

초미세 발포 플라스틱의 음향특성 연구

차성운*, 김학빈#, 이병희**, 강연준***

A Study on Acoustical Characteristics in Microcellular Foaming Plastics

Sung Woon Cha*, Hak Bin Kim#, Byoung Hee Lee** and Yon Jun Kang***

ABSTRACT

Microcellular foaming plastics create a sensation at polymer industrial for lowering product costs and overcoming a lowering of mechanical intensity. Among many advantages, microcellular foaming plastics is well known to have a good acoustical properties. This research based on the experiment of sound absorption and transmission characteristics inquire into acoustical properties of microcellular foaming plastics. Difference of transmission loss of microcellular foaming plastics and solid materials was defined as cell effect. Also, cell effect is expressed by sound reflection and sound absorption. This study is expected to fundamental research to present economical, functional alternative plan for products using sound absorption and transmission materials.

Key Words : Microcellular foaming plastics (초미세발포 플라스틱), Sound transmission loss (음향투과손실), Sound reflection (음향반사), Sound absorption (음향흡수), Cell size (셀 크기), Foaming Rate(발포율)

기호설명

- ρ = Density
- c = Sound speed
- θ = Incidence angle
- ρ_s = Surface density
- T = Sound transmission rate
- α = Sound absorption rate
- R = Sound reflection rate
- P = Sound pressure
- k = Wave number

1. 서론

고분자 재료는 금속이나 세라믹 재료에 비해 단기간에 발전해서 현대 사회에 널리 이용되는 재료가 되었고, 그 발전 속도도 기하급수적으로 증가하고 있다. 최근 제품의 경량화 요구에 따라 고분자 재료에 대한 발포기술이 개발되게 되었고, 그 결과 제품의 경량화 이외에도 발포 제품의 내부 기포 형성으로 인한 원재료비의 절감, 단열효과 등의 부수적인 장점을 얻게 되었다. 그러나 일반적인 발포 기술은 기포가 고분자 재료 내에 균일하게 분포하는 것이 아니기 때문에 부분적으로

접수일: 2007 년 11 월 20 일; 게재승인일: 2008 년 5 월 26 일
 * 연세대학교 기계공학과
 # 교신저자: 연세대학교 기계공학과
 E-mail: viny0142@yonsei.ac.kr Tel. (02) 2123-4811
 ** 삼성전자 정보통신총괄 무선사업부
 *** 서울대학교 기계공학과

취약한 부분을 만들게 되었고, 그 결과 충격강도, 인장 강도와 같은 기계적 강도가 저하되는 단점을 가져오게 되었다.¹

이와 같은 단점을 극복하기 위해 개발된 초미세 발포 기술은 기포의 직경크기가 10 μm 이하인 작은 셀이 재료 내부에 고르게 분포되도록 하여, 기존의 발포재료보다 나은 기계적 특성을 유지하도록 하였다. 그 결과, 초미세 발포 기술은 제품의 재료비를 절감하는 효과뿐만 아니라 기존의 발포 기술에 비하여 충격강도와 인성의 향상을 가져오게 되었다. 이런 초미세 발포 플라스틱의 특성을 이용하여 현재 국내의 자동차 업체의 범퍼 및 내장재료의 사용되기 시작하였고, 다른 산업의 다각적인 분야에 이용될 예정이다. 초미세발포 제품은 앞으로 자동차 분야 이외에도 플라스틱 제품이 사용되는 여러 산업분야로 그 수요가 높아지고 있기 때문에 초미세 발포 플라스틱의 다른 물성적 특성에 대한 연구 또한 다각적으로 이루어져야 한다.²

본 논문에서는 초미세 발포 플라스틱의 음향특성에 관한 연구를 진행하였다. 현대 사회가 고도로 발달하면서 인간의 주변 환경에 대한 부분이 중요한 이슈로 떠오르고 있고, 그 중 소음에 관한 부분이 중대하게 고려되고 있다.³ 자동차 및 가전, 핸드폰 등 소음과 밀접한 제품의 내외장재의 음향특성은 매우 중요하게 다뤄져야 하는 부분이고, 이 내외장재로 사용이 증가되는 초미세 발포 플라스틱의 음향 특성 연구는 필수적이라고 할 수 있다.⁴

