

# 초미세 발포 플라스틱에 대한 재발포 공정이 micro cell 형성에 미치는 영향

## The Effect of Repeated Gas-Saturating on Foaming Characteristics of Microcellular Foamed Plastics

\*서정환<sup>1</sup>, #차성운<sup>1</sup>, 안정훈<sup>1</sup>

\*J. H. Seo<sup>1</sup>, #S. W. Cha(swcha@yonsei.ac.kr)<sup>1</sup>, J. H. Ahn<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 연세대학교 기계공학과

Key words : MCPs, Polycarbonate, Foaming Ratio, Cell

### 1. 서론

초미세 발포 플라스틱은 내부에 micro cell 을 포함하고 있기 때문에 일반 플라스틱과는 전혀 다른 특성을 갖는다. 초미세 발포 플라스틱을 만들기 위한 공정으로는 사출, 압출 등이 있다. 이러한 공정에서 cell 이 생성되는 기본 메커니즘은 고압력 용기를 이용한 batch process 에서 cell 이 생성되는 메커니즘과 같다. Batch process 에서 cell 을 만들기 위해서는 saturation process 와 foaming process 의 2 가지 공정을 거쳐야 한다. Microcellular foaming batch process 는 크게 saturation process 와 foaming process 의 두가지의 process 로 구성되어 있다. 본 연구는 이미 발포가 완료된 시편에 다시 가스를 용해시키고 cell 의 생성시켰을 경우에 어떠한 변화를 보이는 가를 알아보기 위한 것이다. 기본적으로 추가적인 시편의 밀도 하락이 발생하는 가를 실험을 통해 밝혀내고 각 실험 조건에서 cell 은 어떠한 변화를 보이는 가를 알아보도록 한다.

Saturation process 에서는 플라스틱 시편 내부에 가스 분자가 용해되고, 이후 진행되는 foaming process 에서는 실제로 cell 의 성장이 일어나게 된다. Saturation process 는 고압력용기(high pressure vessel)에서 진행되며, 이 공정에서의 변수는 saturation pressure 와 saturation temperature, 그리고 saturation time 이다. 일반적으로 saturation pressure 가 높을수록 가스 분자의 밀도가 높기 때문에 polymer 내부로 용해되는 가스 분자의 양이 많아진다. 이에 따라 보다 많은 수의 cell 형성이 유도될 수 있다. 이러한 이유 때문에 실험에서는 3 가지의 saturation pressure 로 변화하여 각 압력 조건에서의 결과를 비교 분석하였다. 즉, saturation pressure 에 따라 cell size 와 foaming ratio 가 크게 달라지기 때문에 1 차 발포와 2 차 발포에서 saturation pressure 를 중요 실험 변수로 한 것이다.

saturation process 에서 가스 분자가 polymer 내부로 용해되는 과정에서 free volume 이라는 개념이 사용된다. 즉, polymer 는 금속과는 다르게 polymer chain 사이에 free volume 이 존재하고, 이러한 공간에 가스 분자가 용해된다는 개념이다. 초미세 발포 공정이 완료된 시편은 내부에 cell 이 이미 생성되어 있다. 시편에 cell 이 존재하게 되면 cell 이 차지하는 부피 만큼의 void fraction 이 발생하게 되어 이러한 volume 은 free volume 과 비슷한 역할을 하여 solid material 과 비교하여 가스의 용해량에 변화가 생길 수 있다.

Foaming process 에서의 실험 조건은 temperature, time, foaming 하는 방법 등을 들 수 있다. 실험에서는 glycerin 을 이용하여 foaming process 를 진행하였다. 플라스틱 시편이 발포가 완전하게 완료되는 시간은 대략 20 초 내외이므로 Foaming time 은 30 초로 일정하게 고정하였다. 또한 발포 온도의 경우, cell 의 성장에 직접적으로 영향을 주는 변수이다. 사전 실험과정을 통해 재료가 가장 높은 foaming ratio 를 갖는 온도를 foaming temperature 로 고정하여 모든 실험 조건에 동일하게 적용하였다.

