



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

2020년 2월
석사학위 논문

사출 조건에 대한
금형 강도 예측에 관한 연구

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

윤 정 길

사출 조건에 대한
금형 강도 예측에 관한 연구

Study on Prediction of Mold Strength for
Injection Conditions

2020년 2월 25일

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

윤 정 길

사출 조건에 대한
금형 강도 예측에 관한 연구

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2019년 10월

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

윤 정 길

윤정길의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 특임교수 방한서 (인)

위 원 조선대학교 교수 방희선 (인)

위 원 조선대학교 조교수 손윤철 (인)

2019년 11월

조선대학교 대학원

CONTENTS

List of Figures	VII
List of Tables	X
Abstract	XI
1 장. 서론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.1.1 연구 배경	1
1.1.2 연구 목적	3
1.2 국내·외 기술 동향	4
1.2.1 국내 기술 동향	4
1.2.2 국외 기술 동향	5
1.3 실험 소재 특징	6
1.3.1 플라스틱 분류	6
1.3.2 열가소성 플라스틱 특성 및 종류	8

2 장. 연구 방법 10
 2.1 연구의 이론적 배경 및 지배 방정식 11
 2.1.1 연속 방정식 (Continuity Equation) 12
 2.1.2 모멘텀 방정식 (Momentum Equation) 12
 2.1.3 에너지 방정식 (Energy Equation) 12
 2.1.4 응력 및 변형률 관계식
 (Stress-Strain Relation Equation) 13
 2.2 사출 성형 및 금형 구조 해석 조건 14
 2.2.1 사출 성형 해석 조건 14
 2.2.2 사출 성형 해석 용 플라스틱 수지 데이터 17
 2.2.3 사출 성형 해석 공정 조건 19
 2.2.4 사출 금형 구조 해석 조건 22

3 장. 연구 결과 23
 3.1 사출 성형 및 금형 구조 해석 23
 3.1.1 사출성형 해석 결과 (충전 및 보압) 23
 3.1.2 사출 성형 해석 결과 (냉각 해석) 29
 3.1.2 사출 금형 구조 해석 결과 33

4 장. 결론 39

참고문헌 40

List of Figures

Fig. 1.1 Dough forming process and breaking of detergent	2
Fig. 1.2 Mold fracture surface	3
Fig. 2.1 Conrol Volume	11
Fig. 2.2 Stress-Strain Relationship of Mold Material	13
Fig. 2.3 Mold structure model detail	15
Fig. 2.4 Sample model for analysis	16
Fig. 2.5 Viscosity	18
Fig. 2.6 PVT Line chart	18
Fig. 2.7 Thermal Conductivity	18
Fig. 2.8 Heat Capacity	18
Fig. 2.9 Mechanical Properties	18
Fig. 2.10 Visco-Elasticity	18
Fig. 2.11 Fill and Pack Conditions Tab	20
Fig. 2.12 Cooling and Blowout Conditions Tab	20
Fig. 2.13 Filling speed (3 sec)	21
Fig. 2.14 Filling pressure (maximum pressure)	21
Fig. 2.15 Holding pressure (80% of charge voltage)	21
Fig. 2.16 Main mold structure	22
Fig. 3.1 Patterns of Charging Over Time and Each Region	24
Fig. 3.2 Charging pattern viewed from the bottom	25
Fig. 3.3 Sprue pressure history during product filling and packing	27
Fig. 3.4 Filling temperature distribution of resin during filling	28
Fig. 3.5 Injection Molding Cycle	29
Fig. 3.6-1 Mold temperature distribution during filling, packing, cooling, and release	30
Fig. 3.7 Main mold structure	32
Fig. 3.8 Total strain of upper core, lower core and strain value in each direction	33

Fig. 3.9 CAVITY CORE &CORE Transform 34
Fig. 3.10 CAVITY CORE &CORE Directional Stress Distribution 35
Fig. 3.11 Normal Stress Distribution by CAVITY CORE &CORE Direction 37
Fig. 3.12 Von-Mises Stress Distribution 38

List of Table

Table. 1.1 Top 10 countries in mold trading volume worldwide (HS Code 8480)	5
Table. 1.2 Plastic taxonomy	7

ABSTRACT

Study on Prediction of Mold Strength for Injection Conditions

Yoon Jeong Kil

Advisor : Prof. Bang, Hee-Seon, Ph.D.

Department of Welding and Joining Science
Engineering,

Graduate School of Chosun University

Since Switzerland's first plastic was accidentally produced in the 1800's in Switzerland, it has influenced human culture in many ways. In particular, products using thermoplastic resins that are commonly found in everyday life are used in various fields to make our lives more convenient and convenient. Various types of manufacturing methods are known for manufacturing such plastics, but a process called "injection molding" using a mold is most commonly used.

Although there are various ways to process and manage molds, they are the most important factor for managing molds, but there are items that have been overlooked with attention focused only on productivity.

In fact, to know exactly how many products can be molded with the molds currently used in production, it is very difficult and difficult to use experimental methods.

However, there is a need for a technique that can easily and easily predict the durability characteristics of steel molds by understanding how much stress the mold is subjected to through the history of pressure and temperature changes applied to the mold during the injection molding process.

In this study, we proposed a method for predicting the strength of molds that can help to determine the indirect durability of molds through injection molding analysis and structural analysis of molds.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

1.1.1 연구 배경

고도로 발전된 현대 사회에서 새로운 제품들이 매일 쏟아지고 있다. 우리가 주변에서 흔히 접하고 사용하는 대중화된 제품 중에는 플라스틱으로 만들어진 제품들이 많이 있다. 이런 대중화된 제품들은 대량 생산이라는 필수적인 과정을 통해서 제조 되고 있으며, 특히 플라스틱 제품은 금형이라는 정해진 틀을 통하여 만들어지고 있다. 고분자 화합물의 지속적인 발전으로 금속으로 만들어졌던 제품을 비교적 가격이 저렴하고, 복잡한 형태의 제품을 쉽게 성형하고, 가벼우며, 재활용이 용이한 생산성이 높고 가벼운 플라스틱 제품으로 대체되는 추세가 점차 가속화 되고 있는 것이 현실 이다. 플라스틱 제품은 다양한 방법을 제조되고 있으며, 그중 사출에 의한 성형 공정이 가장 많이 사용되는 보편적인 기술이 되어 있다.

사출 성형의 공정은 가소화(Plastication), 충전(Filling), 보압(Packing), 냉각 및 이형과 취출을 한 사이클로 한 연속적인 공정을 통하여 제품이 양산 된다.(Fig. 1.1)

사출 금형의 캐비티(Cavity)에 사출 성형기에서 용융된 고분자 수지가 주입되어 충전이 되며, 이후 충전 과정 중 수축된 캐비티의 제품을 보상하기 위한 보압과정이 이루어 지고, 캐비티의 제품을 취출하기 적절한 온도까지 응고시켜주는 냉각 과정을 거쳐 제품이 금형이 열리는 이형 과정을 통해 취출 된다. 이러한 과정을 통해 금형은 수지의 충전, 보압 및 냉각에 의한 압력과 온도의 극심한 변화를 겪으며 금형의 수명을 좌우하게 된다.

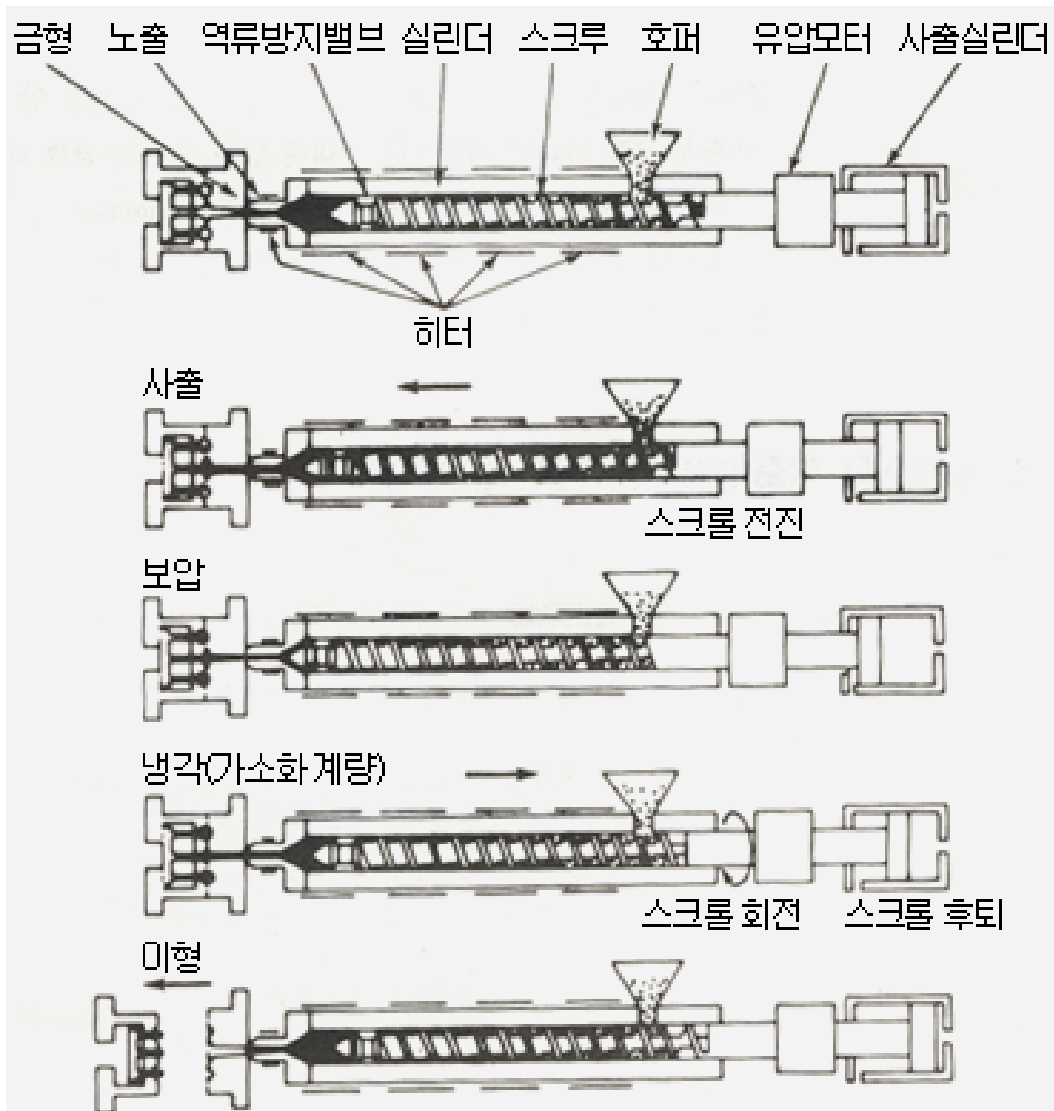


Fig. 1.1 Dough forming process and breaking of detergent

1.1.2 연구 목적

오랜 시간 동안 플라스틱 사출 금형 산업에 종사하는 엔지니어들에게 풀어야 할 숙제 중 한가지가 금형이 겪게 되는 압력과 온도의 변화를 이용하여 금형의 강도를 예측 할 수 있는가 하는 문제 였다. 사출에 사용되는 금형은 작게는 수십 개에서 수십만 개에 이르는 동일 제품을 생산하여야 한다. 이런 가혹한 과정을 통해 금형은 때로 파괴 또는 특정 부분이 파단이 되어 더 이상 제품의 생산에 사용 될 수 없게 됨을 Fig 1.2 나타내었다.

이러한 금형의 파단을 미리 예측하거나 적어도 Cavity 내의 특정 취약 부분이 겪게 되는 응력의 정도를 파악하는 것만으로도 금형의 사용 주기를 늘리는데 도움이 될 것이다. 본 연구에서는 이를 위하여 Rib 구조가 포함된 간단한 형상의 모델을 통하여 금형이 사출 과정 동안 온도와 압력 변화를 경계 조건으로 한 금형의 강성을 해석을 통하여 금형의 강도를 예측하는 방법을 통하여 금형의 취약 부분에 대한 예측을 하는 방법에 대하여 연구하여 보도록 하겠다.

