

가스-펠릿 초미세 발포 사출 플라스틱 특성 연구

차성운*, 서정환#

A Study on the Relation between Cell morphology and Saturation condition in Gas-pellets MCPs

S. W. Cha *, Jung-hwan Seo #

ABSTRACT

In microcellular injection molding, gas supply system is needed. But, that device is very expensive to attach to the injection molding machines. So, new method is needed and gas-pellets MCPs is one of the solutions. In gas-pellets MCPs, there will be strange characteristics. In this paper, some characteristics are described on the view point of saturation pressure and saturation time.

Key Words : cell morphology (셀 형상), gas-pellets MCPs (pellets 을 이용한 초미세 발포 플라스틱), sat. pressure (포화압력), sat. time(포화시간)

1. 서 론

MCPs 란 Micro-Cellular Plastics 의 약자로 이는 글자 그대로 해석하면, 미세한 기포를 갖는 플라스틱이라는 뜻이다. 이 MCPs Process 는 기존의 발포 기술이 단일 성능, 비절연성(dielectric constant) 등이 우수하여 현재 널리 사용되고는 있으나 기계적 물성이 많이 저하되기 때문에 구조물과 같이 힘을 요하는 곳에는 단독으로 사용될 수 없고, 또한 부피에 대한 제품의 무게가 감소하는 단점을 해결하기 위해서 1980 년대 초 미국 MIT 에서 개발된 발포 플라스틱 제조공정이다.¹

그 동안 이 새로운 Process 를 일반적인 플라스틱 성형 기술인 압출, 사출성형 등에 적용하기 위하여 많은 연구가 진행되어져 왔다. 특히 MCPs 사

출성형 프로세스는 불활성 가스에 압력과 열을 가함으로써 초임계 상태로 만들고, 이를 사출 성형기의 실린더에 분사하여 플라스틱과 가스를 혼합 시킴으로써 하나의 상(One-Phase)인 용액(Solution)을 만든다. 이를 금형에 사출하면 가스가 팽창하면서 성형품 내부에 5~50 μm 정도의 기포들이 고르게 형성된다. 이러한 미세 기포 구조의 발포 플라스틱 성형품은 일반 발포 플라스틱 성형품보다 밀도가 낮고, 상대적으로 높은 기계적 강도를 갖는다.²

이와 같이 MCPs 는 제품의 성능뿐만 아니라 발포공정을 통해 재료의 사용량을 줄이기 때문에 매우 높은 기술 경쟁력을 가지고 있다. MCPs 은 높은 기술 경쟁력을 가지고 있음에도 불구하고, 아직 많은 관련 업체들에게 큰 신뢰를 주지 못하

* 접수일: 2005 년 1 월 4 일; 게재승인일: 2005 년 10 월 7 일

* 연세대학교 기계공학과

교신저자: 연세대학교 기계공학과

E-mail fhake@yonsei.ac.kr Tel. (02) 2123-4811

고 있는 실정이다. 이는 MCPs 에 대한 불신이라고 보다는 MCPs 기술의 도입에 따른 막대한 비용에 대한 불신이다. 만약 MCPs 기술의 적용을 위하여 초기 투자자본(기존 사출기의 개조 및 새로운 시스템 도입 등에 의한 비용 등)을 줄인다면, 산업체의 MCPs 기술 적용 가능성은 좀 더 커질 것이다. 그러한 제반 기술에 필요한 것이 바로 gas-pellets MCPs 기술이며, 그 기술 적용에 선행되어야 할 가장 중요한 연구 중 하나인 셀 형성 및 분포에 대하여 본 실험에서 진행 하였다.

MCPs 기술의 연속공정(continuous process) 적용이 일괄처리공정(batch process)과 비교해 보았을 때 가장 큰 차이점은 기포의 불균일성의 문제이다. 즉, 상대적으로 연속공정에 있어서의 MCPs 가 기포의 크기 및 배열의 측면에 있어서 보다 불균일성을 보인다. 이는 연속공정에 의한 MCPs 가 일괄처리공정에 의한 MCPs 보다 기계적 물성 등에 약점을 보임을 의미한다.³

이는 기체의 확산에 의해 발생하는 고분자-기체 혼합물 형성과정에서 연속공정이 일괄처리공정보다 비 균일한 단일상의 혼합물을 만들기 때문이다. 연속공정은 공정의 특성상 짧은 시간 내에 고분자-기체 혼합물을 생성해야 하므로 기체가 충분히 확산할 수 있는 시간적 여유가 없으므로 이런 문제가 발생하는 것이다. 따라서 연속공정에서 보다 균일한 고분자-기체 혼합물이 생성될 수 있는 방법에 대한 모색은 셀 Morphology 의 향상을 가져올 수 있다.