1 차 2 차 발포가 완료된 시편에 대한 실험 결과는 foaming ratio 와 cell morphology 비교를 통해 제시된다. 이

과정에서 1 차 발포 조건과 2 차 발포 조건의 변화에 따라 실험 결과에 어떠한 영향을 주는가를 비교 분석하였다. 또한 2 차 saturation process 에서 가스분자의 용해에 시편의 weight gain 의 변화 결과를 제시하여 1 차 발포가 완료된 시편이 solid 시편과 비교하여 얼마나 높은 weight gain 을 갖는가를 비교하였다. 이는 1 차 발포 공정을 통해 cell 이 형성되었기 때문에 void fraction 이 solid material 보다 많이 존재하여 여기에 gas 분자가 많이 용해될 수 있음에 기인한 것이다. Fig.1 은 1 차 발포 공정과 2 차 발포 공정을 나타낸 것이다. 1 차 발포가 완료된 이후에 또다시 saturation process 와 foaming process 를 거쳐 cell morphology 에 변화가 생기는 것을 나타내고 있다.

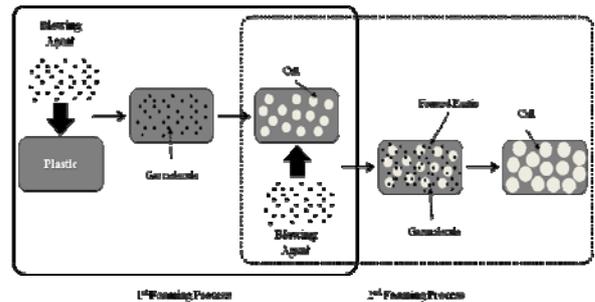


Fig. 1 Mechanism of 1st & 2nd Microcellular Foaming Process

### 2. 실험

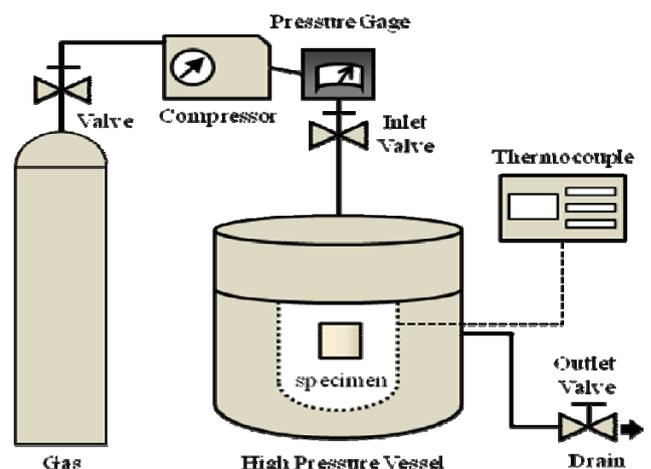


Fig. 2 Diagram of microcellular batch process

Fig.2 는 microcellular batch process 에서 가장 핵심적인 saturation process 를 나타낸다. 가스 bombe 에서 Blowing agent 가 공급되면 이는 Compressor 를 거치면서 setting 된 압력 조건으로 고압력 용기에 충전된다. 고압력 용기의 상부와 하부 사이에는 o-ring 을 끼워 gas sealing 을 가능하게 하였다. 그러나 고압력 용기에 가스가 충전된 이후에 일정 시간이 경과하게 되면 o-ring 에도 가스 분자가 용해되고, 용해된 가스 분자는 다시 대기중으로 확산되기 때문에 이

과정에서 압력강하(pressure drop)이 일어날 수 있다. 따라서 Setting 된 압력 조건을 유지하기 위해 inlet valve 는 saturation process 중에 계속 열려있게 된다. 실험에서 사용된 blowing agent 는 이산화탄소이다. Saturation process 에서의 실험 변수는 압력과 온도, 그리고 시간이다. 실험에서는 saturation pressure 를 주요 실험 변수로 하였기 때문에 이를 조절하기 위한 compressor 가 사용되었다. Saturation temperature 를 유지, 조절하기 위해서 고압력 용기에 thermocouple 을 연결하여 고압력 용기 내부의 온도를 계속하여 체크할 수 있도록 하였다.

Saturation process 가 끝난 이후 가스가 용해된 플라스틱 시편은 foaming process 를 거치게 된다. Saturation process 가 끝나고 foaming process 가 시작하기 전까지 가스가 용해된 플라스틱 시편은 공기중에 노출되게 된다. 이 과정에서 gas 분자가 공기중으로 desorption 이 되는데 이때 공기중으로 desorption 되는 가스 분자의 양이 실험 오차로 작용할 수 있기 때문에 desorption time 을 통제하여 실험을 진행하였다. Foaming process 는 glycerin 을 이용하여 진행되었다.

