

## 양면 마이크로 패턴 차량용 후육 라이트 가이드의 사출성형 패턴 전사성에 관한 연구

이동원<sup>1,2</sup> · 김상윤<sup>1</sup> · 김지우<sup>1,3</sup> · 김종수<sup>1</sup> · 이성희<sup>1,†</sup>

한국생산기술연구원 뿌리기술연구소<sup>1,†</sup>

인하대학교 기계공학과<sup>2</sup>

한국교통대학교 기계공학과<sup>3</sup>

## Study of injection molded pattern transferability of double-sided micro-patterned automotive thick light guides

Dong-won Lee<sup>1,2</sup> · Sang-Yoon Kim<sup>1</sup> · Ji-Woo Kim<sup>1,3</sup> · Jong-Su Kim<sup>1</sup> · Sung-Hee Lee<sup>1,†</sup>

Korea Institute of Industrial Technology, Research Institute of Advanced manufacturing & materials Technology<sup>1,†</sup>

Department of Mechanical Engineering, Inha University<sup>2</sup>

Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation<sup>3</sup>

(Received December 15, 2023 / Revised December 25, 2023 / Accepted December 31, 2023)

**Abstract:** In this study, we investigated the injection molding technology of thick-walled light guides, which are parts that control the light source of automotive lamps. Through injection molding analysis, the gate position that can minimize product shrinkage and deformation was selected, and a mold reflecting the analysis results was manufactured to evaluate the effect of injection speed and holding pressure on transferability during micro-pattern molding through experiments. When designing an injection mold for products with varying thicknesses, it was found that installing the gate on the side of the thicker part was advantageous for reducing volume shrinkage and deformation. It was found that the effect of shrinkage due to thickness may be greater than the position of the gate on pattern transferability. The pattern transfer error decreased as the injection speed and holding pressure increased, and it was found that increasing the injection speed was relatively effective.

**Key Words:** CAE, Injection molding, Micro pattern, Pattern transferability, Thick-walled light guide

### 1. 서론

최근 수 년 사이 차량용 등화관제 시스템의 광원은 할로겐램프에서 LED(Light Emitting Diode)로 대체되고 있는 추세이다. LED는 소형, 저전력, 수명, 밝기 등에서 할로겐램프보다 우수하다는 장점이 있다. LED를 차량용 광원으로 적용 시 높은 휘도에 따른 규제 대응 및 램프의 방열 구조개선 등을 위하여 라이트 가이드를 함께 사용하게 된다.<sup>1)2)</sup>

라이트 가이드는 마이크로 패턴을 이용한 광학

설계를 적용하여 광원에서 발생한 빛을 특정 방향으로 유도하는 기능을 수행한다. 이러한 마이크로 패턴을 이용하는 광학 부품의 제조를 위하여 마이크로 패턴 성형용 금형 제조 및 성형 공정과 관련한 다양한 연구들이 보고된 바 있다. Do 등<sup>3)</sup>은 제조 방식에 따른 금형의 표면 특성을 분석을 통하여 LiGA-reflow 방식을 이용한 마이크로 패턴 금형 제조를 제안하였으며, Hwang 등<sup>4)</sup>은 LiGA 공정을 응용하여 양각 및 음각 마이크로 렌즈 어레이 금형을 제작하고 성형 실험을 통하여 음각의 광학패턴이 양각 대비 우수함을 검증하였다. Lee 등<sup>5)</sup>은 마이크로 피라미드 패턴 사출성형 시 높은 온도에서 패턴에 수평한 방향으로 사출하는 것이 성형성 개선에 유리함을 실험적으로 확인하였으며 Kim 등<sup>6)</sup>은 마

† 교신저자: birdlee@kitech.re.kr

\* 본 논문에 대한 저작권은 저자들에게 있으며 CC BY-NC-SA를 만족하는 조건으로 이용할 수 있습니다.

이크로 패턴의 사출성형 시 패턴의 형상에 따라 성형 중 발생하는 금형 내부 압력의 차이가 패턴의 전사성에 영향을 있음을 해석과 실험을 통하여 밝혔다. 또한 Kwon 등<sup>7)</sup>은 급속가열 사출성형을 이용한 초박육 마이크로 패턴 성형 시 성형성 개선을 위한 최적 온도조건과 사출압력을 실험적 연구로 도출하였다. Lin 등<sup>8)</sup>은 PC(Polycarbonate)를 이용한 V-그룹 마이크로 패턴 사출 실험을 통하여 공정변수가 패턴의 충전과 휘도에 미치는 영향에 대하여 설명하였으며, Tofteberg 등<sup>9)</sup>은 PC소재의 광학 격자 사출 실험을 통하여 보압 해제 시 발생하는 탄성반동 때문에 최적 값 이상의 보압은 전사성에 불리함을 설명하였다. Park 등<sup>10)</sup>은 해석 및 실험적 연구를 통하여 높은 세장비를 갖는 마이크로 패턴 성형 시 금형 변형 및 사출품 불량 원인을 확인하고 이를 개선하기 위한 표준 금형을 제안하였다.