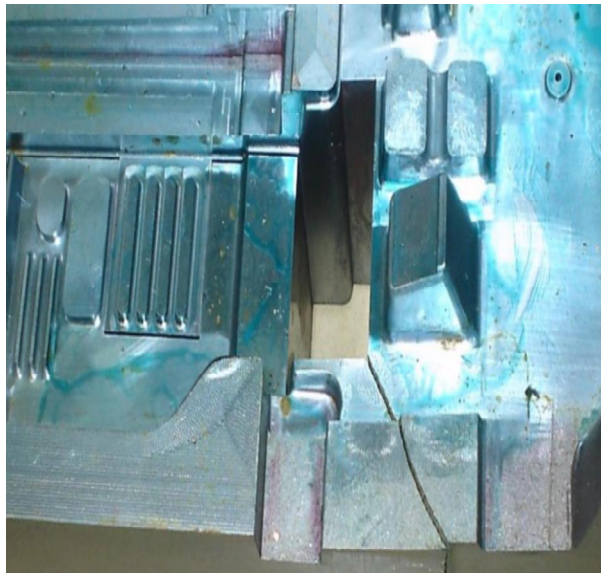


Fig. 1.2 Mold fracture surface

1.2 국내 · 외 기술 동향

1.2.1 국내 기술 동향

세계 자동차 경량화 연구 초기엔 알루미늄 합금은 부품 제작 시 엔진 블록 등 중심으로 적용되었지만 최근엔 후드뿐 아니라 펜더, 루프, 도어 등 확대 적용하고 있다. 자동차에 적용되는 알루미늄 합금은 차량 무게의 11% 규모이지만 점차 확대되어 25년 경에는 14% 이상 적용될 예정이며, 특히 차체와 도어, 범퍼 부품위주로 적용될 전망이다. 세계 각국의 연비 기준 강화에 따라 쉐보레, 포드, 아우디 등 선진 자동차 업계의 경우 알루미늄 합금 차체 적용을 확대시키고 있다. 국내 또한 20년부터 연비 및 이산화탄소 규제 강화로 경량화 적용을 위한 소재 개발 및 용접법, 성형, 표면처리법 연구되고 있다.

1.2.2 국외 기술 동향

전 세계 금형(HS Code 8480) 생산량은 2016년 성장이 둔화되었다가 2017년을 접어들면서 회복세를 보이고 있다. GTA(Global Trade Atlas) 통계에 의하면, 최근 3년간 전 세계 금형 생산량은 2015년 371억 2,800만 달러에서 2016년 365억 5,700만 달러로 1.5% 감소했으나, 2017년 397억 9,200만 달러로 전년대비 8.8% 증가한 것으로 나타났다. 2017년 기준 한국의 금형 거래량은 20억 14만 달러로 중국(56억 1,600만 달러), EU 28개국(47억 6,700만 달러), 미국(36억 3,600만 달러), 독일(28억 7,900만 달러) 등.. 8위를 기록했다.

프레스 및 플라스틱 사출금형 (HS Code 848071)의 전 세계 생산량도 증가하고 있다. 금형중 플라스틱 등을 사출 또는 압출하는 금형의 전 세계 생산량은 2016년 233억 7,900만 달러, 2017년 258억 9,900만 달러로 전년대비 10.8% 상승했다.

Table.1.1 Top 10 countries in mold trading volume worldwide (HS Code 8480)

(Unit: \$One million,%)

국가	2015년	2016년	2017년	변동	생산량
중국	5,668	5,250	5,616	7.0	14.1
EU 28(대외)	4,222	4,211	4,767	13.2	12.0
미국	3,194	3,218	3,636	13.0	9.1
독일	2,445	2,483	2,879	15.9	7.2
일본	2,211	2,403	2,461	2.4	6.2
이탈리아	1,976	1,965	2,264	15.2	5.7
멕시코	1,871	2,124	2,071	△2.5	5.2
한국	2,072	1,937	2,014	4.0	5.1
캐나다	1,427	1,403	1,662	18.5	4.2
프랑스	770	734	881	10.5	2.0
전 세계	37,128	36,557	39,792	8.8	100.0

주) △는 감소(-)를 의미 함

1.3 실험 소재 특징

1.3.1 플라스틱 분류

플라스틱은 열가소성 Resin과 열경화성 Resin으로 구분할 수 있다. 또한 열가소성 Resin은 비결정성 Resin과 결정성 Resin으로 나눌 수 있다. 이와 같이 각각의 Resin마다 물성이 있기 때문에 무언가를 개발하기 전 꼭 제품이 가져야 할 필요 특성을 우선적으로 파악하고, Resin의 물성 또한 정확히 파악하여야 한다. 만약 제품이 가져야 할 특성을 생각하지 않고 제품 개발을 진행한다면 Resin을 다시 검토해야 하는 경우가 발생하고, 이로 인하여 제품 설계와 금형을 신규로 제작하여야 하는 등 비용과 시간이 다시 투자하여야 함으로 부담이 매우 커지게 된다.

Table.1.2 Plastic taxonomy

구 분	수지 명명	약 호	비 고
열경화성 수지 (Thermo-setting Resin)	Urea수지	UF	
	멜라민 수지	MF	
	페놀 수지	PE	
	불포화폴리에스테르수지	UF	
	에폭시 수지	EP	
	디아릴프탈레이트 수지	DAP	
	폴리아미드 비스말레이드	PABI	
	실리콘 수지	SI	
	열경화형 폴리이미드	PI	
열가소성 수지 (Thermo-Plastic Resin) (범용 플라스틱) (범용엔지니어링플라스틱)	폴리에틸렌	PE	●
	폴리스티렌	PS	○
	폴리프로필렌	PP	●
	폴리염화비닐	PVC	○
	폴리메틸메타크릴수지	PMMA	○
	ABS수지	ABS	○
	폴리아미드(Nylon)	PA	●
	폴리아세탈	POM	●
	폴리카보네이트	PC	○
	변성폴리페닐렌옥사이드	MPPO	○
폴리부틸렌 테레프탈레이트	PBT	●	
폴리에틸렌 테레프탈레이트	PET	●	
(슈퍼엔지니어링 플라스틱) (비열가열성)	폴리페닐렌 설파이드	PPS	●
	폴리 숄폰	PSF	○
	폴리에테르숄폰	PES	○
	폴리아릴레이트	PAR	○
	폴리아미드이미드	PAI	○
	폴리에테르이미드	PEI	○
	폴리에테르에테르케톤	PEEK	●
	용융형 액정수지	LCP	●
	폴리테트라플로로에틸렌	PTFE	○
	전방향족 폴리에스테르	-PE	○
	폴리이미드	PI	○

<6> 사출금형설계(임상헌) p43~44 플라스틱의 열적성질에 의한 분류

1.3.2 열가소성 플라스틱 특성 및 종류

열가소성 플라스틱(熱可塑性-,thermoplastic, thermosoftening plastic)은 열을 받으면 녹고, 온도를 용융점 이하로 내리면 다시 고체 상태로 돌아가는 고분자이다. 대부분의 열가소성 플라스틱은 적은 분자의 힘으로 상호작용하는 고분자 화합물에 의하여 만들어진다. 열경화성 플라스틱과는 열경화성 플라스틱과 다르게 온도가 높으면 원상태로 되돌아 가는 특성이 있어 재 활용 할 수있으며, 일반적으로 분자구조는 분자간에 작은 상호작용이 가능한 선형 구조로 이루어져 있다.

열가소성 이 플라스틱의 종류로는 나일론(Ny), 폴리에틸렌(PE), 폴리옥시메틸렌(POM), 폴리에틸렌(PE) 등이 있고 비정질 열가소성 플라스틱의 종류로는 폴리카보네이트(PC), 폴리스티렌(PS), 폴리염화비닐(PVC) 등이 있다.

1) 아크릴

투명 플라스틱관, 안전용 헬멧, 비행기 창문, 함선의 감시 포트, 자동차 외부 렌즈 등 유리 제품으로 대신하여 사용한다. 이것은 문자와 로고를 포함한 간판을 만드는데 널리 사용하고 있다. 의료계에서는 뼈와 수정체 렌즈로 만들어 대체 사용 한다.

2) ABS

인체에 미치는 위험성이 적어 핸드폰, 냉장고, 세탁기, 청소기 등의 재료로 사용되며 충격성과 견고성이 좋은 경량 소재로 인하여 생활 주변에 많이 사용되고 있다.

3) 나일론

기존 실크로 사용되던 여성복, 방탄조끼, 목화 등으로 사용되던 제품에 대용으로 사용되고 있으며, 특히 내열성 소재의 제품을 생산하는데 널리 이용되고 있다. 기계적 특성 또한 좋아 기계 나사와 소형기어, 전동제품의 외관을 감싸는 제품등으로도 이용되고 있다.

제 2 장 연구 방법

1장은 본 연구의 배경 및 목적과 국내외 금형 기술의 방향과 공정의 원리 및 소재의 특성에 대해 서술하고 특성을 주안점으로 고찰하였다.

2장에서는 연구의 이론적 배경 및 CAE 해석에 필요한 연속방정식, 모멘텀 방정식, 에너지 방정식, 응력 및 변형을 관계식에 대해 기술하였으며, 이를 바탕으로 사출 성형 및 금형 구조 해석 조건, 해석에 필요한 ABS의 점도, PVT 관계, 비열, 열전도도, 비열 및 기계적 물성값을 기술하였다.
또한 성형 해석에 필요한 공정 및 금형 구조 해석 조건을 적용하여 연구에 필요한 기본적인 조건들을 기술하였다.

3장에서는 사출 성형 및 금형 구조 해석을 통하여 충전 및 보압, 냉각 해석, 금형 구조 해석 결과 금형 수명에 미치는 영향은 비미함하다는 결론을 도출하였다.

2.1 연구의 이론적 배경 및 지배 방정식

사출 성형 해석과 관련된 가장 기본적인 지배 방정식은 보존의 법칙이다. 즉 미세 기본 관제역(Control Volume)을 모델로 사용하는 질량, 모멘텀 및 에너지 보존의 법칙이 그것이다. Fig. 2.1에서 보는 바와 같이 미소 요소에 임의의 시간 동안에 들어가고 나오는, 또는 생성되는 물리량의 변화를 고려해 볼 수 있다. 이 미소 요소에 대한 값을 모두 더하여 거시 시스템(Macro System)의 전체적인 측정 값을 얻을 수 있다. 범용 관제역의 체적(Universal Control Volume)은 유체 및 속도 벡터장 “ v ” 내에서 음영 처리된 영역으로 표시된다. dS 는 차등 표면 영역 요소(Differential Surface Area Element)로서 해당 단위의 외부 표면 법선 벡터 (Normal Vector) “ n ” 과 함께 표시된다. 보다 보존 법칙에 대한 상세한 내용은 참고 문헌 [1],[2]을 통하여 알 수 있다.

