

자동서랍함용 완충기 튜브의 품질 안정성 예측

손재환¹, 김영석², 한창우^{3*}

¹대구기계부품연구원, ²경북대학교 기계공학부, ³영남이공대학 자동차과

A Quality Stability Estimation of Shock-absorber Tube for automatic drawer

Jae-Hwan Son¹, Young-Suk Kim² and Chang-Woo Han^{3*}

¹Daegu Mechatronics & Materials Institute

²School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

³Division of Automobile, Yeungnam College of Science & Technology

요약 자동서랍함용 완충기는 서랍을 여닫을 때 충격을 흡수하고 속도를 조절하는 역할을 해 준다. 완충기 튜브는 완충기의 구성품을 에워 쌓고 있는 원통 모양의 케이스이며 아세탈 재질로 되어있다. 본 연구는 사출 성형 공정에서 제작된 완충기 튜브의 품질 안정성을 평가하는 데 목적이 있다. 완충기 튜브는 4 캐비티 냉각장치를 갖춘 사출 성형 공정에서 제작된다. 본 연구에서는 완충기 튜브의 품질 안정을 판단하기 위해 분석과 시험이 수행되었다. 분석과 시험은 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 품질 분석과 연구된 튜브에 대한 외산품과의 성능 비교 시험이다. 사출 압력은 87.6 MPa로, 전체 횡량은 0.07~1.0 mm로 계산하였다. 연구된 튜브와 외산품을 비교해 볼 때 튜브의 최대 압축-하중은 231 kgf, 구간별 변위-하중은 0.05 kgf, 그리고 또 튜브 내경의 표면거칠기(Ra)는 0.02 μm 향상되었다. 결과적으로 사출 성형 공정에서 제작되어지는 연구된 튜브의 품질은 안정되었고 성능이 우수함을 알 수 있었다.

Abstract The automatic drawer is used to absorb the movement shock and adjust its velocity when it opens and closes. The tube in shock-absorber is the cylindrical case which surrounds its parts and is made of acetal. The purpose of this study is to determine the quality stability of the tube in the shock-absorber in injection molding process. The tube which had been manufactured in the process with 4 cavity cooling unit was used. In this study, the analysis and test are carried out to determine its quality stability. Which are the quality analysis with numerical simulation and performance tests of the tube compared with one of foreign make. It is calculated that the injection press is 87.6 MPa and the deflections in X, Y, Z directions are ranged in 0.07~1.00 mm. When the researched tube is compared with the foreign made tube, the maximum bending compressive load is 231 kgf higher, average axial compressive load is 0.05 kgf higher, and the roughness(Ra) on the inner surface is 0.02 μm . lower. In the result, it is known that the quality of researched tube in injection mold process is stable and its performance is superior.

Key Words : Tube, Injection Molding Process, Quality Stability, Numerical Simulation, Performance Test

1. 서론

자동서랍함용 완충기 튜브는 플라스틱 소재에 열을 가하여 용융된 재료를 금형에 주입하여 일정 시간 경과 후 원하는 제품이 되는 사출 성형 공정(injection molding process)으로 제작된다. 최근에는 생활 수납서랍에

APOSL(auto push-open & self lock)과 같은 고급기능이 부가되고 있다. 서랍을 여닫을 때 충격을 흡수하고 속도가 조절되는 이 기능이 부가된 공압식 완충기(shock-absorber)는 수입에 의존하거나, 누유의 염려를 안고 있는 저가의 오일식(oil type) 완충기로 대체해서 쓰고 있는 실정이다. 따라서 공압식 완충기를 개발하는 데 있

*교신저자 : 한창우(cwhan@ync.ac.kr)

접수일 11년 04월 06일

수정일 (1차 11년 06월 20일, 2차 11년 07월 06일)

