

가스 용해 조건에 따른 초 미세 발포 시편의 광학적 특성

A Study on Optical Characteristics and Cell Morphology of Microcellular Foamed Plastics - As a Variable of Gas Saturation Pressure

*조수현¹, #차성운², 서정환¹

*S.H. Cho¹, #S.W. Cha(swcha@yonsei.ac.kr)², J.H. Seo¹

¹ 연세대학교 기계공학과, ² 연세대학교 기계공학부

Key words : Microcellular Foaming Process , Gas Saturation, Optical Characteristics

1. 서론

초 미세 발포 기술은 1980년대 초반 미국 MIT 대학에서 개발되었으며 고분자 내부의 기포 직경이 10 μm 이하이기 때문에 초 미세라고 명명되었다. 이 기술은 고분자 재료 제품의 제조에 있어서 재료비가 차지하는 비율이 매우 높다는 한계를 극복하고, 기존 발포 제품의 단점을 극복하고자 개발되었다. 초 미세 발포 기술로 만들어진 고분자는 내부에 매우 작은 크기의 기포가 생성되기 때문에 제품 비의 절감과 함께 단열성, 절연성, 방음성에서 뛰어난 효과를 가져왔다. 초 미세 발포 기술을 통해 만들어진 기포는 크기가 매우 작고, 세포벽과도 비슷한 모양을 띠고 해서 Cell 이라 명명한다.

하지만 초 미세 발포 기술로 만들어진 재료가 빛의 확산과 반사에서 다른 재료보다 월등한 광학적 특성을 보인다는 연구 결과로부터 새로운 시장이 형성되었고, 파급 효과가 그만큼 크기 때문에 그에 따른 연구가 기업과 대학 등 여러 연구기관에서 진행되고 있다. 초 미세 발포 고분자 재료의 특성은 실험 조건으로부터 비롯된 Cell의 구조와 형상의 차이로부터 결정된다. 이러한 발포 조건과 제품의 물성의 관계 분석은 원하는 특성을 얻기 위한 실험 조건을 예측할 수 있게 하는 중요한 요소가 된다.

본 연구에서는 서로 다른 압력 조건에서 가스를 용해시킨, 같은 가스 용해량을 갖는 시편에서 나타나는 Cell Morphology와 광학적 특성의 차이에 대해서 연구를 진행했고, 재료의 결정성에 따라 다른 Cell 특성과 광학적 특성의 차이를 얻을 수 있었다.

또한 초 미세 발포 재료의 발포 특성은 고분자 재료의 결정성에 따라 차이를 보이기 때문에 이 논문에서는 재료의 결정성이 결과에 영향을 미치는 부분을 알아보고자 한다. 따라서 결정성 고분자 재료인 Polypropylene(PP)와 비결정성 고분자 재료인 Poly carbonate(PC) 두 가지 재료를 이용하며, 공정 인자의 제어가 자유롭고 제품에 있어서도 높은 재연성을 갖는 일괄처리 발포 공정(Batch Process)을 이용해서 연구를 수행했다.

2. 이론

2.1 초 미세 발포 플라스틱

초 미세 발포 기술은 고분자 재료 내에 가스를 용해시킨 뒤 가스의 용해도를 급격하게 낮추면서 생기는 열역학적 불안정 상태를 이용해서 기포의 핵을 만들고, 기포 핵을 성장시켜서 고분자 재료 내부에 Cell 이라고 불리는 직경 10 μm 이내의 기포를 10⁹ cells/cm³ 이상 생성시키는 기술을 의미한다. 초 미세 발포 공정의 첫 단계는 이산화탄소, 질소와 같은 불활성 기체를 고분자 재료 내부로 용해시키는 것이다. 고압에 고분자 재료가 놓이게 되면 고분자 내부와 외부 사이 기체의 농도 차이에 의해서 가스가 고분자 내부로 용해된다. 두 번째 단계는 초 미세 기포들의 핵 생성이다. 핵 생성은 열역학적 불안정성에 의해 생겨나고, 이러한 열역학적 불안정성은 가스의 용해도를 급격하게 낮춤으로써 야기되는데, 용해도는 압력을 낮추면서 온도를 올려주

면 압력과 온도에 의한 용해도가 급격하게 낮아지면서 열역학적 불안정성이 생기기 때문이다. 이 열역학적 불안정성을 안정한 상태로 만들기 위해 고분자 재료 내부에서 기포 핵이 형성된다. 세 번째 단계는 기포의 성장단계이다. 기포가 성장하는 과정에서는 가스가 용해된 고분자를 유리전이온도 이상의 온도로 가열하면 열에 의해 고분자 재료의 저항력이 작아지고, 기포 내부와 외부의 압력 차와 표면장력이 균형을 이루면서 기포의 주변에서 기포 내부로 가스가 쉽게 확산되어 기포가 성장한다.

