

MCPs Closed Cell 의 발포율에 따른 흡차음 특성 연구

이병희*(연세대 대학원 기계공학과), 차성운(연세대 기계공학과), 강연준(서울대 기계공학과)

Study of Sound Absorption & Transmission Characteristics for MCPs Foaming rate by Batch Process

B. H. Lee* (Mecha. Eng. Dept. Yonsei Univ.), S. W. Cha (Mechanical Eng. Dept., Yonsei Univ.),

Y. J. Kang (Mechanical Eng. Dept., Seoul National Univ.)

ABSTRACT

Micro Cellular Plastics create a sensation at polymer industrial for lowering product cost & overcoming a lowering of mechanical intensity. This research based on the experiment of sound absorption & transmission characteristics inquire into acoustic property of Micro Cellular Plastics. This experiment clarify the change of cell foaming rate for foaming time and the change of sound absorption & transmission for foaming rate.

Key Words :MCPs (초미세 발포 플라스틱), Cell Size (셀크기), Open Cell (오픈 셀), Close Cell (클로즈 셀), Sound Absorption (흡음), Sound Transmission (차음), Impedance Tube (임피던스 튜브), Transmission Tube (트랜스미션 튜브), Foaming time (발포시간), Foaming Temperature (발포온도), Areal density (면밀도)

1. 서론

고분자 재료는 금속이나 세라믹 재료에 비해 단기간에 현대 사회에 널리 이용되고 있는 재료이고, 그 발전 속도도 기하급수적으로 늘어나고 있다. 최근 제품의 경량화 요구에 따라 고분자 재료에 대한 발포기술이 개발되게 되었고, 그 결과 제품의 경량화 이외에도 발포제품의 기포형성으로 인한 원재료비의 절감과 단열효과 등의 부수적인 장점을 얻게 되었다. 그러나, 일반적인 발포기술은 기포가 고분자 재료내에 균일하게 분포하는 것이 아니기 때문에, 부분적으로 취약한 부분을 만들어 내고 그 결과로 충격강도, 인성과 같은 기계적 강도의 저하와 같은 단점도 가져다 주었다.

이와 같은 단점을 극복하기 위해 개발된 초미세 발포기술은 기포의 직경크기가 $10\mu\text{m}$ 이하인 작은 셀이 재료 내에 고르게 분포되도록 하여, 기존의 발포재료보다 나은 기계적 특성을 유지하도록 하였다. 그 결과, 제품의 재료비를 절감하기 위해 연구된 MCPs 는 기존의 발포기술과는 달리 재료의 기계적 강도 저하를 극복하고 충격 강도와 인성의 향상을 가져왔다. 그리하여, 현재 국내의 자동차업체의 범퍼 및 내장재료의 사용을 시작으로 산업의 다양한 분야에 이용될 예정이다. MCPs 는 앞으로

자동차분야 이외에도 플라스틱제품이 사용되는 여러 산업분야로 그 수요가 높아지기 때문에, MCPs 의 그 밖에 다른 물성적 특성에 대한 연구 또한 다각적으로 이루어져야 한다. 본 실험에서는 MCPs 의 Foaming 시간에 따른 발포율 및 두께 변화를 통해 면밀도를 고정하여, 그 결과 셀에 의한 흡차음특성이 변화하는지 알아보았다. 우선, 실험시편은 일괄처리방식을 통해 제작하였다. 그 이유는 시편 내 셀의 분포를 고르게 하여야, 흡차음특성 데이터를 신뢰할 수 있기 때문이다. 발포율 와 두께는 고압용기 내 압력, 온도, 저장시간, 발포온도를 고정하고 발포시간을 변수로 하여, 그 변화를 꾀하였다. 본 실험은 플라스틱의 내장 및 외장 제품의 소음에 대해 MCPs 의 셀이 어떤 흡차음특성을 나타내는지 알아보고, 셀이 어떤 음향특성을 갖는지 알아보기 위한 기본적인 실험이다. 이 연구는 흡차음재를 사용하는 제품에, 보다 경제적이며, 실용적인 대안을 제시하는 기초적인 연구가 될 것으로 기대한다.