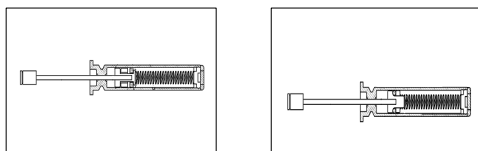
게재확정일 11년 07월 07일

어 핵심부품인 완충기 튜브에 대한 연구가 필요하다. 사출 성형 공정으로 제작되는 완충기 튜브의 품질을 안정시키기 위해서는 공정 중 튜브에 대한 해석이 선행되어야 한다. 이에 대한 기술적 해결 방법은 수치해석(numerical simulation)기법을 적용한 상용 사출 성형 해석 소프트웨어를 사용하여 성형불량 여부를 예측하는 것이다. 성형 시 발생하는 휨(warpage)의 원인과 이를 방지하는 기본적인 최적화 성형기법에 대한 연구가 있었다 [1,2]. 그리고 유전자 알고리즘, 다구찌 통계기법 등 최적화 기법들을 사용하여 성형 시 휨을 방지하는 연구들이 진행되어 왔다[3-7]. 또한 사출 공정 중 냉각속도 불균형으로 발생하는 휨은 치수정밀도를 결정하는 매우 중요한 품질특성이 된다는 것을 규명하였다[8,9]. 휨의 발생 원인은 유동과 냉각의 불균일성에 의한 제품 내 잔류응력의 차이에 기인하며, 휨을 최소화하기 위해서는 제품의 기하학적 형상, 게이트(gate) 위치, 냉각채널의 형상과 기타 성형조건 등을 고려될 필요가 있다고 하였다[8,10].

본 연구에서는 4 캐비티(cavity) 금형으로 사출 성형된 자동서랍함용 완충기 튜브의 품질을 예측하기 위해 3D 수치해석 소프트웨어를 사용하여 해석을 수행하였다. 완충기 튜브의 충전시간, 사출압력, 온도분포, 보압, 휨 등을 해석하여 그 안정성을 평가하였다. 그리고 연구된 완충기 튜브와 외산품의 표면 거칠기, 변위-하중, 압축-하중 등을 비교 시험함으로써 예측된 품질 안정성을 검증하였다. 따라서 완충기 튜브의 품질에 대한 연구를 통해 안정성을 판별할 수 있었다.

2. 완충기 구조

그림 1은 자동서랍함용 완충기의 내부구조를 나타낸 것이며, 외산품의 구조는 부품수가 비교적 많고, 특수 패키징이 사용되어 고가의 금형으로 제조되고 있다. 반면 연구된 완충기는 특수 패키징을 없애고 제품의 규격화를 사용하기 위해 표준부품의 오-링(o-ring)을 대신 사용하여 제조원가를 절감시키고, 조립공정을 원활하게 하였다.



(a) 외산품 (b) 연구된 튜브
 (a) The foreign made tube (b) The research tube

[그림 1] 자동서랍함용 완충기의 구조
 [Fig. 1] The structure of automatic drawer

본 구조도에서 완충기의 튜브는 내부 부품을 에워싸고 있는 외부 케이스로서 원통 모양의 형태로 사출 성형 공정으로 제작되고 있다.

3. 수치해석 모델

3.1 지배방정식

일반적으로 사출 성형 공정으로 제작되는 제품은 얇은 두께를 성형하는 경우가 대부분이기 때문에 평면 방향의 유동에 비해 두께 방향으로의 유동은 상대적으로 무시할 수 있다. 완충기 튜브와 같이 측벽의 면적이 상대적으로 큰 경우에는 완전 3차원 해석을 필요로 하며, 적용된 연속 방정식은 식(1)과 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \tag{1}$$

튜브내의 운동 방정식과 온도 방정식은 식(2), (3)으로 나타낸다.

$$\nabla P - \nabla \cdot \tau = 0 \tag{2}$$

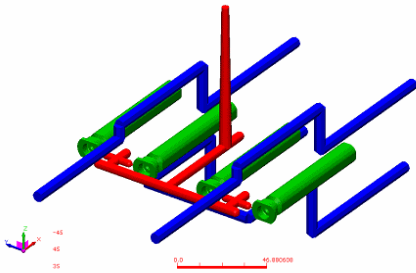
$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \eta \dot{\gamma}^2 \tag{3}$$

