

사출금형에서 내압에 의한 응력집중 및 크랙 분석

최성현[†] · 황수진 · 최성주 · 류민영[#]

서울산업대학교 정밀기계공학과

An Analysis of stress concentration and crack in injection mold by cavity pressure

Sung-Hyun Choi[†] · Su-Jin Hang · Sung-Ju Choi · Min-Young Lyu[#]

Abstract : High pressure is involved during injection molding operation specially packing phase. Cracks in the mold are often occurred by high cavity pressure. In this study, structural analysis of mold has been performed using commercial softwares, Abaqus and Ansys, to investigate cause of crack in the injection mold. Structural analysis contains four cases: stress distribution according to the cavity pressure, stress concentration according to the boundary conditions, stress concentration for inter-locking design of mold, and stress concentration for distributed cavity pressure. Through this study it was observed that the locations of stress concentrations were coincident with locations of crack. Robust mold design is being required to withstand high cavity pressure.

Key Words : Injection Molding, Cavity Pressure, Mold Crack, Stress Concentration, Inter-locking Design

1. 서 론

사출성형은 성형하고자 하는 모양이 새겨진 금형(캐비티)안에 용융된 수지를 고온, 고압으로 주입하여 플라스틱 제품을 성형하는 방법이다. 사출성형 공정은 플라스틱의 가소화, 형체, 충전, 보압, 냉각, 이형 및 취출의 단계를 거쳐 제품을 생산하는데 보압 단계에서 큰 압력이 걸리면 캐비티 금형에 크랙을 유발할 수 있다[1~2]. 실제로 플라스틱 부품을 사출성형 하는 도중 금형에 크랙이 종종 발생되고 있다. 한 예로 깊이가 깊은 판벨의 성형을 위한 캐비티 금형에서 크랙이 발생하였다. 이렇기 때문에 캐비티 내압을 견디기 위한 금형구조나 치수설계가 필요하다. 또한 내압에 의해 금형의 응력집중이 어

디서 발생하는지 그 응력의 크기가 얼마인지 고찰하고 내압과 그것들의 관련성을 찾아보는 게 필요하다[3]. 따라서 본 논문에서는 내압이 크랙에 원인을 미쳤는지 알아보기 위해 실험과 구조해석을 수행하였다[4~5]. 금형재료는 내식용 스테인리스강으로 uddeholm사의 STAVAX ESR(HRC52)을 사용하였으며, 내마모성, 내식성, 경면성, 기계가공성이 우수하다. 해석의 신뢰성을 높이기 위해서 다양한 해석조건에 따라 분석하였으며, 상용 CAE 프로그램인 ABAQUS와 ANSYS를 모두 사용하였다.

2. 크랙 관찰 및 캐비티 내압

2.1 크랙 관찰

Fig. 1은 본 연구에 사용된 고정축 금형을 나타내고 있다. 캐비티와 3개의 썬기블럭, 슬라이드 코어,

[†] csh33csh@snu.ac.kr

캐비티 플레이트로 구성되어 있고, 금형 개폐 시 편심을 최소화하기 위해 전돌레 인로우 구조로 되어 있다. 핫트런너를 사용하고 있으며 금형의 중앙에 4φ 게이트가 있다. 캐비티의 치수는 가로, 세로, 높이가 각각 360mm, 200mm, 210mm이고 두께는 약 50mm이다. Fig. 2는 캐비티 금형에서 크랙의 위치를 보여주고 있다.

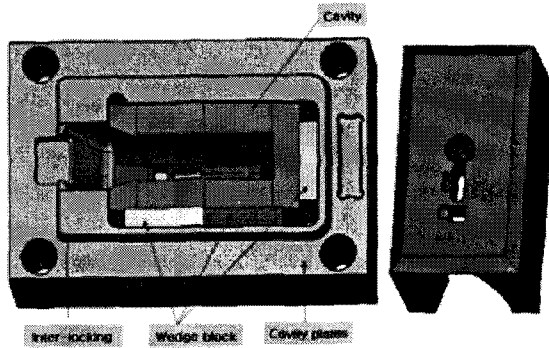


Fig. 1 Assembly of stationary mold

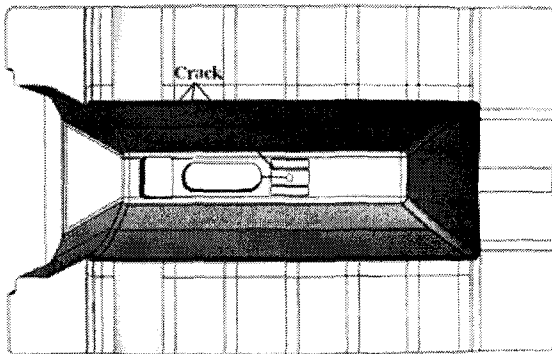


Fig. 2 Crack locations in cavity block

2.2 캐비티 내압 분포

사출성형 시 캐비티 내압 분포를 알아보기 위해 실험을 하였다. Fig. 4는 2개의 압력센서 A, B의 위치를 보여주고 있다.

