Polypropylene MCPs의 저주파대역 음향특성

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

Acoustical properties of Polypropylene MCPs in low frequency range

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 acoustical properties of Micro Cellular Plastics in low frequency range. TL difference of MCPs & Soild materials was defined as cell effect. Also, cell effect is expressed by sound reflection & sound absorption.

Key Words : MCPs (Micro Cellular Plastics), Sound transmission (투과), Sound reflection (반사), Sound absorption (흡음)

1. 서론

Polymer 재료는 현대 사회에 널리 이용되고 있는 재료이며, 그 발전 속도는 금속이나 세라믹 재료와 비교하여 기하급수적으로 늘어나고 있는 추세이다. 최근, 재료의 원가절감 및 제품의 경량화 등의 요구에 따라, 제품의 내외장재로써 이용되는 Polymer 의 발포기술이 개발되게 되었다. 그 결과, Polymer 의 발포기술로 인하여, 재료의 원가절감 및 제품의 경량화를 비롯하여 부수적으로 기포형성에 따른 단열효과와 같은 장점을 얻게 되었다. 그러나, 일반적인 발포기술은 기포가 Polymer 재료 내에 균일하게 분포하지 않으며, 기포의 크기도 미세하게 형성되지 않았기 때문에, 부분적으로 취약한 부분을 만들어 내었다. 그 때문에, 충격강도, 인성과 같은 기계적 강도 저하와 같은 단점도 발생하였다. 이와 같은 단점을 극복하기 위해 개발된 초미세발포기술은 기포의 직경을 Micro 단위로 끌어내리면서, Polymer 재료내에 이러한 셀들이 고르게 분포되도록 하여, 기존의 발포재료보다 나은 기계적 특성을 유지하도록 하였다. 그 결과, 제품의 재료비를 절감하기 위해 연구된 MCPs(초미세발포플라스틱)는 기존의 발포기술과는 달리 재료의 기계적 강도 저하를 극복하고 충격 강도와 인성의 향상을 가져왔다. 현재, MCPs 는 국내의 자동차업체의 범퍼 및 내장재에 적용되고 있으며, 가전제품 및 핸드폰 내외장재로의 적용이 진행 및 검토되고 있다.

플라스틱제품이 사용되는 여러 산업분야로 MCPs 의 수요가 높아지고 있기 때문에, MCPs 의 여러 특성에 관한 연구가 필요하며, 그 일환으로 MCPs 의 음향특성에 관한 연구를 진행하였다. 현대 사회가 고도로 발달하면서 인간의 주변환경에 대한 부분이 중요한 이슈로 떠오르고 있고, 그 중 소음에 관한 부분이 중대하게 고려되고 있다. 자동차 및 가전, 핸드폰 등 소음과 밀접한 제품의 내외장재의 음향특성은 매우 중요하게 다뤄져야 하는 부분이고, 이 내외장재로 사용이 증가되는 MCPs 의 음향특성 연구는 필수적이라고 할 수 있다. 이번에 진행된 연구는 제품의 내외장재에 두루 사용되고 저가의 우수한 기계적 특성을 지닌 HT340 (Polypropylene + talc20%)의 저주파대역의 음향특성을 알아보았고, 이 때, 발포에 의한 셀이 어떠한 영향 및 특성을 가지는지 분석해보았다.

2. 이론

2.1 Surface density의 개념

면밀도란 재료의 음향투과손실과 연관된 값으로, 단위는 kg/㎡이다. 면밀도는 재료의 밀도와 두께에 의해 결정되는 값이다.

그림.1 처럼, 면밀도는 밀도와 두께의 곱에 의해 생성되는 값으로, 면밀도는 밀도가 증가하고 두께

가 증가할 경우 증가한다.

