

# 폴리머코어 게이트 크기 변화가 두께 방향 수축률에 미치는 영향에 대한 연구

최한솔<sup>1,2</sup> · 정의철<sup>1,2</sup> · 박준수<sup>2,3</sup> · 김미애<sup>2</sup> · 채보혜<sup>2</sup> · 김상윤<sup>2</sup> · 김용대<sup>2</sup> · 윤경환<sup>1</sup> · 이성희<sup>†</sup>  
단국대학교 기계공학과<sup>1</sup> · 한국생산기술연구원 금형기술그룹<sup>2,†</sup>  
서울과학기술대학교 기계디자인금형공학과<sup>3</sup>

## A study on the effects of polymer core gate sizes on thickness shrinkage rate

Han-Sol Choi<sup>1,2</sup> · Eui-Chul Jeong<sup>1,2</sup> · Jun-Soo Park<sup>2,3</sup> · Mi-Ae Kim<sup>2</sup> · Bo-Hye Chae<sup>2</sup>  
· Sang-Yun Kim<sup>2</sup> · Yong-Dae Kim<sup>2</sup> · Kyung-Hwan Yoon<sup>1</sup> · Sung-Hee Lee<sup>†</sup>

Dept. of Mechanical Engineering, Dankook University<sup>1</sup>

Molds and Dies Technology Group, Korea Institute of Industrial Technology<sup>2,†</sup>

Dept. of Mechanical Design and Manufacturing Engineering, Seoul National University of Science and Technology<sup>3</sup>

(Received December 16, 2019 / Revised December 26, 2019 / Accepted March 31, 2020)

**Abstract:** In this study, the variation of the shrinkage in the thickness direction of the molded parts according to the gate size of the polymer core fabricated through the 3D printer using the SLS method was studied. The polymer cores are laser sintered and the powder material is nylon base PA2200. The polymer cores have lower heat transfer rate and rigidity than the metal core due to the characteristics of the material. Therefore, the injection molding test conditions are set to minimize the deformation of the core during the injection process. The resin used in the injection molding test is a PP material. The packing condition was set to 80, 90 and 100% of the maximum injection pressure for each gate size. The runner diameter used was  $\varnothing 3\text{mm}$ , and the gates were fabricated in semicircle shapes with cross sections 1, 2, and 3 mm<sup>2</sup>, respectively. Thickness measurement was performed for 10 points at 2.5 mm intervals from the point 2.5 mm away from the gate, and the shrinkage to thickness was measured for each point. The shrinkage rate according to the gate size tends to decrease as the cross-sectional area decreases as the maximum injection pressure increases. The average thickness shrinkage rate was close to 0% when the packing pressure was 90% for the gate area of 1mm<sup>2</sup>. When the holding pressure was set to 100%, the shrinkage was found to decrease by 3% from the standard dimension due to the over-packing phenomenon. Therefore, the smaller the gate, the more closely the molded dimensions can be molded due to the high pressure generation. It was confirmed that precise packing process control is necessary because over-packing phenomenon may occur.

**Key Words:** 3D printing Nylon powder, Gate size, Injection molding, Packing pressure, Polymer core, SLS

## 1. 서 론

금형 산업은 대표적인 뿌리산업으로 실생활에 필요한 제품들을 동일 규격으로 대량 생산해낼 수 있는 중요한 산업분야이다. 최근에는 소비자의 요구 및 제품의 다양성이 증가됨에 따라 금형 산업에도

다품종 소량 생산을 해나가기 위한 노력들이 진행되고 있다. 대표적으로 복잡한 형상을 빠르게 제작할 수 있는 3D 프린팅 기술을 금형과 접목한 응용 연구들이 수행되고 있다<sup>1)</sup>. 그러나 3D 프린팅 기술로 제작한 금형 코어를 이용한 사출 성형 시 낮은 열전도율로 인해 냉각시간이 길어지므로 성형품의 수축률 분포에 큰 영향을 미치게 된다<sup>2-3)</sup>. 이러한 성형품의 수축개선을 위해 금형 코어 내부에 제품 형상에 따른 conformal cooling channel을 적용한 사이