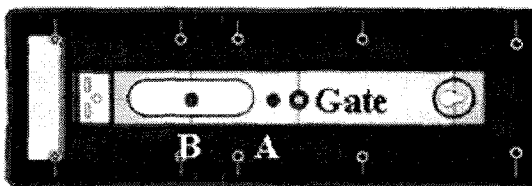


Fig. 4 Locations of pressure sensors in cavity block

Fig. 5는 스트로크에 따른 사출성형 조건을 나타내고 있으며, 최대 사출속도는 160mm/sec이며, 수지 온도는 245℃, 금형온도는 고정측 80℃, 가동측 30℃이다.

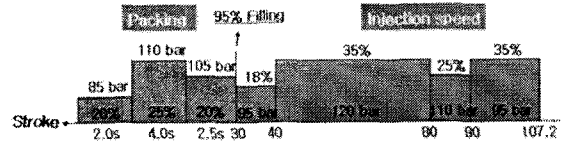


Fig. 5 Injection molding condition

또한 실험과 동일한 사출성형조건으로 사출전용 CAE Software인Moldflow를 사용하여 해석을 수행하였다. Fig. 6은 실험과 해석에서의 캐비티 내 내압 분포를 보여주고 있다. 실험과 해석에서의 압력분포가 유사함을 알 수 있었고, 사출성형 시 최대 압력이 약 760bar로 작용하였으며, 성형조건에 따라서 과도한 사출압력이 작용될 수 있음을 알 수 있었다.

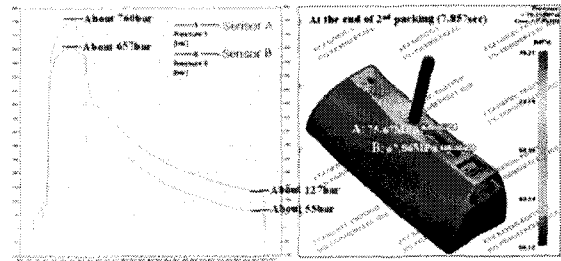


Fig. 6 Pressure distributions in cavity

3. 금형의 구조해석 및 결과분석

3.1 캐비티 내압 크기에 따른 해석

캐비티 내압 크기에 따라 응력집중 위치와 응력의 크기를 알아보기 위해 구조해석을 수행하였다. Fig. 7은 Cavity 내압에 따른 해석조건을 나타내고 있다. 캐비티 안쪽면에 각각60, 80, 100, 120MPa의 압력을 작용하였고 캐비티 형판 밑면을 고정하였으며, 인로우를 고려하였고, Contact조건으로 Abaqus는 일체형인Tie조건을 Ansys는 일체형인Bonded조건을 사용하였다. 또한 캐비티, 췌기블럭, 캐비티 플레이트를 같은 Stavax의 물성으로 설정하였으며, Stavax의 물성으로 탄성계수=2×10¹¹ Pa, 포외송 비=0.3, 밀도=7.85×10⁶ kg/mm³를 사용하였다.

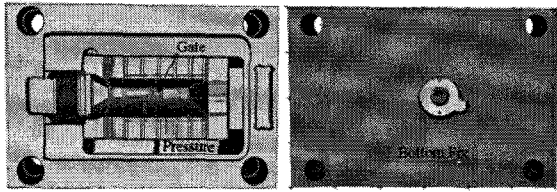


Fig. 7 Boundary condition for structural analysis

Fig. 8는 내압이 80MPa일 때 응력분포를 나타내고 있다. 실제 크랙 위치에서 응력이 높게 나타났으며, 최대응력은 ABAQUS의 경우 2번 위치에 614 MPa, Ansys의 경우 3번 위치에서 669MPa를 나타냈다.

