

발포알루미늄의 제조공정 및 흡음특성

(0)허보영*, 안효준*, 전성환*,
최대철*, 김상렬*, 허윤*

Acoustic Absorption Characteristic and Fabrication process of Foamed Aluminum

Hur, Bo-Young*. Ahn, Hyo-Jun*. Jeon, Sung-Hwan*.
Choi, Dae-Choul*. Kim, Sang-Youl*. Hur, Yoon*

Abstract

Porous structures of aluminum foam have been studied. The apparent foam shape, foam height, density, pore size, shape, and their distributions in various section areas of the experimental samples have been investigated. The samples have been cast into metallic mold, using aluminum foam prepared from a precursor based on pure Al ingot mixed with various amount of 1-2wt% increasing viscosity and foam agent materials.

The process provides for flexibility in design of foam structures via relatively easy control over the amount of hydrogen evolution and the drainage processes which occur during foam formation. This is facilitated by manipulating parameters such as the foaming agent, thermal histories during solidification and mix melt viscosities. The acoustical performance of the panel made with the foamed aluminum is considerably improved; its absorption coefficient shows NRC 0.6-0.8. It has been found that the Al foam is very preferable for the compactness of the thermal system.

Key words : Porous structure, Sound Absorption, Foam metal, Al foam, Viscosity,

*Division of Materials Eng. Gyeongsang Nat. Univ, Ultralight · Strength Metallic Foam Laboratory.
NRL, RECAPT, Chinju, 660-701, Korea

I. 서론

환경소음에 대한 대응으로서 다양한 방음재가 개발되고 있다. 기존 방음재로서 압면계통 소재는 여러 가지 장점이 있음에도 불구하고 인체에 유해한 분진 발생 등으로 인하여 사용이 금지 혹은 제한되고 있다. 대체소재로서 알루미늄 발포재는 충분한 가능성을 내포하고 있으므로 산업 전반에 걸쳐서 방음소재로서 광범위한 수요를 창출할 수 있을 것이다.^{1,4)}

금속 다공질 재료는 원래의 금속재료에 비하여 아주 가벼울 뿐만 아니라 에너지 흡수능력이 뛰어나고 열이나 전기 등의 전도성이 작고 액상이나 공기 등의 투과성이 양호하고 뛰어난 흡음 특성을 가지고 있다. 이런 우수한 제반 특성으로 금속의 다공질 재료는 충격 흡수제나 여과장치, 엔진의 머플러, 열교환기 등에 응용되며 응용분야는 점차 확대되는 추세에 있다.^{2),3)}

발포 금속은 형태에 따라 개기공형과 폐기공형, 으로 나눌수가 있는데, 초경량성과 높은 비탄성을 및 비강도, 압축하중에 대한 저항 특성을 이용하는 구조용재와 energy 흡수용 및 열확산성, 넓은 표면에 따른 우수한 열적 특성을 이용하는 열전달 매개용으로 구분할 수 있다. 폐기공 발포금속(closed cell)은 비탄성을 및 비강도가 우수하여 초경량 구조재의 적용을 목적으로 기공의 고른 분산과 크기 및 두께의 제어에 대한 연구가 진행중에 있으며, 개기공 발포금속(open cell)이라는 형태의 특성으로부터 열의 개체 및 filter재로도 연구되고 있다.^{8,12)}

지금까지의 발포알루미늄에서 기포의 균일성이나 기포크기의 제어에 대한 연구는 매우 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 발포재의 크기와 발포시간을 지연시켜 주조시의 전반적 응고시간을 균질화할 수 있도록 표면을 얇게 코팅하여 사용하였고, 중점재로서는 합금중점제를 사용하였으며 발포제 및 중점제의 양과 온도조건 등이 발포에 미치는 영향과 기포의 형성, 균일성에 대하여 조사 검토하였고 흡음특성에 대하여 조사 검토하였다.

