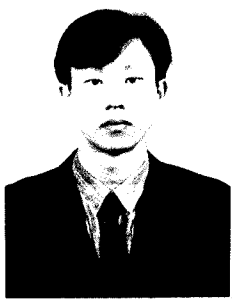


# 다공질 알루미늄 합금재의 개발 동향



**이 정 무**  
(KIMM, 재료기술연구부)

- '85. 3-'89. 2 서울대학교 금속공학과(학사)
- '89. 3-'91. 2 서울대학교 금속공학과(석사)
- '91. 2-현재 한국기계연구원 연구원



**강 석 봉**  
(KIMM, 재료기술연구부)

- '72. 2 서울대학교 금속공학과(학사)
- '74. 7-'79. 2 동국제강, 삼미종합특수강, 한국중공업 근무
- '79. 3-'81. 2 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '82. 9-'86. 8 한국과학기술원 재료공학과(박사)
- '80. 12-현재 한국기계연구원 책임연구원

## 1. 머릿말

인간은 하중을 많이 받는 구조물을 만들 때 주로 치밀한 구조를 갖는 재료-철강, 콘크리트, 유리 등-를 사용한다. 반면 자연은 세포상의 조직을 가진 다공질 재료인 나무, 골질 등을 사용하여 왔다. 자연계의 이러한 특성은 다공질 재료가 주어진 환경에서 강도, 무게, 비강도 등을 동시에 최적화 시킬 수 있기 때문에 다공질 재료는 자연계에서 I-Beam과 같은 역할을 한다.

인간이 만든 세포상 조직의 다공질 재료도 많이 있는데 이들은 주로 유기 고분자 재료이며 기능은 쿠션, 포장, 절연 등이었다.

지난 수십년 동안 금속으로 제조한 다공질 재료(40%~98%까지의 높은 기공도를 갖는 재료)가 개발되어 왔고 새로운 산업 재료로서의 사용이 늘어나고 있다. 금속 다공질 재료는 원래의 금속 재료에 비하여 아주 가벼울 뿐만아니라 에너지 흡수능력이 뛰어나고 열이나 전기등의 전도성이 작고 액상이나 공기 등의 투과성이 양호하고 뛰어난 흡음 특성을 가지고 있다. 이런 우수한 제반 특성으로 금속의 다공질 재료는 충격 흡수제나 여과 장치, 엔진의 머플러, 열교환기 등에 응용되며 응용분야는 점차 확대되는 추세에 있다.

금속의 다공질 재료 중 다공질 알루미늄 재료도 여러가지 용도로 사용된다. 다공질 알루미늄 재료는 금속 다공질 재료가 가진 일반적인 특성을 보유하고 있으며, 이와 더불어 경량으로 유기 고분자 재료로 제조된 다공질재와 비교하여 고온에서의 사용이 가능하며 재활용이 가능하여 환경문제를 줄일 수 있는 장점이 있다.

본 고에서는 금속의 다공질 재료 중에서 알루미늄

미늄 합금으로 제조된 다공질 재료를 중심으로 여러가지 다양한 제조 방법을 소개하고 이들의 특성과 용도 등을 살펴보고자 한다.

## 2. 제조방법

금속으로 다공질재를 제조하는데는 여러가지 가능한 방법이 있다. 금속이 다공질재에 응용된 초기에는, 플라스틱을 제조하는 것과 비슷하게 증점제인 가스를 공급하여 발포시켜 제조하는 기술이 주로 사용되었다. 다른 방법으로는 그물형상의 우레탄 기판에 금속을 증착시키는 방법이 있고[1], 분말을 소결하여 제조하는 방법도 있다. 최근에는 Sputtering으로 제조하는 방법도 개발되

었다[2].

현재 일본과 구미 각 국에서는 금속의 다공질 재료를 여러가지 공정으로 제조하여 양산 중이며 개발중인 공정도 있는데, 이를 표1에 요약하여 나타내었다. 여기서는 일괄처리 주조법과 반연속 주조법, 분말 제조법에 대하여 알아보겠다.

### 2.1 일괄처리주조법(Batch Casting Process)

#### (1) 제조공정

이 제조법은 일본의 Shinko Wire Co.에서 Alporas라는 상품명으로 제품을 양산하는 제조방법으로 개략적인 제조공정은 그림 1과 같다.

표 1. 다공질 재료를 제조하는 업체와 제조 공정

Company	Process	Composition	Remarks
Shinko Wire Co.(Japan)	Batch casting	Al	Production
Alcan Int. Ltd.(Canada)	Semi-continuous casting	Al w particles	
ERG Inc.(USA)	Directional solidification	Al	
Hogan Industries(USA)	Fine power, sinter	Cu, Ni	
Norsk Hydro(Norway)	Semi-continuous casting	Al w particles	Developmental
Fraunhofer Institute(Germany)	P/M hydries	Al	
Fraunhofer Institute(Germany)	Electrodeposition	Zn	
Austrian Metal AG(Austria)	P/M hydries	Al	
Georgia IT(USA)	Oxide reduction	Ni	
Lawrence Livermore(USA)	P/M hydries	Be-Li	
Academy of Science(Ukraine)	Sintered powder	Ti-Mo	
DMI(Ukraine)	Directional solidification	Al	

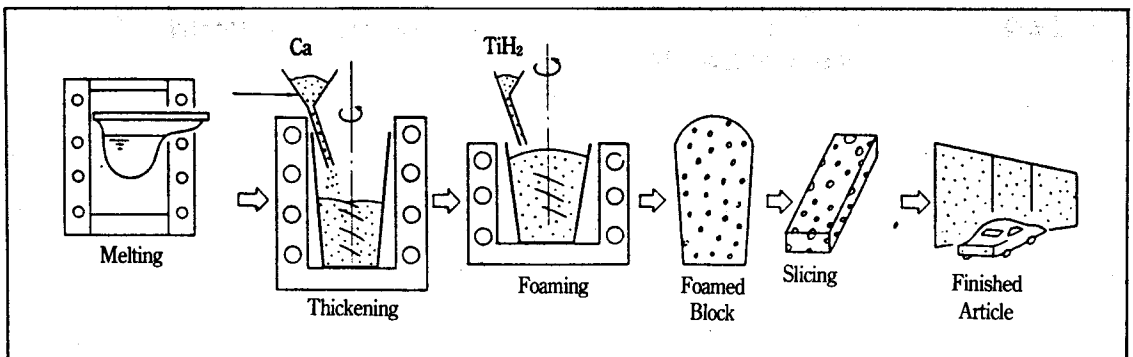


그림 1. 일괄처리주조법의 개략도

알루미늄 합금을 용해한 후 용탕의 점성을 향상시키는 Ca 등의 증점제를 혼합하여 교반시켜 용탕에 적당한 점성을 부여한다. 이런 후  $TiH_2$  등의 발포제를 투입하여 교반한 후 발포시켜 응고, 냉각시키고 용도에 맞게 절단하여 가공한다.

일괄처리 주조법에서는 발포제로 공급한 가스를 기포 상태로 용탕중에 머무르게 해야 하는데, 용융 알루미늄은 물과 비슷한 정도의 점성 밖에 없기 때문에, 용탕에 적절한 점성을 부여하는 증점성 공정이 중요하다. 또한 균일한 다공질재를 얻기 위하여, 알루미늄 용탕내에 가스를 공급하는 발포제를 고속으로 균일하게 분산시켜 주는 혼합 교반 공정이 중요하다.

