

초미세 발포 Polycarbonate 의 확산 반사 Diffused Reflection of Micro-Cellular Foamed Polycarbonate

*서정환¹, 이경수¹, #차성운¹

*Jung-hwan Seo¹, K. S. Lee², #S.W. Cha (swcha@yonsei.ac.kr)³

¹ 연세대학교 기계공학과

Key words : Polycarbonate, Microcellular foaming, Diffused Reflectivity

1. 서론

초미세 발포(microcellular foamed plastics)는 화학 발포(chemical foamed plastics)와 비교하여 셀의 크기가 상대적으로 매우 작고 셀의 밀도가 매우 높다. 초미세 발포 플라스틱에서 셀의 크기는 0.1 μm 에서 10 μm 사이의 분포를 보이며, 셀의 밀도는 10^9 에서 10^{15} cells/cm³의 분포를 실험 조건에 따라 다르게 얻을 수 있다. 또한 발포율(specific density reductions)은 프로세스의 조건에 따라 약 5%에서 98%까지 다양하게 변화시킬 수 있다. 본 논문에서는 초미세 발포 플라스틱의 갖는 광학적 특성에 관한 연구 결과를 기술하였다. 특히 초미세 발포 셀을 통하여 빛의 확산 반사가 일어나는 현상에 대한 연구를 진행하였다. 초미세 발포 플라스틱에 빛이 입사하게 되면, 내부에 존재하는 셀에 의하여 빛이 반사하게 된다. 이는 일반적으로 확산 반사는 높은 표면조도(surface flatness)에 의해 유도되는 데에 비해 여기에서는 시편(specimen)의 내부에서 micro 셀을 통해 연속적으로 일어나게 된다.

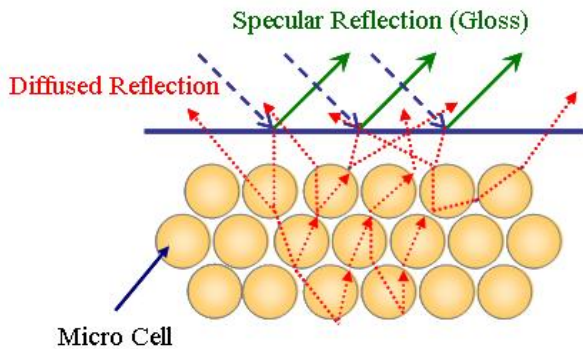


Fig. 1 Mechanism of diffused reflection by micro cell

Fig.1 은 초미세 발포 플라스틱에서 반사가 일어나는 메커니즘을 보여주고 있다. 초미세 발포 플라스틱 내부에 존재하는 micro cell의 내부는 blowing agent가 남아있지 않은 빈 공간이다. 시편에 입사된 빛은 셀을 통과하게 되는 데 이때 매질(medium)의 밀도에 변화가 생기게 되어, 빛이 확산 반사하게 된다. 입사된 빛은 셀과 폴리머(polymer)의 경계를 지나면서 일부는 반사되고, 나머지는 투과하게 된다. 투과된 빛은 또다른 셀에 의하여 위의 과정이 반복된다. 초미세 발포 플라스틱은 셀 밀도가 매우 높기 때문에 입사된 빛은 무수히 많은 매질의 경계(폴리머-셀 내부)를 거치게 된다.

2. 실험

마이크로 셀이 빛의 확산반사에 미치는 영향을 알아보기 위하여 셀의 크기 및 밀도 등을 변화시키면서 빛의 반사율이 변화하는 경향을 실험을 통해 정리하였다. 실험은 고압력 용기(High pressure vessel)를 이용한 배치 프로세스(Batch Process)를 선택하였으며, 재료는 광학 특성이 우수한 Polycarbonate가 이용되었다. 특히, 실험 과정에서는 desorption time의 개념을 적용하여 셀 모폴로지(morphology)

를 제어하는 방법을 사용하였다. 셀 모폴로지는 셀의 크기와 단위 면적당 셀의 개수 (unit area : 600 x 600 micron)로 대표된다. Saturation 공정과 foaming 공정이 끝나고 발포가 완료된 시편의 단면은 SEM을 통해 확인되었다.

Desorption time이란 saturation 공정이 끝난 후 발포 공정(Foaming process)으로 진행되는 사이의 시간을 의미한다. 이때 polymer 내부에 용해된 blowing agent가 공기 중으로 desorption이 일어나며, 이에 따라 고분자(polymer) 내부에 용해된 가스량은 줄어 들게 된다. Desorption time을 변화시킴으로써, 잔류 가스 분자의 양이 조절되며, 이에 따라 셀 모폴로지가 변화하게 된다.

