

초미세발포체의 유전율 특성 연구

A Study on dielectric constant change in microcellular foam

*김영호¹, #차성운¹, 조수현¹

*Y. H. Kim¹, #S. W. Cha(swcha@yonsei.ac.kr)², S. H. Cho³

¹ 연세대학교 기계공학과

Key words : microcellular foam, dielectric constant

1. 서론

완제품의 중량감소, 사용 재료의 절감의 목적으로 사용되기 시작한 발포 기술은 이후 충격강도의 향상을 통한 포장용 충전재 및 완충재 등으로 활용 방안을 확대한 바 있다. 뒤이어 개발된 초미세 발포 공법/플라스틱(MCPs, Microcellular Foaming Process/Plastics)은 일반적인 발포 공법과 발포체가 태생적으로 가지는 문제인 기계적 강성 전반의 큰 손실을 만회하기 위한 대안으로 제시되었다. 발포를 통해 형성되는 재료 내 구조가 마이크론 단위(micron scale)의 작은 기공이 단위 체적 1cm³ 당 109 개 이상 분포하는 형태를 통해 재료의 강성이 저하되는 것을 억제하는 효과를 가져왔다. 발포를 하더라도 기계적 강성이 크게 저하되지 않는 특징을 부여한 것이 작은 기공이기 때문에 초미세발포체의 기공은 일반적인 발포체의 기공과는 차별화하여 셀(cell)이라고 부른다.

이후 초미세발포체의 셀 형상에 관한 연구가 지속되면서 셀의 작은 크기로 인해 나타나는 새로운 물리적 특성이 발견되기 시작했다. 대표적인 예로 광학적 특성을 들 수 있다. 빛이 셀의 구조체를 통과하면서 발생하는 반사와 산란이 특유의 확산 및 확산반사를 일으키는 점을 발견하여 이를 적용한 광학 시트 제품들이 이미 시판되고 있다. 일본의 후루가와전공에서 판매하는 MCPET 는 이미 해당 업계에서 최고의 성능으로 알려진 광반사시트 제품으로 초미세발포 공법을 적용한 대표적인 제품이다. 비단 일본 뿐 아니라 국내에서도 초미세 발포 공법을 적용하여 제품을 생산한 사례들이 있으며 적용하려는 움직임이 확대되고 있는 추세이다.

그러나 지금까지 확연하게 밝혀진 특성은 충격강도의 증가와 광학적 특성 정도가 전부이다. 아직 초미세발포체의 물리적 특성은 확인되지 않은 것이 더 많으며 이를 밝히기 위한 연구들이 수행 중에 있다. 주목을 받고 있는 특성 중의 하나가 전기적 유전 특성이다.

발포 플라스틱의 전기적 유전 특성을 이용하는 대표적인 사례로는 절연체로의 이용이 있다. 동축케이블의 경우 내측과 외측 도체 사이를 절연하는 용도로 폴리에틸렌(polyethylene) 발포체가 주로 사용되고 있으며 이에 대한 유전 특성에 대한 연구가 초미세발포와 관련하여 과거에 일부 수행된 바 있다. 그러나 선행 연구 결과는 제품에 적용하기 위한 목적으로 치우쳐 있어 단순한 성능 측정 수준에 그쳤다.

본 연구에서는 기존 연구에서 심화하여 범용 플라스틱 전반에 대해 초미세 발포 공법을 적용하고 그 유전율, 즉 유전 상수(dielectric constant)의 변화를 살펴보았다. 또한 유전율이 변화하는 양상과 그 원인에 대해 고찰했다.

2. 실험

초미세발포를 적용하는 재료로 PP, ABS, PET, PC 의 4 가지 재료를 선정했다. PP, ABS, PET 는 범용 플라스틱으로 분류되는 재료로 산업적으로 이용이 가장 많으며 또한 플라스틱 재료들 중 저렴한 축에 속하는 재료군이다. PC 는 엔지니어링 플라스틱으로 분류되기는 하나 범용 플라스틱과 비슷한 수준의 가격과 활용범위를 갖는 재료이다.