본 논문에서는 초미세발포 플라스틱의 발포 시간에 따른 발포율 및 두께 변화를 통해 면밀도를 고정하여, 그 결과 셀에 의한 흡차음 특성을 분석해 보았다. 이 연구를 통해 흡차음재를 사용하는 제품에, 보다 경제적이며 실용적인 대안을 제시하는 기초적인 연구가 될 것으로 기대한다.

2. 이론

2.1 면밀도

면밀도란 재료의 음향 투과 손실과 연관된 값으로 밀도와 재료의 두께의 곱으로 표현되고 단위는 kg/m²이다. Fig. 1 처럼 면밀도는 두께의 곱에 의해 생성되는 값으로, 면밀도는 밀도가 증가하고 두께가 증가할 경우 증가한다.⁵

일반적인 고체 플라스틱의 음향 투과 손실은 다음의 면밀도에 의해 지배 받아서 음향 투과 손

실 값을 계산함에 있어 면밀도를 비교함으로써 그 재료의 음향 투과 손실을 따질 수 있다.

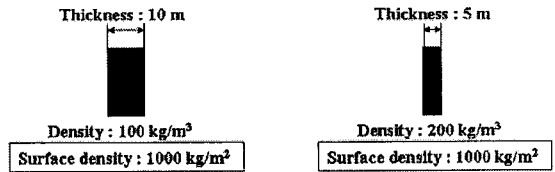
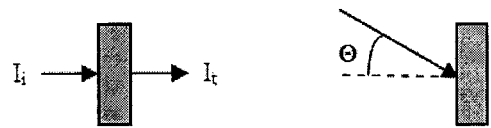


Fig. 1 Surface density

2.2 면밀도와 음향투과손실과의 관계

일반적인 음향투과손실은 재료에 대한 입사음과 반사음 그리고 투과음의 비를 이용한 투과율로 그 값을 결정한다. 이는 Fig. 2로 간략화 할 수 있다.



(a) Normal incidence (b) Obliquely incidence

Fig. 2 Sound incidence

Fig 2 에서 음은 수직입사와 랜덤입사 2 가지 형태로 이루어져 있음을 알 수 있다. 본 실험은 재료의 일반적인 흡음, 차음에 관한 실험으로 수직입사의 특성에 관한 것이다.⁶

$$T = \frac{I_t}{I_i} \tag{1}$$

$$T(\theta) = \frac{1}{1 + a^2 \cos^2 \theta} \tag{2}$$

$$a = \pi f \rho_s / \rho_0 c \tag{3}$$

$$TL = -10 \log T_\theta = 10 \log [1 + (a \cdot \cos \theta)^2] \tag{4}$$

$$TL = -10 \log T_0 = 10 \log [1 + a^2] \tag{5}$$

$$TL = 20 \log(\rho_s \cdot f) - 42 \quad (6)$$

위의 식 (1)에서처럼, 투과율은 입사 음압과 투과 음압의 비로 이루어져 있으며, 식 (2)에서처럼 입사각에 의해 변화한다. 이는 식 (3)처럼 면밀도와 관련된 식으로 변환할 수 있다. 본 실험은 수직 입사에 관한 것이므로, 최종적인 음향투과손실(TL)은 식 (6)에서 보는 바와 같이 면밀도(ρ_s)와 주파수(f)에 관한 식으로 정리된다. 일반적인 재료는 재료의 고유 진동수 이상에서 면밀도가 2 배일 때, 음향투과손실 값이 6dB 증가하는 Mass low 규칙을 가지고 있다.⁷

