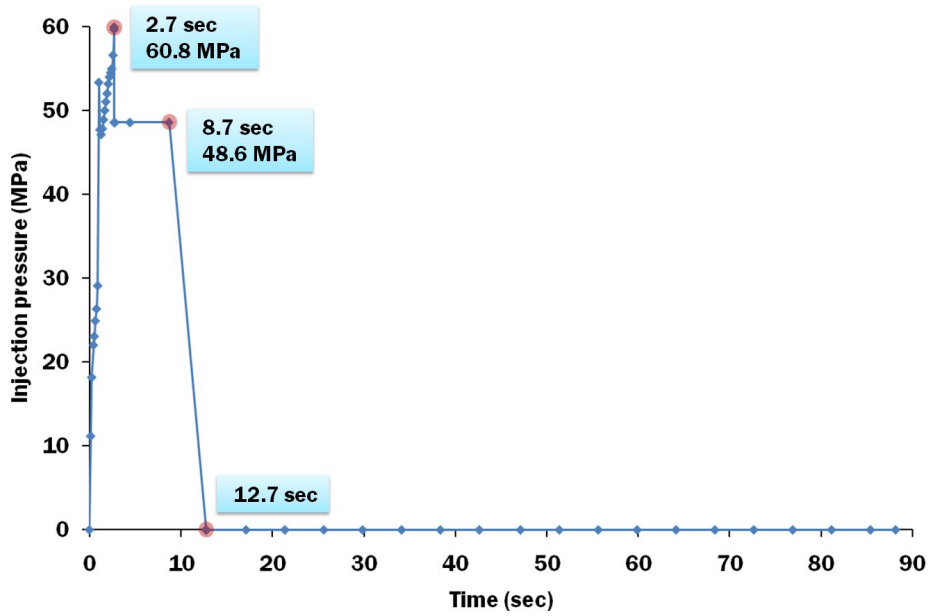


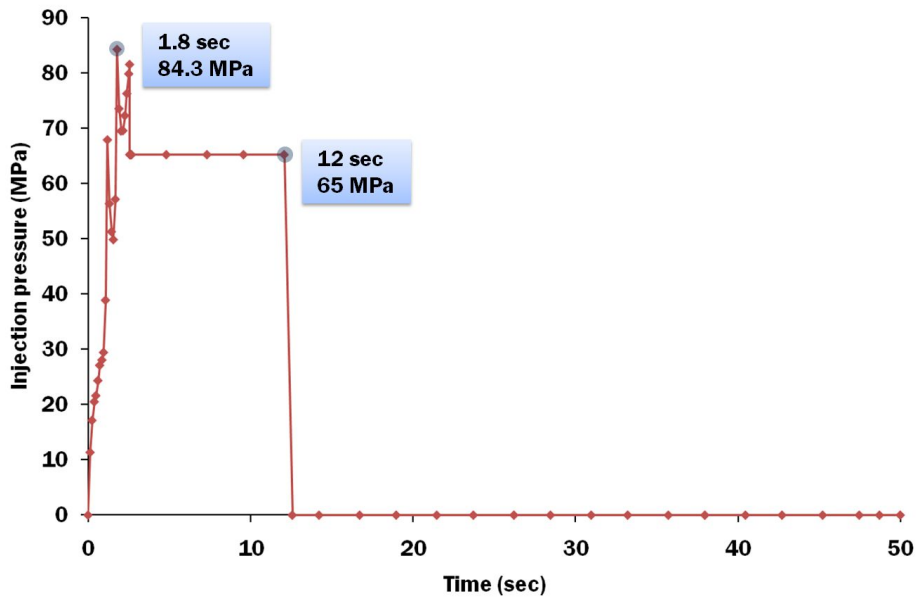
Fig. 14 Formation of air traps and weld lines for the flat plate with a partly large volume

사출성형 해석 결과 1 차 금형 및 2 차 금형의 시간에 따른 사출성형 압력의 변화는 Fig. 15 와 같다. 충전이 완료되는 시점에서 제품에 걸리는 최대 사출압력은 1 차 성형품은 60.8 MPa 이고, 2 차 성형품은 84.3 MPa 임을 알 수 있었다. 보압시간은 1 차 금형과 2 차 금형 모두 약 10 초로 해석 조건에서 부여한 보압시간과 거의 동일함을 알 수 있었고, 보압력은 1 차 금형과 2 차 금형이 각각 48.6 MPa, 65 MPa 로 최대 사출압력의 약 80 % 로 보압이 유지됨을 알 수 있었다. 냉각 시간은 1 차 금형은 약 78 초, 2 차 금형은 약 38 초로 1 차 성형품의 성형 시간이 더 오래 걸림을 알 수 있었다.

이중사출성형에서 사이클 시간 (Cycle time) 은 1 차 성형이 이루어지는 동안 2 차 성형도 동시에 이루어지므로 1 차 성형과 2 차 성형 중 상대적으로 시간이 오래 걸리는 쪽으로 결정되므로 제품의 전체 제작 시간을 줄이기 위해서는 1 차 성형의 냉각 시간 단축이 필요함을 알 수 있었다.



(a) 1st shot injection moulding analysis



(b) 2nd shot injection moulding analysis

Fig. 15 Variation of the injection pressure-time curves for the flat plate with a partly large volume



Fig. 16 은 사출성형 시 형체력 선도이다. 충진이 완료되는 시점에서 형체력은 1 차 금형이 80 ton 이하, 2 차 금형은 87.2 ton 이하에서 성형이 가능함을 알 수 있었다.

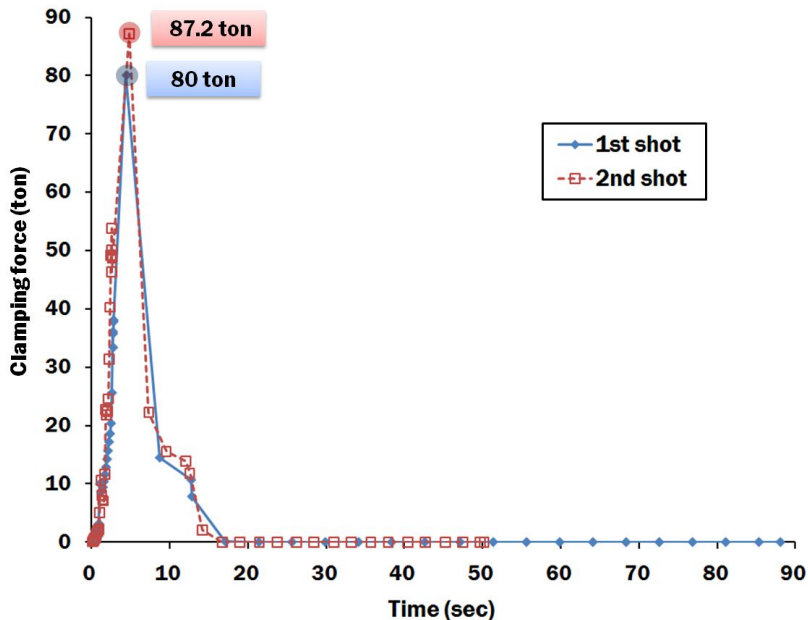


Fig. 16 Variation of the clamping force-time curves for the flat plate with a partly large volume

Fig. 17 은 냉각 해석 후 제품의 온도 분포에 대한 결과이다. 냉각 후 제품의 평균 온도는 1 차 성형품이 48.1 °C 이고, 2 차 성형품이 39.1 °C 임을 알 수 있었다. 제품의 온도 분포 결과 두께가 얇은 평판부는 냉각이 잘 이루어지지만 상대적으로 두께가 두꺼운 후육부에서는 냉각이 원활히 이루어지지 않음을 알 수 있었으며 특히, 1 차 성형품의 후육부는 불균일한 냉각이 발생하였다. 1 차 성형품의 후육부는 냉각이 가장 잘 이루어지지 않는 부위로 임의의 위치 A 지점과 B 지점에서 온도 값이 106.1 °C 와 104.9 °C 로 가장 높은 온도 분포를 나타냄을 알 수 있었다. 반면, 2 차 성형품은 1 차 성형품에 비하여 냉각이 균일하게 이루어짐을 알 수 있었다. 1 차 성형품 후육부의 열을 제거하기 위해서는 냉각 시간의 증가가 필요시 되었지만 냉각 시간이 증가할 경우 제품 제작 시간이 증가하는 문제가 발생한다. 그래서 제품 제작 시간을 줄이기 위하여 냉각 시간을 단축시키면서 후육부의 냉각 성능 향상을 위한 냉각수로 설계가 필요함을 알 수 있었다.

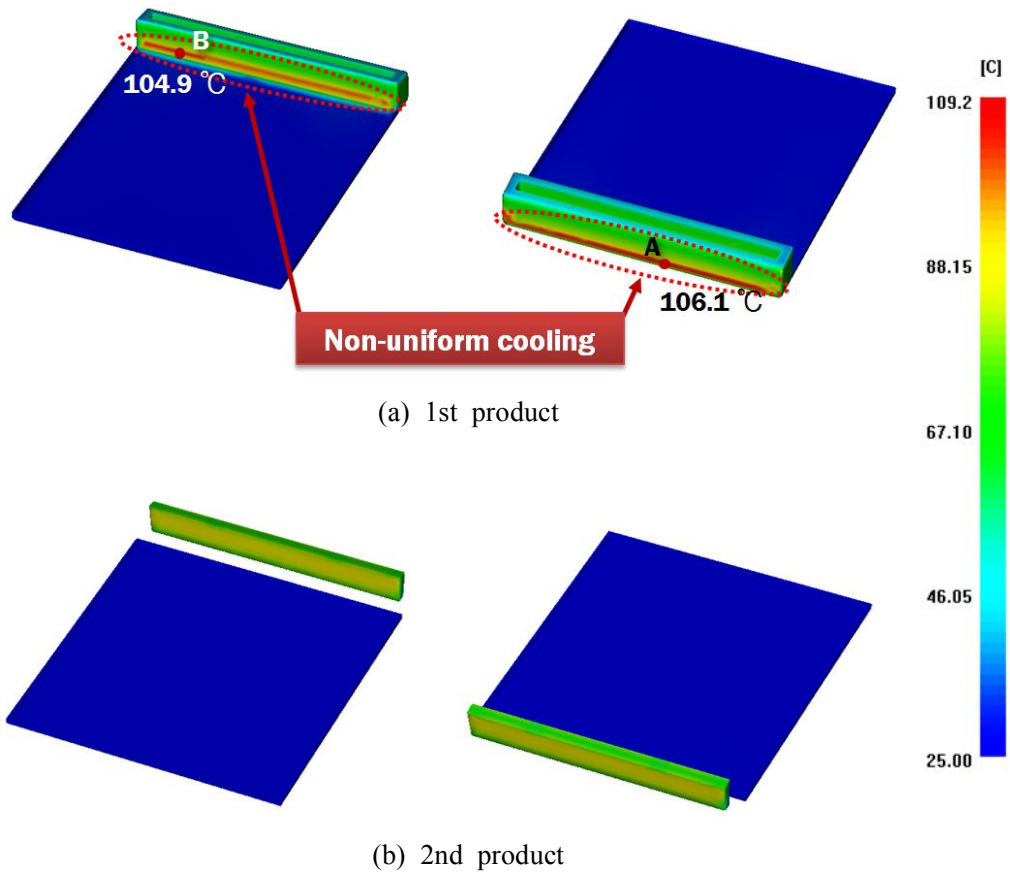


Fig. 17 Temperature distributions in the moulded product at the ejection time for the flat plate with a partly large volume (Initial mould design)

제품 취출 시 수축율에 대한 해석 결과 Fig. 18 과 같이 냉각이 잘 이루어진 평판부는 수축이 비교적 적게 발생하였지만 냉각이 원활히 이루어지지 않은 후육부는 상대적으로 수축이 크게 발생하였다. 특히, 1 차 성형품의 후육부는 불균일한 냉각으로 인하여 수축이 가장 크게 발생함을 알 수 있었다. 1 차 성형품의 최대 수축율은 7.33 %, 평균 수축율은 4.65 % 이고, 2 차 성형품의 최대 수축율은 6.43 %, 평균 수축율은 3.93 % 로 1 차 성형품이 2 차 성형품에 비해 수축이 크게 발생함을 알 수 있었다. 수축이 가장 크게 발생한 1 차 성형품 후육부의 수축 감소를 위하여 후육부에 대한 냉각이 필요함을 알 수 있었다.

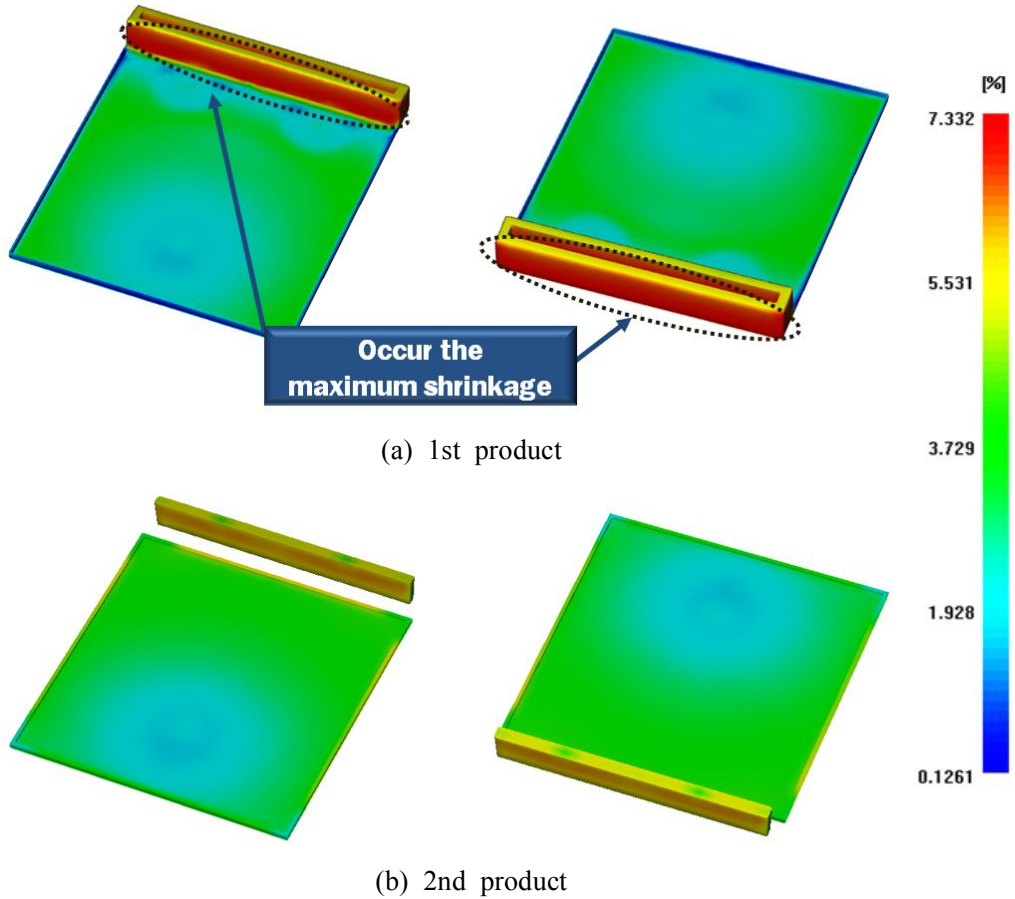


Fig. 18 Volumetric shrinkages of the moulded product for the flat plate with a partly large volume (Initial mould design)

제품에 대한 냉각 후 제품의 휨 변형 해석 결과는 Fig. 19 와 같다. 1 차 성형품은 후육부에서 불균일한 냉각으로 인하여 0.64 mm 로 휨 변형이 가장 크게 발생하였고, 평판부의 테두리부도 비교적 휨 변형이 크게 발생하였지만 0.57 mm 이내의 아주 적은 변형이 발생함을 알 수 있었다. 2 차 성형품은 게이트에서 멀리 떨어져 있는 평판부의 끝단이 중심보다 압력을 상대적으로 덜 받아 충전 패턴에 따라 게이트에서 멀리 떨어져 있는 평판부 끝단으로 갈수록 변형이 크게 발생함을 알 수 있었다.

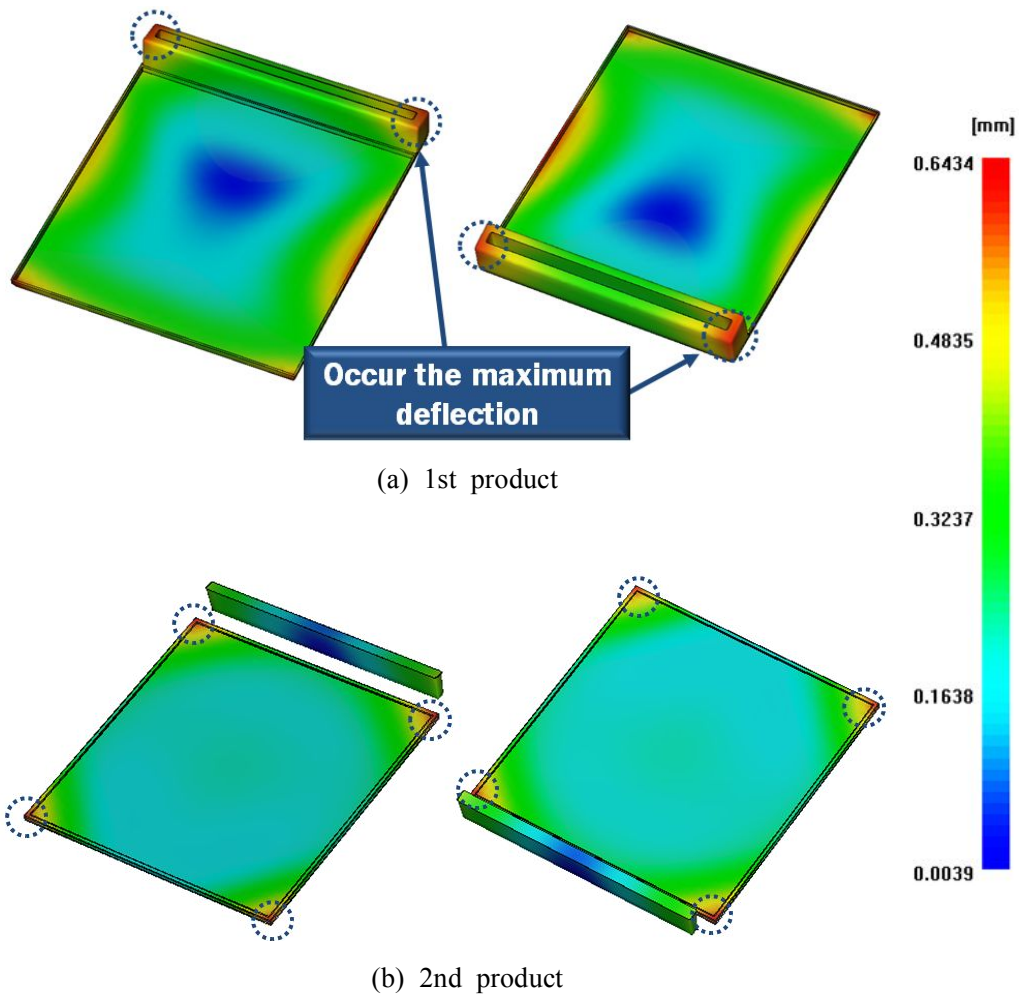


Fig. 19 Deflections of the moulded product for the flat plate with a partly large volume (Initial mould design)

### 5. 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출성형 금형 설계

후육부를 가진 평판 제작용 이중사출성형 금형의 사출성형 해석 결과 1 차 성형품의 후육부에서 불균일한 냉각으로 인하여 온도 분포가 가장 높았고 수축 및 변형이 가장 크게 발생하여 1 차 성형품의 후육부를 열점 (Hot spot) 으로 선정하였다. 제품의 품질과 제작 시간 단축을 위한 제품의 열점에 대한 냉각 성능 향상을 위하여 앞서 선정 한 P 21 재료를 이중사출성형 금형 중 1 차 성형품의 후육부에 해당하는 1 차 사출성형 금형의 상코어에 배치하고 냉각 성능을 극대화하기 위하여 금형면 형상에 적응하는 3 차원 형상적응형 냉각수로를 설계하였다. 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출성형 금형은 Fig. 20 과 같다.

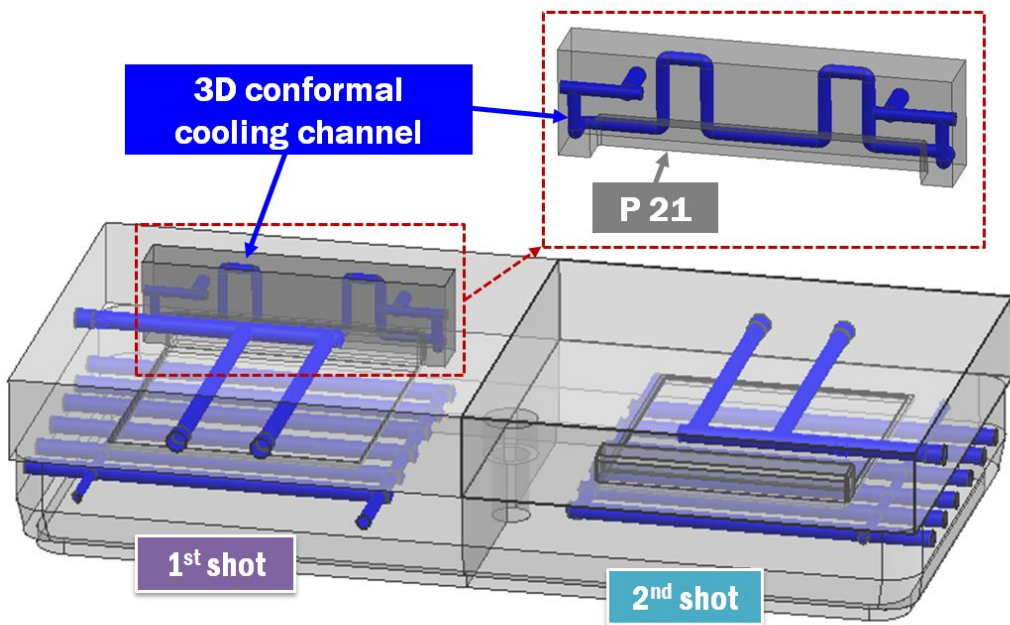


Fig. 20 Design of multi-slices double-shot injection mould with 3D conformal cooling channel for the flat plate with a partly large volume

# 제 3 절 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형 설계

## 1. 3 차원 측정

인체친화적인 컴퓨터 마우스의 최적 형상 설계를 위하여 실제 사용되는 컴퓨터 마우스 중에서 사용 시 그립감이 우수한 컴퓨터 마우스 샘플을 선정하여 선정한 샘플에 대하여 3 차원 측정을 수행하였다. 3 차원 측정은 Fig. 21 과 같이 Solutionix 의 Rexscan III 장비를 사용하여 측정을 수행하였고 형상 오차를 최소화하기 위한 정합 (Alignment) 과정을 거쳐 최종 병합 (Merging) 작업을 수행하여 획득한 컴퓨터 마우스 샘플에 대한 최종적인 3 차원 측정 결과는 Fig. 22 와 같다. 3 차원 측정 결과를 바탕으로 손으로 옮겨주었을 때 손바닥과 마우스의 닿는 부위의 형상을 추출하여 IGES 파일로 변환시켜 인체친화적인 컴퓨터 마우스의 3D 모델링 시 적용하여 3D 모델을 설계하였다.

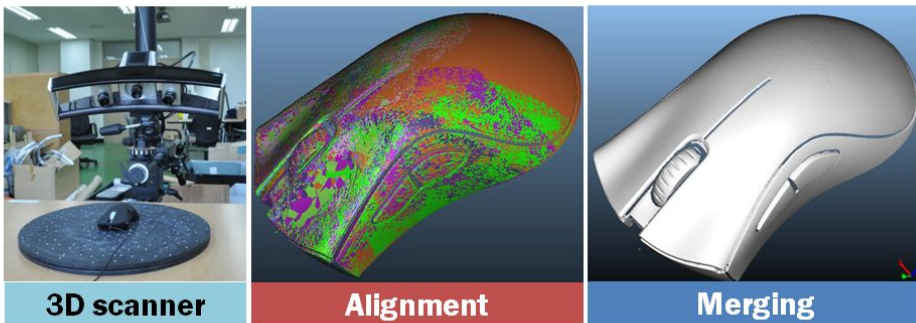


Fig. 21 Three-dimensional scanning procedure for the computer mouse

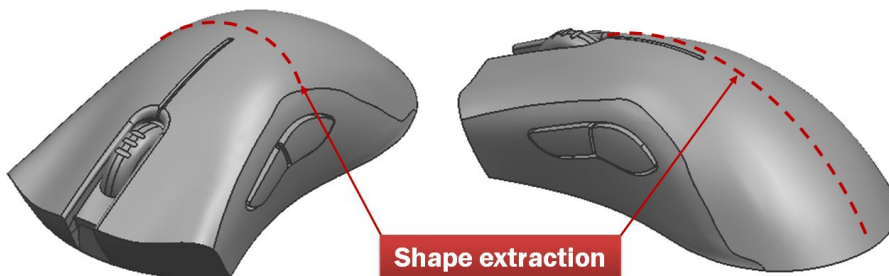


Fig. 22 Result of three-dimensional scanning for the computer mouse



## 2. 대상 금형 설계 방법

컴퓨터 마우스 제작용 금형을 대상으로 기존의 단일 재질로 되어 있는 컴퓨터 마우스를 이중사출성형 기술을 이용하여 손과의 접촉 부위에만 연질의 플라스틱을 사용하여 터치감을 개선함으로써 장시간 사용해도 피로감을 덜 느끼고 단일공정으로 제작할 수 있는 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형을 설계하고자 한다.