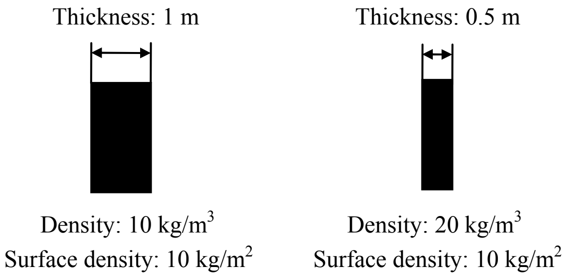
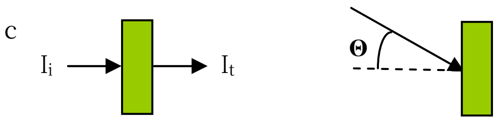


Fig. 1 Surface density

2.2 Surface density 와 Sound transmission loss 와의 관계

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



(a) Normal incidence (b) Obliquely incidence

Fig. 2 Sound incidence

그림 2 에서, 음은 수직입사와 랜덤입사 2 가지 형태로 이루어져 있다. 이번 실험은 재료의 일반적인 흡음, 차음에 관한 실험으로 수직입사에 관한 특성에 관한 것이다.

$$\tau = \frac{I_t}{I_i}$$

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

$$a = \pi f \rho_s / \rho_0 c$$

$$TL = -10\log\tau_\theta = 10\log[1 + (a \cdot \cos\theta)^2]$$

$$TL = -10\log\tau_\theta = 10\log[1 + a^2]$$

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

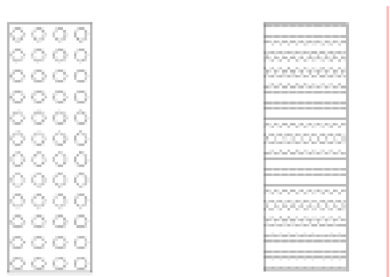
ρ_s : Surface density (kg/m2) ρ_0 : Air density (kg/m3)

c : Sound speed (m/s) Θ : Incidence angle (˚)

위의 식에서처럼, 투과율 (τ)는 입사음압과 투과음압의 비로 이루어져 있으며, 입사각에 의해 변화한다. 이는 면밀도 (ρ_s)와 관련된 식으로 변환할 수 있다. 본 실험은 수직입사에 관한 것이므로, 최종적인 음향투과손실 (TL)은 면밀도와 주파수(f)에 관한 식으로 정리된다. 일반적인 재료는 재료의 Natural frequency 이상에서 면밀도가 2 배일 때, TL 값이 6 dB 증가하는 Mass low 규칙을 가지고 있다.

2.3 흡음재 및 차음재와 MCPs 의 비교

일반적으로 재료에 사용되는 흡음재는 다공성 Path 가 형성된 재질로 이루어져 있다. 내부의 다공성 셀은 독립적인 형태가 아닌 연속적으로 연결된 Open Cell 형태로 형성되어 있다. 이는 흡음재 표면에서부터 음을 흡수할 수 있도록 노출되어 있다. 차음재는 Rigid 한 재질로 이루어져 있으며, 이는 재료의 강성이 높은 재질이라 할 수 있다. 즉, 재료자체의 damping 에 의한 흡음도 적다는 이야기이다. 주로 차음재는 음의 반사에 의한 효과로 음을 차단하는 메커니즘을 가지고 있으며, 흡수현상은 거의 일어나지 않는다.



(a) Closed cell (b) Open cell

Fig. 3 Closed cell & Open cell

(Cross section of material)

MCPs 는 내부에 독립적인 closed cell 을 가지고 있는 rigid 한 재료이다. 일반적인 흡음재에 비해, 강성이 높으며, 음과 만나는 표면이 매끈하게 이루어져 있으므로, 음이 흡수될 수 있는 입구가 없다.