(2) 증점법

용융 알루미늄의 증점은 공기를 불어 넣는 것으로도 가능하지만, Ca 등을 첨가하면 단시간 내에 필요한 점성을 얻을 수 있다. 용탕의 점성이 낮으면 발포제에서 발생하는 가스가 기포의 형태로 용탕내에 머무르지 않게 되며, 이와 반대로 점성이 높으면 발포제가 용탕에 균일하게 분산되지 않으므로 균일하게 발포가 이루어지지 않는다. 따라서 용융 알루미늄을 균일하게 발포시키는 최적 점성의 범위가 존재한다[3].

알루미늄 용탕에서 증점률(증점 전후의 교반 torque비)과 밀도와와의 관계를 그림 2에 나타내었다. Ca를 첨가하여 용탕을 증점하고 발포제로는  $TiH_2$ , S(Shirasu), SB(Shirasuballoon)\*를 사용한 것으로 발포제의 종류에 따른 밀도의 감소율은 다르지만 어느 경우에도 증점률  $K=4$ 일 때 밀도가 최소가 된다.

(3) 발포제

알루미늄용 발포제는 열분해로 가스를 발생시켜야 하며 이 때 열분해온도는 알루미늄의 용점에 가까운 것이어야 한다. 이런 조건을 만족시키는 것으로 널리 사용되는 것이  $TiH_2$ 나  $ZrH_2$ 등이며  $TiH_2$ 는 약  $500^\circ C$ 에서  $H_2$ 를 분해하여 발생시킨다.

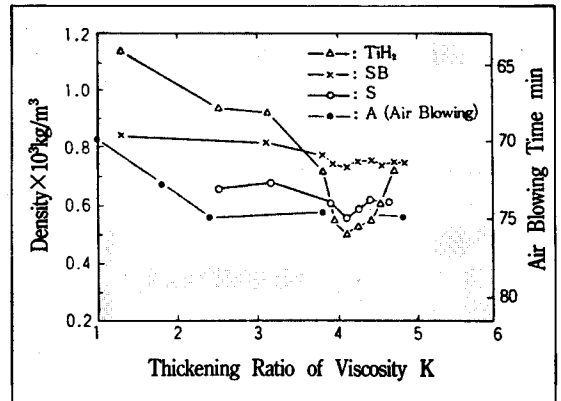


그림 2. 일괄처리 주조법으로 제조한 다공질 알루미늄재의 밀도와 증점률의 관계

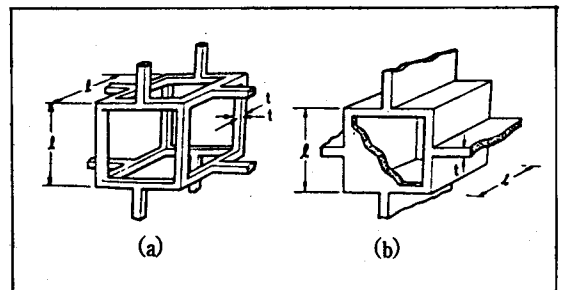


그림 3. 개포형 기공 (a)과 폐포형 기공(b)

최근 경제적인 면에서 천연 화산재가 사용되기도 한다[4].

(4) 기타

일괄처리 주조법으로 제조할 수 있는 제품의 밀도나 기공 크기는 제한되어 있으며[5] 구조재로 사용되는 것은 내부 조직이 폐포형이고, 방음용으로 사용되는 것은 개포형\*\*이다.

2.2. 반연속 주조법

(1) 제조방법

이 제조 방법은 세라믹 입자인  $SiC$ 나  $MgO$  등을

\* Shirasu는 일본의 남 규슈지방에서 산출되는 화산재이며, Shirasuballoon은 Shirasu를 약  $1000^\circ C$ 까지 급속가열할 때 얻어지는데 비중이 0.3~0.5이며 가운데가 비어 있는 미세한 유리 구슬이다.

\*\* 폐포형(close-cell)은 기공을 둘러싸고 있는 세포면이 비누거품처럼 판으로 이루어져 있으며, 개포형(open-cell)은 스폰지와 같이 세포의 모서리가 막대형으로 이루어져 있다(그림 3).

함유한 알루미늄 기지 복합재료의 용탕에 가스를 불어 넣어 다공질 재를 제조하는 방법으로, 세라믹 입자는 용탕의 표면에 생성된 액상 발포체의 기공을 안정화시켜주는 역할을 한다[6].

그림 4는 반연속주조법을 개략적으로 나타낸 것이다. 고상 안정화제인 입자가 미세하게 분산된 알루미늄 기지 복합재료를 용융온도 이상으로 가열하여 용해한다. Injection shaft를 회전시키며 압축 공기를 용탕에 불어 넣어 기포를 생성시키는데, 기포가 용탕에서 떠오르며 표면에 용융 발포체를 형성하게 된다. 이 발포체가 belt를 따라 이동하여 응고하면서 폐포형의 다공질재를 형성하게 된다.

(2) 입자의 첨가

이 제조 공정에서 중요한 것은 고상 안정화제로 첨가되는 미세한 입자의 양과 성질이다. 용탕내에서 첨가된 입자의 고유 형태를 유지하는 입자도 사용가능하며, 용탕내에서 분리되어 크기는 작아 지지만 화학 반응을 하지 않아 입자의 고유한 특성을 유지할 수 있는 입자도 사용 가능하다. 적당한 입자로는  $Al_2O_3$ ,  $TiB_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $SiC$ ,  $Si_3N_4$  등이 있으며, 입자의 부피 분율은 25%를 넘어서는 안 되는데 5~15%가 적당하다. 또한 입자의 크기도 중요한데 입자의 크기가 너무 작으면 혼합이 어렵고 너무 크면 입자를 정착시키는데 문제가 있다.

적당한 입자는 그 크기가 1~20 $\mu m$  범위에 들어 가는 것들이다.

(3) 가스주입

증점제로 사용되는 기체에는 공기,  $CaO_2$ , 산소, 불활성 기체 등이 있으며, 가스 주입 속도를 조절하거나 impeller의 형상이나 회전 속도를 변화시켜 다공질재의 세포상 조직 크기를 조절할 수 있다.

(4) 기타

반연속 주조법으로는 0.1~0.5g/cm<sup>3</sup>의 밀도를 갖는 재료를 제조할 수 있으며, 현재 Alcan에서 생산할 수 있는 최대 크기는 3×0.75mm이다. 이 공정으로 다공질 알루미늄재를 제조하는데는 동일한 무게의 bulk재를 제조하는데 비하여 두배 정도의 비용이 든다[5].