II. 실험방법

발포금속제조 방법은 금속분말과 발포제를 혼합 성형 소결하는 분말야금법과 용융 금속에 적당한 점성과 표면장력 증진능을 부여한후 점증제와 발포제를 투입하여 잉고트형이나 연속주조판재의 스폰지형금속 다공질 고품체를 제조하는 주조법이 핵심사항으로서, 기능성 금속재료 분야에서 신소재 첨단 기술로 구조에의한 제진, 방음능과 기본소재의 점,탄성에의한 흡음, 방음, 차음, 재진, 내열, 단열성 등 고기능성, 고부가가치의 특징을 가지고 있고 적층 발포의 다공질 제조와 절단 기능성 부여 등의 내용으로 구성되어 있다.⁶⁾⁸⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾

II-1. 발포제 제조

본 연구에서 사용된 발포제는 공업용 스폰지 티타늄(러시아 경금속, 순도99.9%)을 사용하여 수화 처리한 후, 파쇄 및 분쇄하여 sieving 하고 이를 다시 산화성분위기에서 노출시켜 표면에 산화막이 형성되도록 하였다, 이렇게 제조한 발포제의 화학 성분은 표 1. 과 같다.

Table 1. Chemical composition of Metallic hydride materials. (wt%)

Ti	Fe	Cl	Mn	Mg	N	C	O
99.7	0.08	0.08	0.01	0.04	0.03	0.01	0.05

제조방법은 티타늄을 고압 Chamber에 장입하고, Ar가스로 Pouring 한 다음 약 390°C 의 활성온도 까지 가열한 후 로의 전원을 끈후 수소를 투입하였다.

티타늄의 수소화 처리 과정은 발열반응이므로 Chamber 의 온도는 약 800-900°C까지 올라가며, 온도가 최고 온도까지 올라가면 Chamber을 꺼내어 공냉시켰다.

공냉 후 약 300°C 까지 냉각하면 수소대신

아르곤을 취입하여 실온까지 냉각한 후 꺼내어 반응전후의 무게를 재었다. Chamber 안의 온도 변화는 X-Y기록계로 온도변화를 측정하였다.

II-2. 발포알루미늄의 제조⁹⁻¹²⁾

발포 알루미늄 제조는 알루미늄의 용탕에 적당한 점성을 부여하는 증점공정, 가스를 발생하는 발포제를 첨가하여 기포를 균일하게 분산시키는 교반 혼합공정, 기포를 발생시켜 용고를 하는 발포 공정 및 발포 알루미늄 주괴를 절단 가공하는 가공 공정으로 되어 있다.

증점공정은 알루미늄 용탕에 Ca를 첨가하여 점성을 증가시킨다. 일반적으로 칼슘을 첨가하게 되면 교반저항에 의해 용탕 전체의 유동이 불가능해진다.

Fig 1. 은 실험 장치의 모식도이다.

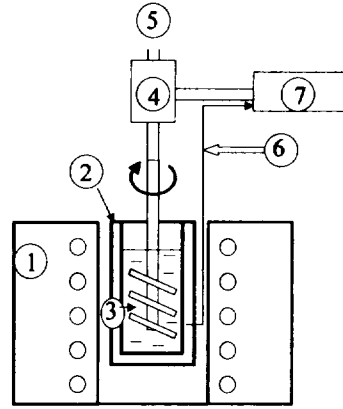
증점제 및 발포제 입자는 이 용탕 와류의 중심에 투입시킨다. 이 때 Torque meter로 회전수를 측정하고 동시에 광고온계를 측정하여 기록 하였다.

II-3. 물성측정 및 분석

발포 알루미늄의 물성을 측정하기 위하여 우선 발포 알루미늄의 밀도를 구하고 아래의 식으로 기포율을 구하였다.

$$\epsilon(\%) = \frac{[\rho_{Al}(1-C) + \rho_{Al}C - \rho_F]}{[\rho_{Al}(1-C) + \rho_{Al}] \times 100}$$

발포체의 기포율(ϵ)은 용탕의 산화에 의한 비중 변화를 고찰하지 않으면 안되지만 편의상 발포 알루미늄 비중(ρ_F), 순알루미늄 비중($\rho_{Al}=2.7$) 및 발포체의 비중($\rho_A=4.5:TiH_2$), 첨가량 C(증점제 : Ca의량)에서 산출하였다.



