



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](#)

2023년 08월
석사학위 논문

사출성형 플래시 생성기구와 분할선 간격에 대한 연구

조선대학교 대학원

용접 · 접합과학공학과

정 홍 주

사출성형 플래시 생성기구와 분할선 간격에 대한 연구

A Study on the Injection Molded Flash Generation
Mechanism and Parting Line Gap

2023년 8월 25일

조선대학교 대학원

용접 · 접합과학공학과

정 흥 주

사출성형 플래시 생성기구와 분할선 간격에 대한 연구

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2023년 4월

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

정 흥 주

정홍주의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 손윤철 (인)

위 원 조선대학교 교수 방희선 (인)

위 원 조선대학교 교수 박철호 (인)

2023년 5월

조선대학교 대학원

목차

List of Figures	III
List of Tables	IV
Abstract	V
1장. 서론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 국내·외 연구 동향	2
1.3 연구 목적 및 내용	4
2장. 연구 방법	5
2.1 사출성형 해석조건 및 방법	5
2.2 이상모델 적용 사출성형 해석	7
2.3 타당성 검증 실험	8
3장. 연구 결과 및 고찰	10
3.1 이상모델 적용 사출성형 해석	10
3.1.1 두께와 위치에 따른 압력 변화	10
3.2 플래시 생성 특성	12
3.2.1 압력에 따른 특성	12
3.2.2 분할선 간격에 따른 특성	13

3.2.3 금형 및 용융수지 온도에 따른 특성	14
3.2.4 전단율, 평균유속, 점도에 따른 특성	16
3.2.5 열확산율과 고화시간에 따른 특성	18
3.3 분할선 최대 허용간격	21
3.4 타당성 검증	22
4장. 결론	24
참고문헌	26

List of Figures

Fig. 1.1	Flash defects	1
Fig. 2.1	Ideal model	6
Fig. 2.3	Injection product	8
Fig. 2.4	Equipment in Woojin DL900A5	8
Fig. 2.5	Injection molding conditions	9
Fig. 2.6	Analysis location of ideal model	9
Fig. 3.1	Changes of flash length according to pressure	13
Fig. 3.2	Changes of flash length according to gap	13
Fig. 3.3	Changes of flash length according to mold temperature	16
Fig. 3.4	Changes of flash length according to melting temperature	16
Fig. 3.5	Changes in time dependent;	
	(a) Shear rate	17
	(b) Velocity	17
	(c) Viscosity	17
Fig. 3.6	Viscosity of ABS HF380	17
Fig. 3.7	Comparison of modified thermal diffusivity and solidification time	20
Fig. 3.8	Maximum allowable gap by thickness variable	21
	(a) 2mm	21
	(b) 2.5mm	21
	(c) 3mm	21
Fig. 3.9	Flash defects of PP BI750 injection products	23
	(a) Mold temperature 30℃	23
	(b) Mold temperature 40℃	23
	(c) Mold temperature 50℃	23
Fig. 3.10	Viscosity of PP BI750	23

List of Table

Table. 2.1 Materials & model name	6
Table. 3.1 Hourly pressure rise rate of ideal model	11
Table. 3.2 Change Shear rate, Velocity, Viscosity in time dependent	17
Table. 3.3 Modified thermal diffusivity and solidification time of materials	20

ABSTRACT

A Study on the Injection Molded Flash Generation Mechanism and Parting Line Gap

Hong Ju Jung

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

Department of Welding and Joining Science
Engineering,

Graduate School of Chosun University

Flash defects have been studied in various fields. In this study, flash characteristics were studied by identifying the principle of generation of flash defects as a way to control and minimize flash defects. Material, product shape, product location, pressure, mold temperature, melting temperature, frozen time, and flash characteristics were analyzed to understand the principle of generation of flash defects. In addition, the characteristics of the flash and parting line gap were analyzed to predict the maximum allowable interval of the parting line where flash defects were not a problem.

Flash is a cosmetic defect affected by liquidity. Among the main generating factors of flash, if the material, temperature, and pressure are changed, the length of the flash changes a lot, so caution seems to be

needed. When adjusting the parting line gap, the flash length occurs in proportion to the three squares of the gap, so care should be taken not to exceed the maximum allowable interval.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

사출성형에서 플래시 결함은 제품을 생산할 때 가장 빈번하게 발생하는 결함 중 하나이다. 플래시 결함이란 제품의 외관에 발생하는 결함으로 플래시 결함이 발생하면 제품의 완성도 및 조립 문제 등 품질에 영향을 주고 심미적인 문제를 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 후가공 처리를 하여야 하는데 이는 비용 상승과 생산 기간이 길어지는 원인이 되기도 한다.

사출성형에 있어서 제품의 완성도를 높이기 위해서는 금형의 제작이 대단히 중요하다. 일반적으로 금형의 분할선에 간격이 있을 경우 플래시 결함이 발생한다고 생각한다. 플래시 결함을 막기 위한 방안으로 금형 제작 시 분할선의 간격을 없애기 위해 많은 비용과 기간을 소요하고 있다.[1] 만약 분할선의 간격에 틈새가 있어도 플래시 결함이 문제가 되지 않는다면 금형 제작비용 및 금형 제작기간을 줄일 수 있을 것이다. 따라서 플래시 결함의 생성 메카니즘을 파악하여 이를 제어 및 최소화하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

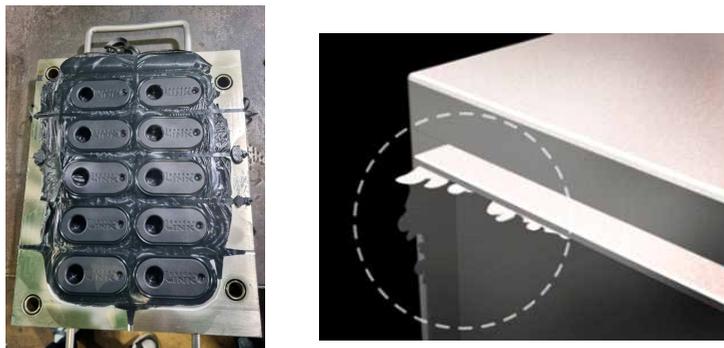


Fig. 1.1 Flash defects

1.2 국내 · 외 연구 동향

현재까지 플래시 결함에 대한 여러가지 분야에서 연구가 진행되어져 왔다. 플래시 결함은 단순히 품질 문제 뿐 아니라 초반 제품 생산을 위한 초기 세팅을 결정하는데 중요한 요소로 작용하게 된다. 현재 대부분의 작업자들이 정형화된 메커니즘에 의한 값이 아닌 작업자의 경험과 감에 의존하여 생산물의 반복 작업을 통해 수치를 결정하고 있는 실정이다. 만약 사출 실무자에게 경험과 더불어 플래시 생성 메커니즘의 이해가 뒷받침 된다면 생산성 향상에 영향을 줄 것이라고 생각한다.