여기서 ρ 는 밀도, \vec{v} 는 속도벡터, P 는 압력, T 는 온도, τ 는 응력, C_p 는 비열, k 는 열전도도, η 는 점도, $\dot{\gamma}$ 는 전단율을 나타낸다. 식(1)의 밀도는 압력과 온도의 함수이므로 식(4)로 표현된다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial P} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \tag{4}$$

3.2 해석조건

수치해석의 입력 조건으로 사용된 물리적 성질은 표 1과 같다. 수지는 BASF사의 Ultraform w2320 003을 사용하였으며, 사출 성형해석은 3D 수치해석 소프트웨어로 수행하였다. 그림 2는 완충기 튜브의 3차원 Full Solid로 4 캐비티의 Mesh 형상이며, 총 요소(element) 수는 875,842 개이다.



[그림 2] 4 캐비티 튜브의 모델링
[Fig. 2] The modelling of tube with 4 cavities

[표 1] 4 캐비티 튜브의 물리적 특성
[Table 1] The physical properties of tube with 4 cavities

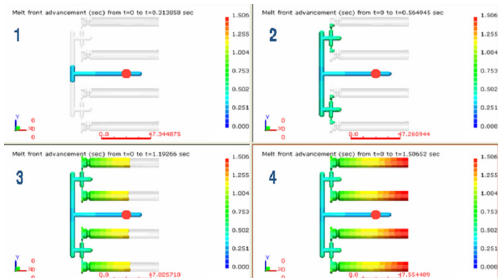
용량 밀도(kg/m ³)	1,198
비열(J/kg °C)	3,182
열전도(W/m °C)	0.125
성형 온도(°C)	207.5
응고점(°C)	136

4. 결과 및 고찰

4.1 충전 해석

4.1.1 충전 시간

그림 3은 제품 내에 수지가 흘러가는 충전 패턴을 시간대별로 4단계로 구분하여 나타내었다. 각 단계별 소요시간은 각각 1.5초이다. 스펀쪽에서 튜브 끝단으로 수지를 충전하는데 소요되는 시간은 1.5초이며, 4 캐비티 모두 같은 충전 시간이 소요되므로 빠른 충전으로 인해 생길 수 있는 큰 수축은 일어나지 않을 것으로 판단된다.

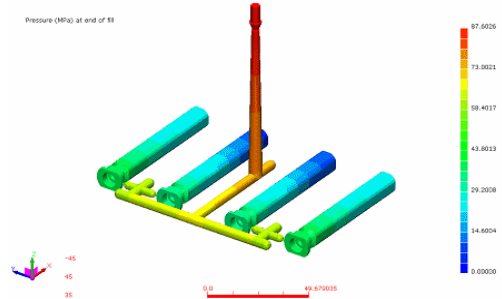


[그림 3] 4 캐비티 튜브의 유동 패턴
[Fig. 3] The flow pattern of tube with 4 cavities

4.1.2 사출 압력

그림 4는 각 수지별로 충전 완료 후의 사출 압력을 나타내

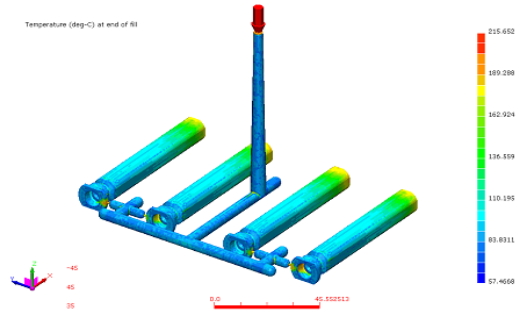
고 있다. 최대 사출압력은 87.6 MPa로 계산되어 낮은 사출 압력으로 인해 야기될 수 있는 큰 수축은 일어나지 않을 것으로 판단된다.



