

사출 성형 후변형의 영향 인자 분석

Analysis of Influencing Factors to Warpage of Injection Molded Parts

*강중근¹, 조영기¹, 장형건¹, #이병욱¹, 박형필^{1,2}, 차백순², 성한기³

*J.K. Kang¹, Y.K. Cho¹, H.G. Chang¹, #B.O. Rhee¹ (rhex@ajou.ac.kr), H.P. Park^{1,2}, B.S. Cha², H.K. Seung³

¹아주대학교 기계공학과, ²한국생산기술연구원, ³현대자동차 생산기술센터

Key words : Injection molding, Warpage, Deflection, Optimal Design, CAE

1. 서론

후변형은 성형공정에서 발생하는 온도 및 압력의 변화에 의하여 플라스틱 제품에 발생하는 불균일한 수축현상을 말한다. 후변형의 원인으로는 제품 두께 차이, 부적절한 게이트 위치, 불균일한 냉각 속도 차이[1] 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 주요 설계변수가 제품의 변형에 미치는 영향을 분석함으로써 설계단계에서 최종제품의 변형을 최소화하기 위한 설계방안을 마련하고자 한다. 이를 위해서 CAE 해석을 통해 설계 변수인 제품 살두께가 제품의 후변형에 미치는 영향도를 분석하였다. 분석된 결과를 바탕으로 후변형을 최소화 하는 설계 조건을 도출하였고, 이를 제품 설계에 반영하여 빠른 시간 내에 설계 변수에 대한 최적 설계를 수행하는 기법을 연구하였다.

2. 예비해석

제품 생산 단계의 공정조건이 후변형에 미치는 영향도가 설계변수의 영향도와 비슷하거나 더 크다면, 설계단계에서 후변형을 줄이고자 했더라도 생산단계의 영향 때문에 효과가 없을 수 있다. 이에 따라 공정조건이 후변형에 어느 정도 영향을 주는지를 분석하였다. 예비해석에서는 공정변수의 변화 폭을 실제 성형공정에서 변화하는 폭보다 비정상적으로 크게 설정하여 공정변수의 영향도를 조사하였다.[2]

Table 1 CAE analysis base condition

Mold surface temperature	33℃
Melt temperature	215℃
Filling control : Flow rate	750 cm ³ /s
Velocity/Pressure switch-over	99%
Maximum machine injection pressure	173.578 MPa
Mold Material	Tool steel P-20
Mold thermal conductivity	37.8 W/m·K
Warpage analysis type	Large deflection
Consider mold thermal expansion	
Consider corner effects	

Table 2 Pre-analysis conditions

Overall Thickness	2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 mm
Part thickness	5 part, Setting each part
Gate	4 gate, 6 gate
Coolant Temp.	23℃, 33℃, 43℃
Heat conduction coefficient	15, 37.8, 60 W/m·K
Mold Temp.	15, 33, 55℃
Injection Pressure	174, 60, 40, 50 Mpa
Valve-gate open timing	Various open timing

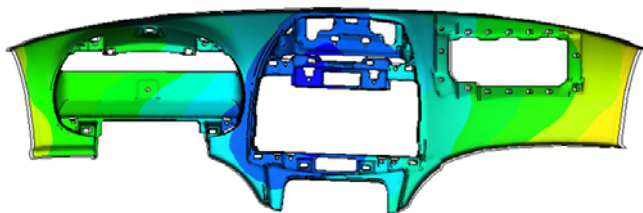


Fig. 1 Warpage distribution at coolant Temp. 23℃

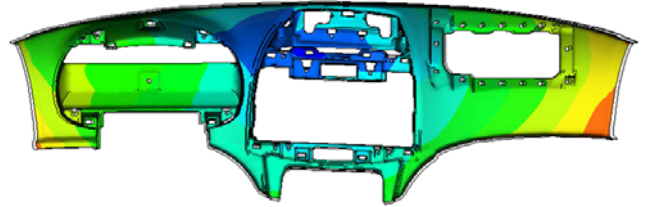


Fig. 2 Warpage distribution at coolant temp. 43℃

예비해석 결과, 설계변수인 살 두께가 변형량 변화에 절대적인 영향도를 가지고 있으며 공정변수의 영향도는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이 결과를 근거로 본 해석에서 진행하려는 설계변수의 변화에 대한 변형량 변화 분석이 의미를 가질 수 있게 되었다.

