

범퍼용 수지의 gas용해도 및 물성 측정

이정주*(연세대학교 기계공학부), 차성운(연세대학교 기계공학부), 이경수(연세대학교 대학원 기계공학과)

Measurement of Gas Solubility and Mechanical Property for Bumper Polymer

J. J. Lee(Mech. Eng. Dept., YSU), S. W. Cha(Mech. Eng. Dept., YSU), K. S. Lee(Mech. Eng. Dept., YSU)

ABSTRACT

Today, the industries use polymer material for many purpose. Specially, it is important in automobile industry because the costs of polymer hold high proportion of the overall cost. If we reduce the weight of automobile, fuel efficiency of car is raised and cost of bumper is lower. Therefore there are many efforts to reduce of car currently. The purpose of this paper is to reduce polymer used in car bumper.

Key Words : Bumper, Change of property of matter, Microcellular plastics(초미세 발포 플라스틱), MCPs, Safety Rate(안전율)

1. 서론

현재 자동차 업계는 연비절약과 환경오염 문제로 고민을 하고 있다. 석유자원의 고갈과 여러 가지 요인으로 인한 석유가격 상승으로 인해 우리나라 뿐만 아니라 북미, 유럽을 중심으로 자동차의 환경 오염에 대한 규제가 날로 강화되고 있으며 이런 추세에 따라 자동차 경량화는 자동차 개발에 있어서 가장 중요한 개발목표가 되었다. 자동차 경량화의 중요성이 범세계적으로 부각되면서 자동차 부품의 교체, 즉 신소재의 개발로 연구의 방향이 맞추어지고 있다. 자동차 부품의 개발은 부품 및 완성차의 국제 경쟁력 강화에 커다란 역할을 담당할 것이다.

자동차 경량화를 이루기 위한 신소재로 초미세 발포플라스틱(Microcellular Plastics)이 있다. MCPs(Microcellular Plastics)기술은 수지에 가스를 용해시켜 이를 발포시킴으로써 기존의 물성을 유지한 채 재료를 절감하는 효과가 있다. 일반적으로 차량중량이 10%정도 가벼워지면 연비효율은 7~10%정도 개선된다. MCPs기술을 자동차 범퍼에 적용하기 위해서는 범퍼의 물성 측정을 하여야 하며, 시뮬레이션을 통해 경량화된 범퍼시스템의 타당성

을 검증 받아야 한다. 이런 일련의 과정을 수행하기 위해서는 자동차 범퍼 수지의 가스 용해도를 알아야 하며, 그에 따른 물성치 데이터가 필요하다.

본 논문은 자동차 범퍼로 사용되는 수지의 가스 용해도를 측정하고, 발포시킨 시편의 물성치를 실험적으로 알아냄으로서 MCPs기술을 적용한 범퍼의 타당성 여부를 논할 것이다.

2. 이론적 배경

2.1 초미세 발포 공법

초미세 발포공법은 고온·고압에서 고분자 재료에 가스를 용해시킨 후 이를 발포시키는 공법이다. 초미세 발포를 하는 과정은 아래와 같다.

먼저 플라스틱과 같은 고분자 재료에 고온·고압에서 가스를 용해시킨다. 이후 급격한 열역학적 불안정을 유발시켜 용해된 가스가 핵생성을 하도록 하는 것이다. 열역학적인 불안정은 가스의 용해도가 낮아짐으로서 발생하는데, 가스의 온도가 높아지고 압력이 낮아질 때 일어난다. 그렇기 때문에 초미세 발포를 하기 위해서는 압력을 낮추고 온도를 높여서 용해도를 급격히 낮추어야 한다. 이 과정 이후에는 핵생성 된 기포를 성장시키는 단계를 거쳐야 한다.

가스가 플라스틱에 용해된 이후에는 고분자의 유리전이온도가 낮아지게 되는데 이때 용해되어 있던 가스가 기포 속으로 쉽게 확산되어 기포가 성장하게 되는 것이다. 이런 원리에 의해 만들어진 초미세 발포플라스틱은 재료 내부에 $10\mu\text{m}$ 이하의 기포를 가지게 된다(Fig. 1). 특히, 초미세 발포플라스틱은 일반 플라스틱과 기존의 발포플라스틱의 장점을 극대화하여 기계적 물성인 인성과 충격강도까지 향상되었고, 미소기포에 의한 무게감량의 효과까지 있다.