연구 대상 금형인 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형은 인덱스 축 회전 방식을 적용하여 1 차 성형품과 2 차 성형품이 결합된 완제품을 단일공정으로 생산하는 사출성형 금형으로 Fig. 23 과 같이 595 mm × 280 mm × 85 mm 의 크기를 가진 1 차 코어와 2 차 코어로 구성되어 있는 총 2 개의 캐비티로서 4 개의 상·하형 금형으로 설계된 이중사출성형 금형이다.

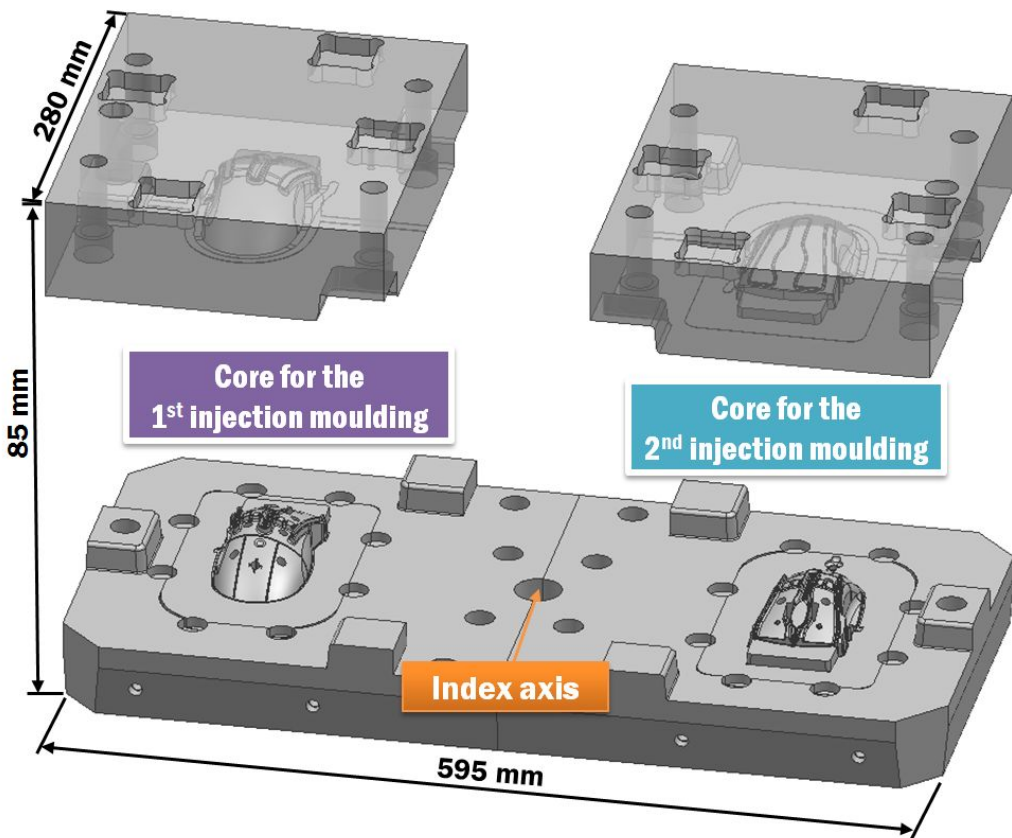


Fig. 23 Design of mould for a human-friendly computer mouse

개발하고자 하는 대상 금형의 제품은 Fig. 24 와 같이 1 차 성형품은 기존의 마우스 제작 시 사용되는 경질의 플라스틱 재질을 사용하여 제품의 기본 형상을 성형하고 2 차 성형품은 손과 접촉되는 부위로서 터치감 개선 및 피로감 감소를 위하여 연질의 플라스틱 재질을 사용하여 1 차 성형품에 오버몰딩하는 방식으로 설계하였다.

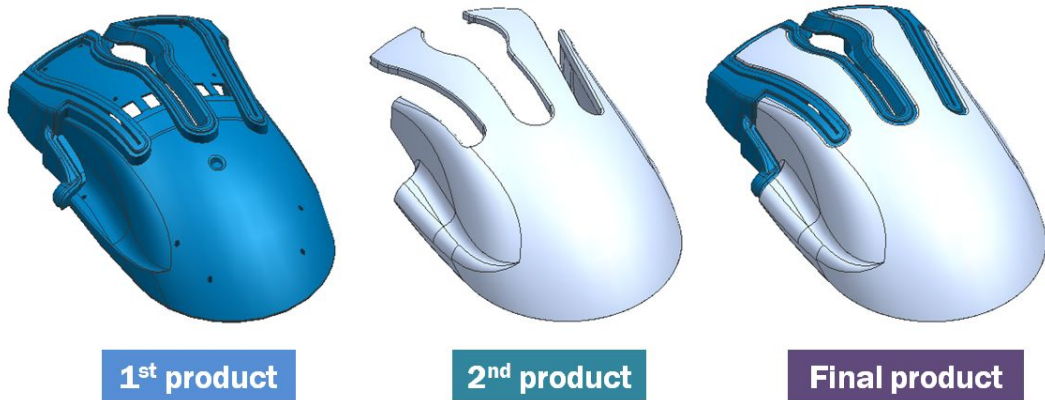


Fig. 24 Design of a human-friendly computer mouse

본 연구 금형은 Fig. 25 와 같이 기계 가공이 가능한 직선형 냉각수로와 제품 형상에 따라 제품 안쪽의 냉각 성능 향상을 위해 배플 (Baffle) 구조의 냉각수로로 설계하였다. 1 차 금형과 2 차 금형 모두 냉각수로는 동일하게 설계하였으나 2 차 금형의 상코어는 금형 구조상 게이트 위치 때문에 배플 구조의 냉각수로를 1 개만 설계하였다.

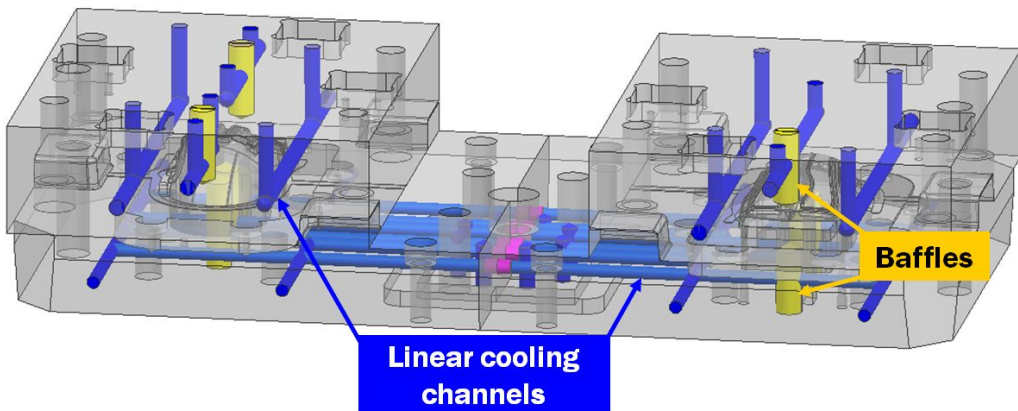


Fig. 25 Design of mould for a human-friendly computer mouse



# 제 3 장 기능적 특성 향상을 위한 이중사출성형 금형의 3 차원 사출성형 해석

## 제 1 절 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 사출성형 해석

### 1. 다중슬라이스 금형의 3 차원 형상적응형 냉각수로 설계안에 따른 해석 결과 및 고찰

3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 사출성형 해석은 앞서 선정한 1 차 금형의 상코어에 국부적으로 배치한 이중 재료인 P 21 의 물성을 반영하기 위하여 Fig. 26 과 같이 몰드 인서트 (Mold insert) 해석 기법을 사용하였다. 몰드 인서트 해석 기법은 이중 재료의 3 차원 모델링을 STP 파일로 변환하여 Moldflow MPI 6.1 에서 해석 격자를 따로 생성하였다. 특히, 해석 격자 생성 시 이중 재료 물성에 따른 제품의 사출성형 특성 분석을 위하여 이중 재료와 제품이 닿는 부위는 각각의 노드 (Node) 와 요소 (Element) 를 모두 일치시켰으며 이중 재료의 해석 격자만 따로 선택하여 P 21 재료의 물성을 반영하였다.

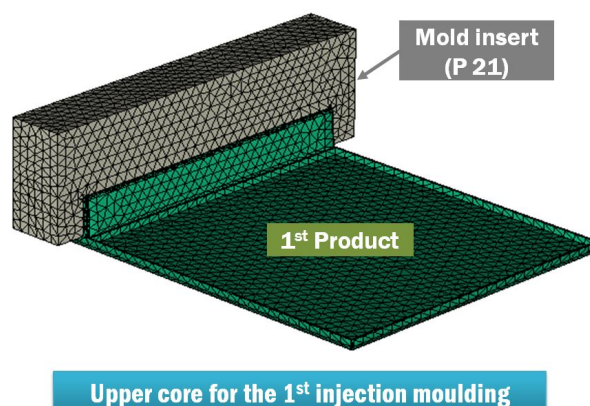


Fig. 26 Mesh generation of multi-slices mould for the flat plate with a partly large volume

3 차원 형상적응형 냉각수로 갖는 다중슬라이스 금형의 3 차원 형상적응형 냉각수로의 최적 설계 조건을 도출하기 위해 직접 금속 제조 기술을 이용한 금속 적층 시 레이저 헤드와 금형의 간섭이 발생하지 않도록 설계하여 본 연구 대상 금형인 후육부를 가진 평판 제작용 이중사출성형 금형인 기존 금형과 동일한 공정조건으로 사출성형 해석을 수행하였다.

3 차원 형상적응형 냉각수로 설계는 Fig. 27 과 Table 3 과 같이 직경별로 4 mm, 5 mm 및 6 mm 로 설계하였고 제품 후육부면과의 거리는 6 mm, 11 mm 및 16 mm 로 설계하여 3 차원 형상적응형 냉각수로의 직경과 위치에 따라 총 9 가지 설계안을 도출하였으며 Moldflow MPI 6.1 에서 빔 (Beam) 해석 격자로 생성하여 냉각 해석을 수행하였다.

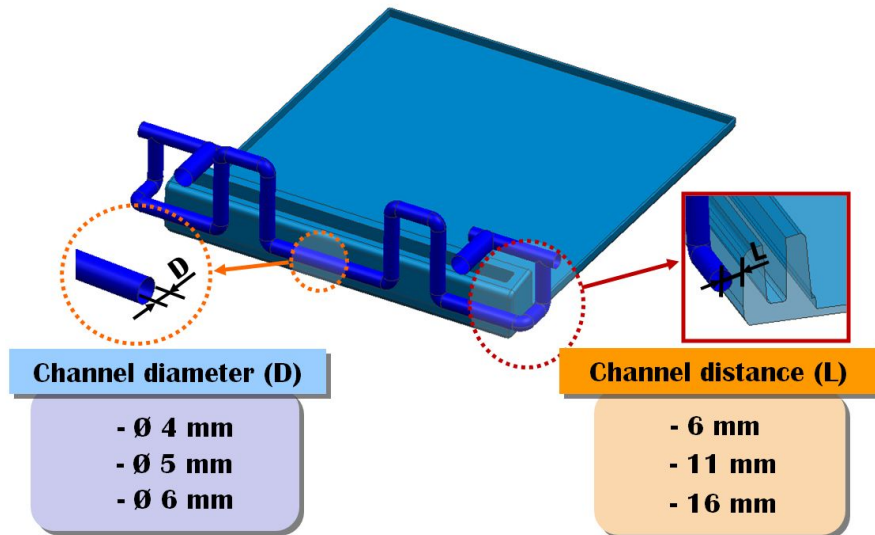


Fig. 27 Design of 3D conformal cooling channel for the flat plate with a partly large volume

Table 3 Design alternatives of 3D conformal cooling channels for the flat plate with a partly large volume

Design	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D (mm)	4	4	4	5	5	5	6	6	6
L (mm)	6	11	16	6	11	16	6	11	16

Fig. 28 은 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 냉각 해석 후 1 차 성형품의 취출 시 온도 분포에 대한 결과이다. 1 차 성형품의 후육부는 3 차원 형상적응형 냉각수로의 직경이 커질수록 온도가 낮아짐을 알 수 있었고, 제품면과 가까울수록 온도가 낮게 분포함을 알 수 있었다. 기존 금형의 1 차 성형품에서 온도가 가장 높게 나온 동일한 A 지점에서의 온도는 3 차원 형상적응형 냉각수로의 직경이 가장 크고 제품면과의 거리가 가장 가까운 7 번 설계안에서 78.9 °C 로 제품의 온도가 가장 낮게 분포함을 알 수 있었고, 후육부면에 대해서도 온도가 가장 균일하게 분포함을 알 수 있었다.

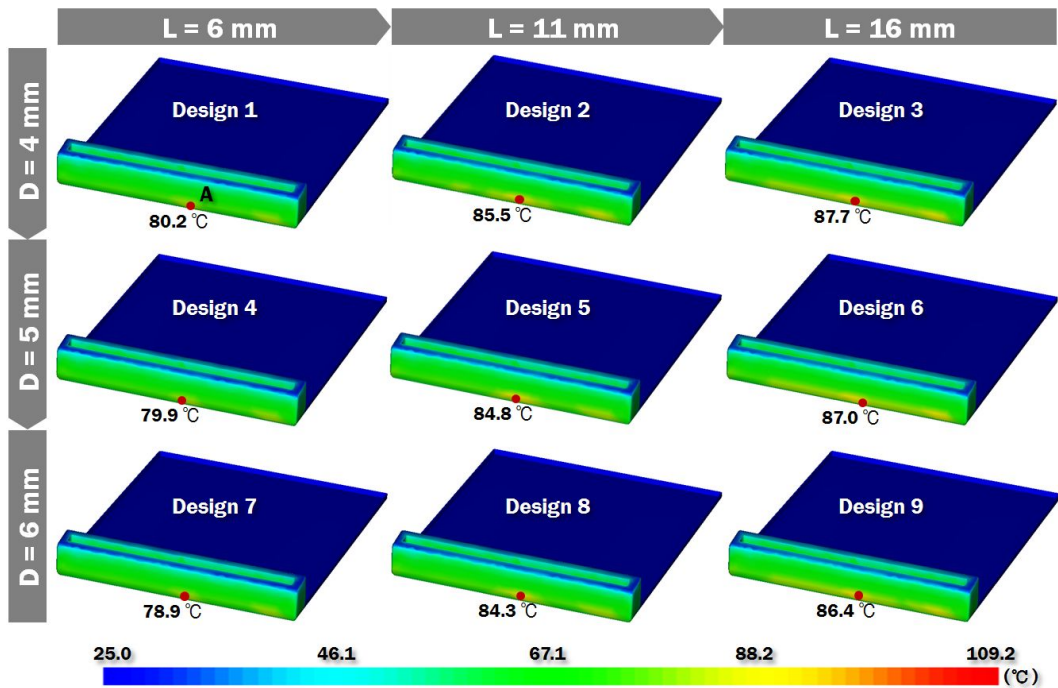


Fig. 28 Variation of 1st product temperature distribution at an ejection time for different design conditions (Flat plate with a partly large volume)

기존 금형의 1 차 성형품과 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 7 번 설계안에 대한 1 차 성형품의 동일한 지점에서의 온도 분포 비교 결과 Fig. 29 와 같이 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 제품이 두 지점에서 온도가 각각 78.9 °C, 82.8 °C 로 기존 금형의 제품보다 균일한 냉각이 이루어짐으로써 기존 금형의 제품보다 27.2 °C 와 22.1 °C 가 더 낮음을 알 수 있었다.

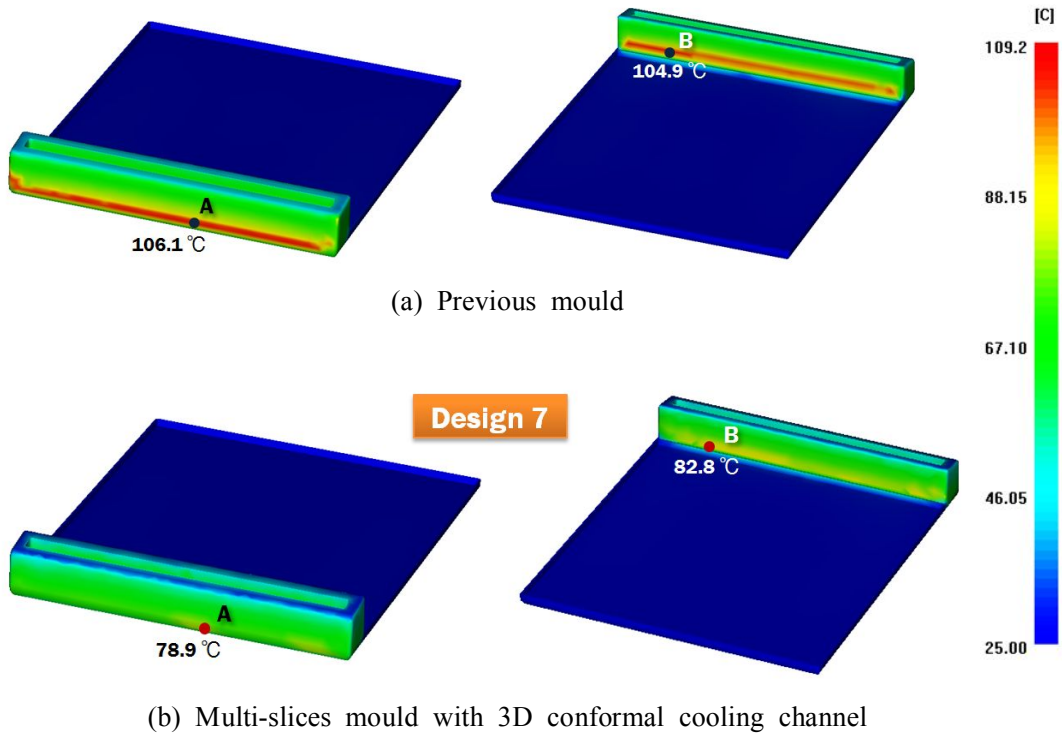


Fig. 29 Comparison of 1st product temperature distributions at an ejection time for the flat plate with a partly large volume

Fig. 30 은 기존 금형의 1 차 성형품과 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 1 차 성형품의 동일한 두 지점 A 와 B 에서의 시간에 따른 온도 변화를 나타내고 있다. 두 금형의 1 차 성형품 취출 온도인 85 °C 까지 도달하는 시간은 기존 금형의 제품이 96 초이고 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 제품이 81 초임을 알 수 있었다. 이중 재료 배치에 따른 3 차원 형상적응형 냉각수로를 설계함으로써 기존 금형보다 최대 15 초 까지 냉각 시간을 단축시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 두 지점에서의 시간에 따른 온도 차이가 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형이 기존 금형보다 더 적게 나타남으로써 제품의 균일 냉각이 이루어짐을 알 수 있었다.

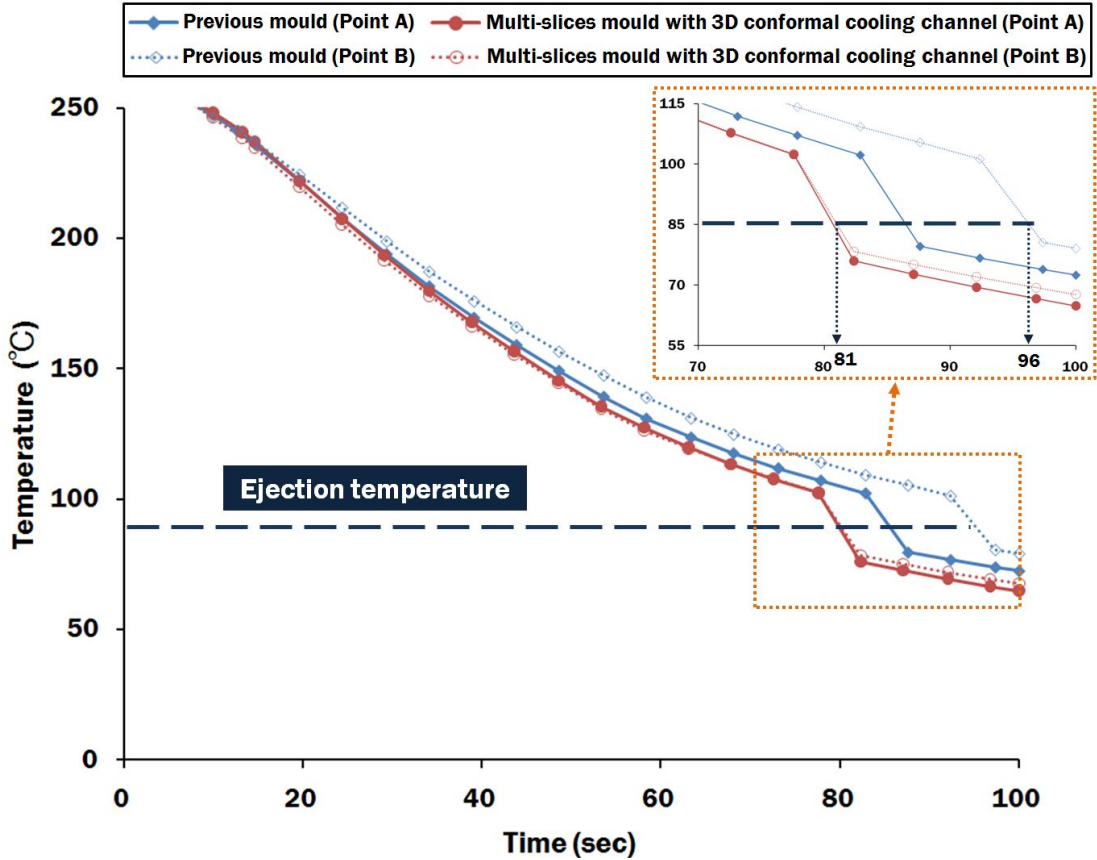


Fig. 30 Variation of temperature-cycle time curves for different mould designs (Flat plate with a partly large volume)

Fig. 31 은 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 1 차 성형품의 수축율에 대한 해석 결과이다. 수축이 가장 크게 발생하였던 후육부의 수축율은 3 차원 형상적응형 냉각수로의 직경이 클수록 적게 발생하였고, 제품면과의 거리가 가까울수록 수축율이 적게 발생함을 알 수 있었다. 9 가지 설계안 중 3 차원 형상적응형 냉각수로의 직경이 가장 크고 제품면과의 거리가 가장 가까운 7 번 설계안이 냉각이 가장 잘 이루어짐으로써 후육부 임의의 지점에서 수축이 가장 적게 발생함을 알 수 있었다.