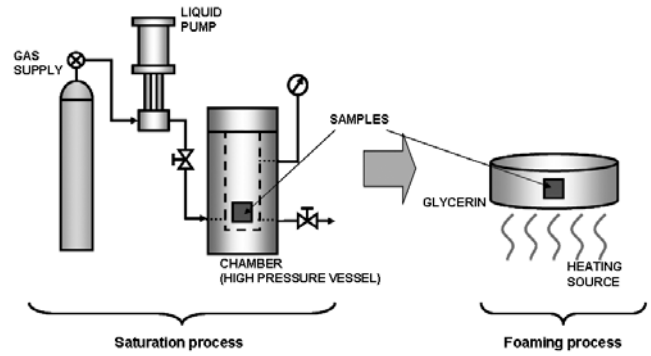


Fig. 1 Scheme of Batch Process

발포 공정은 일괄처리 공정(batch process)을 이용했다. 일괄처리 공정은 fig.1 에서 확인할 수 있듯이 포화 공정(saturation process)과 발포 공정(foaming process)의 두 공정을 묶어 수행하는 것으로 한 번 발포를 수행하는 데에 많은 시간이 소요되지만 실험 변수의 조작성이 용이하다는 장점이 있다. 실험 조건은 table 1 에 나타내었다. 포화 조건은 각 재료들에 대해 공통적으로 최대 용해량을 갖는 조건으로 설정하였다. 발포 온도 조건의 경우 사전 실험을 통해 가장 높은 유전율 값을 나타내는 발포 온도값으로 결정했다. 발포 온도는 최종적인 발포율에 영향을 주며 발포율과 비례하는 관계가 있지만 본 연구에서는 발포율의 최적값을 고려하지 않고 유전율 값에만 초점을 맞추어 실험의 조건을 설정하였다.

유전율은 복소유전율의 실수부로 나타나는 값을 측정하였다. 이 값은 유전상수로서 일반적으로 유전율을 대표하는 값으로 이용된다.

Table 1 Conditions of Batch Process

Saturation Conditions	
Blowing Agent	CO ₂
Saturation Pressure	5.5MPa
Saturation Temperature	25±3 °C
Saturation Time	24hrs
Foaming Conditions	
Foaming Media	Glycerin
Foaming Time	40sec.
Foaming Temperature	PC 80 °C
	PET 70 °C
	ABS 50 °C
	PP 100 °C

3. 결과 및 토의

Fig. 2~4의 각 재료별 결과를 보면 PC와 PET는 발포시 유전율이 감소하고, ABS와 PP는 증가함을 알 수 있다. 일반 발포를 생각할 때 발포를 통해 기공이 형성되면 기공 내부를 채우는 공기의 유전율이 재료의 유전율보다 낮기 때문에 전체적으로 유전율이 감소한다. 그러나 ABS와 PP의 경우 미발포시의 유전율 자체가 매우 작으므로 유전율이 증가할 수 있음을 생각할 수는 있다. 그런데 단순 산술적인 유추로도 증가한 유전율이 1을 넘기는 어렵지만 실제 결과값은 그보다 높은 수치가 나오고 있다.

유전율이 재료의 분극이 재료를 지나가는 자유 전자에 영향을 미치는 정도로 정의됨을 고려할 때, 초미세 발포를 통해 형성되는 셀 구조가 자유전자의 원활한 통과를 막는 것이 아닌가 생각된다. 다만 이러한 영향을 끼치기 위해서는 생성된 셀의 크기가 매우 미세하여야 할 것이며 이는 추후 확인이 필요한 부분이다.

4. 결론

플라스틱 재료의 초미세 발포체는 유전상수의 변화를 가져온다. 그러나 일반적 발포 공정과는 달리 유전상수가 반드시 감소하는 것은 아니며 오히려 큰 폭으로 상승하는 경우가 확인되었다. 이는 일반 발포와 다른 매우 작은 셀의 크기에 기인한 것으로 추측된다. 추후 이 원인에 대해 셀의 형상 및 초미세 발포체의 전기적 성질 전반을 밝히는 추가 연구가 기대되며 이를 기반으로 한 새로운 재료로서의 활용 방안도 생각해 볼 수 있을 것으로 보인다.