2.3 분말 야금법

원하는 분말 합금에  $TiH_2$  등의 발포제를 혼합하여 냉간이나 열간으로 예비 성형한 후 압연이나 압출한다. 이 반가공재를 die에서 용융 온도 부근까지 가열한다. 이 때 발포제에서 수소가 분해되어 나오며 기공을 생성해 준다(그림 5). 제품의 밀도는 발생하는 수소에 따라 달라지므로, 분말 합금과 발포제를 혼합할 때 발포제의 양을 조절

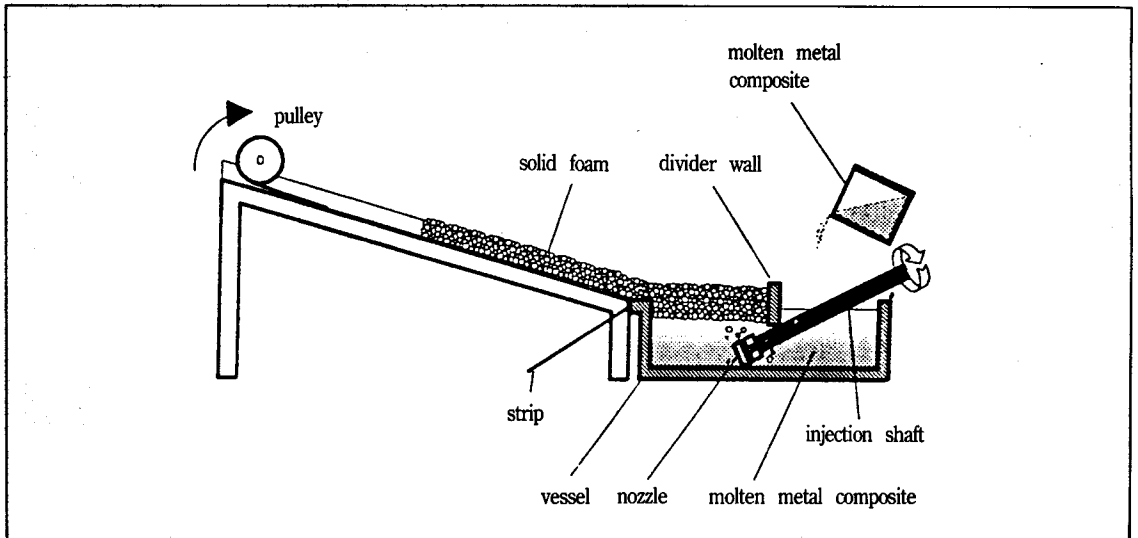


그림 4. 반연속주조법의 개략도

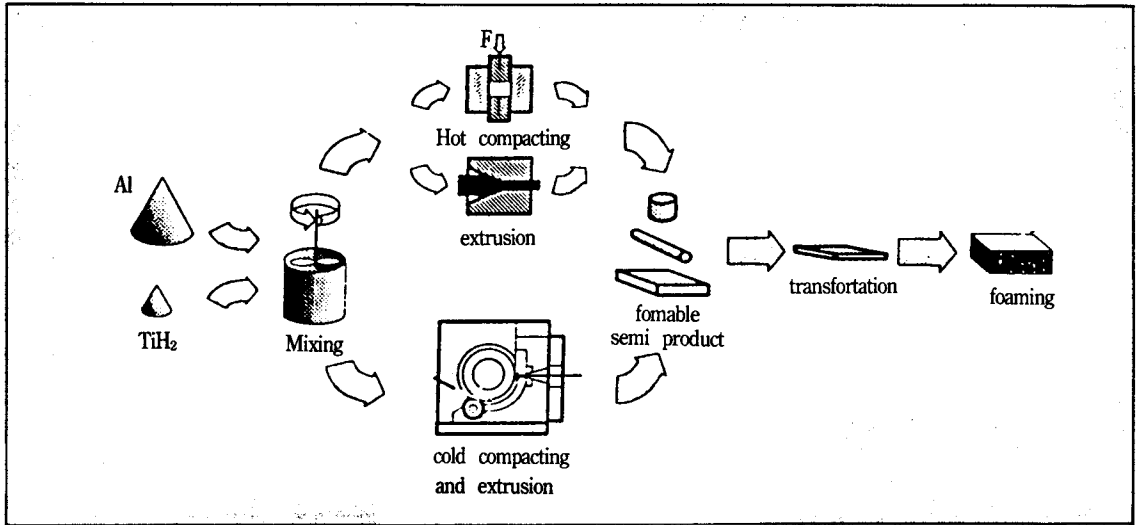


그림 5. 분말야금법의 개략도

하여 밀도를 조절할 수 있다.

이 공정으로 다공질 알루미늄재를 제조하는데는 동일한 무게의 bulk재를 제조하는데 비하여 5~8배 정도의 많은 비용이 든다. 그러나 분말 야금법은 다른 공정에 비하여 합금 조성 선택의 폭이 넓은 장점을 가지고 있는데, 다공질재의 강도는 합금 조성에 따라 상당히 달라진다. 또다른 장점은 복잡한 3차원의 형상을 바로 제조할 수 있다는 것이다.

### 3. 특성

다공질 재료의 특성은 다공질 재료내에 분포하는 기공의 특성에 따라 상당히 달라진다. 이러한 특성으로는 기공의 종류, 형상, 크기, 부피분율, 분포의 균일성 등이 있으며 이들은 제조공정 변수에 따라 달라지며 이에 따라 재료의 특성이 결정된다.

#### 3.1 기계적 특성

다공질 재료의 기계적 특성은 밀도에 큰 영향을 받는다. 이와 더불어 기공의 크기, 구조, 분포 등도 기계적 성질에 영향을 미치는 변수이다. 일반적으로 밀도와 강도 사이에는 이의 관계를 잘 설명할 수 있는 식이 있는데 Gibson과 Ashby는 이의 관계를 다음과 같이 나타내었다[7].

$$\frac{\sigma_{\text{foam}}}{\sigma_{\text{parent solid}}} = C \left[ \frac{\rho_{\text{foam}}}{\rho_{\text{parent solid}}} \right]^x \quad (1)$$

여기서  $\sigma$ 는 강도,  $\rho$ 는 밀도이며 첨자 foam과 parent solid는 각각 다공질재와 원재료를 의미한다. 그리고 C는 상수로서 개포형 유기고분자재료나 연결 금속으로 만든 다공질재에서는 그 값이 실험적으로 0.3이고 지수 x는 이론적으로 1.5임이 밝혀졌다. 반연속구조법으로 제조한 Alcan사의 다공질 알루미늄재도 위 식의 거동을 잘 따르고 있는데 (그림6)이 재료에서는 C=0.7, x=1.9의 값을 나타내었다.

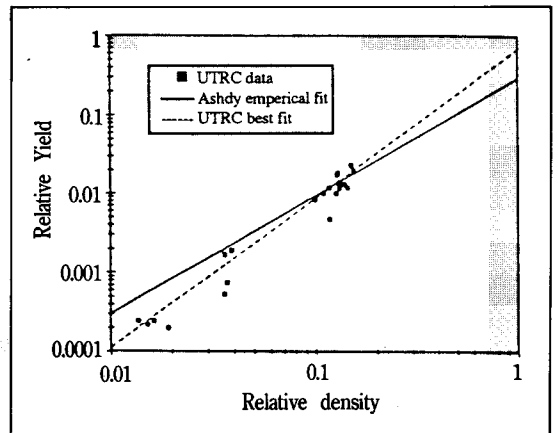


그림 6. 식 (1)에 따른 상대 강도와 상대 밀도의 관계

일괄 처리 공정으로 제조한 다공질 알루미늄제의 전형적인 유동응력 곡선을 그림 7에 나타내었다. 밀도에 따른 유동 응력, 상부항복점, 하부항복점의 변화를 그림 8~9에 나타내었다. 밀도에 따라 강도는 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 여기서 특이한 것은 bulk재에서는 Al 7075 합금이 Al-7%Mg 합금보다 훨씬 강하지만 다공

질재로 제조하였을 때는 Al-7%Mg합금의 강도가 더 강하다는 것이다. 이는 국부적인 파괴가 일어날 때 파괴 형태가 서로 다르기 때문이다[8].

