

# PLA(Poly Lactic acid)의 초미세 발포 특성 연구 Research On Microcellular Foaming Process For PLA(Poly Lactic acid)

\*한진우<sup>1</sup>, #차성운<sup>2</sup>, 이경수<sup>1</sup>, 서정환<sup>1</sup>  
\*J. W. Han<sup>1</sup>, #S.W. Cha<sup>2</sup>, K. S Lee<sup>1</sup>, J. W. Seo<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> 연세대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 연세대학교 기계공학부

Key words : Microcellular Foaming Process, Impact Strength, PLA(Poly Lactic Acid)

## 1. 서론

고분자 플라스틱 수지는 20세기 걸작 발명품중의 하나로 꼽힐 만큼 산업계에서는 물론 인류 생활 전반에 크게 기여해 왔다. 고분자 소재는 무기, 금속 소재에 비하면 강인성이나 탄성이 우수할 뿐만 아니라, 가볍다는 물성을 가지고 있어 타 재료에 비해 다양한 활용을 보여주고 있다. 플라스틱은 뛰어난 물성과 함께 값싸고 뛰어난 물성과 함께 가벼운 특성으로 인하여 천연소재의 한계와 제약으로부터 벗어날 수 있었고 플라스틱을 중심으로 다양한 고분자 물질이 개발되어왔다. 그러나 점차 심각해지는 플라스틱 폐기물에 의한 환경오염, 예를 들어 맹독성 다이옥신의 검출, 환경호르몬의 누출 등으로 인해 친환경 고분자 소재에 대한 사회적인 요구가 점차 강해지고 있을 뿐만 아니라 비분해성 플라스틱 사용에 대한 규제 기준도 점점 더 강화되고 있다.

1980년대 후반부터 생분해성 플라스틱이 등장하였는데 기본개념은 자연계에 거의 무한대로 존재하는 생물 유기자원(biomass)을 이용하여 생산이 이루어지고 사용 후에는 가수분해되어 다시 생물자원으로 이용됨으로써 플라스틱에 의한 환경문제를 상당 부분 해결한 제품이다. 하지만 이런 생분해 플라스틱 중에 가장 보편적으로 널리 쓰이고 있는 PLA(Poly Lactic Acid) 경우 기존 플라스틱에 비해 고가이고 기계적인 성질이 일반적으로 떨어지는 현상을 보이고 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 본 연구에서는 초미세 발포공법(Microcellular foaming process)을 이용한 발포 사출실험을 수행하였다.

초미세 발포 공법은 발포의 장점인 단열성능 향상, 방음 성능 향상, 재료비 절감 등에 대표적 기계적 물성인 충격강도, 인성 등을 좋아지게 하는 공법이다. 특히 충격강도가 좋아지기 때문에 PLA의 가장 큰 단점 중 하나인 취성을 완화시킬 수 있으며 또한 실험 조건에 따라 기포의 크기 및 개수를 조절할 수 있어 원하는 충격 강도를 도출해 낼 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 근래 생분해 수지로 가장 각광받고 있고 널리 사용되고 있는 PLA에 초미세 발포공정을 도입 함으로서 재료비의 절감뿐 아니라 재료의 유연성 보 관 및 기계적 강도 향상 즉 충격강도 향상으로 인한 취성저하에 목적을 두어 연구를 하였다.

## 2. 이론

### 2.1 초미세발포 플라스틱

초미세 발포공법(microcellular foaming process)은 만들어지는 기포의 크기가 마이크로미터( $\mu m$ )정도이기 때문에 초미세(micro-cell)라고 명명되었다.

발포기술은 현재에도 산업계에서 널리 사용되고 있는 기술이며 그 중에서도 화학 발포가 대표적이다. 화학발포에 의해 만들어지는 발포 제품은 내부에 기포를 가지고 있기 때문에 단열, 방음성능 등이 향상되며 재료비 절감을

가져온다. 그러나, 화학물질을 균일하게 분포시킬 수 없기 때문에 곳곳에 빈 공간이 생기게 되어 제품의 강도가 균일하지 않은 단점이 있다 또한 생성되는 기포의 크기가 1mm 정도이므로 충격강도 및 인성 등과 같은 기계적 물성의 저하가 제품 전체적으로 나타나게 된다. 이런 발포의 단점을 해결하기 위해 1979년에 초미세 발포 공법이 미국 MIT 대학에서 개발되었다. 초미세 발포 공법은 기존의 발포와는 달리, 발포 물질로 질소, 이산화탄소와 같은 비활성 가스를 사용하고 압력과 온도에 의해 영향을 받는 용해도 차이를 이용하여 열역학적 불안정 상태를 유발시켜 발포시키는 것이므로 전체에 균일한 크기의 수많은 기포를 갖는 제품을 생산할 수 있다.