1. 단국대학교 기계공학과

† 교신저자: 한국생산기술연구원 금형기술그룹

E-mail: birdlee@kitech.re.kr

클 시간 감소 및 제품 품질이 향상 되는 연구<sup>4)</sup>등 사이클 시간 단축 및 성형품의 품질 및 생산성에도 상당한 영향을 줄 수 있음을 확인하였다<sup>5)</sup>. 수축률을 개선시킬 수 있는 다른 방법으로 일반적인 금속 사출성형에서는 금형구조 내의 게이트 크기를 증가시킴으로 충분한 보압 시간을 확보하여 수축률이 개선됨을 실험을 통해 확인하였다<sup>6,7)</sup>. 따라서 본 연구에서는 3D 프린팅 기술을 통해 제작된 폴리머 코어를 게이트 단면 크기를 변화시켰을 때, 제품의 두께 방향 수축률에 미치는 영향과 수축이 개선될 수 있는지에 대한 연구를 수행하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 시편형상 및 치수

사출 성형을 위한 제품 형상 및 적용된 게이트 크기는 Fig. 1과 같이 설계하였다. 성형될 제품은 평판 형태의 모델이며 가로 14mm, 세로 28mm, 두께 2mm의 치수를 가지고 있다. 게이트는 반원 형상으로 설계하였으며 게이트 크기는 각각 1 mm<sup>2</sup>, 2 mm<sup>2</sup>, 3 mm<sup>2</sup> 이며, 러너 크기는 직경이 3 mm로 설계하였다.

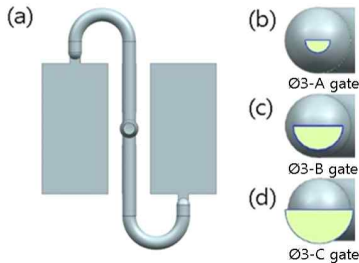


Fig. 1 Model for experiment part (a), 1 mm<sup>2</sup> gate (b), 2 mm<sup>2</sup> gate (c), 3 mm<sup>2</sup> gate (d) of gate end section

폴리머 코어의 형상 및 치수를 Fig. 2에 나타내었다. 코어의 크기는 가로 60mm, 세로 70mm로 되어 있으며 상코어의 두께는 4mm, 하코어의 두께는 10mm로 설계되었다.

### 2.2. 재료 및 사출 성형 조건

본 실험에 사용된 폴리머 코어는 EOS사의 EOSINT P395 모델로 제작되었으며, 사용된 소재는 EOS사의 PA2200으로 흰색의 분말형태로 높은 강도와 우수한 열 저항성을 가지고 있다. 사출 성형을

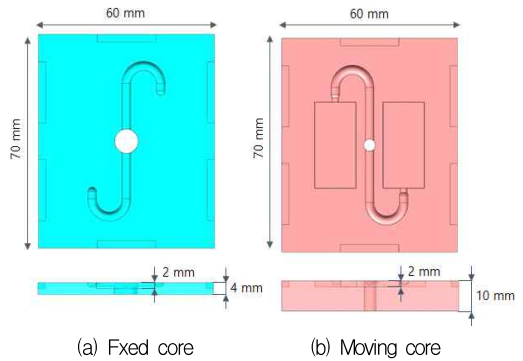


Fig. 2 Dimensions of SLS 3D printed polymer core

위해 사용한 수지는 롯데케미칼사의 J-370 이란 폴리프로필렌 수지이며 190 ~ 260℃의 성형 온도를 가지고 있다. 폴리머 코어는 사출 공정 시 높은 온도와 압력이 가해지면 제품 성형에 문제가 생기거나 코어에 변형이 가해질 수 있기 때문에 성형이 가능한 낮은 압력과 성형 온도를 선정하였다. 각 게이트 크기에 따른 보압은 최대사출압력의 80%, 90%, 100%로 실험을 진행하였다. 사출성형 조건은 Table 1과 같은 조건을 설정하였다.