마이크로 패턴을 이용한 광학부품은 패턴의 형상 정밀도가 품질과 기능에 결정적인 영향으로 작용함을 기존 연구를 통하여 알 수 있었다. 즉, 라이트 가이드가 설계 의도와 동일한 역할을 하기 위해서는 정밀한 성형기술이 필수이며, 이를 위하여 수축 및 변형 특성 예측과 제어를 위한 금형 설계 및 공정 조건 분석이 필요하다.

본 연구는 차량용 후육 라이트 가이드 성형 기술 개발을 위한 연구이다. 사출성형해석을 통하여 제품 수축과 변형을 최소화 할 수 있는 게이트 위치를 선정하였고, 해석 결과가 반영된 금형을 제작하여 마이크로 패턴 성형 시 사출속도와 보압 조건이 전사성에 미치는 영향을 실험을 통하여 평가하였다.

## 2. 해석 및 실험 방법

### 2.1. 제품 형상

Fig.1은 본 연구에서 성형 대상인 차량용 라이트 가이드이다. 점차 두께가 증가하는 구조이며 가장 얇은 곳의 두께는 약 1.5 mm, 가장 두꺼운 곳의 두께는 약 7.5 mm 수준이다. 이 라이트 가이드는 광학적 기능을 위한 마이크로 패턴을 양면에 갖는다. Fig.1(a)와 같이 빗면에는 R150  $\mu\text{m}$ , 높이 60  $\mu\text{m}$ , 피치 400  $\mu\text{m}$ 인 계단 형태의 마이크로 광학 패턴이 있으며, 평면인 배면에는 Fig.1(b)와 같이 R150  $\mu\text{m}$ , 높이 40  $\mu\text{m}$ , 피치 500  $\mu\text{m}$ 인 U-그룹 형태의 마이크로 배면 패턴이 있다. 이러한 라

이트 가이드의 품질에는 패턴의 전사성이 큰 영향을 미치며, 후육부에서의 높은 수축에 의한 전사성 저하를 예상할 수 있다. 본 연구에서는 후육부의 수축 저감과 패턴 전사 오차 감소를 목적으로 게이트 위치 선정 및 사출속도와 보압 조건에 대한 연구를 수행하였다.

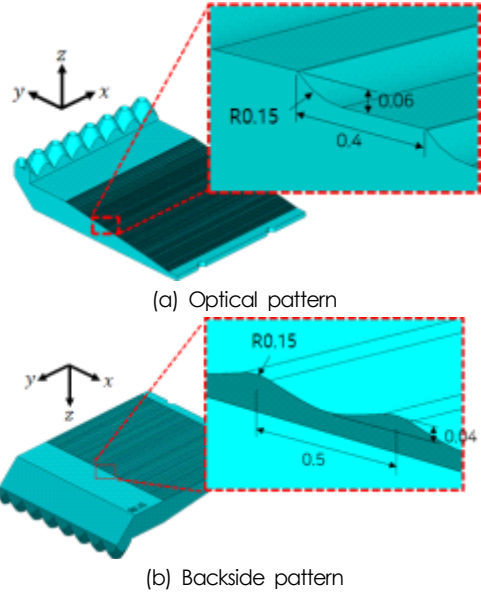


Fig. 1 Geometry of light guide

### 2.2. 해석 방법

#### 해석 모델

충진, 수축, 변형에 유리한 게이트 위치 선정을 위하여 Fig.2와 같이 4개의 게이트 위치에 대한 사출성형해석을 수행하였다. Fig.2의 (a)와 (b)의 수지 유동부(스프루, 런너, 게이트)의 부피는 1.445  $\text{cm}^3$ 로 동일하며, (a)는 후육부 측면에 게이트가 위치하고 (b)는 박육부 중앙에 게이트가 위치하도록 설계되었다. Fig.2의 (c)와 (d)는 상대적으로 런너와 게이트의 단면적이 작으며 모두 박육부에 위치하도록 설계되었으나 (c)는 게이트가 박육부 중앙에 위치하고, (d)는 (c)보다 런너가 짧아 게이트가 중앙이 아닌 한 쪽으로 치우치 형태로 설계되었다. 수지 유동부 부피는 (c) 1.233  $\text{cm}^3$ , (d) 1.069  $\text{cm}^3$ 이다. 해석에 적용된 사출성형 조건은 수지 제조사의 권장 성형 조건을 따르되 사출률을 10  $\text{cm}^3/\text{s}$ 로 하여 해석을 진행하였다.