2. 이론

2.1 Transmission loss 의 수직입사 이론

본 실험에서 측정하는 투과손실은 수직입사음에 관한 측정으로 다음과 같은 수직입사음의 투과율

이론에 근거한다.

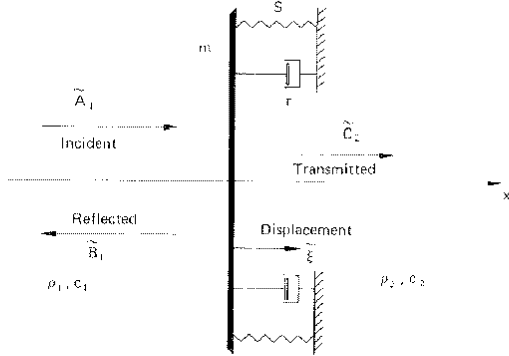


Fig. 1 Idealised model of normal incidence transmission through a single-leaf partition

위의 그림에 보이는 개략도와 같이 측정을 수직입사음에 관한 측정이며, 아래와 같은 이론식에 의해 투과율과 변수간의 상관관계가 이루어진다.

$$\tau = \frac{4n}{[(\omega m - s/\omega)/\rho_2 c_2]^2 + (\omega_0 m \eta / \rho_2 c_2 + n + 1)^2}$$

$n : \rho_1 c_1 / \rho_2 c_2$

$s : \text{stiffness per unit area}$

$r : \text{damping coefficients per unit area}$

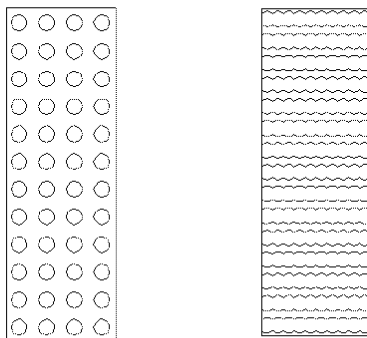
$\omega : \text{frequency of plane sound wave}$

$\omega_0 : \text{in vacuo natural frequency}$

$\eta : \text{in vacuo loss factor}$

$\omega > \omega_0$ 인 경우, 즉 공진에 의한 TL 효과저하구간 이상에서는 면밀도(m)가 2 배일 때, TL 값이 6 dB 증가하는 Mass law 규칙이 있다.

2.2. Open Cell 과 Closed Cell 의 흡차음관계



(a) Closed Cell

(b) Open Cell

Fig. 2 Closed Cell & Open Cell
(Cross Section of Material)

일반적인 흡음은 Open Cell 에서 발생한다. 흡음은 Open Cell 에 의해 형성된 통로를 통해 음이 진행하면서, 마찰 및 점성에 의해 음에너지가 열에너지로 소산되는 과정이다. Closed Cell 의 경우에는 이러한 통로가 형성되어있지 않기 때문에, 흡음효과를 기대하기 어렵다. 그러나, MCPs Closed Cell 은 마이크로단위에 셀의 형성은 재료의 두께를 증가시키면서, 음의 진행이 어려운 Closed Cell 이므로, 투과율을 낮추는 효과를 가질 수 있는 가능성이 있다.

2.3. 흡음을 측정 이론

시편의 흡음을 측정방법으로 사용되는 방법 중 하나인 Impedance Tube 법(정재파법)은 수직입사 흡음을 측정방법으로 관의 한쪽 끝에 시료를 충전하고 다른 한쪽 끝에 부착된 스피커에 의해 순음이 발생하면 관내에 정재파가 생겨 $\lambda/4$ 간격으로 음압의 고·저가 생긴다. 이 고·저의 비를 정재파비 n 이라 하면,

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\min}}$$

흡음율 α 는

$$\alpha = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2}$$

실험에 사용되는 Impedance Tube 는 재료의 음향 임피던스 및 수직입사 흡음률을 측정하기 위한 관으로서 앞서 말한 이론처럼, 관의 끝단에 시편을 부착하여 다른 단에 음을 가하면 관 내에 정재파 음장이 생긴다. 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 음원과 전달함수를 두 지점에서 각각 구하여 처리할 수 있는 방법이 있다. 관의 직경에 의하여 측정 가능한 주파수 범위가 결정된다. 본 실험에선 관의 직경이 29 mm (고주파측정용), 100 mm (저주파측정용)인 것을 사용한다.