Table 1 Injection molding conditions for experiments

Condition	Value
Resin temperature (°C)	195
Injection velocity (mm/s)	10
V/P switch over point (mm)	7
Cooling water temp. (°C)	40
Cooling time (sec)	360
Packing time (sec)	12

### 2.3. 두께 수축률 측정 방법

각 게이트 크기에 따른 폴리머 코어의 깊이와 사출된 제품에 대한 두께 방향 수축률을 측정하였다. 폴리머 코어는 상코어와 하코어를 각각 측정 하였으며 게이트에서 2.5 mm 떨어진 구간부터 2.5 mm 간격으로 총 10개의 지점을 측정하였다. 제품 또한 폴리머 코어와 동일한 위치의 10개의 지점을 측정하여 두께방향 수축률을 계산하였다. 수축률에 대한 계산식은 다음과 같다.

$$\text{두께 방향 수축률} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100[\%] \quad \begin{matrix} T_1: \text{금형깊이} \\ T_2: \text{성형품두께} \end{matrix}$$

Fig. 3에서는 폴리머 코어와 사출성형제품의 측정 위치를 보여주고 있다.

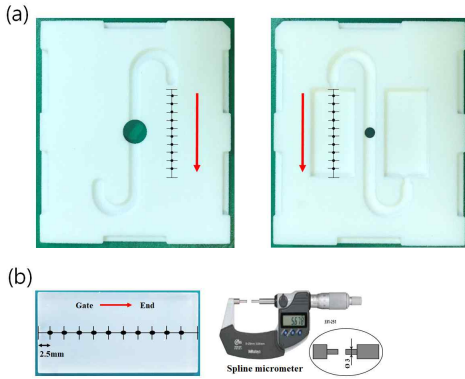


Fig. 3 Points for measuring the depth of polymer cores (a), thickness measuring positions and spline micrometer (b)

### 3. 실험결과

#### 3.1. 게이트 크기에 따른 최대 사출 압력

사출 성형과정에서 중요한 보압 절환 위치 선정 을 위해 Fig. 4에서와 같이 각 게이트에 최대 스트로 크를 22 mm로 설정하였고, 발생하는 최대사출압력 을 확인하기 위하여 충전 과정에서 샷볼륨을 순차 적으로 증가시켜 가며 미성형 테스트(short-shot test) 를 진행하였다. 실험 결과 모든 게이트에서 15 mm 의 스트로크 거리까지 선형적인 압력 증가를 보여 주다가 16 mm에서 급격한 압력 증가가 발생됨을 알 수 있었다. 이는 수지가 캐비티(Cavity) 끝단까지 도달하여 압력이 증가된 것이므로 15 mm 지점을 V/P 절환 위치로 선정하였고, 이에 따른 최대 사출 압력은 Table 2에 나타내었다.

#### 3.2. 최대사출압력 해석

사출 성형해석에 사용된 프로그램은 Autodesk Moldflow Insight 2018이고 폴리머 코어와 제품을 유 한요소모델로 모델링 하여 해석을 진행하였다. 메쉬 (mesh)는 2.5D 형태인 Dual Domain으로 진행하였고, 제품의 메쉬 크기는 0.5 mm, 폴리머 코어의 메쉬 크 기는 2 mm, 전체 메쉬 수는 24,479개이다. 유동시스 템인 스프루, 러너, 게이트 및 냉각 채널은 치수에 맞춰 1D 빔 요소로 진행하였다. 해석에 사용된 성 형조건은 미성형 테스트와 동일한 조건으로 진행하

였으며 용융온도는 195°C, 사출 속도는 10 mm/s, 냉 각 온도는 40°C로 설정하였다.