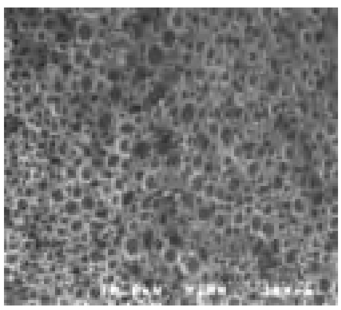


Fig. 4 Cell morphology of HT340 MCPs

MCPs 와 흡음재와의 또 다른 차이는 Cloesd cell 과 Open cell 간의 차이이며, 흡음재는 표면에 음을 흡수할 수 있는 다공성 Path 가 존재하고, MCPs 는 이러한 Path 가 없다는 것이다.

2.4. 흡음율 측정

실험에 사용되는 Impedance Tube 는 재료의 음향 임피던스 및 수직입사 흡음률을 측정하기 위한 관으로서, 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 음원과의 전달함수를 두 지점에서 각각 구하여 처리할 수 있는 방법이 있다.

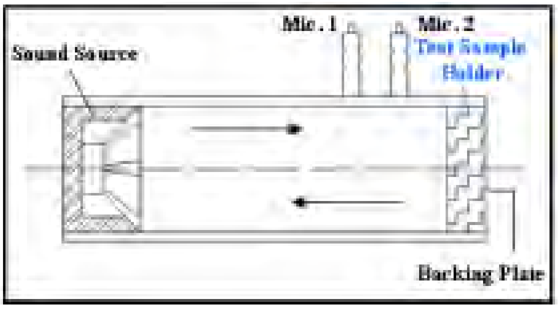


Fig. 5 Sound absorption rate measurement

관의 직경에 의하여 측정 가능한 주파수 범위가 결정된다. 본 실험에선 관의 직경이 100 mm (저주파측정용)을 사용한다.

2.4. 투과율 측정

시편의 투과율 측정방법은 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. 본 실험은 흡음률과 마찬가지로 직경 100mm 관을 이용한 저주파 투과율을 측정한다.

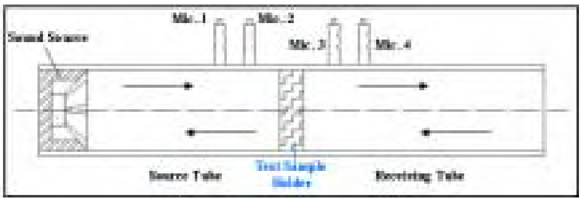


Fig. 6 Sound transmission loss measurement

3. Polypropylene 의 저주파대역 흡음율

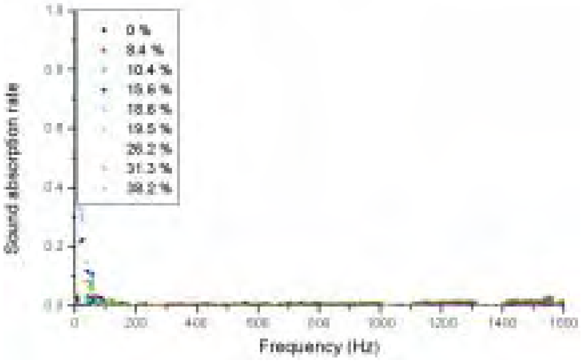


Fig. 7 Sound absorption rate of HT340 (low freq.)

위의 그래프에 보여지는 것처럼, MCPs 흡음율은 발포 전 Solid 사출물 (0%)과 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 즉, 저주파대역 (20 ~ 1600 Hz)구간에서의 흡음율은 zero(0 ~ 0.029)에 가깝다고 할 수 있다. 따라서, MCPs 와 Solid 사출물 간의 구조상 차이인 Cell 은 저주파대역의 흡음율에 거의 영향이 없는 zero 에 가까운 흡음성능을 보임을 알 수 있다. 위의 그래프에서 200 Hz 미만의 데이터는 장비의 측정값에서 배제되는 구간이다.