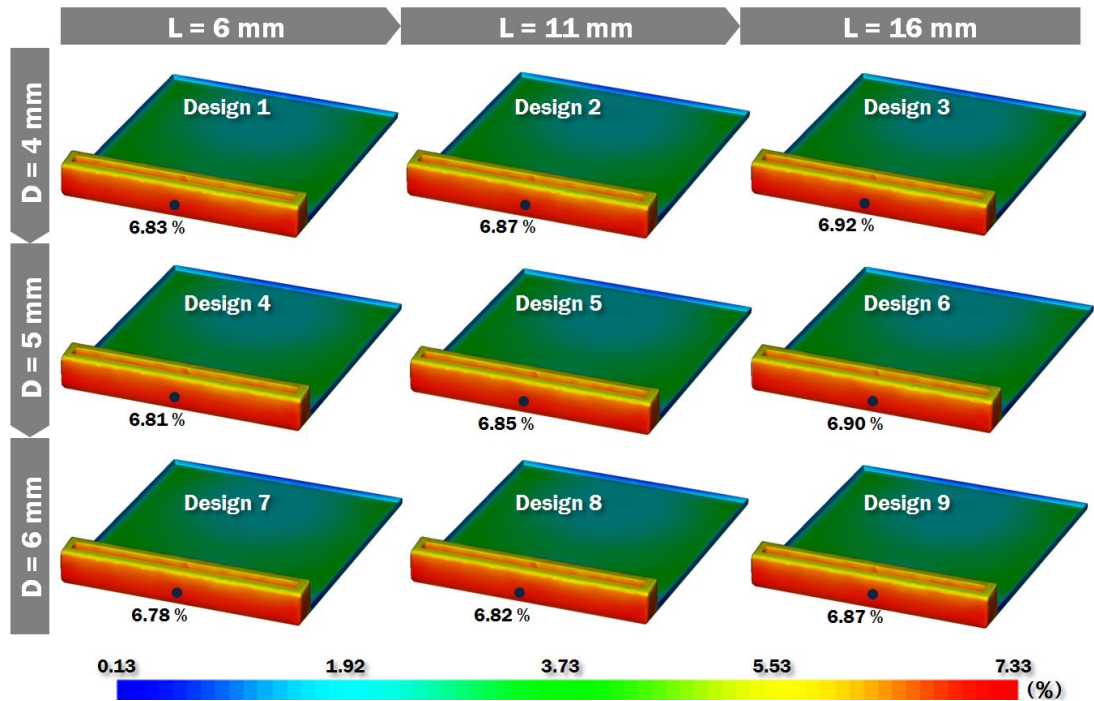


Fig. 31 Variation of volumetric shrinkages of the 1st product for different design conditions (Flat plate with a partly large volume)

임의의 동일한 위치에서의 기존 금형의 1 차 성형품과 3 차원 형상적응형 냉각수로  
를 갖는 다중슬라이스 금형의 1 차 성형품의 수축율 측정 결과 Fig. 32 와 같이 기존  
금형의 제품은 7.32 % 이고 3 차원 형상적응형 냉각수를 갖는 다중슬라이스 금형의  
제품은 6.78 % 로 수축율을 약 0.54 % 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 냉각  
이 잘 이루어지지 않았던 후육부에 이중 재료 배치 및 3 차원 형상적응형 냉각수로의  
설계에 따라 후육부에 대한 냉각이 기존 금형보다 잘 이루어지면서 기존 금형의 제품  
보다 3 차원 형상적응형 냉각수를 갖는 다중슬라이스 금형 제품이 후육부 위쪽으로  
올라갈수록 수축이 감소하는 등 후육부에서 전반적으로 수축이 더 적게 발생함을 알  
수 있었다.



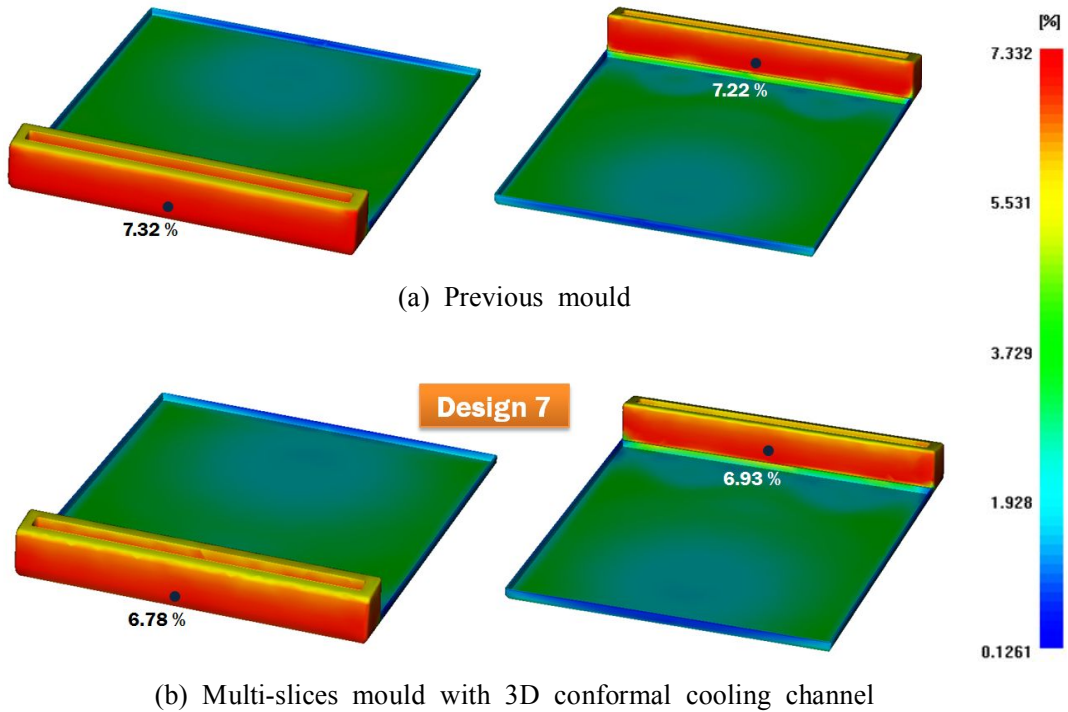


Fig. 32 Comparison of volumetric shrinkage distributions of the 1st product for the flat plate with a partly large volume

3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 1 차 성형품에 대한 냉각 후 제품의 휨 변형 해석 결과는 Fig. 33 과 같다. 제품의 변형이 가장 크게 발생하는 후육부에서의 휨 변형량은 3 차원 형상적응형 냉각수로에 대한 9 가지 설계안 모두 거의 비슷하게 발생하였고 최대 변형량이 0.59 mm 이내의 아주 적은 변형이 발생함을 알 수 있었다. 또한, 9 가지 설계안 중 후육부에 대한 냉각이 가장 잘 이루어짐으로써 수축율이 가장 적게 발생한 7 번 설계안이 휨 변형량도 가장 적게 발생함을 알 수 있었다.

기존 금형의 1 차 성형품과 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 7 번 설계안에 대한 1 차 성형품의 후육부의 동일한 지점에서의 휨 변형량 비교 결과 Fig. 34 와 같이 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 제품이 0.58 mm 로 기존 금형 제품의 0.63 mm 보다 더 적게 발생함을 알 수 있었다.

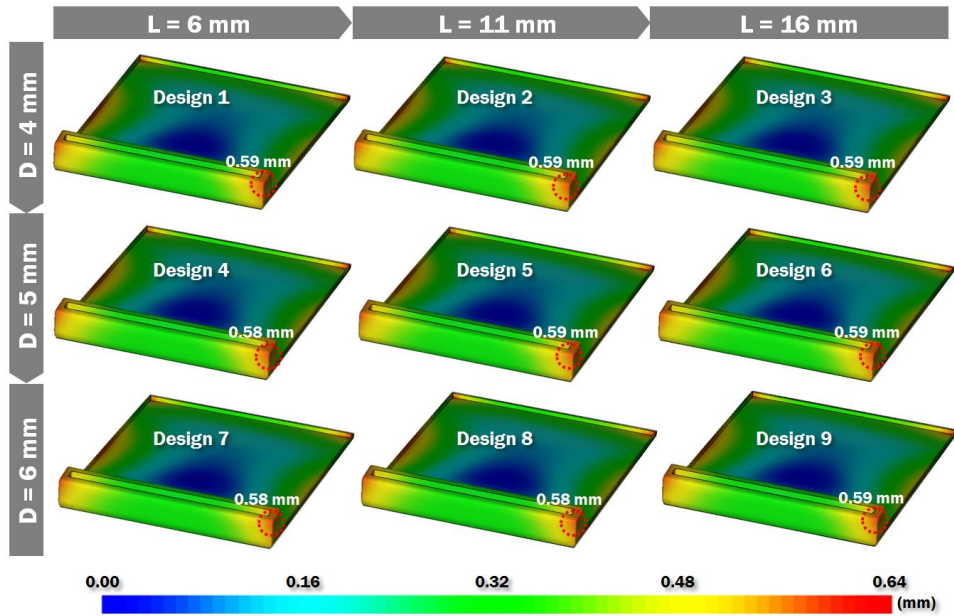


Fig. 33 Variation of the deflection distributions of the 1st product according to mould designs (Flat plate with a partly large volume)

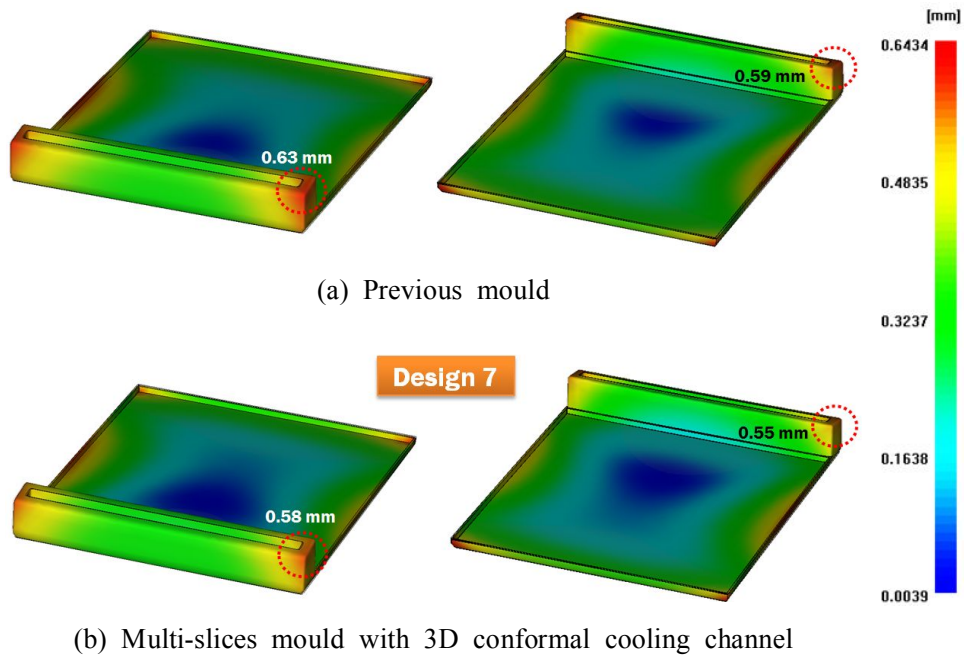


Fig. 34 Comparison of deflection distribution of the 1st product (Flat plate with a partly large volume)



3 차원 형상적응형 냉각수로를 선정하기 위한 9 가지 설계안에 대한 사출성형 해석 결과는 Table 4 와 같다. 3 차원 형상적응형 냉각수로의 직경 및 위치에 따른 설계가 충전 시간, 최대 사출압력 및 형체력에 미치는 영향은 거의 없음을 알 수 있었다. 9 가지 설계안 중 후육부의 냉각이 가장 잘 이루어짐으로써 1 차 성형품의 평균 수축과 후육부의 수축 및 제품의 휨 변형을 최소화 할 수 있는 7 번 설계안을 3 차원 형상적응형 냉각수로의 최적 설계안으로 선정하였다. Fig. 35 는 사출성형 해석을 통하여 3 차원 형상적응형 냉각수로의 최적 설계안을 갖는 다중슬라이스 금형을 나타내고 있다.

Table 4 Results of injection moulding analysis for different design of the 3D conformal cooling channels (Flat plate with a partly large volume)

Design	Filling time (sec)	Max. injection pressure (MPa)	Clamping force (ton)	Ave. shrinkage (%)	Max. deflection (mm)
1	2.77	60.9	79.8	4.45	0.59
2	2.77	60.9	79.9	4.46	0.59
3	2.77	60.8	79.9	4.46	0.59
4	2.77	60.9	79.9	4.45	0.58
5	2.77	60.8	79.8	4.46	0.59
6	2.77	60.9	79.8	4.46	0.59
7	2.77	60.8	79.8	4.45	0.58
8	2.77	60.8	79.7	4.45	0.58
9	2.77	60.9	79.8	4.46	0.59

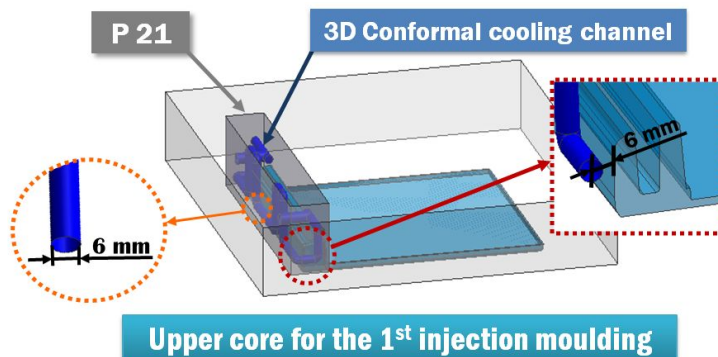


Fig. 35 Final design of multi-slices injection mould with 3D conformal cooling channels for flat plate with a partly large volume

## 2. 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형 제품과 직선형 냉각수로를 갖는 금형 제품의 사출성형 특성 비교/분석

최적 설계안으로 도출한 7 번 설계안의 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형과 일반적으로 제작되는 직선형 냉각수로를 갖는 금형의 제품 사출성형 특성을 비교/분석하기 위하여 직선형 냉각수로를 갖는 금형을 Unigraphics NX 6 에서 설계하였다. 직선형 냉각수로를 갖는 금형은 일반 사출 금형강인 KP4M 재료를 사용하여 기계가공으로 제작되기 때문에 이중 재료를 배치하지 않고 설계하였다. 직선형 냉각수로는 Fig. 36 과 같이 직경이 8 mm 이고 제품 후육부 윗면으로부터 21.4 mm 떨어져 설계하여 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형과 동일한 공정조건으로 사출성형 해석을 수행하였다.

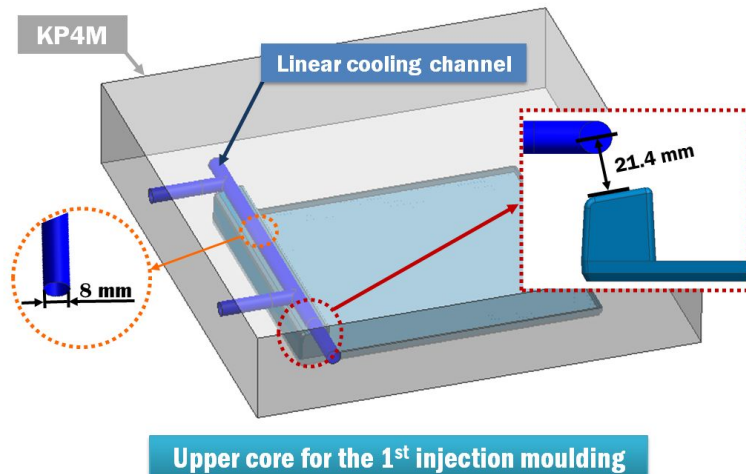


Fig. 36 Design of injection mould with linear cooling channel for flat plate with a partly large volume

3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형과 직선형 냉각수로를 갖는 금형에 대한 1 차 성형품의 동일한 지점에서의 온도 분포 비교 결과 Fig. 37 과 같이 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 제품이 직선형 냉각수로를 갖는 금형의 제품보다 12.6 °C 와 7.8 °C 가 더 낮음을 알 수 있었고 후육부면 전체에 걸쳐서 균일한 냉각이 이루어짐을 알 수 있었다.

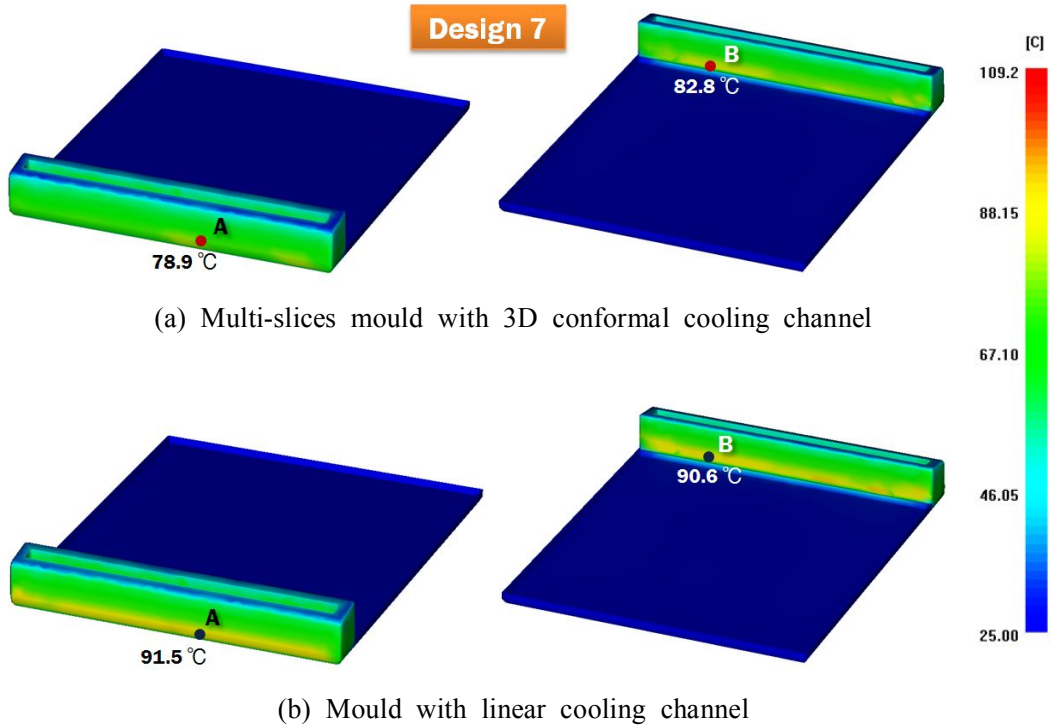


Fig. 37 Comparison of temperature distributions of the 1st product between the multi-sliced mould with 3D conformal cooling channels and the mould with linear cooling channels an ejection time (Flat plate with a partly large volume)

Fig. 38 은 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형과 직선형 냉각수로를 갖는 금형의 1 차 성형품의 동일한 두 지점 A 와 B 에서의 시간에 따른 온도 변화를 나타내고 있다. 두 금형의 1 차 성형품 취출 온도까지 도달하는 시간은 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 제품이 81 초이고 직선형 냉각수로를 갖는 금형의 제품은 91 초로 이중 재료 배치에 따른 3 차원 형상적응형 냉각수료가 직선형 냉각수로보다 최대 10 초 까지 냉각 시간을 단축시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 두 지점에서의 시간에 따른 온도 차이가 더 적은 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형이 직선형 냉각수로를 갖는 금형보다 제품의 균일 냉각이 이루어짐을 알 수 있었다.

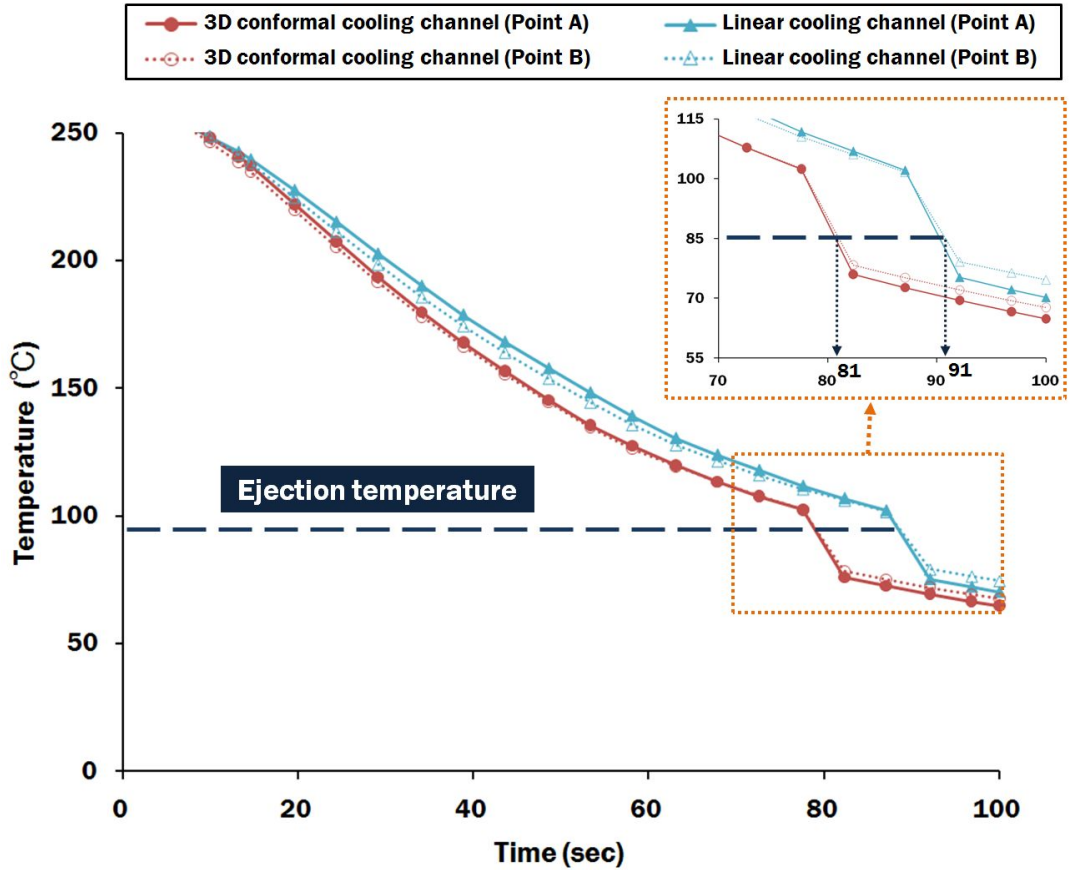


Fig. 38 Variation of temperature-cycle time curves for different designs of the cooling channels (Flat plate with a partly large volume)

Fig. 39 는 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형과 직선형 냉각수로를 갖는 금형의 1 차 성형품의 수축율에 대한 해석 결과이다. 제품의 임의의 동일한 위치에서 측정 결과 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형의 제품은 6.78 % 이고 직선형 냉각수로를 갖는 금형의 제품은 7.02 % 로 미세한 차이이지만 3 차원 형상적응형 냉각수로가 직선형 냉각수로보다 수축율을 약 0.24 % 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 2 가지 금형 제품의 후육부에서 수축은 3 차원 형상적응형 냉각수로가 적게 나왔지만 전반적으로 비슷하게 발생함을 알 수 있었다.

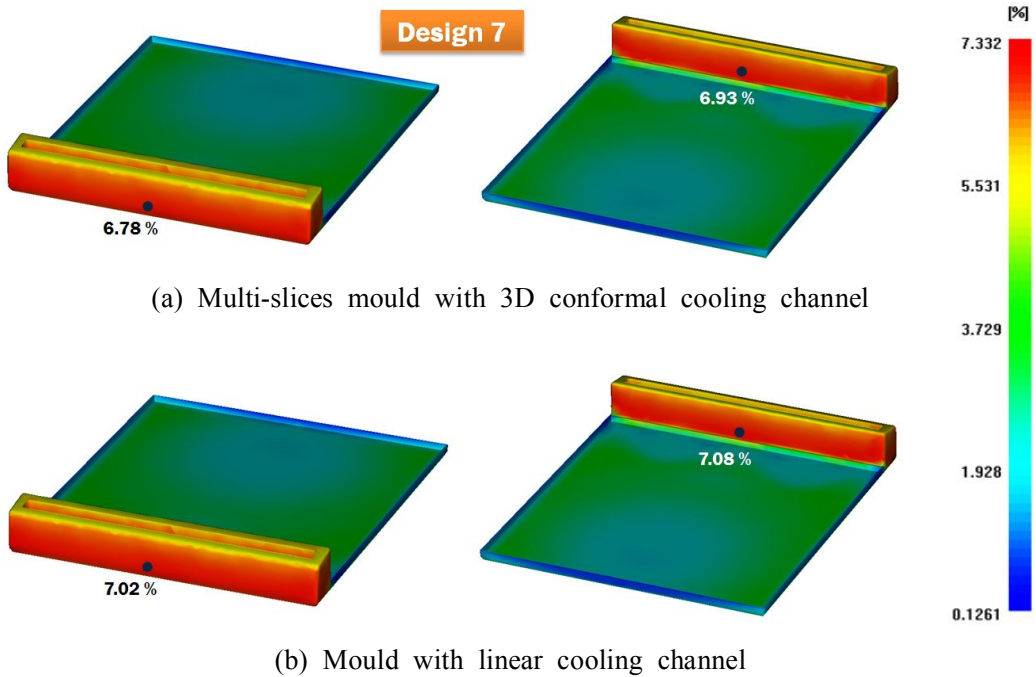


Fig. 39 Comparison of volumetric shrinkage distributions of the 1st product between the multi-sliced mould with 3D conformal cooling channels and the mould with linear cooling channels an ejection time (Flat plate with a partly large volume)

1 차 성형품 후육부의 동일한 지점에서의 휨 변형량 비교 결과 Fig. 40 과 같이 직선형 냉각수로 가진 금형의 제품이 후육부 양끝으로 갈수록 휨 변형이 크게 발생함을 알 수 있었고 3 차원 형상적응형 냉각수로가 직선형 냉각수보다 제품의 후육부에서 가장 휨 변형이 크게 발생하는 위치에 대하여 변형량을 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

3 차원 형상적응형 냉각수를 갖는 금형과 직선형 냉각수를 갖는 금형 및 후육부에 대한 냉각이 설계되어 있지 않는 기존 금형에 대한 사출성형 해석 결과는 Table 5 와 같다. 후육부에 대한 냉각수로 설계가 충전 시간, 최대 사출압력 및 형체력에 미치는 영향은 거의 없음을 알 수 있었고 후육부에 대하여 냉각수를 설계함으로써 냉각 특성이 향상됨을 알 수 있었다. 냉각수로 설계 시 직선형 냉각수보다는 3 차원 형상적응형 냉각수를 설계할 경우 제품의 냉각 시간 단축과 동시에 제품의 후육부에 대한 균일한 냉각이 이루어짐으로써 제품의 수축 및 휨 변형을 최소화 할 수 있음을 알 수 있었다.