2. 이 론

2.1 Gas-pellets MCPs 사출

Pellets 에 gas 분자가 침투하는 원리는 기본적으로 diffusion 이다. Fig.1 에서 보는 것과 같이 Gas 분자가 pellets 내에 침투한 후 온도가 높아지게 되면 급격한 팽창에 의하여 cell 이 형성되게 된다.

Micro Cellular Plastics 를 생산하기 위해서는 Injection Molding 시 별도의 gas 공급 장치가 필요하다. 이는 일반 사출기의 배럴 부분에 gas 공급장치를 연결하여 Polymer 가 배럴 내에서 녹을 때 gas 가 공급되어 용융된 polymer 와 gas 가 섞인 후 사출이 되는 원리이다.⁵ 그러나 gas 공급 장치의 설치 및 유지가 쉽지 않기 때문에 현재 발포 사출이 보편화 될 수 없었다.

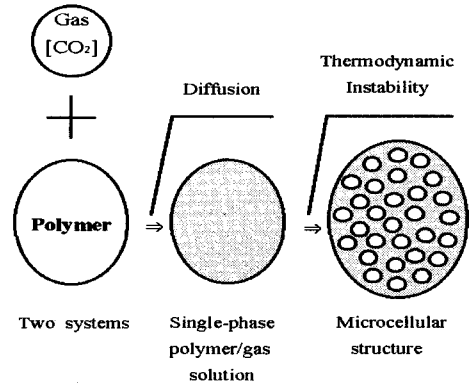


Fig. 1 Change of Cell morphology in gas-polymer system

이를 개선하기 위한 방안이 Gas-pellets MCPs 이다. 이 방법을 이용하게 되면 사출기에 별도의 gas 공급 장치의 설치가 불필요하게 된다. Gas-pellets MCPs 방법을 사용할 때에 필요한 기초 데이터의 확보를 위하여 본 연구가 진행되었다. 본 연구에서는 크게 고압용기부와 사출부의 두 part 로 나누어 각 조건을 변화시켜가며 데이터 확보를 하였다. 실험에서 가장 중요하게 여겨지는 실험 인자는 gas 충전 압력과 gas 충전 시간으로 하였으며, 실험 시 두 인자 이외의 조건은 동일하게 맞추어 cell 형상의 변화를 조사하였다. 본 실험에서 특히 중요한 fixed factor 는 gas weight gain 이다.

본 연구의 구체적인 목적은 같은 weight gain 조건 하에서, saturation pressure 와 saturation time 중 어떠한 인자가 지배적인 인자 인가를 밝혀내는 것이다. 이를 바탕으로 gas-pellets MCPs 에서 Cell 형상의 향상에 기여 할 수 있는 최적의 조건을 찾아 내며, cell 의 크기와 분포에 대한 지배 인자를 찾아내는 것이다.

2.2 Saturation Condition

일반적으로 gas 충전 시간과 충전 압력에 비례하여 cell 밀도가 커지고 cell 크기가 작아진다.⁶ 그러나 gas pellets MCPs 에 있어서 무조건 적인 weight gain 증가는 cell morphology 를 안 좋게 하는 원인이 될 수 있다. 궁극적인 목적은 가장 이상적인 saturation time 과 pressure 조건을 찾는 것이며, 우선 pressure 와 time 중 어떤 것이 더 지배적인

인자인가에 대한 답을 얻기 위하여 연구가 진행되었다.

3. 실험

3.1 High Pressure Vessel

Gas 충전 조건에 따른 cell 형상의 변화를 알아보기 위하여 Pellets 에 gas 분자가 침투하는 원리는 기본적으로 diffusion 이다. Gas 분자가 pellets 내에 침투한 후 온도가 높아지게 되면 급격한 팽창에 의하여 cell 이 형성되게 된다. 고압력 용기 내부에서 gas 가 polymer 로 침투하는 조건에 따라 cell 의 형상이 많이 달라지게 되는데, 고압력 용기 내부 조건은 크게 포화 압력과 포화 시간의 두 조건으로 볼 수 있다. 같은 weight gain 만큼의 gas 가 polymer 에 충전 되었을 때, cell 의 형상에 지배적인 인자는 sat. 압력과 시간 중 어떠한 것이 되는가에 대한 실험을 진행하였다. 아래의 Fig.2 는 실험 장치의 개략도를 나타낸 것이며, 크게 고압력 용기와 가스 공급으로 나뉘어 진다.

