

# 초미세 발포 플라스틱에 재 발포 공정이 주는 영향

## Effect of Re-foaming Process on Microcellular Foamed Plastics

\*서정환<sup>1</sup>, #차성운<sup>2</sup>, 김학빈<sup>3</sup>

\*Jung-hwan Seo<sup>1</sup>, #Sung W. Cha(swcha@yonsei.ac.kr)<sup>2</sup>, Hak Bin Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 연세대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 연세대학교 기계공학과, <sup>3</sup> 연세대학교 기계공학과

Key words : Microcellular Foaming Process, Re-foaming, Polypropylene

### 1. 서론

MCPs Process 는 기존의 발포 기술이 단일 성능, 비절연성(dielectric constant) 등이 우수하여 현재 널리 사용되고는 있으나 기계적 물성이 많이 저하되기 때문에 구조물과 같이 힘을 요하는 곳에는 단독으로 사용될 수 없고, 또한 부피에 대한 제품의 무게가 감소하는 단점을 해결하기 위해서 1980년대 초 미국 MIT 에서 개발된 발포 플라스틱 제조공정이다. 그 동안 이 새로운 Process 를 일반적인 플라스틱 성형 기술인 압출, 사출성형 등에 적용하기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 MCPs 사출성형 프로세스는 불활성 가스에 압력과 열을 가함으로써 초임계 상태로 만들고, 이를 사출 성형기의 실린더에 분사하여 플라스틱과 가스를 혼합시킴으로써 하나의 상(One-Phase)인 용액(Solution)을 만든다. 이를 금형에 사출하면 가스가 팽창하면서 성형품 내부에 5~50  $\mu\text{m}$  정도의 기포들이 고르게 형성된다. 이러한 미세 기포 구조의 발포 플라스틱 성형품은 일반 발포 플라스틱 성형품보다 밀도가 낮고, 상대적으로 높은 기계적 강도를 갖는다.

MCPs 기술의 연속공정(continuous process) 적용이 일괄처리공정(batch process)과 비교해 보았을 때 가장 큰 차이점은 기포의 불균일성의 문제이다. 즉, 상대적으로 연속공정에 있어서의 MCPs 가 기포의 크기 및 배열의 측면에 있어서 보다 불균일성을 보인다. 이는 연속공정에 의한 MCPs 가 일괄처리공정에 의한 MCPs 보다 기계적 물성 등에 약점을 보임을 의미한다.

이는 기체의 확산에 의해 발생하는 고분자-기체 혼합물 형성과정에서 연속공정이 일괄처리공정보다 비 균일한 단일상의 혼합물을 만들기 때문이다. 연속공정은 공정의 특성상 짧은 시간 내에 고분자-기체 혼합물을 생성해야 하므로 기체가 충분히 확산할 수 있는 시간적 여유가 없으므로 이런 문제가 발생하는 것이다. 따라서 연속공정에서 보다 균일한 고분자-기체 혼합물이 생성될 수 있는 방법에 대한 모색은 셀 Morphology 의 향상을 가져올 수 있다.

본 연구에서는 초미세 발포 공정의 가장 기초적 공정인 배치 프로세스를 이용하여 1 차로 발포가 진행된 시편이 초미세 발포 공정을 추가로 거치게 되면 시편에 어떠한 변화가 일어나는가를 알아보기 위한 실험을 진행하였다. 이를 확인하기 위하여 초미세 발포 배치 공정을 수행하여 발포가 된 시트 형태의 플라스틱 시편을 제작하고 사전 처리된 시편을 초미세 공정을 한번 더 거치도록 한다.

실험에서 사용된 플라스틱 시편은 대표적인 결정질 재료인 PP 이며 두께 1mm 의 Sheet 형태이다. 시트 제작 시 첨가물은 사용하지 않았다.