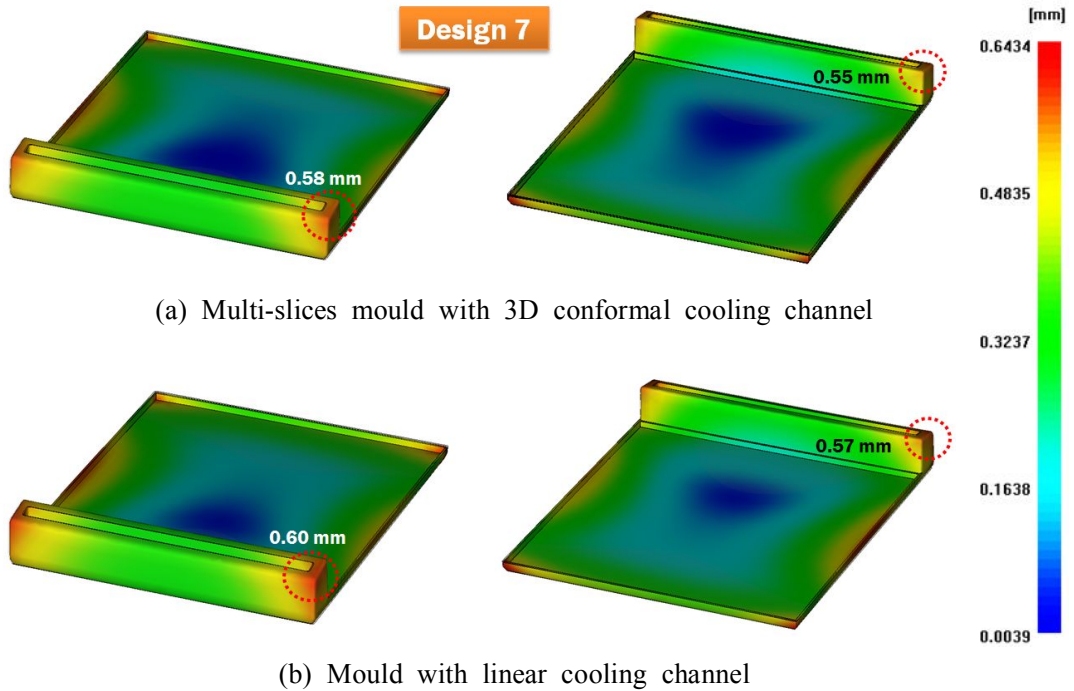


Fig. 40 Comparison of deflection distributions of the 1st product between the multi-sliced mould with 3D conformal cooling channels and the mould with linear cooling channels an ejection time (Flat plate with a partly large volume)

Table 5 Results of injection moulding analysis for three types of mould (Flat plate with a partly large volume)

Type	Previous	3D conformal cooling channel	Linear cooling channel
Filling time (sec)	2.77	2.77	2.77
Max. injection pressure (MPa)	60.8	60.8	60.9
Clamping force (ton)	80	79.8	79.9
Ave. shrinkage (%)	4.65	4.45	4.47
Max. deflection (mm)	0.64	0.58	0.60



## 제 2 절 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형의 사출성형 해석

### 1. 대상 금형 사출성형 해석 모델링

인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 금형은 이중사출 금형으로 Fig. 41 과 같이 제품의 충전 특성, 웰드라인 (Weld line) 및 기공 (Air trap) 형성 위치, 사출압력-사출시간 특성 및 형체력 분석에는 오버몰딩 (Overmolding) 해석 기법을 사용하였고 이중사출성형 제품의 냉각 해석을 통한 제품의 수축 및 변형 등의 분석을 위하여 냉각수로를 삽입하여 1 차 성형에 대하여 일반 사출성형 해석을 수행하였으며 2 차 성형에 대해서는 1 차 성형 제품을 인서트 (Insert) 로 가정한 인서트 사출성형 해석을 수행하였다.

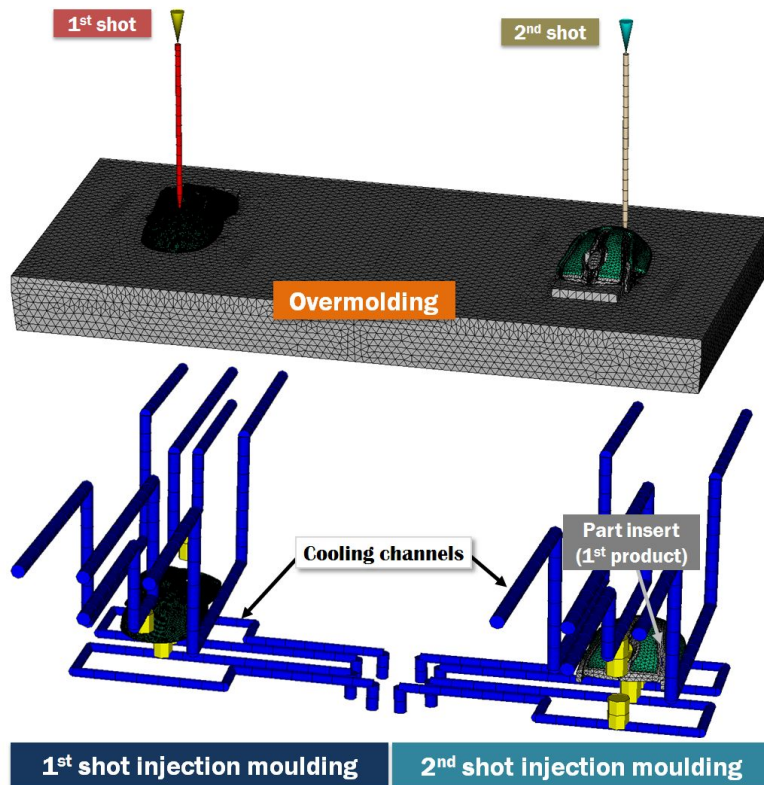
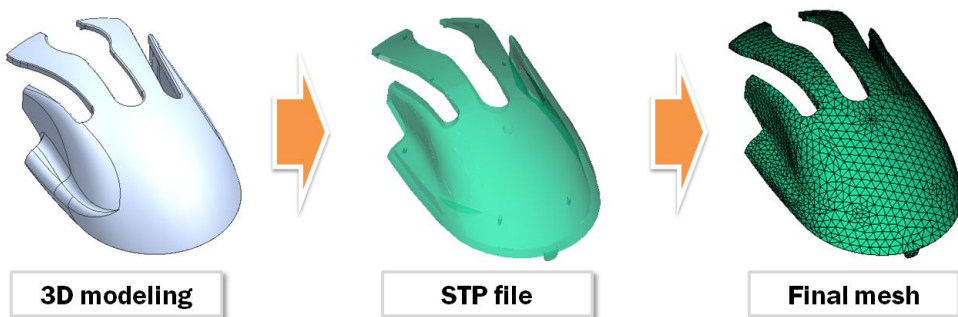


Fig. 41 Method of double-shot injection moulding analysis for a human-friendly computer mouse

본 해석은 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형에 대하여 실제 수지가 충전되어 취출 될 때까지 제품 및 사출성형 금형의 유동 및 냉각 특성을 분석하기 위하여 Fig. 42 와 같이 1 차 성형품과 2 차 성형품에 대하여 Unigraphics NX 6 에서 설계한 3D 모델링을 STP 파일로 변환하여 Moldflow MPI 6.1 에서 해석 격자를 생성시킨 뒤 사출성형 해석을 수행하였다. 해석 격자 생성 시 해석 결과에 영향을 주지 않는 필렛 부분은 단순화시켜 생성하였으며 현 간격은 0.1 mm 이고 생성된 격자의 품질 향상을 위해 자유 에지 제거, 형상비의 최대값, 비 매니폴드 에지 및 격자 매치 비율 등을 확인 및 수정하여 사출성형 해석에 필요한 해석 격자를 완성하였다. 유한요소 격자수는 1 차 성형품이 81,380 개, 2 차 성형품이 5,816 개로 1 차 성형품의 형상이 상대적으로 복잡하여 해석의 정확도를 높이기 위하여 1 차 성형품의 에지 길이를 촘촘히 하여 해석 격자를 생성하였다.



(a) 1st product



(b) 2nd product

Fig. 42 Procedure of mesh generation for a human-friendly computer mouse



Fig. 43 과 같이 이중사출성형 금형의 사출성형 해석을 정확하게 수행하기 위하여 상·하코어 모두 에지 길이가 8 mm 인 사면체 해석 격자로 생성하였다. 해석 격자 생성 시 해석 결과에 영향을 주지 않는 필렛 부분은 단순화시켜 생성하였으며 생성된 격자의 품질 향상을 위해 제품 해석 격자 생성 시와 동일하게 자유 에지 제거, 형상비의 최대값, 비 매니폴드 에지 및 격자 매치 비율 등을 확인 및 수정하여 사출성형 해석에 필요한 해석 격자를 완성하였다. 유한요소 격자수는 상코어 및 하코어 각각 221,018 개, 343,482 개다.

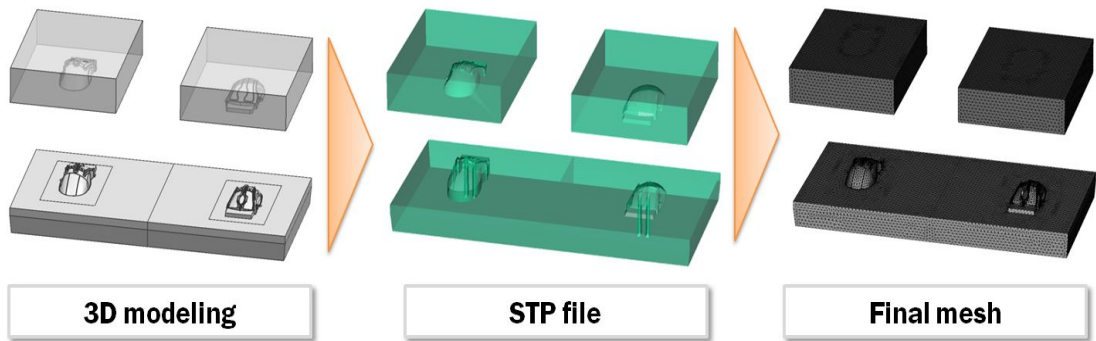


Fig. 43 Procedure of mesh generation of double-shot injection mould for a human-friendly computer mouse

이중사출 금형에 대한 런너 시스템 및 냉각수로 설계는 Fig. 44 와 같고 사출성형 해석을 위한 런너 시스템 및 냉각수로의 해석 격자는 빔 (Beam) 해석 격자로 생성하였다. 1 차 금형과 2 차 금형 모두 런너는 핫 런너 (Hot runner) 를 사용하였고, 스프루 형태는 원기둥 형태로 지름은 5 mm 이며 게이트는 흔적이 거의 없는 핀 포인트 게이트로 설계하였다. 1 차 금형과 2 차 금형 모두 1 점 게이트로 1 차 금형의 게이트는 시작 지름 5 mm, 끝 지름 1.6 mm 로 설계하였고 2 차 금형의 게이트는 시작 지름 3.5 mm, 끝 지름 0.8 mm 로 설계하였다. 1 차 금형과 2 차 금형 모두 냉각수로는 직선형 냉각수로와 배플 구조의 냉각수로로 직선형 냉각수는 직경이 8 mm 및 10 mm 이고, 배플 구조의 냉각수는 직경이 16 mm 이다. 1 차 금형은 6 개의 입·출구를 갖고 있고 2 차 금형은 5 개의 입·출구를 갖고 있다.

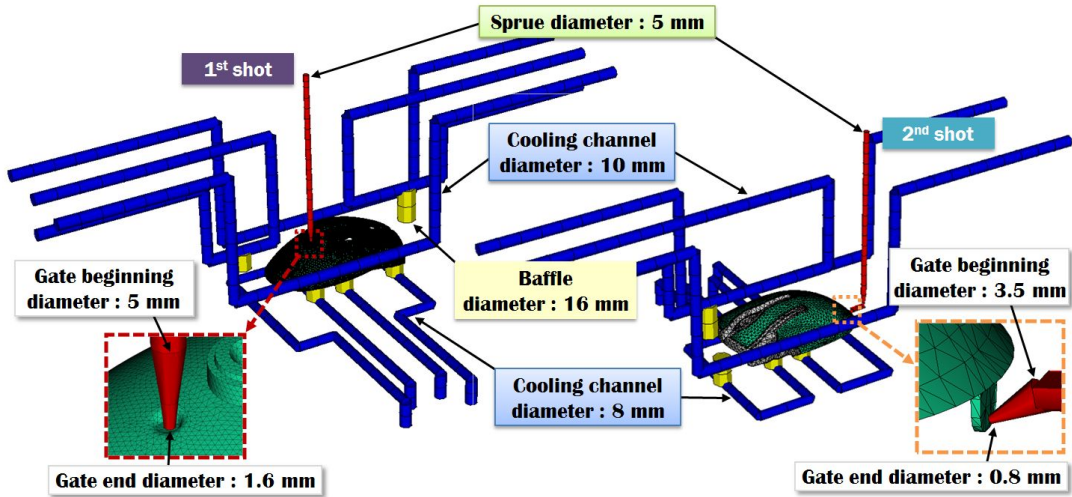
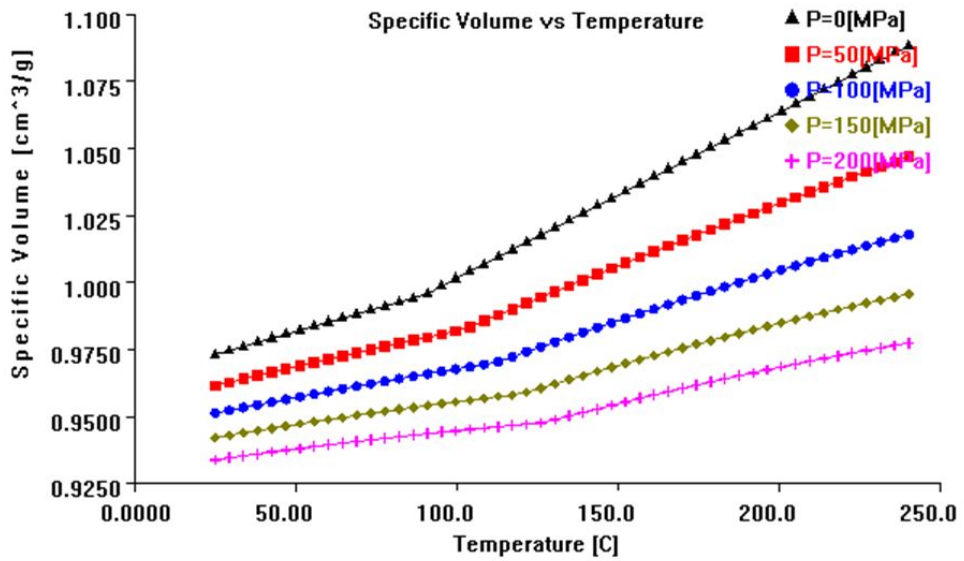


Fig. 44 Design of runner system and cooling channels for a human-friendly computer mouse

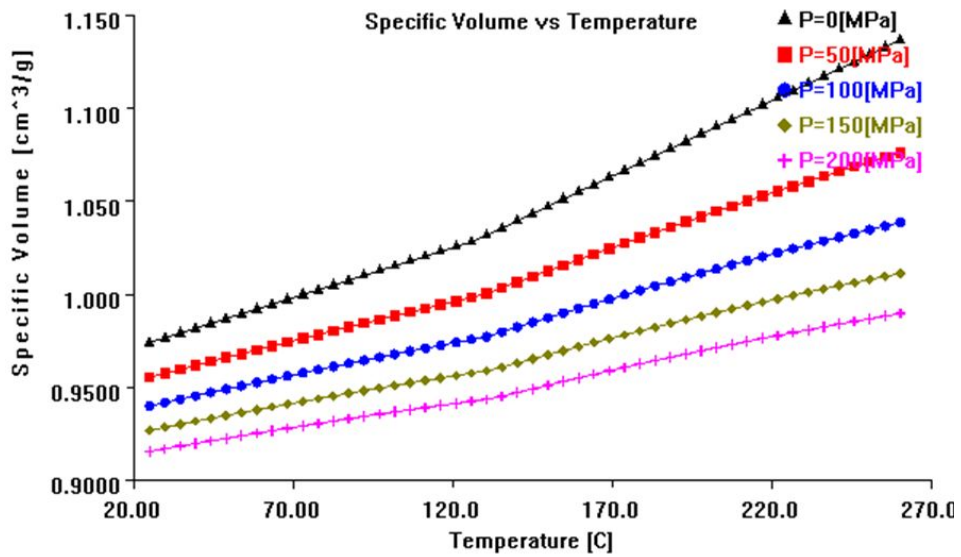
사출성형 해석을 위한 초기 조건은 Table 6 과 같다. 사출성형 해석 시 보압시간은 1 차 성형과 2 차 성형 모두 10 초로 선정하였다. 사출성형 해석에 사용된 수지는 이중사출성형 제품으로 1 차 수지는 내충격성, 강성 및 성형성이 우수하여 사무기기, 전자 제품 등 실생활에서 널리 사용되고 있는 ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) 수지이고 2 차 수지는 고무가 가진 탄성과 열가소성 수지가 가진 가공성을 동시에 가지고 있는 열가소성 탄성체 수지로 저경도 플라스틱인 TPE (Thermoplastic elastomer) 수지를 사용하였다. 2 차 수지는 같은 열가소성 수지인 기존의 TPV (Thermoplastic vulcanizates) 계열의 Santoprene 111-35 수지에서 1 차 수지인 ABS 와 결합이 되지 않는 문제로 TPE 5160 수지로 변경하였다. 사출성형 해석에 사용된 각 수지의 PVT 선도는 Fig. 45 와 같다.

Table 6 Initial condition of injection moulding analysis for a human-friendly computer mouse

Stage	Mould temperature	Melting temperature of resin	Coolant temperature
1st shot	60 °C	220 °C	20 °C
2nd shot	60 °C	240 °C	20 °C



(a) Resin of 1st shot (ABS)



(b) Resin of 2nd shot (TPE)

Fig. 45 PVT curves of resin for a human-friendly computer mouse

대상 제품의 사출성형에 적합한 사출시간 (Injection time :  $t_i$ ) 과 최대 사출압력 (Maximum injection pressure :  $P_{max}$ ) 을 선정하기 위하여 사출시간과 최대 사출압력에 따른 충전/성형 및 제품 수축/변형 특성 변화를 사출성형 해석을 통하여 고찰하였다. 사출성형 공정조건은 Table 7 과 같이 사출시간 범위는 1 차 성형과 2 차 성형 모두 1 ~ 3 초로 선정하였고 최대 사출압력의 범위는 1 차 성형은 30 ~ 40 MPa, 2 차 성형은 15 ~ 25 MPa 로 선정하였다. 사출성형 해석 결과를 바탕으로 선정한 1 차 성형과 2 차 성형의 사출시간과 최대 사출압력 조건에 적절한 보압시간 (Packing time) 을 산출하기 위하여 보압시간을 10 초에서 7 초, 5 초, 3 초로 줄여가면서 보압시간에 따른 제품의 영향을 분석하여 최적 공정조건을 도출하고자 하였다.

Table 7 Process condition of injection moulding analysis for a human-friendly computer mouse

1st shot		2nd shot	
Injection time (sec)	Max. injection pressure (MPa)	Injection time (sec)	Max. injection pressure (MPa)
1	30	1	10
1	35	1	15
1	40	1	20
2	30	2	10
2	35	2	15
2	40	2	20
3	30	3	10
3	35	3	15
3	40	3	20

## 2. 1 차 성형품의 사출성형 해석 결과 및 고찰

Fig. 46 과 Table 8 은 수지의 유동 패턴 및 충전 시간에 대한 해석 결과이다. 사출 성형 해석 결과 모든 공정조건에서 제품의 미충진이 발생하지 않음을 알 수 있었고 각 공정조건별로 1.05 ~ 3.42 초 사이에 수지가 완전히 금형 내에 충전됨을 알 수 있었으며 사출시간이 짧고 최대 사출압력이 커질수록 제품의 충전 시간이 단축됨을 알 수 있었다. 사출시간 및 최대 사출압력의 변화에 따라 제품의 충전 시간은 다르게 나타나지만 충전 패턴은 동일함을 알 수 있었다.

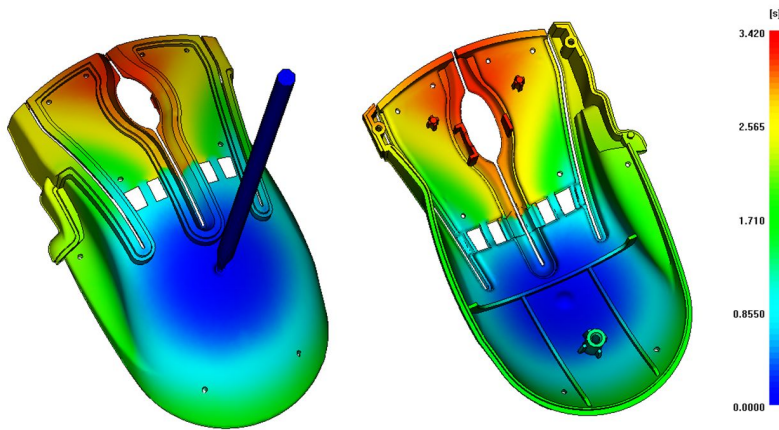


Fig. 46 Filling patterns of the 1st product for a human-friendly computer mouse (Injection time = 3sec, Max. injection pressure = 30MPa)

Table 8 Fill time of the 1st product for different process conditions for a human-friendly computer mouse

Injection time (sec)	Max. injection pressure (MPa)	Fill time (sec)
1	30	1.14
1	35	1.06
1	40	1.05
2	30	2.40
2	35	2.14
2	40	2.13
3	30	3.42
3	35	3.23
3	40	3.22

충진 해석 결과 제품의 기공 및 웰드라인 생성 위치 Fig. 47 과 같이 사출시간과 최대 사출압력의 변화와 관계없이 동일한 위치에 생성되었다. 1 차 성형품의 기공 및 웰드라인은 2 차 수지의 오버몰딩과 제품의 바닥면 조립 시 안 보이는 위치로 크게 문제가 되지 않음을 알 수 있었다.

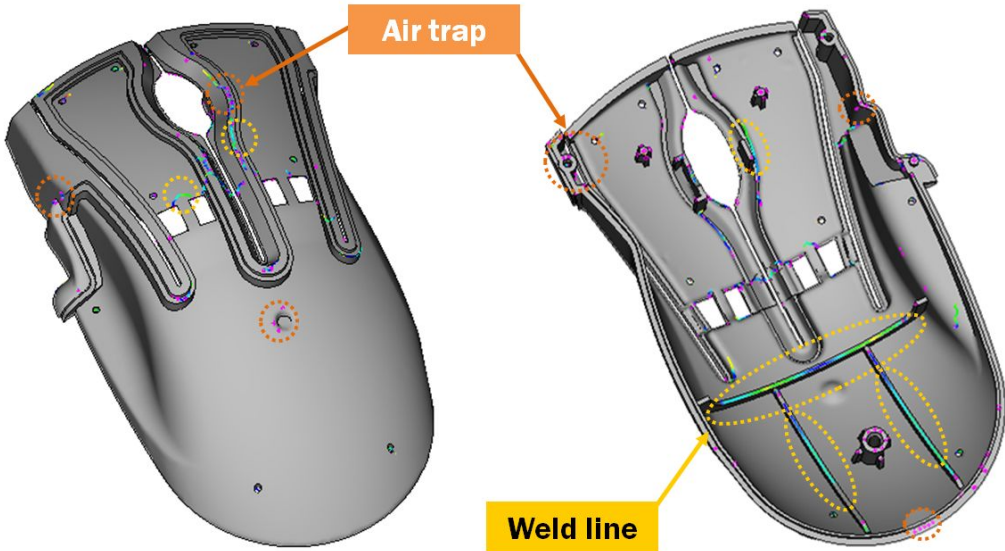


Fig. 47 Formation of air traps and weld lines in the 1st product for a human-friendly computer mouse

사출성형 해석 결과 1 차 금형의 시간에 따른 사출성형 압력의 변화는 Fig. 48 과 같이 각 공정조건에서 부여한 사출압력과 동일하고 보압은 앞서 선정한 10 초로 최대 사출압력과 동일하게 유지됨을 알 수 있었다. 냉각 시간은 각 공정조건별로 약 10 ~ 12 초 사이이고 사출성형 공정시간은 모든 공정조건에서 약 23 초로 거의 비슷하게 소요됨을 알 수 있었다. 형체력은 Fig. 49 와 같이 사출시간이 짧아지고 사출압력이 커질 수록 최대 형체력이 증가함을 알 수 있었고 충진이 완료되는 시점에서 성형공정에 대하여 최대 형체력이 21.9 ton 이하임을 알 수 있었다.

