

발포알루미늄의 시공방법에 따른 흡음 특성에 관한 연구

박현구^{†1} · 김항²

(Received April 11, 2016 ; Revised May 9, 2017 ; Accepted November 14, 2016)

Sound absorption characteristics of foamed aluminum considering installing on the wall and in the space

Hyeon-Ku Park^{†1} · Hang Kim²

요약: 발포알루미늄은 친환경 재료로서, 재활용이 가능하며 화재에 안전하여 선박과 해양구조물에 사용되는 흡음재로서 우수한 특성을 가지고 있다. 지금까지 발포알루미늄은 발포율에 따른 흡음능에 관한 연구가 주로 이루어져 왔다. 발포 알루미늄은 기존에 사용되어 왔던 글래스 울, 락 울 등과 같은 섬유질 흡음재와 비교할 때, 강도면에서 우수하기 때문에 다양한 방법으로 시공할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 공간 내에서 발포알루미늄의 다양한 사용 방법을 고려하여 흡음특성에 대한 실험을 실시하였다. 또한 마감재로 페인트 칠에 따른 특성을 포함하여, 양면흡음재로서 사용될 경우 벽면에 수직으로 세워서 시공한 구조와 공중에 매달아 수평으로 시공한 구조에 대한 흡음특성의 변화에 대해 실험적 방법으로 분석하였다.

주제어: 발포알루미늄, 친환경 재료, 흡음재, 발포율

Abstract: Foamed aluminum is an eco-friendly material that is reusable and safe against fire. These superior characteristics have many advantages in the field of building and construction and in cruise ships as sound absorbers. So far, the research on foamed aluminum has been focused on the sound absorption performance using the foaming ratio. Foamed aluminum, when compared with the existing sound absorbers such as glass wool or rock wool, has a better structural performance, and it can be installed on walls in many different ways. This study conducted experiments on the sound absorption characteristics considering the various applications of foamed aluminum. The effects of painting surfaces with the finishing material were compared to that of the normal surface, and the effects of vertical installation and hanging from the ceiling was compared with the effects of installing on the floor.

Keywords: Foamed aluminum, Eco-friendly material, Sound absorber, Foaming ratio

Acronyms

V	The Volume (m^3)
S	The area (m^2)
T_2	The reverberation time, has been introduced (s)
T_1	The reverberation time of the empty room (s)
c	The propagation speed of sound in air
m_2	The power attenuation coefficient, has been introduced
m_1	The power attenuation coefficient of the empty room

1. 서론

선박과 해양구조물에 사용되는 흡음재는 다양한 종류가 사용되고 있으며, 그 중 가격에 비하여 성능이 뛰어난 암면(rock wool), 글라스울(glass wool) 및 미네랄울(mineral

wool)과 같은 광물성 재료의 흡음재가 많은 비율을 차지하고 있다. 그러나 이와 같은 흡음재들은 시공 단계에서 미세 가루가 발생하여 작업자의 호흡기 등의 건강에 영향을 미칠 가능성이 있으며, 설치 후 시간의 경과에 따라 산화하게 되면 공기중에 분진으로 떠다니게 되어 호흡기에 문제를 일으킬 소지가 있다. 또한 폐선 시 폐기물의 처리 문제가 있어 환경을 오염시키는 근본적인 원인이 되기도 한다.

최근 사회적으로 친환경에 관련된 관심이 높아지고 있으며, 이에 따라 국가적으로도 친환경 관련 규제가 점차 강화되고 있어 친환경 소재를 이용한 제품의 개발 연구[1]가 수행되고 있다. 실례로 흡음 소재인 석면에 대한 유해성이 나타나자 석면 제품에 대한 사용이 전면 금지되었고, 글라스울

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0140-2119>): Department of Architectural Engineering, Songwon University, 73 Songam-ro, Nam-gu, Gwangju, 61756, Korea, Email: soundpark@cricmail.net, Tel: 062-360-5550
2 Korea Maine Equipment Research Institute, E-mail: hihang@komeri.re.kr, Tel: 051-400-5144