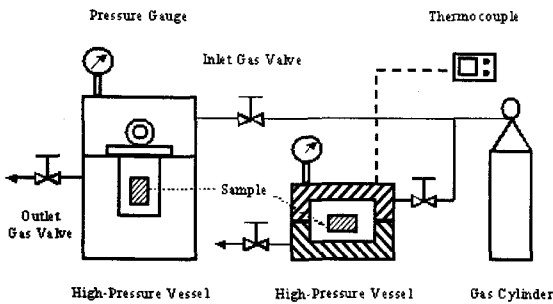


Fig. 2 Schematic of batch process

본 실험에서 사용된 gas 는 CO₂ 이고, 고압력 용기의 온도를 조절하여 gas state 동일하게 맞추는 후 실험을 진행하였다. 크게 gas state 와 super critical state 의 두 조건으로 실험을 진행하였다. CO₂ 는 1000 psi 에서 32 °C 이상인 상태에서 super critical state 가 되며, 3000psi 에서는 온도에 따라 state 가 변화하게 된다. 즉, 32 °C 이상이 되면 초임계상태이고, 그 이하의 온도 영역에서는 가스상태가 된다.

따라서, 고압력 용기의 온도를 45°C 로 설정하여 두 조건 모두 super critical state 로 맞추었다.

3.2 Super critical state

아래의 Table 1 은 blowing agent 가 초임계상태일 때의 실험 조건을 정리한 것이다.

Table 1 Condition of high pressure vessel on super critical state

Resin	PP	PP
Sat. Pressure	3000psi	1000psi
Sat. Time	2 hour	10 hour
Sat. Temperature	45 °C	45 °C
Weight 1	376.0g	359.5g
Weight 2	390.4g	372.8g
Weight gain(%)	3.81	3.67
Density	0.86	0.81

일반적으로 CO₂ 인 경우 압력 1000psi 일 때, 약 31.3°C 이상에서 super-critical state 가 된다. CO₂ 의 상태가 실험 결과에 영향이 있을 가능성을 배제하기 위하여 두 조건 모두 초임계 상태를 유지하고 온도에 의한 영향 역시 배제 하기 위하여 비교적 높은 온도인 45°C 조건에서 실험이 진행되었다.

수지는 PP 를 동일하게 사용 하였다. 고압력 용기 내의 온도는 45°C 로 일정하며, 압력은 위의 Table 1 에서 제시한 것과 같이 각각 1000psi, 3000psi 로 설정하였다. 또한 saturation time 은 1000psi 일 때 10 시간으로, 3000psi 일 때 2 시간으로 설정하였다. sat. time 은 3000psi 일 때 2 시간으로 잡은 것을 기준으로 하여 1000psi 조건에서는 10 시간 이상으로 하여 gas 가 pellets 에서 빠져나가는 양을 고려하여 3000psi 조건과 w.t. gain 을 동일하게 하였다. 이 과정에서 1000psi 로 gas 를 충전한 조건에서 약간의 시간을 두어 gas 가 빠져나가는 양을 조절하여 3000psi 조건과 w.t. gain(%) 을 맞추었다. 이 때에 weight gain 은 각각 3.67 w.t.%, 3.81 w.t.% 가 되었다.

아래에서 제시되는 시편의 단면 사진은 시편의 서로 다른 두 위치에서의 단면을 보이고 있다. 다른 위치의 두가지 단면을 제시한 것은 단면의 위치에 따라 발포 패턴이 다른 수 있기 때문에 시편의 중앙 부분과 끝단 부분의 두가지 단면을 확인하였다. 아래의 Fig.3, Fig.4, Fig.5, Fig.6 에서 위에 있는 것이 시편의 중앙 부분 단면이고 아래쪽의 그림은 끝단 부분의 단면이다.