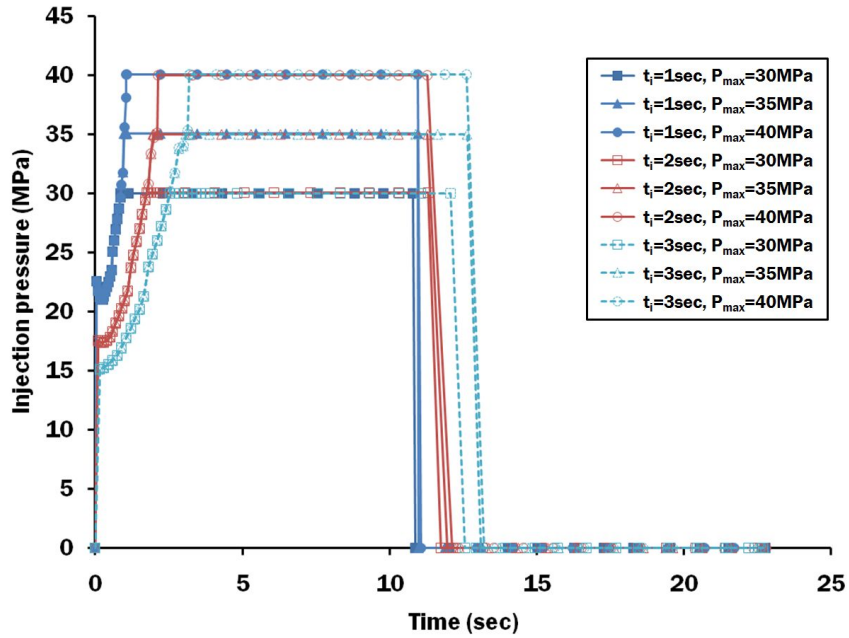


Fig. 48 Variation of the injection pressure-time curves according to different injection time and maximum injection pressure for a human-friendly computer mouse

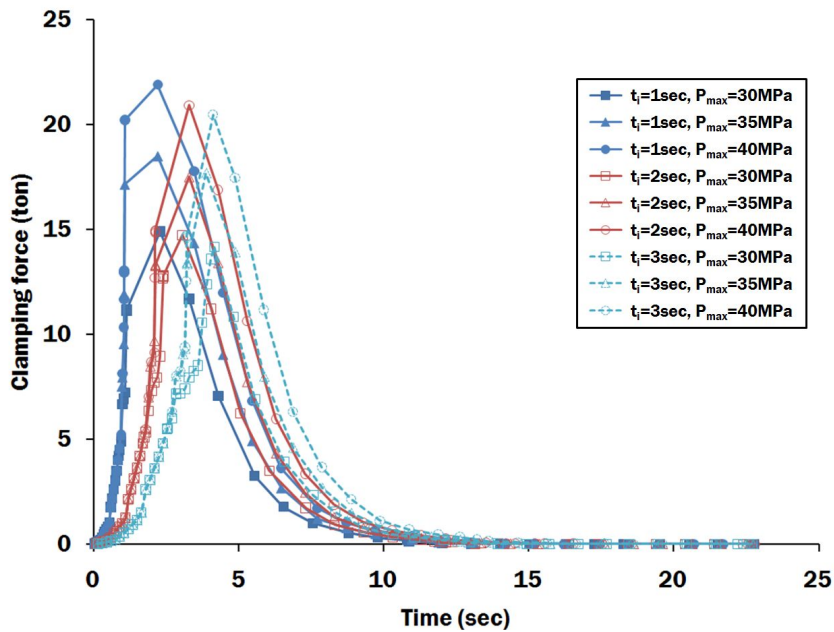


Fig. 49 Effects of injection time and maximum injection pressure on the clamping force for a human-friendly computer mouse



냉각 해석 후 공정조건에 따른 제품의 온도 분포는 Fig. 50 과 같이 사출시간과 최대 사출압력과 관계없이 모든 공정조건에서 거의 비슷한 온도 분포를 보임을 알 수 있었고 공정조건에 따른 제품의 평균 온도도 34.8 ~ 35.9 °C 로 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있었다. 제품의 사출성형 공정시간이 거의 동일한 상태에서 사출시간 차이에 따른 냉각 시간 차이로 제품의 클릭 부분 아래쪽 테두리부에서 공정조건에 따른 온도 차이가 미세하게 발생하는 것을 알 수 있었지만 Fig. 51 과 같이 모든 공정조건에서 취출 온도 65 °C 이하이며 취출 온도까지 도달하는데 걸리는 시간도 공정조건에 따라 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있었다.

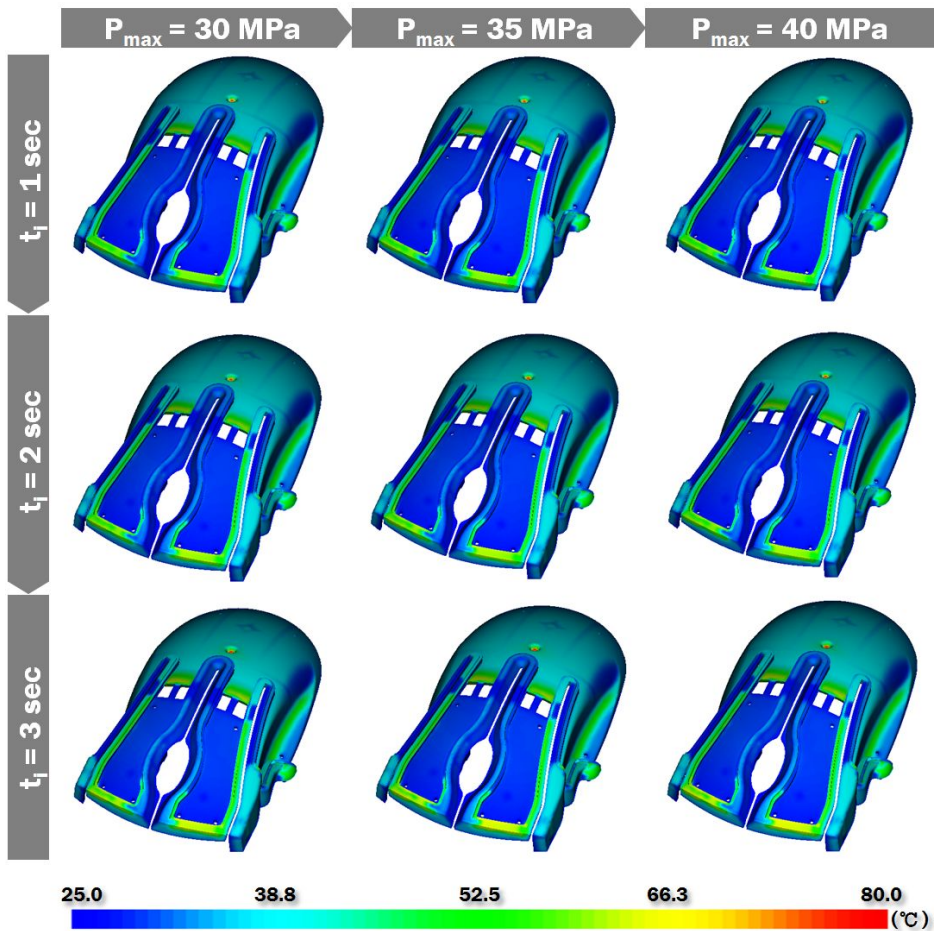


Fig. 50 Temperature distribution in the 1st product at the ejection time according to injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse



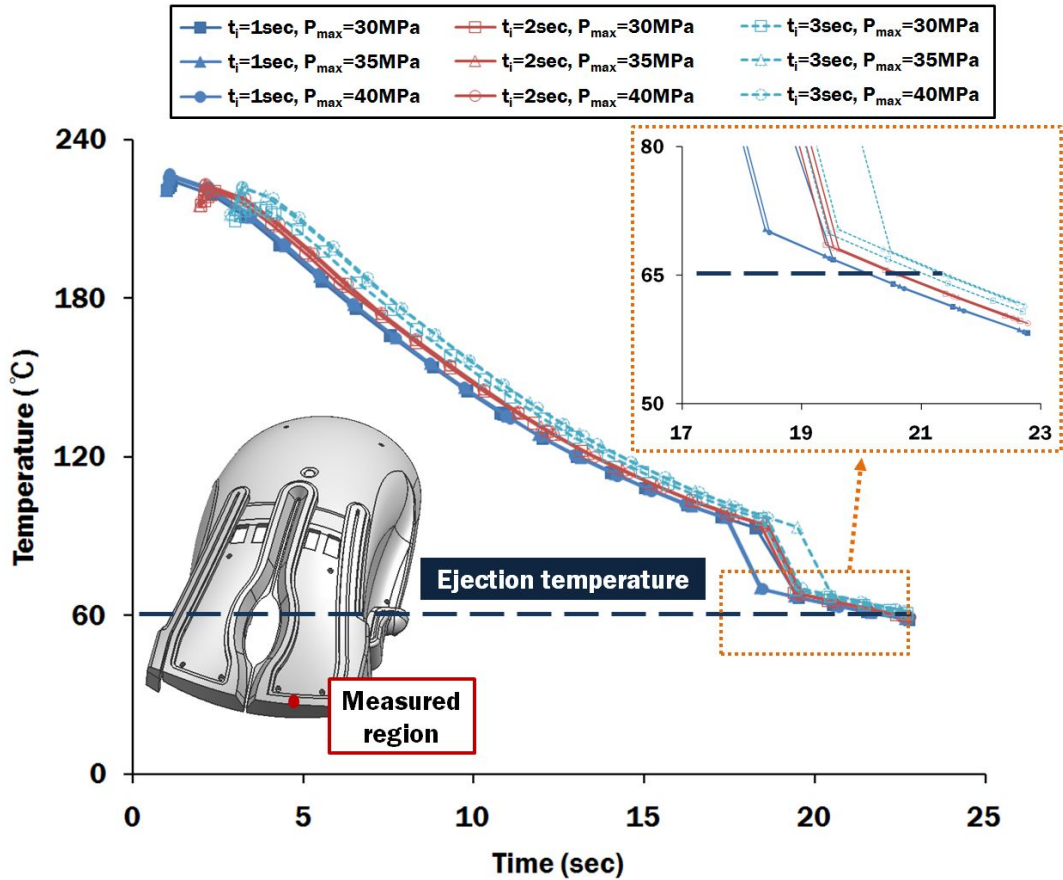


Fig. 51 Variation of temperature-cycle time curves according to different injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse

Fig. 52 는 제품의 수축율에 대한 해석 결과이다. 사출시간이 길고 사출압력이 커질 수록 제품의 수축율이 가장 적고 전체적인 수축율 분포가 감소하는 것을 알 수 있었다. 냉각 해석 결과 제품의 온도가 가장 높았던 부분의 수축율이 가장 크게 발생함을 알 수 있었고, 수축율이 가장 크게 발생하는 위치에 대하여 사출시간 3 초, 최대 사출압력 40 MPa 일 때 4.89 % 로 수축율이 가장 적게 발생함을 알 수 있었다. 제품의 평균 수축율은 사출시간 1 초, 최대 사출압력 30 MPa 일 때 3.08 % 로 가장 높았고 사출시간 3 초, 최대 사출압력 40 MPa 일 때 2.52 % 로 가장 적음을 알 수 있었다.

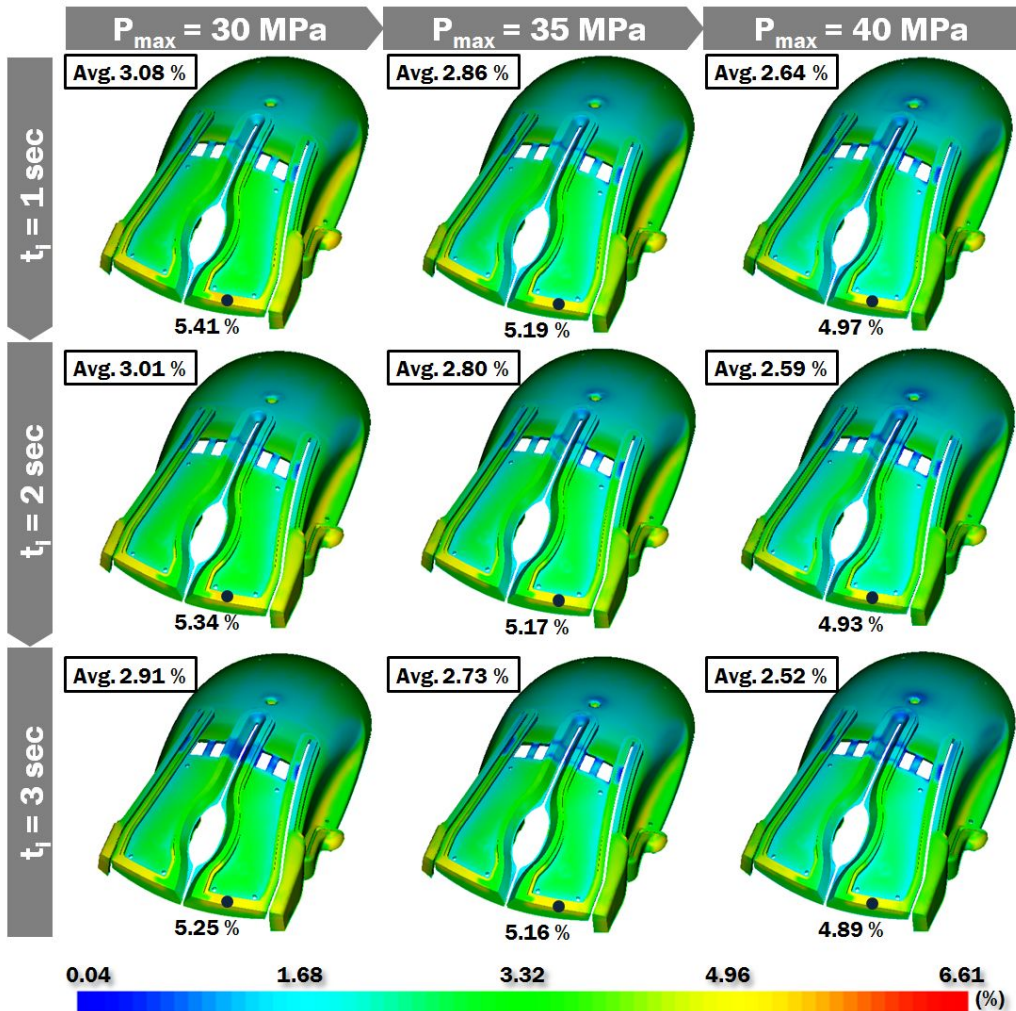


Fig. 52 Variation of volumetric shrinkage distributions of each product according to injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse

냉각 후 제품에 대한 휨 변형 해석 결과는 Fig. 53 과 같이 제품의 상단 끝부분에서 국부적인 변형이 많이 발생하는 것을 알 수 있었고 각각의 공정조건에 따른 최대 변형량은 0.4 mm 이내의 아주 적은 변형임을 알 수 있었다. 제품의 변형량은 사출시간이 길고 최대 사출압력이 커질수록 변형량 분포가 균일하고 적게 나타남을 알 수 있었다. 사출시간 3 초, 최대 사출압력 40 MPa 일 때 제품의 휨 변형이 0.33 mm 로 가장 적게 발생함을 알 수 있었다.

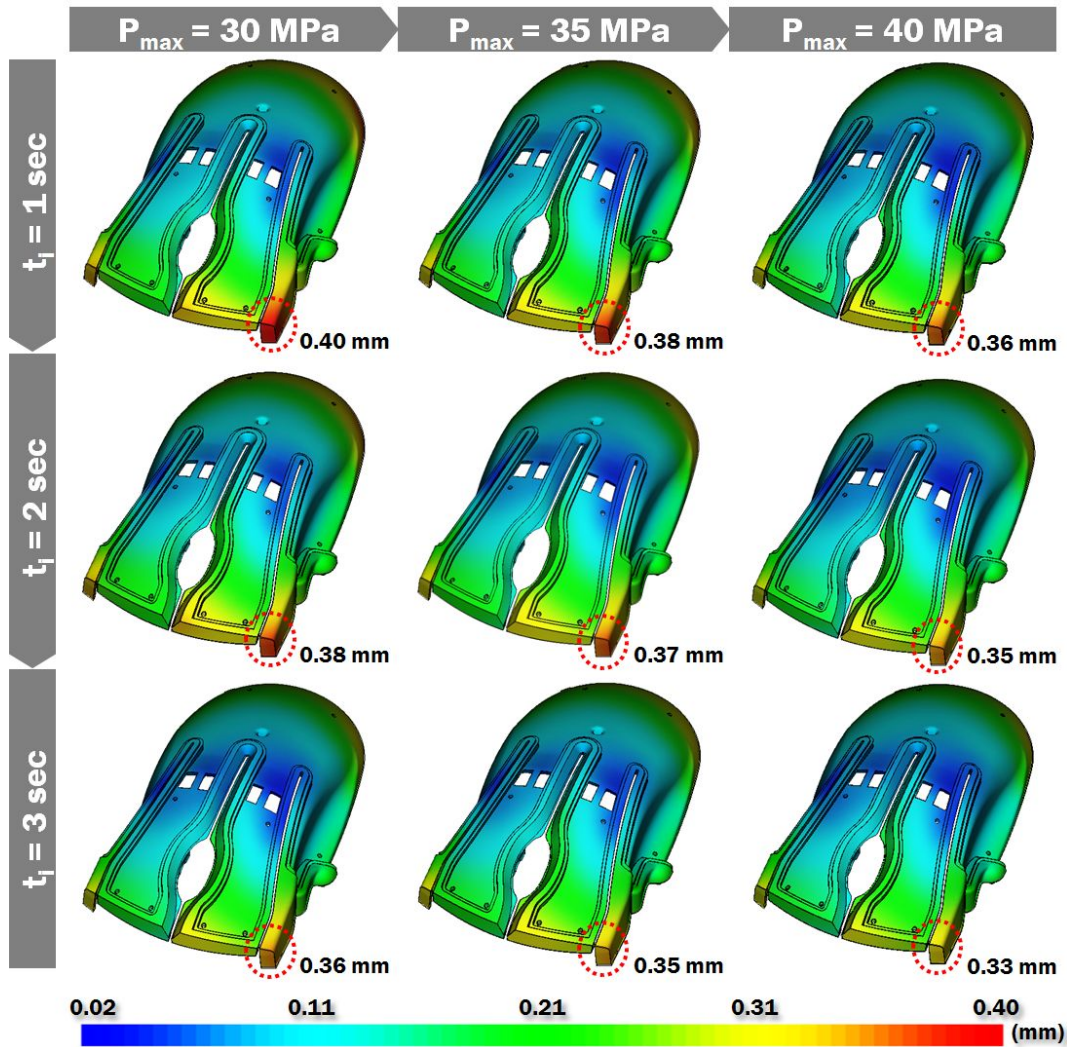


Fig. 53 Variation of deflection distributions of each product according to injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse

공정조건에 따른 사출성형 해석을 수행한 결과 제품의 수축과 휨 변형이 가장 적게 발생한 사출 시간 3 초, 최대 사출압력 40 MPa 에 대하여 전체 사출성형 공정시간이 약 23 초로 동일한 상태에서 보압시간을 10 초에서 7 초, 5 초, 3 초로 각각 줄여가면서 보압시간과 보압시간의 감소에 따라 상대적으로 증가한 냉각 시간의 변화에 따른 사출성형 해석을 수행하여 최적 공정조건을 선정하기 위하여 제품의 수축과 휨 변형 특성을 비교/분석하였다.



보압시간에 따른 제품의 수축율에 대한 해석 결과 Fig. 54 와 같이 보압시간 감소에 따라 게이트 부근의 수축율이 현저히 증가함을 알 수 있었고 수축이 가장 크게 발생하였던 제품의 클릭부분 아래쪽 테두리부에서 보압시간이 감소함에 따라 수축율이 크게 발생함을 알 수 있었다. 그러나 전체적인 수축율 분포의 경우 보압시간 5 ~ 10 초 범위에서 거의 유사함을 알 수 있었다. 보압시간 감소에 따라 냉각 시간이 증가하였지만 제품의 전체적인 수축은 더 크게 증가되어 보압이 수축에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

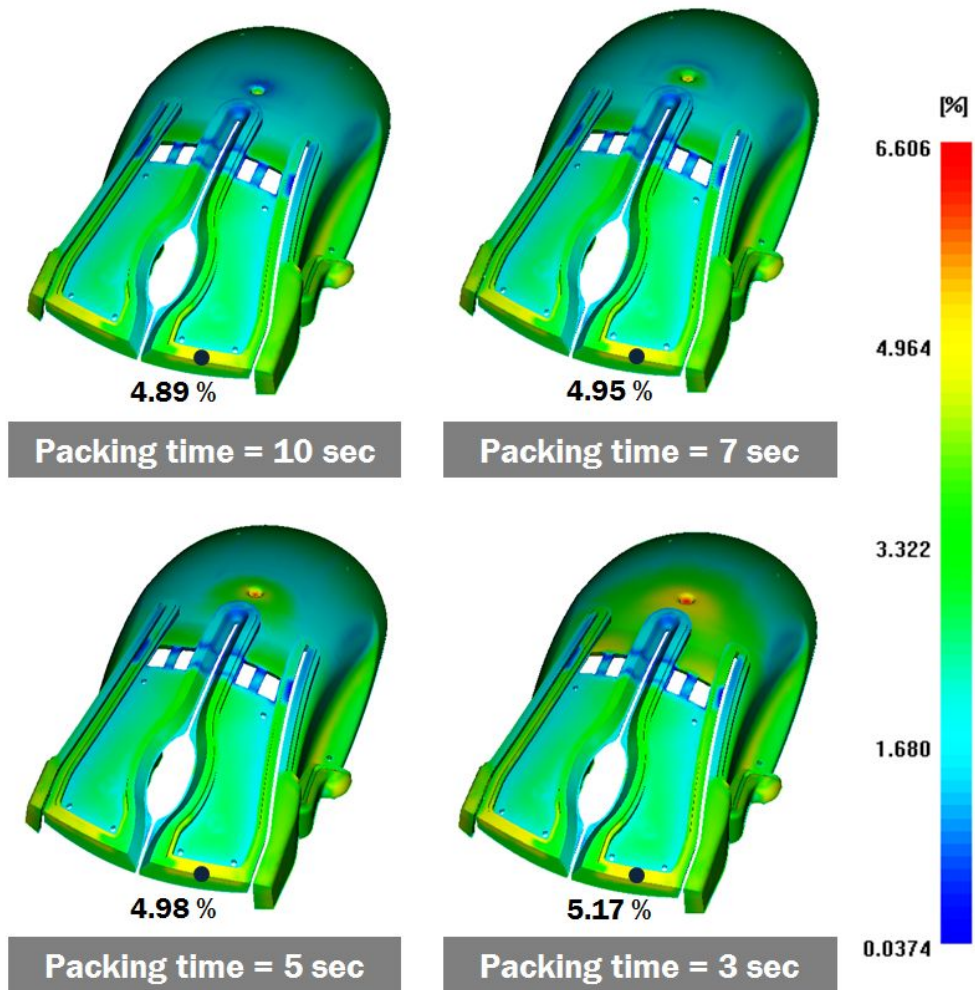


Fig. 54 Variation of volumetric shrinkage distributions of the 1st and 2nd products according to different packing times for a human-friendly computer mouse

보압시간에 따른 제품의 휨 변형에 대한 해석 결과 Fig. 55 와 같이 휨 변형이 가장 크게 발생하였던 제품의 오른쪽 하단 지지부에서 보압시간이 감소에 따라 휨 변형이 감소하다가 다시 증가하는 현상이 발생하여 보압과 냉각에 대한 영향을 모두 고려해야 함을 알 수 있었다. 보압시간이 감소함에 따라 제품의 클릭부의 휨 변형이 감소하면서 양쪽 모두 거의 비슷한 경향으로 변형이 발생함을 알 수 있었고 제품 중심부 근처의 변형도 점차 증가함을 알 수 있었다. 보압시간이 5 초 일 때 제품의 휨 변형이 가장 적게 발생하고 양쪽 클릭부분에 대하여 변형량 분포의 균일성이 높아짐을 알 수 있었다.