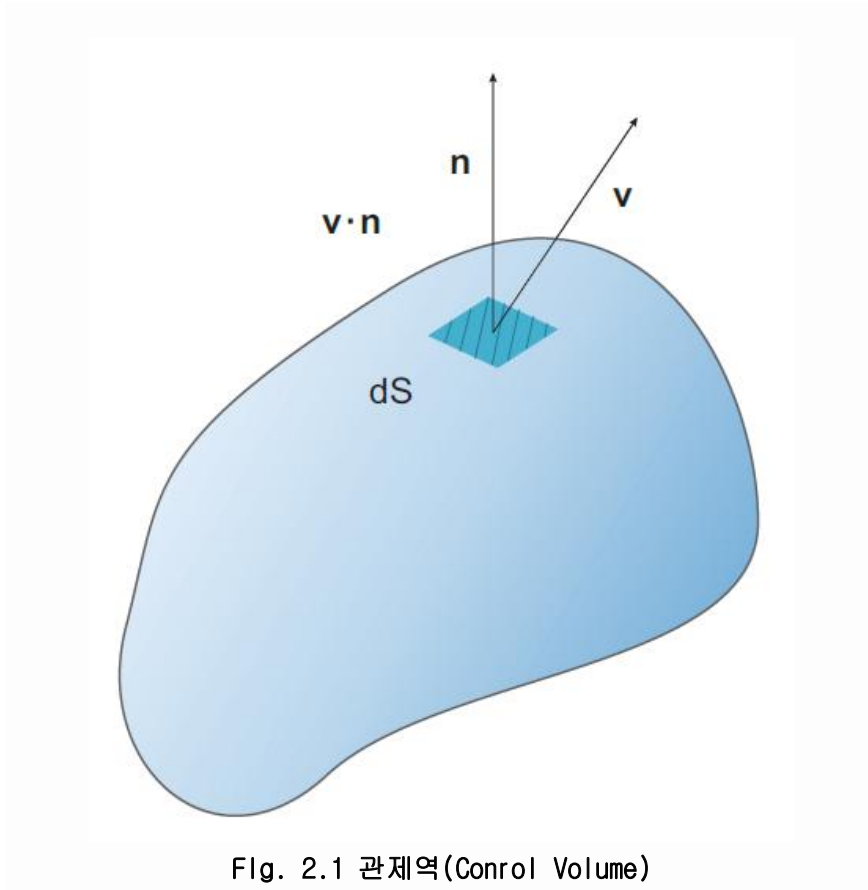


Fig. 2.1 관제역(Control Volume)

2.1.1 연속 방정식 (Continuity Equation)

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (\text{식 2.1})$$

여기서 ρ 는 밀도(density), t 는 시간(time) 및 v 는 속도 벡터(velocity vector)를 나타낸다. 식(2.1)은 가장 일반적인 연속 방정식 이다

2.1.2 모멘텀 방정식 (Momentum Equation)

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho v) + \nabla \cdot (\rho v v) = -\nabla p + \rho g + \nabla \cdot \tau \quad (\text{식 2.2})$$

여기서 g 는 중력(gravity) τ 는 전단응력(Shear Stress) 이다.

2.1.3 에너지 방정식 (Energy Equation)

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho C_p T) + \nabla \cdot (\rho C_p v T - k \nabla T) = \eta \gamma^2 + \Delta H \quad (\text{식 2.3})$$

여기서 T 는 온도(Temperature) C_p 는 비열(Heat Capacity), k 는 열 전도도 계수(Thermal Conductivity Coefficient), η 는 유체의 점도(Viscosity of the fluid) , γ 는 전단 률 (Shear Rate) 그리고 ΔH 는 발열(Heat of generation)이다.

2.1.4 응력 및 변형을 관계식 (Stress-Strain Relation Equation)

$$\epsilon = \epsilon_{\sigma} + \epsilon_T = \frac{\sigma}{E} + \alpha \Delta T \quad (\text{식 2.4})$$

여기서 ϵ 는 변형률(Strain), σ 는 응력(Stress), E 는 영의 계수 (Young's Modulus), α 는 열 팽창 계수(Coefficient of Thermal Expansion), ΔT 는 온도 변화 이다.

위의 4개의 방정식이 사출 성형 해석에 적용되는 가장 일반적인 지배 방정식 이다. 특수 공정이나 특수 수지가 사용되는 사출 성형의 경우 또 다른 지배 방정식이 필요하다. 본 연구에서는 4가지의 수학적 모델을 지배 방정식으로 하는 분야에 대해서만 논의 하도록 하겠다.

사출 과정 중 금형이 격계 되는 하중의 종류는 크게 두가지로 나눌 수 있는데, 압력의 변화에 대한 이력과 온도 변화에 대한 이력이 있다. 이 두가지의 조합 이력에 의해 금형은 과도한 응력 발생으로 변형을 일으키거나 파단을 일으킬 수 있다. Fig. 2.2에서 보는 바와 같이 금형의 재질에 대한 탄성 및 소성 영역에서의 정확한 기계적 및 열적인 물성치가 필요하다. 본 연구의 범위에서는 소성 영역(B~Rupture)을 제외한 탄성 영역(A~B)에 대한 결과 만을 고찰하기로 하겠다.

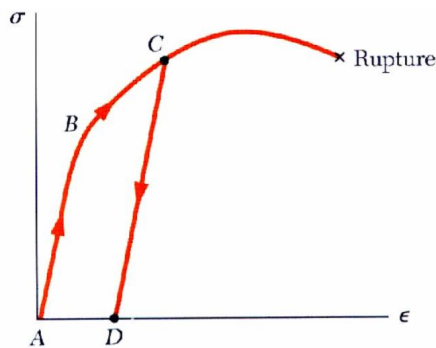


Fig. 2.2. Stress-Strain Relationship of Mold Material

2.2 사출 성형 및 금형 구조 해석 조건

2.2.1 사출 성형 해석 조건

Fig. 2.3와 같이 박스 형의 기본 구조에 하단에 Rib가 있는 형태의 Sample 유한 요소 모델을 준비 하였다. 시험적인 해석 접근에서는 가장 간단한 판상 형태의 유한 요소 모델을 가장 많이 사용하는데, 본 연구에서는 금형의 응력 및 변형을 고려하여 박스 형태에 Rib 구조를 더하여 압력 및 온도에 의한 영향이 나타나도록 설계 하였다.

일반적인 성형 해석 에서 금형은 경계조건으로 설정 하거나, 통상적으로 Cavity 및 Mold Base 전체를 하나로 유한 요소 모델 하여 사용한다. 본 연구를 위하여 금형 구조 모델을 실제 금형의 형태 대로 Fig. 2.4와 같이 각각 유한 요소 모델 하였다.

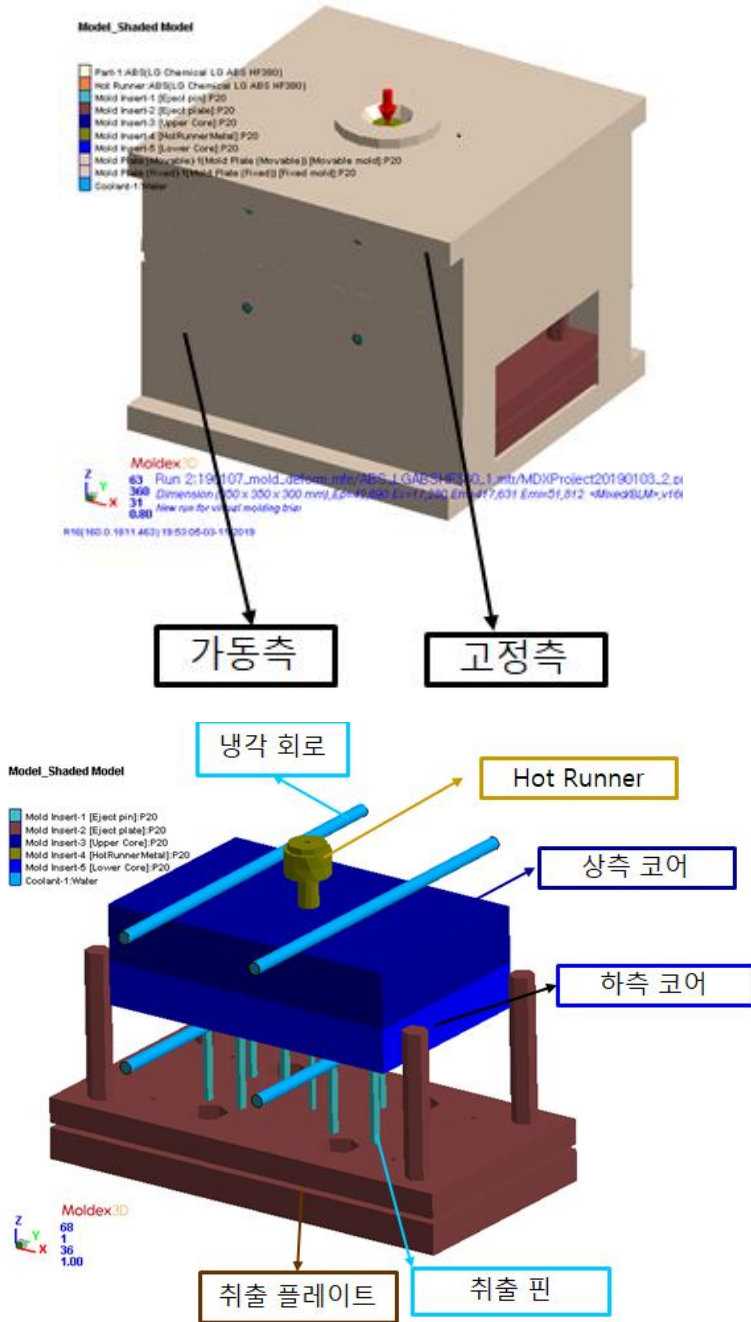


Fig. 2.3 Mold structure model detail

고정측(상형)과 가동측(하형)의 Mold Base를 각각 모델 하였으며, 핫 러너 및 냉각 회로도 실제 금형과 동일 하게 모델 하여 사용 하였다. 또한 Mold Base 내부의 상측 코어 및 하측 코어를 각각 모델 하여 사용 하였으며, 취출핀과 취출 플레이트도 각각 모델 하여 사용 하였다.

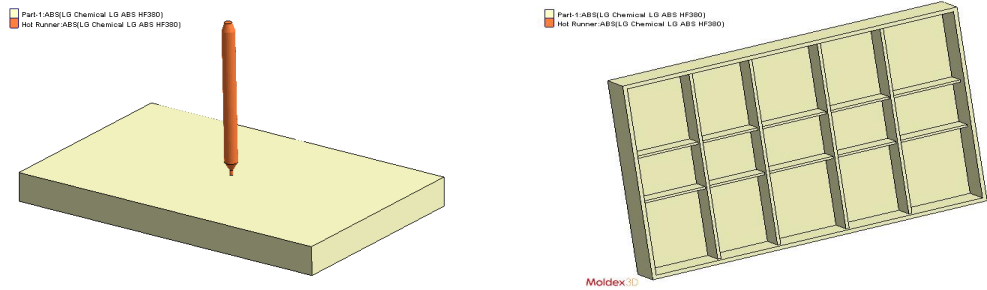


Fig. 2.4 Sample model for analysis (product and hot runner configuration)

2.2.2 사출 성형 해석 용 플라스틱 수지 데이터

모든 해석과 마찬가지로 사출 성형 해석에는 3가지 준비 조건이 있다. 실제 사출 공정과 마찬가지로 금형이 준비되고, 사출에 사용될 수지가 준비 되어야 하며, 사출에 필요한 사출기가 있어야 한다. 사출 성형 해석도 이와 마찬가지로, 금형에 해당되는 유한요소 모델, 사출에 사용되는 수지 데이터 및 사출기에 해당되는 공정 조건이 필요하다. “3-1. 해석을 위한 Sample 모델의 구성”에서 설명한 바와 같이 유한 요소 모델을 준비 하였다. 사출 성형에 사용되는 수지는 실제 사출에서 사용되는 수지의 특성을 대표하기 위하여 몇가지 중요한 물성값을 측정하여 사용 한다. 사출 성형 해석에 사용되는 대표적인 물성 값은 점도, PVT 관계, 비열, 열전도도, 비열 및 기계적 물성 값 이다 [2]. 이외에 점탄성 데이터가 필요 하다. 본 연구에 사용된 물성값은 Fig. 2.5 ~ Fig. 2.10 같으며, 수지는 LG화학의 ABS 수지를 사용하였다.