다공질 알루미늄제를 하중을 많이 받는 분야에 적용하기에는 충분한 강도를 갖지 못하는 경우가 많다. 따라서 강도를 향상시키기 위한 여러 방안이 모색되었다. 다공질재를 제조시 첨가하는 증점제

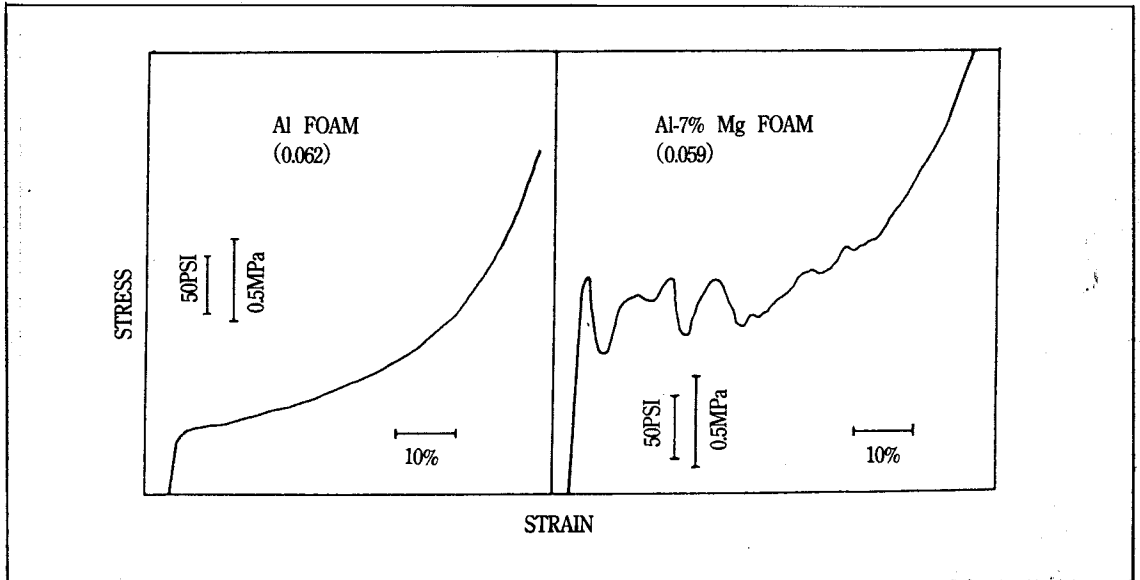


그림 7. 순 알루미늄과 Al-7%Mg합금 다공질재의 유동 응력 곡선

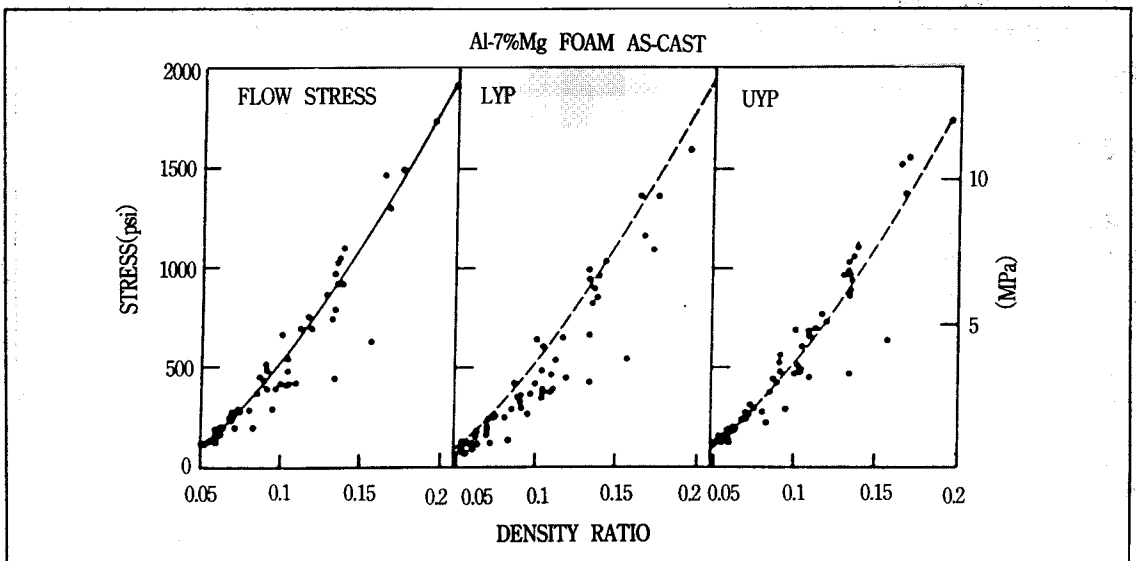


그림 8. Al-7%Mg합금 다공질재에서 밀도에 따른 유동 응력 및 상부항복점, 하부항복점 변화

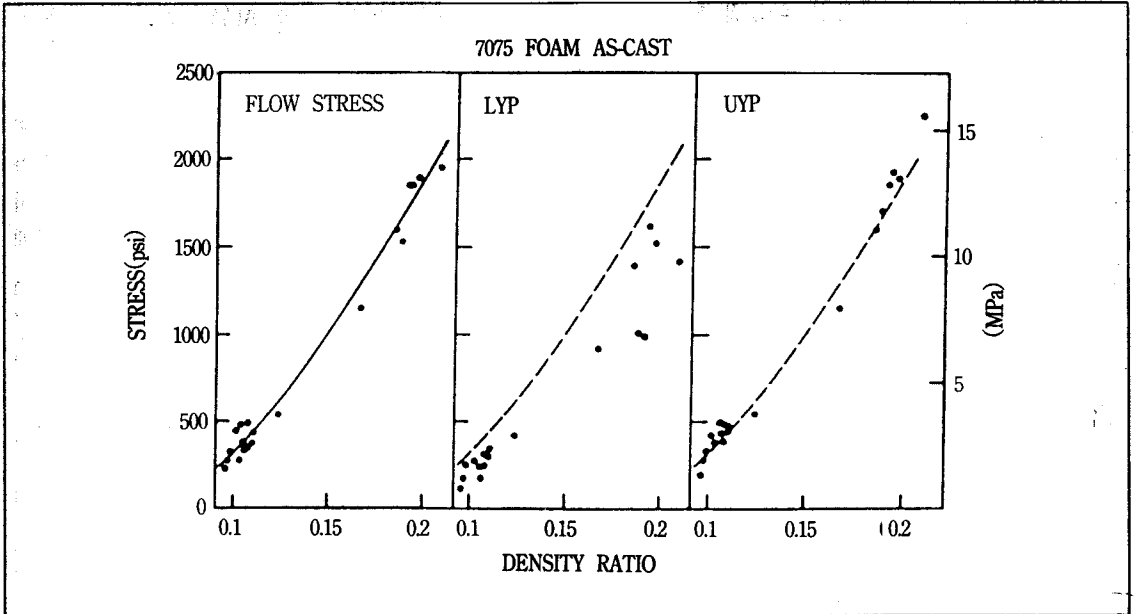


그림 9. Al 7075합금 다공질재에서 밀도에 따른 유동 응력 및 상부항복점, 하부항복점 변화

중 산소를 함유한 증점제는 산화금속을 생성하여 강도 향상에 기여하기도 한다[9]. Cu, Mg, Zn, Si 등의 미량 원소를 함유한 다공질 알루미늄재에서는 적절한 용체화 처리와 시효 처리를 실시하여 강도를 향상시킬 수 있다[10]. 이와 달리 다공질재를 제조시 보강 섬유를 첨가하여 강도를 향상시킬 수 있는데 이렇게 하면 강도가 수 배 가량 증가한다[11].