3. 본 해석과 실험

3.1 CAE Analysis

설계변수인 살두께의 변형량에 대한 영향도를 분석하기 위해서 각 변수의 변화에 대한 영향도를 별도로 조사하는 방법은 해석량이 매우 커서 경제적이지 못하다. 따라서, 해석량도 줄이면서 상호작용에 대한 조사도 함께 하기 위해서 실험계획법 중 하나인 반응표면분석법(Box-Behnken 법을 적용)을 적용하여 해석을 진행하였다.

7 개의 주요관리위치에서 X, Y, Z Deflection 을 반응변수로 선정한 후 분석을 실시하여 총 21 개의 반응표면을 구하였다. 이 반응표면을 이용하여 4 개의 제어인자(각 부위의 살두께)가 21 개의 반응변수에 미치는 영향을 분석하였다.

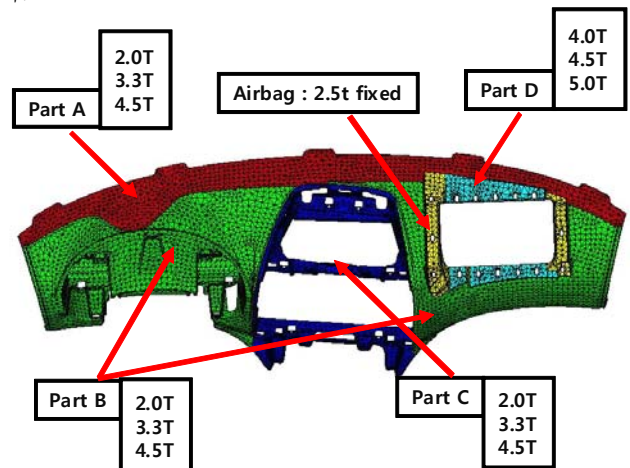


Fig. 5 Control factors and range

분석 결과, 특정 반응변수에 인접한 부위의 살두께 변화가 반응변수에 대한 영향이 가장 크며 인접하지 않은 살두께의 영향은 작은 것으로 나타났다. 대부분의 경우 지배적 영향도를 가진 인자는 최대 2 개 정도이며 다른 인자의 영향은 무시될 만한 정도였다. 그리고 각 반응변수에 대한 각 부위 살두께의 상호작용은 거의 무시할 만한 수준이었다.

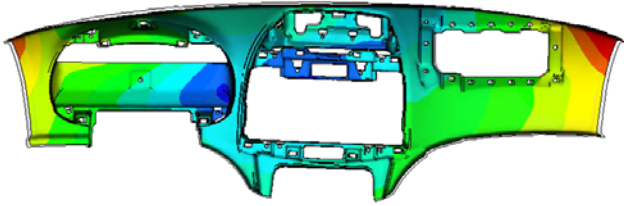


Fig. 3 Warpage distribution (thickness A is 1.5t)

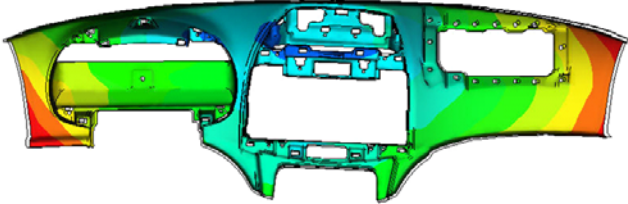


Fig. 4 Warpage distribution (thickness A is 3.5t)

반응표면 함수에 대해 최적설계용 소프트웨어(Visual DOC)를 사용하여 대상 변형량(1, 3, 5 번 포인트의 All Deflection)의 제곱의 총합을 최소화하는 살두께를 구하였다. 최적 설계를 위한 알고리즘으로서 Gradient 방법을 사용하였다.

Table 3 Optimal solution for the least warpage

Part A	3.0mm
Part B	4.4mm
Part C	4.5mm
Part D	4.3mm

3.2 실험과 변형량 측정

해석결과를 이용한 평가가 어느 정도 신뢰성을 가지는 가는 실험을 통해 밝혀져야 하는데, 현실적으로 설계변수의 변화에 대한 영향도를 실험적으로 평가하기는 매우 어려운 상황이다. 하지만 공정변수 변화의 변형량에 대한 영향도는 어렵지 않게 실험을 통해 평가가 가능하다. 따라서, 공정변수의 영향도를 공정실험을 통해 평가하고 분석하는 것을 목적으로 실험을 진행하였다.

