

# 초미세 발포 공정에서의 인가 열량에 의한 기공 형상 변화 Study of cell morphology change by exerted heat

\*김영호<sup>1</sup>, #차성운<sup>1</sup>, 한진우<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup> 연세대학교 기계공학과

Key words : Microcellular Foaming, Batch Process, Cell Morphology

## 1. 서론

초미세 발포 공법은 중량 감소에 의한 경제성과 더불어 내열성, 내충격성 등의 물성이 좋아지는 등의 일반 발포 공법의 특징을 그대로 지니는 동시에 기계적 물성이 크게 떨어지지 않는다는 큰 이점을 가지고 있다. 산업 현장에서도 주로 이러한 이점에 초점을 맞추어 제품에 적용해 왔으며 생산성을 고려하여 압출이나 사출 등의 연속 혹은 반연속 공정을 통해 제품을 생산해왔다.

이러한 경우 초미세 발포 제품의 성능은 주로 발포율을 통해 결정한다. 구체적으로는 보다 작은 기공이 보다 많게 생성되는 것에 좌우된다. 생성된 기공의 크기가 작을수록 기계적 물성의 손실이 적어지게 되며 기공의 개수가 많을수록 중량 감소의 이점이 극대화된다. 이러한 특징으로 인해 관련 연구는 발포율 또는 발포율과 관련이 있는 재료의 용해도 향상에 비중을 두었고 제품에 적용될 때에도 경량화라는 큰 전제를 깔아두어야 했다.

그러나 최근 초미세 발포를 통해 생성되는 기공의 형태와 그 광학적 또는 음향학적 기능 등에 관해 관심이 모아지면서 발포율 뿐 아니라 발포 기공의 형상에 대해서도 연구의 필요성이 대두되고 있다.

일반적인 초미세 발포의 정의에서 기공의 크기는 5~50 μm 정도의 마이크로미터 스케일로 한다. 이 기공의 크기는 발포체를 지나는 파장에 영향을 끼치게 된다. 간단한 예를 들어 발포 제품들은 흰색의 불투명한 특징이 있는데 이는 빛이 발포 기공에 의한 난반사를 통해 산란되기 때문이다.

일본의 후루가와 등의 기업에서는 여기에 착안하여 초미세 발포를 적용한 광반사판을 제조하고 있으며 국내외의 여타 기업들도 최근 발포를 통한 광학 시트 생산에 착수하기 시작했다. 그런데 이러한 시트를 생산하는 데에는 일반적으로 시트를 생산하는 데 이용하는 압출 공정을 이용하는 것이 아니라 이미 시트 형태로 생산된 제품을 다시금 발포하는 공정을 이용한다. 여기서 쓰이는 공정은 일괄처리 공정이라고 한다.

일괄처리 공정은 고압력 용기 내부에서 재료에 발포 가스를 용해시키는 포화 공정과 발포 가스가 용해된 재료에서 압력을 제거하고 열을 가해 실제 발포를 수행하는 발포 공정으로 이루어진다. 개개의 공정이 나누어져 있고 따라서 각 공정의 인자 제어가 용이하다는 장점이 있기 때문에 기초 연구와 실험 용도로 많이 이용되는 공정이다. 불연속적이고 시간이 오래 걸리는 단점 때문에 산업 현장에서는 많이 이용되지 않았으나 기공의 형태 제어가 중요한 광학 시트 등의 제조에서는 오히려 이 공정을 이용해야 할 필요성이 있다.

그러나 서두에서 밝혔듯이 기존의 연구들은 대부분 발포율을 높이는 데에 초점이 맞추어져 있었고 기공의 형태 제어도 단지 작고 많은 기공을 만드는 것을 목표로 하고 있었기 때문에 기공 형상의 구체적인 제어에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 일괄처리 공정에 기반한 초미세 발포 공정에서의 기공 형상 제어에 관한 연구의 필요성에 입각하여 발포 공정에서의 발포 온도 인자와 기공 형상 변화에 관한 실험과 고찰을 수행하였다.