### 3.2 에너지 흡수성

에너지 흡수능(단위 체적당 에너지 흡수)은 응력-변형 곡선에서 면적을 계산하여 구할 수 있다. 그림 10과 11은 Al-7%Mg과 Al 7075합금으로 제조한 다공질 재료에서 25%에서 70%까지 변형 시키는데 필요한 에너지를 구하여 나타낸 것이다. 에너지 흡수능은 밀도에 따라 급격히 증가하는 양상을 나타내고 있는데 이는 변형 저항이 밀도에 따라 급격히 증가하기 때문이다.

5~40km/h의 높은 변형률로 23~93%의 변형을 가한 동적압축 시험 결과를 그림 12에 나타내었다. 이 결과를 보면 다공질재는 에너지 흡수에 효과

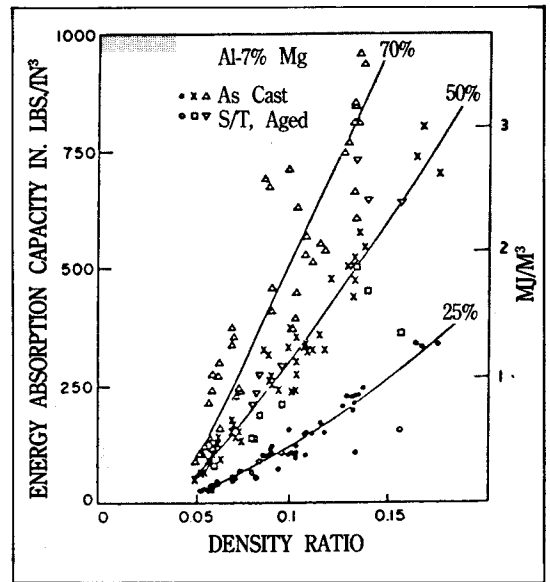


그림 10. 열처리 전후의 Al-7%Mg합금 다공질재에서 밀도에 따른 에너지 흡수능의 변화

적이며 높은 변형률에서는 변형률이 증가할수록 흡수능이 증가하는 것을 알 수 있다.

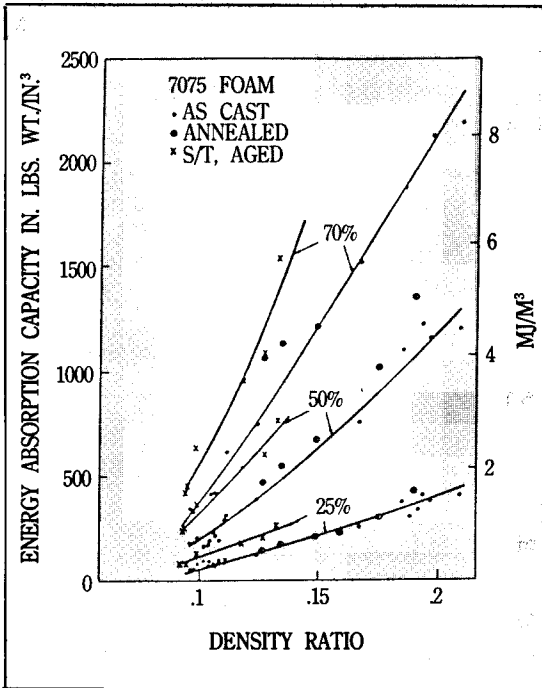


그림 11. 열처리 전후의 Al 7075합금 다공질재에서 밀도에 따른 에너지 흡수능의 변화

에너지 흡수 효율은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$E = \frac{\int_0^e F \cdot dl}{F_{max} \cdot L} \quad (2)$$

여기서 분자항은 파괴 거리  $l$ 까지의 실제 에너지 흡수량이고 분모항은 파괴 거리  $l$ 에 작용한 힘  $F_{max}$ 와 시편의 길이  $L$ 의 곱으로 이론상의 에너지 흡수량이다. 그림 13은 Al, Al-7%Mg, Al 7075합금으로 제조한 다공질재의 에너지 흡수 효율을 나타낸 것으로 에너지 흡수 효율이 최대가 되는 변형이 존재하는 것을 알 수 있는데 이는 변형중 발생하는 가공경화 속도가 분자항보다 분모항이 크기 때문이다.

### 3.3 흡음 특성

음을 흡수하여 내부를 진동시킬 수 있는 구조체는 음향 에너지를 흡수할 수 있다. 다공질 재료에 의한 흡음은 재료에서의 점성 마찰에 의한 대기 입자의 운동에너지 손실 때문에 일어난다. 다공질