### 2. 이론

Polymer 에 gas 분자가 침투하는 원리는 기본적으로 diffusion 이다. Gas 분자가 polymer 내에 침투한 후 온도가 높아지게 되면 급격한 팽창에 의하여 cell 이 형성되게 된다. 고압의 가스를 확산의 원리로 폴리머 내에 침투시킨다. 이때 압력은 chiller 와 pump 를 통하여 제어되며 최고 5000psi 로 가스를 폴리머 내에 충전시킬 수 있다.

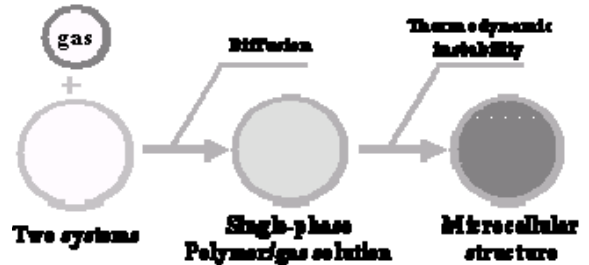


Fig. 1 Change of Cell morphology in gas-polymer system

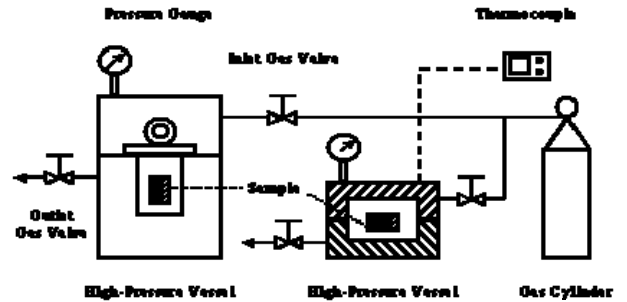


Fig. 2 Schematic of batch process

가스 충전 압력은 셀의 형상에 매우 지배적인 인자가 되며 셀의 크기와 셀의 밀도에 영향을 미친다. 즉, 포화 압력이 높아지면 셀의 크기는 작아지게 되며 셀의 밀도는 높아지게 된다. 셀 밀도는 셀 사이의 간격으로 측정하게 되며 셀 밀도가 높아진다는 것은 셀 사이의 간격이 줄어드는 것과 같다.

확산의 원리로 가스를 폴리머 내에 충전하며, 실제 기포가 생성되는 것은 고온의 열을 가했을 때 열역학적인 불균형에 의한 것이다. 일반적으로 Tm 부근의 온도에서 발포 공정을 거치게 되며 PP 의 경우 Tm 이 약 170 도이기 때문에 대략적인 발포 온도는 160 도 내외가 된다. 그러나 PP 의 경우 발포가 시행되는 온도 구간이 5 도 내외로 매우 작기 때문에 최적 발포 온도를 맞추어 시행하는 것이 fine cell 을 만들기 위한 필요조건이다.

### 3. 실험

초미세 발포 배치 프로세스는 총 3 회에 걸쳐 수행된다. 1 차로 발포된 시편을 2 차 및 3 차 공정까지 진행 했을 때 밀도 변화 및 단면 셀 형상을 비교 대상으로 한다. 밀도 변화를 측정하여 발포율을 산정하고 SEM 을 이용하여 시편 내부에 발생한 기포의 크기 및 밀도를 직접 눈으로 확인할 수 있도록 한다. 실험 변수는 Saturation Pressure 을 가장 주된 실험 변수로 하였다. Saturation Pressure 는 20 기압, 60 기압, 100 기압의 세가지 조건으로 나누어 진행하였다. 특히 100 기압의 경우 온도를 동시에 상승시켜 supercritical state 로 유지하였다. 발포에 사용된 Blowing agent 는 이산화탄소 이다.

