

헬륨을 이용한 발포 사출 성형 공정의 기초 연구

Fundamental Study of Foaming Injection Molding Process Using Helium

*전병주¹, 한진우¹, #차성운¹
 *B. Jeon¹, J. Han¹, #S. W. Cha(swcha@yonsei.ac.kr)¹
¹ 연세대학교 기계공학과

Key words : Injection molding, foaming process, helium

1. 서론

고분자 성형 방식 중 하나인 발포 성형은 일반적으로 다른 고분자 성형 공정과 함께 사용이 되며 크게 화학발포와 물리발포로 나눌 수가 있다. 화학발포는 발포제의 종류에 따라 무기발포제와 유기발포제로 나뉘며 화학발포제가 제품 성형 시 특정 조건에서 화학작용을 일으켜 가스를 발생시키며 이를 통하여 고분자에 기포를 형성하는 방법이다. 이와는 다르게 물리발포는 가스나 액체 또는 초임계유체를 고분자 내부에 용해시킨 후 용해된 유체의 상태변화를 통해 기포를 형성시키는 방법이다. 제품의 요구 특성, 용도 등에 따라 적합한 발포방식 및 발포제를 사용하여 성형을 하고 있으며 이를 위한 발포율, 기포의 크기, 기포의 밀도 등에 관한 다양한 연구가 진행 되어 왔다.[1-4]

물리 발포 공법은 펜탄(pentane), 부탄(butane), 프로판(propane) 등이 사용되었으나 환경적인 문제로 인하여 최근에는 질소와 이산화탄소 같은 불활성 가스를 사용하고 있다. 따라서 질소와 이산화탄소의 용해도 발포 특성 등에 관한 많은 연구가 선행되었으며 실제 산업에도 적용이 이루어 졌다. 분자량이 적고 확산이 빠른 헬륨은 불활성 기체임에도 불구하고 고분자 내에 용해되지 않으나 그 용해량이 작아 발포가 어렵다고 여겨졌었다. 그러나 최근 헬륨 역시 고분자에 용해가 되며 일괄처리공정(batch foaming process)를 통하여 물리 발포 성형이 가능함이 밝혀졌다.[5] 헬륨의 경우 확산속도가 빠르기 때문에 발포 성형 후 고분자 내부에 잔류 가스를 남기지 않는다. 잔류 가스에 의하여 발생하는 도장과 라벨링 불량은 물리 발포 사출 공정에서 큰 문제점 중 하나이다. 그러나 헬륨을 이용한 물리 발포 사출 성형의 경우 제품 성형 후 바로 도장이나 라벨링 공정을 진행하여도 잔류 가스에 의한 불량을 최소화 할 수 있다. 헬륨을 이용한 발포 사출공정의 경우 최근 그 가능성이 확인 되었으며, 현재 이에 대한 연구를 통하여 발포율을 향상시키기 위한 노력을 진행하고 있다.[6] 본 논문에서는 헬륨을 이용하여 물리 발포 사출 공정을 수행하였으며 헬륨을 이용한 물리 발포 사출 공정의 특성을 살펴 보았다.

2. 물리 발포 사출 공정

Fig.1 은 물리 발포 공정의 기본원리를 보여주는 것이다.[6] 물리 발포는 고분자 재료 내부에 가스 또는 초임계 상태의 고압-저온의 가스를 용해시킨 후 압력을 낮추거나 온도를 높여 용해도 차이를 유발시킨다. 급격한 용해도의 차이는 열역학적 불안정성을 야기시키며 이는 고분자 재료 내부에 기포를 생성 시킨다. 발포 고분자는 발포체가 갖는 충격흡수 재료비 절감 등의 특징을 지니게 되며, 이때 생성되는 기포의 크기 및 밀도의 조절을 통해 단열성, 흡차음 특성, 빛의 난반사 및 확산투과와 같은 다양한 기능의 부여가 가능하게 된다. 사출 성형 공정에서는 고분자가 베럴 내에서 계량 단계에 있을 때 베럴 내로 가스를 주입하며 확산 및 스크류의 전단력에 의해 고분자와 섞이게 된다. 이후 금형 내로 재료를 공급하는 사출 단계에서 재료는 급격한 압력 강하는 재료 내에 용해되어 있는 가스를 기포 상태로 바꾸어 냉각 후 제품 내부에 기포를 남기게 된다.