[그림 4] 4 캐비티 튜브의 압력 분포
[Fig. 4] The pressure distribution of tube with 4 cavities

4.1.3 온도 분포

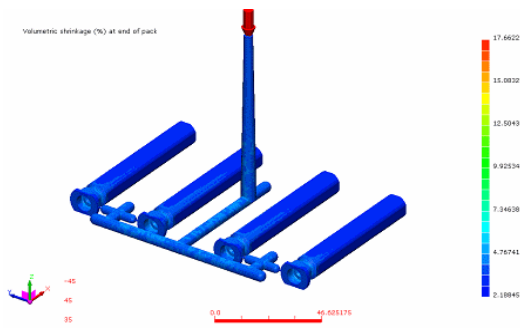
그림 5에서 충전 완료후의 온도 분포는 57.5~ 215.7 °C이다. 제품의 두께가 균일하므로 급격하게 냉각이 되거나 온도가 상승하는 구간은 나타나지 않아 큰 수축은 일어나지 않을 것으로 판단된다.



[그림 5] 4 캐비티 튜브의 온도 분포
[Fig. 5] The temperature distribution of tube with 4 cavities

4.2 보압해석

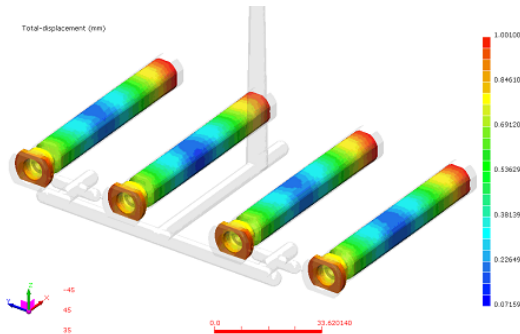
보압 공정은 충전 공정 이후에 캐비티 내 수지 냉각에 따른 수축률을 보정해 주기 위해 적정압력으로 적정시간 동안 스크루를 전진시켜 수지를 캐비티 내로 계속 공급하는 공정으로 제품의 수축에 가장 큰 영향을 미친다. 그림 6은 완충기 튜브를 취출하였을 때의 캐비티 두께 방향의 체적 수축률을 나타내었으며, 두께가 두꺼운 부분에서 부피 수축률이 크다는 것을 알 수 있다. 2.2~17.7%의 편차를 보이는 것을 알 수 있다.



[그림 6] 4 캐비티 튜브의 수축률
[Fig. 6] The shrinkage of tube with 4 cavities

4.3 휨 해석

수축이 일어나는 원인은 폴리머(polymer)의 성형 온도에서의 밀도와 상온에서의 밀도가 다르기 때문이다. 일반적으로 사출압이 낮은 경우와 보압 또는 냉각 시간이 짧은 경우, 사출 온도와 금형 온도가 높은 경우, 그리고 보압이 작을 경우 수축량이 증가하게 된다. 그림 7은 완충기 튜브의 전체 휨량을 나타내었다. 휨의 양은 0.07~1.0 mm 으로 예측되었다.

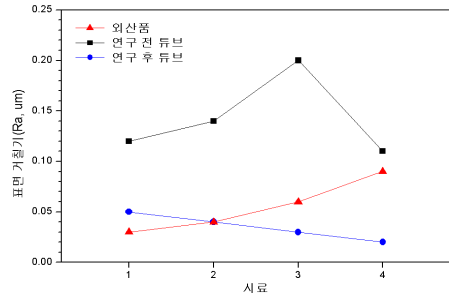


[그림 7] 4 캐비티 튜브의 휨
[Fig. 7] The warpage of tube with 4 cavities

5. 성능시험

5.1 표면거칠기 측정

그림 8은 완충기 튜브의 내경에 대해 표면거칠기(Ra)를 측정된 결과 외산품 대비 연구 전·후의 튜브는 평균 0.06 μm 대비 0.14, 0.04 μm 로 측정되어 연구된 튜브는 외산품에 비해 0.02 μm 향상되었다. 이는 개선과정에서 튜브 내경을 형성하는 금형 편의 직선구간을 원통연마함으로써 가공정밀도를 향상한 것으로 판단된다.