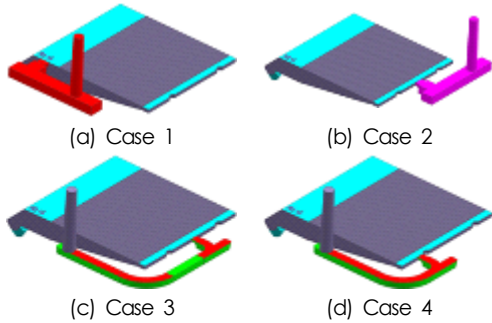


Fig. 2 Injection molding simulation model

수지

라이트 가이드의 사출성형을 위한 수지는 해석결과 및 실험결과와의 비교분석을 위하여 사출성형해석 소프트웨어(Mold Flow, Autodesk)의 수지 데이터베이스를 바탕으로 Mitsubishi Chemical의 PMMA 수지인 ACRYPET VH001로 선정하였으며, 수지의 사출성형공전조건과 유변학적 특성을 각각 Table 1과 Fig. 3에 나타내었다. 사출성형을 위한 금형 온도는 70 °C이며, 수지온도는 235 °C이다. 또한 취출 가능한 온도는 101 °C이다. 점도는 전단률에 따라 감소하는 경향을 보이며, 전형적인 비결정 수지의 PVT 특성을 보인다.

Table 1 Recommended injection molding condition for resin(ACRYPEY VH001, Mitsubish chemical)

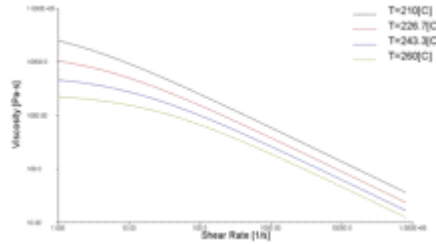
Process Condition	Unit	Value
Mold temperature	°C	70
Melt temperature	°C	235
Ejection temperature	°C	101
Maximum shear stress	MPa	0.4
Maximum shear rate	1/s	40,000

2.3. 실험 방법

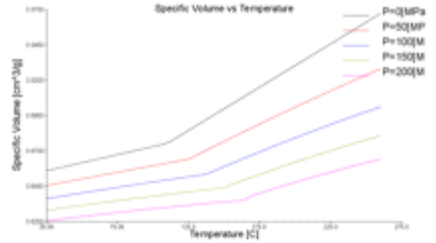
사출성형해석 결과를 바탕으로 실험용 금형을 제작하였으며 이를 활용하여 사출성형조건 중 사출속도와 보압 조건이 마이크로 패턴 전사에 미치는 영향을 확인하기 위한 사출성형실험을 진행하였다.

실험장비

실험에 사용한 장비는 Fig.4와 같다. 마이크로 패턴이 있는 광학 부품의 특성을 고려하여 재현성 및



(a) Viscosity curve



(b) PVT curve

Fig. 3 Rheological properties of resin(ACRYPEY VH001, Mitsubish chemical)

Table 2 Specifications of Injection molding machine using experiment

Category	Unit	Value
Screw diameter	mm	32
Injection stroke	mm	150
Maximum injection volume	cc	121
Maximum injection speed	mm/s	1200
Maximum injection pressure	kgf/cm <sup>3</sup>	3800
Tonnage	tf	250
Tie bar spacing(H×V)	mm	710 × 635

정밀성이 우수한 것으로 알려진 FANUC사의 ROBOSHOT α-S250iA 사출성형기를 사용하였으며, 사출성형기의 사양은 Table 2에 나타내었다.

실험 조건

사출성형 실험조건은 Tabel 3과 같다. 실험에서 고려된 변수는 사출속도, 보압력, 보압 시간이며 이외의 조건인 금형온도, 수지온도, 보압 절환, 냉각시간은 수지 제조사의 권장조건 및 사출성형 해석결과를 바탕으로 선정하였다. 실험 1, 2, 3, 4는 사출속도가 마이크로 패턴 전사에 미치는 영향을 확인하기 위한 실험이며, 실험 1, 5, 6, 7의 결과 비교는 보압 시간 및 보압력의 마이크로 패턴 전사에 대한 영향을 확인하기 위하여 설계되었다.

**Table 3** Condition of experiments

No.	Mold Temperature ℃	Resin Temperature ℃	Injection speed mm/s	V/P, %	Packing pressure bar	Holding time sec	Cooling time sec
1	60	250	3	90	800	20	70
2	60	250	5	90	800	20	70
3	60	250	10	90	800	20	70
4	60	250	20	90	800	20	70
5	60	250	5	90	800	53	70
6	60	250	5	90	1040	53	70
7	60	250	5	90	1200	53	70



**Fig. 4** Injection molding machine using experiments

### 2.4. 측정 및 분석방법

마이크로 패턴의 전사 정도를 관찰하기 위하여 금형의 코어 및 사출성형실험의 각 시편의 마이크로 패턴의 형상 프로파일을 비교하였다. 형상 프로파일은 공초점 레이저 현미경(OLS-5100, Olympus)을 사용하여 획득하였다.