후기

본 연구는 지식경제부 ‘부품소재기술개발사업(10029715)’의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Cha, S.W. 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. Jeon, B.J., Kim, Y.H., Lee, K.S., Cha, S.W., Nam, G.J., Park, C.Y., Lee, G.J. "Parameter design of a coaxial cable insulation manufacturing process using axiomatic design and the Taguchi method," Polym. Plastics Tech. Eng. 2008, 47, 785-790.
3. Kim, Y. H., Jeon, B. J., Cha, S. W. Nam, G. J., Park, C. Y., Lee, G. J. "Relationships between Processing Parameters and the Foaming Performances of Polyethylene for Coaxial Cable Insulation," Polym. Plastics Tech. Eng. 2008, 47, 1283-1288.

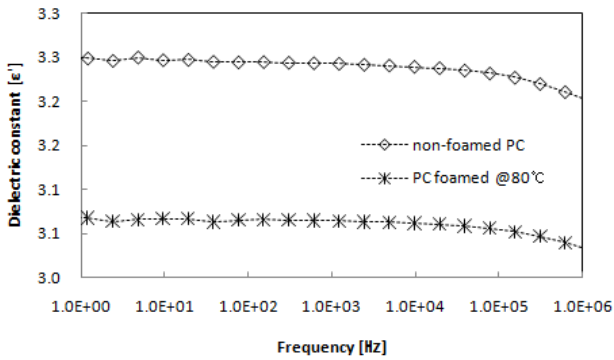


Fig. 2 Dielectric Constant of PC

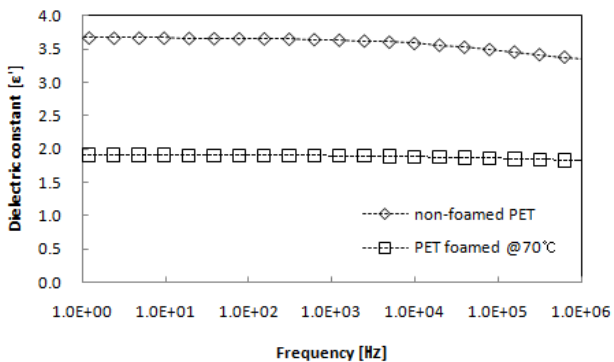


Fig. 3 Dielectric Constant of PET

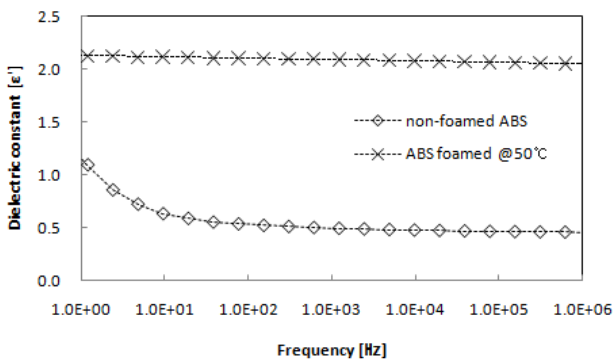


Fig. 3 Dielectric Constant of ABS

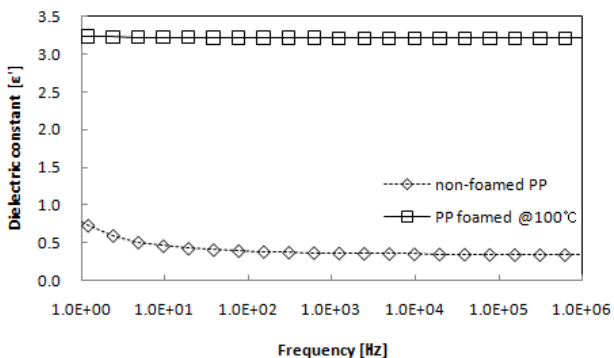


Fig. 3 Dielectric Constant of PP