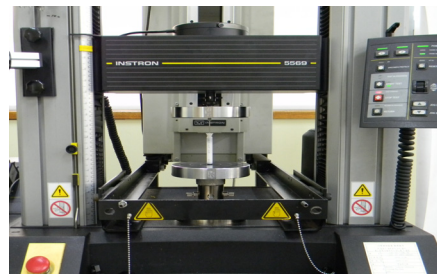


[그림 8] 외산품 대비 연구된 튜브내경의 표면거칠기 측정 결과

[Fig. 8] The results of roughness on the inter surface of the research tube compared with the foreign made one

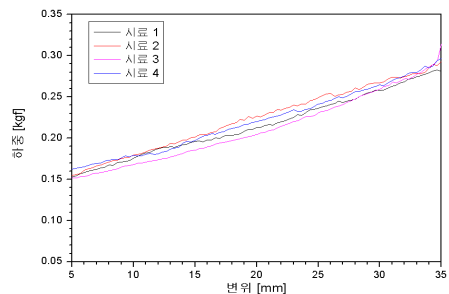
5.2 변위-하중 시험

그림 9와 같이 각각 4개의 외산품과 연구된 튜브에 대해 시험속도 20 mm/min로 변위 10, 20, 30 mm에서 UTM(Universal Testing Machine, INSTRON 5569) 시험장비로 변위-하중 시험을 하였다. 그림 10의 시험결과 변위 10, 20, 30 mm에서 외산품은 평균 0.13, 0.17, 0.21 kgf, 연구된 튜브는 평균 0.18, 0.22, 0.26 kgf로 측정되어 각 지점에서 0.05 kgf 향상되었다.

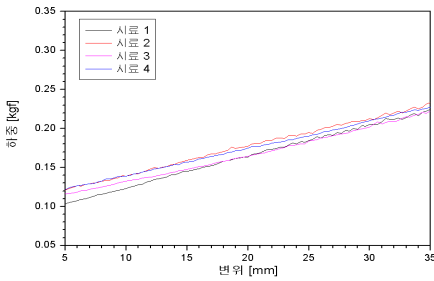


[그림 9] 완충기 변위-하중 시험장비

[Fig. 9] The UTM for compressive load test of automatic drawer



(a) 연구된 튜브
(a) The research tube



(b) 외산품

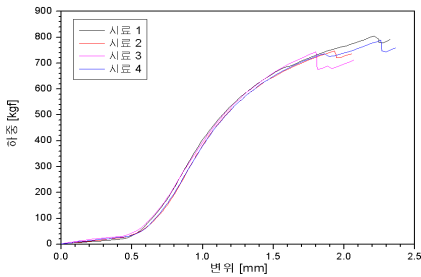
(b) The foreign made tube

[그림 10] 외산품 대비 연구된 튜브의 변위-하중 비교 시험 결과

[Fig. 10] The results of axial compressive load test of the research tube compared with the foreign made one

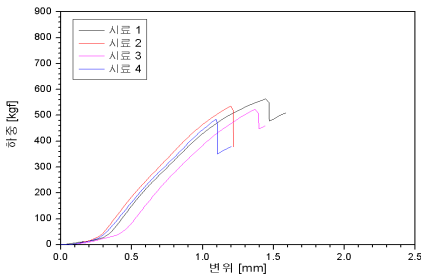
5.3 압축-하중 시험

그림 11은 시험속도 2.0 mm/min로 UTM (Universal Testing Machine, INSTRON 5569) 시험장비를 사용하여 완충기 튜브의 압축-하중 시험을 하였다. 시험결과 외산품은 평균 527 kg_f, 연구된 튜브는 평균 758 kg_f로 측정되었다.



