

# 소형 플라스틱 부품의 사출성형 및 복굴절 해석에 관한 연구

## A Study on the Injection Molding and Birefringence Analysis

### for Small Plastic Part

\*이성희<sup>1</sup>, #이경범<sup>2</sup>, 윤경환<sup>3</sup>

\*S. H. Lee(birdlee@kitech.re.kr)<sup>1,#</sup>, K. B. Lee<sup>2</sup>, K. H. Yoon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 한국생산기술연구원 금형·성형 기술연구부, <sup>2</sup> 한국생산기술연구원, 단국대학교 대학원, <sup>3</sup> 단국대학교 기계공학부

Key words : injection pressure, injection time, optimization, FEM, viscosity, analysis

### 1. 서론

사출압력이란 제품을 성형하기 위해 용융수지를 금형 내부로 밀어 넣는 압력이라고 할 수 있다. 사출성형 과정에 용융된 수지는 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 유동이 발생되며, 사출 과정에서 용융수지가 유동저항을 극복하기 위해서 노즐 선단에서는 높은 압력이 형성된다. 사출성형공정에서는 충전시간과 사출압력 사이의 관계에서 몇몇 서로 상반되는 요인들이 작용하는데, 사출압력은 사출시간에 따라 “U” 형태의 변화를 나타낸다. 사출속도가 느리면 열 발생보다 열 손실이 더 커서 유동선단의 온도가 강하하여 점도가 증가하게 되고 고화층의 두께가 증가하여 유동저항이 증가함으로써 사출압력이 상승하게 된다. 반대로 사출속도가 빠르면 유동선단 온도는 전단발열에 의해 상승하여 점도는 낮아지고 고화층의 두께는 줄어들지만 고화층과 유동층 사이의 마찰저항이 크게 증가하여 오히려 사출압력이 증가한다. 그러므로 충전시간과 사출압력에 대한 상관관계를 살펴서 최적의 충전시간을 결정할 필요가 있다. 일반적으로 최적충전시간은 U자형 곡선에서 사출압력이 가장 낮은 점이라고 할 수 있다[1, 2]. 따라서 본 논문에서는 컴퓨터 모사 실험을 통하여 사출성형공정에서 중요한 변수 조건으로 작용하는 최적 충전시간 선별 방법을 제시하고 냉각채널 조건의 변화에 따른 복굴절 분포특성을 살펴보기로 한다.

### 2. 모델

#### 2.1 해석모델

본 연구에서 사용된 해석모델은 다음 Fig. 1에서와 같이, 4 cavity 금형으로 하부면은 비어있고, 윗면은 오목한 박스형 타입으로 결정하였다. 제시된 모델의 부피는 4.594 cm<sup>3</sup>이고 수지의 유동밀도(melt density)는 0.893 g/cm<sup>3</sup>, 고화밀도(solid density)는 0.992 g/cm<sup>3</sup>이다.

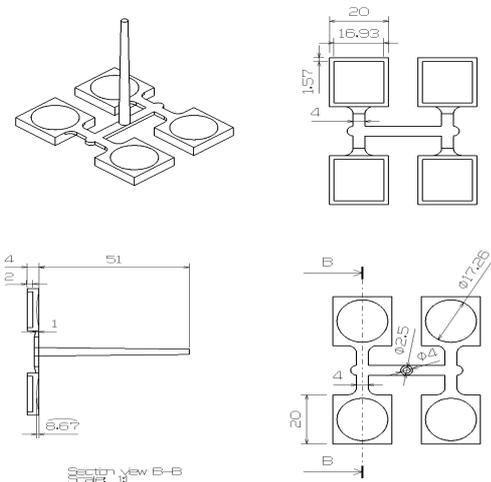


Fig. 1 Geometry of plastic specimen

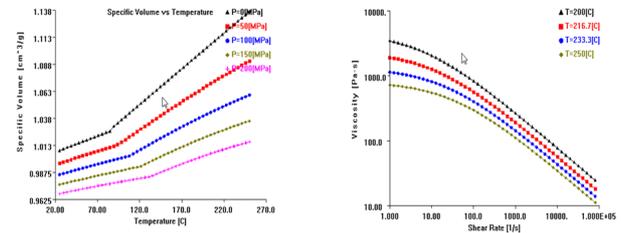
#### 2.2 재료 및 사출기 결정

본 해석에서는 NISSEI社(EP5-1EF)의 형체력 5 ton 사출기를

사용하였고, 수지는 TOPAS 8007F-04 COC 수지를 사용하였다. COC 수지는 고투명성 및 성형 후 낮은 복굴절, 낮은 흡수성, 수분 차단성을 가지고 있다. Table 1에서는 사출기의 사양을 보여주고 있으며, Fig. 2에서는 해석에서 사용되는 재료의 물성을 나타내고 있다.