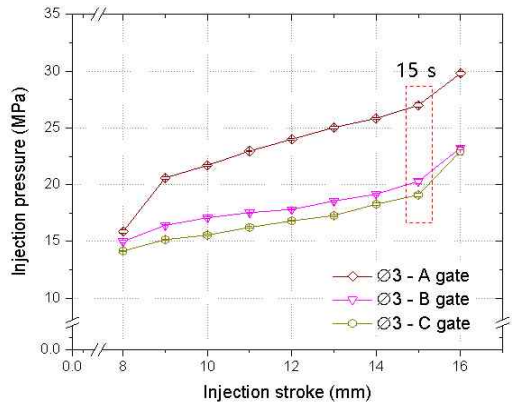
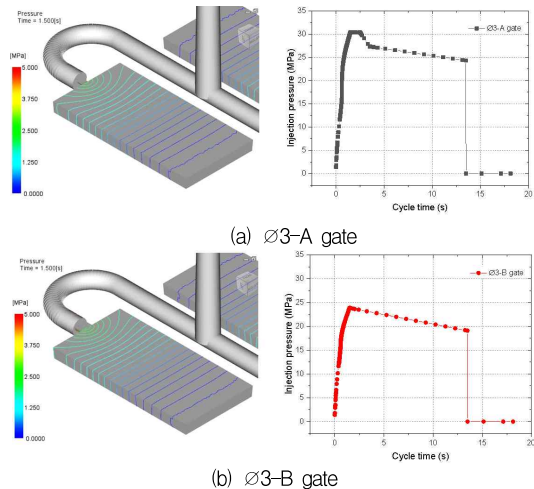


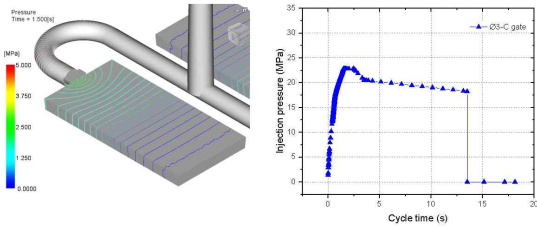
Fig. 4 Results of measured injection pressure for short shot tests

Table 2 Comparison of maximum injection pressure of experimental results

Gate size	maximum injection pressure
1 mm <sup>2</sup>	27.0 MPa
2 mm <sup>2</sup>	20.3 MPa
3 mm <sup>2</sup>	19.1 MPa

각 게이트 크기에 따른 최대사출압력의 결과를 Fig. 5와 Table 3에 제시하였다. Table 3에 나타난 최 대사출압력을 Table 2의 실험 결과 값과 비교해 보 았을 때 게이트 크기가 작아질수록 최대사출압력이 커지는 동일한 경향성을 확인할 수 있었다.





(c) Ø3-C gate

Fig. 5 Results of pressure analysis of shot test

Table 3 Comparison of maximum injection pressure by simulation results

Gate size	maximum injection pressure
1 mm <sup>2</sup>	30.4 MPa
2 mm <sup>2</sup>	23.9 MPa
3 mm <sup>2</sup>	22.8 MPa

### 3.3. 게이트 크기 변화에 따른 중량

Fig. 6에서는 보압 시간의 증가에 따른 제품의 중량변화 결과를 보여주고 있다. 게이트가 고화되기 이전까지 보압을 가하면 수축 보상으로 인해 제품의 무게가 증가되게 되며, 고화된 이후에는 보압을 통한 무게 증가가 발생하지 않는다. 이를 통해 각 게이트에 따른 보압 시간을 확인하였다. 보압은 각 코어별 최대 사출 압력의 80%로 진행하였다. 실험 결과 게이트 크기에 상관없이 모두 8초 이후 제품의 중량이 일정해 지는 것을 확인하였다. 이는 러너 끝단까지는 모든 폴리머 코어가 동일한 유동 속도로 진입하나 게이트로 진입하게 되면서 게이트 크기의 변화에 따른 압력의 변화가 생기게 된다. 이를 통해 1 mm<sup>2</sup> 게이트에서 가장 높은 압력이 형성되고, 3 mm<sup>2</sup> 게이트에서 가장 낮은 압력이 형성된다. 따라

