

UHMWPE의 초미세발포 기초특성 연구

Microcellular Foaming Characteristics of UHMWPE

*김영호¹, #차성운¹, 조수현¹

*Y. H. Kim¹, #S. W. Cha(swcha@yonsei.ac.kr)¹, S. H. Cho¹

¹ 연세대학교 기계공학과

Key words : Ultra High Molecular Weight Polyethylene, Microcellular Foam

1. 서론

초미세 발포는 일반적인 발포 방법에 비해 기계적 물성이 거의 저하되지 않는다는 장점을 가진다. 초미세 발포체는 그 정의에 의해 내부에 직경 5~50micron 크기의 기공을 가지며 그 기공의 분포 밀도는 1cm³ 당 10⁹~10¹² 개가 된다. 미세한 크기의 기공이 다수 분포하기 때문에 중량이 감소하더라도 기계적인 물성이 크게 떨어지지 않는다. 내부에 기공이 형성되는 점은 일반 발포와 동일하기 때문에 충격 강도 증가, 열적, 전기적 절연 성능 증가, 차음 성능 향상 등의 특징 역시도 유지된다. 또한 기공의 크기로 인해 빛이 초미세 발포체를 지나는 경우, 반사 및 확산 등의 광학적 특성을 지니게 된다는 점도 선행 연구들을 통해 밝혀진 바 있으며 산업적인 이용도 이루어지고 있다.

그러나 이러한 장점들에도 불구하고 초미세 발포 공법이 일반 발포 공정을 완전히 대체하거나 산업계에서의 이용이 빠르게 확산되지는 않고 있다. 이는 현재까지 진행된 연구들이 주로 범용 플라스틱을 대상으로 한 연구에 머물렀거나 특정한 목적을 가지고 그 목적을 뒷받침하기 위한 검증 연구만이 이루어졌기 때문이다. 따라서 초미세 발포 공법의 이점을 보다 널리 활용하는 학문적 기반을 수립하기 위해서는 다양한 재료에 적용하고 이의 활용 가능성을 검토하는 다각적인 기초 연구가 필요하다.

일반적으로 범용 플라스틱이라고 칭하는 석유 화합물 기반 폴리머 재료들의 경우 주로 생필품이나 가전제품 등에 이용되며 이에 초미세 발포 공법을 적용하더라도 그로 인한 생산 단가 측면의 이익이 그다지 크지 않다는 점이 걸림돌로 작용한다. 따라서 이 공정을 이용할 때 보다 큰 파급효과가 기대되는 새로운 응용분야에의 활용을 고려해야 할 것이다.

UHMWPE(Ultra High Molecular Weight Polyethylene)는 분자량이 30x10⁵g/mol 이상인 초고분자량 폴리에틸렌을 말한다. 폴리에틸렌의 경우, 분자량이 증가함에 따라 충격강도, 내마모성, 열변형온도 등의 물성이 좋아지는 경향이 있다. UHMWPE는 특히 내마모성, 화학적 안정성, 전기적 절연성, 저온에서의 기계적 성능의 안정성 등을 이용하는 경우가 많다. 실제로 화학적 또는 전기적 안정성을 요하는 기계설비의 기어나 라이닝, 체인/벨트로 사용되고 있으며 냉장/냉동 기계나 동계 스포츠 용품의 재료로도 이용되고 있다. 이 밖에도 전지 격리판이나 인공관절이나 의료용 보철 등의 목적으로도 이용된다.

상기에 열거한 이용 분야는 대부분 내마모성을 기본적으로 이용한다는 특징을 가지고 있다. 특히 기계 설비의 부품으로 이용되는 경우, 내마모성과 동시에 마찰/마멸 등의 특성 역시도 고려되어야 한다. 초미세 발포체의 경우 형성되는 기공의 영향으로 마찰 특성이 개선된다는 결과가 보고된 바 있다. 또한 전지 격리판은 다공성 구조로 제작하여 이온의 이동을 돕도록 하는데 현재까지는 소결에 의한 국부적 용융을 통해 제작하는 방법을 취하고 있는데 이 공법의 경우 균일한 다공성 구조를 형성하기 어렵다. 이를 초미세 발포 공법으로 대체한다면 보다 고품질의 UHMWPE 가공품으로 제조 및 이용하는 전기를 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 1 Properties of UHMWPE(Hostalloy731)

Property	Unit	Hostalloy731
Density	g/cm ³	0.93
Vicat	℃	80
Melting point	℃	135
Use-temperature	℃	-250 80

2. 실험

실험에 사용한 재료는 Ticona社の Hostalloy731이라는 재료를 사용하였다. 본 실험과 관련한 해당 재료의 물성은 Table 1과 같다.

기본적으로 본 실험은 초미세발포의 일괄처리 공정을 이용하였다. 일괄처리 공정은 blowing agent로 이용되는 가스 분자를 재료 내부에 용해시키는 포화 공정과 가스 분자가 용해된 재료를 발포하는 발포 공정의 순차적 수행으로 이루어진다. 포화 공정의 경우 고압력 용기 내에서 재료의 내부와 외부의 가스 분자 밀도의 차이로 발생하는 확산을 통해 가스 분자의 용해가 이루어진다. 발포 공정은 재료에 가해진 압력을 제거하면서 온도를 높여 급격한 용해도의 저하를 일으켜 열역학적 불안정성을 통해 가스 분자가 기공을 형성하도록 한다.