Table 1. Experimental Conditions

1st			
Sat. Condition		Foaming Condition	
Pressure(bar)	20	Temp.	145℃
Time(hour)	24	time	20sec
Temp.(℃)	room	medium	Glycerine
w.t. 1	2.341	density1	0.91
w.t. 2	2.378	density2	0.72
w.t. gain	1.58%	foaming R	20.9%
2nd			
Sat. Condition		Foaming Condition	
Pressure(bar)	20	Temp.	145℃
Time(hour)	24	time	20sec
Temp.(℃)	room	medium	Glycerine
w.t. 1'	1.683	density1'	0.72
w.t. 2'	1.728	density2'	0.63
w.t. gain	2.67%	foaming R	12.5%
3rd			
Sat. Condition		Foaming Condition	
Pressure(bar)	20	Temp.	145℃
Time(hour)	24	time	20sec
Temp.(℃)	room	medium	Glycerine
w.t. 1'	1.112	density1'	0.63
w.t. 2'	1.143	density2'	0.54
w.t. gain	2.79%	foaming R	14.3%

수 있다. 그러나 이것은 초기 1 차 발포 조건에서 Saturation Pressure 가 낮을 때에만 추가적인 밀도 하락이 가능한 것을 확인할 수 있다. 실제로 단면을 확인하였을 때에도 추가 발포가 일어남에 따라 셀의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Saturation Pressure 가 높은 경우에는 1 차 발포에서 충분한 발포율을 얻기 때문에 추가적으로 가스 용해는 일어나지만 밀도 감소의 결과는 보이지 않는 것을 확인할 수 있다.

후기

이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0077300)

참고문헌

1. Sung W. Cha, " New Process for forming a Three-dimensional Polymer product and foaming microcells at ambient temperature, " S.M. Thesis in Mechanical Engineering, M.I.T.1994.
2. C.B. Park and N.P. Suh, "Rapid Polymer/Gas Solution Formation for Continuous Processing of Microcellular Plastics," ASME Transactions, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 118, No. 4, pp. 639-645, 1996.
3. Laurent M. Matuana, Chul B. Park, John J. Balatinecz, "Effect of cell Morphology on the Properties of microcellular foamed PVC/WOOD-FIBER composites", ASME, MD\_Vol. 76, 1996.
4. Kumar, V., "Process Synthesis for Manufacturing microcellular Thermoplastic parts: A case Study in Axiomatic Design," PH. D. Thesis in Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1988.
5. Sung-Woon Cha, Sang-Jo Lee, Jae-Dong Yoon, "General Trend of Microcellular Foaming Process", 2nd Korea-Australia Workshop on Manufacturing Technology pp.131-136, 1999

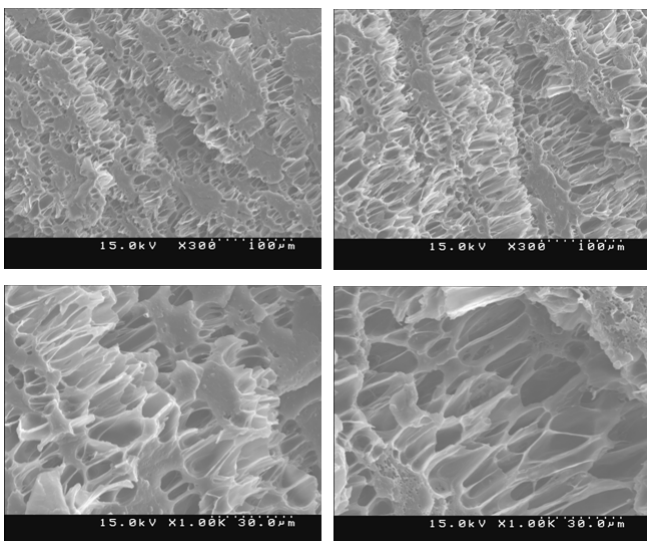


Fig.3 Cross Section of Each Samples

4. Conclusions

초미세 발포 공정을 진행한 이후 재 발포 공정을 거치게 되면 추가적인 발포가 일어날 수 있다는 것을 확인할