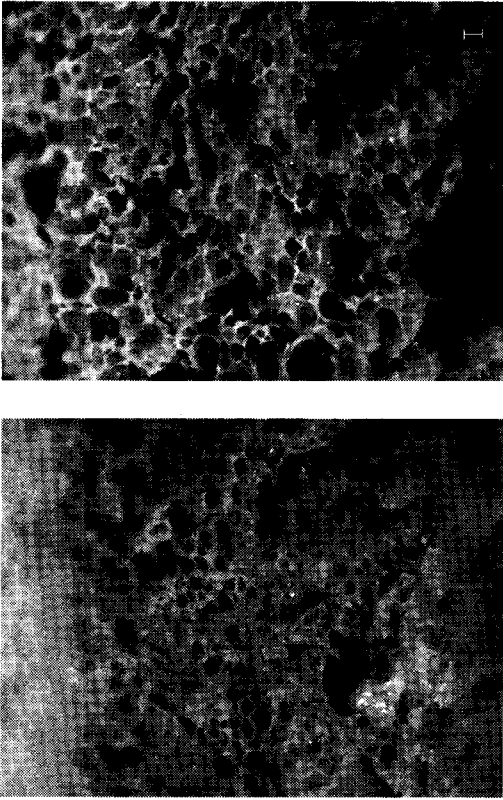


Fig. 3 Cell morphology on condition of 3000psi / 2 hour super critical state

위의 Fig. 3 은 blowing agent 의 state 가 초임계상태이고 상대적으로 압력이 높게 시편에 충전이 된 발포 시편의 서로 다른 위치에서의 단면이다. 셀의 형상이 비교적 균일한 것을 보이고 있으며 크기는 약 30 micron 에서 최대 100 micron 이하를 보이고 있다.

다음의 Fig.4 는 blowing agent 가 초임계상태로 주입이 되었으나 상대적으로 압력이 낮은 상태로 가스 충전을 시행한 발포 시편의 단면이다. Fig.3 과 비교해 보았을 때 셀의 밀도가 매우 떨어지며 셀의 크기는 대부분 100micron 이상인 형상을 보이고 있다. 특히 시편의 일부분에서만 셀이 형성이 되고 있으며, 이에 따라 발포 배율이 매우 떨어지는 것을 볼 수 있다.

고압력 용기에서 gas 충전 후에 약 3 분의 불가피한 time-delay 이후 사출을 시작 하였다. 사출 후

시편을 획득하여 밀도 측정 결과 solid 사출 시편 (실험에서 사용한 PP 수지 solid 사출물의 density 는 1.04 이다.)과 비교하였을 때 대략 20% 발포 된 것을 확인 할 수 있다. 그러나 두 조건 하에서 100 배 확대한 현미경 사진을 비교해 보면 cell 의 형상에 많은 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

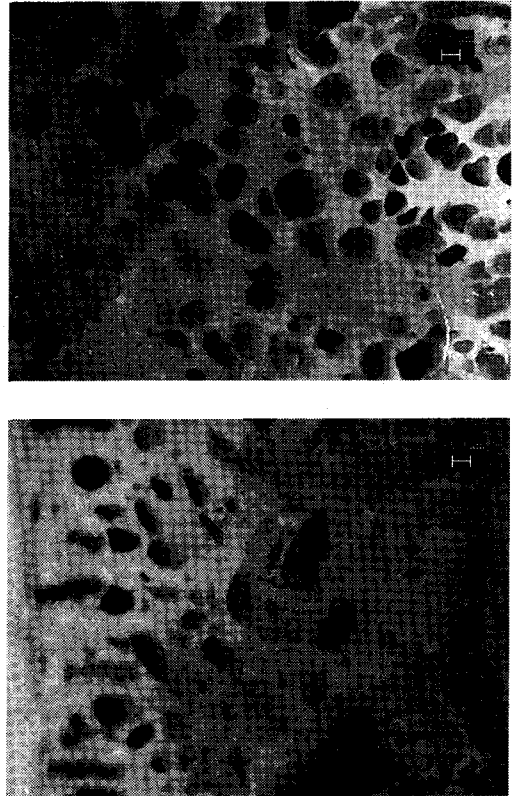


Fig. 4 Cell morphology on condition of 1000psi/10 hour super critical state

3.3 Gas state

아래의 Table 2 는 blowing agent 가 기체상태일 때의 실험 조건을 정리한 것이다. 앞서 3.2 절에 제시한 실험 결과에서 보는 것과 같이 가스 상태의 blowing agent 에서도 Super critical state 조건과 마찬가지로 높은 sat. 압력이 긴 sat. time 보다 cell morphology 가 좋은 것으로 나타나고 있다. 즉, 셀의 개수가 많고 크기가 작으며 보다 균일한 분포를 보이고 있다.