G. O. SHONAIKE 등은 플래시의 원인은 명확하게 기록되어 있지 않고 과도한 압력과 부적절한 금형 환기가 언급되어 왔다고 이야기 하였다. PPS와 LSP의 혼합 재료를 사용함에 있어서 LSP의 함량에 따라 플래시가 변화한다고 이야기하였다.[2]

Higuchi H. 등은 이전의 실험 연구에서 용해 점도, 응고 온도 및 비뉴턴 특성이 증가함에 따라 플래시가 감소하는 것으로 나타났고, 사출 및 금형 온도, 사출 속도, 패킹 압력 및 금형의 균열이 플래시 생성에 영향을 미치는 것으로 보고 되었다고 발표하였다. 또한 연구를 통해 PPS에 GF의 첨가량을 다르게 적용하여 플래시 길이 변화를 분석하였다.[3,4]

Abdelkhalik Eladi 등은 PP와 ABS를 사용하여 품질 특성에 대한 사출 성형 공정 매개 변수 4가지(사출 속도, 압력, 용융수지 온도, 금형 온도)를 통해 부품 질량, 유동 길이 및 플래시 형성에 대해 연구하였다.[5]

Nikawa M. 등은 금형 분할면 사이의 간격을 계산하여 성형품에 형성되는 플래시의 예측 방법에 대해 연구하였다. 강철 금형과 알루미늄 합금 금형을 이용한 비교 성형 실험을 수행하고, 성형 중 금형의 상태를 측정 및 금형 변형을 분석을 통해

금형 간 간격을 계산하고 성형품의 플래시 결함에 대해 분석하였다. 이를 통해 금형 재료 간의 물성 차이와 분할선 간격과 플래시 간의 상관관계가 있다고 주장하였다.[6]

사출성형 시 발생하는 플래시 결함을 예측하는 연구는 많이 시도되고 있다. 하지만 플래시의 생성요인을 파악하여 플래시의 생성요인과 플래시 변화에 대한 연구는 부족한 실정이다. 또한 금형의 재료의 변화에 따른 플래시 변화에 대한 연구가 진행되었으나, 분할선의 간격 차이에 따른 플래시 변화에 대한 연구는 부족하다고 하겠다. 따라서 본 연구에서는 자주 사용하는 10가지 재료를 가지고 사출성형 플래시 결함의 생성원리의 변화에 따른 플래시 결함의 변화에 대해 알아보려고 한다. 더불어 분할선의 간격 변화가 플래시 결함에 어떠한 영향을 주는지 파악하여 플래시가 문제가 되지 않는 최적의 분할선의 최대허용 간격에 대해서도 알아보려고 한다.

1.3 연구 목적 및 내용

본 연구에서는 플래시 결함의 제어 및 최소화 방안의 도출을 위해 플래시 결함의 생성메커니즘을 파악하고자 한다. 또한 플래시 결함의 생성 메커니즘을 분석하여 플래시 결함이 문제가 되지 않는 최적 조건의 분할선 최대허용 간격을 예측하고자 한다. 아울러 수치해석의 타당성 검증을 위해 실제 실험을 통해 얻은 값과 수치해석을 통해 예측 한 값을 비교 평가하고자 한다. 본 연구의 연구 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 플래시 생성 메커니즘의 변화에 따른 플래시 결함의 특성

- ① 압력의 변화에 따른 플래시 결함 특성
- ② 형합면 분할선 간격에 따른 플래시 결함 특성
- ③ 금형 온도 변화에 따른 플래시 결함 특성
- ④ 용융수지 온도 변화에 따른 플래시 결함 특성
- ⑤ 점도, 평균유속, 전단율의 시간당 변화를 분석
- ⑥ 열확산율과 고화시간 분석

2) 플래시 결함이 문제가 되지 않는 최대의 분할선 간격 예측

플래시 길이가 문제가 되지 않는 플래시 길이를 0.05mm로 선정하였고, 이 길이가 넘지 않는 조건의 최대 분할선 간격을 예측하고자 한다.

3) 수치해석의 타당성 검토를 위한 실제 실험을 통한 비교

수치해석의 타당성을 검토하기 위하여 플래시 결함이 발생하지 않는 최초의 조건에서 성형을 실시한 후 이와 비교를 위해 금형 온도와 보압을 각각 3가지 조건으로 바꾸어 실제 사출을 실시하고자 한다. 이후 실제 실험 데이터와 수치해석의 데이터를 비교하여 수치해석의 타당성을 검토하고자 한다.

제 2 장 연구 방법

2.1 사출성형 해석조건 및 방법

최적 조건의 분할선 최대허용 간격을 예측하기 위해 플래시 결함의 생성 메커니즘을 3가지 관점에서 고찰하였다.

1) 플래시 결함의 생성 메커니즘을 파악하고 생성 메커니즘이 변화함에 따라 플래시 결함이 어떠한 특성을 보이는지 파악하고자 하였다. 연구로 진행한 플래시에 영향을 미치는 요소는 다음과 같다. 압력, 분할선 간격, 금형 온도, 용융수지 온도, 점도, 평균유속, 전단율, 열확산율, 고화시간으로 각각의 변화와 플래시 결함에 대해 고찰하였다.

2) 제품의 형상과 위치 및 두께가 변화함에 따른 압력의 변화를 분석하기 위해 이상 모델(Ideal model)을 만들어 제품의 형상과 위치 및 두께의 변화에 따른 압력을 분석하였다. Fig. 2.1은 이상모델의 재원이다.

3) 자주 사용하는 10가지의 재료를 선정하였고 플래시 결함을 비교 분석하여 각 재료별 분할선 최대허용 간격을 예측하였다. Table 2.1은 연구에 사용된 10가지 재료이다.

분할선의 최대허용 간격을 예측하기 위해 Moldflow 프로그램을 활용하여 이상 모델을 모델링 한 후 유동해석을 실시하였고 전체 계산에 사용할 평균 압력 조건을 도출하였다. 이 후 Python을 활용하여 각 재료들의 평균 금형 온도, 평균 용융수지 온도, 평균 압력의 조건에서 분할선 최대허용 간격을 예측하였다.