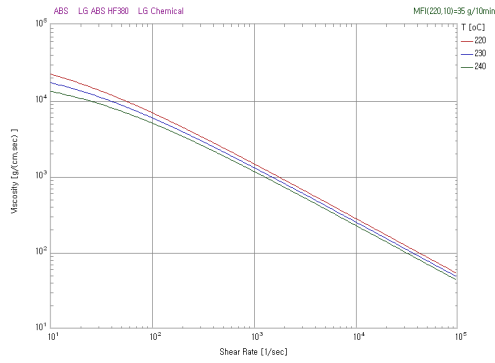


Fig. 2.5 Viscosity

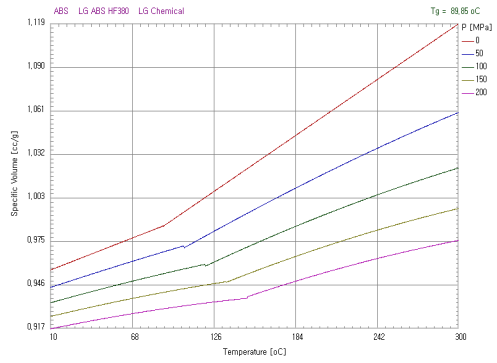


Fig. 2.6 PVT Line chart

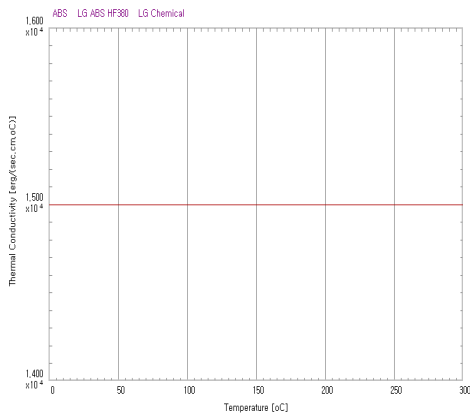


Fig. 2.7 Thermal Conductivity

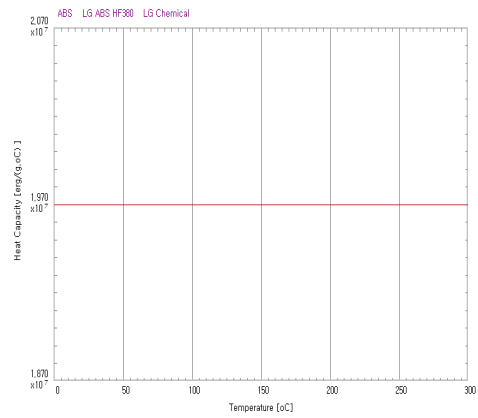


Fig. 2.8 Heat Capacity

Polymer Grade Name Producer	ABS LG ABS HF380 LG Chemical
Mechanical Properties	Pure polymer - Anisotropic properties
Poisson's ratio v12	0.392 (-)
Poisson's ratio v23	0.392 (-)
Modulus E1 (flow direction)	2.3e+010 (dyne/cm ²)
Modulus E2 (transverse direction)	2.3e+010 (dyne/cm ²)
Shear Modulus G	8.05e+009 (dyne/cm ²)
CLTE a1 (flow direction)	0.00011 (1/K)
CLTE a2 (transverse direction)	9.1e-005 (1/K)

Fig. 2.9 Mechanical Properties

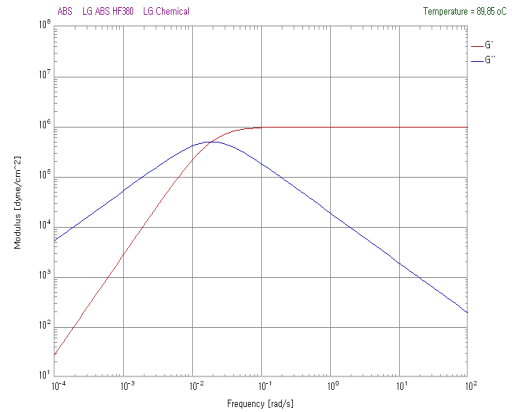


Fig. 2.10 Visco-Elasticity

2.2.3 사출 성형 해석 공정 조건

다음으로 사출기에 해당되는 공정 조건을 살펴 보도록 하겠다. 공정 조건은 사출기에 입력되는 값과 같이 각 공정 단계별로 설정을 해야 한다. 즉 충전, 보압 및 냉각과 취출에 대한 조건들을 입력 하여야 한다. 본 연구에서 사용된 기본 공정 조건들을 Fig. 2.11 및 Fig. 2.12에 요약하여 놓았다.

Fig. 2.11과 Fig. 2.12는 전체 공정에 대한 조건들을 포함하고 있다. Fig. 2.13의 충전 및 보압 조건 중 해당 시간을 살펴 보면, 충전 시간이 3초 및 보압시간이 10초로 설정 되어 있다. 통상적인 보압의 시간은 충전시간의 1.5배 ~ 2배 정도를 설정 하며, 수축이 심한 제품의 경우 충전 시간의 3배까지도 설정을 하기도 한다. 또한 보압 시간을 길게 설정하는 제품 군에는 렌즈와 같이 초정밀 제품의 경우 수축을 최소화 하면서 서냉을 시키는 효과를 보기 위하여 긴 보압 시간을 설정 하기도 한다.

이러한 보편적인 효과와는 무관하게 본 연구 에서는 보압 시간을 길게하여 제품에 미치는 압력, 즉 동시에 금형에 미치는 압력의 영향을 분석하기 위하여 긴 보압 시간을 설정 하였다. 공정에 사용된 용융수지의 온도는 230도 및 금형의 온도는 75도를 사용 하였다. Fig. 2.13 는 충전 속도 이며, Fig. 2.14 의 충전 시간 동안의 충전 압력을 나타낸다. 최대 충전 압력은 Fig. 2.12 에서 확인 할 수 있는데, 250MPa로 설정 하였고, 냉각 시간은 20초, 금형 열리고 닫히는 시간은 5초로 설정하여, 총 사이클 시간을 38초로 설정 하였다. 취출에 필요한 적정 온도는 수지회사에서 추천한 89도로 설정 하였다.

Fig. 2.15은 보압 압력 이며, 충전에 필요한 최대 충전압의 80%를 보압 압력으로 사용하라는 조건이다.

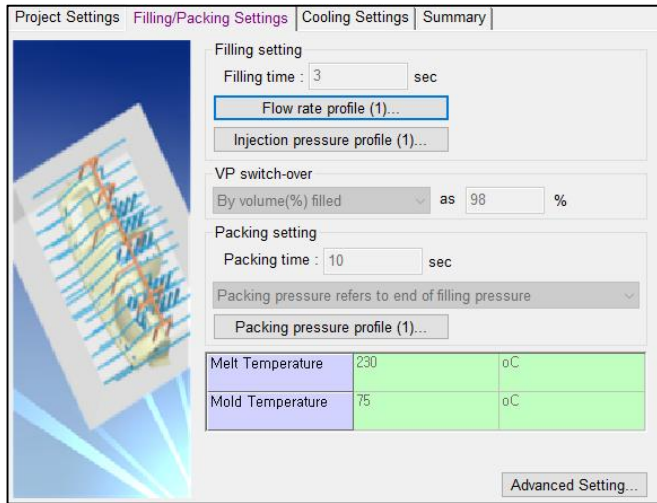


Fig. 2.11 Fill and Pack Conditions Tab

[Filling]	
Filling time (sec)	3
Melt Temperature (oC)	230
Mold Temperature (oC)	75
Maximum injection pressure (...)	250
Injection volume (cm^3)	124,935
[Packing]	
Packing time (sec)	10
Maximum packing pressure (...)	250
[Cooling]	
Cooling Time (sec)	20
Mold-Open Time (sec)	5
Eject Temperature (oC)	89
Air Temperature (oC)	25
[Miscellaneous]	
Cycle time (sec)	38
Residence time for hot runner ...	39,3324
Mesh file	190107_mold_deform.mfe

Fig. 2.12 Cooling and Blowout Conditions Tab

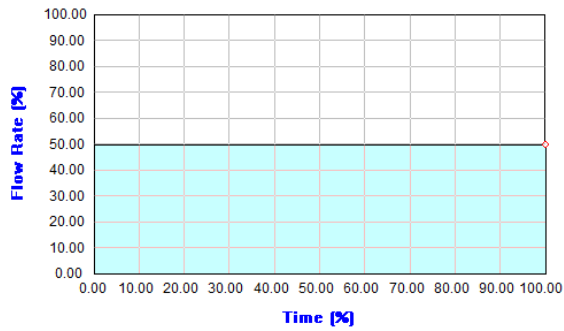


Fig. 2.13 Filling speed (3 sec)

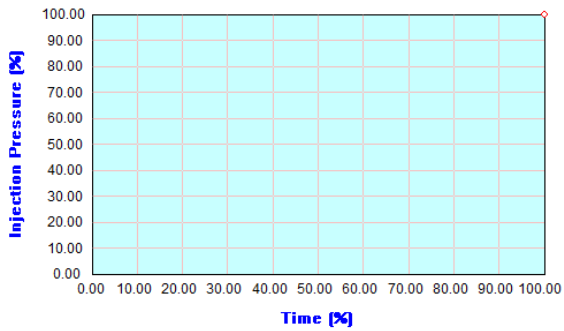


Fig. 2.14 Filling pressure (maximum pressure)

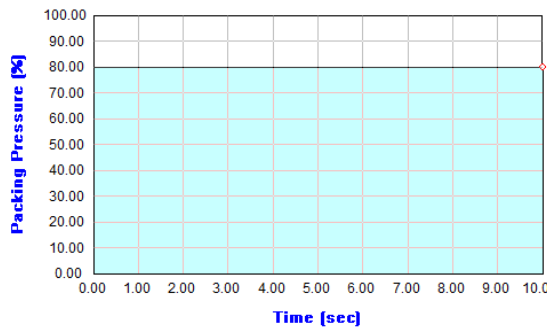


Fig. 2.15 Holding pressure (80% of charge voltage)

2.2.4 사출 금형 구조 해석 조건

사출 과정 동안의 압력 및 온도 변화를 경계조건으로 금형의 열-변형 해석을 진행하였다. Fig. 2.16은 외곽의 Mold Base를 제외한 금형 구조를 나타낸 그림이다. 금형 구조 전체에 대한 해석을 진행하였지만, 온도와 압력의 주요한 경계 조건이 상측 및 하측 코어 부분으로 주어지는 점을 감안하여, 이 부분에 대한 결과만을 표시하여 고찰해 보도록 하겠다.