2.3 흡음률 측정

실험에 사용되는 임피던스 튜브(Impedance tube)는 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 재료의 음향 임피던스 및 수직입사 흡음률을 측정하기 위한 관으로서, 관의 끝단에 시편을 부착하여 다른 단에 음을 가하면 관 내에 정재파 음장이 생성된다. 두 지점에서 음압을 측정하면 시편으로 입사하는 음과 반사하는 음을 분해할 수 있으므로 시료의 음향 임피던스와 흡음률을 계산할 수 있다. 순음을 가하여 주파수별로 측정하는 것은 시간이 많이 걸리므로 광대역 음원을 사용하여 신호처리를 함으로서 여러 주파수를 동시에 측정하는 것이 편리하다. 음장도 두 개의 마이크로폰을 사용하여 동시 측정법과 기존 음원과의 전달함수를 두 지점에서 각각 구하여 처리할 수 있는 방법이 있다.

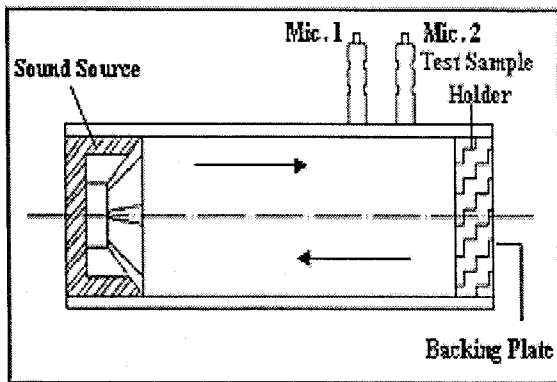


Fig. 3 Impedance Tube (Sound Absorption Rate Measurement)

관의 직경에 의하여 측정 가능한 주파수 범위와 결정되는데, 저주파 측정용은 100 mm의 관이 사용되고 고주파의 경우에는 10 mm의 관이 사용된다.

2.4 투과율 측정

시편의 투과율 측정방법은 임피던스 튜브법의 확장으로서 그 이론은 앞서 말한 흡음률 이론과 유사하다. 단, 투과율을 측정하기 위해서는 관을 추가하여 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 2 개의 관에 4 개의 마이크로폰이 시료에 입사하는 음과 반사하는 음, 그리고 투과하는 음을 분해하여 시편의 투과율을 계산한다. 본 실험은 흡음률과 마찬가지로 저주파 측정용은 100 mm의 관이 사용되고 고주파의 경우에는 10 mm의 관을 이용하여 투과율을 측정한다.⁸

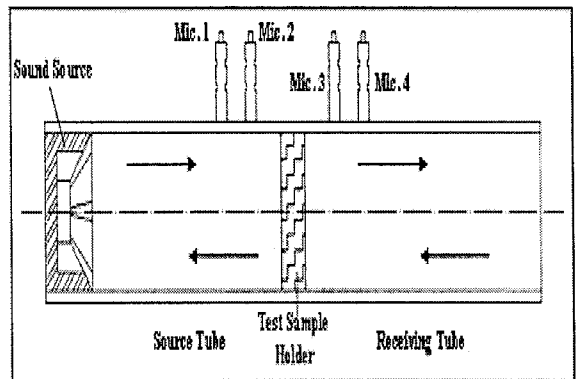


Fig. 4 Impedance Tube (Sound transmission loss Measurement)

3. 실험

3.1 초미세 발포 사출 시편 제작

아래 Fig. 5 에서 보는 바와 같이 가스 발포에 의한 사출공정을 통해 음향 특성을 측정하기 위한 시편이 만들어진다. 시편의 재료는 PC (Polycarbonate)로서 LG 화학에서 만든 HI1002ML 을 사용하였다. PC 펠릿을 사출기에 넣고 모든 조건을 동일하게 주고, 가스량 만을 변화시킨 상태에서 시편을 형성시킨다. 이 경우, 시편 내 셀이 고루 분포된 발포율의 변화만을 갖는 여러 개의 샘플을 얻을 수 있다. Fig. 5 는 시편에 제작된 사출기의 개략도이다.