Table 1 Condition of gas saturation process

Saturation Condition	
Saturation Pressure	5.5MPa
Saturation Time	25hrs.
Saturation Temperature	25 ± 2 °C

Table 2 Condition of foaming process

Foaming Condition	
Foaming Media	Glycerin
Foaming Time	Over 30sec.
Foaming Temperature	50°C, 70°C, 90°C, 110°C, 130°C, 150°C

## 2. 실험

실험에 사용된 재료는 ㈜새한의 폴리카보네이트 제품인 glacial 을 사용하였다. 폴리카보네이트는 무정형 재료로서 발포 배율이 높은 동시에 발포시 생성되는 기공의 형상이 고르게 나타난다. 시편은 5 mm × 5 mm × 1 mm의 시트 형태로 가공하여 실험에 사용하였다. 가스 포화 공정과 발포 공정의 실험 조건은 각각 Table 1, 2 와 같다. 다른 조건은 모두 동일한 상태에서 발포 온도만을 변화시켜 차이를 살펴보았다. 발포 매체는 글리세린으로 사용하였고 30 초 이상의 긴 발포 시간을 두어 해당 발포 온도 조건에서의 완전 발포가 일어나도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

가스 포화 공정이 동일했던 만큼 각 발포 온도별로 준비한 시편의 용해도 역시 동일했다. 용해도는 포화 공정 전후의 재료의 무게를 통해 측정하였으며 무게의 증가분을 용해된 가스의 양으로 파악한다. 모든 실험 시편들이 약 11%의 무게 증가분을 나타내고 있다.

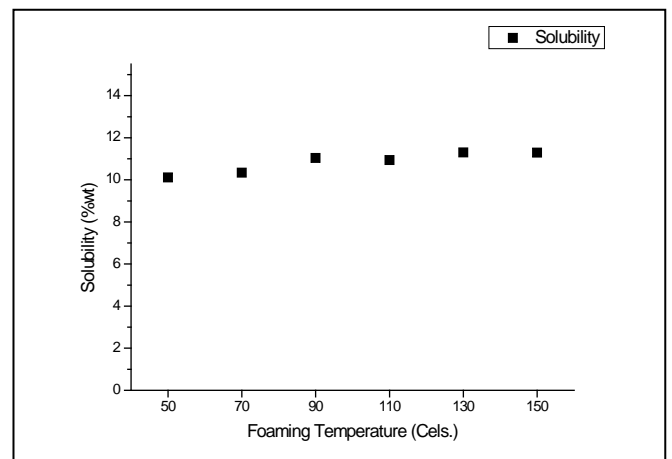


Fig. 1 Solubility of polycarbonate

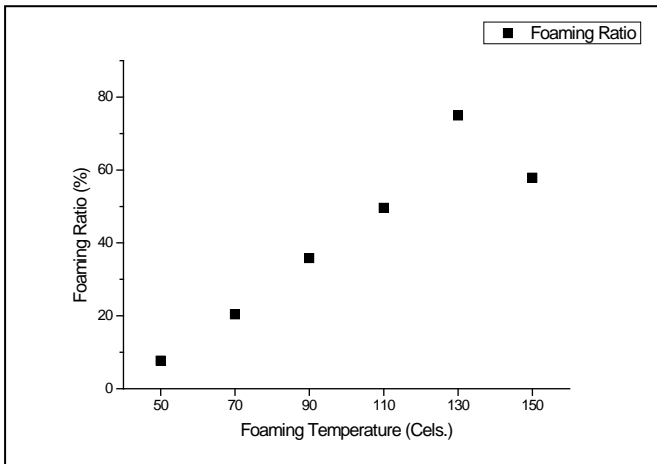


Fig. 2 Foaming ratio change in foaming temperature

발포 배율의 경우 발포 온도에 따라 선형적인 증가 양상을 나타내었다. 해당 재료의 유리전이온도보다 조금 낮은 온도인 130 °C의 발포 온도에서 가장 높은 발포 배율을 나타냈고 150 °C에서 발포 배율이 오히려 낮아진 까닭은 유리전이온도를 넘어서면서 재료 일부가 용융되었기 때문임을 쉽게 예상할 수 있다.

발포된 시편의 SEM 촬영을 통해 발포 기공의 형태 변화를 관찰하였다. 중점적으로 보게 되는 것이 분포하고 있는 기공의 평균 지름을 통한 기공의 크기변화와 부피 증가분을 고려한 기공의 단위체적당 분포 밀도이다. 50°C의 발포 시편의 경우 기공이 크기가 작으면서 기공의 분포 밀도가 낮은 점으로 미루어 기공의 형성되기에는 너무 낮은 열량이 가해진 것으로 보인다. 70°C부터 110°C의 발포 온도 조건에서는 선형적인 변화를 보이고 130°C에서는 최소 기공 크기와 최대 기공 밀도를 나타내고 있다.