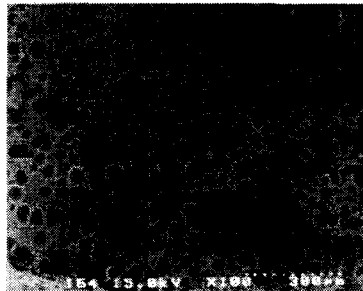


Fig. 1 Scanning SEM of MCPs

3. 실험

3.1 실험방법

고분자 재료를 자동차 범퍼로 사용하기 위해서 요구되는 몇 가지 요건들이 있다. 그 중에서도 자동차의 경량화와 안전을 향상에 초점을 맞추어 굴곡강도, 인장강도에 대한 실험을 하였다.

3.2 기계적 강도를 측정하기 위한 시편 제작

플라스틱 원재료 성형 후의 기계적 강도를 측정하기 위한 플라스틱 시편 제작을 해야 한다. 초미세 발포 플라스틱을 만드는 방법으로는 사출, 압출, 일괄처리공정(batch process) 등이 알려져 있다.

3.2.1 Batch Process를 이용한 MCPs 시편 제작

본 실험은 일괄처리공정(batch process)를 이용하여 MCPs 시편을 만들었다. 일괄처리공정이란 일반 사출에 의한 시편 제작 후, 고압력 용기 내에서 일정 온도와 일정 시간을 가스와 반응시키는 공정을 말한다. 이 발포공법은 작업 변수를 정확하게 제어할 수 있고 실험이 간단하기 때문에 초미세 발포의 연구에 널리 이용되고 있다. 일괄처리공정에 사용된 고압력 용기는 Fig. 2와 같다. Fig. 2와 같은 고압력 용기에 미리 제작된 일반 시편을 투입하고 가스 공급장치를 이용하여 고압력 용기에 가스를 주입하는 방식으로 MCPs 시편을 제작하였다.

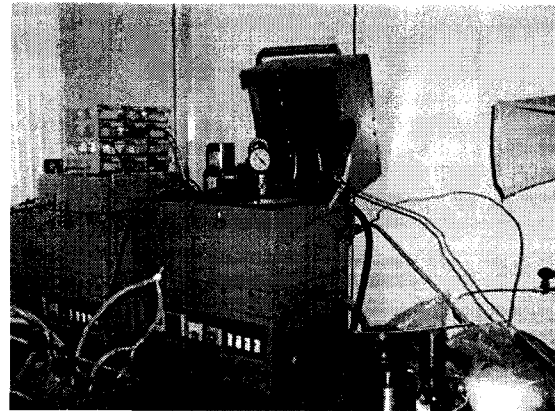


Fig. 2 High-pressure vessel

이 실험은 현재 자동차 범퍼에 사용되고 있는 HR930A 수지로 제작된 시편을 가지고 진행되었다. 이때 시편은 사출성형 후의 물성치에 대한 측정을 고려하여 ASTM 표준 규격에 기술된 시편 형상에 의한 일반 사출을 통해 이루어졌다.

3.2.2 실험 설계

본 연구를 통해 가스 용해도에 따른 발포율의 변화를 구하고, 발포율에 따른 물성 변화를 실험적으로 알아내려고 한다. 범퍼용 수지의 가스 용해도에 따른 발포율을 알아보기 위해서는 일괄처리공정에서 한가지 이상의 요인(factor)을 변화시키며 가스의 용해도를 제어하고 용해된 시편을 발포시킨 후 부피 변화를 구해야 한다.

가스의 용해도를 제어하는 방법에는 포화압력을 변화시키는 방법, 포화온도를 변화시키는 방법, 포화시간을 변화시키는 방법이 있는데 이 실험은 포화시간을 변화시키는 방법으로 용해도를 제어하였다. 포화온도 20°C , 포화압력 900PSI 하에서 CO_2 가스를 사용하여 실험을 하였고, 수지는 PP와 EPDM의 혼합수지인 HR930A를 사용하였다. 또한 발포 온도 및 발포 시간을 $70\text{--}75^{\circ}\text{C}$ 그리고 5분으로 고정시켰다. 이는 실험의 편리성을 위한 것으로 많은 요인을 변화시킬 경우 그 요인들로 인한 실험결과 혼돈을 막기 위함이다.