Table 2 Condition of high pressure vessel on gas state

Resin	PP	PP
Sat. Pressure	1000psi	500psi
Sat. Time	3hour	15 hour
Sat. Temperature	15 °C	15 °C
Weight 1	343.5	359.5g
Weight 2	353.8g	372.8g
Weight gain(%)	3.01	3.11
Density	0.86	0.89

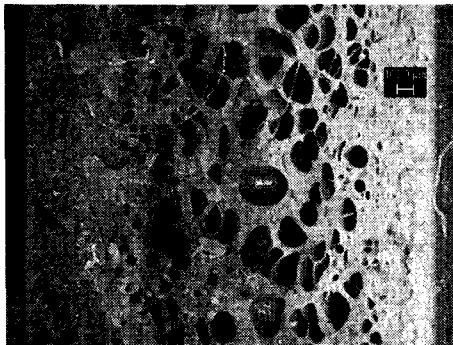
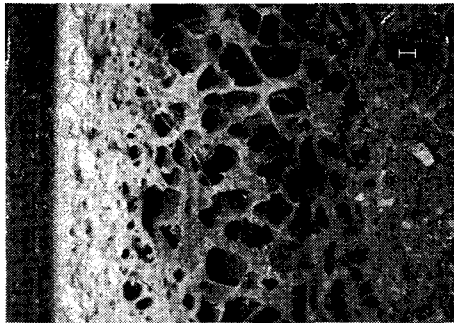


Fig. 5 Cell morphology on condition of 1000psi / 3 hour gas state

위의 Fig. 5 는 blowing agent 의 state 가 가스 상태 이고 상대적으로 압력이 높게 시편에 충전이 된 발포 시편의 서로 다른 위치에서의 단면이다. 초임계상태의 blowing agent 를 이용하여 가스를 충전하고 발포한 시편의 셀 형상과 매우 다른 형상을 보이고 있다. 시편의 두께 방향으로 셀 크기의 차이가 발생하고 있으며 셀의 크기가 100micron 내외로 형성되고 있다.

다음의 Fig.6 은 blowing agent 가 가스상태로 주입이 되고 압력을 낮추고 포화시간을 길게 하여 가스 충전 후 발포한 시편의 단면이다. 셀의 밀도가 떨어지는 것은 셀사이에 있는 폴리머 벽의 두께를 비교했을 때 다른 시편보다 매우 두꺼운 것을 확인 할 수 있으며 실제로 발포율이 낮은 것을 확인 할 수 있다. 또한 셀의 형상이 Fig.6 의 두 사진을 비교해 보았을 때 시편의 위치에 따라 차이가 많은 것을 확인 할 수 있었다. 즉, Fig.6 의 아래사진과 같이 셀 병합이 매우 심하게 일어나 셀 분포가 균일하지 못하였고, 위와 아래 사진에서 확인할 수 있듯이 시편 전체에서 고른 발포가 일어나지 못했음을 확인 할 수 있다.

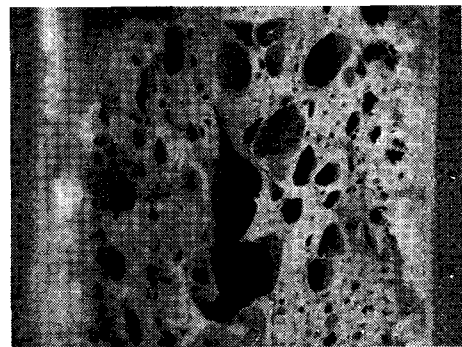
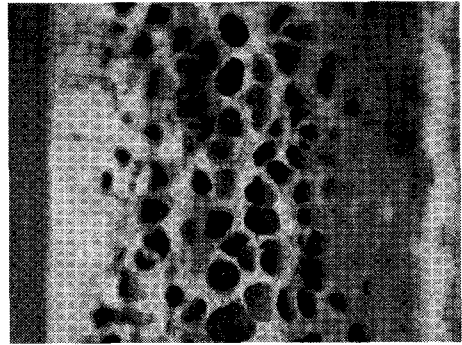