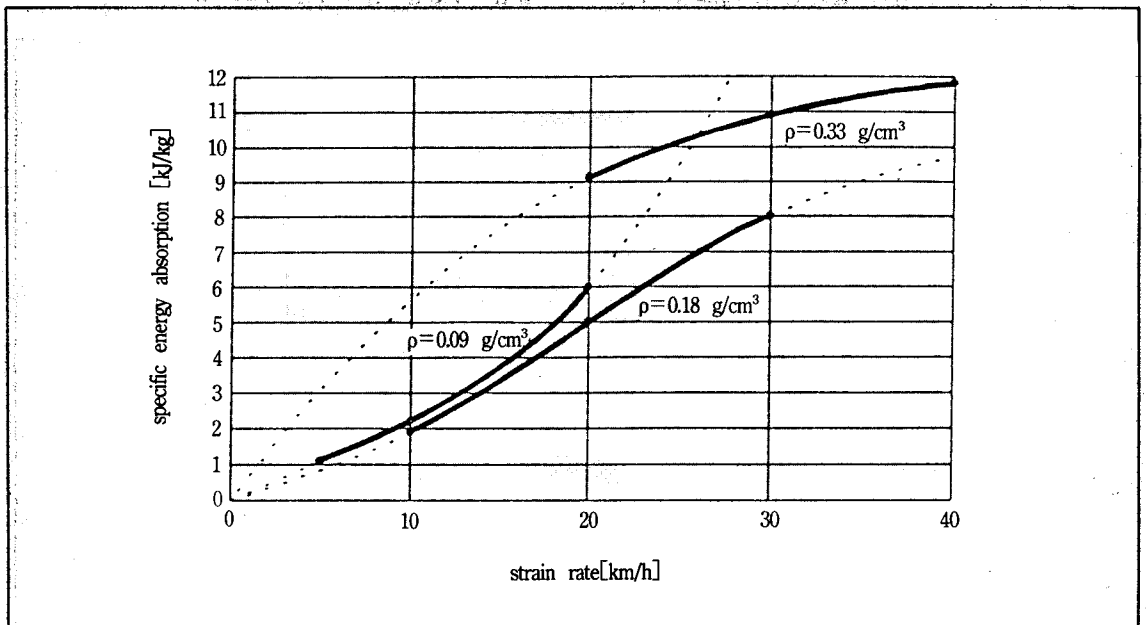


그림 12. 밀도가 다른 여러 다공질재에서 변형률에 따른 에너지 흡수



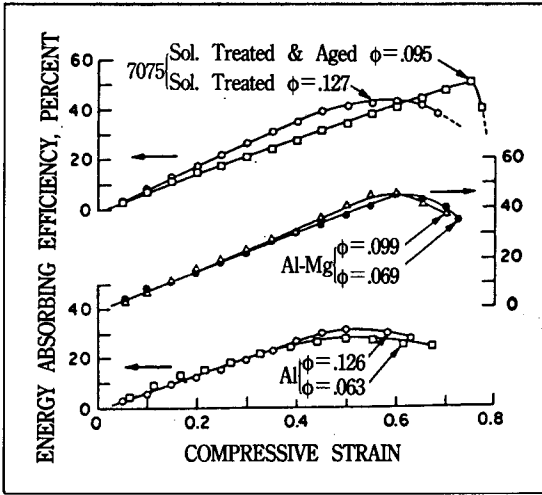


그림 13. 압축 변형에 따른 에너지 흡수 효율

재료에서 음파의 감폭은 개포형 재료에서 주로 얻어진다. 그림 14는 다공질 알루미늄재와 유리 섬유, 유기 고분자 재료등의 흡음율을 나타낸 것으로 다공질 알루미늄재는 유기 고분자 재료와 동등한 흡음 특성을 보이고 있으며, 유리 섬유보다 낮은 2000~3000Hz 구역에서 흡음율이 가장 좋다.

다공질 재료를 사용할 때 흡음율은 재료의 두께와 공기층의 폭에 따라 달라진다. 재료의 특성

임피던스  $Z_0$ , 전파속도  $c$ , 파장 정수  $k$ , 각속도  $\omega$ , 재료의 두께  $d$ , 공기층의 폭을  $L$ 이라 할 때 흡음재 표면의 수직입사비 음향 임피던스  $Z_0$ 는 다음의 식으로 구할 수 있다[3].

$$Z_0 = Z_c \frac{Z_c \sinh(\frac{\omega d}{c}) - jZ_{air} \cot(kL) \cosh(\frac{\omega d}{c})}{Z_c \cosh(\frac{\omega d}{c}) - jZ_{air} \cot(kL) \sinh(\frac{\omega d}{c})} \quad (3)$$

여기서 수직 입사 흡음률  $\alpha$ 는 다음의 식으로 예측할 수 있다.

$$\alpha = \frac{4Z_{air} \text{Re}[Z_0]}{(\text{Re}[Z_0] + Z_{air})^2 + (\text{Im}[Z_0])^2} \quad (4)$$

여기서  $\text{Re}$ 는 실수부,  $\text{Im}$ 은 허수부를 의미한다. 그림 15는 일괄처리 구조법으로 제조한 다공질 알루미늄재의 공기층 두께에 따른 흡음률을 식 (4)에 따라 구한 것으로 계산치와 실측치가 잘 일치하는 것을 알 수 있으며 공기층의 두께를 조절하여 특정 주파수 영역의 흡음 특성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

다공질 재료의 기공 크기와 형상을 조절하여 흡음 특성을 변화시킬 수도 있다.

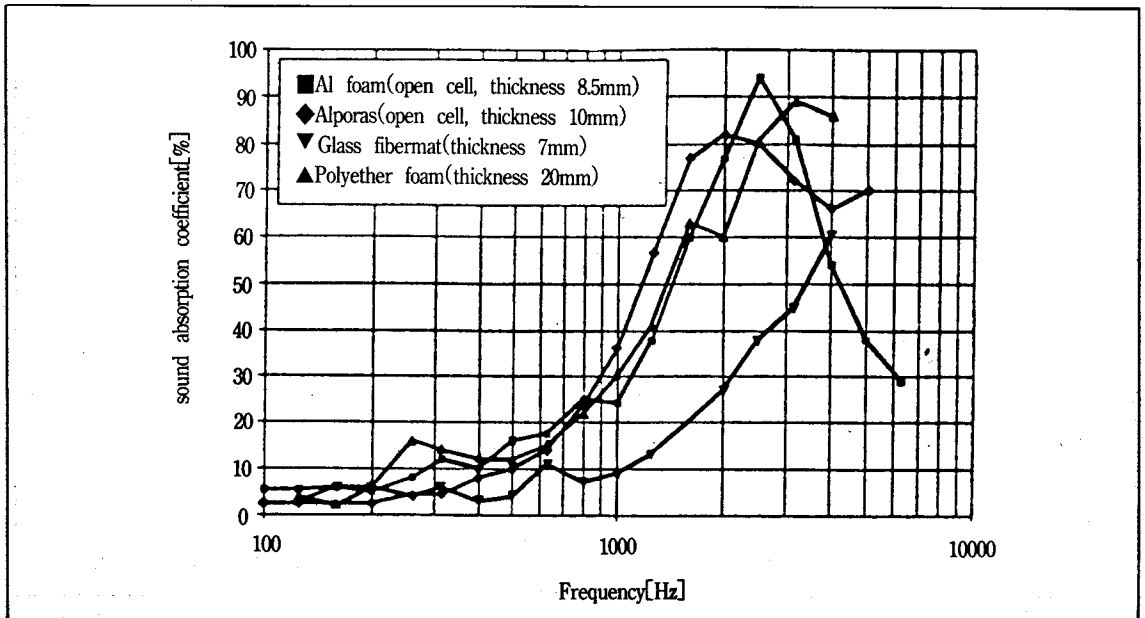


그림 14. 다공질 알루미늄재와 유리 섬유, 유기 고분자재의 흡음률 비교

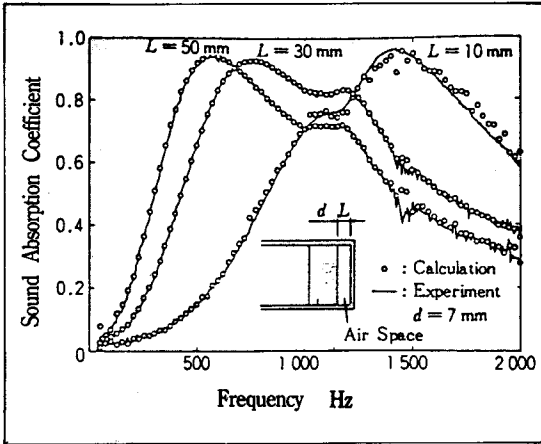


그림 15. 배후 공기층 두께에 따른 흡음률 비교

### 3.4 투과성

투과성은 여과, 액상분리, 소음 감쇠 등의 목적으로 사용되는 다공질재에서 아주 중요한 특성중의 하나이다. 일반적으로 투과성은 개개의 기공 크기 증가에 따라 증가하며 기공의 표면 조도에 큰 영향을 받는다. 또한 다공질 재료 내에 존재하는 폐포형 기공의 비율에 큰 영향을 받으며 개포형으로 구성된 재료에서는 큰 투과성을 나타낸다.