초미세 발포 공법은 사출기의 계량시 고압의 가스를 주입하여 용융플라스틱으로 가스가 녹아 들게 함으로써 가스 와 플라스틱을 단일 Phase 상태로 만든 후 급형으로 주입하여 급형 내부에서 플라스틱에 녹아 들었던 가스가 발포되게 하는 공법이다.

초미세 발포 플라스틱은 플라스틱 내부의 셀을 얼마나 작고 고르게 분포시키느냐가 플라스틱의 강도를 결정하게 되는데, 셀의 작용으로 인해 일반 플라스틱보다 충격강도의 경우엔 최대 3~4 배까지도 높아진다는 연구결과가 발표된 바 있다. 그 밖에도 초미세 발포 플라스틱의 내부의 셀은 제품비 절감과 뛰어난 단열성능, 절연성능, 방음성능, 충격 흡수력, 플라스틱의 굴곡강도, 단열성, 소음 차단성 등을 높이는 역할을 한다.

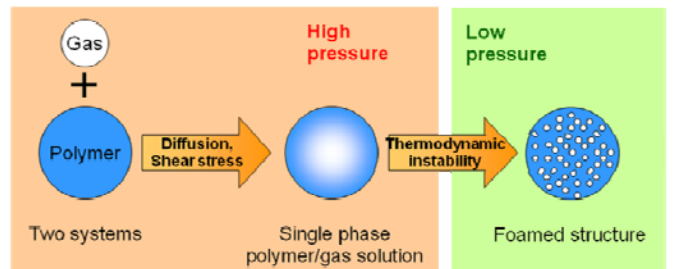


Fig. 1 Schematic diagram of the morphological change of polymer/gas systems in overall gas foaming process

### 2.2 생분해 플라스틱

생분해 플라스틱의 원료로 사용되는 합성 고분자에는 PCL[Poly(caprolactone)], PLA[Poly(lactic acid)], Diol/Diacid 계, PGA[(Poly(glycolic acid)], Polyorthoester 등 다양한 종류가 개발되었으나 일반 생분해성 플라스틱 포장재 또는 소모성 플라스틱 제품의 용도로는 PCL, PLA 등이 주로 사용되고 있다. 그 중 연구대상으로 선택한 PLA는 Lactic acid 또는 Lactide로 부터 화학적 촉매 또는 효소에 의해 합성된다. 용점이 약 120 $^{\circ}C$  이상으로 기존 비분해성 범용수지와 유사하고 경도가 우수한 장점이 있는 반면, Brittle한 성질이 단점이다. 특히 필름 물성에 취약한 면이 있으며, 전분과의 상용성이 미흡한 것도 단점이다

생분해성 생분해성 플라스틱이 등장했을 때 원가가 비싸고 용해온도와 강도가 낮은 등 기존의 플라스틱과 비교하여 시장성에서 문제가 있었으나 시간이 지나면서 가격이 일반 석유계 플라스틱과 대등해졌고, 물성 또한 많이 보완되고 있으나 아직 범용적인 EP에 비해서는 기계적인 물성이 많이 떨어지는 것은 사실이다.

### 3. 실험

#### 3.1 충격강도

본 실험에서는 PLA로 가장 많이 사용되고 있는 Ecole Green사의 PLA로 실험을 수행하였으며 다양한 플라스틱 제품에 대하여 초미세 발포연구가 진행 중에 있는데 아직 연구가 진행되지 않은 PLA에의 적용 및 기계적 강도를 높이고 그 특성을 파악하는데 의의를 두었다.

충격강도를 측정할 경우에는 Izod(ASTM D256) 또는 Charpy 충격시험이 사용된다. 본 실험에서 사용한 Izod 방식은 다음과 같다. Izod 시험기는 시편을 깨뜨리는 스윙 진자 방식의 해머를 갖고 있으면 시편을 파단 하는데 필요한 충격강도는 시편의 단위 두께당 흡수되는 에너지로 한다. 스윙 진자의 해머를 일정 위치로 이동시킨 다음 해머를 놓아 진자가 운동을 하도록 만들어 준다. 진자운동을 하는 해머가 시편에 부딪히면 해머의 초기 위치에너지가 시편에 흡수된다 초기 위치에너지가 충격 흡수에너지보다 크면 해머가 시편을 파단 시키고 어느 위치까지 다시 올라가게 되고 충격 흡수에너지보다 작으면 시편을 파단 시키지 못하고 그곳에 정지하게 된다. 이때의 충격 흡수에너지를 충격 강도라고 하며 이 값을 측정한다.