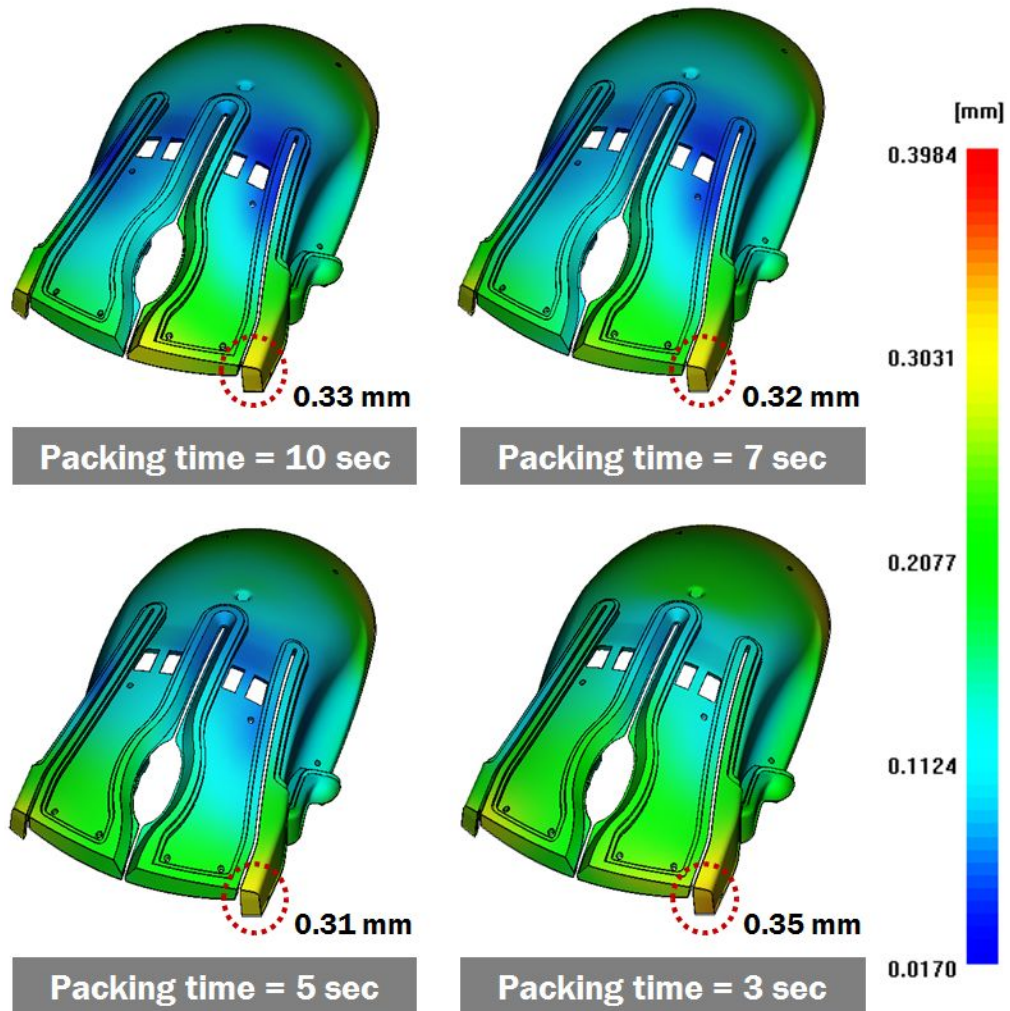


Fig. 55 Variation of deflection distributions of the 1st and 2nd products according to different packing times for a human-friendly computer mouse

사출 시간 3 초, 최대 사출압력 40 MPa 에 대하여 보압시간을 10 초에서 7 초, 5 초, 3 초로 각각 줄여가면서 보압시간의 감소에 따른 사출성형 해석을 수행한 결과 Table 9 와 같이 보압시간의 감소함에 따라 냉각 시간이 증가하여 제품의 평균 수축율이 증가함을 알 수 있었으나 보압시간이 10 초, 7초 및 5 초 일 때는 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있었으며 제품의 휨 변형은 보압시간이 5 초 일 때 가장 적게 발생함을 알 수 있었다. 이 결과들로부터 1 차 성형의 최적 사출성형 조건을 사출 시간 3 초, 최대 사출압력 40 MPa, 보압시간 5 초 및 냉각 시간 14.6 초로 선정하였다.

Table 9 Results of 1st shot injection moulding analysis according for different packing times (Human-friendly computer mouse)

Packing time (sec)	Cooling time (sec)	Avg .shrinkage (%)	Max. deflection (mm)
10	9.5	2.52	0.33
7	12.6	2.53	0.32
5	14.6	2.57	0.31
3	16.5	2.80	0.35

### 3. 2 차 성형품의 사출성형 해석 결과 및 고찰

2 차 사출성형 해석은 인덱스 축 회전 방식을 적용한 이중사출성형 기술이 적용됨으로써 1 차 성형품의 취출 온도까지의 냉각 과정이 완료됨과 동시에 코어 회전을 통하여 2 차 수지를 오버몰딩하는 기술로서 인서트로 가정한 1 차 성형품의 온도를 취출 온도인 65 ℃ 로 설정하여 2 차 사출성형 해석을 수행하였다.

수지의 유동 패턴에 대한 해석 결과 Fig. 56 과 같이 최대 사출압력이 10 MPa 일 때 제품의 미충진이 발생함을 알 수 있었다. 사출 시간이 길수록 사출 시간만큼 캐비티에 수지의 충진이 상대적으로 많이 이루어지는 것을 알 수 있었지만 보압 과정이 완료되는 시점에서도 미충진이 발생하여 최대 사출압력이 너무 낮음을 알 수 있었다.

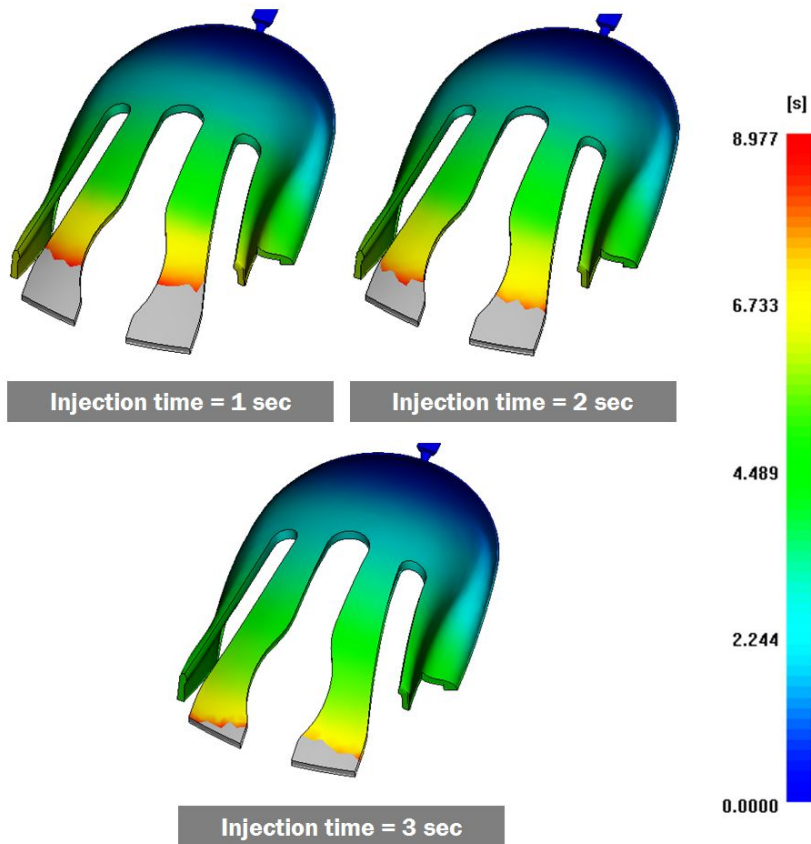


Fig. 56 Filling patterns of the 2nd product for a human-friendly computer mouse (Max. injection pressure = 10MPa)

최대 사출압력 10 MPa 을 제외한 모든 공정조건에서는 Table 10 과 같이 1.05 ~ 3.25 초 사이로 사출 시간 및 최대 사출압력 변화에 따른 제품의 충전 시간은 다르게 나타나지만 Fig. 57 과 같이 동일한 충전 패턴으로 수지가 금형 캐비티 내에 완전히 충전됨을 알 수 있었으며 제품의 충전 시간 단축을 위해서는 사출 시간은 짧고 최대 사출압력은 높게 설정해야 함을 알 수 있었다.

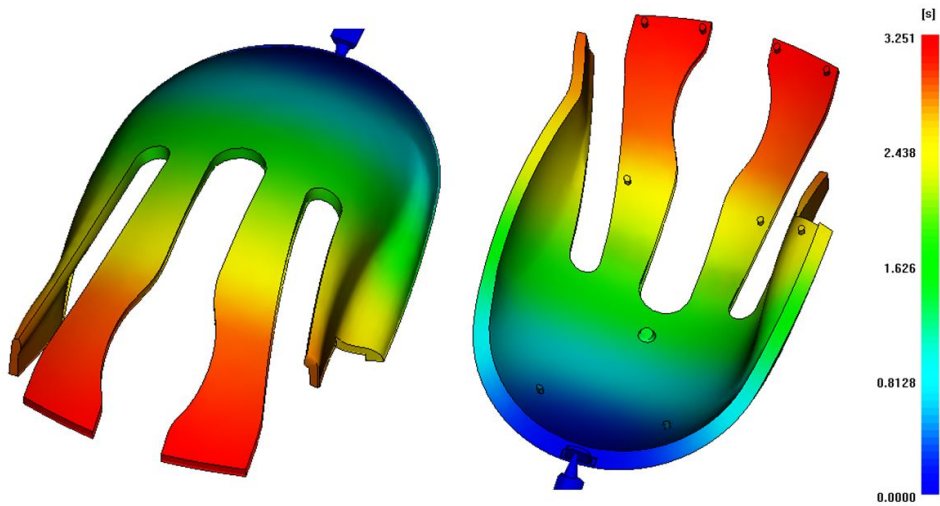


Fig. 57 Filling patterns of the 2nd product for a human-friendly computer mouse (Injection time = 3sec, Max. injection pressure = 15MPa)

Table 10 Fill times of the 2nd product for a human-friendly computer mouse for different process conditions

Injection time (sec)	Max. injection pressure (MPa)	Fill time (sec)
1	10	Short shot
1	15	1.49
1	20	1.05
2	10	Short shot
2	15	2.22
2	20	2.10
3	10	Short shot
3	15	3.25
3	20	3.16



1 차 성형품에 오버몰딩함으로써 제품의 외관을 결정짓는 2 차 성형품의 기공 및 웰드라인 생성 위치 Fig. 58 과 같이 사출 시간과 최대 사출압력의 변화와 관계없이 동일한 위치에 생성됨을 알 수 있었으며 제품 외관에는 발생하지 않아 완제품 성형 시 양호함을 알 수 있었다.

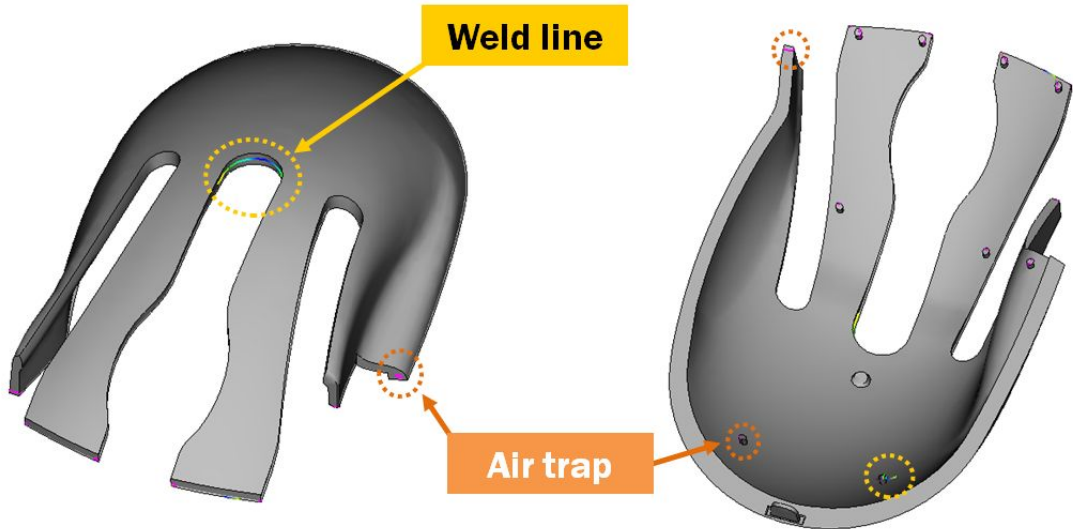


Fig. 58 Formation of air traps and weld lines in the 2nd product for a human-friendly computer mouse

2 차 금형에 대한 사출성형 해석 결과 미충진이 발생한 최대 사출압력 10 MPa 일 때의 공정조건을 제외한 시간에 따른 사출성형 압력의 변화와 형체력 변화는 Fig. 59 및 Fig. 60 과 같다. 사출압력 변화는 공정조건에서 부여한 사출압력과 동일하고 보압은 10 초로 최대 사출압력과 동일하게 유지됨을 알 수 있었다. 냉각 시간은 각 공정조건별로 약 14 ~ 16 초 사이이고 사출성형 공정시간은 모든 공정조건에서 약 27.5 초로 거의 비슷하게 소요됨을 알 수 있었다. 형체력은 사출시간이 짧아지고 사출압력이 커질수록 커짐을 알 수 있었고 최대 형체력 9.1 ton 이하에서 성형이 가능함을 알 수 있었다.

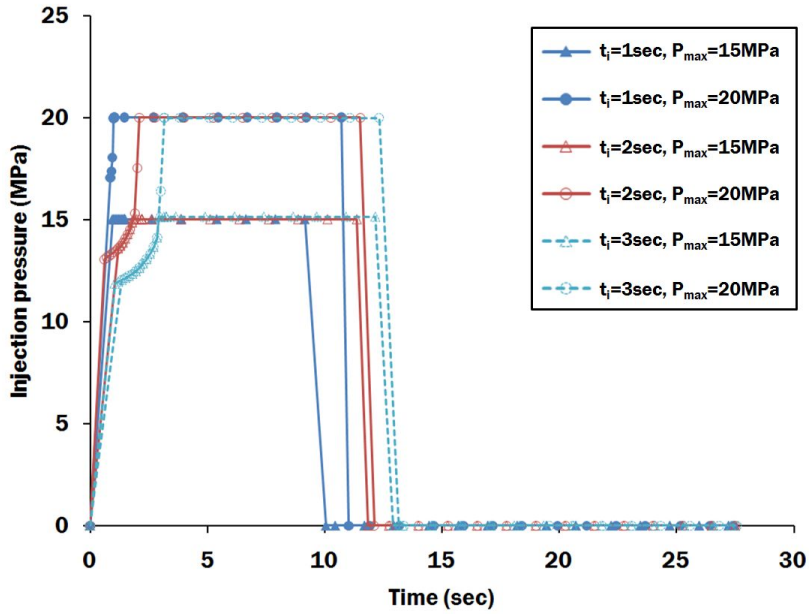


Fig. 59 Variation of the injection pressure-time curves of the 2nd product according to different injection times and maximum injection pressures for a human-friendly computer mouse

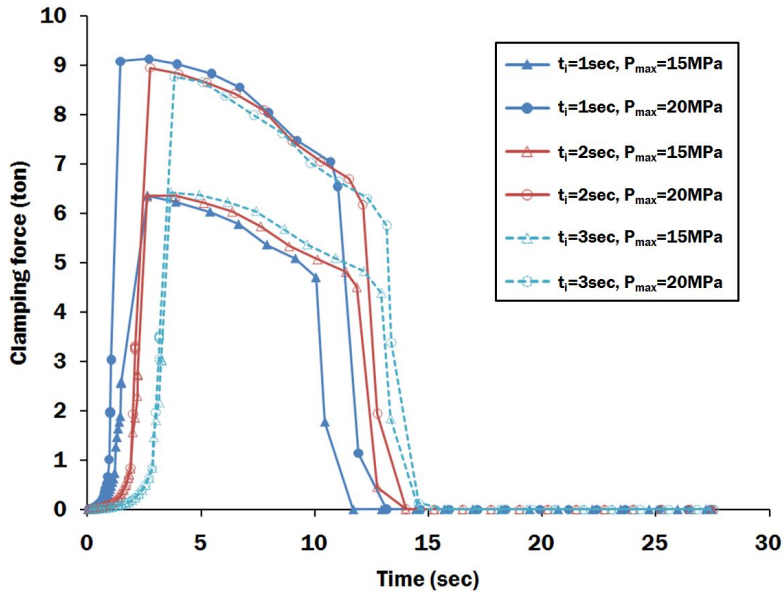


Fig. 60 Effects of injection time and maximum injection pressure on the clamping force of the 2nd product for a human-friendly computer mouse

Fig. 61 은 미충진이 발생한 공정조건을 제외한 나머지 공정조건에서의 냉각 해석 후 제품의 온도 분포를 나타낸다. 사출시간과 최대 사출압력과 관계없이 모든 공정조건에서 거의 동일한 온도 분포를 보임을 알 수 있었고 제품의 살 두께에 따라 비교적 원활한 냉각이 이루어짐을 알 수 있었으며 공정조건에 따른 제품의 평균 온도도 50.6 ~ 51.4 °C 로 거의 비슷함을 알 수 있었다.

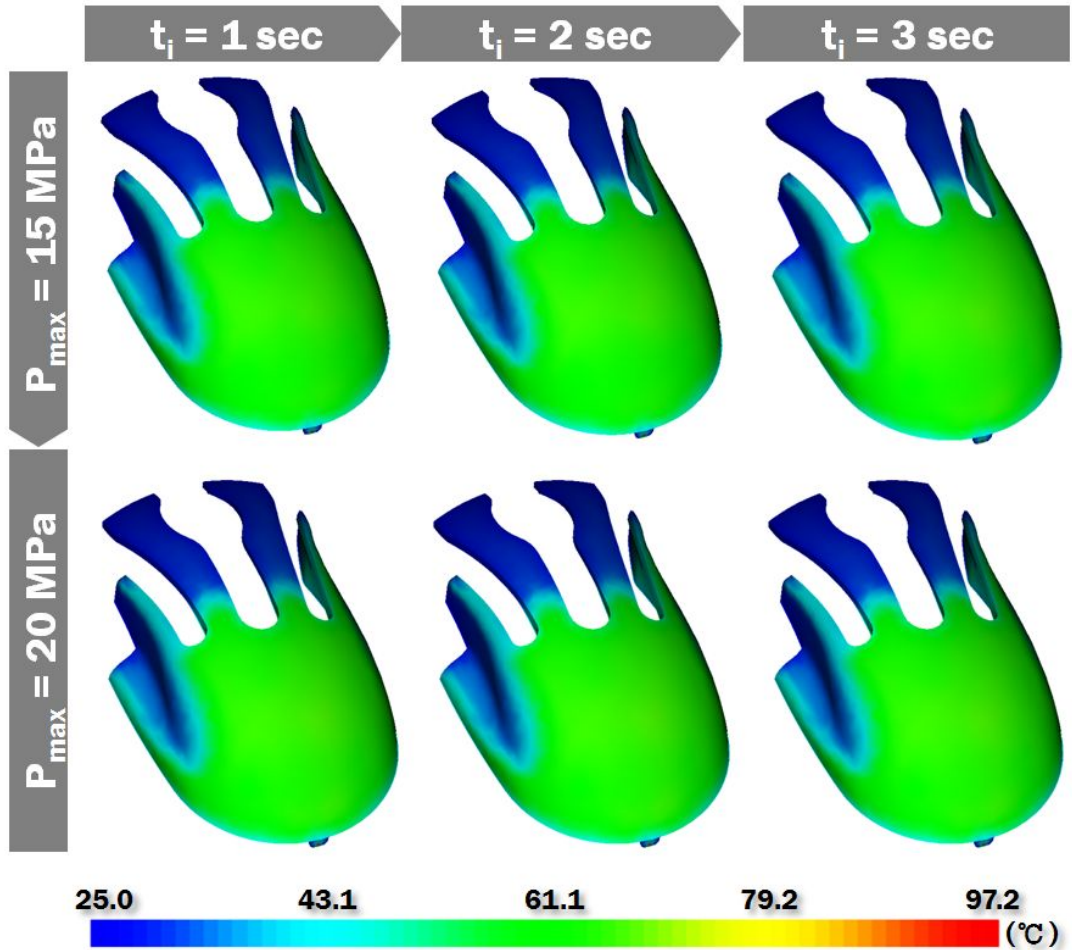


Fig. 61 Variation of temperature distributions in the 2nd product at the ejection time for different injections time and maximum injection pressures (Human-friendly computer mouse)

미충진이 발생하지 않은 제품의 수축율에 대한 해석 결과 Fig. 62 와 같이 사출시간 이 길고 사출압력이 클수록 제품의 중심부 부근에서 수축이 감소하고 수축율 분포의 균일성이 증가되는 것을 알 수 있었으며 제품의 수축율은 사출시간 3 초, 최대 사출압 력 20 MPa 일 때 최대 수축율 5.20 %, 평균 수축율 3.41 % 로 가장 적게 발생함을 알 수 있었다. 또한, 제품의 수축은 게이트에서 가까울수록 잔류 응력이 크기 때문에 모든 공정조건에서의 성형 후 제품은 게이트 부근에서 수축이 가장 크게 발생함을 알 수 있었다.

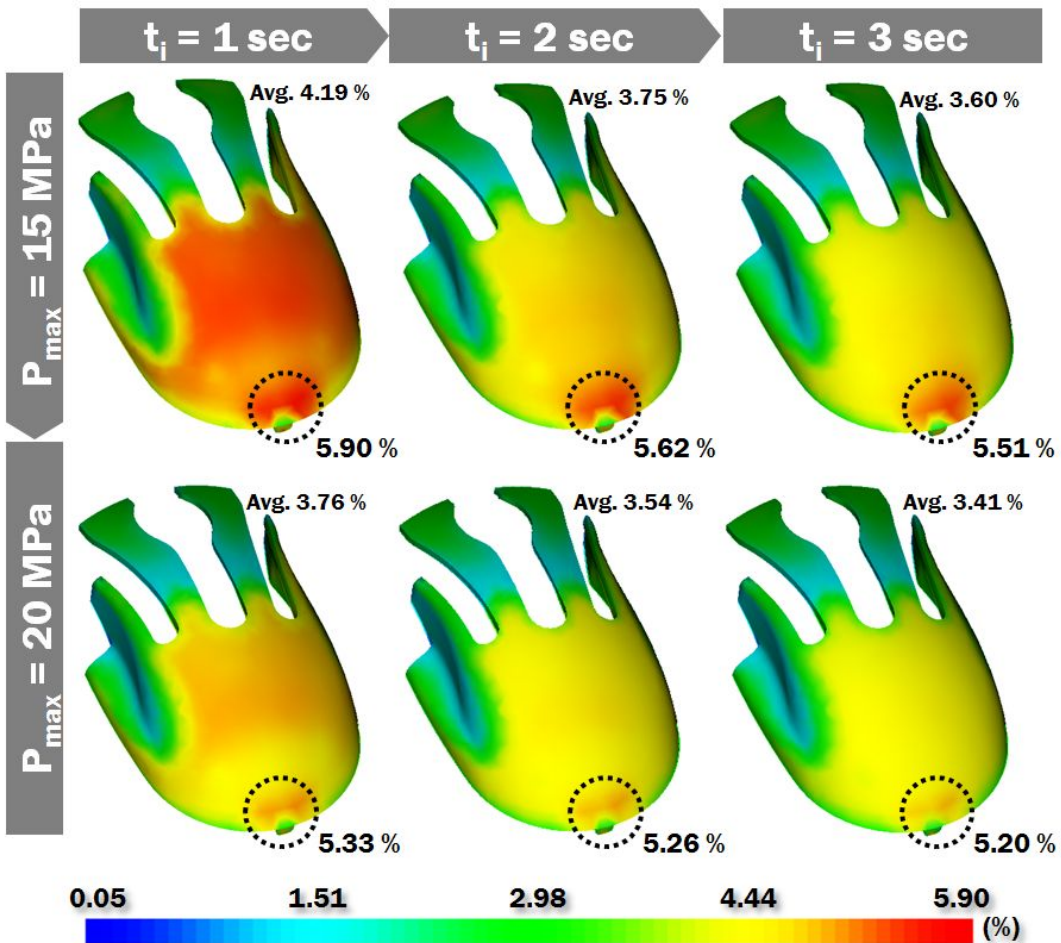


Fig. 62 Variations of volumetric shrinkage distributions in the 2nd product for different injection times and maximum injection pressures (Human-friendly computer mouse)

Fig. 63 은 미충진이 발생한 공정조건을 제외한 제품의 냉각 후 휨 변형에 대한 해석 결과이다. 2 차 성형 제품의 경우 1 차 성형 제품보다 변형량 크기 및 분포가 사출 시간과 최대 사출압력의 변화에 따라 민감함을 알 수 있었고 제품의 오른쪽 상단 끝부분에서 변형이 가장 크게 발생함을 알 수 있었으며 사출시간 3 초, 최대 사출압력 20 MPa 일 때 제품의 휨 변형이 0.45 mm 로 가장 적게 발생함을 알 수 있었다. 사출시간이 길고 최대 사출압력이 커질수록 제품 중심부에서 변형이 감소함을 알 수 있었고 제품의 변형량 분포가 균일하고 적게 나타남을 알 수 있었으며 제품 중심부에서 하단으로 갈수록 변형이 감소하며 게이트 부근의 변형도 감소함을 알 수 있었다.