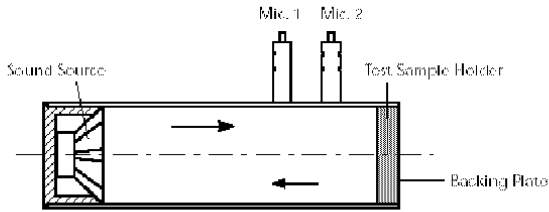


Fig. 3 Impedance Tube

2.4. 투과율 측정 이론

시편의 투과율 측정방법으로 사용되는 방법 중 하나인 Transmission Tube 법은 Impedance Tube 법의 확장으로서 그 이론은 앞서 말한 흡음율 이론과 유사하다. 단, 투과율을 측정하기 위한 Tube 의 추가로 2 개의 Tube 에 설치된 4 개의 Microphone 이 시료에 입사하는 음과 반사하는 음, 그리고 투과하는 음을 분해하여 시편의 투과율을 계산한다.

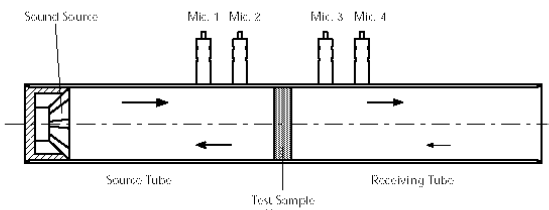
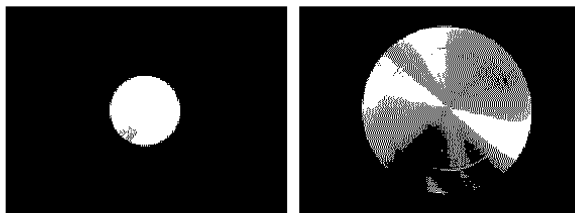


Fig. 4 Transmission Tube

3. 실험시편

3.1 일괄처리방식 시편 제작을 위한 Mold

시편의 크기가 고주파용은 지름 30 mm, 저주파용은 지름 100 mm 로 발포시 형태의 변화를 막기 위해, 아래와 같은 Mold 를 사용한다. Mold 의 크기는 외경이 각각 50 mm, 140 mm 이며, 내경은 Sample 의 크기인 29 mm, 100 mm 이다. 이와 같은 Mold 를 이용한 시편은 직경방향으로의 변화를 막고, 대신 두께방향으로의 변화를 갖도록 하여, Foaming Time 을 통한 발포율, 밀도, 두께변화간의 관계를 볼 수 있으며, 면밀도를 고정시킬 수 있다.



(a) High Freq. Mold (b) Low Freq. Mold

Fig. 5 Production Mold of Sample

3.2 일괄처리방식에 의한 시편

제작된 시편은 아래와 같으며, 그 크기는 앞서 말한 29 mm (고주파측정용), 100 mm (저주파측정용) 이다.



(a) High Freq. Sample (b) Low Freq. Sample

Fig. 6 Sample

저주파측정 영역은 50 Hz ~ 1.6 kHz, 고주파측정 영역은 1.6 kHz ~ 6.4 kHz 이다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 Foaming 시간에 따른 발포율 및 두께변화

Foaming 시간이 증가할수록 발포율과 두께가 모두 증가한다. 이는 결국 면밀도의 일정한 값을 유지하도록 만든다.