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

및 우레탄 등의 소재로 대체되었다. 과거 흡음 소재는 대체적으로 단일소재로 구성되었지만, 점차 시각적인 면이나 재활용성, 기능성에 대한 요구에 따라 다양한 소재를 통한 재료가 개발되고 있다[2]-[4]. 이와 같은 흡음재 재료 중 발포알루미늄은 친환경 소재이자 반영구적인 흡음재로서 소음기 내부, 기관실과 같이 고열이 발생하는 곳이나, 터널내부 및 방음벽 등과 같이 외부 공간에서도 사용되고 있다[5]. 또한 발포알루미늄은 재활용이 가능하며, 파손 시 교체가 쉽고 유지관리가 편리하기 때문에 그 사용성이 갈수록 증대되고 있는데, 실내 공간에 사용될 경우 실내에서 발생하는 소리의 크기를 줄이거나, 잔향시간(殘響時間)을 조절하는 용도로 사용될 수 있다. 지금까지 발포알루미늄에 대한 대부분의 연구는 열적 특성에 초점이 맞춰져 있으며[6], 음향 분야에서는 발포비율 및 경량화에 초점이 맞춰져 있어[7], 실내 공간에 사용하여 잔향시간(殘響時間)을 조절하기 위한 연구는 미흡한 상황이다.

발포알루미늄의 특성을 살펴보면, 발포로 인해 제품의 상층부와 하층부의 셀 구조가 다르게 이루어져 있으며 그로 인하여 채취 위치별로 흡음률이 다르게 나타난다. 또한 시공방법 및 페인트 사용으로 인한 셀의 개구부가 달라지기 때문에 흡음특성이 다르게 나타난다.

본 연구는 양면이 개방된 구조로 만들어진 발포알루미늄을 실내 공간에 사용하기 위한 목적으로 수행되었다. 연구 방법으로는 발포알루미늄의 시료 채취 위치에 따른 흡음 특성을 측정하고, 시공방법 및 페인트 칠에 따른 흡음 특성의 변화에 대한 분석을 통해 효율적인 사용 방안을 제안하고자 하였다.

2. 시험 계획 및 방법

2.1 시험 계획

(1) 시료 채취 위치에 따른 흡음을 시험

발포알루미늄은 상부에서 하부까지의 기포가 균질하지 못하여 상부에서 하부까지의 셀 구조가 다르게 나타난다. 셀 구조의 변화에 따른 흡음 시험을 진행하기 위하여 공정 과정에서 위치별로 상부층, 중간층, 하부층 총 3가지 타입의 시료를 채취하여 600 mm(가로) × 1200 mm(세로) × 10 mm(두께)의 크기로 15개의 흡음재를 제작하였으며, 시험편 면적은 총 10.8㎡로 흡음을 시험을 실시하였다. Figure 1은 발포알루미늄의 생산과정을 보여주는 것으로 금속 용해로에서 용해 및 발포시킨 후, 냉각, 절단하고 프레스로 압력을 가한 후 완제품을 생산하게 된다.

(2) 페인트칠 여부에 따른 흡음을 시험

발포알루미늄은 흡음 특성과 함께 강도가 있으므로 내외부 표면에 마감용으로 많이 사용되고 있으며, 마감 효과를 다양하게 하여 미관을 향상시키기 위해 페인트칠을 하게

된다. 일반적으로 발포 알루미늄 흡음재와 같은 다공성 흡음재는 표면의 기공이 중요한데, 기공을 통해 음파가 재료 내부로 전달되어 소리를 흡수하는 원리 때문에 기공이 막히게 되면 원래의 성능에 미치지 못하던지, 다른 특성으로 변하게 된다. 페인트 칠에 의한 흡음을 변화를 분석하기 위한 시험은 페인트칠 전후의 제품을 각각 600 mm(가로) × 1200 mm(세로) × 10 mm(두께)의 크기로 15개를 제작하여 시험을 실시하였다.



Figure 1: Foamed Aluminum Process

(3) 시공 방법에 따른 흡음을 시험

시공 방법에 따른 흡음 특성을 측정하기 위하여 총 세 가지 조건의 시공 방법을 고려하였다. 발포 알루미늄이 실내 공간에 시공되는 방법은 크게 면에 붙여서 시공되는 방법과 흡음면적을 증대시키기 위해 면에 수직으로 시공되는 방법 및 면에서 분리되어 공중에 매달린 채 시공되는 방법이 있다. 이와 같은 시공 방법을 감안하여 시험실에서 시험편을 설치하는 방법을 각각 세 가지 방법으로 결정하였다. 면에 붙여서 시공되는 방법은 KS[8] 시험 방법과 같이 바닥면 위에 시험편을 설치하였으며, 면에 수직으로 시공되는 방법은 시험편을 수직으로 세워 우물정자(口)를 만들었으며, 공중에 매달린 시공방법은 시험편을 천장에 매달아 시공하였다.