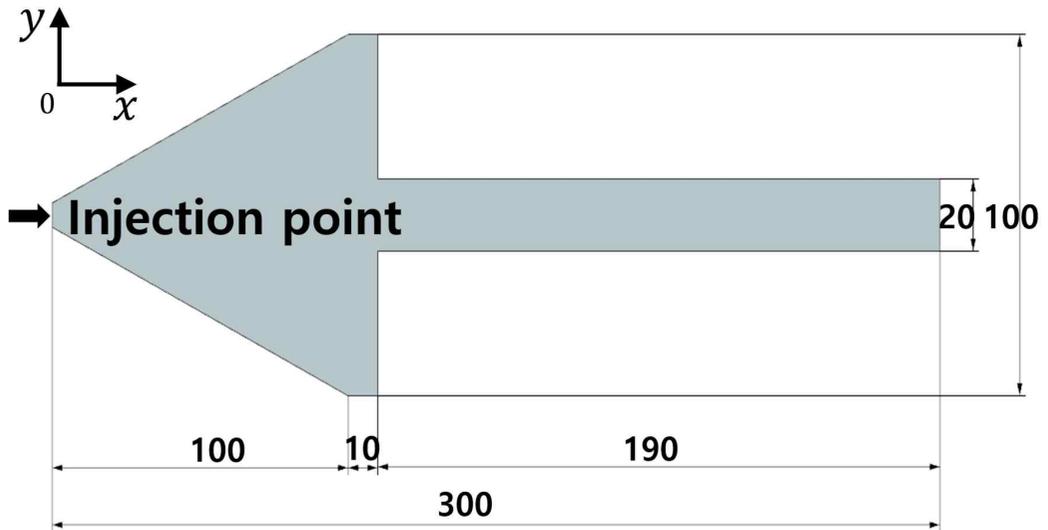


Fig. 2.1 Ideal model

Table. 2.1 Materials & model name

Materials	Model name	Manufacturer
ABS	ABS HF380	LG
PA6	Ultramid B3K	BASF
PA6+GF30%	Ultramid B3EG6	BASF
PA66	Ultramid A3W	BASF
PA66+GF30%	Ultramid A3WG6	BASF
PC	IUPOY 1301EP30	LG
PP	B1750	Hanwha
PP+Talc20%	TB72S	Hanwha
PS	25SP	LG
SAN	82TR	LG

2.2 이상모델 적용 사출성형 해석

사출성형시 유동선단의 면적은 압력을 결정하는 중요한 요인중 하나이다. 유동선단의 면적은 제품의 형상이나 위치 및 두께가 변화함에 따라 변화하게 된다. 이러한 제품의 형상과 위치 및 두께의 변화와 압력의 변화를 알아보기 위해 이상모델을 형상화 하였다. Fig. 2.5는 본 연구에서 이상 모델의 압력을 알아보기 위해 선정한 4개의 지점이다. 각 지점의 설명은 다음과 같다.

1) A 지점은 사출주입구로 사출주입시의 압력이 실제 압력에 어떠한 영향을 주는 지 알아보기 위해 선정하였다.

2) B 지점은 유동선단 면적이 최대인 지점으로 유동선단이 가장 넓을 때 압력을 측정하기 위해 선정하였다.

3) C 지점은 유동선단 면적이 최소인 지점이며, 유동선단 면적이 80%로 급감한 지역이다. 유동선단면적이 급격하게 좁아질 경우 압력의 변화를 알아보기 위해 선정한 지점이다.

4) D 지점은 유동말단 지점으로 보압에 의한 압력의 효과를 알아보기 위해 선정하였다.

이상 모델은 해석에 사용하고 싶은 특정한 조건을 만족시키고자 임의의 모델을 형상화 시킨 것이다. 첫째, 이상 모델의 총 길이는 300mm로 선정하였다. 이는 한 개의 사출주입기가 성형 가능한 최대의 거리를 산정하여 형상화 한 것이다. 둘째, 이상 모델은 단순한 형상이지만 압력이 변화하거나 변화할 것 같은 지점을 극단적으로 표현하기 위해 형상화 한 것이다. 또한 두께를 2, 2.5, 3mm로 차등하여 위치나 형상의 변화 뿐 아니라 두께의 차이가 압력에 미치는 영향도 알아보기 위해 고려한 것이다.

2.3 타당성 검증 실험

본 연구에서는 수치해석의 타당성을 검증하기 위해 PP B1750 재료를 사용하여 실험을 진행하였다. Fig 2.2는 실제 실험에 사용된 사출품이다. 대략 X방향 32cm, Y방향 50cm 두께 2.5mm인 제품으로 총 면적 8cm²인 동공이 있는 단순한 형태의 구조물로 실험을 진행하였다. 먼저 플래시 결함의 변수별 비교를 위해 최초의 설정은 비교적 플래시 결함이 생성되지 않는 설정 값으로 실험을 진행하였다. 이후 동일한 조건에서 금형 온도(30℃~50℃)와 보압(27bar~35bar) 조건만 변경해가며 각각의 조건에서 플래시 결함이 어떻게 생성되는지 알아보았다. 마지막으로 동공에 형성된 플래시 결함의 변화를 측정하고 수치해석을 통해 나온 데이터 값과 비교를 통해 수치해석의 타당성을 검증하였다. Fig. 2.3은 실험에 사용된 Woojin DL900A5 장비의 사진이며, Fig. 2.4는 Woojin DL900A5의 제어판과 실험에 사용된 초기 설정 값이다.

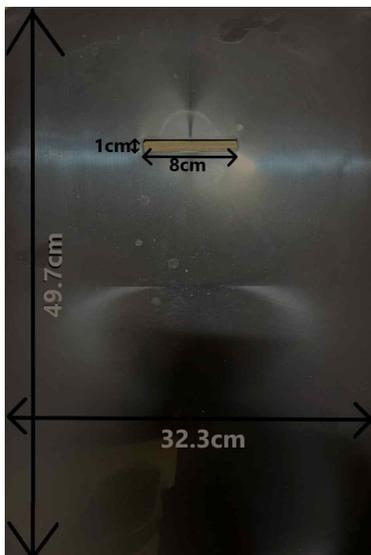


Fig. 2.2 Injection product



Fig. 2.3 Equipment in Woojin DL900A5



사용기계	Woojin DL900A5
재료	PP BI750
분할선 간격(mm)	0.14
제품 두께(mm)	2.5
금형 온도(°C)	30, 40, 50
용융수지 온도(°C)	240
보압(bar)	27, 30, 35
보압시간(s)	0, 0, 4
압력(bar)	32, 55, 55
사출지연시간(s)	0.2
충전감시시간(s)	5
위치(mm)	26, 28, 58
속도(%)	20, 38, 25
보압절환위치(mm)	26