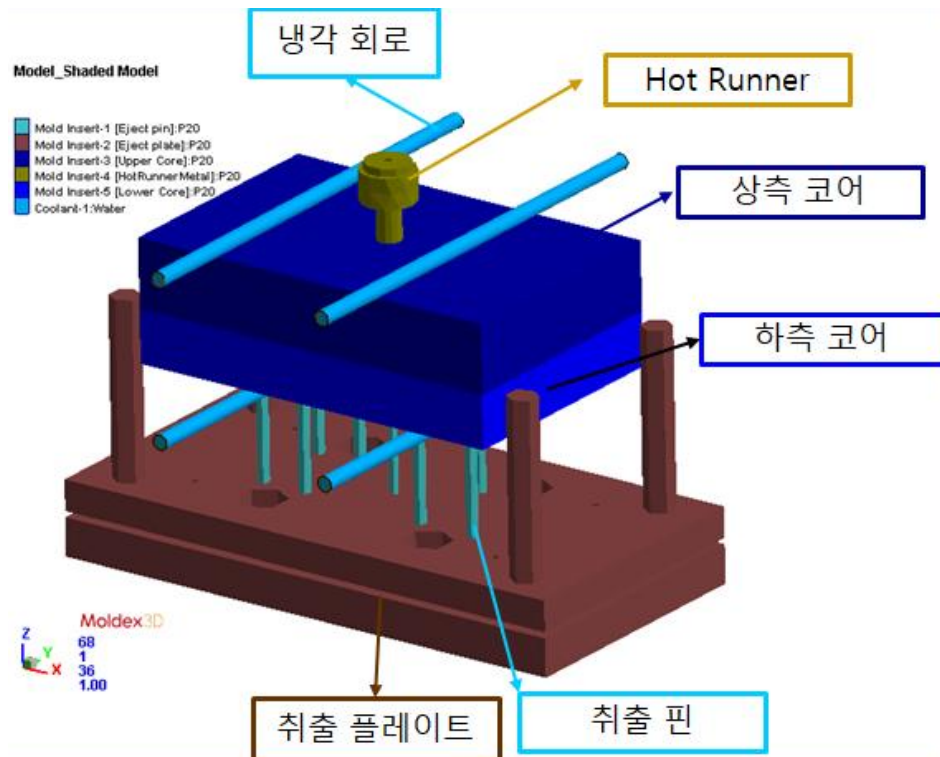


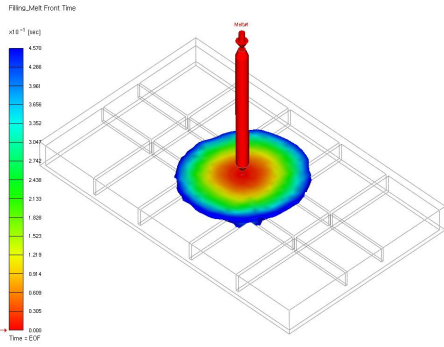
Fig. 2.16 Main mold structure

제 3 장 연구 결과

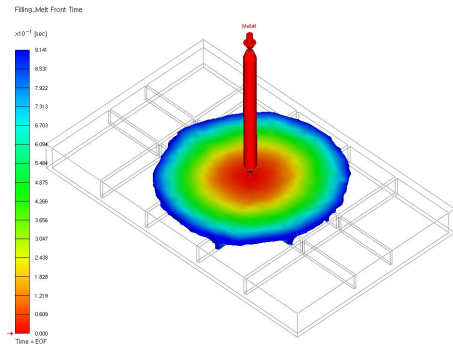
3.1 사출 성형 및 금형 구조 해석

3.1.1 충전 및 보압 해석 결과

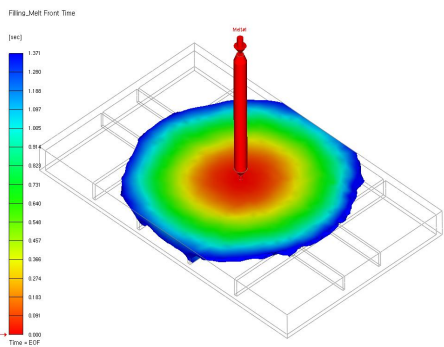
사출 과정 동안 금형, 특히 용융 수지가 주입되어 제품을 형성하는 코어 부분은 다양한 형태의 외력을 받게 된다. 외력 중 가장 복잡한 형태의 외력이 압력 및 온도이다. 어떤 시간 동안에 코어의 어떤 부분이 어떤 압력을 받게 되고 용융된 뜨거운 수지가 어떤 부분에 흘러 들어 갈 때 어떤 온도의 외력을 받는가 하는 것을 잘 살펴 보아야 한다. 우선 충전 과정 중 용융 수지가 금형의 코어 부분을 채워가는 수지 충전 패턴을 살펴 보도록 하겠다. Fig. 3.1은 시간의 경과에 따른 충전의 패턴과 각 영역이 채워진 실제 시간을 나타낸다. Fig. 3.1. (f) 에서 마지막 채워지는 부분을 확인 할 수 있으며, 전체적으로 좌우로 대칭되게 수지가 잘 채워져 가고 있음을 알 수 있다.



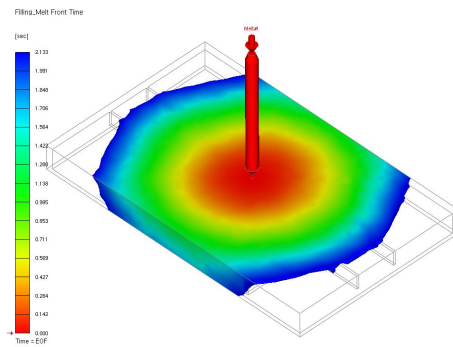
(a) 15% Filling (0.45sec)



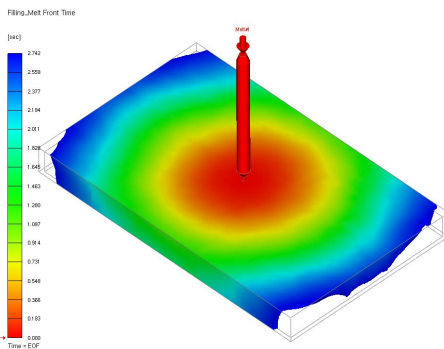
(b) 30% Filling (0.91sec)



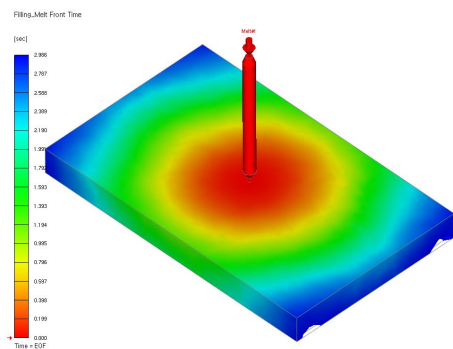
(c) 45% Filling (1.37초)



(d) 70% Filling (2.13초)



(e) 90% Filling (1.37초)

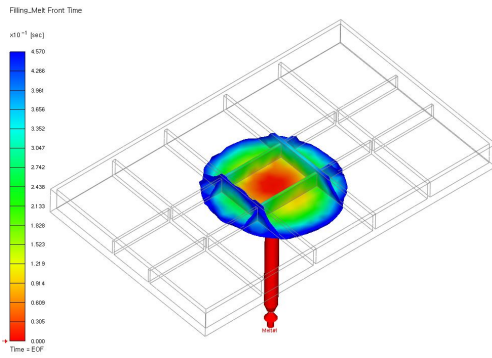


(f) 98% Filling (2.13초)

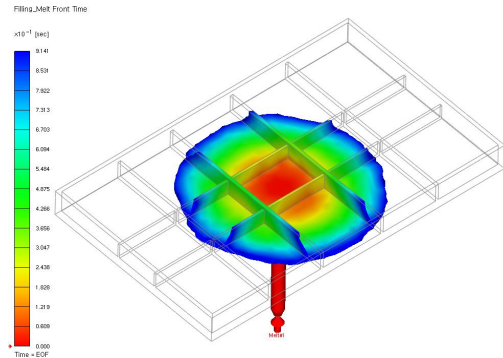
Fig. 3.1 Patterns of Charging Over Time and Each Region

이미 기술한 바와 같이 금형이 받게 되는 중요한 인자가 되는 압력과 온도 중 압력에 대하여 먼저 살펴 보도록 하겠다. 온도 분포는 “3-2 (d) 냉각 해석 결과에서 살펴 볼 것이다. 하단의 Fig. 3.2는 제품을 하형 에서 바라본 충전 패턴 이다.

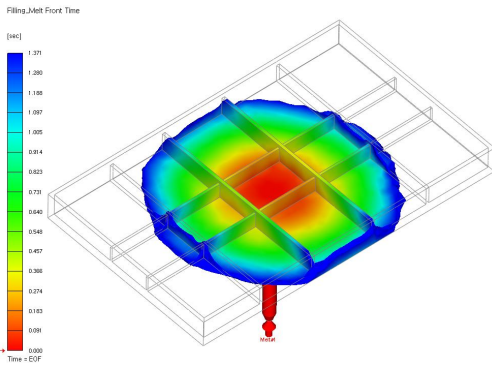
Fig. 3.2는 제품의 충전 및 보압 과정 동안 스프루에서 나타나는 시간에 따른 압력 이력을 보여 주고 있다. 최대 압력은 25.5 MPa 이다.



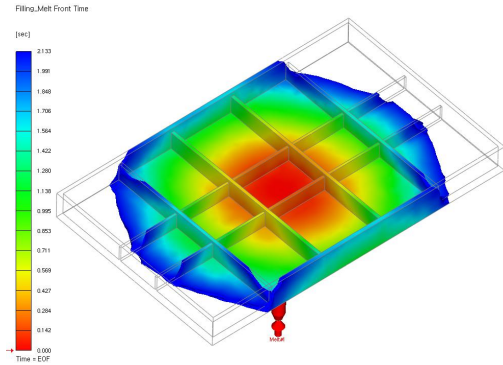
(a) 15% Filling (0.45초)



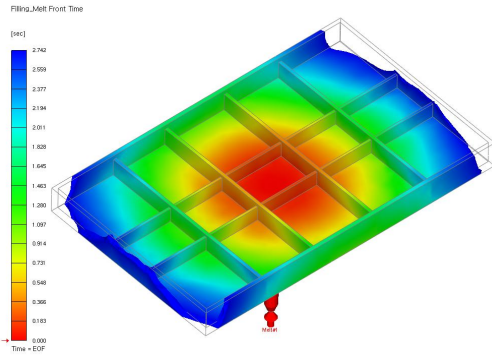
(b) 30% Filling (0.91초)



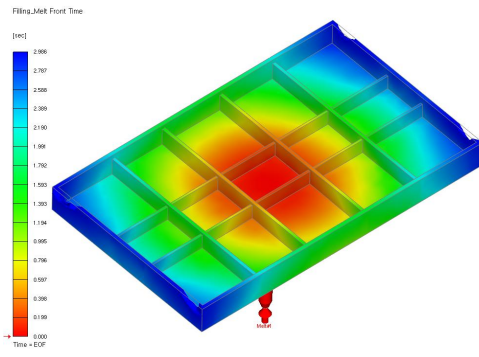
(c) 45% Filling (1.37초)



(d) 70% Filling (2.13초)



(e) 90% Filling (1.37초)



(f) 98% Filling (2.13초)

Fig. 3.2 Charging pattern viewed from the bottom

이미 기술한 바와 같이 금형이 받게 되는 중요한 인자가 되는 압력과 온도 중 압력에 대하여 먼저 살펴 보도록 하겠다. 온도 분포는 “3-2 (d) 냉각해석 결과에서 살펴 볼 것이다.

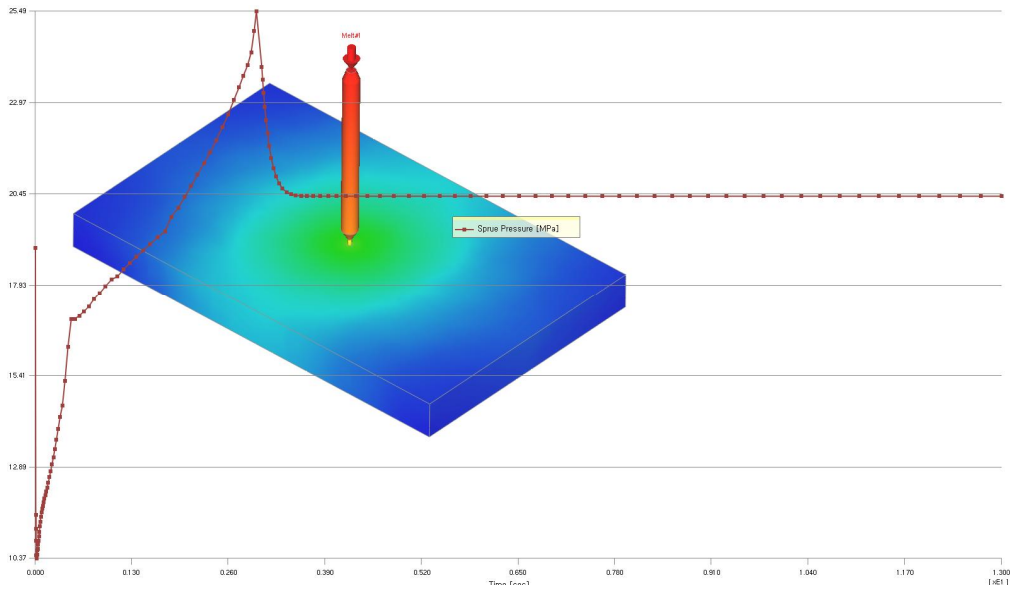
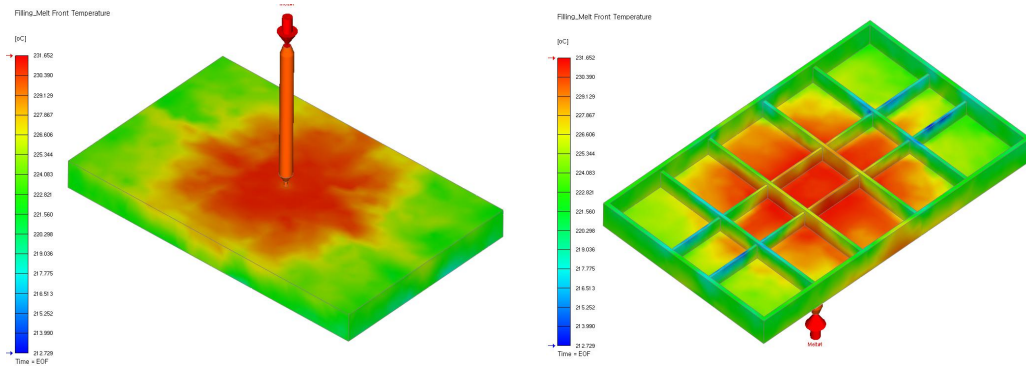


Fig. 3.3 Sprue pressure history during product filling and packing

Fig. 3.3는 제품의 충전 및 보압 과정 동안 스프루에서 나타나는 시간에 따른 압력 이력을 보여 주고 있다. 최대 압력은 25.5 MPa 이다.