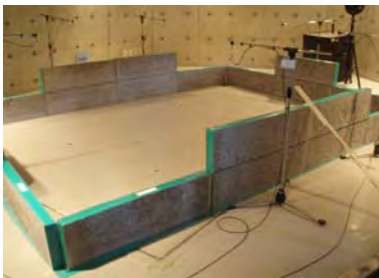
시험편은 300 mm(가로) × 1000 mm(세로) × 50 mm(두께)의 크기로 40개를 제작하였으며 시료사이에는 50mm 두께의 폴리에스테르 (밀도 40kg/m³)를 삽입하였다 표준 시험 방법은 시험편 면적으로 12㎡로 규정하고 있기 때문에, 바닥면에 설치하는 시험편은 면적을 12㎡로 유지하였으며, 바닥면에서 세우는 방법은 표준 방법에서 규정하지 않기 때문에 바닥에 사용하는 시험편과 동일한 수량으로 하여 시험을 실시하였으며, 이 때에는 흡음재의 면적이 24㎡로 되기 때문에 수량을 반으로 줄여 흡음재의 면적을 12㎡로 하는 방법도 시험을 실시하였다. 공중에 매다는 방법도 표준 방법에서 규정하지 않기 때문에 바닥에 사용하는 시험편과 동일한 흡음면적으로 갖도록 수량의 반을 사용하여 시험을 수행하였다. Figure 2는 발포알루미늄 흡음재의 흡음을 시험 장면을 보여주고 있다.



1 .Standard (Sound absorption area 12 m²) - Amount 40개



2 .□ Shape (Sound absorption area 24 m²) - Amount 40개



3 .□ Shape (Sound absorption area 12 m²) - Amount 20개



4 .Suspension (Sound absorption area 12 m²) - Amount 20개

Figure 2: Experiment scene of Foamed Aluminum

2.2 흡음율 시험 방법

흡음율 시험은 (재)한국조선해양기자재연구원에 위치한 잔향시험실에서 실시하였으며 Table 1은 잔향실의 규격을 나타낸 것이다.

Table 1: Standard of Reverberation Room

Volume	Apparent	Shape
220m ³	214.3m ²	Indeterminate form 7

흡음률 측정은 KS F 2805[8]와 ASTM C 423[9]에 의하여 산술평균 흡음율을 산출하였으며 흡음율 계산식은 식 (1)과 같다.

$$A_T = A_2 - A_1 = 55,3V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1) \quad (1)$$

시험에 사용된 측정기기는 Figure 3 같이 배열하였다.

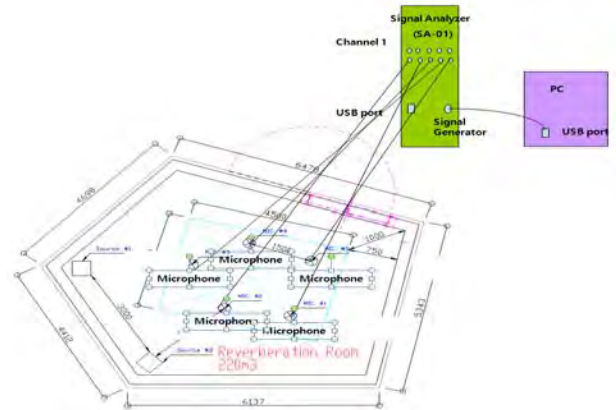


Figure 3: The measurement system

3. 실험결과

3.1 시료 채취 위치에 따른 흡음율

시료의 채취 위치에 따른 흡음율 시험은 각 유형별로 두 번씩 진행되었으며, 그 결과는 Figure 4 및 Table 2와 같다.