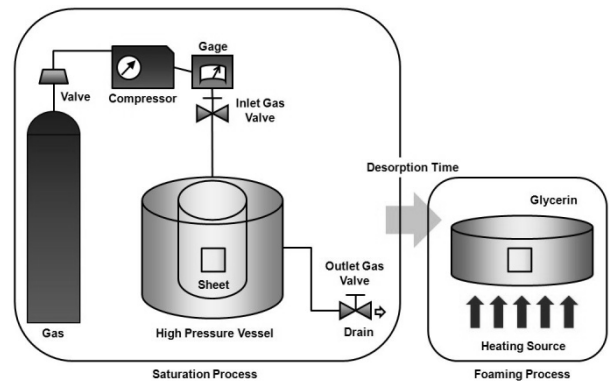


Fig. 1 Schematic diagram of the Microcellular foaming batch process / Desorption time

2.2 초 미세 발포 플라스틱의 광학적 특성

초 미세 발포 고분자의 특성 중에 본 연구에서 크게 다루는 부분은 광 확산반사율이다. 물체의 표면에서 일어나는 반사는 크게 두 가지로 나뉘는데, 빛이 물체 표면에 입사가 되어 같은 각도로 반사되어 나오는 빛을 정 반사광(Specular Reflection)이라고 하며, 정 반사 되지 않고, 산란되어 여러 방향으로 반사되는 빛을 확산 반사광(Diffused Reflection, SCE)이라 한다. 이러한 두 가지 반사를 모두 합친 값을 전체 반사(Total Reflection)라고 한다.

초 미세 발포 기술을 통해 만들어진 재료의 확산 반사 성능이 좋은 이유에는, 내부에 형성된 Cell 들이 빛을 반사시킬 때, 규칙적이지 않은 여러 경로로 빛을 산란시키기 때문이다. 이러한 빛의 반사 특성으로 인해 확산 반사광은 시야 각에 따라서 영향을 미치지 않고, 빛의 균일성을 확보할 수 있다. 그렇기 때문에 조명 산업이나 LCD의 BLU(Back Light Unit)에 적용되는 반사판의 경우에도 이러한 확산 반사율을 높이는 기술이 의미가 있다.

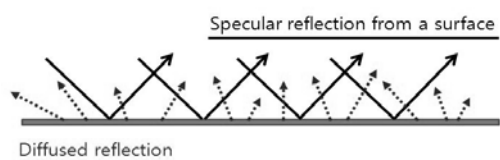


Fig. 2 Schematic diagram of reflection mechanism

3. 실험

3.1 가스 용해 조건에 따른 발포 플라스틱의 특성

본 실험에서 사용하는 고분자 재료는 결정성 Polymer 인 Polypropylene 과 비결정성 Polymer 인 Poly carbonate 이며, 불활성 기체로는 이산화탄소(CO₂)를 사용한다. 그리고 서로 다른 압력 조건을 주기 위하여 Vessel 내부의 압력을 조절했다. 열을 가하는 과정에서 글리세린을 이용했는데, 재료의 특성에 따라 Foaming 온도를 조절했다. 그리고 가스의 용해량은 5.0MPa 에서 24 시간 동안 용해시키고 Desorption Time 을 2 분 주었을 때의 시편의 무게를 통해서 측정된 용해량을 100% 기준 용해도로 설정하고 Desorption Time 을 이용해서 시편 내부에 용해되어있는 가스 양을 20% 간격으로 조절한 뒤 실험했다. Relative Solubility 개념을 도입, 같은 용해량을 갖는 시편을 다양한 용해 조건에서 만들어 경향성을 파악하고 관계를 유추해보는 실험을 설계하였다.

Desorption Time 이란, Saturation Process 가 끝난 후부터 Foaming Process 를 시작하기 전까지의 시간이다. 실험에 있어서 이 시간의 중요성이 밝혀지기 이전까지는 Open Time 이라고 해서 실험 공정 사이에 있는 Noise 로 치부해 버렸으나, 공정 변수의 성격을 갖는 의미에서 Desorption Time 이라 명명한다.

본 연구에서는 서로 다른 가스 용해 조건을 갖지만 같은 가스 용해량을 갖는 시편을 초 미세 발포 시킨 뒤에 서로의 물성을 비교하고자 하므로, Desorption Time 을 이용해서 시편 내의 가스 용해량을 조절한 뒤 실험한다. 그리고 이번 연구에서는 초 미세 발포를 통해 나온 시편들의 확산반사율에 초점을 두고 있기 때문에 정 반사광 (Specular Reflection)을 제외한 SCE(Specular Component Excluded)값을 측정했다.