Fig. 6 Cell morphology on condition of 500psi / 15 hour gas state

4. 결론

Gas-Pellets MCPs 에 있어서 고압 용기의 sat. pressure 및 sat. time 의 조건에 따라 cell 형상에 많은 차이가 있음을 보이고 있다. 같은 w.t. gain 조건 하에서 높은 sat. pressure, 짧은 sat. time 조건에서 낮은 sat. pressure, 긴 sat. time 의 조건에서 보다 작고 고른 cell 형상을 보이고 있다. Cell size 에 있어서는 cell diameter 가 약 3 배 정도 작게 나오고 있으며, cell 의 분포에 있어서도 보다 조밀한 분포를 보이고 있다.

지금까지 gas-pellets MCPs 의 saturation 조건에 대한 연구가 많지 않았으며, 일반 MCPs 연구에서도 saturation 조건에 따라 cell 형상이 달라질 수 있다는 연구 결과가 없었다. 같은 w.t. gain 조건에서는 sat. pressure 와 sat. time 조건과 관계없이 같은 cell 형상이 나타나는 것으로 알려져 있었다. 일반 MCPs 에서 본 연구와 같은 실험은 진행하기에 어려움이 있다. 일반 MCPs 에서는 cell size 가 10 μ m 내외 이기 때문에 본 연구와 같은 결과를 확인하기 어렵다. Gas-pellets MCPs 에서 최적 saturation 조건은 비교적 높은 압력으로 짧은 시간 동안 gas 를 충전하는 조건에서 보다 작은 cell size 와 고른 cell 분포를 얻을 수 있다고 할 수 있다.

본 실험의 결과를 종합하여 보면, gas pellets MCPs 에 있어서 sat. time 보다 sat. pressure 가 cell 형상의 향상에 더욱 지배적인 인자이며, sat. pressure 와 sat. time 에는 최적화된 값이 존재 한다는 것이다. 본 실험을 통하여 가스 주입 방법이 셀 형상에 영향을 줄 수 있다는 것을 확인 할 수 있다. 똑같은 양의 blowing agent 를 주입했다 하더라도 셀 형상은 고압으로 충전된 시편에서 보다 밀도가 높고 셀의 크기가 작은 형상을 보이고 있다. 이는 초임계상태일 때와 가스 상태일 때 모두에서 확인이 되고 있다. 즉, 같은 w.t. gain 을 갖는다하더라도 셀 형상은 blowing agent 의 state 와 압력의 영향을 받게 되며 초임계 상태이며 압력이 높을 때에 셀 밀도가 높고 셀 크기가 작아지게 된다.

후 기

본 연구는 학술진흥재단에서 지원한 ‘선도 연구자지원 사업’ (과제번호 2003-2-1361)의 도움으로 진행 하였습니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Cha, S.W., "New Process for forming a Three-dimensional Polymer product and foaming microcells at ambient temperature," S.M. Thesis in Mechanical Engineering, M.I.T.1994.
2. Park, C.B. and Suh, N.P., "Rapid Polymer/Gas Solution Formation for Continuous Processing of Microcellular Plastics," ASME Transactions, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 118, No. 4, pp. 639-645, 1996.
3. Laurent, M. Matuana, Park, C.B., Johmn, J. Balatinecz, "Effect of cell Morphology on the Properties of microcellular foamed PVC/WOOD-FIBER composites," ASME, MD_Vol. 76, 1996.
4. Kumar, V., "Process Synthesis for Manufacturing microcellular Thermoplastic parts: A case Study in Axiomatic Design," PH. D. Thesis in Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1988.
5. Cha, S.W., Lee, S.J., Yoon, J.D., "General Trend of Microcellular Foaming Process," 2nd Korea-Australia Workshop on Manufacturing Technology pp.131-136, 1999.
6. Jeing, D.J., "Weight change of Microcellular Plastics by Using nitrogen Gas," J. of the KSPE, Vol. 17, No. 9, pp. 196-201, 2000.
7. Yoon, J.D., "Effects of Previous History on Diffusivity and Solubility of Gas in the Polymer Matrix," J. of the KSPE, Vol.17, No. 3, pp. 108-113, 2000.
8. Jeong, D.J., "Design for Microcellular Plastics using Axiomatic Approach," J. of the KSPE, Vol. 18, No. 1, pp. 195-200, 2001.