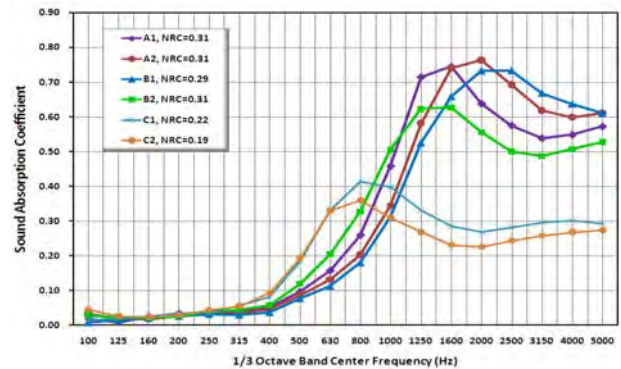


Figure 4: Sound absorption coefficients of the Foamed Aluminum on each position

Table 2: NRC depending on each position (Noise reduction coefficient)값

	UP		MIDDLE		DOWN	
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Sound absorption	10.8 m ²					
Amount	15					
NRC	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20

위의 결과를 보면 상층부와 중층부의 발포알루미늄 흡음율의 경우 800Hz 대역에서 상승하며 1600Hz에서 최대값을

나타내며 하층부의 경우 500Hz대역에서 상승하며 800Hz 대역에서 최대값을 나타낸다. 단일지수인 NRC(Noise reduction coefficient) 값을 보면 상층부 시료 A1과 A2의 경우는 0.30, 중층부 시료 B1과 B2도 0.30의 결과값을 보이고 있다. 그러나 하층부의 C1과 C2의 경우 NRC 0.2의 결과값을 보여 하층부의 결과가 다른 층에 비해 낮게 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 공정과정 중 압축으로 인해 하부층 공기층 크기가 작아져서 하층부의 흡음율이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

3.2 페인트칠에 따른 흡음을

발포알루미늄의 표면에 페인트 칠 후 흡음성능을 측정한 결과는 Figure 5 및 Table 3과 같다.

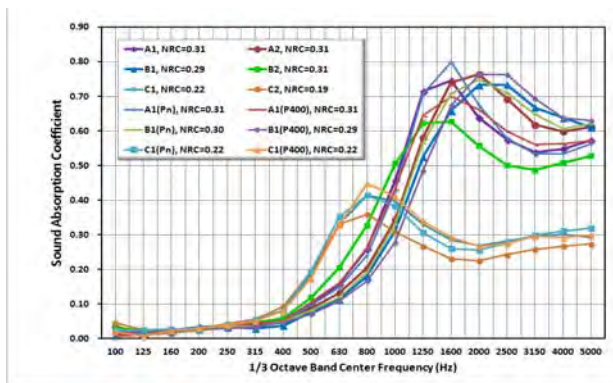
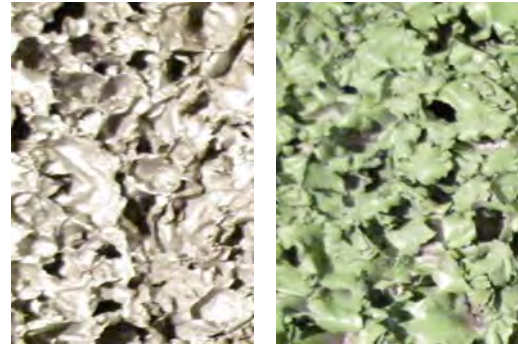


Figure 5: Comparison of sound absorption coefficients for painted Foamed Aluminum

Table 3: NRC on each position

	Before, After Paint								
	A1	B1	C1	A1	B1	C1	A1	B1	C1
	A2	B2	C2	Pn	Pn	Pn	P400	P400	P400
Area	10.8m ²								
Amount	15								
NRC	0.31	0.29	0.22	0.31	0.30	0.22	0.31	0.29	0.22
	0.31	0.31	0.19						

시험 결과 페인트 칠 전후 시편의 유형별 흡음률의 차이가 거의 없는 것을 알 수 있다. 일반적으로 다공성 흡음재의 표면에 페인트 칠과 같은 표면 마감을 할 경우 흡음능이 낮아지는 것이 일반적이지만, 발포알루미늄의 경우 차이가 없는 것으로 나타났다. 이에 따라 페인트 칠 전후의 표면 상태를 살펴보기 위해 표면을 확대하여 관찰하여 본 결과 Figure. 6와 같이 페인트 칠 전후의 표면 기공에 큰 차이가 없음을 알 수 있다.