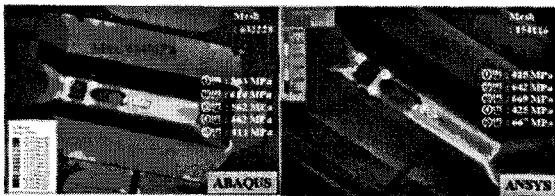


Fig. 8 Stress distribution in the cavity at 80MPa of pressure

Fig. 9는 캐비티 내 압력에 따른 응력분포를 나타내고 있다. 캐비티 내 압력이 증가할수록 응력집중도 증가됨을 알 수 있었다.

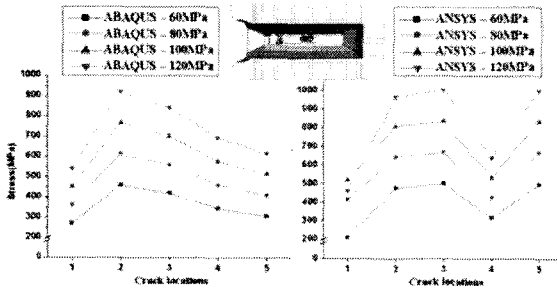


Fig. 9 Stresses at crack locations for various cavity pressures

3.2 경계조건에 따른 해석

경계조건에 따른 해석차이를 알아보기 위해 Fig. 7의 해석조건에서 Contact조건을 일체형인 Bonded 조건에서 분할형인 No separation 조건으로 바꿨으며, 내압은 120MPa를 적용하였다. 해석결과 Fig. 10에서 일체형 (Bonded)의 경우 크랙위치에서의 응력분포가 460~1004MPa이었으며 분할형 (No separation)의 경우 응력분포가 527~1326MPa를 나타내었다. 두 해석조건에서 응력집중의 차이는 약 25%를 보였다.

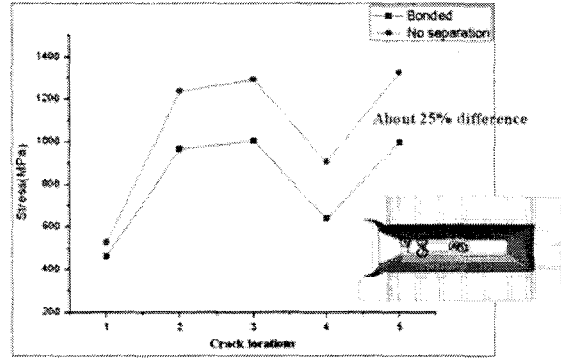


Fig. 10 Stresses for different contact conditions

3.3 인로우 유/무에 따른 해석

인로우가 캐비티 내 응력집중에 어느 정도 영향을 미치는지 알아보기 위해 다양한 해석조건에 따라 해석을 수행하였다. ABAQUS Contact조건에서는 Contact면에 일체형 (Tie)조건을 주고, 인로우 유/무에 따라 해석을 하였으며, ANSYS Contact 조건에서는 Contact 면에 일체형 (Bonded)과 분할형 (No separation)조건을 주고, 인로우 유/무 그리고 No separation 조건에 따라 해석을 수행하였다.

Fig. 11은 인로우 조건에 따른 응력분포를 보여주고 있다. 해석결과에서 인로우 사용으로 ABAQUS에서는 약 40% 강성이 증가하였으며, ANSYS에서는 약 30~36% 강성의 증가를 보였다.

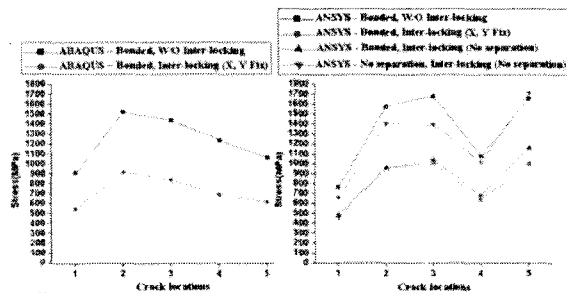


Fig. 11 Stresses at crack locations for Inter-locking design

3.4 캐비티 내 압력분포 해석

실제 캐비티 내 압력분포를 이용한 구조해석을 하기 위해서 사출전용 CAE Software인 Moldflow를 사용하여 Fig. 5과 같은 사출성형조건으로 해석한 압력분포를 Fig. 12과 같이 캐비티 내의 영역을 구별하여 영역별 평균압력과 최고압력, 그리고 균등압력을 적용하여 해석을 하였다.