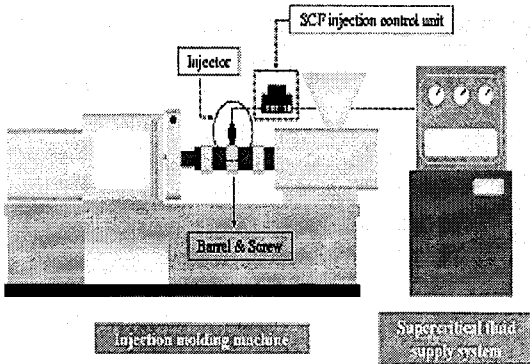


Fig. 5 Injection molding process

3.2 음향 특성 측정 시편

실험에 사용된 HI1002ML 의 물성은 Table 1 과 같은 특성을 갖는다.

Table 1 Properties of HI1002ML

	HI1002ML
Density (g/cm ³)	1.20
Young's modulus (MPa)	2200
Sound velocity (m/s)	1354.0
Sound impedance (kg/m ² s)	1624808

4. 초미세 발포 플라스틱의 음향특성

4.1 초미세 발포 플라스틱

4.1.1 초미세 발포 플라스틱의 물성

사출 공정에 의해 만들어진 HI1002ML 은 Table 2 와 같은 특성을 갖는다. 일반적으로 제품에 사용되는 내외장재는 고정된 치수의 두께를 갖게 되므로 측정 시편 또한 두께를 고정시켰다.

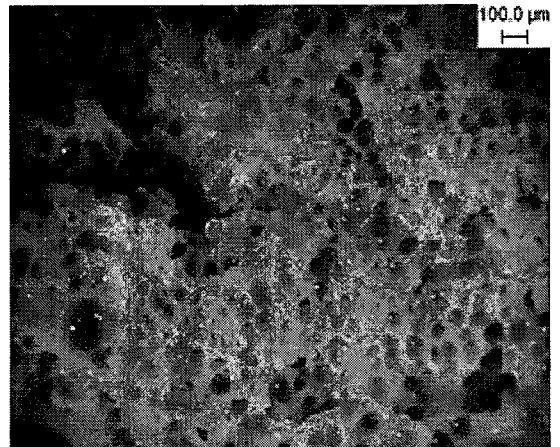
Table 2 Properties of HI1002ML (MCPs)

Foaming rate (%)	Thickness (mm)	Density (g/cm ³)	Surface density (kg/m ²)
0	7.5	1.20	9.0
9.1	7.5	1.09	8.18
14.1	7.5	1.03	7.73
22.0	7.5	0.94	7.02
30.3	7.5	0.84	6.27
37.0	7.5	0.76	5.67

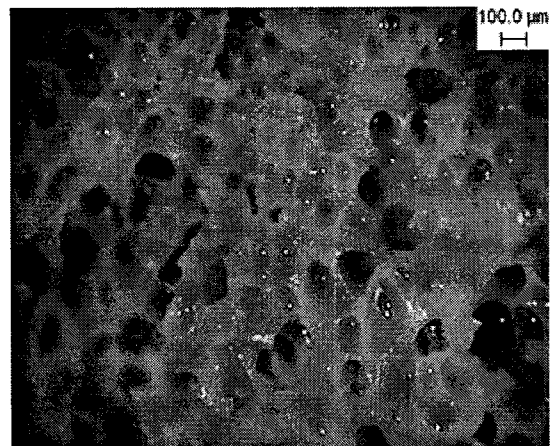
일반적인 솔리드 내외장재를 발포율 0%로 보았을 때, 발포된 MCPs 의 발포율은 대략 9.1, 14.1, 22.0, 30.3, 37.0%로 조정되었다. 같은 체적의 샘플들의 발포가 증가되어 감에 따라 면밀도가 감소하고 있다.