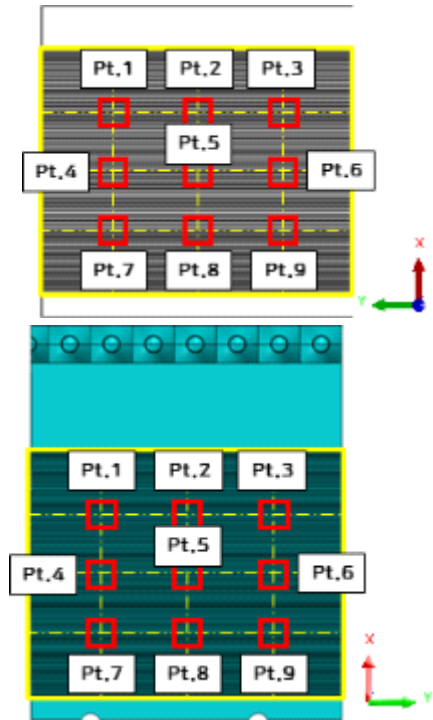
전사 오차율의 평가를 위한 형상 프로파일 측정 위치는 Fig. 5와 같이 시편의 마이크로 패턴이 성형된 영역 X방향과 Y방향을 각각 4등분하는 직선의 교점에 해당하는 영역을 측정하였다

본 연구에서 마이크로 패턴의 전사 정도는 패턴 전사 오차율을 활용하여 평가하였다. 패턴의 전사 오차율은 캐비티 패턴 깊이에 대하여 충전되지 않은 캐비티 깊이의 비율을 나타내며 식(1)과 같이 표현할 수 있고 Fig. 6와 같은 형태로 7 개 실험에 대한 오차율을 획득하였다.

패턴 전사 오차(%)

(1).

$$= \frac{\text{캐비티 패턴 깊이} - \text{성형품 패턴 높이}}{\text{캐비티 패턴 깊이}}$$



**Fig. 5** Measuring point for acquiring geometry profile

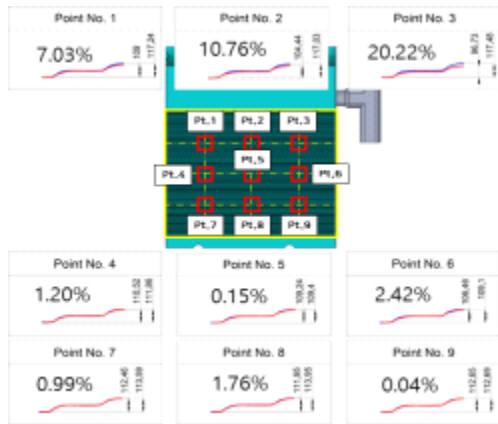


Fig. 6 Example of pattern transfer error acquisition

### 3. 해석 결과 및 분석

4가지의 게이트 위치 변경에 대한 해석 결과를 충전패턴, 평균 부피 수축, 변형 정도를 기준으로 분석하였고 결과는 Table 4와 같다. 게이트가 후육부에 위치하는 1번 조건이 게이트가 박육부에 위치하는 2, 3, 4번 조건에 비하여 충전시간은 증가하였지만, 형체력, 수축, 변형은 감소하였다. 또한 1번과 2번 조건, 3번과 4번 조건을 비교하였을 때 게이트가 측면 또는 측면에 가깝게 설치된 1번, 4번 조건이 상대적으로 형체력과 평균 부피 수축의 감소 측면에서 유리함을 확인하였다.

결과적으로 게이트가 후육부 측면에 위치할 때 형체력, 평균 부피 수축, 변형이 가장 적은 결과를 얻을 수 있었으며, 동일한 형상으로 시험용 금형을 제작하여 사출 성형 실험을 수행하였다.

Table 4 Injection molding analysis results for gate position change

Case No.	Filling Time sec	Clamping force ton	Max Shrinkage %	Max. Deflection mm
1	1.934	7.5	8.46	0.3406
2	1.934	10	8.468	0.3410
3	1.888	13.75	8.619	0.3563
4	1.860	12.5	8.58	0.3584

### 4. 실험 결과 및 분석

Fig. 7은 사출 성형 조건 별 성형 해석 결과와 실

험 결과의 사출품 중량을 비교한 결과이다. 중량 비교는 1번 조건을 기준으로 상대값을 사용하였다. 비교 결과 해석값과 실험값이 유사하여 해석결과의 신뢰도가 높음을 알 수 있다. 또한 1, 2, 3, 4번 조건의 상대 중량을 비교하였을 때 속도가 증가할수록 사출품 중량이 감소하였으며, 5, 6, 7번 결과를 비교하여 보압이 증가할수록 사출품의 중량 또한 증가함을 알 수 있다.

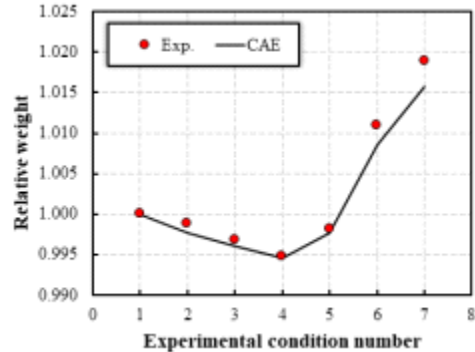


Fig. 7 Comparison of CAE and experimental results of weight by injection molding condition

Table 5 및 Fig.8과 Table 6 및 Fig.9는 각각 사출 속도 변화와 보압 조건 변화에 따른 패턴 전사 오차 결과 및 이를 도식화한 결과이다.