Fig. 2.4 Injection molding conditions

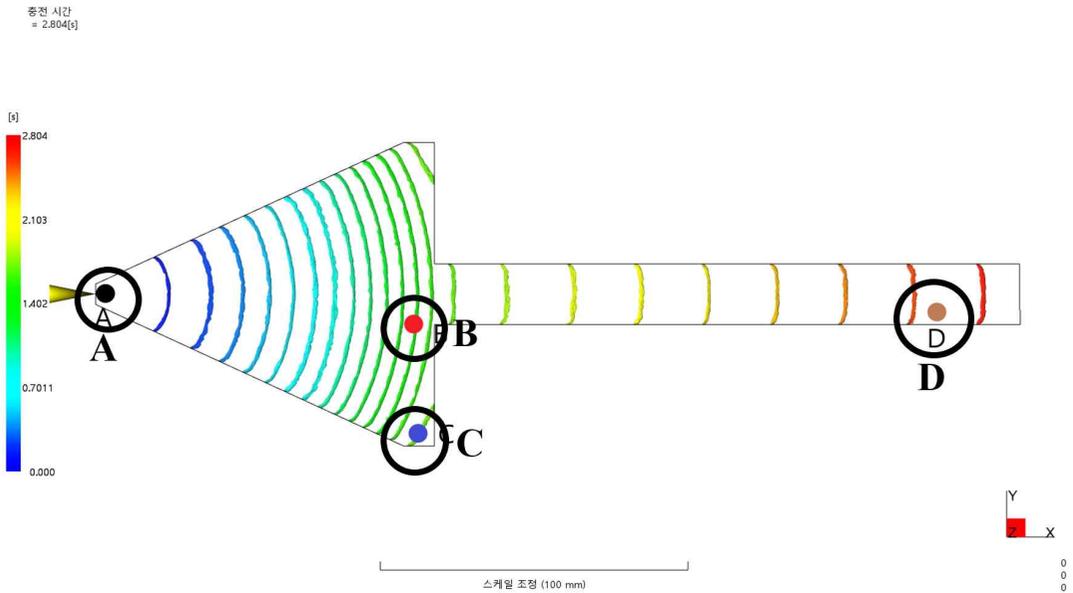


Fig. 2.5 Analysis location of ideal model

제 3 장 연구 결과 및 고찰

3.1 이상모델 적용 사출성형 해석

3.1.1 두께와 위치에 따른 압력 변화

제품의 형상 및 위치가 압력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 이상모델을 Moldflow를 활용하여 해석을 진행하였다. 사출성형 제품을 생산할 때 용융수지의 유동선단 면적은 압력을 변화시키는 주요한 요인으로 작용한다. 이상모델을 사용하여 유동선단 면적의 비교를 위해 유동선단면적이 최대인 지점과 유동선단 면적이 최소인 지점을 선정하여 압력을 측정하였다. 또한 사출주입구에서 사출주입시의 압력이 전체 압력에 미치는 영향과 보압이 제품에 미치는 영향을 알아 보기 위해 ABCD 지점을 선정하였다. Fig. 2.8은 Moldflow의 압력 XY 플롯의 해석 화면으로 해석에 사용된 ABCD 지점의 시간당 압력 변화와 외삽법 적용 구간을 표시한 것이다. Table 3.1은 ABS HF380 재료를 사용한 이상모델 A, B, C, D지점의 시간당 압력상승률을 두께 2, 2.5, 3mm로 차등하여 해석을 수행한 결과값이다.

두께 3mm인 ABS HF380 재료를 사용한 이상모델의 위치에 따른 분석결과는 다음과 같다.

1) A 지점의 경우 13.07MPa/s 비교적 압력이 낮게 나타났다. 이는 사출주입시의 압력이 주변부에 큰 영향을 미치지 않았던 것으로 판단된다.

2) B 지점은 시간당 압력상승률이 7.75MPa/s로 가장 낮게 측정되었다. B 지점은 이상모델에서 유동선단면적이 최대인 지점으로 선정한 지점이다. 가장 넓은 유동선단면적으로 인해 유동의 흐름이 가장 원활하여 압력도 가장 낮게 나온 것으로

판단된다.

3) C 지점의 시간당 압력 상승률은 76.71MPa/s로 비교적 압력이 높게 측정되었다. C 지점은 이상모델에서 유동선단면적이 80% 급감한 지역이다. 유동선단면적이 급감함으로 인해 유동의 흐름이 원활하지 않아 압력이 가장 높게 나타난 것으로 판단된다.

4) D 지점은 시간당 압력 상승률이 101.67MPa/s로 압력이 가장 높게 측정되었다. D 지점은 유동말단에 위치하여 보압에 영향을 받는 지점이다. 보압시 압력이 유동 말단에 영향을 주어 압력이 가장 높게 나타난 것으로 판단된다.

두께 3mm인 ABS HF380 재료를 사용한 이상모델을 해석하였을 때 유동선단면적이 넓을수록 압력은 낮아지는 경향을 보였으며, 유동선단면적이 좁아질수록 압력은 증가하는 경향을 보였다. 이상모델의 A지점에서 두께가 3mm에서 2mm로 감소하였을 경우의 시간당 압력상승률은 13.07MPa/s에서 36.43MPa/s 증가하는 경향이 나타났다. 이는 두께의 감소가 유동선단면적에 영향을 주었고 이는 유동의 흐름에 영향을 주어 압력이 변화한 것으로 판단되었다. 또한 사출주입시의 압력은 전체의 압력에 별다른 영향을 미치지 않았으나, 보압의 영향을 받는 지점은 높은 압력을 나타내었다. 사출성형 제품을 생산할 때 유동선단면적이 급격히 변화하는 지점과 보압의 영향을 받는 지점은 플래시 관리에 각별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

Table. 3.1 Hourly pressure rise rate of ideal model

Ideal model thickness(mm)	Rate of pressure increase per hour(MPa/s)			
	A	B	C	D
2	36.43	17.94	204.94	156.84
2.5	18.49	8.14	102.18	113.16
3	13.07	7.75	76.71	101.67

3.2 플래시 생성 특성

3.2.1 압력에 따른 특성

플래시 결함에서 압력은 플래시의 크기를 변화시키는 주요 공정변수 중 하나이다. 압력이 변화하였을 때 플래시 결함이 어떻게 변화하는지 알아보기 위해 두께 3mm, 재료 ABS HF380을 Python을 사용하여 계산하였다. 압력을 제외한 다른 조건은 모두 동일하게 하였고, 압력만 초기 20MPa에서 100MPa까지 변화해가며 플래시 길이를 계산하였다. Fig. 3.1은 압력의 변화에 따른 플래시 길이변화를 나타낸 것이다.

두께 3mm, 재료 ABS HF380을 사용한 압력의 변화에 따른 플래시 길이의 변화를 살펴보았을 때 압력이 증가할수록 플래시 길이도 증가한 것으로 나타났다. 동일한 조건에서 압력이 20MPa에서 30MPa로 10MPa로 증가하였을 때, 플래시 길이는 0.068mm에서 0.093mm로 0.025mm로 약 2.39배가 증가하였다. 30MPa에서 40MPa로 압력이 증가하였을 때의 플래시 길이는 0.093mm에서 0.117mm로 0.024mm로 약 1.25배 증가하였다. 또 압력이 90MPa에서 100MPa로 증가하였을 경우 0.019mm로 약 1.09배 증가하였다. 약간의 차이는 있었으나 두께 3mm인 ABS HF380재료를 사용하였을 때 압력 10MPa의 증가는 최소 0.019mm에서 최대 0.025mm의 플래시 길이 증가로 나타났다.

