

# 대형 사출 성형품 설계를 위한 차등 수축률 적용 설계법

## Mold design method applying differential shrinkage rates for large plastics parts

\*조영기<sup>1</sup>, 강중근<sup>1</sup>, 장형건<sup>1</sup>, #이병욱<sup>1</sup>, 정규동<sup>2</sup>, 차백순<sup>3</sup>, 박형필<sup>3</sup>

\*Y. K. Cho<sup>1</sup>, J.K. Kang<sup>1</sup>, H.G. Chang<sup>1</sup>, #B.O. Rhee(rhex@ajou.ac.kr)<sup>1</sup>, G.D. Jeong<sup>2</sup>, B.S. Cha<sup>3</sup>, H.P. Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 아주대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 현대자동차 소재금형기술부, <sup>3</sup> 생산기술연구원

Key words : Injection Molding, Different shrinkage, Mold design, Surface regeneration

### 1. 서론

사출 성형품을 위한 금형 치수는 수지의 수축률을 고려하여, 일정 비율로 사출 성형품 치수를 팽창시켜 얻고 있다. 그러나, 자동차 인스트루먼트 패널이나 범퍼와 같은 대형 사출 성형품의 치수는 제품의 불균일한 수축으로 인한 오차가 크게 발생하고 있어 정밀한 제품 치수의 가공이 매우 어려운 상태이다. 이런 문제를 해결하기 위해 현장에서는 공정 조건의 변화를 이용하여, 제품 치수의 조절을 시도하고 있으나, 효과적이지 못하며 근본적인 대책이라 할 수 없다. 해석을 통해서 제품의 변형을 예측하여 이런 문제를 해결하려는 시도도 있었지만[1,2], 대형 사출 성형품의 경우에는 제품의 크기가 크고, 복잡한 구조로 인한 제약으로 보압 전달이 용이하지 않아, 균일한 수축을 기대할 수 없는 상태이다. 따라서, 근본적인 해결 방법으로서 설계 단계의 기술이 개발될 필요성이 높아지고 있다.

본 연구에서는 사출성형 CAE 해석(Moldflow)을 이용하여 제품의 수축률 분포를 예측하고 이를 실험을 통한 결과와 비교하여 실제 수축률에 근접하는 수축률을 얻은 후 이를 금형 설계 과정에 반영하여 제품을 설계하는 차등 수축률 적용 설계 방안을 제시하고자 한다.

### 2. 예비 해석

#### 2.1 기초 해석

부위별 차등 수축률 적용을 위한 형상적 분할 가능 여부를 판단하기 위해, 단순한 형상을 가진 모델을 선정하여 기초 해석을 진행했다. 사출성형 시 수축에 영향을 미치는 인자(형상, 수지온도, 보압, 금형온도) 4 개를 선정하여 해석을 진행하고 결과를 분석했다. 그 결과 선정된 수축 영향 인자 모두 수축률과 수축량에 영향을 주고 있으나 부위별 수축률 분포에 대한 영향도는 미미하다는 것을 알 수 있었다. 결국 초기에 예상하였던 부위별 차등 수축률 적용을 위한 형상적 분할에는 문제가 없는 것으로 판단할 수 있었다.

#### 2.2 공정 최적화 실험 및 기초 영향도 분석

다음으로는 CAE 해석에 의해 예측된 수축률과 실제 제품의 수축률 상관 관계를 비교 분석해 보고, 실제 공정상태가 해석 결과와 비교 분석이 가능한지를 검토해 보았다. 이는 공정 변수의 주요 관리 치수에 대한 영향이 해석 결과와 동일한 경향을 보이는지 확인해 보는데 있다. 실험 결과를 분석해 보면, 공정 조건의 변화에 따라 서로 다른 수축률 분포를 만들어내고 있으나, 조건 변화에 의한 수축률 분포의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 공정조건 변화는 수축률 분포에 거의 영향을 주지 않으며, 일반적인 조건에서 실시한 해석 결과에서 얻어진 수축률 분포를 실험 결과를 예측하는 자료로 사용 가능하다는 것을 알 수 있었다.

#### 2.3 수축률 상관 관계식

해석 결과와 실제 제품의 부위별 수축률 측정 자료를 비교 분석해보니, 해석 수축률이 실제 제품의 수축률보다 크게 나타났다. 이에 따라 해석 결과와 실제 제품간의 수축률 보정을 위한 상관 관계식이 필요하다고 판단되어 해석 결과와 실제 수축률 간의 상관 관계식을 도출했다 (Fig.1).