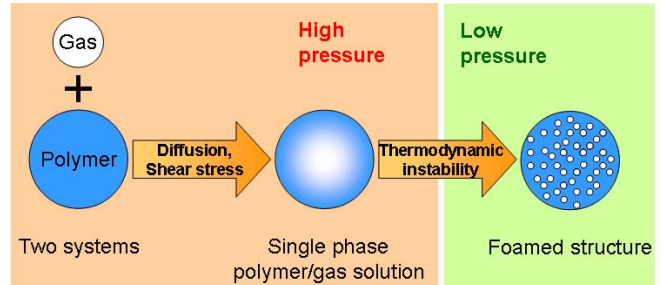


Fig. 1 Schematic diagram of the Morphological change of polymer/gas systems in overall physical foaming process

3. 실험

헬륨을 이용한 발포 사출 성형을 위하여 본 실험실에서 보유하고 있는 발포 사출 성형용 장비를 이용하여 진행하였다. Fig.2 는 본 실험에서 사용한 장비의 계략도 이다.[6] 물리 발포 사출 성형을 위해서는 우선 가스를 고분자에 공급해주기 위한 가스 공급장치가 필요하다. 가스 공급 장치는 가스를 압축하여 베럴로 공급이 되며 이때 공급되는 가스의 양 및 공급되는 시간은 사출 성형기의 신호를 받은 컴퓨터를 통하여 제어된다. 본 실험실에서는 기존의 연구 결과를 바탕으로 발포 제품의 발포 특성을 향상시키기 위하여 가스를 고온 고압의 초임계유체 상태로 공급하여 주는 초임계유체 공급 장치를 사용하고 있다. 초임계유체를 고분자로 공급하기 위하여 사출 성형기 베럴에는 구멍을 가공하였으며 이를 초임계유체 공급장치와 관으로 연결하여 지속적인 초임계유체의 공급이 가능하도록 해 주었다. 베럴로 주입된 초임계유체는 베럴 내에서 고분자와 혼합이 된다. 이때 혼합을 극대화 하기 위해 고분자의 스트림라인을 복잡하게 해주는 스크류가 필요하다.

시편의 성형에 사용된 금형은 ASTM 규격 인장 강도 시편 금형을 사용하였다. 추 후 발포 시편의 기계적 강도를 측정 분석하기 위해서 이와 같은 금형을 사용하여 시편을 제작 하였다. 실험에 사용한 고분자는 대한유화에서 제작한 상용 폴리프로필렌 중 BP2000 이라는 그라이드를 사용하였다. 발포에 사용한 가스는 앞에서 순도 99.999%의 헬륨가스를 사용하였다.

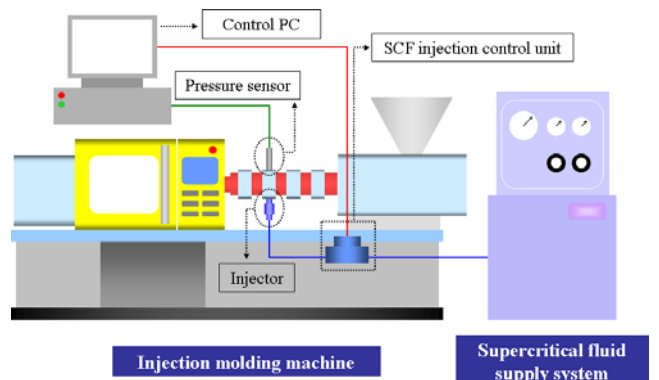


Fig. 2 Schematic diagram of the physical foaming in injection molding process

Table 1 samples type of experiment

Sample	resin	Gas
1 type	Polypropylene	Helium 18MPa
2 type	Polypropylene	Helium 20MPa
3 type	Polypropylene	Helium 22MPa

본 실험의 시편의 3가지 종류는 Table 1에 정리하여 놓은 것과 같다. 가스의 주입 압력을 변수로 하여 발포 시편을 제작 하였다 헬륨의 주입 압력은 18MPa, 20MPa, 22MPa 세가지 이며 각각의 조건에서 6 개의 시편을 제작하여 반복 측정 후 평균으로 시편의 중량을 측정 하였다. 헬륨의 주입 압력 이외의 성형 조건은 모두 동일하게 고정 시켜 헬륨을 이용하여 물리 발포가 가능한지 여부와 발포가 되었을 때 헬륨의 주입 압력이 제품의 특성에 어떠한 영향을 미치는지 살펴 보았다.

4. 결과

기존의 연구 결과에 따르면 헬륨은 용해량이 적고 확산이 빠르기 때문에 발포 성형을 했을 때 발포율이 작은 경향을 띄고 있었다.[6] 그러나 본 연구에서 발포 성형 실험 결과 양호한 발포특성을 보이는 것을 확인 할 수 있었다. Fig. 3 은 발포되지 않은 시편과 헬륨을 이용하여 발포된 시편의 무게를 정리하여 놓은 것이다. 사출 성형의 경우 금형을 이용하여 제품을 성형하기 때문에 미발포 시편과 발포 시편의 부피는 거의 동일한 것으로 가정할 수 있다. 따라서 중량이 적게 나가는 것은 시편 내부에 발포로 인하여 기포가 형성돼 중량이 줄어들게 된다. Nonfoamed 는 헬륨을 주입하지 않는 시편의 무게이며, 18MPa_foamed 는 헬륨 주입압력을 18MPa 로 하였을 때 성형한 시편의 무게, 20MPa_foamed 와 22MPa_foamed 는 각각 헬륨 주입 압력을 20MPa 과 22MPa 로 주입하여 주었을 때 시편의 무게이다. 미발포 시편의 무게를 기준으로 하였을 때 발포된 시편의 경우 헬륨 주입으로 형성된 시편 내부의 기포로 인하여 약 10%의 중량이 절감된 것을 확인할 수 있었다.