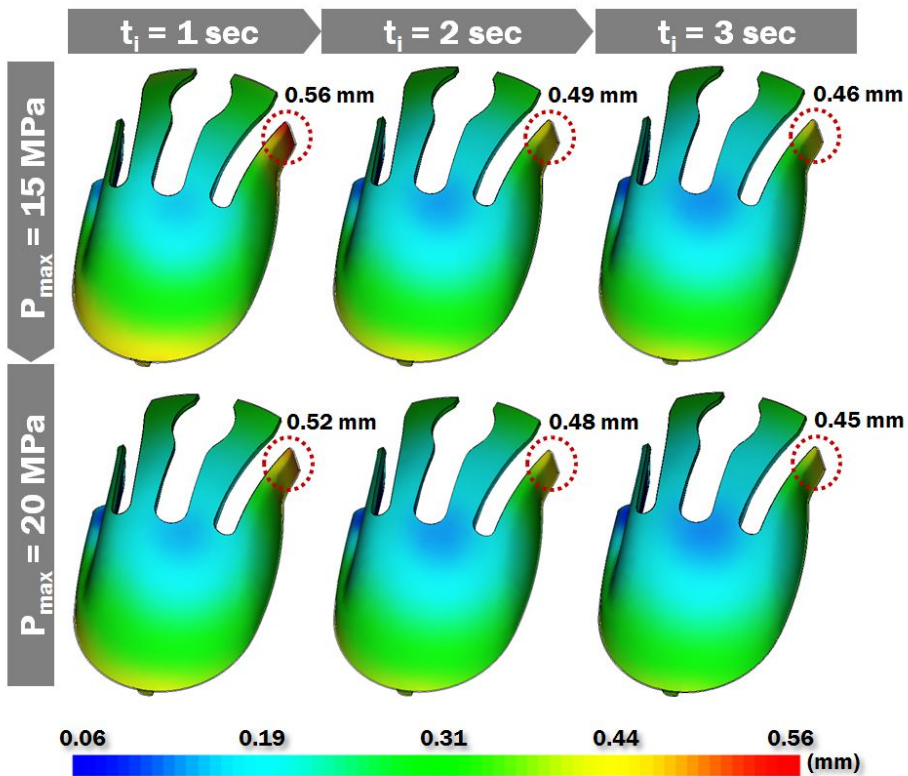


Fig. 63 Variation of deflection distributions in the 2nd product for different injection times and maximum injection pressures (Human-friendly computer mouse)

2 차 성형에 대하여 공정조건에 따른 사출성형 해석을 수행한 결과 제품의 수축과 휨 변형이 가장 적게 발생한 사출시간 3 초, 최대 사출압력 20 MPa 에 대하여 전체 사출성형 공정시간이 약 27.5 초로 동일한 상태에서 보압시간을 10 초에서 7 초, 5 초,



3 초로 줄이고 보압시간이 감소한 만큼 냉각 시간을 증가시켜 보압시간과 냉각 시간의 변화에 따른 사출성형 해석을 수행하여 제품의 수축과 휨 변형 특성을 비교/분석하여 최적 사출성형 공정조건을 도출하였다.

보압시간에 따른 제품의 수축율에 대한 해석 결과 Fig. 64 와 같이 보압시간이 감소함에 따라 수축이 가장 크게 발생하였던 게이트 부근뿐만 아니라 제품 전체적으로 수축율이 현저히 증가함을 알 수 있었고 특히, 제품의 최대 수축율 발생 지점이 중심부 넓은 면적에 걸쳐서 발생함을 알 수 있었다. 보압시간 감소에 따라 냉각 시간이 증가하였지만 제품의 전체적인 수축은 크게 증가되어 보압이 제품의 수축에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

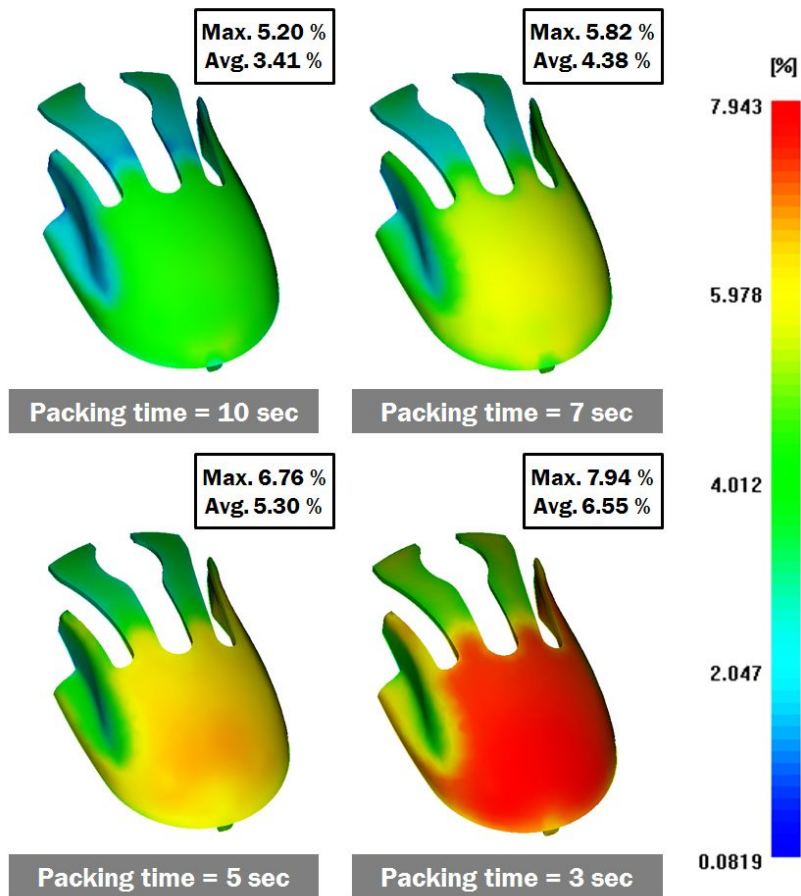


Fig. 64 Variation of volumetric shrinkage distributions in the 2nd product for different packing time (Human-friendly computer mouse)

Fig. 65 는 보압시간에 따른 제품의 휨 변형에 대한 해석 결과 이다. 휨 변형이 가장 크게 발생하였던 제품의 오른쪽 상단 끝부분에서 보압시간이 감소함에 따라 휨 변형이 점차 증가하였고 제품 전체적으로도 변형이 증가함을 알 수 있었으며 제품 중심부에서 바깥쪽으로 갈수록 변형이 크게 증가하여 보압시간의 감소가 제품의 휨 변형 특성에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 보압시간에 따른 제품의 휨 변형은 보압시간이 감소할수록 증가하여 보압시간이 10 초 일 때 가장 적고 균일하게 발생함을 알 수 있었다.

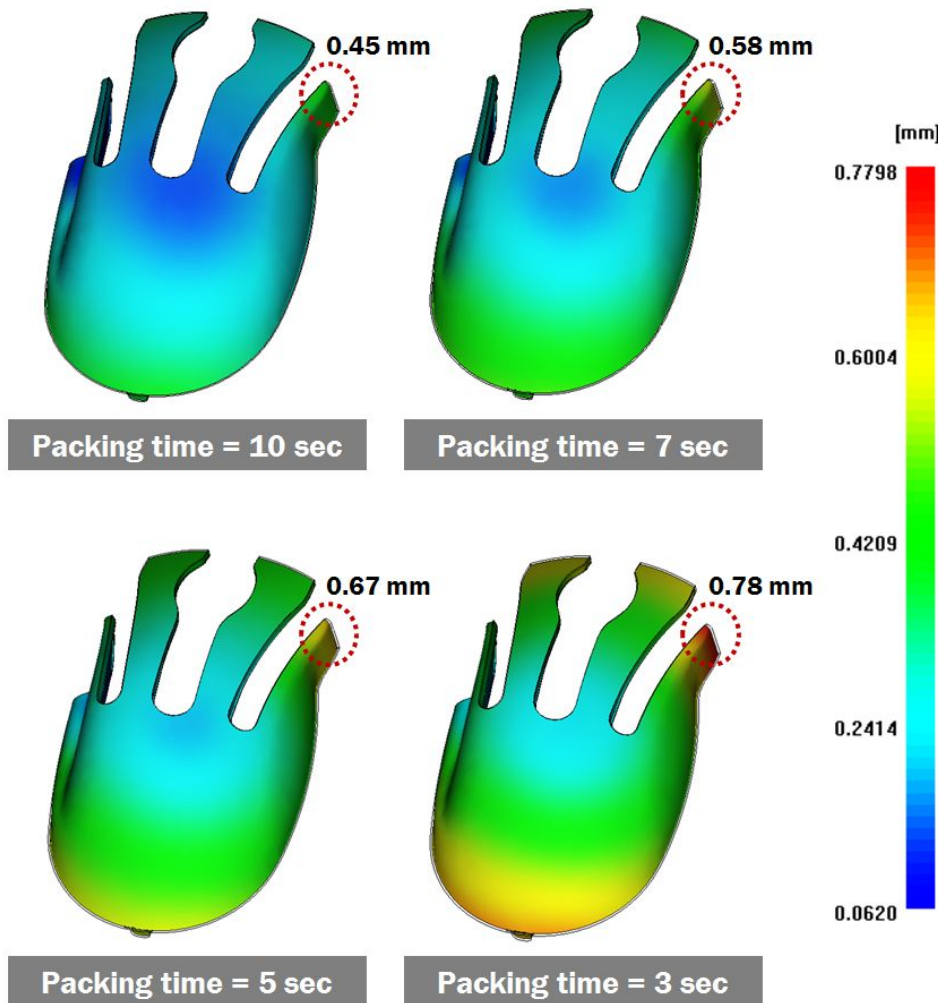


Fig. 65 Variation of deflection distributions in the 2nd product for different packing times (Human-friendly computer mouse)

사출시간 3 초, 최대 사출압력 20 MPa 에 대하여 보압시간을 10 초에서 7 초, 5 초, 3 초로 각각 변경하여 보압시간의 감소에 따른 사출성형 해석을 수행한 결과 Table 11 과 같이 보압시간의 감소에 따라 제품의 평균 수축율이 크게 증가하여 최대 약 2 배 정도 수축율이 증가함을 알 수 있었고 제품의 휨 변형도 최대 0.33 mm 까지 증가함을 알 수 있었다. 이 결과들로부터 보압시간이 10 초 일 때 제품의 수축과 휨 변형이 가장 적고 균일하게 발생하여 2 차 성형의 최적 사출성형 공정조건을 사출시간 3 초, 최대 사출압력 20 MPa, 보압시간 10 초 및 냉각 시간 14.4 초로 선정하였다.

Table 11 Results of the 2nd shot injection moulding analysis for different packing times (Human-friendly computer mouse)

Packing time (sec)	Cooling time (sec)	Avg .shrinkage (%)	Max. deflection (mm)
10	14.4	3.41	0.45
7	17.4	4.38	0.58
5	19.4	5.30	0.67
3	21.4	6.55	0.78



## 제 4 장 사출성형 제품의 기능적 특성 향상을 위한 이중사출성형 금형 제작 및 시사출 실험

### 제 1 절 직접 금속 제조 기술을 활용한 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출성형 금형 제작 및 제품 품질 평가

#### 1. 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출성형 금형 제작

3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형 코어를 제작하기 위하여 고출력 레이저 빔을 금속 표면에 조사하면 순간적으로 금속 표면에 용융 풀이 생성되고 용융 풀 안에 금속 분말을 분사하여 금속 분말을 완전히 용융시켜 재료 위에 융착시킴으로써 3 차원 형상을 제작하는 직접 금속 기술을 사용하였다. 다중슬라이스 금형 코어는 금형의 표면 형상부로서 표면 경도를 유지하고 KP4M 과 결합력이 우수하며 성형성이 우수한 P 21 을 사용하였다. 제작하기 위하여 사출성형 해석으로부터 도출한 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 금형 코어 최종 설계는 Fig. 66 과 같다.

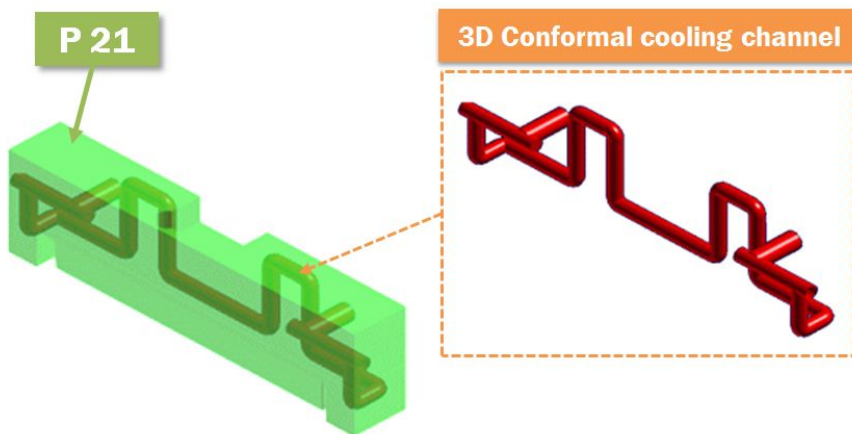


Fig. 66 Final design of the multi-sliced mould core with 3D conformal cooling channel

3 차원 형상적응형 냉각수로 제작 시 제작이 용이하고 제작 시간 단축을 위하여 곡률이 있는 부위만 동 파이프 (Copper pipe) 를 삽입하였다. 동 파이프가 삽입된 부위의 부식은 냉각수의 직경을 다소 크게 설계함으로써 방지하였다. 제작 과정은 Fig. 67 과 같이 3 차원 형상적응형 냉각수가 삽입될 부분을 1 차 절삭 가공하여 1 차 형상을 형성한 후 곡률 부위에 동 파이프를 삽입하고 직접 금속 제조 기술을 이용하여 금속 분말을 적층하는 방법으로 3 차원 형상적응형 냉각수를 갖는 다중슬라이스 금형 코어를 제작하였다.



Fig. 67 Manufacturing procedure of the multi-sliced mould core with 3D conformal cooling channel using rapid tooling process

본 연구에서 개발한 금형은 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 입자 코어를 직접 금속 제조 기술을 이용하여 제작 후 후육부 근방에 삽입하도록 하는 방식의 다중슬라이스 이중사출성형 금형이다. 완성된 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출성형 금형은 Fig. 68 과 같이 인덱스 축 회전 방식으로 1 차 성형품을 성형하기 위한 1 차 캐비티와 2 차 성형품을 성형하기 위한 2 차 캐비티로 구성되어 있으며 금형의 고정측 취부판에 위치한 로케이트링 가운데 오른쪽이 1 차 성형을 위한 것이고 왼쪽이 2 차 성형을 위한 것이다.

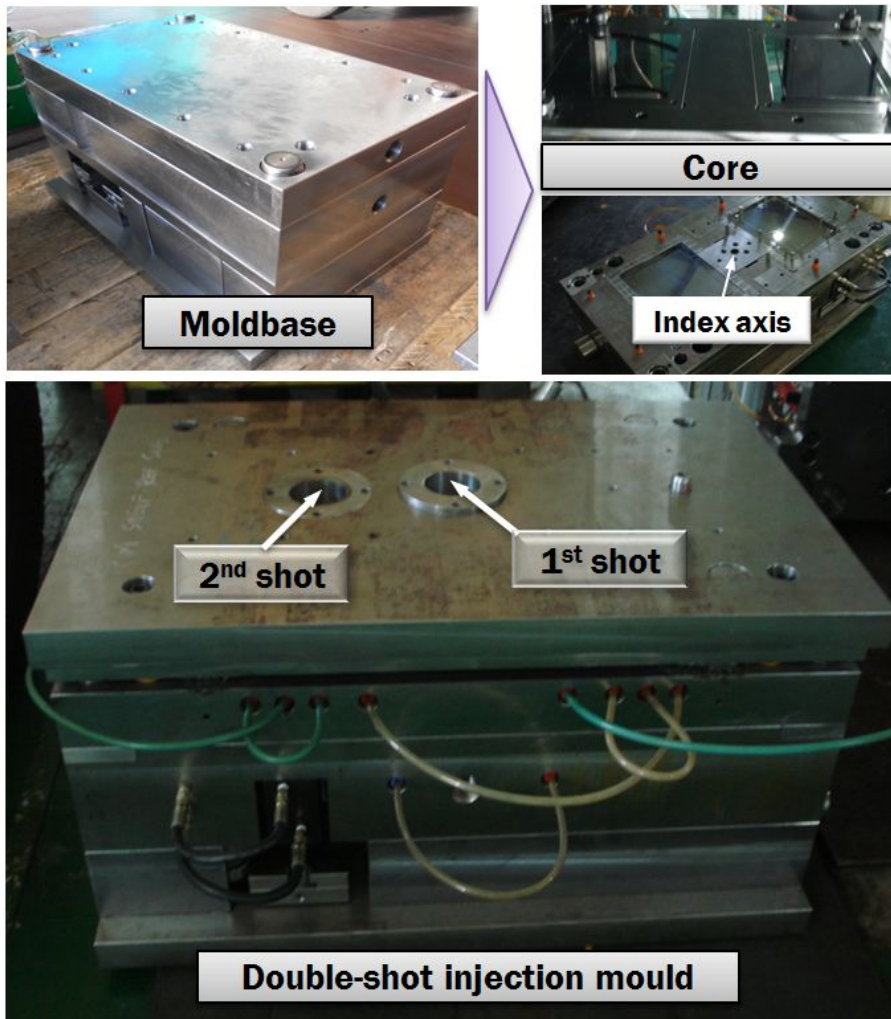


Fig. 68 Multi-sliced mould set with 3D conformal cooling channel for injection moulding experiments

## 2. 3 차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출성형 금형의 시사출 실험 및 제품 품질 평가

본 연구에서 제작된 금형의 제품 품질 특성을 확인하기 위하여 사출 성형 실험을 수행하였다. 시사출 실험 시 사출성형 실험 조건은 해석 결과를 근거로 하여 선정하였고 사용한 사출 성형기는 Fig. 69 와 같이 400 ton 급 ENGEL 이중사출기를 사용하였다. 회전 코어가 사출 성형기의 인덱스 축 구동축과 연결되어 매 공정마다 정확하게 180° 씩 2 번, 전체 360° 1 회전하도록 되어 있다. 이중사출성형 공정은 형폐 - 1 차 사출 - 1 차 냉각 - 형개 - 코어 회전 - 형폐 - 2 차 사출 - 2 차 냉각 - 형개 - 취출 과정으로 구성되어 있으며 1 차 성형과 2 차 성형이 동시에 이루어진다.



Fig. 69 Injection moulding apparatus with the multi-sliced mould set for experiments



기존의 제품은 단일 재료로 성형하여 제품의 후육부에 수축이 발생하거나 평판부에 변형이 크게 발생하였다. 본 연구에서는 이러한 수축이나 변형을 최소화하기 위하여 1차 성형으로 제품의 기본 형상을 성형하고 제품의 수축이나 변형이 크게 발생하는 곳에 2차 성형으로 1차 성형품에 오버몰딩하는 이중사출성형 기술을 이용한 3차원 형상적응형 냉각수로를 갖는 다중슬라이스 이중사출 금형을 개발함으로써 Fig. 70 과 같이 1차 성형을 통한 1차 성형품의 후육부와 평판부에 2차 성형품을 오버몰딩하여 완제품을 성형하였다. 개발한 금형을 통해 제작된 완제품의 후육부에서 수축이나 변형이 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었고, 평판부에서도 휨 변형이 거의 나타나지 않음을 확인할 수 있었다.

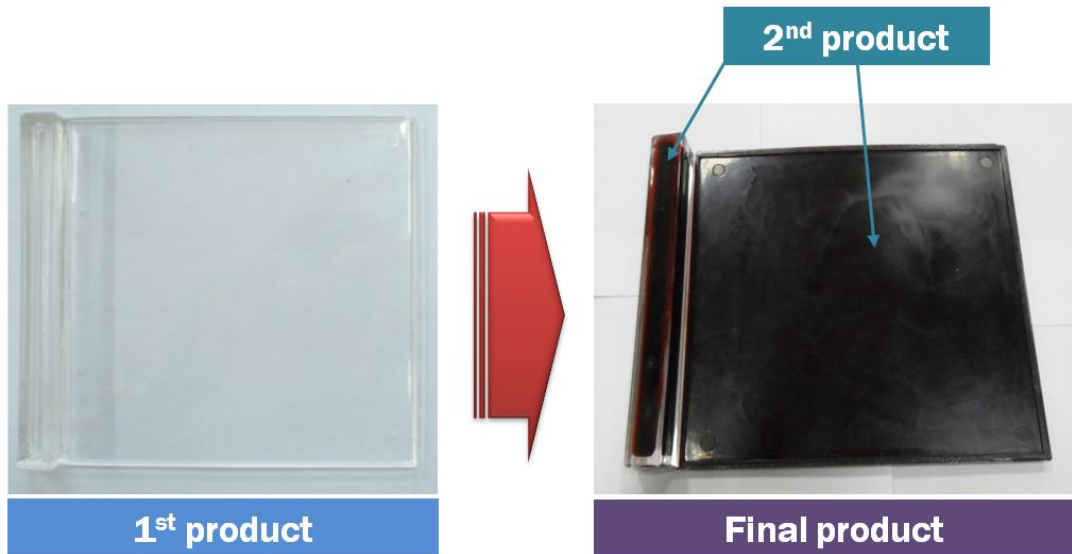


Fig. 70 Finally manufactured a plastic flat plate with a partly large volume from the multi-sliced double shot injection mould

## 제 2 절 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형 제작 및 제품 특성 평가

### 1. 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형 제작

인체친화적인 컴퓨터 마우스의 사출 성형을 위한 이중사출성형 금형을 제작하기 위하여 Fig. 71 과 같이 (a) NC 가공을 통한 외형 형상 가공, (b) 와이어 (Wire) 가공을 통한 입자 및 밀핀 가공, (c) 볼트 탭 가공을 위한 레디알 (Radial) 가공, (d) 밀링 (Milling) 가공을 통한 볼트 및 탭 냉각 가공, (e) 부품 및 선반류 가공, (f) 경면의 면을 얻기 위한 래핑 (Lapping) 가공을 통하여 금형을 제작하였다.