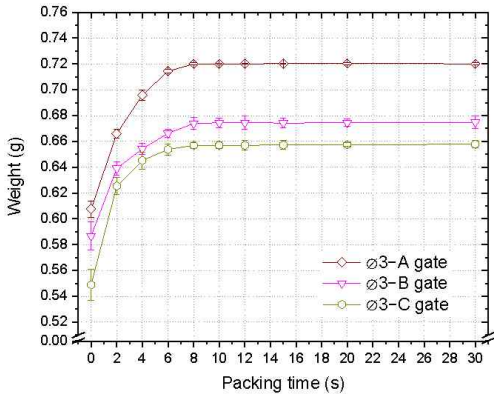
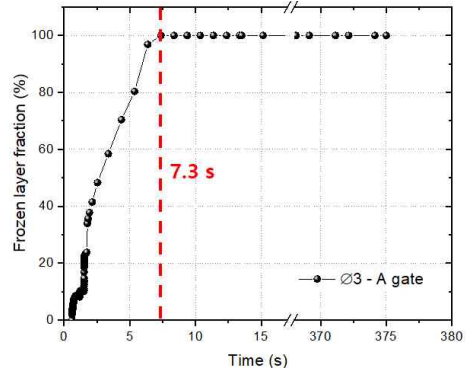
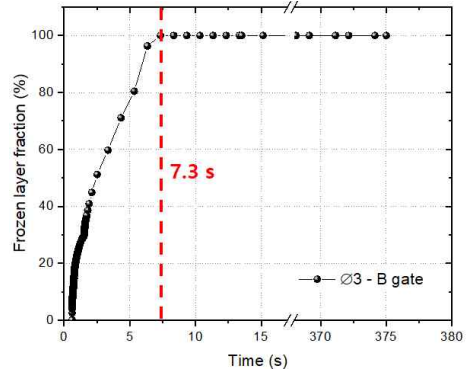


Fig.6 Measured weight of each gate part vs. packing time

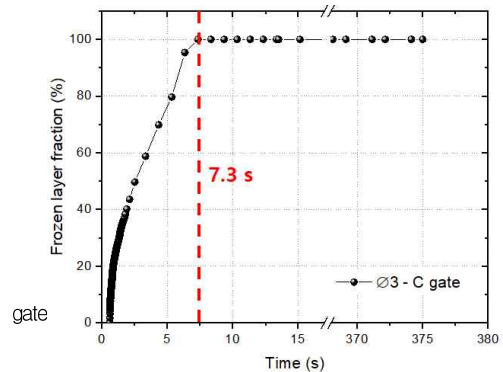
서 보압 크기의 영향으로 인해 1 mm<sup>2</sup> 게이트에서 가장 큰 중량을 보이고 있다. 이는 제품의 수축이 보압 시간보다 보압 크기에 더욱 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다. 사출성형해석의 결과에서 게이트가 고화되는 시점을 Fig. 7에 나타내었다. 해석결과 게이트 크기와 상관없이 7.3초 이후 게이트가 고화됨을 보였다. 앞의 압력결과와 유사하게 동일한 경향성을 보임을 확인할 수 있었다.



(a) Ø3-A gate



(b) Ø3-B



(c) Ø3-C gate

Fig. 7 Gate freeze time analysis according to packing time

### 3.4. 게이트 크기에 따른 두께 수축률 비교

측정된 폴리머 코어의 깊이와 성형된 제품 두께를 통하여 각 게이트 크기에 따른 두께 수축률을 비교하였다. Fig. 8 은 게이트의 단면적이 3 mm<sup>2</sup> 인 제품의 수축률을 표시하였다. 제품의 2.5~7.5 mm 측정 구간에서 높은 수축률을 보였다. 이는 보압이 다른 게이트와 비교하여 가장 낮으며 게이트의 높이가 제품 전체 두께의 85%를 차지함으로써 게이트가 수축이 되면서 제품의 앞단에 영향을 미쳤을 것이라 판단된다.

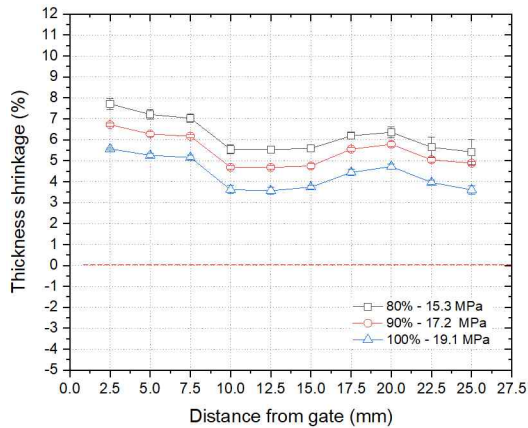


Fig. 8 Shrinkage distribution in thickness direction for different packing pressure (ø3-C gate)

Fig. 9 은 게이트의 단면적이 2 mm<sup>2</sup> 인 제품의 수축률을 표시하였다. 전체적으로 고른 수축률 분포를 보여주고 있고 보압을 100%로 주었을 때, 3% 이내까지 수축률을 줄일 수 있었다.