Fig. 3.4은 수지가 충전 할 때 각 영역을 지나는 온도 분포를 표시한 그림 이다. 사출 시 용융 수지의 온도가 230도, 금형의 온도가 75도 인 것을 감안하면 금형에 의해 수지가 냉각된 온도 보다는 수지가 가지고 있는 점탄성의 특성에 의해 전단 발열이 일어나 온도가 상승한 것임을 알 수 있다.



**Fig. 3.4 Filling temperature distribution of resin during filling
 (212.8 °C ~ 231.7 °C)**

충전과 보압 과정 동안 금형의 코어면에 가해진 압력과 온도 분포는 해석에서 얻어진 값을 기초로 하여 금형의 강성 해석에 경계조건으로 부여 된다.

3.1.2 냉각 해석 결과

냉각은 뜨거운 수지가 사출한 후 차가운 금형면에 접촉하면서 시작된다. 따라서 냉각과정은 사출 및 보압과정을 포함 한다. 하지만 냉각시간의 의미는 보압력이 제거된 후 수지의 온도가 취출온도까지 도달하는 시간이다. 일반적으로 제품의 약 80% 영역이 고화되고 스프루와 런너 및 게이트가 제품 취출에 문제가 되지 않을 때까지를 냉각시간으로 여긴다. Fig. 3.5 과 같이 냉각시간은 전체 사출 싸이클 중 약 60~70%로 가장 긴 시간을 차지 한다.

냉각 해석의 가장 큰 목적은 정확한 제품 표면의 온도를 계산 하는 것이다. 유동 해석은 제품 표면 온도가 설정된 값으로 일정하다고 가정하여 해석 한다. 하지만 실제 냉각수 위치와 설정조건 , 그리고 제품 두께와 형상에 의해 금형 온도는 달라진다. 일정하지 않는 금형온도는 유동과 변형에 영향을 미친다.

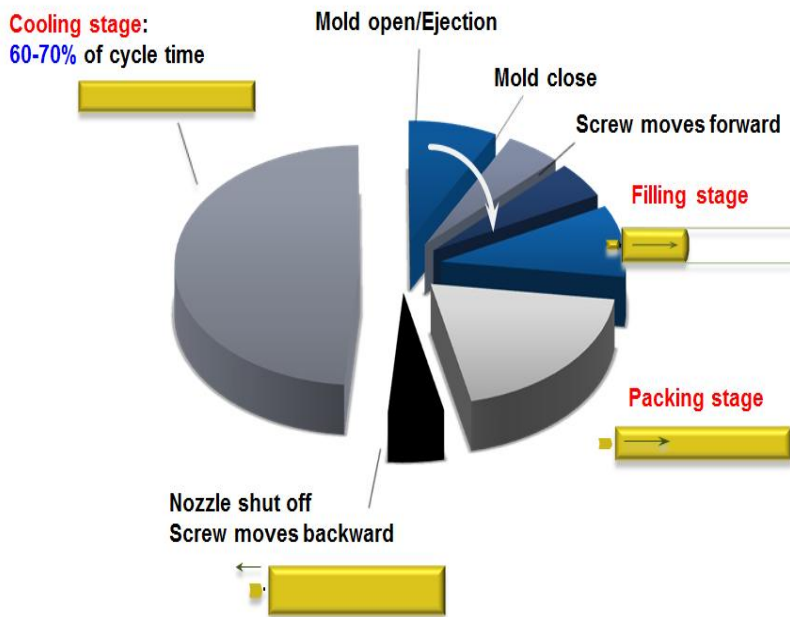
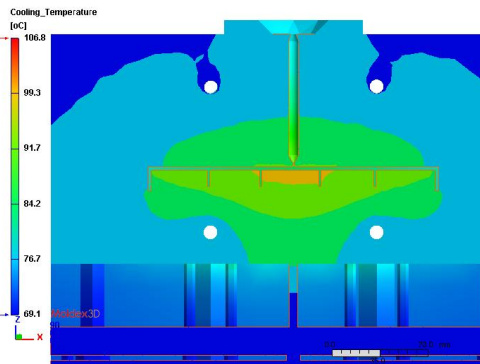


Fig. 3.5 Injection Molding Cycle

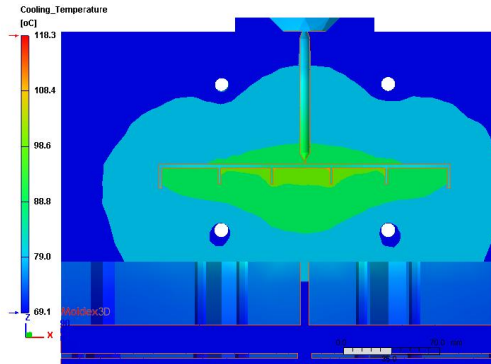
냉각 해석은 최적 냉각 시스템의 설계를 통해 빠르고 균일한 금형냉각을 이루어 제품 품질 향상과 사이클 타임 감소를 이룰 수 있도록 하는 해석이다 [3].

하단의 Fig. 3.6는 충전, 보압, 냉각 및 이형 시의 금형의 온도 분포를 나타낸 그림이며, 금형의 온도 만을 표시하기 위하여 러너 및 제품은 포함 시키지 않았다.

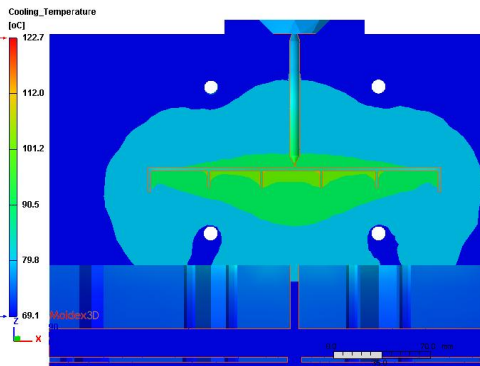
각 단계별로 시작과 과정 중 및 단계가 끝난 시점의 온도 분포를 표시하여 놓았다, 즉 예를 들면 충전 시작, 충전 중간 단계 및 충전 완료 단계 등 사출 전단계에 대한 금형의 온도 분포를 그림에 표기 하였다.



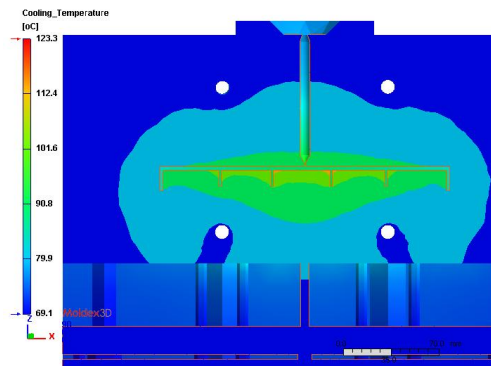
(a) Filling (0.31초)
69.1 °C ~ 106.8 °C



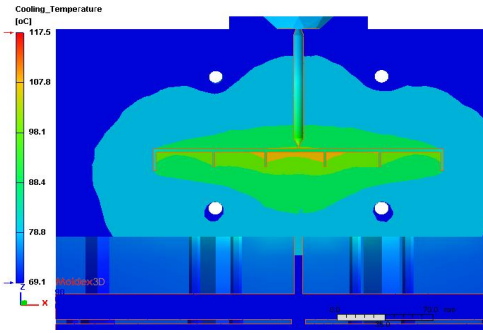
(b) Filling (1.57초)
69.1 °C ~ 118.3 °C



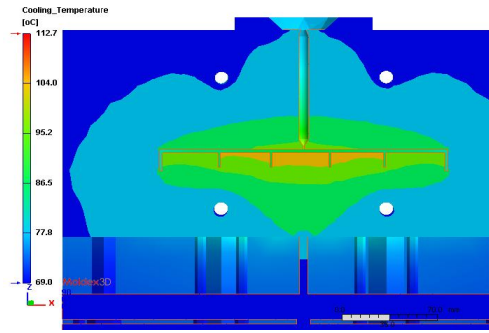
(c) Filling (2.9 초)
69.1 °C ~ 122.7 °C



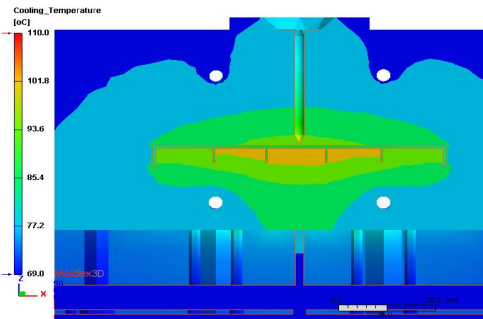
(d) Start packing (4.0 초)
69.1 °C ~ 123.3 °C



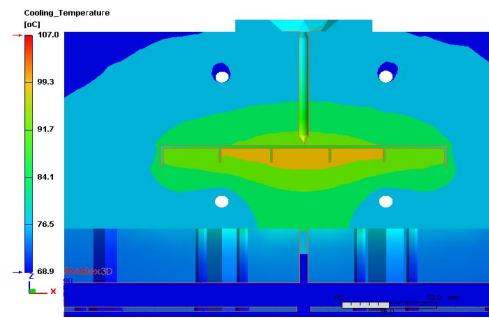
(e) Holding (8.0 초)
69.1 °C ~ 117.5 °C



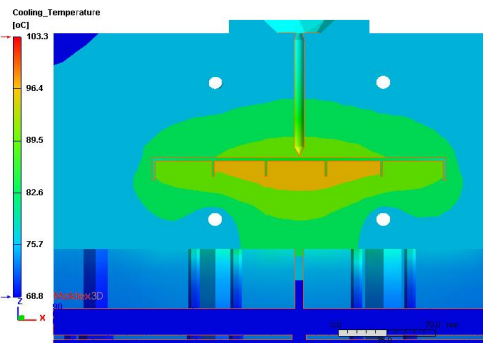
(f) Pressurization (13.0 초)
69.0 °C ~ 112.7 °C



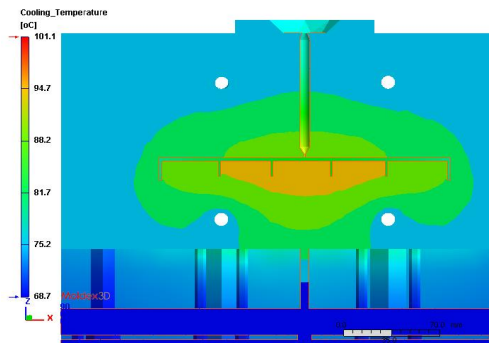
(g) Start cooling (17.0 초)
69.0 °C ~ 110.0 °C



(h) Cooling (23.0 초)
68.9 °C ~ 107.0 °C



(i) Cooling (33.0 초)
68.8 °C ~ 103.3 °C



(j) Mold opening (38.0 초)
68.7 °C ~ 101.1 °C

3.6 Mold temperature distribution during filling, packing, cooling, and release

이렇게 얻어진 각 단계 별의 온도 분포가 금형의 강성 해석에 사용이 된다. 전체의 온도분포 변화 중 제품의 하코어에 해당하는 Rib 부분에 온도가 집중되어 금형의 열전도 관점에서 좀더 큰 변형이 예측이 된다.