4.1.2 초미세 발포 플라스틱의 셀 형상

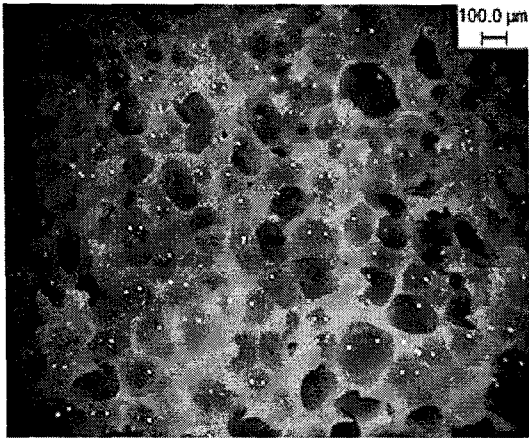
사출 공정에 의해 만들어진 샘플의 셀 형상을 Fig. 6 에서 확인할 수 있다. Fig. 6 에서 보는 바와 같이 발포율이 증가함에 따라 샘플의 셀 형상이 변화하는 것을 확인할 수 있으며, 발포율이 증가함에 따라 셀의 크기는 증가하고 셀 밀도는 점점 감소하는 것을 확인할 수 있다.



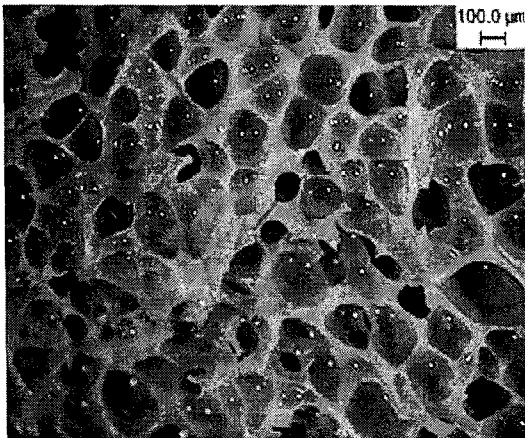
(a) 9.1% foaming rate



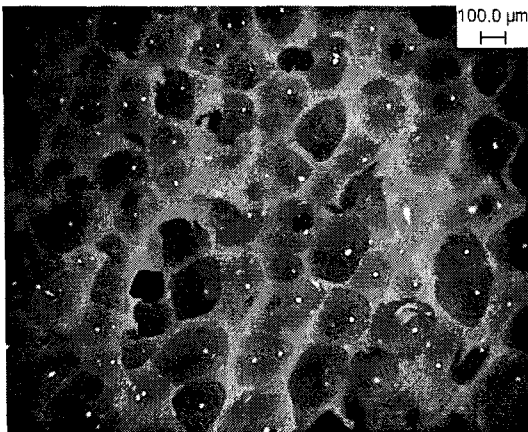
(b) 14.1% foaming rate



(c) 22.0% foaming rate



(d) 30.3% foaming rate



(e) 37.0% foaming rate

Fig. 6 Cell morphology of PC sample

일반적인 초미세 발포 플라스틱의 경우 셀의 크기가 매우 작지만, 본 실험의 경우 발포율을 변화시키기 위해서 셀 성장을 억제하지 않았기 때문에 발포율이 증가함에 따라 셀의 크기 역시 증가하고 있는 것을 위의 Fig. 6 에서 확인할 수 있다.

4.2 초미세 발포 플라스틱 음향 특성

4.2.1 초미세 발포 플라스틱 흡음 특성

Fig. 7 의 그래프에서 보는 바와 같이 초미세 발포 플라스틱 PC 샘플의 흡음율은 발포되지 않은 일반적인 고체 재료 (발포율 0%)와 크게 다르지 않다. 20~6400hz 의 전 측정 주파수 범위에서 흡음률은 거의 0에 가깝다.(0~0.012)

그러므로, 초미세 발포 공정을 통해 생성된 셀의 구조적인 변화, 즉 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 각각 구형으로 생성되는 독립적인 셀을 가지는 초미세 발포 플라스틱의 구조는 흡음률에 영향을 주지 못한다고 할 수 있다.