- 1: Electric furnace
- 2: Graphic crucible
- 3: Impellers
- 4: Torque meter
- 5: Motor
- 6: Thermocouple
- 7: Recorder

Fig 1. Schematic drawing of experiment apparatus.

발포 알루미늄의 표면상태 분석을 위해서 칼라 영상현미경을 사용 하였다.

방음성능 평가는 발포 알루미늄의 흡음특성을 규명하기 위하여 임피던스관을 통하여 시편의 제조 형태에 따른 수직입사 흡음율을 정하였으며, 측정 결과의 분석 및 성능개선을 위하여 흡음성의 기본자인 유동저항을 측정하였다. 한편 차음특성은 방음벽으로 개발된 복합판(발포알루미늄 + 벌집구조(honeycomb)판)에 대해서 조사하였으며 차음특성을 개선하기 위한 연구는 계속적으로 수행할 것이다. 본 평가에 사용된 관련 기준은 소음/진동 공정 시험방법-철도소음 시험방법이다. 측정 및 평가는 다음과 같이 수행하였다.

(1) 샘플주기를 1초내외로 결정하고 1시간 동안 연속 측정하여 자동연사/기록한 등가소음도를 그 지점의 측정소음도로 하며, 소수점 첫째자리에서 반올림한다.

압소음과 철도의 최고소음의 차이가 10dB(A) 이하인 경우 등 압소음이 상당히 크다고 판단되는 경우에는 다음과 같이 철도소음을 측정, 평가 하여 소수점 첫째자리에서 반올림한다.

$$L_{eq(1hour)} = L_{max} + 10 \log(N) - 32.6dB(A)$$

여기서

$$L_{max} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{max,i}} \right]$$

이며 N는 1 시간동안의 열차 통행량(왕복대수), Lmax, i = i 번째 열차의 최고소음도(dB(A))를 나타낸다.^{3,7)}

III. 결과 및 고찰

용융 Al에 점증제를 첨가하여 발포제를 투입하여 발포시킨 발포알루미늄을 화상해석처리장치를 이용하여 촬영한 사진은 Fig 2, 4이며 Fig 2는 발포제 첨가량을 변화시켜 발포형상을 촬영한 사진이며, Fig 4는 용해온도를 변화시켜 발포형상을 촬영한 사진이다.

III-1. 발포제 첨가량에 따른 발포형상

용탕의 교반저항은 시간에 따라 증가하고 첨가량이 많아지면 빠르게된다. 알루미늄용탕이 교반에 의해 점도가 증가하는 것은 용탕표면에 생성된 산화물이 교반에 의해 용탕내에 혼입되어 분산시키기 때문이다. 미립자를 단시간 내에 용탕중에 분산시키는 것이 커다란 장점이다. 이 증가시간의 단축에 의해 고가의 발포제의 저감은 커다란 경제적 이익을 생성한다.¹²⁾

· 적당량의 증점제첨가후 증점시간을 변화시킨 것은 증점시간이 지날수록 점성이 증가하여 발포알루미늄의 기포율이 점점 높아져 교반시간이 4분 정도 되었을 때 균일하게 충분히 발포되었다. 용탕의 용해온도에 따라 점성의 차이를 보이나, 용탕의 용해온도가 낮을 때 증점교반시간은 그만큼 짧아진다.

Fig 4.을 정량적으로 분석한 결과를 기공율과 발포제의 량과의 관계를 도식화한 것이 Fig 3. 이다.