발포 온도가 높아질수록 기공을 성장시키는 열량이 많아지기는 하지만 동시에 재료 내부에 용해된 가스 분압이 높아져서 압력 강하도가 높아지기 때문에 기공으로 성장하는 유효 발포 핵의 개수가 많아진다. 즉, 높은 발포 온도를 통해 많은 열량을 가해줄수록 기공의 수가 많아지고 많은 기공은 서로의 성장을 억제하면서 기공의 크기는 작아지게 된다.

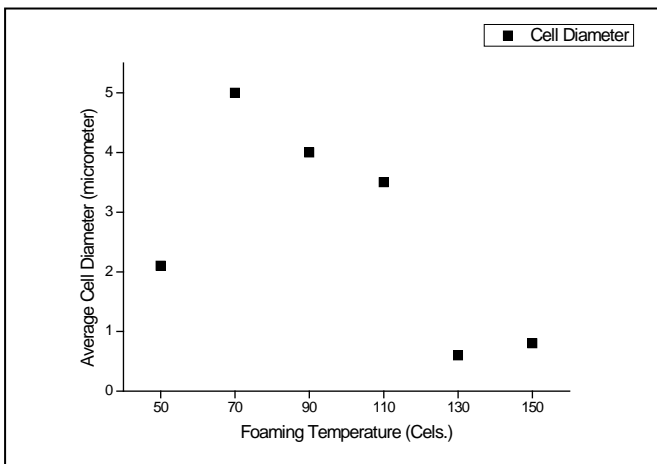


Fig. 3 Cell diameter change in foaming temperature

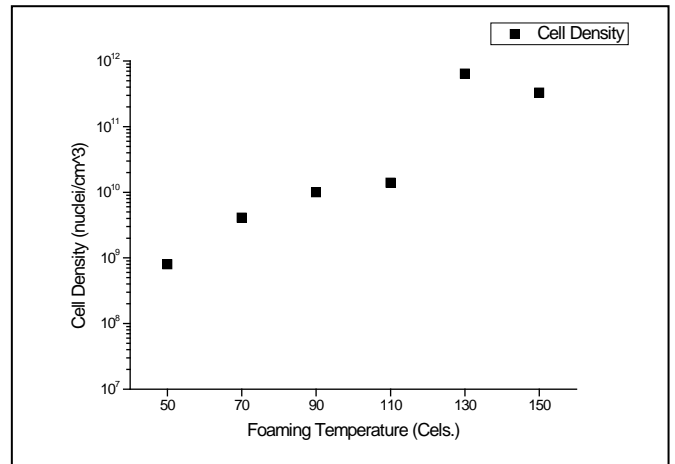


Fig. 4 Cell density change in foaming temperature

#### 4. 결론

발포 온도 조건의 변화를 통한 인가 열량의 변화 실험을 통해 발포 기공의 형태를 결정하는 주요 인자는 기공의 유효 핵 생성 비율임을 확인할 수 있었다. 생성된 핵의 숫자가 많고 적음에 따라 크기도 영향을 준다는 추론이 가능하다. 추후에는 발포 방식이나 발포 시간 등의 변인을 주어 보다 많은 기초 자료를 확보하는 연구와 이론적 접근이 필요할 것으로 생각한다.

#### 후기

본 연구는 ‘서울시 산학연 협력사업(11101)’의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. Sung W. Cha, "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. Chul B. Park, "The Role of Polymer/Gas Solution in Continuous Processing of Microcellular Polymer," Ph. D. Thesis in Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1993.
3. Krishna Nadella, Vipin Kumar and Wei Li, 2005, "Constrained Solid-State Foaming of Microcellular Panels" Cellular Polymers, Vol.24 No.2 pp.71~90.
4. Pieter Spitael, Cristopher W. Macosko and Richard B. McClurg, "Block copolymer micelles for nucleation of microcellular thermoplastic foams," Macromolecules, Vol 37, pp.6874-6882, 2004.