4. MCPs 사출 Sample

4.1 사출공정의 Sample 제작

아래 그림과 같은 가스발포에 의한 사출공정을 통해 직경 100 ㎜ 의 시편이 만들어진다. 시편의 재료는 PP (polypropylene)에 talc 20%를 섞은 현대엔지니어링 플라스틱에서 제조한 HT340 을 사용하였다. Talc 는 석분의 일종으로 재료의 강도를 증가시키기 위해 섞은 것이다. ‘PP + 20% talc’ 펠렛을 사출기에 넣고 모든 조건을 동일하게 주고, 가스량만을 변화시킨 상태에서 sample 를 형성시킨다. 이 경우, 시편 내 셀이 고루 분포된, 발포율의 변화만을 갖는 여러 개의 sample 을 얻을 수 있다. 다음은 시편에 제작에 사용된 사출기의 개략도이다.

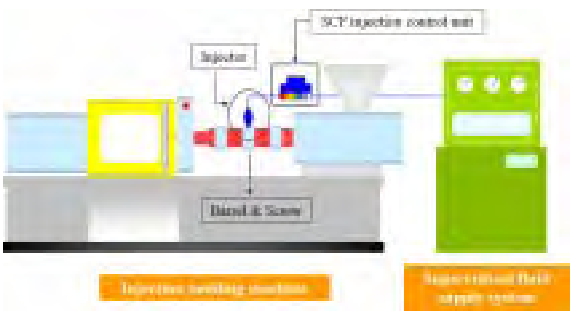


Fig. 8 Injection molding machine

4.2 Polypropylene 저주파대역 시편

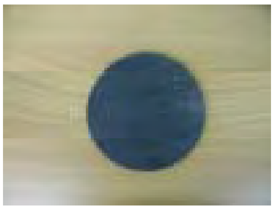


Fig. 9 HT340 (Polypropylene + talc 20%) sample

측정 시편의 형태는 위와 같으며, 크기는 직경 100 ㎜이다. 시편의 셀 크기는 앞서 그림. 4에서 보여지는 것 처럼, 대략 50 ~ 100 ㎛ 이다.

5. MCPs PP 사출 Sample의 음향특성

5.1 PP 사출 Sample의 물성적 특성

Table. 1 Properties of HT340 (PP + talc 20%) MCPs

Mass (g)	Thickness (mm)	Density (g/cm^3)	Surface density (kg/m^2)	Foaming rate (%)
60.4	7.5	1.04	7.83	0
55.1	7.5	0.95	7.16	8.4
53.6	7.5	0.93	6.97	10.4
50.6	7.5	0.88	6.57	15.6
48.8	7.5	0.85	6.34	18.6
48.7	7.6	0.84	6.33	19.5
44.2	7.5	0.77	5.74	26.2
41.4	7.5	0.71	5.38	31.3
37.1	7.5	0.64	4.82	38.2

사출공정에 의해 만들어진 HT340 (Polypropylene + talc 20%) 시편은 표 1과 같은 특성을 갖는다. 일반적으로 제품에 사용되는 내외장재는 고정된 치수의 두께를 갖게 되므로, 측정시편 또한 두께를 고정시켰다.

일반적인 Solid 내외장재를 발포율 0%로 보았을 때, 발포가 된 MCPs의 발포율은 대략 8.4, 10.4, 15.6, 18.6, 19.5, 26.2, 31.3, 38.2 %로 조정되었다. 같은 체적의 시편들의 발포가 증가되어감에 따라, 면밀도가 감소하고 있다.

5.2 PP 사출 Sample의 음향투과손실

아래의 음향투과손실(TL) 그래프는 'Frequency vs TL' 그래프로서 0 ~ 30 % 에서 MCPs가 미발포 시편 (0 %)보다 TL 값이 높은 주파수 구간이 나타남을 알 수 있다. 그 구간은 1200 Hz 이상에서부터 나타난다.