Polymer Sheet	PP 1.00mm	PC 1.00mm
Blowing Agent	CO ₂	
Saturation Pressure / Time	5.0MPa	24hour
	3.0MPa	
	1.0MPa	48hour
Foaming Temperature	PP : 140℃	PC : 120℃
Amount of Remaining Gas	100% 80% 60%	40% 20%

Table 1 Experiment conditions

3.2 가스 용해 조건에 따른 시편의 광학적 특성 차이

PC		PP	
Saturation Pressure 5.0MPa		Saturation Pressure 5.0MPa	
Saturation Time 24h		Saturation Time 24h	
Relative Solubility	Amount of Remaining Gas	Relative Solubility	Amount of Remaining Gas
100%	11.79%	100%	5.23%
80%	9.43%	80%	4.18%
60%	7.07%	60%	3.13%
40%	4.72%	40%	2.10%
20%	2.36%	20%	1.05%

Fig. 3 Relative solubility & amount of remaining gas

Fig. 4 는 가시광선 영역 중에서도 가장 가시성이 좋은 550nm 파장에서의 반사율에 주목하기 위해 x 축: 용해량, y 축: SCE 값으로 나타낸 그래프이다. 가장 왼쪽의 막대가 5.0MPa 에서 포화시킨 시편이고, 가운데 막대가 3.0MPa 에

서 포화시킨 시편, 가장 오른쪽 막대가 1.0MPa 에서 포화시킨 시편이다. 이 그래프를 보면 비 결정형 재료인 PC 에서는 모든 가스 용해량에서 압력이 낮을수록 높은 반사율을 보였다. 반면에 결정형 재료인 PP 에서는 PC 와는 달리 압력이 높을수록 높은 반사율을 보였다

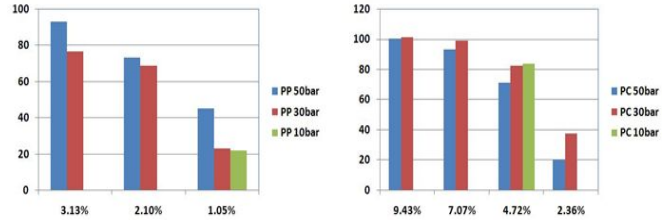


Fig. 4 550nm Wavelength SCE of PP / PC

4. 결론

SCE 값을 통해 알아본 시편의 확산반사율 결과를 보면, PC 와 PP 두 가지 재료 모두에서 시편 내 용해된 가스의 양이 많을수록 높은 확산반사율을 보인다는 일반적인 초 미세 발포 고분자의 특성과 같은 결과가 나왔다. 또 Wave Length 에 따른 반사율 측정 결과 또한 PC 와 PP 가 특정 파장에서 반사율이 차이가 나는 등 서로 다른 경향을 보인다는 사실을 확인했다.

그리고 같은 가스 용해량을 가질 때 비결정질 고분자인 PC 의 경우에는 Saturation Pressure 가 낮을수록 높은 반사율이 나타나는 경향을 보였고, 반대로 결정질 고분자인 PP 의 경우에는 Saturation Pressure 가 높을수록 높은 반사율이 나타나는 경향을 보였다. 아마도 이러한 부분도 고분자의 결정화 정도에 따라 물성에 차이를 보이는 부분이 아닐까 싶고, 추후 다른 비결정질 재료와 결정질 재료로 실험을 수행한다면 왜 이러한 현상이 나타났는지를 확실하게 알 수 있을 것이다.

또한 같은 가스 용해량을 갖게 하기 위해 Desorption Time 을 통해 가스를 용해하는 과정에서 생겨난 시편 표면부의 미 발포 부분이 이러한 특성을 만들었을 가능성도 있다. Cell Morphology 에 따른 반사율의 관계 및 각 변수에 따른 광학적 특성에 대한 연구가 추가적으로 이루어지고, 여러 재료에 대한 분석이 이루어진다면 앞으로 Saturation Condition 의 조절을 통해 원하는 광학적 특성을 갖는 고분자 재료를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

후기

본 연구는 한국학술진흥재단 이공분야기초연구 사업 (2009-0077300)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. CHA.S.W. "A Microcellular foaming / foaming process performed at ambient temperature and a super-microcellular foaming process" Ph.D Thesis, Department of Mechanical Engineering, M.I.T 1994.
2. SEO.J.H. "Research on The Supreme Diffused Reflectivity of Microcellular foamed Polypropylene." M.S. Thesis in Mechanical Engineering, Yonsei University, 2005.
3. KIM.Y.H. "The Effect of Interval Time of Batch Process on the Foaming Characteristics." M.S. Thesis in Mechanical Engineering, Yonsei University, 2008