압력과 플래시 결함의 특성을 분석함에 있어서 압력이 증가할수록 플래시 결함의 크기도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 압력의 증가가 용융수지의 유동성에 영향을 주었고 이에 따라 플래시 결함의 크기도 증가한 것으로 판단이 되었다. 또한 압력의 증가는 플래시 크기와 관계가 있으나 변화하는 양에 있어서 압력이 급격하게 변화하지 않을 경우 플래시의 크기 역시 급격히 변화하지 않을 것으로 판단이 된다. 따라서 압력의 변화가 큰 지점의 경우에는 더 많은 플래시 결함에 대한

주의가 필요할 것으로 사료된다.

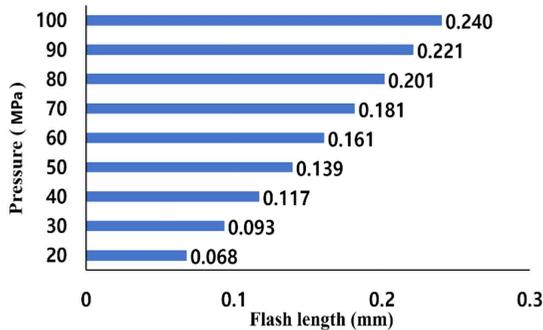


Fig. 3.1 Changes of flash length according to pressure

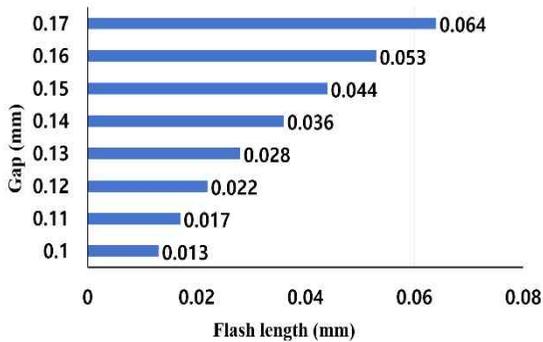


Fig. 3.2 Changes of flash length according to gap

3.2.2 분할선 간격에 따른 특성

분할선 간격은 플래시 결함의 크기에 영향을 주는 주요공정변수 중 하나이다. 분할선 간격이 변화함에 따라 플래시 길이는 어떻게 변하는지 그 특성을 알아보기 위해 동일한 조건에서 분할선의 간격만 0.1~0.17mm까지 바꾸어가며 Python을 사용하여 계산을 실시하였다. Fig. 3.2는 분할선 간격의 변화와 플래시 결함의 길이변

화를 나타낸 것이다.

분할선 간격이 넓어질수록 플래시 길이는 증가하는 경향을 나타내었다. 분할선 간격이 0.1mm에서 0.11mm로 증가할 경우 플래시 결함은 0.013mm에서 0.017mm로 0.004mm가 증가하여 약 1.3배 플래시 길이가 증가하였다. 분할선 간격이 0.16mm에서 0.17mm로 증가하였을 경우 플래시 길이는 0.053mm에서 0.064mm로 0.011mm가 증가하여 약 1.21배 증가하는 경향을 보여주었다.

분할선 간격과 플래시 결함을 비교함에 있어서 최초 0.1mm의 분할선 간격의 변화는 플래시 길이에 0.004mm의 증가에 그쳤으나 마지막 0.17mm의 분할선 간격의 변화는 0.011mm의 증가로 그 변화량에 있어서 약 2.75배의 유의미한 차이를 보여주었다고 사료된다. 특이할 만한 점은 대략 틸새의 3제곱에 비례하여 플래시 길이가 증가하였다는 점이다. 분할선 간격 0.1mm에서 0.01298mm의 플래시 길이가 생성이 되었는데 0.15mm에서는($0.01298 \times 1.5^3=0.04381$) 0.04382mm의 플래시가 생성되었고, 0.17mm에서는($0.01298 \times 1.7^3=0.06377$) 0.06379mm의 플래시가 생성되었다. 이는 냉각시간은 두께의 제곱에 비례하고 유동속도는 두께에 비례하므로 대략적으로 틸새의 3제곱에 비례하여 플래시 길이가 증가한 것으로 판단되었다. 분할선 간격을 결정함에 있어 플래시 길이는 분할선 간격의 3제곱에 비례하여 증가하므로 분할선 최대 허용 간격이 넘지 않도록 주의가 필요할 것으로 사료된다.

3.2.3 금형 및 용융수지 온도에 따른 특성

플래시 결함에서 온도의 변화는 플래시의 크기를 결정하는 주요공정변수 중 하나이다. 본 연구에서는 금형 온도와 용융수지 온도의 변화에 따른 플래시 결함의 특성을 알아보려고 한다.

금형 온도와 플래시 결함의 특성을 알아보기 위해 동일한 조건에서 금형 온도를

권장 성형온도 범위인 40~80℃까지 10℃의 변화를 주며 플래시 결함의 길이를 계산하였다. Fig. 3.3은 금형 온도의 변화에 따른 플래시 결함의 길이를 나타낸 것이다.

금형 온도가 증가함에 따라 플래시 길이도 증가하는 특성을 보여주었다. 금형 온도가 40℃일 경우 플래시 길이는 약 0.0135mm가 생성되었고 80℃로 증가하였을 때 플래시 길이는 약 0.0239mm로 0.01mm가 증가하여 약 1.77배의 길이가 증가하였다.

용융수지 온도와 플래시 결함의 특성을 알아보기 위해 동일한 조건에서 용융수지 온도를 권장 성형 온도 범위인 215~255℃까지 10℃의 변화를 주며 플래시 결함의 길이를 계산하였다. Fig. 3.4는 용융수지 온도의 변화에 따른 플래시 결함의 길이를 나타낸 것이다.

용융수지 온도가 증가함에 따라 플래시 길이도 증가하는 경향을 나타내었다. 용융수지 온도가 215℃에서 255℃로 증가했을 때 플래시 결함의 길이는 0.036mm에서 0.064mm로 0.028mm, 약 1.78배가 증가하여 전체적인 증가는 금형 온도와 비슷한 경향을 나타내었다.

온도의 변화는 용융수지의 점도에 영향을 주며 점도는 유동성을 변화시켜 플래시의 길이 변화로 나타나게 된다. 금형 온도와 용융수지 온도 모두 5가지 온도 변수로 계산이 진행되었다. 두 온도 모두 가장 낮은 온도와 가장 높은 온도에서 생성되는 플래시의 길이 차이에 있어서 약 1.77배의 플래시 길이 증가를 보였다. 온도의 변화는 플래시의 길이 변화에 상당한 영향을 주는 것으로 보인다. 금형 온도와 용융수지 온도를 모두 변화시키는 상황이나 급격한 온도의 변화는 플래시 길이에 많은 영향을 주므로 주의가 필요할 것으로 판단된다.