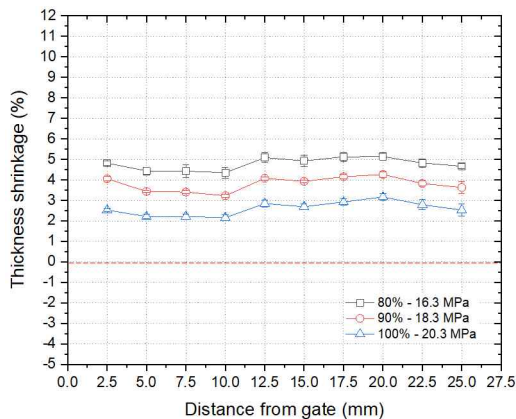


Fig. 9 Shrinkage distribution in thickness direction for different packing pressure (ø3-B gate)

Fig. 10은 게이트의 단면적이 1 mm<sup>2</sup> 인 제품의 수축률을 표시하였다. 보압을 90%로 주었을 때 수축률이 ±0% 근처에 분포되어 있는 것을 확인 할 수 있었고 100% 보압을 주었을 때는 캐비티 내부에 성형 재료가 많이 주입되어 밀도가 높아지는 상태인 과잉충전(Over packing)현상이 발생되었다.

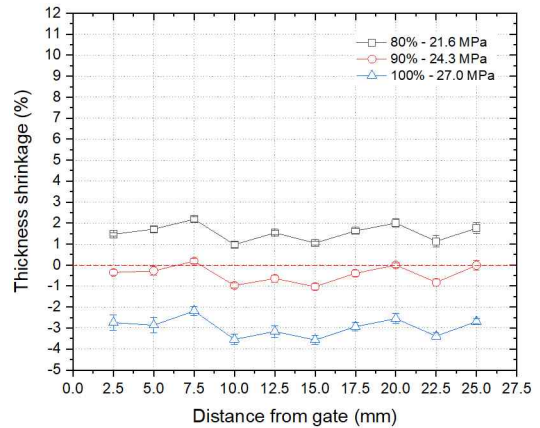


Fig. 10 Shrinkage distribution in thickness direction for different packing pressure (ø3-A gate)

## 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 폴리머 코어의 게이트 크기 변화에 따른 두께 방향 수축률의 변화를 분석하였다. 단면적이 3 mm<sup>2</sup> 인 게이트에서는 보압의 크기에 따라 4.4~6.2%의 평균 수축률을 보였고, 제품 앞단에 큰 수축률이 발생되었다. 단면적이 2 mm<sup>2</sup> 인 게이트에서는 평균 수축률이 2.6~4.8% 나타났으며 균일한 수축률 분포를 보였다. 단면적이 1 mm<sup>2</sup> 인 게이트에서는 평균 수축률이 1.5~2.9%가 나타났으며, 90% 이상의 보압에서는 과잉충전현상이 발생되었다. 이를 통하여 폴리머 코어를 이용한 사출을 진행하였을 때, 게이트 크기를 줄임과 동시에 제품에 맞는 보압의 크기를 확인하여 성형을 진행한다면 ±0%에 근접한 수축률로 부품 성형이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

## 후기

본 연구는 산업통상자원부 산업기술혁신사업 자동차부품기업활력제고사업(2005905(PKM19H10))에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.