실험은 속도와 보압을 지속적으로 낮추면서 중량을 측정하여 설계 중량에 근접하도록 사출조건을 맞추는 방식으로 진행하였다. 예비 실험을 제외한 총 10 가지의 사출조건을 선정하여 실험을 진행하였으며 생산된 제품의 주요관 리치수는 실제제품 치수 측정용 체크를 기준하여 측정하였다. 이들 조건 중 4 개 조건을 선정하여 해석 결과와 실험 결과를 비교하였다. 측정은 상면부 3 개 포인트에서 실시하였다.

해석값과 측정값을 비교할 때는 제품 치수가 기준이 되어야 한다. 하지만 해석에서는 수축량을 고려한 금형 치수를 이용하기 때문에 서로 직접적인 비교가 어렵다. 본 연구에서는 해석 결과 변형량에서 원 제품 치수를 빼어 산출

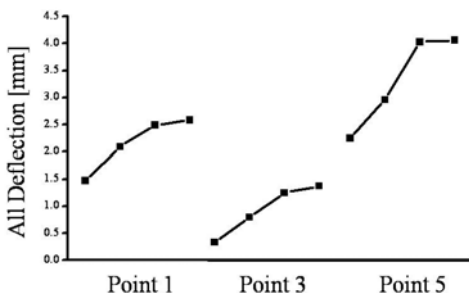


Fig. 5 Deflections of major positions calculated from CAE analysis

하였다.

비교 결과, 해석결과와 실험결과와의 변형량 경향이 특정 위치를 제외하면 전체적으로 동일한 거동을 보이고 있었다. 그리고 대부분 해석결과가 실험결과에 비해 변화폭이 크게 나타났는데, 이는 해석으로 예측한 값보다 실제 변형량이 작음으로써 공정변수의 변화가 나타내는 영향도가 실제로는 더욱 낮음을 의미한다. 예비해석에서 공정변수의 영향도가 설계변수보다 매우 낮게 나타났었는데 실제로는 이보다 더욱 낮게 나타나고 있음을 확인한 결과였다.

4. 결론

본 연구개발 과제를 진행한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 사출성형품의 품질에 대한 영향도는 설계변수인 살 두께가 공정변수보다 월등히 높았으며 품질을 높이기 위해서는 설계변수의 최적설계가 이루어져야 한다.
- (2) 기존에는 각 변수의 변형량에 대한 영향도 분석을 독립적으로 실행함으로써 설계변수 간의 상호작용은 물론 최적의 설계변수 조합을 찾을 수 없었지만, 본 연구에서 이를 개선하여 상호작용 분석과 최적설계가 동시에 이루어질 수 있도록 하였다.
- (3) 각 설계변수의 변화가 제품 변형량 변화에 미치는 영향을 실시간으로 설계자가 직접 볼 수 있도록 하는 설계 툴을 개발함으로써 향후 제품 설계단계에서 최적의 제품 설계를 달성할 수 있도록 하였다.
- (4) 반응표면분석법을 이용하여 얻어낸 반응표면 회귀 모델에 최적설계 기법을 적용하여 초기 제품 설계 단계에서 최적의 설계변수 선정을 할 수 있는 설계 툴을 개발하였다.
- (5) 공정실험을 통해 해석결과의 신뢰도를 검증함으로써 향후 해석결과를 이용한 설계와 예측의 정밀도를 향상하였다.

후기

본 연구는 현대자동차와 아주대학교 기계공학부 간의 산학협력연구로 진행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Seyler and Schenck, "Warpage index based on cooling and orientational effects", ANTEC2003, 2003
2. Gipson, Grelle and Salamon, "The effects of process conditions, nominal wall thickness, and flow length on the shrinkage characteristics of injection molded polypropylene", J. Injection Molding Tech., Vol. 3, No.3, 1999

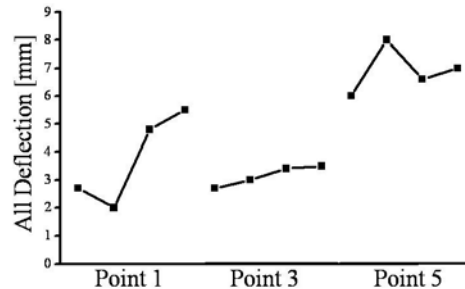


Fig. 6 Deflections of major positions measured by checker