이 실험에서 가스의 용해도는 0%에서 5%로 변화시키면서 발포율 및 물성 변화를 측정하였다. 위에서 언급하였듯이 가스의 용해도는 포화시간(saturation time)을 변화시키면서 제어하였다. 이를 위해 먼저 가스의 주입시간에 따른 용해도 곡선을 실험적으로 찾아보았다. 또한 가스 용해도에 따른 시편의 발포율을 계산함으로써 가스의 포화시간에 따른 용해도와 발포율에 대한 데이터를 얻을 수

있었다. 이 때, 발포율은 일반 시편의 너비, 두께, 길이의 곱에 대한 MCPs 시편의 너비, 두께, 길이의 곱의 비로 구하였다. 또한 성형조건에 따른 굴곡강도 및 인장강도를 테스트함으로써 발포율에 따른 물성을 구하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 3은 가스의 용해시간에 따른 가스의 용해도를 나타낸 그래프이다. 이를 통해 원하는 가스의 용해도를 용해시간을 변화시킴으로써 제어할 수 있었다. 실험결과를 보면, 용해시간이 증가할수록 용해도 역시 증가함을 알 수 있다. 이 그래프에서 용해시간을 12시간 이상으로 실험을 할 경우, 인장시편 용해도의 증가량이 미미해짐을 알 수 있다. 이는 주어진 압력, 주어진 온도에서 HR930A 시편의 CO₂ 최대 용해도가 5%를 조금 넘는 수준임을 알 수 있다.

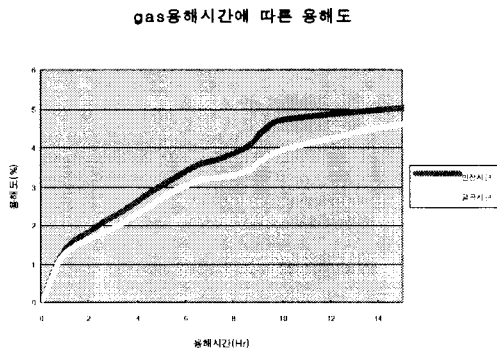


Fig. 3 Gas solubility at saturation time

Fig. 4는 가스 용해도에 따른 시편의 발포율의 변화를 나타낸 그래프이다. 이 실험 결과들을 토대로 가스의 포화시간을 조절하여 원하는 발포율을 조절할 수 있게 된다. 또한 초미세 발포 플라스틱의 예측된 용해도에 의한 물성을 예측할 수 있게 되고 이를 토대로 자동차 범퍼로서의 적합성 여부를 판단할 수 있다.

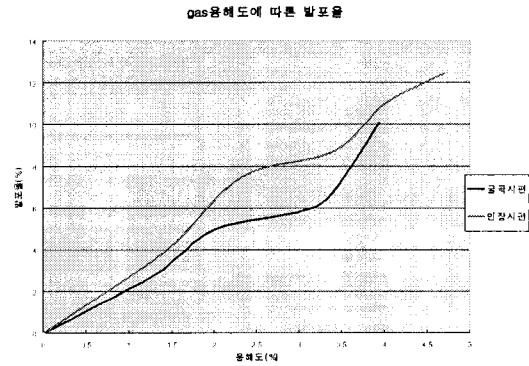


Fig. 4 Forming rate at gas solubility

Fig 3, 4에서 보듯이 굴곡시편 및 인장시편의 가스 용해도에 따른 발포율의 경우 그 경향성이 비슷함을 알 수 있고, 인장시편이 전체적으로 굴곡시편에 비해 용해도가 높아 발포율 역시 높음을 알 수 있다. 같은 시간에 대해 굴곡시편의 용해도가 인장시편의 용해도에 비해 낮은 이유는 굴곡시편의 두께(4mm)가 인장시편의 두께(3mm)보다 두껍기 때문이다. 두께가 다른 시편에 같은 양의 가스를 용해시키기 위해서는 시편의 두께의 제곱에 비례하는 시간이 필요하다는 기존 연구결과가 이를 뒷받침해준다.

실험에 의한 대략적인 데이터는 다음과 같다.