Table1. Change of Sample Property for Foaming Time (φ 29 mm)

Foaming temp. (°C)	Foaming time (sec)	Final thickness (mm)	Density (g/m ³)	Foaming rate (%)	Mass (g)
130	0	0.98	1.18	-	0.75
	40	1.54	0.72	63.89	0.75
	80	1.75	0.66	78.79	0.75
	120	1.83	0.61	93.44	0.75
	160	2.15	0.55	114.55	0.74

Table2. Change of Sample Property for Foaming Time (φ 100 mm)

Foaming temp. (°C)	Foaming time (sec)	Final thickness (mm)	Density (g/m ³)	Foaming rate (%)	Mass (g)
130	0	0.98	1.18	-	9.40
	40~	1.56	0.75	57.33	9.35
	80~	1.71	0.72	64.75	9.47
	80~120	1.73	0.70	67.74	9.44
	120	1.88	0.65	81.54	9.37

면밀도는 두께와 밀도의 곱으로 φ 29 mm, φ 100

mm 모두 0.11~0.12 g/cm²를 유지하고 있다.

4.2 투과손실에 대한 셀의 영향

면밀도를 고정시킨 발포율별 시편의 투과손실 그래프는 다음과 같다.

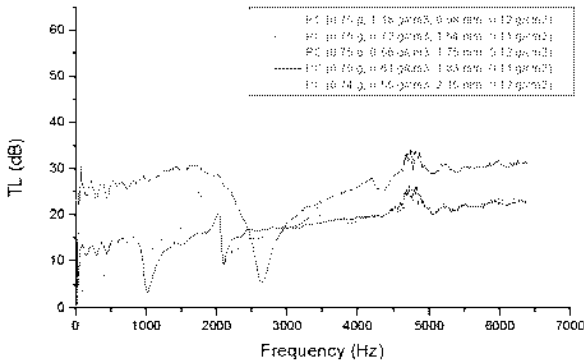


Fig. 7 Transmission loss graph of ϕ 29 mm sample

그림 7의 투과손실 그래프는 고주파에 관한 그래프로서 1.6 ~ 6.4 kHz의 그래프를 신뢰한다. 단, TL이 현저히 떨어지는 주파수 구간 전후의 데이터는 현재 시편에만 적용되는 특수한 경우로 공진주파수 이상의 그래프를 신뢰한다. 위의 그래프에서 보듯이, 일정한 면밀도 (또한 일정한 질량)를 유지한 시편에 발포율 증가를 통한 셀형성이 투과손실 증가를 가져오고 있다.

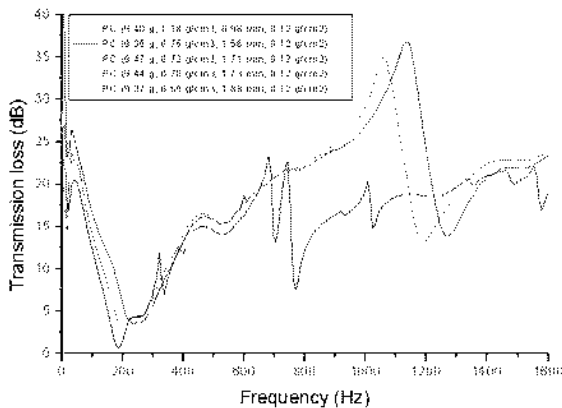
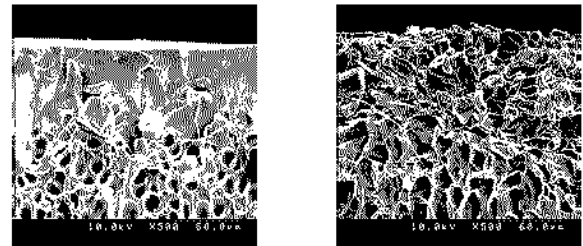


Fig. 8 Transmission loss graph of ϕ 100 mm sample

그림 8의 투과손실 그래프는 저주파에 관한 그래프로서 50 Hz ~ 1.6 kHz의 그래프를 신뢰한다. 위의 그래프에서는 일정한 면밀도 (또한 일정한 질량)를 유지한 시편에 발포율 증가를 통한 셀형성이 투과손실변화에 큰 영향을 가져오지 않음을 보여주고 있다. 그리고, 900~1400 Hz에 이르는 구간에서의 공진효과는 직경에 비해 매우 미미한 두께 때문에

발생되는 효과로, 시편과 tube의 경계조건이 자유롭지 않기에 형성되는 시편의 bending에 의한 수직입사음의 난입사효과에 의해 발생된 공진으로 보여진다. 이를 증명하기 위해, 추후 실험에서 경계조건이 자유롭도록 두꺼운 시편을 통한 실험이 이루어져야 할 필요가 있다.