### 3. 차등 수축률 적용 설계법

차등 수축률 적용 설계법은 크게 해석 단계, Mesh 생성 단계, 확장 단계, 면 생성 단계로 나눌 수 있다 (Fig.2).

해석 단계에서는, 3 차원 제품 도면에서 상면부 외형면을 따내어 2.5D 해석을 위한 Mid-plane 을 생성한다. 사출 성형 해석 모듈을 이용하여 사출 성형 해석을 진행한 후에, 생성된 체적 수축률 자료에서 각 유한 요소의 엘리먼트가 가진 수축률 정보를 읽어 낸다. 이 결과에 따라 정해진 등급 판정을 하고 이에 따라 수축률 등급 정보를 가진 파일을 생성하게 된다 (Fig.3).

Mesh 생성 단계에서는 제품 모델을 이용하여 열응력 해석 및 확장에 필요한 3D Mesh 를 생성한다. 3D Mesh 는 열응력 해석을 위한 기본 입력 자료로 사용되며 열응력 해석을 진행한 후 결과로서 발생하는 노드 좌표의 변형 정보를 이용하여 표면 재생성을 위한 기초 자료로서 사용된다.

확장 단계에서는, 유동 해석 결과로 나온 부위별 수축률 등급 자료를 적용하여, 부위별 수축이 적용된 표면 치수를 생성한다. 수축률을 적용하여 체적을 확장하는 원리는 온도를 올릴 때 물질이 가진 열팽창계수에 따라 팽창하는 현상과 유사하다. 다만, 차등 수축률이 적용되는 경우 하나의 형상에 열팽창 계수가 다른 이질적인 재료가 섞여 있는 경우와 동일한 상황이 발생하는 것에 착안하여 부분적으로 다른 물질으로서 열팽창 계수를 적용하여 열응력 해석을 진행하면 경계면에서 부드러운 곡면을 얻을 수 있다. 차등 수축률 정보가 담긴 파일에서 각 엘리먼트의 차등 수축률 정보를 읽어 구조해석용 3D Mesh 정보 파일에 있는 가장 가까운 엘리먼트를 찾아 해당 엘리먼트의 물성 값 중 열팽창 계수 정보를 변경한다. 물성값이 변경된 구조해석용 3D Mesh 를 입력하여 일반 선형구조해석인 열응력 해석을 진행한 결과에서 각 노드의 확장 변경된 좌표값을 읽어 내어 별도의 확장 정보 파일을 생성한다 (Fig. 4).

면 생성 단계에서는, 부위별 차등 수축률이 적용된 치수를 실제 금형 작업을 할 수 있는 모델에 적용하는 것이다. 본 연구에서는 해석용 메쉬 자료의 차이를 이용하여 3 차원 원 도면의 특징을 손상시키지 않고 그대로 확장할 수 있는 도구(Compensator from Thirdeye Co.)를 적용하여 최종 금형 도면을 생성하였다 (Fig.5).

### 4. 결론

본 연구에서는 대형 사출성형품에서 나타나는 치수 불량 문제를 금형설계 단계에서 효과적으로 해결하기 위한 설계

방법론을 개발하였다. 현재로서는 사출성형 CAE 해석 결과에 대한 정밀도 문제가 남아 있으나 이는 사출 성형 해석 소프트웨어의 지속적인 발전과 해당 업체의 생산 자료 축적으로 개선될 것으로 판단된다.[3] 더 정확한 금형 면을 얻기 위해서는 지속적인 측정에 의한 상관 관계식의 개선이 필수적이다. 본 연구에서 개발된 설계 방법은 양산 제품에 대해 검증 작업을 수 차례 실시하였으며, 시작 금형을 설계, 제작하여 검증 작업을 진행할 계획이다.

5. 후기

본 연구는 현대자동차와 아주대학교 기계공학부의 산학 협력연구로 진행되었으며 이에 감사 드립니다.