- 1 시간 용해시 : 용해도- 1.67%, 발포율- 3.12%
- 6 시간 용해시 : 용해도- 3.50%, 발포율- 7.93%
- 10시간 용해시 : 용해도- 4.85%, 발포율-12.77%

또한 발포율에 따른 인장강도 및 굴곡강도 테스트 결과는 Fig. 5와 같았다. Fig. 5에서 인장강도 실험 결과를 보면, 일반 HR930A 수지의 인장강도가 17MPa이었는데 약 12.5%발포시 15.3MPa로 10%정도 떨어졌음을 확인할 수 있다. 이는 수지를 12.5% 결감하고도 자동차 범퍼가 요구하는 인장강도(약 15MPa)를 만족시킬 수 있다는 것을 보여준다. 굴곡강도의 경우, 미발포 시편이 25.3MPa의 강도를 가졌는데 약 6% 발포시 23.3MPa로 8.5%감소, 10% 발포시 22.5MPa로 12%정도 감소했음을 알 수 있다. 인장강도보다는 발포율에 따른 강도 변화가 컸지만 이 역시 큰 변화폭은 아님을 알 수 있다.

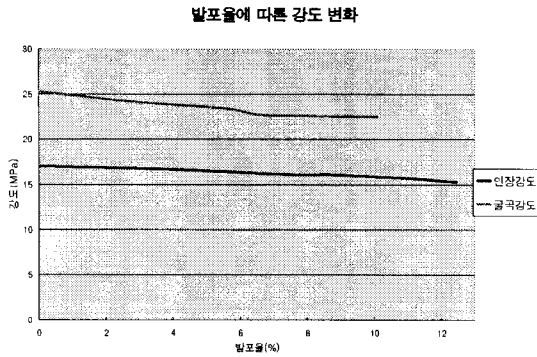


Fig. 5 Strength change at Forming rate

5. 결론

자동차의 경량화와 안전을 향상과 관련된 위 실험에서 MCPs 시편은 비교적 우수한 기계적 강도를 나타내었다. 재료 절감을 위해 너무 많은 발포를 할 경우, 기계적 강도가 떨어져 자동차의 안전에 문제가 생기므로 자동차 범퍼로 사용 할 수 없다. 그러나 범퍼의 안전 기준을 만족시키는 범위 내에서 초미세 발포 플라스틱을 이용하여 범퍼를 만든다면 재료 절감과 함께 자동차의 안전율도 만족시키게 된다.

이 논문에서 다루지 않은 다른 자동차 범퍼용 수지의 경우에도 이와 같은 연구가 진행되어야 한다. 수지마다 성질이 틀리므로 안전율에 있어서 이 실험에서 사용한 시편보다 더 좋은 결과를 내는 수지가 있을 것이기 때문이다. 또한 MCPs 기술을 실제 범퍼에 적용하기 위해서는 기계적 강도 테스트뿐만 아니라, 도색관련 테스트나 재생 플라스틱을 사용하였을 경우 안전율에 관련한 연구가 진행되어야 한다.

참고문헌

1. 김진현, 김형일, 송해영, 김현철, 이기윤, “폴리프로필렌/폴리아미드 블렌드의 결정화 거동 및 물성에 대한 상용화의 영향” 폴리머, 제20권, 제5호, pp.791-797, 1996
2. 황윤동, 차성운, “발포 배율의 향상을 위한 금형 시스템의 공리적 설계” 대한기계학회 논문집 A권, 제 25권, 제4호, pp.637-644, 2001
3. 황윤동, 차성운, “초미세 발포 플라스틱의 유리전이온도를 변화시키는 가스 용해량의 영향” 대한기계학회 논문집 A권, 제25권, 제5호, pp.816-822, 2001

4. 윤재동, “가스의 용해량에 따른 고분자의 유리전이온도 및 점도” 연세대학교 대학원 기계공학과 석사학위논문, 1999
5. 윤재동, 차성운, 김한중, “초미세 발포 공정이 폴리프로필렌의 충격 강도에 미치는 영향” 대한기계학회 추계학술대회 논문집 a권, pp.1084-1088, 1999
6. 이서봉, “발포체의 생성원리와 응용” 폴리머, 제10권, 제5호, pp.504-514, 1986
7. 김성철, “고분자공학 I” 회중당, 1994
8. “LG 생산기술”, LG 생산기술원, 제4권, 제1호, pp.17-18, 2001
9. Phil jung jeong "Hardness change of microcellular Foamed elastomer by using experimental design and Development of vibration isolation" pp.35-54, 2000