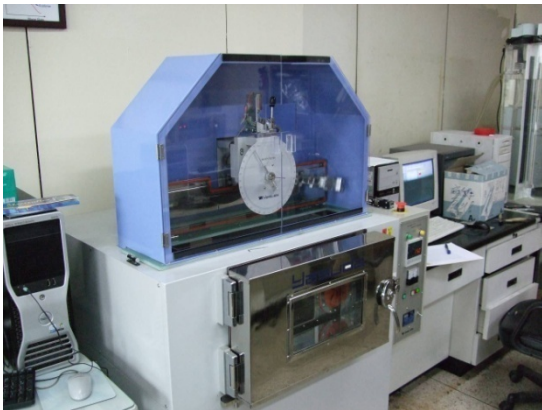


Fig. 2 Picture of Impact strength Machine

#### 3.2 충격강도 측정

밀도계를 이용하여 발포율을 측정 하였고 그에 따른 상관관계를 도출 하여 보았다. Solid 상태의 밀도는 1.4 를 나타냈고 강도는 34.5(J/m)로 측정되었다. 반면에 초미세 발포 공법으로 제작한 시편의 경우 발포율이 10%인 경우 45(J/m) 15%인 경우 61(J/m)로 측정 되었다.

Table 1 Comparison of measured roughness data

Foaming(%)	Non Foamed	10	15
Impact strength(J/m)	34.5	45	61

앞의 실험 결과에서 보는 바와 같이 초미세 발포로 발포를 하지 않은 것과 발포율을 조절하며 10%와 15% 각각의 충격 강도를 측정 한 결과를 그래프로 그려보면 다음과 같다. 발포율이 증가 할수록 충격강도 값이 커지는 것을 확인 할 수 있으며 광학현미경으로 확인한 결과 크고 작은 cell 들이 충격 시 충격량을 흡수 했을 것이라 예상되며 인

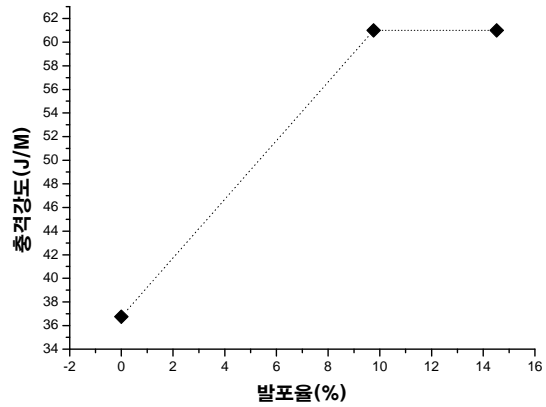


Fig. 3 Impact strength plot of foaming ratio

장강도 및 굴곡강도와 비교 Test 도 병행 실험이 필요함을 확인 할 수 있었다. 아래 그림은 광학현미경으로 촬영한 단면 사진이다.

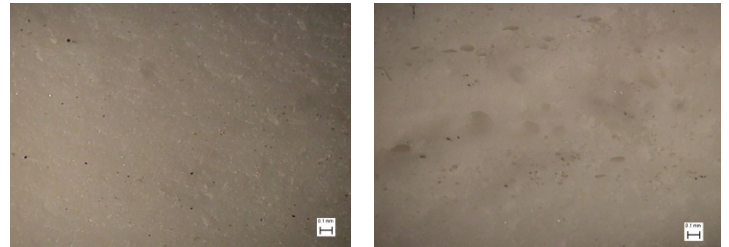


Fig. 4 Optical microscope image of a Non foamed and foamed sample

### 4. 결론

생분해성 플라스틱 소재는 기존 범용수지에 비하여 일반적으로 제품의 기능과 가격경쟁력이 낮은 수준이다. 생산자 입장에서는 생분해성 수지가 기존의 수지에 비해 원가 상승요인이 존재하므로 시장에서의 가격경쟁력이 기존 플라스틱에 비해 불리하고 또한 일반적으로 물성측면에서도 불리하다. 이번 연구를 통해서 친 환경 소재로 각광받고 있는 PLA의 최대 단점인 낮은 충격강도를 보완 및 플라스틱 제품 중에서 가장 많은 부분을 차지하는 원가절감을 위해 초미세 발포공법을 이용하여 기존의 단점을 보완하고자 하였다. 위의 결과에서 발포율이 진행될수록 기포가 조밀하고 일정한 크기로 성장했을 때 기포의 충격흡수로 인해 충격강도는 증가하고 밀도에 영향이 많은 인장강도는 발포율이 증가할수록 줄어들음을 볼 수 있다. 또한 최적의 발포율 및 기포크기가 존재함을 확인 할 수 있었고 또한 앞으로 이루어져야 할 과제이다.

#### 후기

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

#### 참고문헌

1. Rizwan Zafar., Cha, S.W. A Study on characteristics of Short glass fiber reinforced Injection Molded parts Using Microcellular Foaming Process. M.S Thesis, Department of Mechanical Engineering, Yonsei university July(2008)
2. 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.
3. B. J. Jeon, Y. H .Kim, K.S. Lee, S.W CHA, Parameter Design of a Coaxial Cable Insulation Manufacturing Process Using Axiomatic Design and the Taguchi Method. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 47:785-790,2008