적용된 해석의 결과는 한 사이클을 기본으로 하여 해석된 결과를 사용하지만, 실제 금형에 대하여 결과를 분석하기 위하여 세번 이상의 사이클에 대한 결과를 분석하여 사용 하였다.

Fig. 3.7은 전체의 온도가 평형을 이루기까지의 온도 변화를 나타낸 그래프 이다. 실제 사출에서 한번의 시험 사출 만으로 온도 평형에 이르지 않고 수번 이상의 사출을 통하여 금형 및 제품의 온도가 평형 상태를 유지하게 된다. 이러한 실제 사출을 해석에 반영한 것이다.

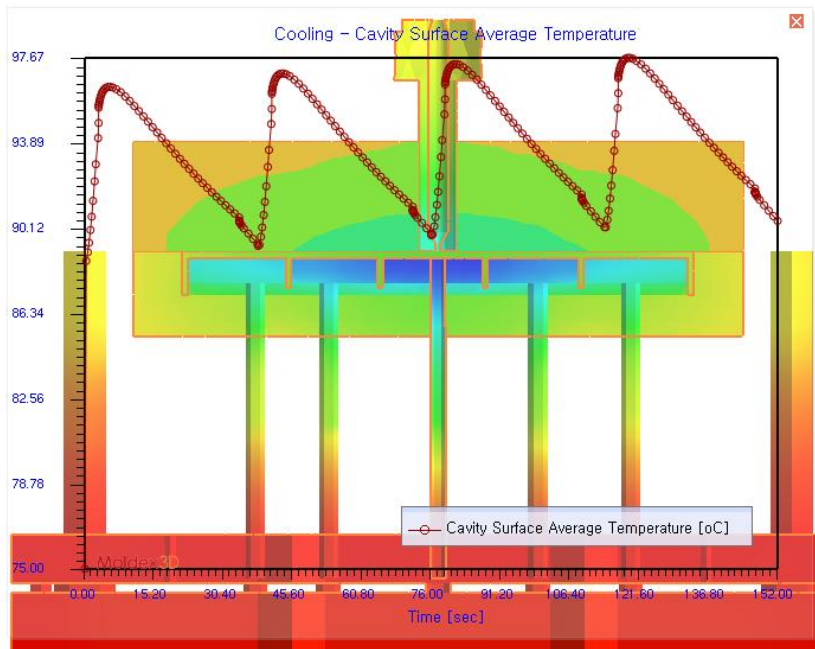
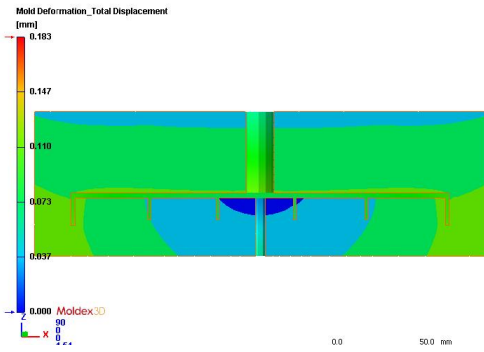


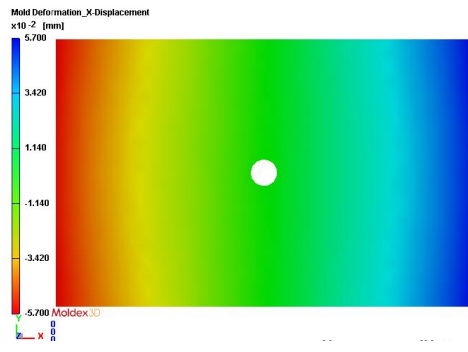
Fig. 3.7 Main mold structure

3.1.3 사출 금형 구조 해석 결과

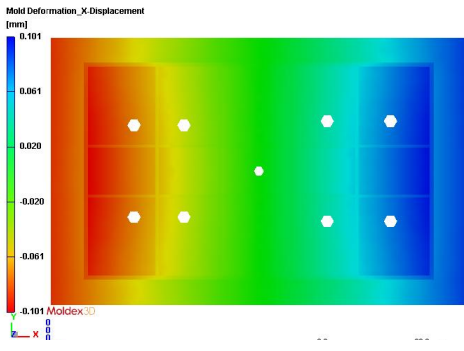
Fig. 3.8은 상코어, 하코어의 전체 변형값 및 각 방향 별 변형 수치를 표시 하였다.



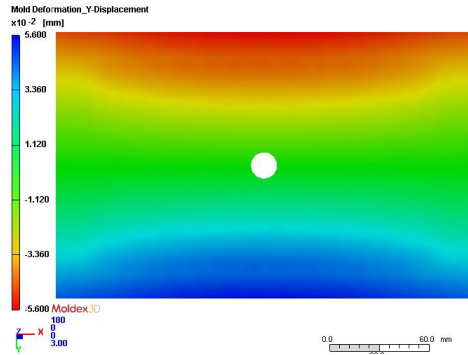
(a) Total transform
0.0 mm ~ 0.183 mm



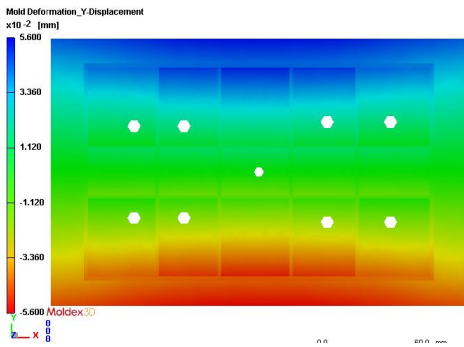
(b) Cavity Core X-axis
-0.057 mm ~ 0.057 mm



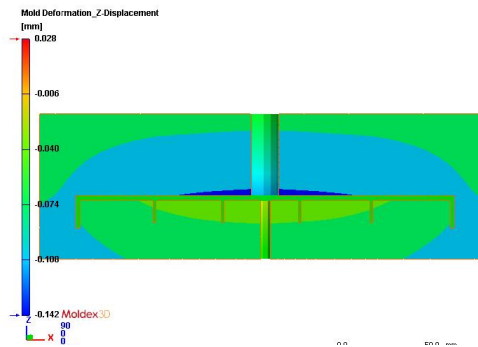
(c) Core X-axis transform
-0.101 mm ~ 0.101 mm



(d) Cavity Core Y-axis
-0.146 mm ~ 0.146 mm



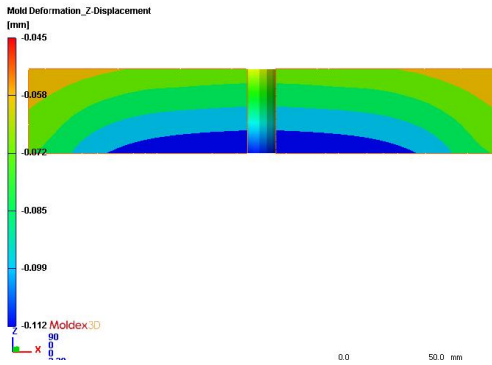
(e) Y-axis transform
-0.056 mm ~ 0.056 mm



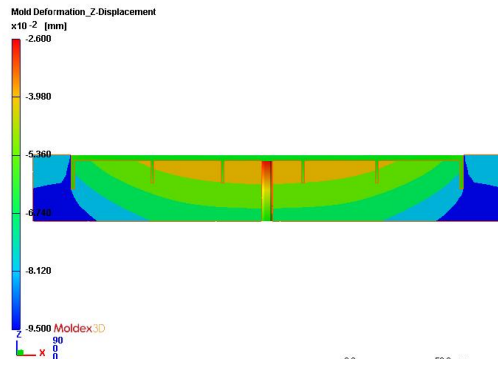
(f) Z-axis transform
-0.142 mm ~ 0.028 mm

Fig.

3.8 Total strain of upper core, lower core and strain value in each direction



(a) Cavity Z-axis transform
 -0.112 mm ~ -0.045 mm (0.067 mm)

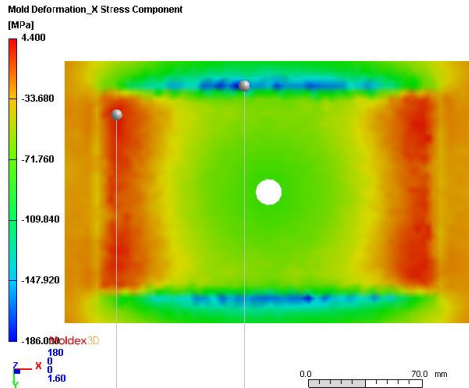


(b) Core Z-axis transform
 -0.095 mm ~ -0.026 mm (0.069mm)

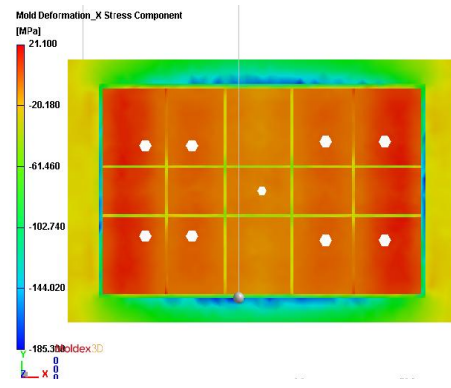
Fig. 3.9 CAVITY CORE & CORE Transform

Fig. 3.9 에는 Cavity Core(상코어)와 Core(하코어)를 나누어 Z-방향 변형을 도시하여 놓았다. 상코어와 하코어의 변형중 하코어의 변형이 미소하지만 좀더 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 스프류 및 압력의 방향이 하코어 방향으로 향하고 “3-2-4. 냉각 해석 결과”의 분석에서 전술한 바와 같이 발생하는 열의 집중도 하코어쪽에 집중되어 코어 금속의 열변형에 다소간 영향을 미친 것으로 판단이 된다.

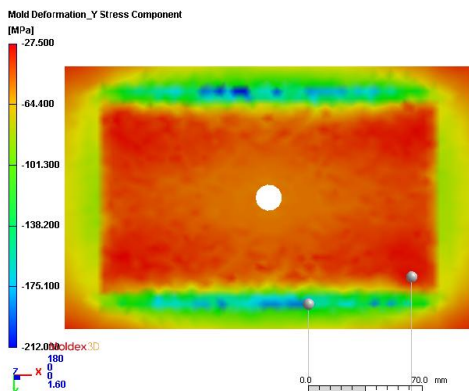
다음으로 상코어 및 하코어의 파단과 직접 관련이 있는 응력값에 대하여 살펴 보도록 하겠다. 총 7가지 응력 중 Fig. 3.10에 법선 성분 3개의 응력을 방향 별로 표시 하였다.