4.3 MCPs Skin layer 및 Close cell과 흡음율 간의 관계



(a) Not foam (b) Foam

Fig. 9 Skin layer of MCPs

위의 그림 중 (a)는 스킨층이 발포되지 않은 경우의 사진이고, (b)는 스킨층이 발포된 경우의 사진이다. (b)와 같이 발포된 스킨층은 Open cell을 형성하고 있다. 사진(a)는 앞서 실험한 투과손실 시편들 중 하나인 120 sec 동안 foaming한 29 mm 시편이다. 시편(b)는 3500 psi, 6 hour 동안의 고압에서 가스가 주입된 PC를 200 °C에서 최대한 발포시킨 것이다.

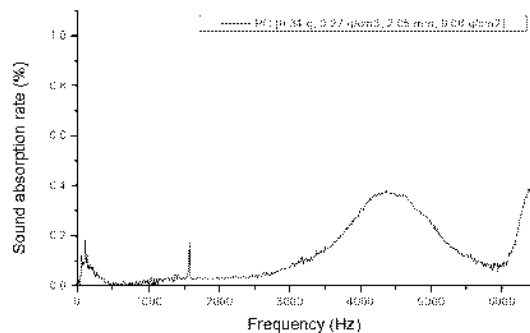


Fig. 10 Sound Absorption rate of MCPs (sample b)

투과손실실험을 한 시편들의 흡음율은 거의 zero에 가까웠으며, 스킨층을 Open cell로 최대한 발포시킨 시편의 경우, 위와 같은 흡음율 그래프를 갖는다. 일반적인 흡음재의 흡음율이 0.7 ~ 0.8을 갖는 반면, 위의 시편은 특정 구간에서 최대 0.4의 흡음율을 갖는데, 그치고 있다. 이는 스킨층이 Open cell로 변화하였지만, 내부의 셀들이 여전히 Closed cell을 형성하고 있기 때문에, 그 이상의 흡음율 상승을 가져오지 못하는 것이다.

5. 결론

일괄처리방식을 이용한 MCPs 시편에 의한 흡음 효과는 스킨층 및 내부의 Closed cell 의 형성에 의해 크지 않음을 알 수 있었다. 그러나, 투과손실의 효과는 발포율 증가에 의한 내부 셀의 영향이 있음을 알 수 있었고, 주로 고주파 대역에서 면밀도가 아닌 셀에 의한 긍정적인 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 같은 양의 재료를 사용한 제품의 내외 장재에서 MCPs 의 사용이 투과손실을 높임을 알 수 있다.

후 기

위의 연구를 위해, 도움을 준 서울대 음향진동연구실 관계자들에게 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

1. Frank Fahy, "Sound and structural vibration," Academic Press, pp. 143~210, 2001
2. Yuzo Okudaira, Hideyuki Ando, Munetake Satoh, Kei Miyanami, "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
3. Satoshi Konishi, Mitsuhiro Yoda, Susumu Sugiyama, Sadao Akishita, "Tunable acoustic absorber using a micro acoustic hole array," Electronics and Communications in Japan (Part II: Electronics), Vol 83, Issue 1, pp. 1~6, 2000
4. Vipin Kumar, "Process synthesis for manufacturing microcellular thermoplastic parts : A case study in axiomatic design," MIT, pp. 86~92, 1988
5. Kapje Sung, Sung Woon Cha, Yongrak Moon, "Design for noise reduction of the interior of automobiles using microcellular foamed plastics," KSAE, pp. 1074~1078
6. Vipin Kumar, Krishna Nadella, and Wei Li, "Production of thick microcellular thermoplastic sheets for load bearing application," Polymer-Supercritical Fluid Systems and Foams (P-(SF)², Tokyo, Japan, pp. 25~31, 2003
7. Kapje Sung, "Noise reduction in information storage devices using microcellular foamed plastics," Yonsei University, pp. 33~36, 2002