6. 참고문헌

1. Inoue et. al., "Full 3-D prediction of warpage of injection molded parts", ANTEC2001, 2001
2. Seyler and Schenck, "Warpage index based on cooling and orientational effects", ANTEC2003, 2003
3. Kennedy and Zheng, "High accuracy shrinkage and warpage prediction for injection molding", ANTEC2004, 2004

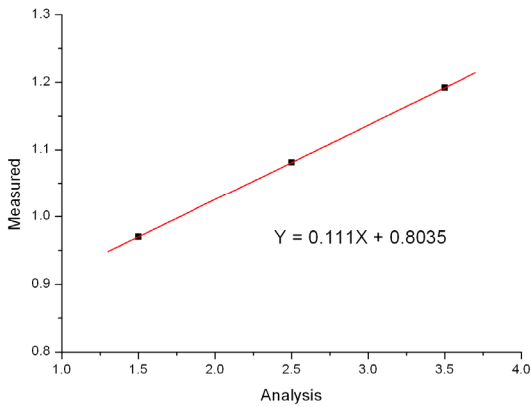


Fig. 1 Correlation equation of CAE shrinkage value with experimental result

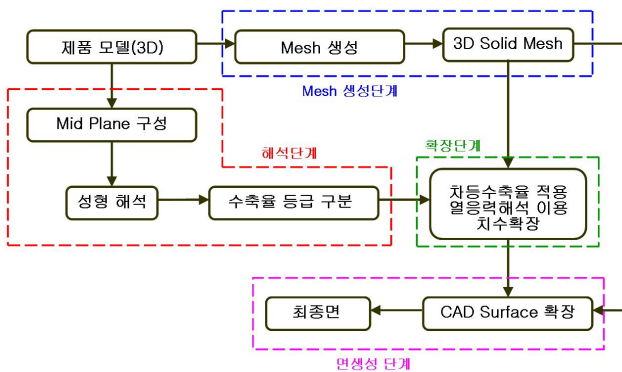


Fig. 2 New mold design process applying the differential shrinkage rates

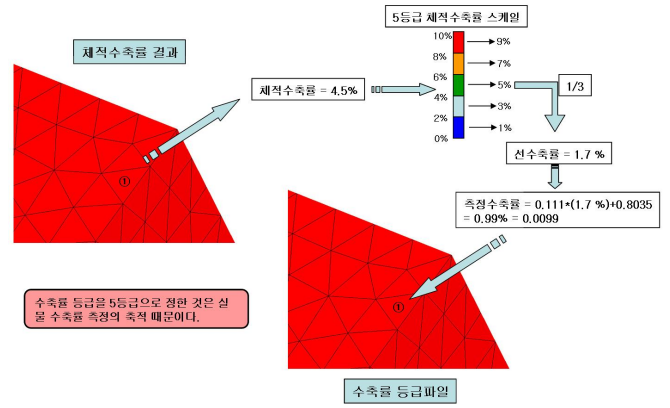


Fig. 3 How to apply the linear shrinkage rate to a node for expansion of dimension

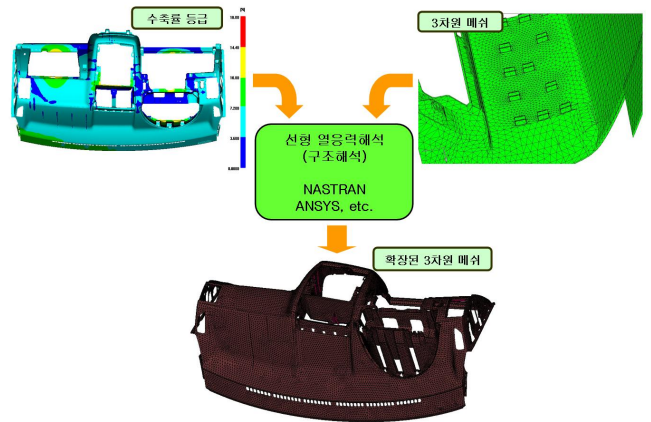


Fig. 4 Expansion of dimension by linear thermal-stress analysis

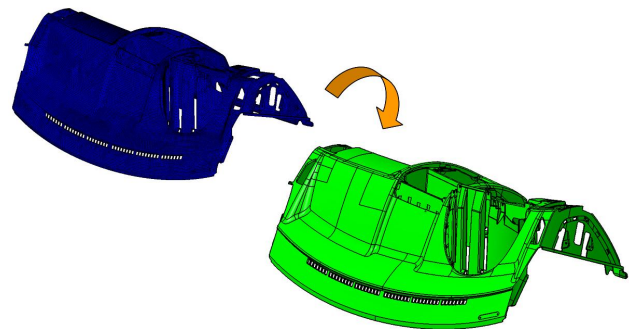


Fig. 5 Generation of 3D CAD data from the expanded mesh data