(a) Before Paint (b) After Paint

Figure 6: Comparison of before and after paint

3.3 시공 방법에 따른 흡음을

시공 방법에 따른 흡음 특성은 Figure 7 및 Table 4와 같다.

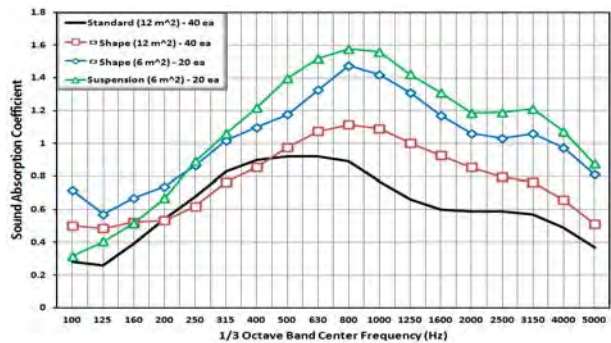
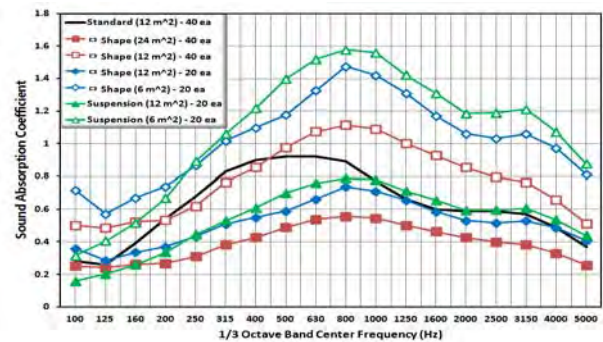


Figure 7: comparing sound absorption coefficients depending on each working method

Table 4: NRC depending on working method

	Stand ard	□ shape (Both sides)	□ shape Both sides)	Suspension Both sides))
Area	12m ²	24m ²	12m ²	6m ²
Amount	40	40	20	20
NRC	0.75	0.45	0.90	0.55
				1.15
				0.65
				1.25

KS[8] 표준 시험 방법(바닥에 설치)에 의한 NRC값이 0.75를 보이고 있으며, 우물정자 구조 및 공중부양 구조가 각각 0.45에서 1.25까지 큰 폭의 값을 보이고 있다. 동일한 구조에서도 흡음률 계산시 흡음면적의 차이에 따라 달라지기 때문에 흡음면적을 두 종류로 구분하여 계산을 실시하였다.

KS[8]에 의한 방법은 보이는 면적에 대한 부분을 흡음면적으로 산정하게 되어 있어 우물정자 구조 및 공중부양 구조는 표준시험에서 사용된 동일한 수량의 흡음재를 사용하더라도 흡음면적은 1/2이 되어 결국 흡음성능이 더 낮은 것으로 생각될 수 있다. 따라서 동일한 개수의 흡음재에 대해 동일한 흡음면적으로 산정하여 계산한 결과 흡음성능은 매우 우수하게 나타남을 알 수 있다. 이는 동일한 개수의 흡음재를 사용할 경우 바닥면에 설치하는 것에 비해 흡음성능이 높아져 더 적은 수량의 흡음재를 사용하더라도 동일한 흡음효과를 볼 수 있음을 보여주는 것이다.

우물정자 구조는 수량을 많이 사용한 구조(40개)가 오히려 흡음성능이 낮게 나오는데 이는 벽체에 세워 흡음재를 설치할 경우 흡음재의 높이에 따른 최적값이 있음을 보여주는 것으로 판단된다. 특히 우물정자 및 공중부양 구조에서 표준구조의 1/2 수량에 해당하는 흡음재만 사용하고도 흡음성능은 매우 높게 나타나고 있다. 적은 수량의 흡음재를 벽면에 세우거나 공중에 설치할 경우 소음이 많이 발생하는 곳에서 효과적으로 소음을 제어할 수 있다.

이상의 실험결과로부터 표준시험방법에 대한 문제점을 고려해 볼 수 있다. 동일한 개수의 흡음재를 사용하더라도 노출되는 면적의 크기에 따라 흡음면적을 산정하여 흡음율을 계산하기 때문에 흡음재를 세우거나 공중에 부양시킬 경우 흡음성능이 저하되는 것으로 오해될 수 있다. 양면 모두 흡음성능을 갖는 구조일 경우와 한 면만 흡음성능을 갖는 구조를 분리하여 성능을 평가할 수 있는 방법이 고려되어야 할 것이다.