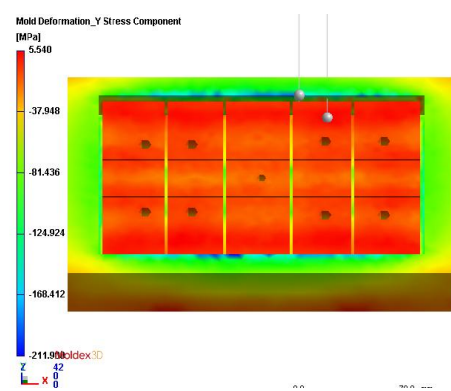
(a) Cavity Core X-axis Normal stress -186 MPa ~ 4.4 MPa



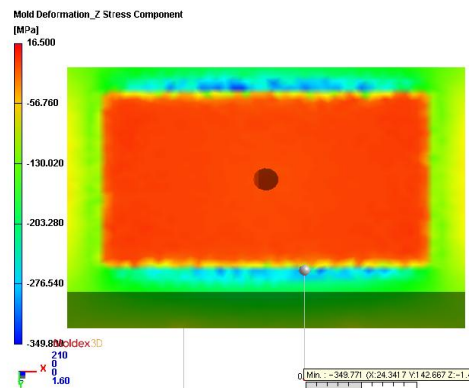
(b) Core X-axis Normal stress -185.3 MPa ~ 21.1 MPa



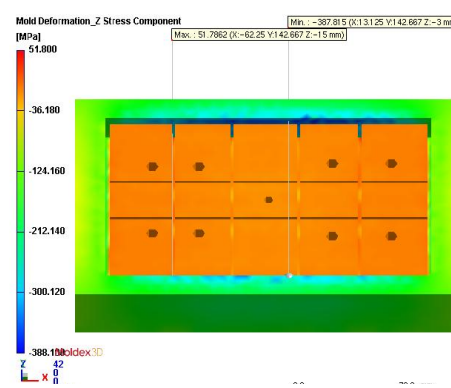
(c) Cavity Core Y-axis Normal stress -212 MPa ~ -27.5 MPa



(d) Core Y-axis Normal stress -212 MPa ~ 5.54 MPa



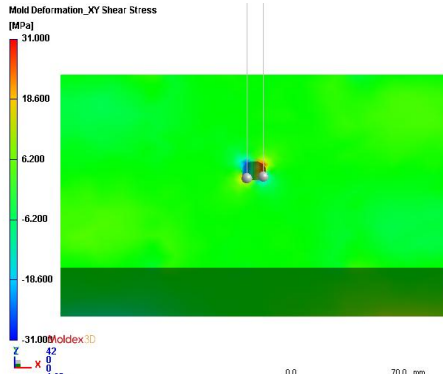
(e) Cavity Core Z-axis Normal stress -349.8 MPa ~ 16.5 MPa



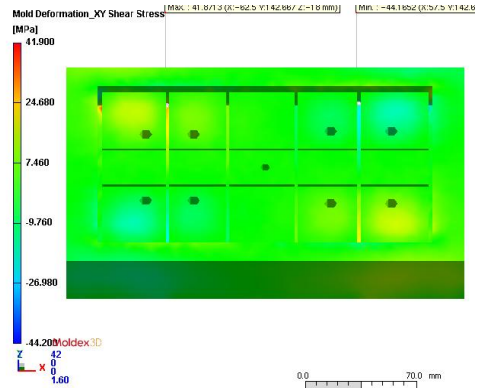
(f) Core Z-axis Normal stress -388.1 MPa ~ 51.8 MPa

Fig. 3.10-1 CAVITY CORE & CORE Directional Stress Distribution

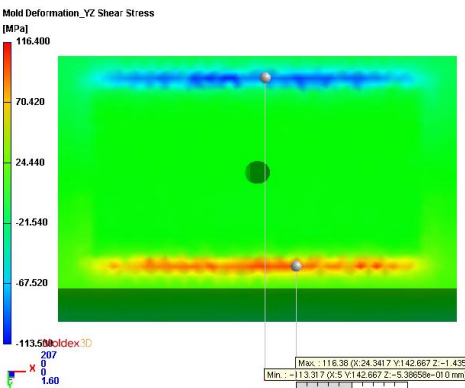
상코어의 법선 응력의 경우 하코어와 닿는 끝부분과 제품 상면의 위치에 최대치의 응력 분포를 보이고 있으며, 하코의 경우 제품의 측벽 및 리브의 중간 부분에 최대치의 응력 분포를 보이고 있다. 상코어 및 하코어 모두 Z-방향의 법선 응력이 가장 높은 수치를 보여주고 있다.



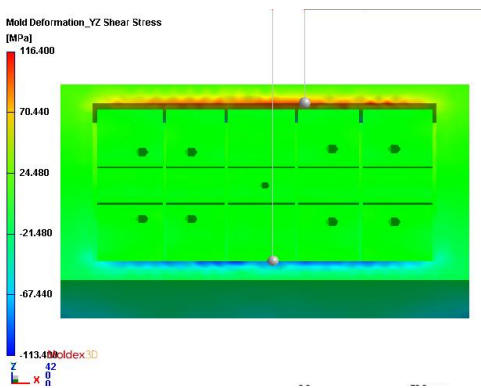
(a) Cavity Core XY-axis Shear stress stress -31 MPa ~ 31 MPa



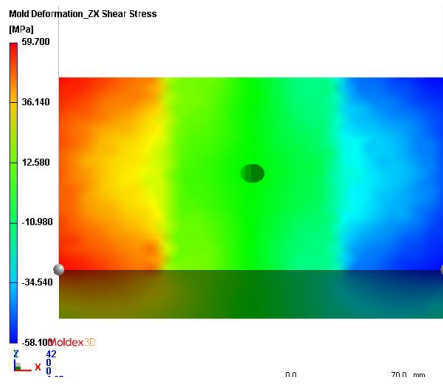
(b) Core XY-axis Shear stress stress -44.2 MPa ~ 41.9 MPa



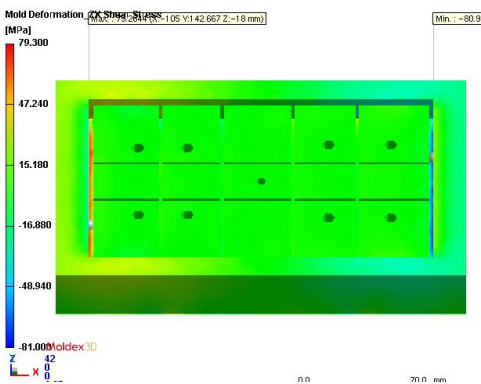
(c) Cavity Core YZ-axis Shear stress stress -31 MPa ~ 31 MPa



(d) Core YZ-axis Shear stress stress -113.4 MPa ~ 116.4 MPa



(e) Cavity Core ZX-axis Shear stress -58.1 MPa ~ 59.7 MPa



(f) Cavity Core ZX-axis Shear stress -81 MPa ~ 79.3 MPa

Fig. 3.11 Normal Stress Distribution by CAVITY CORE & CORE Direction

상코어의 전단 응력의 경우 하코어와 닿는 끝부분의 위치에 최대치의 응력 분포를 보이고 있으며, 하코어의 경우 제품의 측벽 및 끝단 Rib의 바닥면에 최대치의 응력 분포를 보이고 있다. 법선 응력의 경우 상코어 및 하코어 모두 법선 응력에 비해 낮은 수치의 응력 값을 보여주고 있다.

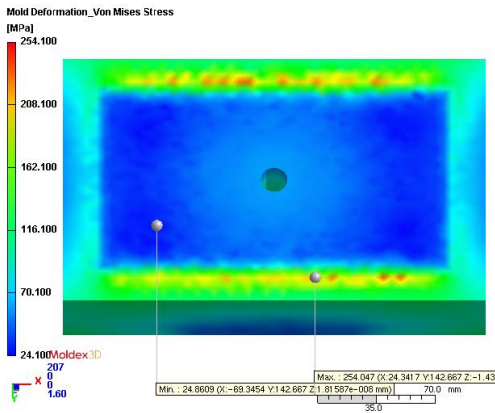


Fig. 3.12-1. Cavity Von-Mises Stress 24.1 MPa ~ 254.1 MPa

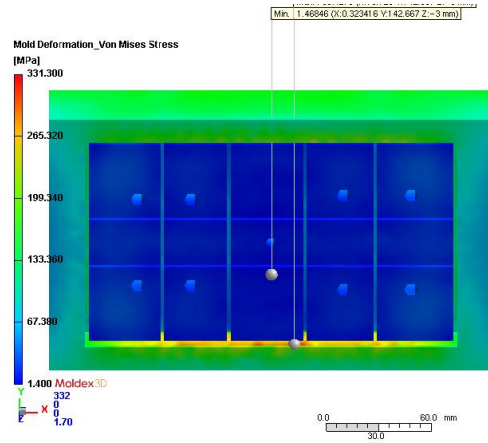


Fig. 3.12-2. Core Von-Mises Stress 1.4 MPa ~ 331.3 MPa

Fig. 3.12 Von-Mises Stress Distribution

마지막으로 실제 파단 여부를 가늠해 볼 수 있는 “Von-Mises 응력” 값을 Fig. 3.12에 표시하여 놓았다. 상코어 보다는 하코어 쪽에 보다 높은 수치의 응력 수치를 보여주고 있다. 이 수치를 금형 용 금속재료의 열처리 후 인장 강도와 비교하여 탄성에 의한 파괴를 예측 할 수 있다.

제 4 장 결 론

본 연구는 일상생활에 많이 사용되는 플라스틱 제품을 대량 생산하기 위한 금형을 제작하기 전 사출 조건에 대한 금형 강도 예측에 관한 연구를 진행하고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 제품의 충전 및 보압 과정시 최대 충전 압력 250MPa 기준 최대 압력은 25.5 Mpa로 안전계수 80%로 보았을 때 약 12.8%로 금형 수명에 미치는 영향이 미비함을 알 수 있었다.
- 2) 사출시 용융 수지의 온도가 230도, 금형의 온도가 75도 기준으로 점탄성으로 금형 온도는 218.8 °C ~ 231.7 °C로 상승되나, 용융온도 230 °C 도 기준 20 °C 편차 범위 내 변동으로 온도 변화에 따른 금형 수명에 미치는 영향은 미비함을 알 수 있었다.
- 3) 상코어와 하코어의 Z축 변형 확인 결과
 상코어 -0.112mm ~ - 0.045mm(0.067mm), 하코어 -0.095mm ~ -0.026mm(0.069mm)의 변형이 발생하여 하코어의 변형이 상코어 변형보다 미세하게 0.02mm 적게 나타난다.
 이는 냉각 해석 결과 스프류 및 압력의 방향이 하코어 방향으로 향하고 발생하는 열이 하코어에 집중되어 코어 금속의 열 변형이 발생함으로 다소간 영향을 미친 것으로 판단된다. 하지만 이는 금형 수명에 미비하게 영향을 주는 것으로 판단 되었다.

참고문헌

- [1] R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot, Transport Phenomena, Revised 2nd ed., New York, USA: John Wiley & Sons, (2007).
- [2] Maw-Ling Wang, Rong-Yeu Chang, Chia-Hsiang(Davis) Hsu, Molding Simulation and Practice : Hanser
- [3] Moldex3D User' s Manual
- [4] NX7.5 가이드북(첨담복스)
- [5] Jaap Schijve, Fatigue of Structures and Materials 2nd ed., USA:Springer
- [6] 사출금형설계(임상헌) p43~44 플라스틱의 열적성질에 의한 분류
- [7] 최신 사출 금형 설계(유중학, 박광희) p305 ~ 323 사출성형 불량
- [8] 삼성전자 플라스틱 금형용 표준서(금형팀) p45 2단 2025 금형 평면도

감사의 글

대학원 석사과정을 시작하고 논문이 나오기까지 앞에서 끌어주시고 많은 지혜를 나눠주지 않으셨다면 이렇게 논문이 나올 수 없었을 것이기에 다시 한번 감사의 인사들 드립니다.

용접.접합이라는 아주 생소한 저에게 끝까지 낙오하지 않게 지금까지 이끌어 주신 방희선 교수님께 진심을 담아 감사 드립니다.

또한 대학원 과정동안 인생의 조언과 용접.접합이라는 기술을 아낌없이 가르쳐 주시고 마지막 논문까지 심사를 맡아주신 방한서 교수님. 손윤철 교수님께도 다시한번 감사의 마음을 전합니다.

“스승의 은혜는 하늘 같다”는 말처럼 졸업이 끝이 아니라 스승과 제자로서 격려하고 도움을 함께 할 수 있기를 간절히 바랍니다.

학업과 직장생활을 함께하는 것이 쉽지는 않았지만 이해해 주시고 응원해주신 배려해주신 창성정밀(주) 정종호 대표이사님께도 감사 인사 드립니다