## 참고문헌

- 1) Zonder, L. L., Nadav, S., "Precision prototyping: The Role of 3D Printed Molds in the injection Molding Industry", White Paper by Stratasys Inc, 2013
- 2) Kovacs, J. G. "Thermal simulations and measurements for rapid tool inserts in injection molding applications," Applied Thermal Engineering, Vol. 85, pp. 44-51, 2015.
- 3) Hassan, H., Rehnier, N., Arquis, C. E. and Defaye, G., "Moldling the dffect of cooling system on the shrinkage and temperature of the polymer by injection molding," Applied Thermal Engineering, Vol. 30, pp. 1547-1557, 2010.
- 4) Marin, F., Miranda, J. R. and Souza, A. F., "Study of the design of cooling channels for polymers injection molds," Polymer Engineering and Science, Vol. 58, pp. 552-559, 2017.
- 5) Hassan, H., Rehnier, N., Le Bot, C. Pujos, C. and Defaye, G., "3D study of cooling system effect on the heat transfer during polymer injection molding," Int. J. Therm, Vol. 49, pp. 161-169, 2010.
- 6) Cho, S. W., Kim, J. S. Yoon, K. W. and Kim, J. D., "An experimental study of injection molding for multi-beam sensing lens using the change of gate geometry," Transactions of Materials Processing, Vol. 20, pp. 333-338, 2011.
- 7) Lyu, M. Y., Mo, J. H., Chung, W. J., "Shrinkage in injection molded part for operational conditions and resins", Elastomers and Composites, Vol. 38, pp. 295-302, 2003.

## 저자 소개

### 최 한 솔(Han-Sol Choi) [학생회원]



- 2015년 2월: 한국폴리텍2대학 금형디자인과 졸업
- 2017년 3월 ~ 현재: 단국대학교 기계공학과 석과과정 재학중

< 관심분야 >

사출성형 및 금형, 유동해석

### 정 의 철(Euichul-Jeong) [학생회원]



- 2014년: 단국대학교 기계공학 학사
- 2016년: 단국대학교 대학원 기계공학 석사
- 2016년 3월 ~ 현재: 단국대학교 대학원 기계공학과 박사과정

< 관심분야 >

사출성형 및 금형

### 박 준 수(Jun-Soo Park) [학생회원]



- 2018년 2월: 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과 (기계디자인금형공학사)
- 2018년 3월~현재: 서울과학기술대학교 기계디자인금형공학과 (석사과정), 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 금형기술그룹 학연협동과정생

< 관심분야 >

사출성형 및 금형, 3D 프린팅, 피로해석

### 김 미 애 (Miae Kim)



- 2002년 2월: 인천시립대 기계공학과
- 2002년 11월~현재: 한국생산기술연구원 금형기술그룹, 기술원

< 관심분야 >

기계설계 및 3D 프린터

### 채 보 혜(Bo-Hye Chae)



- 2004년 2월: 서울산업대학교 금형설계학과
- 1999년 3월~현재: 한국생산기술연구원 금형기술그룹, 선임연구원

< 관심분야 >

사출성형 및 금형, 정밀측정

**김 상 윤(Sang-Yoon Kim)**



- 2003년~2012년 12월: ㈜모센, 유템 사출성형 팀장
- 2013년 1월~현재: 한국생산기술연구원 금형기술그룹(사출성형 담당)

< 관심분야 >  
사출성형 및 금형, 유동해석

**윤 경 환(Kyung-hwan Woon)**



- 1980년: 서울대학교 기계공학 학사
- 1982년: 서울대학교 대학원 기계공학 석사
- 1989년: 미코넬대학교 기계공학 유체역학 박사
- 1993년 ~ 현재: 단국대학교 기계공학과, 교수

< 관심분야 >  
사출성형(광학제품), 환경유체

**김 용 대(Yong-dae Kim)**

[정회원]



- 2007년 2월: 한양대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 7월~2011년 7월: 한국섬유기계연구원 선임연구원
- 2011년 8월~현재: 한국생산기술연구원 금형기술그룹, 수석연구원

< 관심분야 >  
사출성형 및 금형, 분말사출성형, 유동해석

**이 성 희(Sung-Hee Lee)**

[정회원]



- 1998년 8월 : 홍익대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2002년 7월~2006년 12월 : 한국생산기술연구원 선임연구원
- 2010년 12월~2014년 1월 : 한국생산기술연구원 부천금형센터 센터장
- 2014년 1월~2015년 3월 : 한국생산기술연구원 한국금형센터 그룹장
- 2007년 1월~현재: 한국생산기술연구원 금형기술그룹, 수석연구원

< 관심분야 >  
고분자성형 및 금형, 금속가열, 복합재료, 전산모사/최적화