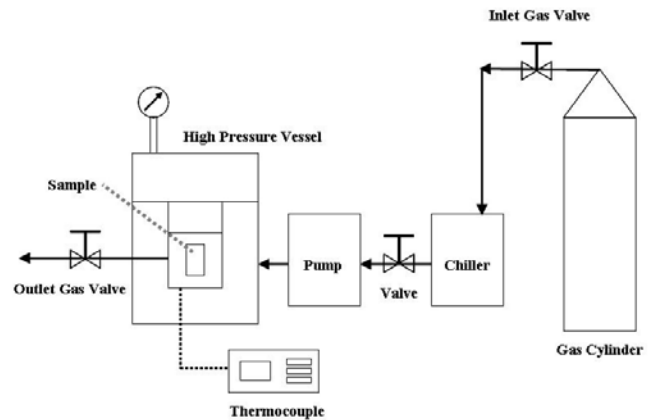


Fig. 2 Diagram of microcellular batch process

Fig.2는 microcellular batch process 일련의 공정을 나타낸다. Saturation process는 고압력 용기에서 진행되며 polymer 내부로 가스 분자를 용해시키는 공정이다. Blowing agent가 공급되면 이는 pump와 chiller를 거치면서 setting된 압력 조건으로 고압력 용기에 충전된다. 고압력 용기의 온도를 일정하게 유지하기 위해 thermocouple을 장착하였다. 이는 고압력 용기의 온도가 변화함에 따라 충전된(saturated) blowing agent의 압력이 변화하는 것을 막기 위한 것이다. 고압력 용기는 rubber O-ring으로 sealing을 한다. 압력이 유지되지 못하고 떨어지는 문제를 방지하기 위해 saturation process 중에 gas공급을 계속하였다. 실험에서는 이산화탄소가 blowing agent로 사용되었다.

셀 모폴로지를 변화시키기 위해 saturation pressure와 가스 잔류량을 변화시켰다. Sat.P는 50bar, 30bar, 10bar의 세 수준으로 하였다. Sat. time은 24시간, sat. temperature는 20 $^{\circ}\text{C}$ 로 동일하다. Desorption time을 변화시킴으로써 셀 모폴로지에 변화를 유도하였다. Desorption time은 saturation이 끝난 후 고압력 용기에서 시편을 꺼낸 후 경과되는 시간이다. 잔류 가스량은 시편을 고압력 용기에서 꺼내고 5분 후의 w.t. gain을 기준으로 하였다.

Fig. 3은 Sat. P가 낮아수록 desorption time이 길어지는 것을 보여주고 있다. 모든 압력 조건에서 폴리머에 용해된 가스의 desorption 속도는 가스 잔류량이 적어질수록 느려짐을 확인할 수 있다.

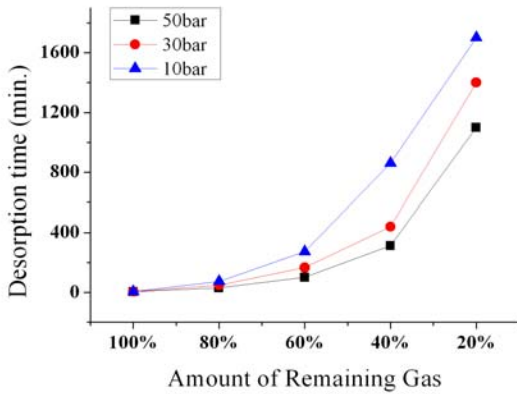


Fig. 3 Desorption time of each sat. P

Fig.4 과 Fig.5 는 각각 100℃, 120℃ 발포 온도 조건에서 각 시편의 발포율 변화를 나타내는 그래프이다. 발포율은 발포 전 밀도(d1)와 발포 후 밀도(d2)의 차이를 발포 전 밀도(d1)으로 나눈 값으로써, 발포 후 cell 이 차지하는 부피의 비율을 의미한다. 발포 전후의 밀도가 같으면 발포율은 0 이 된다.