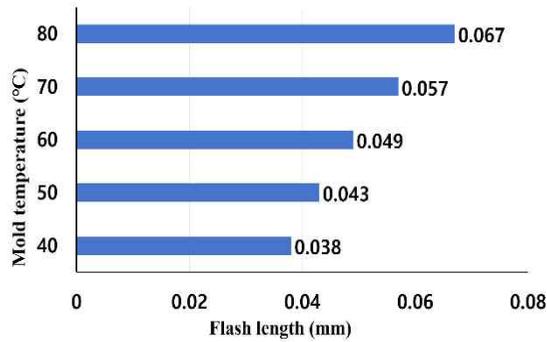


Fig. 3.3 Changes of flash length according to mold temperature

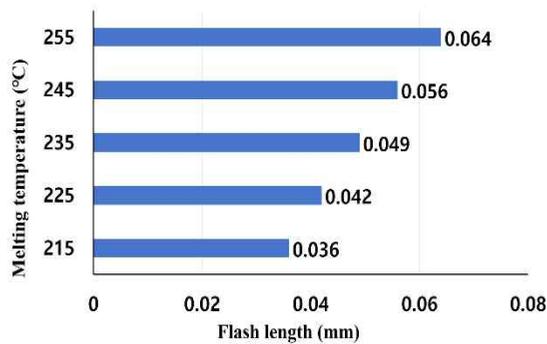


Fig. 3.4 Changes of flash length according to melting temperature

3.2.4 전단율, 평균유속, 점도에 따른 특성

점도(Viscosity)는 온도, 전단율, 압력의 함수로 전단응력(Shear stress)을 전단율(Shear rate)로 나눈 값이다.[9] 전단율은 전단 박화(Shear thinning)현상으로 점도를 변화시키고 용융수지의 유동성에 영향을 주는 요인이 된다.[10] 전단율은 시간이 지나면서 급속이 낮아지는 경향을 보였으며, 평균유속 역시 전단율과 비슷한 경향을 보여주었다. 이와 반대로 점도의 경우 시간이 지날수록 증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 3.5는 두께 3mm인 ABS HF380 재료의 전단율, 평균유속,

점도를 시간의 변화에 따라 나타낸 것이다. Fig. 3.6은 ABS HF380 재료의 점도를 나타낸 것이다. Table 3.2는 ABS HF 380 재료의 전단율, 평균유속, 점도의 시간의 따른 변화를 일부분 나타낸 것이다.

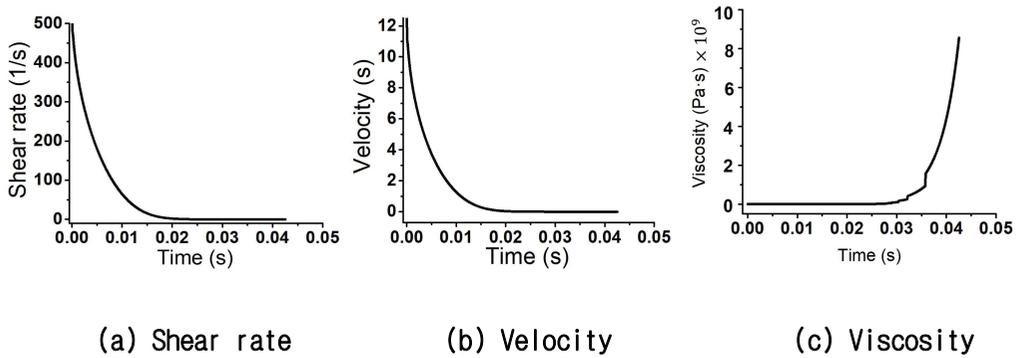


Fig. 3.5 Changes in time dependent

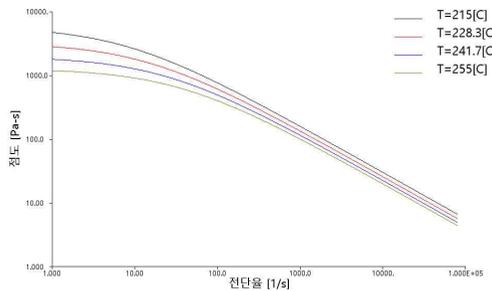


Fig. 3.6 Viscosity of ABS HF380

Table. 3.2 Change Shear rate, Velocity, Viscosity in time dependent

	Shear rate (1/s)	Average flow rate (mm/s)	Viscosity (Pa · s)
1	540.85	12.59	199.06
2	480.48	11.07	231.04
3	406.56	9.13	307.33

4	362.55	8.03	366.73
5	333.94	7.32	415.61
6	308.99	6.73	467.16
7	297.56	6.45	494.23
8	276.39	5.95	551.46
9	252.49	5.39	629.77
10	235.05	4.99	698.82
11	222.79	4.80	735.78
12	203.74	4.27	857.76
13	182.85	3.80	999.27
14	130.47	2.65	1589.07
15	100.33	2.01	2252.61
16	80.79	1.60	2982.16
17	62.56	1.23	4122.45
18	33.19	0.63	8935.01
19	12.15	0.22	28628.81
20	1.72	0.03	268662.60

3.2.5 열확산율과 고화시간에 따른 특성

고화층은 선단 유동(Fountain flow)에 영향을 주는 요인 중 하나이다.[11,12] 고화층(Frozen layer)의 생성은 시간은 물체 내부의 압력에 영향을 주며, 고화층이 빨리 생길 경우 선단 유동이 힘들어져 플래시 길이에도 영향을 주게 된다.[14] 본 연구에서는 각 재료의 열확산율이 변화할 때 고화시간은 어떠한 특성을 보이는지 알아보하고자 한다.

처음 단순히 각 재료간의 열확산율(Thermal diffusivity)과 고화시간을 비교하였을 때 그 상관관계를 분석하기가 어려웠다. 서로 상이한 물성치를 갖고 있어서 동일한 조건의 열확산율 비교가 되기 힘들다고 판단하였다. 이를 해결하기 위해 식(3.1)의 수정된 열확산율(α_m)을 새롭게 정의하였다.

$$\alpha_m = \{\text{열확산율} \times (\text{용융수지온도} - \text{금형온도})\} \div (\text{용융수지온도} - \text{유리전이온도}) \quad (3.1)$$

용융수지온도에서 금형온도를 뺀 값은 열평형에 의해 에너지를 전달하는 역할을 하여 열확산율과 비슷한 작용을 한다고 생각하였다. 용융수지온도에서 유리전이온도의 차이가 클수록 열확산을 어렵게 만드는 요소로 작용한다고 생각하여 이 값은 열확산율과 용융수지온도에서 금형온도를 곱한 값에서 나누어주는 인자로 적용을 하였다. Fig. 3.7과 Table. 3.3은 재료별 열확산율과 고화시간을 나타낸 값이다.