본 실험의 포화 실험 조건과 발포 실험 조건을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Saturation condition

Saturation condition	
Blowing agent	Carbon dioxide
Saturation pressure	5.5MPa
Saturation temperature	23 ± 3 ℃
Saturation time	12hrs 24hrs 48hrs

Table 3 Foaming condition

Foaming condition	
Foaming media	Glycerin
Foaming time	> 30sec
Foaming temperature	90 ℃ 100 ℃ 110 ℃ 120 ℃

3. 결과 및 고찰

Fig.1 은 saturation time 별 용해량이다. 24 시간 포화공정을 수행한 것과 48 시간 수행했을 경우에 용해량의 큰 차이를 보이지 않았다. 포화 공정에서 완전 포화 용해에 가까워 질수록 그 용해량의 증가 속도는 점점 완만해짐을 고려할 때 24 시간이면 거의 완전 포화에 가까운 수준으로 가스 분자의 용해가 이루어졌음을 추측할 수 있다. 그러나 완전 포화가 이루어지기까지 얼마만큼의 시간이 걸리며 또한 그 용해도는 얼마인지 추가적인 확인 실험이 필요할 것으로 보인다.

Fig. 2 는 foaming temperature 에 따른 발포율의 변화를 나타낸 그래프이다. 앞선 용해도 실험 결과를 토대로 24 시간 포화 공정을 거친 후 발포 실험을 수행하였다. 발포 온도 90℃인 경우 발포가 거의 이루어지지 않았다. 120℃에서는 비교적 높은 발포율을 보이지만 실제 발포한 시편의 경우 부분적인 용융 현상이 일어나서 유효한 발포 시편을 얻기는 불가능했다. 적절한 발포 온도는 100~110℃의 범위라고 보여진다. 또한 유효하다고 보여지는 110℃에서의 발포율은 약 14%, 국부적 용융이 일어났을 경우에도 20%에 미치지 못하는 발포율을 보이는데 이는 범용 플라스틱의 발포율과 비교할 때 매우 발포가 어려움을 시사하고 있다.

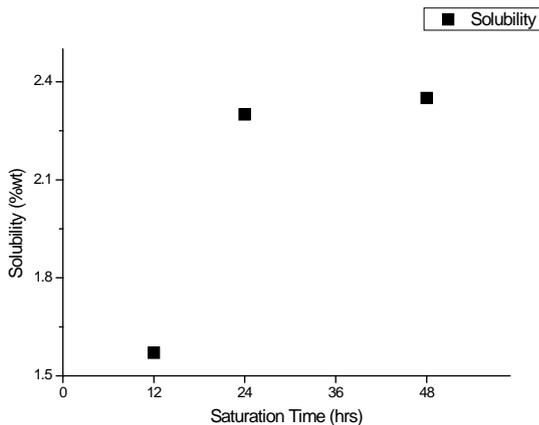


Fig. 1 Solubility of UHMWPE to carbon dioxide on saturation time

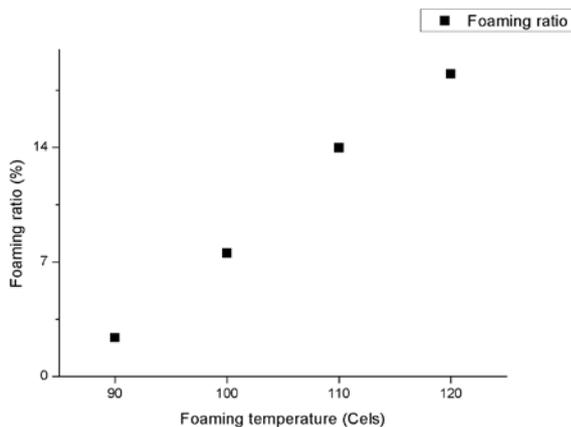


Fig. 2 Foaming ratio of UHMWPE

4. 결론

UHMWPE 의 기초적인 초미세 발포 특성을 일괄처리 공정을 이용한 실험을 통해 확인하였다. 무게비 2%를 조금 넘는 용해도와 20%에 조금 못 미치는 발포율을 얻을 수 있었다. 높은 분자량이 초미세 발포의 가장 중요한 특성인 용해도와 발포율에 부정적인 영향을 끼침을 확인할 수 있었다. 그러나 20% 정도의 발포율이 사출 공정 등 실제 제품 생산 과정에 적용될 수 있을 경우 그 나름의 산업적 파급 효과는 충분할 것으로 기대되며, 추후 발포율을 높이기 위한 방안에 대한 연구와 성형 공정에서의 적용 방안의 연구가 진행된다면 UHMWPE 기반 발포체의 활용을 더욱 가속화할 수 있을 것으로 보인다.

후기

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

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.