4. 결론

본 연구는 재활용이 가능하고, 강도가 우수한 발포알루미늄 흡음재의 흡음 특성을 분석함으로써 적절한 제조 및 사용 방안을 제시하고자 하였다. 지금까지의 발포알루미늄 흡음재는 대체로 소음이 크게 발생하는 곳이나 실외 공간에 사용되어 왔으나 실내에서 공간음을 조절하기 위한 흡음재로 사용하기 위해서는 흡음특성 및 시공방법에 따른 흡음성능의 변화를 고려해야 하므로 시공방법을 고려하여 시험을 실시하였다.

KS F 2805 잔향실법 흡음률 측정 방법에 의해 발포알루미늄의 채취 위치에 따른 흡음률을 측정하였고, 그 결과를 토대로 흡음재를 구성하여 설치되는 방법, 면적을 계산하였다. 결과를 요약정리하면 다음과 같다.

1. 발포알루미늄의 큰 특징은 발포시키는 위치별로 발포율이 다르다. 위치별로 흡음률을 측정한 결과 상층, 중층부의 경우 평균 NRC 0.31을 보였지만, 하층부는 NRC 0.21로 낮은 흡음율을 나타냈다.
2. 발포알루미늄은 고주파수에서 높은 흡음율을 보이는 반면, 하층부에서는 상대적으로 고주파수의 흡음율이 낮게 나타났다. 따라서 발포층의 높이에 따라 기포의 크기 조절을 위한 추가 연구가 필요하다.
3. 발포알루미늄에 페인트를 칠한 경우, 흡음율에는 큰 변화가 없었으며, 기포의 크기에 영향을 받을 것으로 판단된다. 다만 페인트칠이 표면 기공을 덮게 될 경우에는 흡음율에 영향을 미칠 수 있으므로 그에 따른 시험 결과를 이용한다.
4. 양면이 흡음구조로 된 발포알루미늄 흡음재를 바닥에 설치하는 것보다 공중에 설치하거나 벽면에 세우는 방식으로 설치하는 것이 흡음률을 높일 수 있다.
5. 또한 성능 확인은 표준 흡음율 측정방식보다는 현장과 유사한 조건을 구성하여 측정하는 것이 정확하다.

References

- [1] S. W. Kim and H. K. Park, "Absorption characteristics of perforated environment friendly sound absorbing board using hwangto," KIEAE Journal, vol. 11, no. 1, pp. 3-8, 2011.
- [2] S. W. Seo, H. T. Yong, and D. H. Lee, "An experimental study on the absorption performance of steel - Wire sound absorbing materials," SAREK Journal, vol. 15, no. 5, pp. 413-421, 2003.
- [3] J. H. Lee, K. S. Yang, J. O. Yeon, and K. W. Kim, "A comparative study of the environmental performance on the acoustic absorber using recycled paper," The Annual Conference for AIK, vol. 31, no. 2, pp. 477-478, 2011.
- [4] H. J. Park, M. G. Jeong, S. Y. Shim, and J. Lee, "A study on the effect of acoustic properties on the absorption characteristics of polyester fiber materials," The Annual Conference for KSNVE, pp. 885-891, 2003.
- [5] W. H. Jeon, J. K. Lee, P. J. Chung, and J. H. Jeong, "A study on the noise reduction method with acoustic absorbing material and silencer for turbo chiller," The Annual Conference for SAREK, pp. 568-572, 2000.
- [6] J. S. Noh, K. B. Lee, and C. G. Lee, "Pressure loss and forced convective heat transfer in an annulus filled with aluminum foam," SAREK Journal, vol. 17, no. 9, pp. 885-892, 2005.
- [7] L. C. Wang and X. H. You, "Research on the pro-

ducing methods of aluminum foams - a new engineering material,” Proceedings of the International Conference on Advanced Manufacturing Technology, Science Press, New York Ltd, pp. 1149-1153, 1999.

- [8] KS F 2805 : Method for measurement of sound absorption coefficients in a reverberation room, 2009.
- [9] ASTM C 423 : Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method, 2002.