모든 실험조건에서 패턴 전사 오차율의 최댓값은 후육부인 1, 2, 3번 지점에서 발생하였으며 성형품의 두께가 얇아질수록 수축률 또한 감소하는 경향을 보인다. 특히 광학패턴의 3번 지점과 배면패턴의 1번 지점 같이 게이트와 가장 가까운 위치에서 수축율의 최댓값이 주로 관찰되었다. 일반적으로 패턴의 전사성은 게이트에서 멀어질수록 감소하는 것으로 알려져 있으나, 실험에 적용된 제품의 후육 특성에 기인한 수축이 큰 영향을 미친 것으로 사료된다.

Table 5의 사출 속도 변화에 대한 전사오차 결과로부터 사출속도가 증가할수록 전사오차와 편차는 감소하는 경향을 보이므로 사출속도가 증가할수록 마이크로 패턴 전사에 유리함을 알 수 있다. Table 6에서 실험조건 2번과 5번은 보압 시간만을 증가시킨 결과이다. 보압 시간이 증가하였을 때 광학패턴 측 전사 오차의 최댓값과 최솟값은 감소하였지만, 이를 제외한 다른 지표는 광학패턴과 배면패턴 모두 증가한 것으로 관찰되었다. 또한 실험조건 5, 6, 7번을 통하여 보압력이 증가할수록 패턴 전사오차는 감소함을 알 수 있다.

사출속도와 보압 조건 변화에 따른 전사 오차 결과 중 각각의 최소 오차를 보인 실험조건 4와 7로부터 전사 오차 감소를 위하여 사출속도를 증가시키는 것이 보압 조건을 증가시키는 것보다 유리함 확인하였다.

**Table 5** Pattern transfer error due to injection speed variation

Measuring Point No.	Pattern transfer error(optical pattern)				Measuring Point No.	Pattern transfer error(backside pattern)			
	Case1 3 mm/s	Case2 5 mm/s	Case3 10 mm/s	Case4 20 mm/s		Case1 3 mm/s	Case2 5 mm/s	Case3 10 mm/s	Case4 20 mm/s
1	18.20%	7.03%	0.54%	4.94%	1	46.37%	16.77%	10.13%	5.37%
2	36.21%	10.76%	5.14%	5.55%	2	38.04%	12.67%	5.99%	3.92%
3	44.05%	20.22%	6.72%	5.23%	3	24.32%	8.82%	3.51%	2.32%
4	0.55%	1.20%	0.73%	0.30%	4	25.71%	10.26%	6.28%	3.25%
5	11.39%	0.15%	1.77%	2.78%	5	21.20%	6.65%	4.09%	1.59%
6	16.98%	2.42%	0.54%	0.12%	6	9.18%	4.46%	2.29%	0.86%
7	0.71%	0.99%	1.61%	0.83%	7	9.71%	3.75%	2.17%	0.59%
8	0.86%	1.76%	0.40%	1.19%	8	6.28%	2.33%	0.73%	0.21%
9	1.57%	0.04%	1.44%	0.77%	9	2.66%	1.61%	0.70%	0.12%
Max.	44.05%	20.22%	6.72%	5.55%	Max.	46.37%	16.77%	10.13%	5.37%
Min.	0.55%	0.04%	0.40%	0.12%	Min.	2.66%	1.61%	0.70%	0.12%
Average	14.50%	4.95%	2.10%	2.41%	Average	20.38%	7.48%	3.99%	2.02%
Std. Dev.	16.25%	6.75%	2.27%	2.25%	Std. Dev.	14.93%	5.09%	3.06%	1.83%

**Table 6** Pattern transfer error due to packing condition

Measuring Point No.	Pattern transfer error(optical pattern)				Measuring Point No.	Pattern transfer error(backside pattern)			
	Case2 20 sec 800 bar	Case5 53 sec 800 bar	Case6 53 sec 1040 bar	Case7 53sec 1200 bar		Case2 20 sec 800 bar	Case5 53 sec 800 bar	Case6 53 sec 1040 bar	Case7 53sec 1200 bar
1	7.03%	9.07%	1.09%	7.03%	1	16.77%	24.37%	19.53%	16.77%
2	10.76%	14.75%	10.00%	10.76%	2	12.67%	15.82%	13.22%	12.53%
3	20.22%	18.64%	14.54%	17.66%	3	8.82%	8.18%	6.52%	8.82%
4	1.20%	1.24%	7.06%	1.20%	4	10.26%	11.71%	9.23%	10.26%
5	0.15%	1.28%	1.46%	0.15%	5	6.65%	8.64%	6.44%	6.65%
6	2.42%	5.25%	3.91%	2.42%	6	4.46%	3.09%	2.83%	4.46%
7	0.99%	0.00%	1.27%	0.99%	7	3.75%	4.34%	4.19%	3.75%
8	1.76%	0.51%	0.48%	1.76%	8	2.33%	2.77%	3.60%	2.33%
9	0.04%	1.23%	3.29%	0.04%	9	1.61%	1.82%	1.70%	1.61%
Max.	20.22%	18.64%	14.54%	17.66%	Max.	16.77%	24.37%	19.53%	16.77%
Min.	0.04%	0.00%	0.48%	0.04%	Min.	1.61%	1.82%	1.70%	1.61%
Average	4.95%	5.77%	4.79%	4.67%	Average	7.48%	8.97%	7.47%	7.46%
Std. Dev.	6.75%	6.89%	4.82%	6.05%	Std. Dev.	5.09%	7.40%	5.75%	5.07%