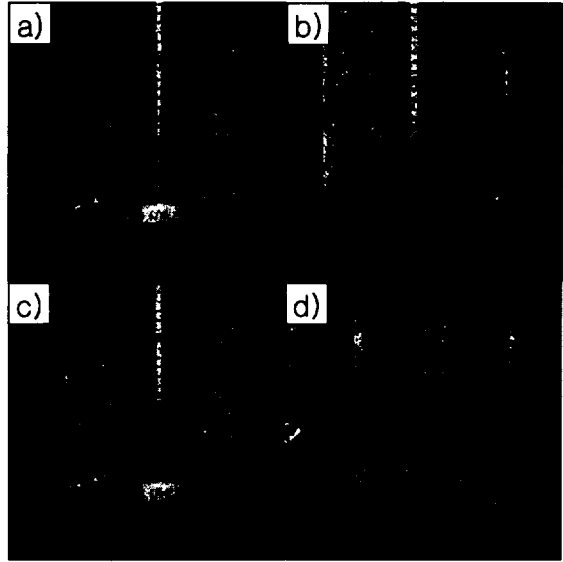


Fig 2. Macrostructure of Variation amount of foam agent.

a) 1wt% b)1.5wt% c)2wt% d) 3wt%

전체적으로 증점제량(Ca 1.5w%)에서 1.5w% -2.0w%의 발포제에서 기공 size의 균질성이 이루어졌다.

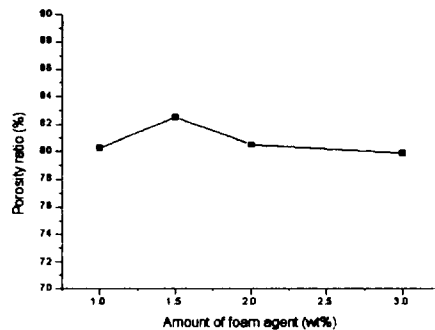


Fig 3. The relation of porosity ratio and amounts of foam agent.

III-2. 용해온도에 따른 발포형상

Fig 4.를 정량화한 것을 기공율과 용해온도의 관계를 도식화 한 것이 Fig 5 이다.

a)와 c)는 전체적으로 산화가 심하게 조장되었고 교반이 제대로 이루어지지 않은 것으로 보이지만 데 또한 시편아래와 위쪽의 발포재가 반응하고 나서 생긴 자리에 다시 발포재가 반응하면서 국부적으로 조대한 기공 크기가 나타났다.⁹⁻¹²⁾

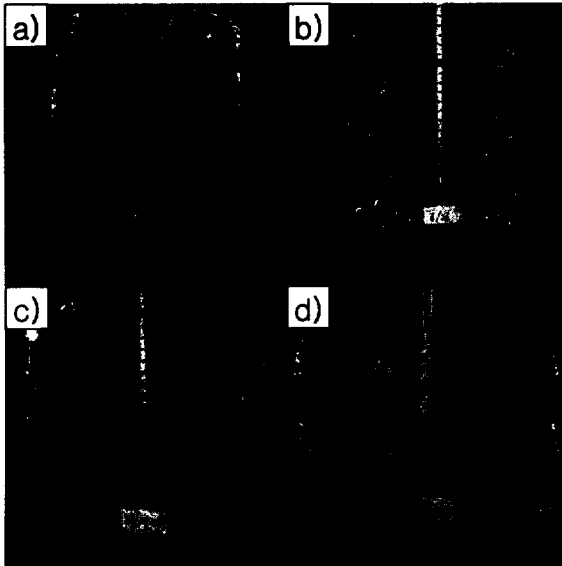


Fig 4. Macrostructure of Variation of melting temperature.

a) 682°C b) 695°C c) 704°C d) 707°C

위 결과들을 분석해보면 보온시간이 너무 낮으면 발포재가 충분히 반응할 시간적 여유를 주지 못하기 때문에 발포높이가 낮아지고 기포율도 낮아진다.