Table 1 Specification of injection molding machine (NISSEI)

Factor	value	Factor	value
screw-diameter	16 mm	injection speed	250 mm/s
injection-pressure	196 MPa	screw stroke	40 mm
injection-rate	50 cm <sup>3</sup>	injection force	40 kN
clamp force	49 kN	clamp stroke	170 mm



Properties	unit	value
Volume flow index (at 260°C, 2.16kg)	g/10 min	32
Heat deflection temperature	°C	75
Glass transition temperature	°C	78
Coefficient of linear thermal expansion	k <sup>-1</sup>	0.7·10 <sup>-4</sup>
Tensile strength (5mm/min)	MPa	63
Light transmission (2mm wall thick.)	%	91

Fig. 2 Property of material

#### 2.2 해석방법

해석에는 범용유한요소 해석프로그램인 Autodesk社 Moldflow를 사용하였다. 유한요소 격자는 Dual-domain과 3D 메쉬로 하여 각각 11,584개와 334,883개를 생성하였고 전자의 경우 match percentage ratio는 약 93.4%로 조절하였다. 3D 메쉬의 경우 총 요소수는 30 배 이상 증가하였다. 최적 사출시간을 선정하기 위하여 해석조건은 Table 2와 같이 선정하여 순차적으로 수행하였다.

Table 2 Injection molding analysis conditions

	type (해석)	mold temp.	melt temp.	냉각 시간	냉각 온도	보압 절환	보압 시간
auto	fill	50	250	auto	20	auto	10
0.1	fill	50	250	auto	20	auto	10
0.3	fill	50	250	auto	20	auto	10
0.4	fill	50	250	auto	20	auto	10
0.5	fill	50	250	auto	20	auto	10
}	fill	50	250	auto	20	auto	10

Fig. 3은 사출시간과 최대 사출압력에 대한 CAE 사출성형

해석 결과이다. (A)의 경우는 사출시간이 0.7sec 일 때, 약 20.7 MPa의 최저 사출압력을 나타내었고, (B)의 경우 0.8sec 일 때, 약 28.75 MPa의 최저 사출 압력을 보였다. 두 경우를 비교하여 보았을 때, 충전시간과 사출압력이 다소 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이는 격자 요소 생성방법이 해석결과에 영향을 미침을 간접적으로 보여준다.

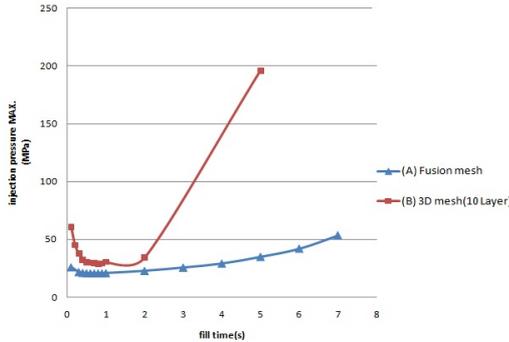


Fig. 3 Injection pressure required under the various fill time

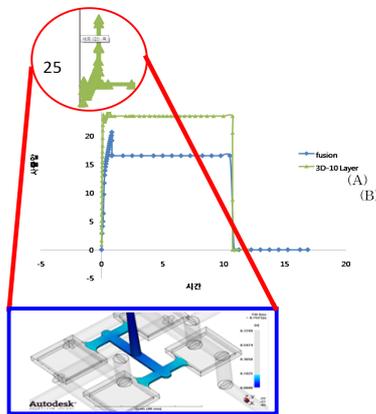


Fig. 4 Injection pressure xy plot at 0.7 sec

Fig. 4는 앞에서 CAE를 이용하여 얻은 최적 사출시간 0.7sec에서 나타나는 사출압력 그래프이다. 그래프를 보면 (B)의 경우 사출이 시작되면서 V/P절환점까지 사출압이 증가하는 가운데 한 번의 Peak가 발생하는 것을 확인할 수가 있었다. 이는 Fig. 1에서 볼수 있듯이 게이트 입구에서의 두께 감소로 인한 압력강하 현상으로 사출압이 많이 걸리는 것으로 판단된다. (A)의 경우 보압은 26.56MPa, (B)의 경우 23.50MPa 이 발생하였다.