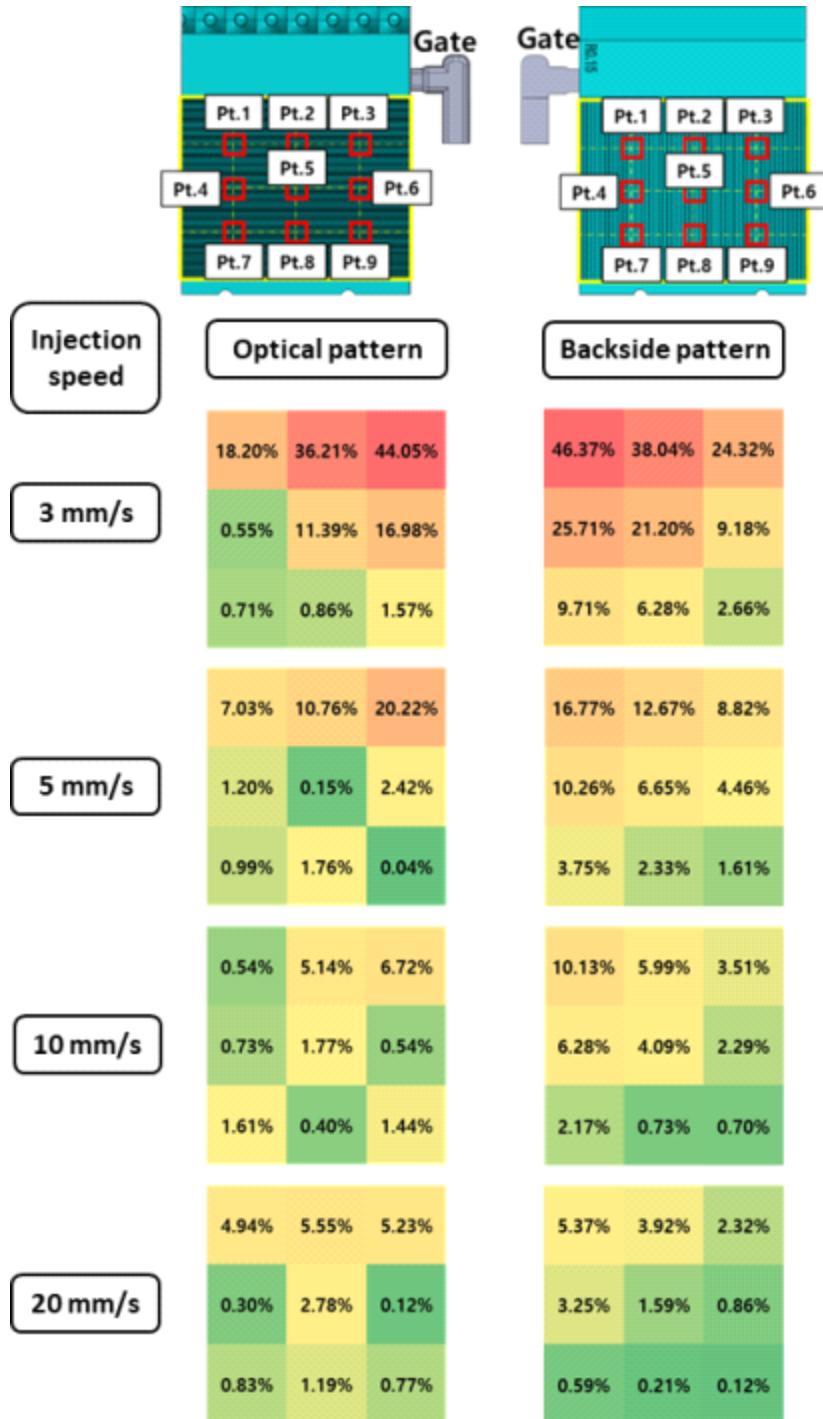


Fig. 8 Pattern transfer error at each point as injection speed variation

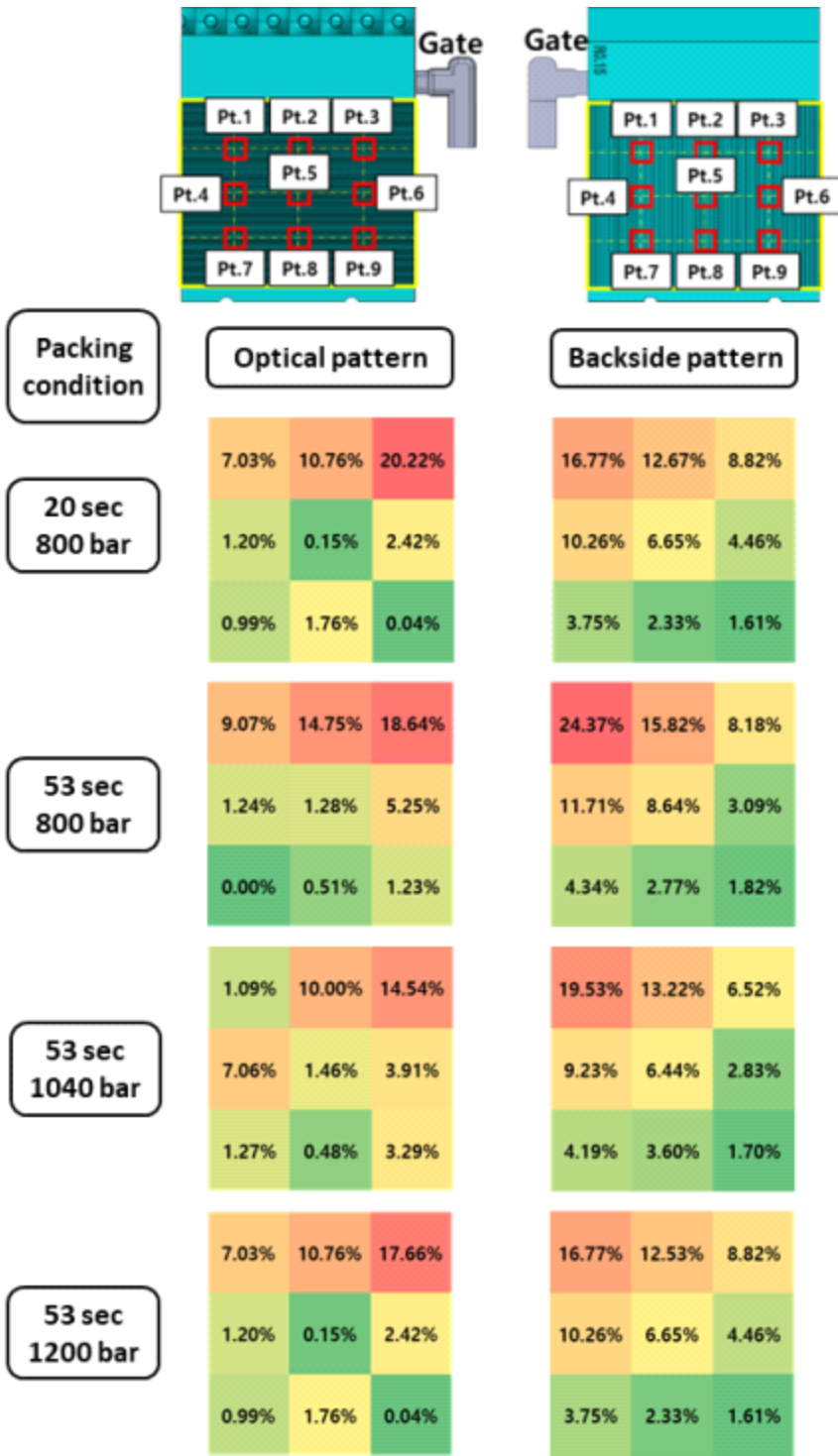


Fig. 9 Pattern transfer error at each point as Packing condition



## 5. 결론 및 토의

본 연구는 양면에 마이크로 패턴이 있는 차량용 후육 라이트 가이드 제조 기술에 관한 연구로서, 라이트 가이드의 사출성형 시 게이트 위치 및 사출속도와 보압 조건이 마이크로 패턴 전사에 미치는 영향을 해석과 실험으로 확인하였으며, 결과적으로 다음과 같은 내용을 알 수 있었다.

- 1) 두께가 변화하는 제품의 사출성형금형 설계 시 후육부 측면에 게이트를 설치하는 것이 박육부 중앙에 게이트를 설치하는 것보다 상대적으로 충전 시간은 증가하지만 형체력 감소, 평균 부피 수축 및 변형 감소에 유리하다.
- 2) 일반적으로 게이트에서 멀어질수록 전사성이 나빠져 전사오차가 증가하나, 두께가 변하는 제품의 경우 게이트의 위치보다 제품의 두께 특성이 수축에 큰 영향을 미칠 수 있다.
- 3) 사출속도와 보압이 증가할수록 패턴의 전사오차는 감소하며 사출속도를 증가시키는 것이 보압을 증가시키는 것보다 패턴 전사 오차 감소에 유리하다.