용해온도는 발포재 점중계 첨가시 교반속도 점도와 관련되고 교반속도에 영향을 미치는 것으로 파악 된다. 본 연구에서 실험결과로서

700-710°C 사이가 가장 적당한 것으로 나왔고 이 결과는 용해온도가 너무 낮으면 발포높이가 적게 나왔고 용해온도가 너무 높으면 국부적으로 조대한크기의기공이 생성되었다

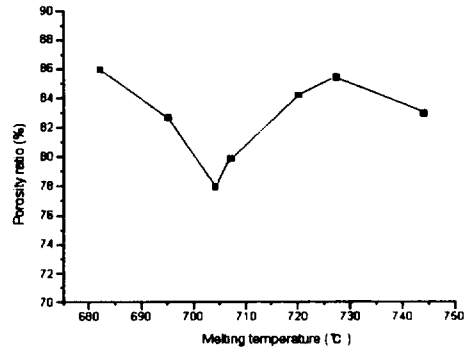


Fig 5. The relation of porosity ratio and melting temperature

III-3. 방음성능평가⁶⁾

등가소음의 레벨차이와 삽입손실은 다음식과 같이 계산되었으며 관련 기준은 ISO 10847 (1997-08-01) : In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types를 적용하였다.

방음벽 설치 후 등가소음 레벨차 : $L_{before} = L_{ref, before} - L_{r, before}$

방음벽 설치 후 등가소음 레벨차 : $L_{after} = L_{ref, after} - L_{r, after}$

삽입손실 $DIL = L_{after} - L_{before}$

여기서 아래첨자 ref 는 철로의 측정지점을, 아래첨자 r은 APT 의 측정지점을 나타내며 before 와 after 는 방음벽 설치 전/후를 각각 나타낸다.

방음성능은 삽입손실을 기준으로 최대 15dB(A), 최소 5dB(A) 정도의 개선효과를 보았다.

방음벽으로서 흡음재의 틀 또는 공기층을 얻는

것은 가격 상승으로 연결된다. 따라서 직접 강벽에 밀착하는 것에 의해 큰 가격 절감이 된다. 따라서 하트형이 되게 함으로써 취급하기가 간단하며, 더우기 흡음효과가 같은 50mm의 공기벽 보다도 향상한다는 것을 알았다. 흡음특성은 Fig 6 . 에 나타나 있다.

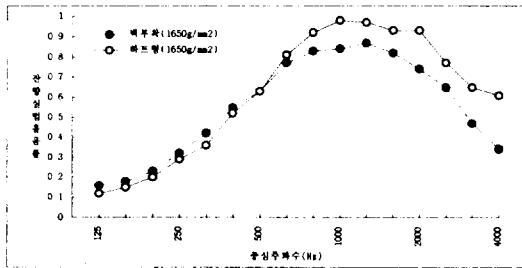


Fig 6 . Absorption Characteristics
(배후공기층 50mm)

III-4. 발포알루미늄 흡음특성⁶⁾

발포알루미늄을 기본재로 복합판을 만들었으며 Fig 7.의잔향실법 흡음률 측정결과를 보면 알루미늄 판인 경우 NRC(Noise Reduction Coefficient) 0.4에서부터 양면 발포알루미늄판은 NRC 0.8까지 비교적 폭넓은 흡음계수를 보이고 있다.

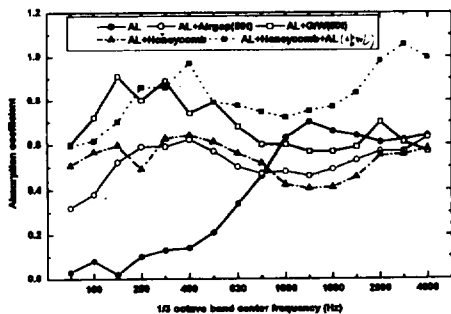


Fig 7. Variation of random incidence absorption with various panel configuration based on the foamed Al.

III-5. 발포알루미늄을 이용한 복합판의 차음특성⁶⁾

Fig 8. 은 단면 및 양면 흡음판에 대한 차음성능 측정결과이다. 두판모두 넓은 주파수 대역(200-1600Hz)에서 차음성능이 주파수에 따른 증가 없이 비슷한 값을 보이고 있다. STC(Sound Transmission Class)값으로서는 단면인 경우 STC 24, 양면인 경우 STC 30이 되고 있다. 두 개의 임계주파수 차이가 크지 않기 때문에 나타나는 현상으로 추정된다. 판의 전체 두께가 50mm 이상이 되므로 굽힘강성은 증가하게 되므로 임계 주파수는 비교적 중/저 주파수 대역에서 발생하게 된다. 양면판의 경우 단면판 보다 약 6dB 이상 차음성능이 높게 나타내며 이것은 면밀도 증가의 영향이다.