열확산율과 고화시간의 비교에 있어 열확산율이 클수록 고화층은 빠르게 생성됨을 확인할 수 있었다. 열확산율이 가장 큰 PA66+GF30%의 경우 열확산율은 $0.423 \text{ mm}^2/\text{s}$ 로 고화층이 0.005초에서 생성이 되었고, 열확산율이 가장 낮은 ABS의 경우 열확산율은 $0.106 \text{ mm}^2/\text{s}$ 로 고화층은 0.0215초에 생성이 되어 열확산율은 3.82배의 차이를 보였으며 고화층 생성시간은 4.22배의 시간 차이를 보였다. 10가지 재료의 열확산율과 고화시간은 지수함수와 비슷한 경향을 특성을 보여주는 것으로 판단되었다. 다만 고화층의 생성시간과 플래시 결함의 유동속도는 차이가 발생하여 고화층 생성시간은 비교적 플래시 결함에 적은 영향을 미치는 것으로 추정된다.

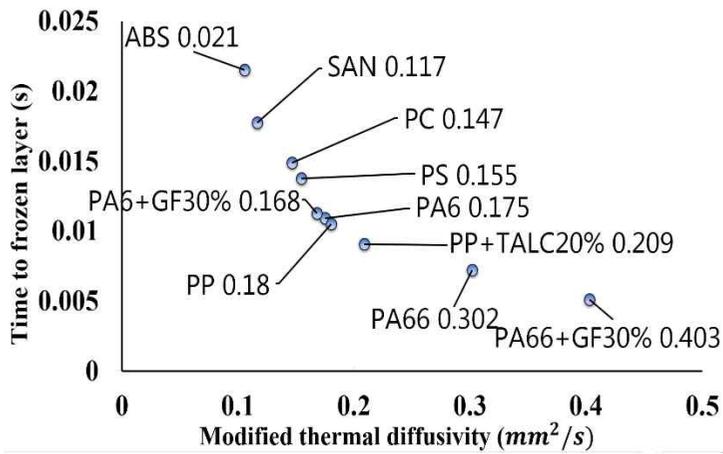


Fig. 3.7 Comparison of modified thermal diffusivity and solidification time

Table. 3.3 Modified thermal diffusivity and solidification time of materials

	열확산율(mm^2/s)	고화시간(s)
ABS	0.1056	0.0215
SAN	0.1165	0.0178
PC	0.1466	0.0149
PS	0.1548	0.0138
PA6+GF30%	0.1679	0.0113
PA6	0.1751	0.0109
PP	0.1804	0.0105
PP+Talc20%	0.2090	0.0090
PP66	0.3019	0.0072
PP66+GF30%	0.4029	0.0051

3.3 분할선 최대 허용간격

금형 제작은 사출 성형 제품의 완성도를 결정하는 중요한 요소 중 하나이다. 본 연구에서는 사출 금형산업의 생산성 향상을 위한 방안으로 금형 제작을 원활하게 하기 위해 분할선의 최대 허용간격을 알아보고자 한다. 플래시 결함이 문제가 되지 않는 플래시 길이는 0.05mm로 선정하였다. Fig. 3.8은 플래시 길이가 0.05mm이 내로 생성되는 분할선 최대 허용 간격을 나타낸 것이다.

분할선 최대 허용 간격은 재료와 두께가 변화함에 따라 서로 다른 값을 나타내었다. PA66+GF30%의 경우 분할선 간격이 가장 넓어 비교적 플래시 관리가 용이한 것으로 판단이 되었다. 반면 PP의 경우 분할선 간격이 가장 좁아서 플래시 관리에 가장 취약한 재료로 나타났다. 분할선 허용 간격은 아래의 데이터도 나타나듯이 동일한 재료라도 제품의 두께나 형상에 따라 변화하게 된다. 또한 첨가물의 유무나 첨가물의 함량이 변화함에 따라서도 변화함을 확인할 수 있었다. [11, 12]

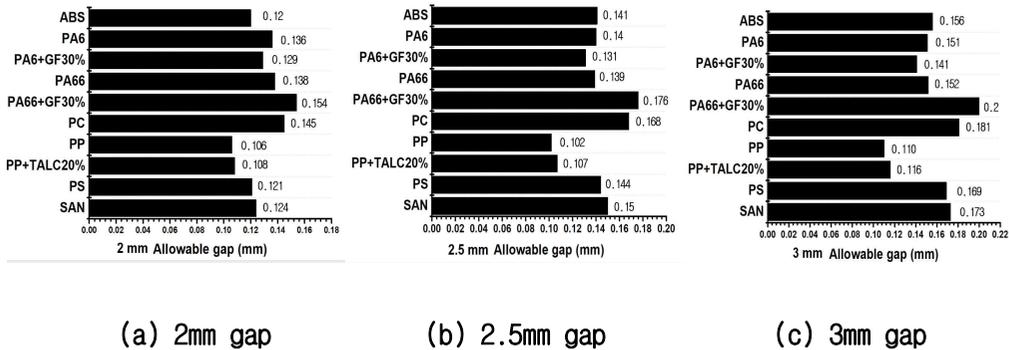


Fig. 3.8 Maximum allowable gap by thickness variable

3.4 타당성 검증

수치해석의 타당성을 검증하기 위해 Fig 2.3의 Woojin DL900A5를 사용하여 PP B1750 재료로 실험을 진행하였다. 온도의 변화와 압력의 변화에 따른 플래시 결함의 크기를 알아보기 위하여 금형 온도와 보압을 3가지 조건으로 변경해가며 실험을 진행하였다. 플래시 결함이 비교적 생성이 되지 않는 조건을 초기 설정 값으로 선정하였고 이후 금형 온도와 보압을 바꾸어 가며 실험을 진행하였다. Fig. 2.4는 실험에 사용된 초기 설정 값을 나타낸 것이다.

수치해석과 실제 실험을 비교함에 있어서 정량적으로는 최소 0.01mm에서 최대 0.07mm까지 오차가 발생하였으나 정성적으로 동일한 결과를 보여주었다. Fig. 3.9는 실제 실험에 사용된 금형 온도의 변화와 보압의 변화에 따른 플래시 특성을 나타낸다. Fig 3.10은 PP B1750 재료의 점도를 나타낸 것이다.

1) 금형 온도에 대한 해석 결과이다. 보압 27bar의 동일한 조건에서 금형 온도를 30℃에서 50℃로 증가시켰을 때 플래시 길이는 0.11mm에서 0.29mm로 0.18mm, 약 2.63배 증가하는 경향을 나타내었다. 금형 온도가 50℃일 경우 보압에 관계없이 3가지 조건에서 모두 Y방향으로 1mm의 플래시 결함이 발생하여 수치해석과 타당성을 비교하기에 어려움이 존재하였다. 위에서도 언급했듯이 실제 실험에서도 온도는 플래시 길이에 상당히 많은 영향을 준 것으로 나타났다. 플래시를 제어함에 있어서 온도를 결정할 때에는 많은 주의가 필요할 것으로 판단된다.