(a) 연구된 튜브

(a) The research tube



(b) 외산품

(b) The foreign made tube

[그림 11] 외산품 대비 연구된 튜브의 압축-하중 비교 시험 결과

[Fig. 11] The results of bending compressive load test of the research tube compared with the foreign made one

6. 결론

본 연구에서는 4 캐비티 금형으로 사출 성형된 자동서랍함용 완충기 튜브를 수치해석하여 품질의 안정성을 예측할 수 있었다. 최대사출압력은 87.6 MPa로 계산되었으며 균일한 충전시간과 온도분포를 가지고 있음을 알 수 있었다. 튜브를 취출할 때 체적수축률의 편차는 2.2~17.7 %로, 전체 변형량은 0.07~1.0 mm로 안정된 품질이 예측되었다. 그리고 성능 시험 결과 연구된 튜브가 외산 튜브에 비해 장점을 가지고 있음을 검증할 수 있었다. 연구된 튜브 내경의 평균 표면거칠기(Ra)는 0.02 μm, 변위-하중 시험은 0.05 kg_f, 압축-하중 시험은 231 kg_f 향상되었다. 따라서 수치해석기법과 성능검사를 통하여 4 캐비티 완충기 튜브 품질의 안정성을 판별할 수 있었으며, 우수한 성능의 튜브를 취출할 수 있었다.

References

- [1] Jacques, M.S., "An Analysis of Thermal Warpage in Injection Molded Flat parts Due to Unbalanced Cooling", Polymer Eng. and Science, Vol.22, No.4, pp. 241-247, 1982.
- [2] Lam, Y.C. and Seow, L.W., "Optimizing flow in plastic injection molding", Journal of Materials processing Technology, Vol.72, pp. 333-341, 1997.
- [3] Min, B.H., "A study on quality monitoring of injection-molded parts", Journal of Materials Processing Technology, Vol.136, pp. 1-6, 2003.
- [4] Park, J.C. and Kim, B.H., "Automated Molding Design Methodology to Optimize Multiple Defects in Injection Molded Parts," Jnt'I J. of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.1, No.1, pp. 133-145, 2000.
- [5] Choi, W.J., Sin, H.C., and Kwak, S.W., "Optimization of Processing Conditions in Injection Molding Using Genetic Algorithm", The Korean Society of Mechanical Engineers(A), Vol.24, No.10, pp. 2543-2551, 2000.
- [6] Shen, C.Y., Yu, X.R., Li, Q., and Li, H.M., "Gate Location Optimization in Injection Molding By Using Modified Hill-Climbing Algorithm", Polymer-Plastics Technology and Engineering, Vol.43, No.3, pp. 649-659, 2004.
- [7] Erzurumlu, T. and Ozelik, B., "Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermo plastic parts using Taguchi optimization method",

Materials and Design, Vol.27, pp. 853-861, 2006.

- [8] T. Kwon and etc trans., "Moldflow Design Guide", MunUnDang, pp.121-151, 2001.
- [9] Malloy, R.A., "Plastic Part Design for injection Molding: An Introduction", Hanser / Gardner Publishers, Inc., Cincinnati, pp.75-84, 1994.
- [10] Lee, B.H. and Kim, B.H., "Optimization of part wall thickness to reduce warpage of injection-molded parts based on the modified complex method", Polym.-Plast. Technol. Eng., Vol.34, No.5, pp. 793-811, 1995.

손 재 환(Jae-Hwan Son)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경북대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2001년 11월 ~ 현재 : 대구기계부품연구원 메카트로닉스센터 책임연구원(팀장)

<관심분야>

기계설계, 정밀가공시스템, 토탈엔지니어링솔루션 기술개발

김 영 석(Young-Suk Kim)

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 4월 : 일본 Kobe 대학교 기계공학 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1994년 2월 : 포항산업과학연구원 연구실장
- 1994년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

재료가공, 나노/마이크로역학, FEM 및 Biomechanics

한 창 우(Chang-Woo Han)

[정회원]



- 2010년 8월 : 경북대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 영남이공대학 기계자동차학부 자동차계열 부교수

<관심분야>

기계공학, 자동차 제어 시스템, 안정성 해석과 진단, 센서 및 활용, 하이브리드카 및 전기차