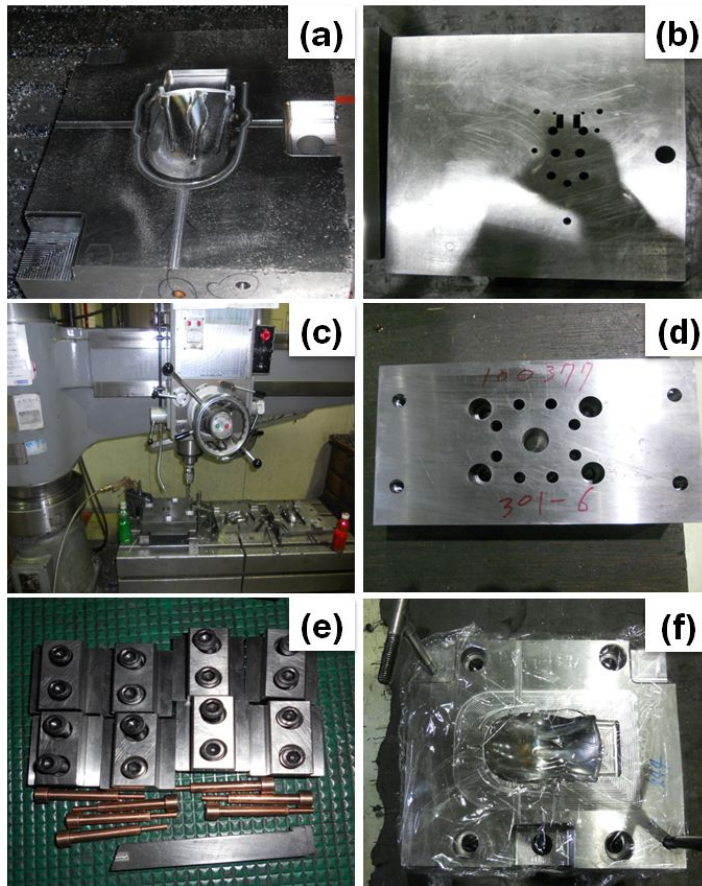


Fig. 71 Manufacturing process of injection mould for the human-friendly computer mouse

금형 제작 과정을 통하여 완성된 금형은 Fig. 72 와 같이 인덱스 축 회전을 방식을 적용한 이중사출성형 금형으로 코어 회전을 위한 인덱스 축은 금형의 하코어에 적용되며 제품의 기본 형상을 위한 1 차 캐비티와 제품의 기능적 특성 향상을 위하여 1 차 성형 품에 오버몰딩하기 위한 2 차 캐비티로 구성되어 있다. 금형의 고정측 취부판에 위치한 가운데 로케이트링은 1 차 성형을 위한 것이고 오른쪽 작은 로케이트링은 2 차 성형을 위한 것이다.

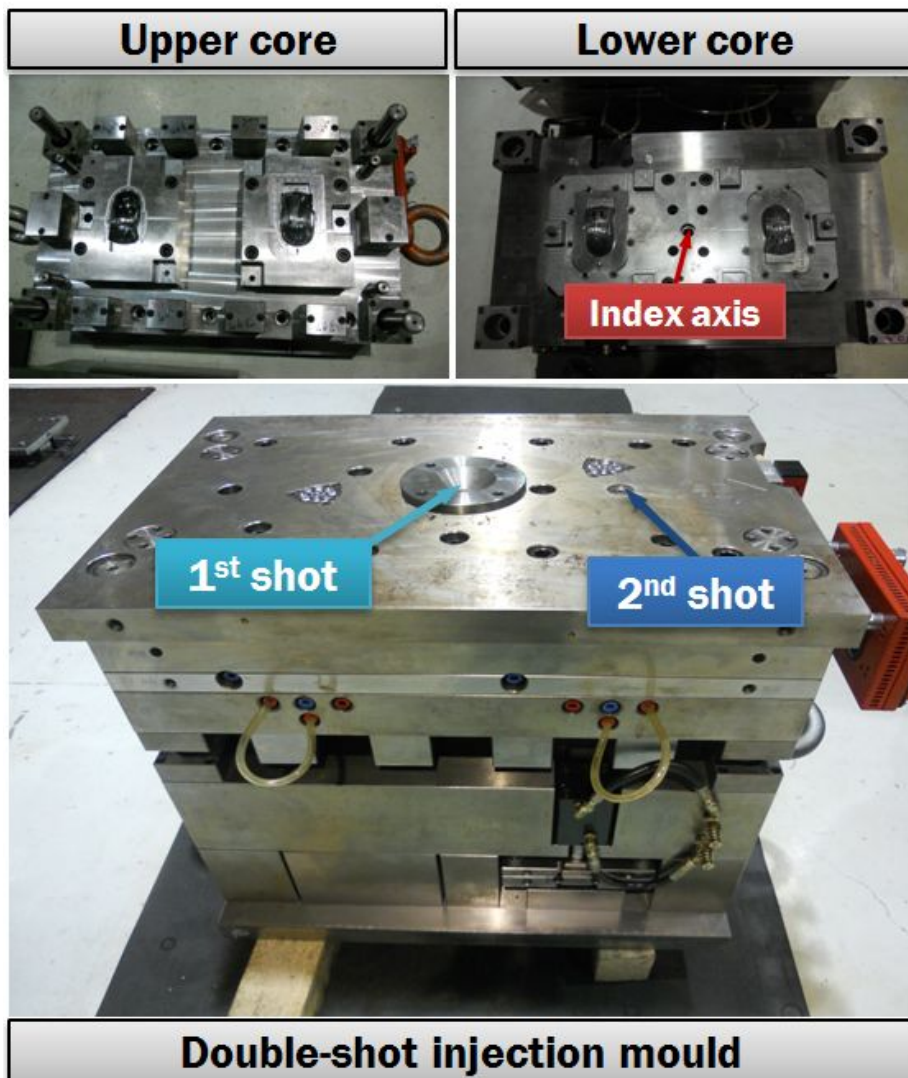


Fig. 72 Fabricated mould set for the human-friendly computer mouse

## 2. 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형의 시사출 실험 및 제품 특성 평가

본 연구에서 제작된 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형의 제품 품질 및 특성을 평가하기 위하여 사출 성형 실험을 수행하였다. 시사출 실험 시 사출 성형 실험 조건은 앞서 수행한 사출성형 해석과 동일한 공정조건에서 시사출 실험을 수행하였으며 시사출 실험 조건은 Table 12 와 같다. 시사출 실험에 사용한 사출 성형기는 Fig. 73 과 같이 400 ton 급 ENGEL 이중사출기를 사용하였으며 사출 성형기의 인덱스 축 구동축과 연결되어 있는 회전 코어가 매 공정마다 정확하게 180° 씩 회전하여 완제품이 생산되는 방식으로 되어 있다. 이중사출성형 공정은 앞서 설명한 형폐 - 1 차 사출 - 1 차 냉각 - 형개 - 코어 회전 - 형폐 - 2 차 사출 - 2 차 냉각 - 형개 - 취출 과정으로 구성되어 있으며 1 차 성형이 이루어지는 동안 2 차 캐비티에도 2 차 성형이 동시에 이루어진다.



Fig. 73 Injection moulding experiments for the human-friendly computer mouse



Table 12 Experimental conditions of injection moulding experiments for the human-friendly computer mouse

1st shot	Melting temperature (°C)	220
	Injection velocity (cm/s)	25
	Max. Injection pressure (MPa)	40
	Packing pressure (MPa)/ Packing time (sec)	40/5
2nd shot	Melting temperature (°C)	240
	Injection velocity (cm/s)	15
	Max. Injection pressure (MPa)	20
	Packing pressure (MPa)/ Packing time (sec)	20/10
Cycle time	35 sec (Injection time : 3 sec, Cooling time : 15 sec, Other time : 7 sec)	

컴퓨터 마우스의 장기간 사용 시 피로감을 감소시키기 위하여 손과의 접촉 부위에만 연질의 플라스틱을 사용함으로써 터치감을 개선하기 위하여 1 차 성형으로 제품의 기본 형상을 성형하고 손과의 접촉 부위에 2 차 성형으로 1 차 성형품에 오버몰딩하는 이중사출성형 기술을 이용한 이중사출 금형을 개발함으로써 완제품을 성형하였다. 기존의 2 차 수지인 TPV 계열의 Santoprene 111-35 수지를 사용하여 제작하였을 경우 Fig. 74 와 같이 1 차 수지인 ABS 와 결합 잘 이루어지지 않아 2 차 성형품이 1 차 성형품과 접착되어 있지 않고 떠 있는 모습을 확인할 수 있었다. 반면, 수지의 결합 문제 해결을 위하여 변경한 2 차 수지인 TPE 5160 을 사용하여 제품을 제작하였을 경우에는 Fig. 75 와 같이 1 차 수지와 2 차 수지의 결합이 잘 이루어져 1 차 성형품과 2 차 성형품 경계면에 미 접합 영역이 존재하지 않음을 확인할 수 있었고 수축이나 변형이 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었으며 제품의 외관도 웰드라인과 기공들이 존재하지 않아 양호함을 확인할 수 있었다.



Fig. 74 Product of the human-friendly computer mouse for the initial resin

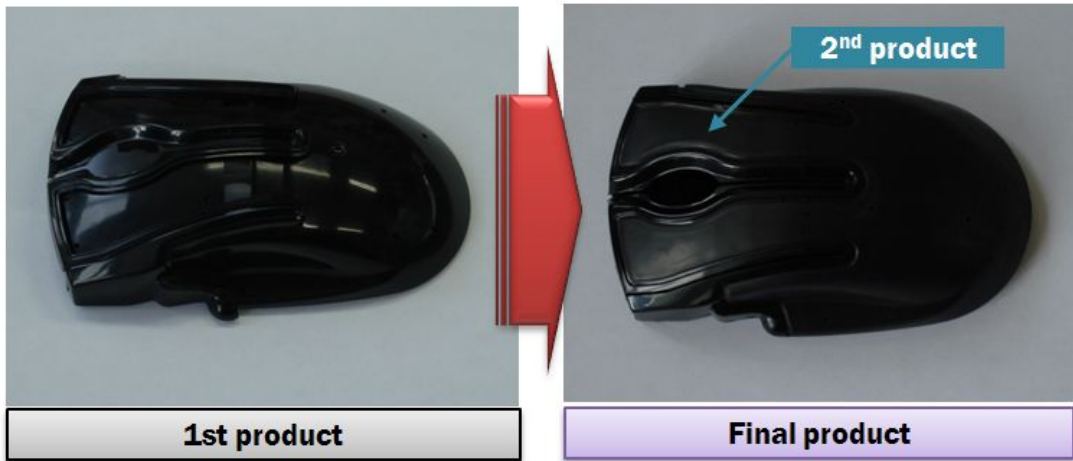


Fig. 75 Finally manufactured the human-friendly computer mouse

이중사출 기술을 통하여 제작한 실제 성형 제품의 1 차 수지와 2 차 수지와의 결합성을 확인하기 위하여 이중재료 접착부에 대하여 임의의 부위를 절단한 후 주사 전자 현미경 (Scanning electron microscope) 촬영을 수행하였다. 주사 전자 현미경 촬영은 FEI company 의 Quanta 200 FEG 장비를 사용하였으며 주사 전자 현미경 촬영 결과 Fig. 76 과 같이 250 배 확대하여 확인한 결과 1 차 수지인 ABS 와 2 차 수지인 TPE 간의 결합이 완벽히 이루어졌음을 알 수 있었다.

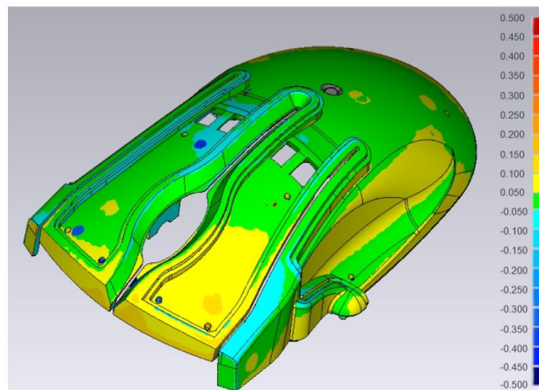


Fig. 76 Microstructure in the vicinity of the welded region (Human-friendly computer mouse)

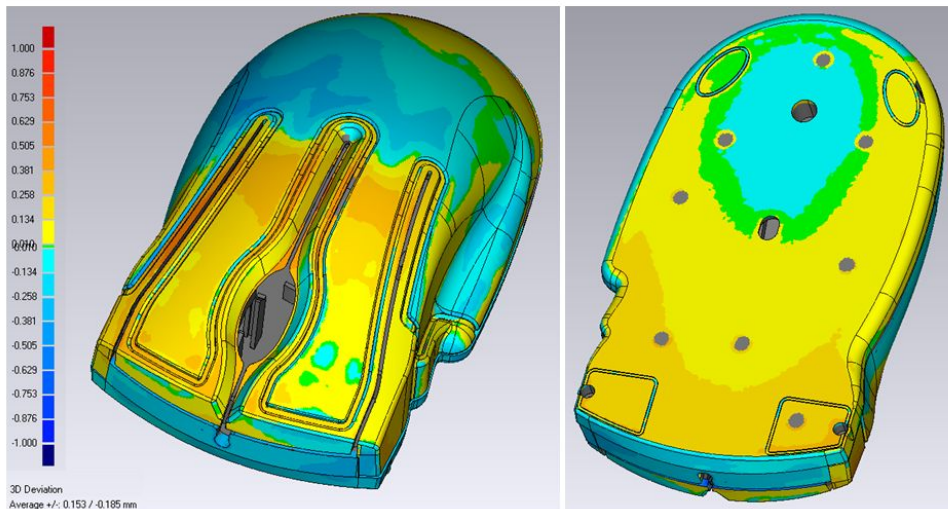
인체친화적인 컴퓨터 마우스의 실제 성형 제품과 제품의 설계 기준인 3D CAD 데이터와의 위치 오차 분포를 통한 형상 비교를 위하여 실제 성형 제품에 대하여 Fig. 77 과 같이 Solutionix 의 Rexscan III 장비를 사용하여 3 차원 측정을 수행하였다. 3 차원 측정 결과 Fig. 78 (a) 와 같이 제품의 기본 형상 및 제품 바닥면과 조립되어 중요 치수부를 결정하는 1 차 성형품은 위치 오차가 최대  $\pm 0.1$  mm 이내로 설계 기준인 3D CAD 데이터와 거의 일치함을 알 수 있었다. 완제품의 경우 Fig.78 (b) 와 같이 같이 실제 성형 제품과 3D CAD 데이터와의 위치 오차가 평균  $\pm 0.2$  mm, 최대  $\pm 0.63$  mm 이내로 매우 양호함을 알 수 있었다. 이 결과들로부터 사출성형 해석으로 선정된 이중사출성형 조건을 적용할 경우 이중재료로 구성된 인체친화적인 컴퓨터 마우스를 적절히 제작할 수 있음을 알 수 있었다.



Fig. 77 3D measurement of the moulded human-friendly computer mouse



(a) 1st product



(b) Final product

Fig. 78 Positional accuracy of the moulded human-friendly computer mouse

컴퓨터 마우스의 터치감은 지극히 주관적이기 때문에 인체친화적인 컴퓨터 마우스의 터치감을 평가하기 위하여 10 명의 모집단을 대상으로 감성 시험을 수행하였다. 일반적으로 사용하고 있는 마우스를 사용하다가 본 연구 개발로 제작된 마우스를 사용하였을 경우 일반 마우스 대비 터치감 평가는 Table 13 과 같다. 10 명을 대상으로 마우스 터치감을 평가한 결과 인체친화적인 컴퓨터 마우스를 사용하였을 경우 대부분의 사람들이 일반 마우스보다 터치감이 좋고 부드럽다 등 만족감을 나타냄을 알 수 있었다. 기존 단일 재료로 구성된 제품과 이중사출 기술을 이용하여 이중재료로 구성된 제품을 촉감 및 사용자의 피로감과 같은 감성 공학적 특성을 정성적으로 비교한 결과, 이중재료로 구성된 인체친화적인 컴퓨터 마우스가 감성 공학적 측면에서 향상된 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

Table 13 Test results of touch sensibility using the human-friendly computer mouse

No.	Touch sensibility				
	Very satisfaction	Satisfaction	Normal	Dissatisfaction	Very dissatisfaction
1	○				
2		○			
3	○				
4	○				
5		○			
6		○			
7		○			
8	○				
9	○				
10		○			

## 제 5 장 결 론

본 연구에서는 사출성형 제품의 기능적 특성 향상을 위한 이중사출성형 금형의 사출성형 특성에 관한 연구를 위하여 후육부를 가진 평판 제작용 이중사출성형 금형과 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형에 대하여 3 차원 사출성형 해석과 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 이중사출성형 금형에 대하여 냉각 해석 및 1 차 성형과 2 차 성형의 공정 조건에 따른 사출성형 해석을 통하여 제품의 수축 및 휨 변형을 최소화 할 수 있는 최적의 이중사출성형 금형 설계안 및 사출성형 공정 조건을 도출하였다.

2. 후육부를 가진 평판 제작용 이중사출성형 금형의 사출성형 해석을 통하여 제품의 열점을 선정한 후, 열점에 대한 냉각 성능 향상을 위하여 3 차원 형상적응형 냉각수로의 직경과 위치에 따른 사출성형 해석을 통하여 제품의 열점에 대하여 냉각 특성 향상에 따른 수축 및 휨 변형이 최소화되는 동시에 냉각 시간 단축이 가능한 3 차원 형상적응형 냉각수를 갖는 최적의 다중슬라이스 금형 설계안을 도출하였다.

3. 후육부를 가진 평판 제작용 이중사출성형 금형에 대하여 3 차원 형상적응형 냉각수를 갖는 최적의 다중슬라이스 금형과 직선형 냉각수를 갖는 금형의 사출성형 해석 비교/분석 결과, 3 차원 형상적응형 냉각수를 갖는 다중슬라이스 금형이 직선형 냉각수를 갖는 금형보다 냉각 성능이 우수하여 냉각 시간 단축이 가능하며 수축과 휨 변형이 보다 적은 제품을 성형할 수 있음을 알 수 있었다.

4. 인체친화적인 컴퓨터 마우스 제작용 이중사출성형 금형의 제품에 대한 냉각 해석을 수행함으로써 1 차 성형과 2 차 성형의 공정 조건 변화에 따른 제품의 수축 및 휨 변형의 최소화가 가능한 공정 조건을 도출하였다.

5. 대상 금형인 이중사출성형 금형에 인덱스 축 회전 방식을 적용하여 시사출 실험을 수행한 결과 이중사출 기술을 이용하여 다른 재질을 오버몰딩함으로써 제품의 품질과 개선 등 제품의 기능적 특성 향상이 가능함을 확인할 수 있었다.

추후, 사출 금형 분야에서는 플라스틱 제품의 품질 뿐만 아니라 디자인과 기능 등 플라스틱 제품에 대한 다양한 요구를 충족시키기 위하여 다른 재질을 사용한 이중사출 기술 및 다중사출 기술에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다.



## REFERENCES

1. Lin. Z. C., Chou. M. H., "Design of the cooling channel in nonrectangular plastic flat injection mold," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 21, No. 3, 2002.
2. Barone. M. R., Caulk. D. A., "Optimal arrangement of holes in a two-dimensional heat conductor by a special boundary integral method," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 18, pp 657~685, 1982.
3. Chen. S. C., Hu. S. Y., Davidoff. A., "Computer-aided cooling system design and analysis of the injection molding cooling process," *The Chung Yuan Journal XIX*, pp 82~96, 1990.
4. Singh. K. J., "Design of mold cooling system," *Injection and Compression Molding Fundamentals*, Avraam I. Isayev, ed. New york : Marcel Dekkew, 1987.
5. Turng. L. S., Wang. K. K., "A computer-aided cooling line design system for injection molds," *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 112, pp 161~167, 1990.
6. Glavill. A. B., Denton. E. N., "Injection-mold design fundamentals," *The Machinery Publishing Co. Ltd.*, 1997.
7. Austin. C., "Mold cooling," *Society of Plastics Engineers Technique Papers*, Vol. 31, pp 764~766, 1985.
8. Liang. J. Z., Ness. J. N., "The calculation of cooling time in injection moulding," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 57, pp 62~64, 1996.
9. Tom. Kimerling., "Injection molding cooling time reduction and thermal stress analysis," *Finite Element Analysis*, Spring 2002.
10. Christer. Nylund., Kerstin. Meinander., "The influence of heat transfer coefficient on cooling time in injection molding," *Heat Mass Transfer*, Vol. pp 428~431, No. 41, 2005.
11. <http://www.newmold.com/twoshot/>
12. [http://www.aki.co.uk/two\\_shot\\_injection\\_moulding](http://www.aki.co.uk/two_shot_injection_moulding)
13. <http://pages.prodigy.net/plastics101/twoshot.pdf>
14. Digiantonio. R. J., "Two shot molding of thermoplastic elastomers," ANTEC' 92 in

Detroit MI, 1992.

15. Alcock. J. R., Logan. P. M., Stephenson. D. J., "Surface engineering by co-injection moulding," *Surface and Coatings Technology*, Vol. 105, pp 65~71, 1998.
16. Schwartz. S. J., "Plastics processing technology information," *Modern Plastics World Encyclopedia NY*. pp 44~47, 2001.
17. Lee. S. Y., Kim. Y. G., Woo. C. K., Kim. O. R., "A technical study on mold of productivity improvement for insert injection of reverse engineering," *KSTP Spring conference*, No. 7, pp 535~538, 2008.
18. Chang. R. Y., Peng. A. Y., Yang. W. H., Hsu. D. C., "Three-dimensional simulation of multi-shot sequential molding," *ANTEC, Conference Proceedings*, Vol. 1, pp 47~50, 2005.
19. Sachs. E., Wylonis. E., Allen. M. H. Guo., "Production of injection molding tooling with conformal cooling channels using the three dimensional printing process," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 40, No. 5, pp 1232~1247, 2000.
20. Xu. X., "Conformal cooling and rapid thermal cycling in injection molding by 3D printed tools," *PhD thesis, MIT*, 2000.
21. Dimla. D. E., Camilotto. M., Miani. F., "Design and optimization of conformal cooling channels in injection moulding tools," *Journal of Materials Processing Technology* 164~165, pp 1294~1300, 2005.
22. Ring. M., "An investigation of effectiveness of conformal cooling channels and selective laser sintering material in injection moulding tools," *RPD*, pp 1~5, 2002.
23. Jacobs. P. F., "New Frontiers in Mold Construction: High Conductivity Materials & Conformal Cooling Channels," *Proceedings of ASME Manufacturing in Engineering*, Vol. 11, pp 389~396, 2000.
24. Ahn. D. G., Park. M. W., Park. S. H., Kim. H. S., "Design of conformal cooling channels for the mould of a plastic drawer of a refrigerator by analysis of three-dimensional injection moulding," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 34, No. 10, pp 1487~1492, 2010.
25. Ferreira., "High-conductivity materials and conformal cooling channels," *Warwick*

Manufacturing, Group, Warwick University, UK, accessed September 29, 2003.

26. Au. K. M., Yu. K. M., "A scaffolding architecture for conformal cooling design in rapid plastic injection moulding," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 34, pp 496~515, 2007.
27. Dalgarno. K. W., Stewart. T. D., "Manufacture of production injection mould tooling incorporating conformal cooling channels via direct selective laser sintering," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B : Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 215, pp 1323~1332, 2003.
28. Sin. J. K., "A study on the minimization of weld lines related to part geometry and processing conditions in two shot molding," Master's thesis, YONSEI graduate school of engineering, 2003.
29. Sin. S. H., "A Study on the keypad improvement of double injection-molding by CAE," Master's thesis, AJOU graduate school of industry, 2010.
30. Ahn. D. G., Park. M. W., Kim. H. S., "Selection of double shot moulding conditions via injection moulding analysis," *KSPE Spring conference*, No. 5, pp 1195~1196, 2010.
31. Park. H. P., Cha. B. S., Rhee. B. O., "A study on the flash generation of co-injection mold using the injection molding analysis," *KSPE Autumn conference*, No. 10, pp 389~390, 2009.
32. Kong. B. S., Woo. C. W., Geum. W. Y., "Invisible PAB door development using two-shot molding," *KSAE Spring conference*, No. 4, pp 1240~1246, 2009.
33. Islam. A., Hansen. H. N., "Micro-MID manufacturing by two-shot injection moulding," *European Magazine-Onboard technology*, Vol. 9, No. 2, pp 10~13, 2008.
34. Xu. X., Sachs. E., Allen. S., "The design of conformal cooling channels in injection molding tooling," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 41, No. 7, pp 1265~1279, 2001.
35. Ferreira. J. C., Mateus. A., "Studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection moulding," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 142, pp 508~516, 2003.
36. Islam. A., Hansen N., Bondo. M., "Experimental investigation of the factors influencing

- the polymer-polymer bond strength during two-component injection moulding," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 50, pp 101-111, 2010.
37. Shin. J. K., Min. B. K., Kim. Y. J., Kang. S., "Minimization of weld lines in two shot molded parts with microlenses," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 13, pp 230~235, 2004.
38. Kim. O. R., Cha. B. S., Lee. S. Y., Kim. Y. G., Woo. C. K., "A study on the runner and gate consequence of manufacture double shot molding using CAE," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 18, pp 160~165, 2009.
39. <http://www.insstek.com>
40. Zhiliang. F., Clinton. K., Shishir R. R., Franco S. C., Peter K. K., "Three-dimensional simulation for the injection over-molding process," 5th. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, 2008.