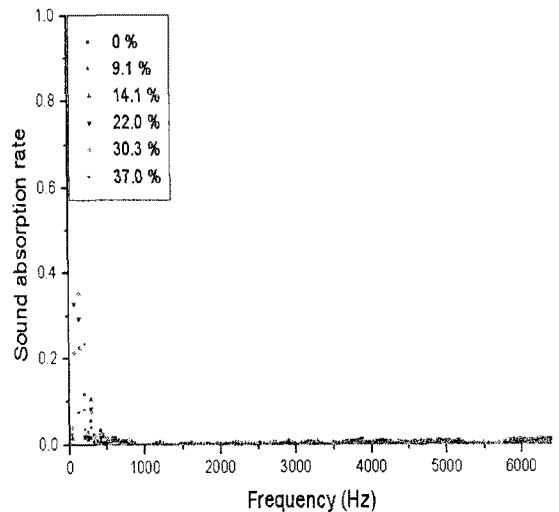


Fig. 7 Sound Absorption Rate of Polycarbonate

4.2.2 초미세 발포 플라스틱 음향투과손실

Fig. 8 의 그래프에서 보는 바와 같이 음향투과손실 그래프는 발포 되어 미세 셀을 갖는 초미세 발포 플라스틱의 차음 효과가 셀을 갖지 않은 미발포 시편보다 높다는 것을 보여주고 있다. 3000Hz 이후는 점진적으로 적게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

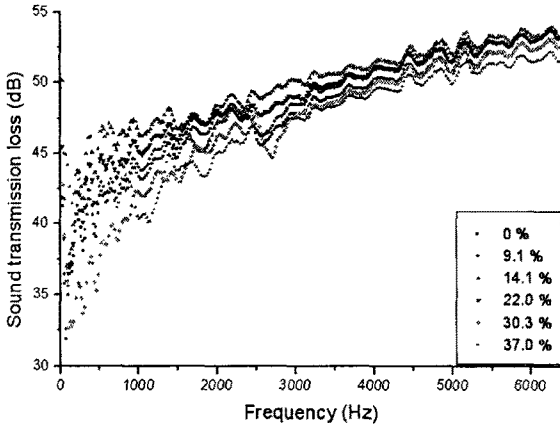
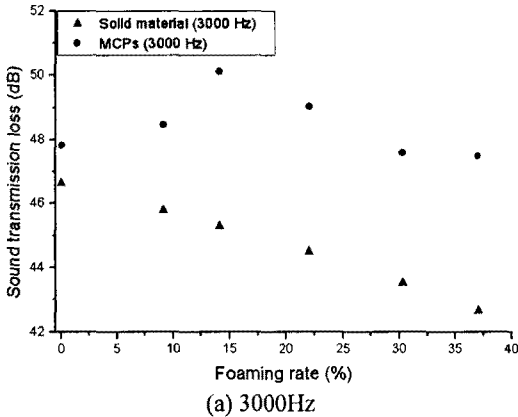
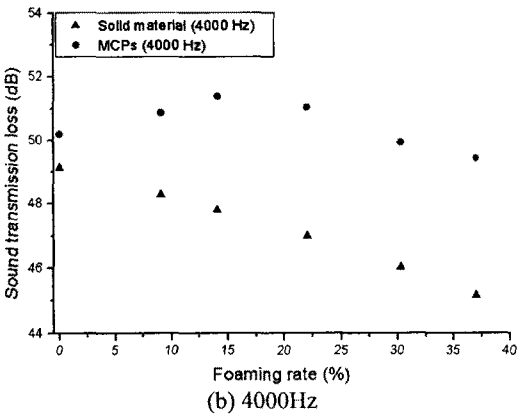


Fig. 8 Sound Transmission Loss of Polycarbonate (Frequency vs TL)