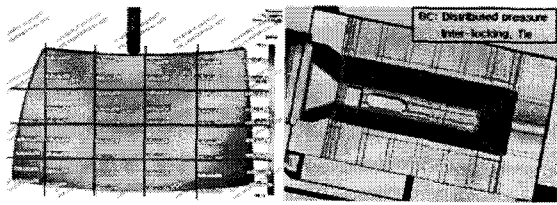


Fig. 12 Pressure distribution and boundary condition in cavity block

Fig. 13은 압력적용 방법에 따른 응력분포를 보여주고 있다. 영역별 평균압력과 최고압력을 적용 시 응력분포는 유사하였으며, 보압에 따른 균등압력을 적용 시 약 18%의 차이를 보였다.

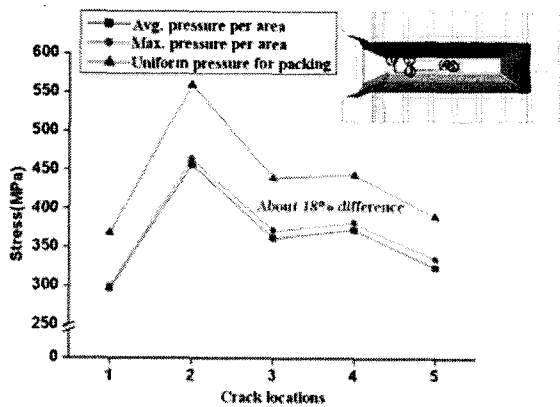


Fig. 13 Stresses for different pressure boundary conditions

3.5 해석결과를 통한 크랙원인 분석

Table. 1은 해석방법과 내압에 따른 Max. stress를 보여주고 있다. 80MPa의 내압의 경우가 실제의 압력과 가깝다. 실제와 가까운 분할형 해석에서 Stavax의 항복강도 (1460MPa)의 50%를 훨씬 넘었고, 인로우를 배제한 일체형 해석에서는 모든 경우에 Stavax의 항복강도의 50%를 넘었다. 인로우 고려한 해석에서는 약 35% 강성이 증가 하였으며 대부분이 항복강도의 50% 이내에 들었다. 또한 사출내압이 60MPa (600bar)인 경우도 많은 조건에서 항복강도의 50%를 넘었고, 120MPa (1200bar)인 경우 항복강도의 50%를 훨씬 넘었다.

Table 1 Maximum Stresses for cavity pressures and simulation conditions

Boundary Condition	Integer Cavity W/O Inter-locking		Integer Cavity With Inter-locking			Partition cavity No Separation
	ABAQUS	ANSYS	ABAQUS (X, Y, Fx)	ANSYS (X, Y, Fx) (No Separation)		
S/W						
Injection pressure Max. Stress	60 [MPa]	761	838	461	501	890
	80 [MPa]	1014	1118	614	609	1134
	120 [MPa]	1522	1657	921	1004	1716

4. 결론

본 연구에서는 깊이가 깊은 사출금형에서 내압이 크랙에 원인을 미쳤는지 알아보기 위해 다양한 해석방법에 따라 구조해석을 수행하였다. 해석에서 응력집중이 있는 부분과 크랙 부분이 대부분 일치하였으며 대부분의 해석조건에서 Stavax의 항복강도 (1460MPa)의 50%를 넘었다. 또한 인로우를 고려한 경우 강성이 약 35% 증가하였다. 본 연구를 통해서 내압이 금형의 크랙에 원인이 된다는 것을 알 수 있었으며 과도한 내압에서도 크랙을 방지하기 위해서는 금형크기 (벽두께)나 금형구조 (인로우)등에 튼튼한 설계가 필요하다는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Irvin I. Rubin, 1972, Injection Molding, Theory and Practice, John Wiley & Sons, USA, pp. 3~11.
- [2] D.G.. Baird, D. I. Collias, 1998, Polymer Processing, John Wiley & Sons, USA, pp. 277~282.
- [3] Alan H. Wagner, Dilhan M. Kalyon, 1991, Development of cracks in injection moldings of poly (2,6-dimethyl-1, 4 phenylene ether), Polymer Engineering & Science, Vol. 31, Issue 19, pp. 1393~1399.
- [4] B. J. Carter, P. A. Wawrzynek, A. R. Ingraffea, 2000, Automated 3-D crack growth simulation, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 47, Issue 1-3, pp. 229~253.
- [5] Ala Tabiei, Jin Wu, 2003, Development of the DYNA3D simulation code with automated fracture procedure for brick elements, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Volume 57, Issue 14, pp. 1979~2006