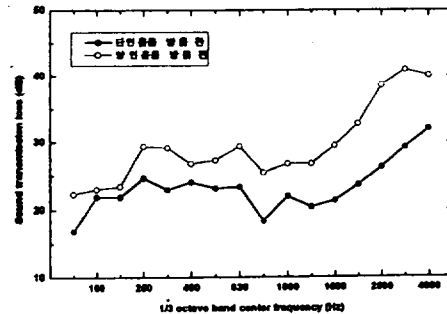


Fig 8. Comparison of the measured TL for the single and double sided absorptive panels.

IV. 결론

.발포제의 표면조건을변화시키면서 발포알루미늄을제조하였을때의 연구를통하여 얻은 중요한 결론은 다음과 같다

- 1.발포제량에 따른 발포알루미늄의 변화는 1.5w%-2w%에서 균일한 기공 사이즈를 나타내었다.
- 2.보온로에서 보온 시간에 따른 발포알루미늄의 변화는 2min에서 균일한 기공 크기와 상대적인 발포높이(최대팽창에의한 발포높이)에서 제일 높았다.
- 3.용해온도에 따른 발포알루미늄의 변화는 700°C-710°C에서 균일한 기공크기를 나타내었다.
4. 발포알루미늄을 기본재로 복합판을 만들었을 때 잔향실법 흡음률 측정결과를 보면 알루미늄 판인 경우 NRC(Noise Reduction Coefficient) 0.4에서부터 양면 발포알루미늄판은 NRC 0.8까지 비교적 폭넓은 흡음계수를 보이고 있다.
5. 단면 및 양면 흡음판에 대한 차음성능 측정결과 단면인 경우 STC 24, 양면인 경우 STC 30이 되고 있다. 양면판의 경우 단면판 보다 약 6dB이상 차음성능이 높게 나타내며 이것은 면밀도 증가의 영향이다.

V. 참고 문헌

- 1.김세광 · 홍태환 · 조순형 · 김영직, 발포금속의 현재와 미래
주조 18권 제5호, 1998. 10 P419~425
- 2.이정무 · 강석봉, 다공질 알루미늄 합금재의 개발동향
기계와 재료 7권 2호,1995 P68~80
- 3.C. P Chen,R. S. Lakes, Design of Viscoelastic Impact Absorbers Solids Structure Vol 26, no.12 1990 P 1313~1328
- 4.J.A.Patterm : US Patent 4099961(1978)

- 5.Han Fusheng · Zhu Zhengang · Liu Changson , Examination of Acoustic Absorption Characteristics of Foamed Aluminum
ACUSTICA · acta acustica Vol.84 1998 P573~576
6. 강현주,김재승,김현실,김상렬,박규철; 발포금속을 이용한 흡/차음재의 응용제품개발,연구보고서 p13
- 7.,강병하,김서영,이대영,현재민,김원년;다공성물질용 이용한 전열촉진기술개발,p40
8. 허보영외, 무전해 니켈 전극제조 방법 - 1997. 특허 제4135호-
9. 허보영외, 발포 알루미늄 금속 고형체의 제조방법 - 1995. 특허 제 7850호-
10. 허보영외, 섬유사가 결합된 알루미늄 흡음 패널 및 그 제조 방법 - 1998. 특허출원제20351호-
11. 허보영외, 소음방지용 발포 알루미늄 패널 - 1998. 특허출원 제20352호-
12. 허보영외, 알루미늄 발포금속의 주조 및 흡음특성, 금속용고가공기술 심포지엄(2000), p87~93
13. Banhart J., J. Baumeister, M. Weber, Aluminium 70 (1994), 209-213
14. Chester P. Jarema, Leonard M. Niebylski; Plastic Coated Metallic Foams, Patent US 3 839 080 (1974)