본 연구를 통하여 라이트 가이드의 사출성형 시 마이크로 패턴의 전사성에 있어 두께 특성에 기인한 문제점을 확인할 수 있었다. 향후 실제 제품 성형을 위하여 수지온도 및 냉각 조건을 고려한 공정 변수 최적화 및 대면적 성형에서의 전사성 향상에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 후기

본 연구는 산업통상자원부의 소재부품산업기술 개발기반구축사업의 ‘글로벌시장진출을 위한 차세대 자동차용 R100, Ra20nm급 디지털 라이트닝 초미세 Light Guide 모듈 금형성형기술 개발(KM230100, 20019131)’과제의 지원을 받아 수행되었다.

## 참고문헌

- 1) Lee, D.W. and Lee, S.K., “An Analysis of the Technology Market for Development of LED Head lamps for Vehicles”, Korea Institute of Science and Technology Information, pp. 5-47, 2013.
- 2) Gebauer, M. and Hamm, M., “Light guide technology in headlamps and rear lamps”, Auto Technology, Vol. 6, pp. 34-37, 2006.  
<https://doi.org/10.1007/BF03246964>
- 3) Do, Y., Kim, J., Go, Y., Kim, J.D., Yoon, K. and Hwang, C., “Surface characteristics on the optical pattern die of light guiding plate by machining types”, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 2:4, pp. 1-4, 2008.
- 4) Hwang, C.J., Kim, J.S., Kang, J.J., Hong, S. and Yoon, K.H., “Replication of concave and convex microlens array of light guide plate for liquid crystal display in injection molding”, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 2:2, pp. 29-32, 2008.
- 5) Lee, K.M., Jeon, E., Woo, S.W. and Yoo, Y.E., “Study on the effects of injection mold temperature on the micro-pyramid pattern”, Proceeding of Korean Society for Precision Engineering Spring Conference, Vol. 2013:5, pp. 295-296, 2013.
- 6) Kim, T.H., Yoo, Y.E., Je, T.J., Park, Y.W., Roh, S. H. and Choi, D.S., “A study on the micro pattern replication difference in injection molding”, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 2:4, pp. 48-53, 2008.
- 7) Kwon, O.K., Yun, J.H. and Park, K., “Improvement of Moldability for Ultra Thin-Wall Molding with Micro-Patterns,” Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A. The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 31:5, pp. 556-561, 2007.  
<https://doi.org/10.3795/ksme-a.2007.31.5.556>
- 8) Lin, T.H., Isayev, A.I. and Mehranpour, M., “Luminance of injection molded V groove light guide plates”, Polymer Engineering & Science, Vol. 48:8, pp. 1615-1623, 2008.

- 9) Tofteberg, T.R., Amédro, H., Grytten, F. and Andreassen, E., "Effects of Injection Molding Holding Pressure on the Replication of Surface Microfeatures" International Polymer Processing, Vol. 25:3, pp. 236-241, 2010.  
<https://doi.org/10.3139/217.2340>
- 10) Park, C.Y., Seo, C.Y. and Kim, Y. "Development of  $\mu$ -PIM standard mold with exchangeable insert core in order to manufacture micro pattern", Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 11:3, pp. 29-34, 2017

### 저자 소개

#### 이 동 원 (Dong-won Lee)



- 2017년 8월: 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2017년 9월~현재: 인하대학교 기계공학과 박사과정
- 2015년 3월~현재: 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소 금형성형연구부문, 학연협동과정생

< 관심분야 >  
 정밀가공, 금형, CAE

#### 김 상 윤 (Sang-Yoon Kim)



- 2003년~2012년 12월: (주)모션, 유뎀 사출성형 팀장
- 2013년 1월~현재: 한국생산기술연구원 금형성형연구부문 (사출성형 담당)

< 관심분야 >  
 사출성형 및 금형, 유동해석

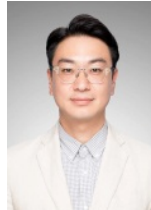
#### 김 지 우 (Ji-Woo Kim)



- 2018년 3월~현재 : 한국교통대학교 기계공학과
- 2023년 7월~현재: 한국생산기술연구원 금형성형연구부문 현장실습생

< 관심분야 >  
 정밀가공

#### 김 종 수 (Jong-Su Kim)



- 2012년 2월: KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2012년 3월~2019년 1월: 삼성전자 MASK 개발팀, 책임연구원
- 2019년 1월~현재: 한국생산기술연구원, 뿌리기술연구소, 금형성형연구부문, 수석연구원

< 관심분야 >  
 정밀가공, 금형, 자동화

#### 이 성 희 (Sung-Hee Lee)



- 1998년 8월 : 홍익대학교 기계공학과(공학박사)
- 2002년 7월~2006년 12월 : 한국생산기술연구원 선임연구원
- 2010년 12월~2014년 1월 : 한국생산기술연구원 부친금형센터 센터장
- 2014년 1월~2015년 3월 : 한국생산기술연구원 한국금형센터 그룹장
- 2017년 1월~현재 : 한국생산기술연구원 금형성형연구부문, 수석연구원

< 관심분야 >  
 고분자 성형 및 금형, 급속가열, 복합재료, 전산모사/최적화