이는 기존의 질소나 이산화탄소를 이용하여 발포 사출을 했을 때의 중량절감 효과와 유사한 발포율을 보이는 결과이다. 헬륨의 주입 압력은 중량 절감에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 본 실험 결과를 통해 확인 할 수 있다. 또한 기존의 질소나 이산화탄소를 이용하여 발포 시편을 제작 하였을 때, 시편내부에 존재하는 잔류가스로 인하여 시간이 지남에 따라 점차 시편의 무게가 감소하는 특징을 보였으나, 헬륨을 이용하여 발포 성형을 한 시편은 시간이 지나도 초기 시편의 무게와 변화가 없음을 확인할 수 있었다.

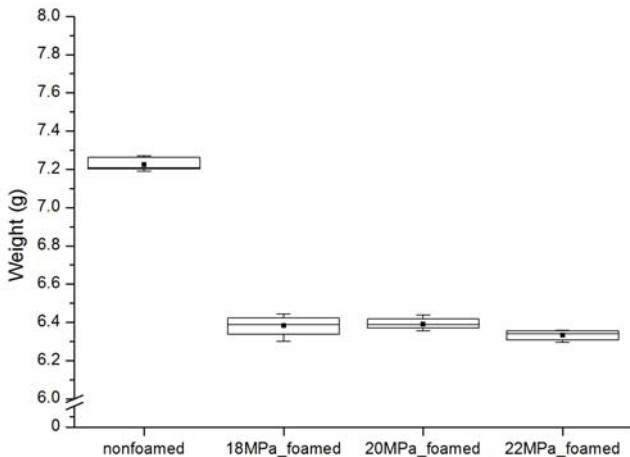


Fig. 3 Weight of foamed samples

5. 결론

본 연구에서는 헬륨을 이용하여 물리 발포 사출 성형 공정을 수행하였다. 이를 통하여 기존에 발포가 어렵다고 여겨졌던 헬륨을 이용하여 약 10%의 발포율을 갖는 시편을 제작 하였다. 일반적인 발포 사출 성형 공정의 경우 중량 절감, 수축률 감소, 성형 시간 감소와 같은 장점을 지니고 있지만, 제품의 표면과 잔류 가스로 인하여 도장 및 라벨링 불량 발생하는 경우가 많다. 헬륨을 이용한 발포 사출 성형 공정의 경우 헬륨의 빠른 확산으로 인하여 제품 성형 후 잔류 가스로 인한 도장 및 라벨링 불량의 문제의 해결이 가능하다. 현재 헬륨을 이용한 물리 발포 성형 공정은 그 연구가 부족하고 최적의 공정조건을 수립하기 위한 연구가 미흡하다. 따라서 앞으로 공정조건에 대한 연구 및 헬륨 사출 성형 공정으로 발포된 제품의 특성에 대한 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 지식경제부 ‘부품소재기술개발사업(10029715)’의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Cha, S. W., “A Microcellular Foaming/Forming Process Performed at Ambient Temperature and a Super Microcellular Foaming Process,” Ph. D. Thesis in Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1994
2. Park, C. B., “The Role of Polymer/Gas Solutions in Continuous Processing of Microcellular Polymers,” Ph. D. Thesis in Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1993.
3. Sato, Y., Fujiwara, K., Takikawa, T., Sumarno, Takishima, S. and Masuoka, H., “Solubilities and Diffusion Coefficients of Carbon Dioxide and Nitrogen in Polypropylene, High-density Polyethylene, and Polystyrene Under High Pressures and Temperatures,” Fluid Phase Equilibria, Vol. 162, pp. 261-276, 1999.
4. Elkovitch, M. D., Tomasko, D. L. and Lee, L. J., “Supercritical Carbon Dioxide Assisted Blending of Polystyrene and Poly(Methyl Methacrylate),” Polymer Engineering and Science, Vol. 39, No. 10, pp. 2075-2084, 1999.
5. 전병주, 차성운, 김학빈, “헬륨을 이용한 초미세 발포 사출,” 대한기계학회 2007 춘계학술대회, 187-190, 2007.
6. 김학빈, 현창훈 차성운, “헬륨을 이용한 초미세 발포,” 대한기계학회 2006 춘계학술대회, 1142-1145, 2006