한편 냉각채널이 최종사출성형품의 복굴절특성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 해석을 수행하였으며, 냉각채널은 현장에서 일반적으로 사용되는 테두리 냉각과 등각(conformal) 냉각채널 모델에 대해 해석을 수행하고 상호 결과를 비교하였다. Fig. 5에서는 해석에 사용된 냉각채널 형상을 보여주고 있다. 기존의 냉각은 가공방법법상 드릴링 방법에 의해 형성할 수 밖에 없으나, 쾌속조형(direct tooling)기술을 적용할 경우 Fig. 5에서와 같이 성형품의 두께를 따라 일정한 냉각채널을 형성할 수 있게 된다. 각각의 냉각채널에 대한 사출성형해석 및 복굴절해석 결과를 Fig. 6~7에 제시하였다 결과에서 보듯이 냉각채널의 변화가 온도 분포에 큰 영향을 미침을 확인할 수 있다. 그러나 복굴절 특성 변화에는 주어진 모델에 대해 큰 영향이 없음을 볼 수 있다. 그림에서 보듯이 Retardation 값에 큰 변화가 없음을 볼 수 있다. 그러나 각각의 캐비티내에서는 100%이상의 차이를 보이므로, 등각채널 설계시 이러한 점을 고려하여 보다 정밀하게 냉각채널을 설계해야 함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 사출성형 공정에서 중요한 공정 변수로 작용하

는 사출시간 선정을 CAE 컴퓨터 모사로부터 최적화 할 수 있는 방법을 제시하여 보았다. (A) Dual-domain triangle 격자를 이용하여 해석을 수행하였을 경우 최적 사출시간은 약 0.7sec 로 나타났고, (B) 3D-10 layer tetrahedral 격자를 이용하였을 경우 약 0.8sec 로 나타났다. 이러한 차이는 유한요소수의 30배 증가에 따른 솔리드 모델에서의 메쉬 정밀도와 연관되는 것으로 파악되었으며, 등각냉각채널 결과비교에서는 냉각효과에는 큰 영향성이 있음을 확인하였으나, 광특성에는 주어진 모델에 대해 큰 영향성이 발견되지 않음을 확인하였다. 그러나 해석을 통해 광특성분석 시 냉각채널의 보다 정밀한 설계가 필요함을 알 수 있었다.

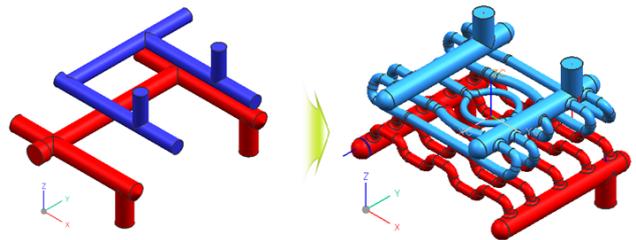


Fig. 5 Cooling channel for analysis

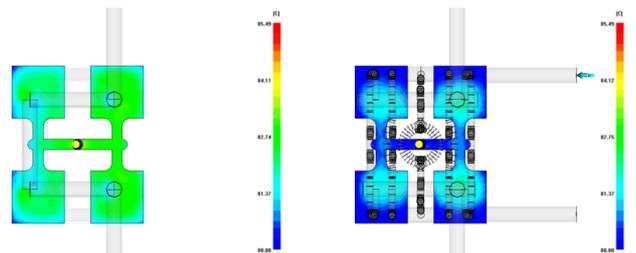


Fig. 6 Results of cooling analysis

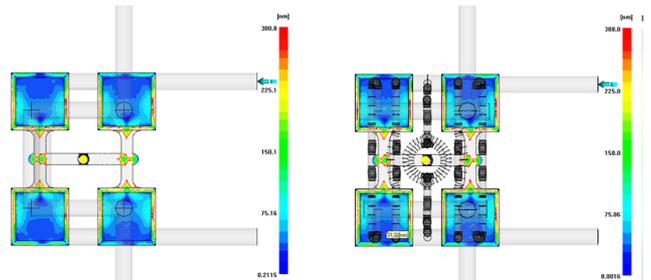


Fig. 7 Results of birefringence analysis(retardation)

후기

본 연구는 지식경제부 국가플랫폼 기술개발사업(09-FM-1-0019), 초발수 미세패턴 사출성형기술 개발(09-CT-2-0005), 초고압 등방압 응용 핵심부품 제조기술개발(09-EO-1-0016) 및 중소기업청의 고생산성, 에너지 절감이 가능한 Conformal Cooling Cavity Core 적용 고분자 인서트 사출성형용 열교환 금형시스템 개발(09-SE-2-0037))의 지원하에 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 특히 KAMI의 김경수 팀장님께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. 권태헌, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득, 사출성형 CAE 설계지침, 2001.
2. 신남호, 오희성, 강승규, CAE를 응용한 사출성형 최적화, 2007.
3. B. Moeltgen, Dussldorf, "Productivity Improvement in Injection Molding Machine", Polymer Eng. & Sci, 25, 5, pp271-278, 1985.
4. Guo Li, Gao Xiaowei, "Sensitivity analysis and elasto-plastic parameter inversing via complex-variable differentiation method", Journal of Southeast University, 2008.