2) 보압에 대한 해석 결과이다. 금형 온도 30℃의 조건에서 보압을 27bar에서 30bar로 증가시켰을 때 플래시 길이는 0.11mm에서 0.26mm로 0.15mm, 약 2.36배 증가하는 경향을 나타내었다. 30bar에서 35bar로 증가시켰을 때 플래시 길이는 0.26mm에서 1mm로 0.74mm, 약 3.85배 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 35bar의 보압을 주었을 때 온도와 관계없이 3가지 온도 모두에서 Y방향 1mm로 플래시가 최대로 형성이 되었다. 이상모델에서 확인한 바와 같이 보압의 영향을 받을 경우 실

제 압력은 상당히 높게 형성이 되었음을 확인할 수 있었다. 일반 압력을 변화시켰을 때보다 보압의 변화시켰을 경우 플래시 길이에 더 많은 영향을 줄 것으로 판단이 되어 플래시 결함을 제어함에 있어서 상당한 주의가 필요할 것으로 사료된다.



27bar

30bar

35bar

(a) Mold temperature 30°C



27bar

30bar

35bar

(b) Mold temperature 40°C



27bar

30bar

35bar

(c) Mold temperature 50°C

Fig. 3.9 Flash defects of PP BI750 injection products

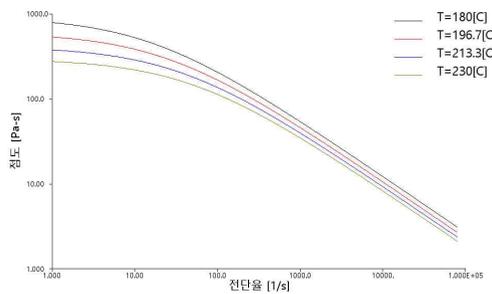


Fig. 3.10 Viscosity of PP BI750

제 4 장 결론

본 연구에서는 사출성형 공정에서 가장 빈번하게 발생하는 플래시 결함의 제어 및 최소화를 위해 플래시 생성 메커니즘과 플래시 결함의 특성을 규명하고자 하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 이상모델의 압력을 측정함에 있어서 유동선단면적이 급감하거나 보압의 영향을 받는 지점의 압력은 평균압력보다 높은 압력을 나타내었다.

사출주입구는 압력 증가에 특별한 영향을 주지 않으며 평균압력과 거의 유사한 압력이 작용함을 확인할 수 있었다.

2) 분할선 간격 특성을 확인함에 있어서 $0.01298 \times 1.7^3 = 0.06377\text{mm}$ 로 분할선 간격의 약 3제곱에 비례하여 플래시 결함이 생성되는 것으로 확인할 수 있었다. 이는 냉각시간은 두께의 제곱에 비례하며 유동속도는 두께에 비례하므로 대략 분할선 간격의 3제곱에 비례하여 증가한 것으로 사료된다.

3) 금형 및 용융수지 온도 모두 온도가 40°C 증가하였을 때 플래시 길이는 최초의 길이보다 약 0.028mm , 약 1.77배의 플래시 증가를 나타내었다. 이는 온도의 높낮이보다 온도의 변화량의 차이가 플래시 길이에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4) 열확산율이 가장 큰 PA66+GF30%는 고화층이 가장 빠르게 생성되었지만 분할선 간격은 가장 넓은 간격이 가능함을 확인할 수 있었다. PA6와 PP의 경우 열확산율은 유사하였지만 분할선 허용가능 간격은 대략 30%의 차이로 PA6가 더 넓은 간격을 가짐을 확인할 수 있었다.

5) 분할선 최대허용 간격에 있어서 PP를 사용했을 때 가장 간격이 좁았고, PA66

에 GF30%를 혼합한 재료의 경우 가장 넓은 분할선 간격을 가질 수 있음을 확인할 수 있었다.

분할선 최대허용 간격은 재료 및 혼합물의 종류 및 함량에 따라 변화하며 제품의 위치와 형상에 따른 압력 변화와 성형 온도 등의 변화를 종합적으로 고려하여 결정해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 박해웅, 윤재웅, 이춘규. : 기상측정 및 CAM 자동화를 통한 금형 제작 공정 개선. 한국금형공학회지 16.1 (2022): 21-26.
- [2] G. O. Shonaike, S. Yamaguchi, M. Ohta, H. Hamada, Z. Maekawa, M. Nakamichi, W. Kosaka, K. Toi : A preliminary investigation of flash formation during injection molding of polyphenylene sulfide and liquid crystalline polymer blends. Polymer Engineering & Science. (1995), Vol. 35, NO. 3
- [3] Higuchi, H., Goto, W., Koyama, K. : Effect of processing conditions on flash generation. Polymer Engineering & Science. (2005) Vol. 45, No. 2, Wiley, pp. 238-247.
- [4] Higuchi, H., Kosaka, W., & Koyama, K. : Theoretical model for flash generation. Polymer Engineering & Science. (2005) Vol. 45, No. 2, Wiley, pp. 198-206.
- [5] Abdelkhalik E., Rania M., Aminul I., Dario L., Hassan S., Hans N. H., Guido T. : Effect of Process Parameters on Flow Length and Flash Formation in Injection Moulding of High Aspect Ratio Polymeric Micro Features, Micromachines. (2018) 9(2), 58
- [6] Makoto N., Hiroki S., Keisuke H., Minoru Y. : Prediction of Flash Formed in Plastic Injection Molding Using Aluminum Alloy Mold Cavity by Numerical Simulation Considering Deformation of Mold Parts, Sensors and Materials. (2019) Vol. 31, No. 10, 3141-3153
- [7] 김선용, 박시환. : Identification of Cross-WLF Viscosity Model Parameters. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. Vol. 19, No. 4 pp. 623-632, 2018
- [8] 차경옥, 김재근, 오을권. : 난류유동장에서 Shear - thinning 유체에 의한 마찰저항 감소에 관한 연구. 한국마린엔지니어링학회지 21.2 (1997): 126-135.

- [9] G.R. Cocklet, J.J. Meiselman. : Basic aspects of hemorheology, in Handbook of Hemorheology and Hemodynamics, H.M. Baskurt OK, Rampling MW, Meiselman HJ, Ed., ed Amsterdam: IOS Press, pp.21-33, 2007.
- [10] Sang Mo An, Sang Yong Lee. : Effects of Impact Velocity and Viscosity of a Shear-Thinning Liquid Droplet on Spreading and Receding Behavior. 한국분무공학회 학술발표논문집. (2010) pp.321-326
- [11] 사종엽. : 사출성형 공정의 충전과정에 대한 유동의 수치해석 연구 : 1. 선단유동(先端流動, fountain flow)에 관한 연구. 工業技術研究所論文集 22.2 (1994), 57-65.
- [12] 사종엽. : 사출성형 충전과정에서의 비뉴턴 유체의 선단유동에 대한 수치해석적 연구 (Numerical Simulation on Fountain Flow of non-Newtonian Fluid for Filling Stage of Injection Molding). 대한기계학회 춘추학술대회. (1995), 231-237.
- [13] 이호상. : 사출성형 공정에서 고화층이 캐비티 압력에 미치는 영향. 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집. (2005), 483-488.
- [14] <https://www.autodesk.com/>
- [15] <https://www.lgchemon.com>