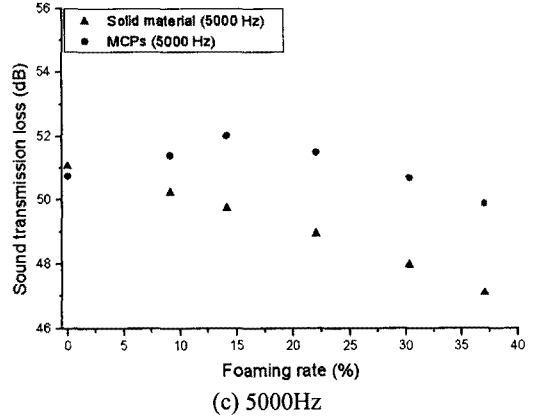
Fig. 9 에서는 발포율과 음향투과손실을 비교하여 보았다.



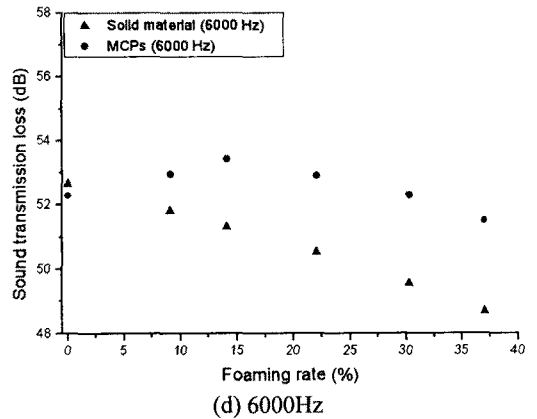
(a) 3000Hz



(b) 4000Hz



(c) 5000Hz



(d) 6000Hz

Fig. 9 Sound Transmission Loss of Polycarbonate (Foaming rate vs TL)

5. 결론

일반적인 재료의 경우, 재료의 면밀도가 감소하면 음향투과손실이 줄어든다. 그러나, 본 실험에서 초미세 발포 플라스틱 시편을 이용한 투과손실의 경우, 발포율이 증가함에 따라 면밀도가 감소하지만 음향투과손실이 증가하는 구간이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

1. 초미세 발포 플라스틱 시편이 가지고 있는 셀에 의한 흡음 효과는 크지 않음을 확인할 수 있다.
2. 초미세 발포 플라스틱 시편의 투과손실 효과는 발포율 증가에 의한 내부 셀의 영향이 있음을 확인할 수 있다.
3. 같은 양의 재료를 사용한 제품의 내외장재

에서 초미세 발포 플라스틱의 사용은 투과손실을 높일 수 있음을 알 수 있다.

후 기

이 논문은 2004 년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 KRF-2004-041-D00063). 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Cha, S. W., "The relationship of Mold Temperature and swirl marks on the surface of microcellular plastics," Polymer Plastic Technology and Engineering, Vol. 44, No. 5, pp. 795-803, 2005.
2. Cha, S. W., "The study for cell morphology with gas cocktail in microcellular foaming process," Journal of KSPE, Vol. 22, No. 6, pp. 168-174, 2005.
3. Lee, B. H., "Study of sound absorption and transmission characteristics for MCPs foaming rate by batch process," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 364-367, 2004.
4. Lee, B. H., "Acoustical properties of Polypropylene MCPs in low frequency range," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 828-833, 2005.
5. Fahy, F., "Sound and structural vibration," Academic Press, pp. 143-210, 2001.
6. Okudaira, Y., "Sound absorption by multi-layered constructions composed of powder layers and porous sheets," Electrical Engineering in Japan, Vol. 122, Issue 2, pp. 1-11, 1998.
7. Bolton, J. S., "Sound Transmission though multi-panel structures lines with elastic porous materials," Journal of Sound and Vibration, Vol. 191, No. 3, pp. 317-347, 1996.
8. Lee, B. H., "The Prediction Model for Sound Transmission Loss of Microcellular foamed Plastics," M.S. Thesis in Mechanical Engineering, Yonsei University, pp. 30-58, 2005.