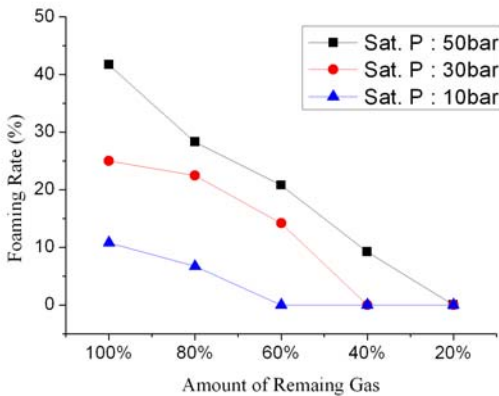


Fig. 4 Foaming rate of each samples (foaming temperature : 100℃)

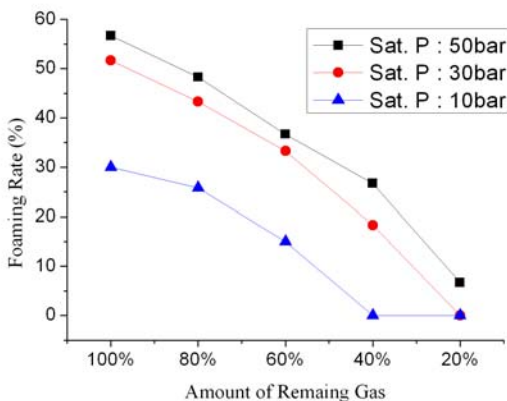


Fig. 5 Foaming rate of each samples (foaming temperature : 120℃)

3. 결과

Fig. 6 은 발포된 각 시편의 확산반사율(Diffused Reflectivity)을 나타낸다. 반사율은 기준 시편에 대한 상대 값이다. 기준 시편은 표면이 BaSO4 코팅된 금속이다. 기준 시편을 100 으로 놓고 이에 대한 상대 값을 나타낸 것이다. 300nm 에서 1000nm 까지의 파장에서 반사율이 측정된다.

이 가운데 가시광선 영역인 380nm~720nm 에서의 값이 반사율을 결정하는 주요 범위 이다. 특히 550nm 파장에서의 반사율을 대표 반사율로 한다. 이는 사람에게 가장 민감한 파장영역이 약 550nm 에서 형성되기 때문이다. 발포 전후 밀도가 1.20 으로 같은 시편은 발포하지 않은 시편과 비슷한 반사율 값을 나타내고 있다. 발포 되지 않은 PC의 반사율은 4.88%이다.

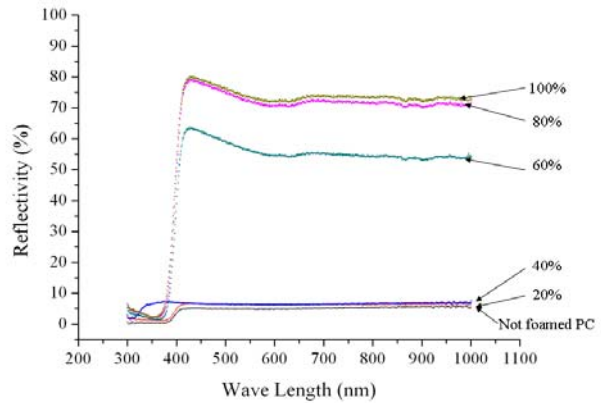


Fig. 6 Reflectivity of samples at sat.P=10bar, foaming T=120℃

4. 결론

실험을 통하여 다음과 같은 결론을 이끌어 낼 수 있다. micro cell 을 통하여 확산 반사가 일어나며, 발포율이 증가할수록 반사율이 증가하는 경향을 보인다. 특히 cell size 와 반사율 간의 관계는 모호하며, cell 포함량이 반사율과 직접적인 관계에 있다. 또한 가시광선 영역 파장에서는 반사율이 고르게 분포한다. desorption time 이 증가하여 가스 잔류량이 일정 수준 이하가 되면, 가스는 잔류하지만 발포가 진행되지 않아 발포 전후의 밀도가 같다. 이러한 시편은 반사율이 발포 전 PC의 반사율과 같다.

후기

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

참고문헌

1. M. Shimbo, D. F. Baldwin, and N. P. Suh, *Proc. ATEM'93 Conf. on Adv. Tech. Expl. Mech.*, JSME, 309 (1993)
2. 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
3. Matuana, L.M.; Park, C.B.; Balatinecz, J.J. The effect of low levels of plasticizer on the rheological and mechanical properties of polyvinyl chloride/newsprint-fiber composites. *J. Vinyl Additive Technol.* 1997,3 (4),265-273
4. S. W. Cha, N. P. Suh, D. F. Baldwin, and C. B. Park, U.S. Patent 5,158,986 (1992)
5. Martini, J.E., Waldman, F.A., and Suh, N.P., 1982, "The Production and Analysis of Microcellular Thermoplastic Foam," *Society of Plastic Engineers Technical Papers*, Vol. 28, pp. 674-676