액상의 투과성은 다음과 같이 실험적으로 구할 수 있다. 점도와 밀도를 알고 있는 액체를 시편에 통과시켜 압력 저하와 유체의 속도를 측정하는 것이다. 이렇게 하여 Darcy의 식으로 [12] 투과 계수를 계산한다.

$$\frac{\Delta P}{t} = \frac{Q\mu}{A\Psi} \quad (5)$$

여기서  $\Delta P$ 는 압력 저하(N/mm<sup>2</sup>), t는 시편 두께(m), A는 단면적(m<sup>2</sup>),  $\mu$ 는 액체의 점성(Nsec/m<sup>2</sup>), Q는 유체의 속도(m<sup>3</sup>/sec)이고  $\Psi$ 는 제곱 미터당 투과 계수이다.

일반적으로 투과성 재료는 투과 계수를 가지고 분류한다. 그러나 이와 달리 최대 기공크기나 평균 기공 크기로 분류하기도 한다[13]. 투과성이 좋으며 고상 입자를 잘 걸러 낼 수 있는 필터는

존재하지 않는다. 투과성이 작을수록 필터에서 걸릴 수 있는 최소 직경은 작아진다. 주어진 시간에 상당한 양의 액상을 흘리며 동시에 미세한 입자를 걸릴 수 있는 필터를 만들기 위해서는 단면적이 큰 필터를 설계할 필요가 있다.

### 3.5 전도성

다공질 재료는 부피에 비하여 함유된 금속의 양이 적기 때문에 전기 전도도나 열전도도가 낮다. 밀도가 460kg/m<sup>3</sup>인 다공질 알루미늄재의 경우 열전도율은 4.2kJ/mhK로 bulk재의 824kJ/mhK에 비하여 상당히 작으며 대리석에 버금가는 값을 가지며, 1kV에서 다공질 알루미늄재의 전기 저항은 10<sup>10</sup>Ωcm 정도이고 4kV에서 전기 절연이 일어난다 [14]. 따라서 다공질재는 전기나 열 차폐 재료로 유용하게 사용될 수 있다.

## 4. 용도

다공질 알루미늄재는 기공의 형상과 밀도를 조절하여 재료가 가질 수 있는 특성과 성능을 최적화 시킬 수 있어 다양한 용도로 사용될 수 있다.

현재 일본의 Shinko Wire Co.에서 제조하여 판매하는 다공질 알루미늄재는 상용으로 다양하게 사용되고 있다. 다공질재는 뛰어난 흡음 특성을 가지고 있어 고속도로 노면이나 교각등에 사용되어 소음을 줄일 수 있는데, 그림 16은 다공질 알루미늄 판으로 제작하여 교각에 설치한 투시형 방음벽의 외관을 보여주고 있다. 설계시 판의 두께와 배후 공기층의 폭을 적절하게 조절하면 최상의 방음 효과를 얻을 수 있다. 이 외에도 공장이나 학교, 강당, 연주회장 등 방음 시설이 필요한 공간에 설치할 경우 우수한 특성을 발휘하며(그림 17의 a), 방음 효과와 더불어 미려한 외관을 가지고 있어 쇼펍 공간의 실내 장식재로 사용되기도 한다(그림 17의 b). 다공질 알루미늄재는 초경량이며 취급이 용이하여 일반 건축용 외장재로 사용되기도 하며(그림 17의 c), 우수한 단열 특성을 가지고 있어 냉장차에 사용되기도 한다

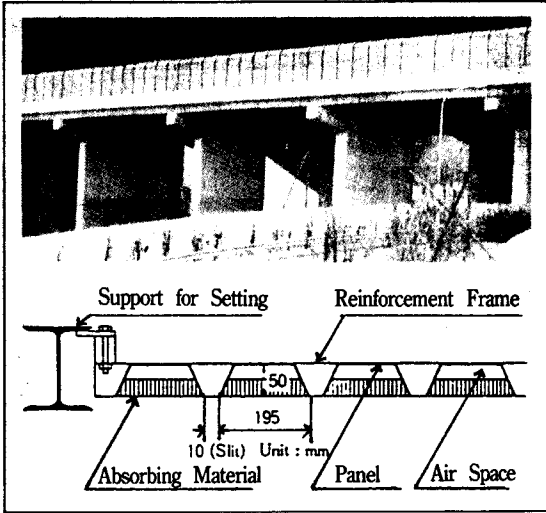


그림 16. 다공질 알루미늄판으로 제작된 교각의 투시형 방음벽 외관과 단면

(그림 17의 d). 이외에도 기타 우수한 전자파 차폐 특성을 가지고 있어 전자파 차폐실에도 사용된다 (그림 17의 e).

다공질 알루미늄재는 특이한 구조와 우수한 물리적 특성으로 구조재로 사용가능성도 높다. 그림 18은 여러가지 재료의 비강도를  $0.1g/cm^3$ , 10 mm두께의 다공질 알루미늄재를 기준으로 비교하여 나타낸 것이다[5]. 다공질 알루미늄재는 동일한 비강도를 갖는 0.8mm 두께의 철강에 비하여 15% 정도의 면밀도를 가지며 거실의 판넬로 사용되는 2.2mm두께의 오크 나무에 비하여 65%의 면밀도를 갖는다. 또한 탄소섬유 강화 플라스틱의 80% 정도의 면밀도를 가지고 있다. 다공질재를 금속 재료에 접합시키는 기술 개발로 구조재로 사용할 수 있는 가능성은 점차 증가할 것이다.