### 3. 결과

Fig.3 은 Sat. P1 이 10bar 이고, Sat. P2 가 각각 10, 30, 50bar 일 경우 각 조건에서 발포된 시편의 단면 cell 형상을 나타낸 그림이다. Sat. P1 이 10bar 인 경우 Sat. P2 가 증가할수록 cell 의 크기는 점차적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히 Sat. P2 가 높아짐에 따라 foaming ratio 가 크게 증가하여 cell 사이에 존재하는 wall 의 두께가 매우 얇아진 것을 확인할 수 있다.

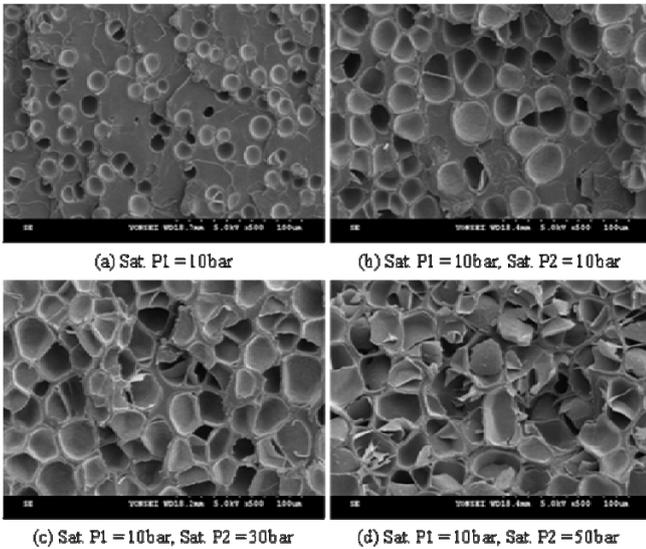


Fig. 3 Cell Morphologies (x500) under Various Conditions at Sat. P1 = 10 bar

### 4. 결론

실험을 통해 Sat. P1 이 높을 경우 cell 이 보다 작게 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이는 Sat. P 가 높을수록 작은 cell 이 형성되기 때문으로 해석할 수 있다. 즉, Sat. P1 이 낮을 경우 cell size 가 크게 형성되어 있기 때문에 여기에 높은 압력을 가하여 새롭게 가스 분자를 saturate 하더라도 새로운 cell 이 형성되는 것이 아니라 cell 의 크기에 변화가 생긴다고 할 수 있다. 즉, 1 차 발포 공정이 끝난 이후 cell 이 형성된 시편이 새롭게 saturation 공정을 거치게 되면 가스분자는 1 차 saturation process 에서 보다 많이 용해된다. 이렇게 용해된 가스 분자는 cell 분포 및 size 에 영향을 주게 되며, 새로운 cell 이 형성되기 보다는 이미 생성된 cell 의 size 를 크게 하는 역할을 한다. 또한 발포율을 극대화하기 위해서는 낮은 Sat. P1 으로 saturation process 를 수행하고,

이후 높은 Sat. P2 를 가하여 2 차 발포 공정을 수행하여야 한다. 2 번의 발포 공정을 통해 만들어진 시편의 발포율은 1 번만 발포한 시편의 발포율보다 2 배 이상 높아질 수 있다는 것을 실험 결과를 통해 확인할 수 있다.

### 참고문헌

1. J. S. Colton and N. P. Suh, U.S. Patent 5,160,674 (1992).
2. S. W. Cha, N. P. Suh, D. F. Baldwin, and C. B. Park, U.S. Patent 5,158,986 (1992).
3. D. F. Baldwin, N. P. Suh, C. B. Park, and S. W. Cha, U.S. Patent 5,334,356 (1994).
4. J. E. Martini, SM thesis, Dept. Mech. Eng., MIT, Cambridge, Mass. (1981).
5. Park, C.B.; Suh, N.P. Rapid polymer/gas solution formation for continuous processing of microcellular plastics. ASME Trans. J. Manuf. Sci. Eng. J. Eng. Ind. 1996, 118 (4), 639-645.
6. Matuana, L.M.; Park, C.B.; Balatinecz, J.J. Processing and cell morphology relationships for microcellular foamed PVC/wood-fiber composites. Polym. Eng. Sci. 1997, 37 (7), 1137-1147.
7. Park, C.B.; Cheung, L.K. A study of cell nucleation in the extrusion of polypropylene foams. Polym. Eng. Sci. 1997, 37 (1), 1-10.