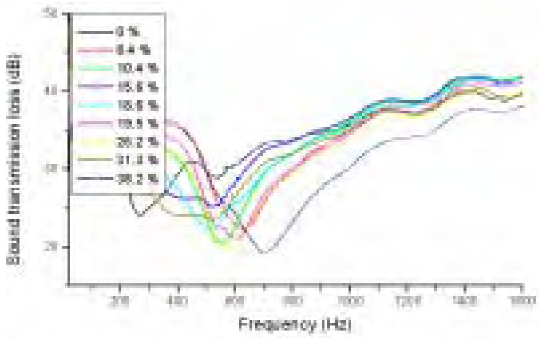
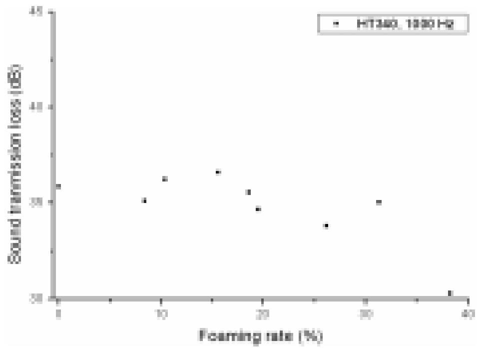
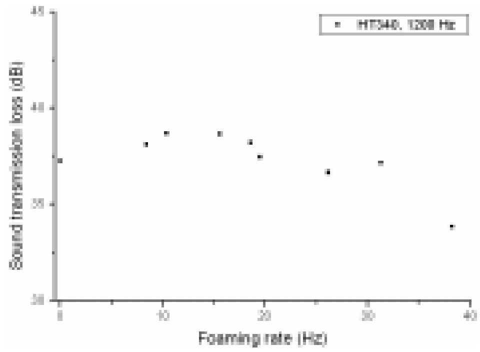


Fig. 10 Sound transmission loss of HT340 (low freq.)

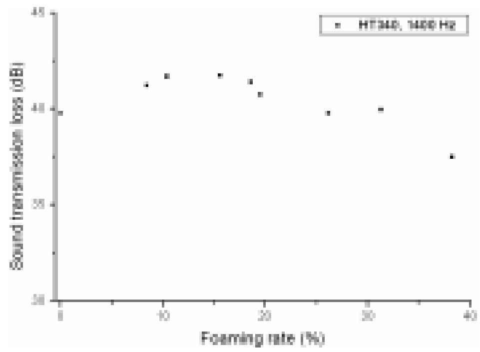
아래 그림은 그림. 10의 그래프를 'Foaming rate vs TL'의 그래프로 변환한 것이다.



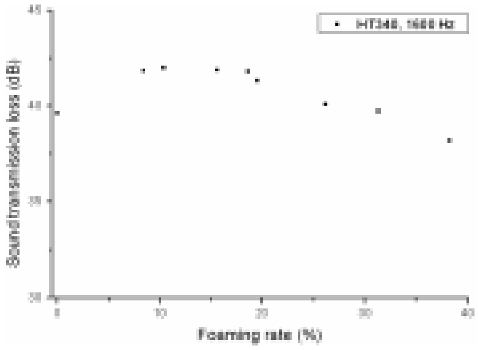
(a) 1000 Hz



(b) 1200 Hz



(c) 1400 Hz



(d) 1600 Hz

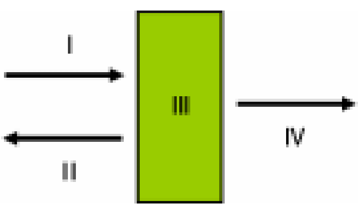
Fig. 11 Sound transmission loss of HT340 (low freq.)

이 그래프를 보면 MCPs 가 Solid 사출물에 보다 TL 값이 높은 구간이 1200 Hz 이상 에서부터 눈에 띄게 나타남을 알 수 있다. 이러한 현상이 1200 Hz 에서부터 나타나는 이유는 각각의 시편의 Natural frequency 영역인 300 ~ 700 Hz 구간 주변의 값들이 Natural frequency 의 공진에 영향을 받아 그 현상이 뚜렷하지 않은 것이다. 즉, 시편 질량에 따른 Natural frequency 을 배제하면, 전반적인 구간에서 MCPs 음향투과손실(TL)은 Solid 사출물보다 '0 ~30 %'구간에서 높다고 할 수 있다.