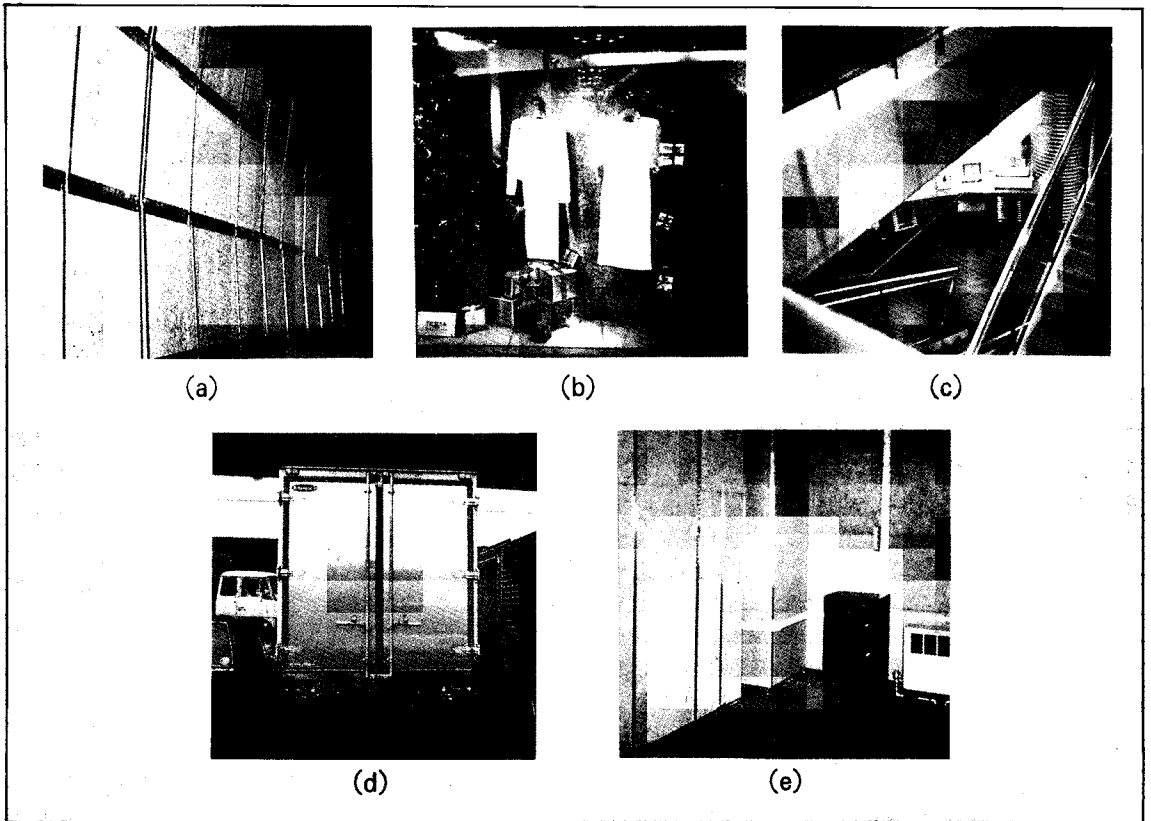


그림 17. 다공질 알루미늄재의 적용 예  
 (a) 터널에 설치된 방음벽 (b) 쇼핑 공간의 실내장식 (c) 건물의 외장재  
 (d) 냉장차의 외장재 (e) 전자파 차폐실

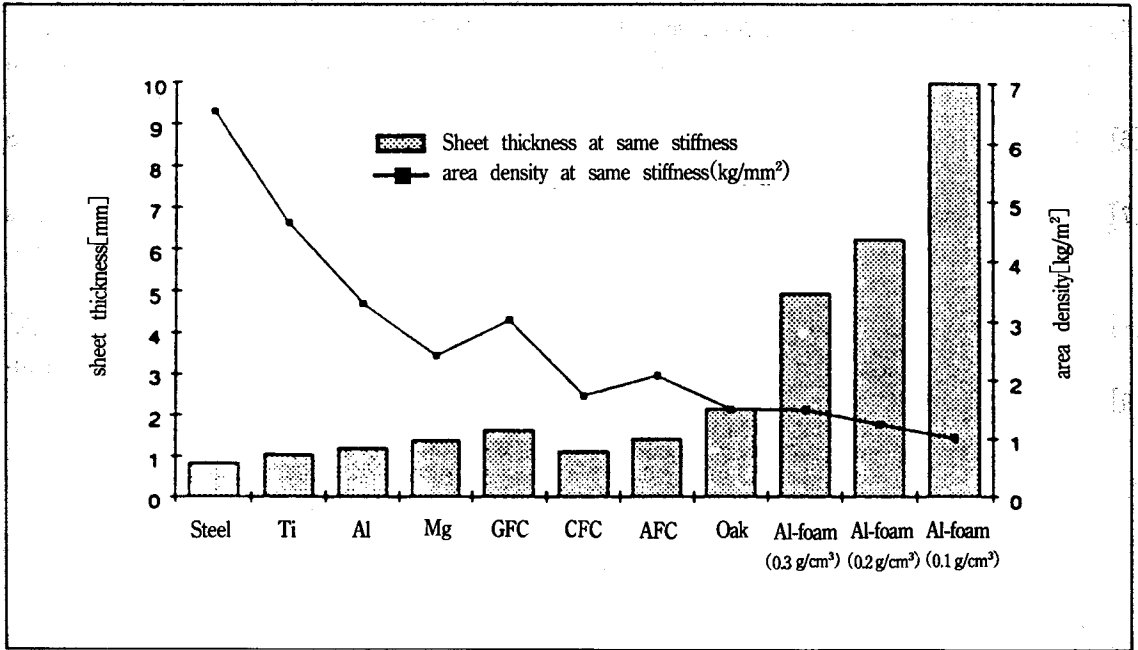


그림 18. 10mm두께의 다공질 알루미늄재와 동일한 비강도를 갖는 여러가지 재료들의 판두께와 면밀도 비교

### 5. 맺음말

본 고에서는 금속의 다공질 재료 중에서 알루미늄 합금으로 제조되는 다공질 재료를 중심으로 여러가지 다양한 제조 방법을 알아보고 다공질 재료가 갖는 특성과 이를 응용한 다양한 용도를 살펴보았다.

최근 생활 수준의 향상으로 제품의 안정성, 안락성, 쾌적성 등에 대한 요구는 증가하고 있다. 이와 더불어 전세계적으로 에너지와 환경 문제에 관심이 고조되며 수송기기 등의 제품에 무게 감량이 요구되고 재활용에 대한 요구도 증가하는 추세에 있다.

다공질 알루미늄재는 앞에서 살펴본 바와 같이 여러가지 우수한 고유 특성을 가지고 있으며, 이와 더불어 다른 재료에 비하여 초경량으로 재활용이 가능하고 기존의 유기 고분자 재료 등을 대체할 수 있는 가능성이 높다.

현재 일본과 구미 각국에서는 다공질 알루미늄

합금재의 개발 및 특성 향상에 많은 노력을 기울이고 있으며, 다수의 특허도 출원되어 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 이 분야에 대한 기술 개발이 거의 이루어지지 않고 있다. 다공질 알루미늄 재료는, 우수한 특성을 갖는 재료에 대한 욕구와 환경이나 에너지 문제 등의 제반 제약을 극복하여, 이 두 과제를 동시에 충족시킬 수 있는 우수한 재료로 판단된다. 국내에서도 앞으로 다공질재료에 대한 관심을 가지고 연구 개발이 이루어지기를 기대한다.

### 참 고 문 헌

- [1] L.A. Cohen, W.A. Power, D.A. Fabel : Mater. Eng., 67(1968) 44.
- [2] J.A. Pattern : US Patent 4099961(1978)
- [3] 石井 榮一, 伊藤 雅夫, 森澤 吉孝 : 神戸 製鋼技報, 41(1991) 59.
- [4] 上野 英俊, 秋山 茂 : 輕金屬, 37(1987) 42.

- [5] U. Koch, M.S. Thompson, V.C. Nardone : 4th Int. Conference on Aluminium Alloys, (1994) 387.
- [6] I.J. Jin, L.D. Kenny, H. Sang : US Patent 49 73358(1990)
- [7] L.J. Gibson, M.F. Ashby : "Cellular Solids-Structures and Properties", Pergamon Press, New York, 1988.
- [8] P.H. Thornton, C.L. Magee : Met. Trans., 6A (1975) 1253.
- [9] C.B. Berry Jr., R.J. Fanning : US Patent 3705030 (1972)
- [10] L.M. Niebylski, C.P. Jarema, P.A. Immethun : US Patent 3794481(1974)
- [11] L.M. Niebylski, C.P. Jarema, T.E. Lee : US Patent 3940262(1976)
- [12] F.V. Lenel : "Powder Metallurgy-Principles and Applications", Metal Powder Industries Fedration, London, 1980.
- [13] D. Yarnton : Eng. Mater. Des : 9(1966) 83.
- [14] S.B. Kulkarni, P. Pumakrishnma : Int. J. Powder Met., 9(1973) 41.