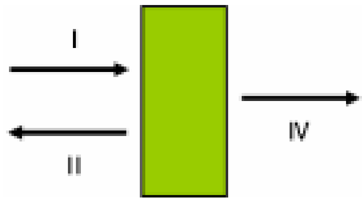
7. 결론

일반적인 재료의 경우, 재료의 면밀도가 감소하면, 음향투과손실이 줄어든다. 그러나, 본 실험에서 MCPs 시편을 이용한 투과손실의 경우, 발포율이 증가하면서 면밀도는 감소하게 되는데, 이 때 음향투과손실이 증가하는 구간이 발생하게 된다.

이 구간에서 나타나는 MCPs 의 투과손실 증가는 Solid materials 의 주요 영향 인자인 면밀도에 의해 지배받아야 하는데도 불구하고, 면밀도 감소와 반대되는 투과손실이 증가하는 영역이 발생하는 것은 일반 Solid 사출물과 MCPs 사출물의 차이점에서 찾아야 할 것이다. 두 재료간의 차이점은 Cell 의 유무이고, 이 Cell 들의 영향이 무엇인지는 아래의 흡차음 음향메커니즘에서 찾아봐야 할 것이다.



(a) General acoustical model



(b) MCPs cell model

Ⅰ: Normal incidence
Ⅱ: Sound reflection rate
Ⅲ: Sound absorption rate
Ⅳ: Sound transmission rate

Fig. 12 General acoustical model & MCPs cell model

앞서 그림. 7 의 MCPs 의 흡음율 그래프에서 보듯이, MCPs Cell 은 흡음성능이 zero 에 가깝다. 즉, MCPs Cell 은 흡음이 아닌 음의 반사효과를 가지고 있음을 알 수 있다.

MCPs Cell 은 그 자체가 반사특성을 지니는 것이 아니라, 셀과 Polymer 간 즉, 기체와 고체 매질의 연속적인 배열에 의한 음의 반사효과가 부가적으로 생기기 때문에 MCPs 가 일반적인 Solid 사출물보다 음향투과손실이 높은 구간이 발생하는 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 고주파대역의 실험이 추가적으로 진행중이며, 이에 대한 MCPs TL 모델링도 계속적으로 이루어질 것이다.

이 연구는 학술진흥재단의 지원을 받아 수행되는 프로젝트(과제 번호 2004-8-0196)의 일환이다.

또한, 위의 연구를 위해, 도움을 준 서울대 음향진동연구실 관계자 분들께 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

1. Lawrence E. Kinsler, 'Fundamentals of Acoustics', John Wiley & Sons, 1982
2. J. Y. Chung and D. A. Blaser, 'Two microphone method', J. Acoust. Soc. Am. Vol. 68, No. 3, September 1980 (General Motors)
3. 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
4. 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
5. J. S. Bolton, N. M. Shiau, Y. J. Kang, "Sound

Transmission through multi-panel structures lines with elastic porous materials," Journal of Sound and Vibration, 191(3), 317~347, 1996
6. Vipin Kumar, "Process synthesis for manufacturing microcellular thermoplastic parts : A case study in axiomatic design," MIT, pp. 86~92, 1988
7. Kapje Sung, Sung Woon Cha, Yongrak Moon, "Design for noise reduction of the interior of automobiles using microcellular foamed plastics," KSAE, pp. 1074~1078
8. 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
9. Kapje Sung, "Noise reduction in information storage devices using microcellular foamed plastics," Yonsei University, pp. 33~36, 2002
10. 이병희, 차성운, 강연준, "MCPs Closed Cell 의 발포율에 따른 흡차음 특성 연구," 한국정밀공학회 2004 년도 추계학술대회, pp.364-368 , 2004