



# THEME 01

## 국내 발포금속의 제조 및 현황

허보영 | 경상대학교 나노 신소재 공학부, 교수/ I-Cube Center, ERIC  
e-mail : hurby@gnu.ac.kr, Web : www.foam.re.kr  
정승룡, 김병구 | 경상대학교 나노 신소재 공학부, 대학원생

지금까지는 강도를 요구하는 구조재 신소재가 발달하였으나 21세기에는 기능을 지닌 고기능신소재가 고부가가치를 창출하는 시대로 변화하고 있으며, 이중 한 가지인 충격흡수에너지와 소음, 진동 흡수능을 지닌 신소재 발포금속의 특성과 활용성을 소개하고자 한다.

발포금속재료는 일반구조용 금속재료에서 요구하는 강도보다는 흡음, 제진, 충격흡수에너지 등의 성능이 높은 기능을 요구하는 기능재료이다. 흡음재료로서 많이 사용되는 다공질 재료가 사용하고 있는데 이들은 주로 유기 고분자 재료이며, 기능은 쿠션, 포장, 절연 등이다. 주로 사용되는 흡음재는 석면, glass wool 등 무기섬유와 발포재료로서 발포우레탄, 발포스티로폼 등 유기 고분자계, 발포 glass, 발포 콘크리트 등의 무기계가 있다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 소재가 금속계 흡음재인 발포금속이며, 이는 흡음성, 내구성, 내열성과 특히 재활용이 가능한 친환경적 소재이다. 발포금속은 기존의 재료에 비하여 초경량(비중 0.2~1.8)이면서 에너지 흡수 능력이 뛰어나고 열이나 전기들의 전도성이 작고 액상이나 공기 등의 투과성이 양호하며 여러 가지 뛰어난 기능적 특성을 가지고 있다. 일부 자동차 생산 업체를 중심으로 발포금속을 적용한 초경량, 에너지 절감형이며 충돌 흡수능이 뛰어나고 안정성이 우수한 자동차 부품용 충격흡수 소재, 항공기용, 전구용 방열판 등에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 발포금속의 개발은 아직도 초보단계이므로 제조방법과 특성이 더욱 개발되고 활용성이 넓어지기를 기대하며 기술하고자 한다.

### 제조 방법

발포금속의 제조 기술은 금속분말과 발포제를 혼합

성형 소결하거나 주형이나 망상형에 금속분말이나 전기도금을 한 후 가열하는 분말야금법과 용융 금속에 적당한 점성과 표면장력을 부여하여 증점한 후 발포제를 투입하여 스펀지 형태의 금속 다공질 고형체를 제조하는 주조법, 금속섬유나 금속선을 압축 소결하는 방법, 금속선을 엮어서 제조하는 가고메법, 얇은 판에 분해 분말을 분산하여 압축소성 후 가열하는 소성가공법 등으로 크게 나눌 수 있으며, 기능성 구조에 의한 제진, 방진능과 기본소재의 점·탄성에 의한 흡음, 방음, 차음, 제진, 내열, 단열성 등 고기능성, 고부가가치의 특징을 가지고 있다.

분말법은 금속분말과 금속수소화합물( $TiH_2$ ,  $ZrH_2$ )분말을 혼합한 예비 성형체를 압연이나 압출에 의해 반가공재를 만들고, 이를 금속수소화합물의 분해온도까지 가열하면 반가공재 내에 분산되어 있던 금속수소화합물에서 분해된 수소가스의 팽창에 의해 발포금속을 제조하는 방법으로 충남대에서 연구되어 (주)동양강철에서 생산하였으며, 한국생산기술원에서 연구하고 있다.

주조용 발포금속은 용융금속에 점성을 부여하고 금속수소화합물( $MH_2$ )분말을 탄산가스를 발생시킬 수 있는 분말 등을 용융금속에 투입하여 발포시키는 방법으로 형태에 따라 개기공형과 폐기공형으로 구분하고 있으며 초경량성과 높은 비탄성률 및 비강도, 압축하중에 대한 저항 특성을 이용하는 구조용재와 energy 흡수용 및 열 확산성, 넓은 표면적에 따른 우수한 열적 특

성을 이용하는 열전달 매개용으로 구분할 수 있다. 폐기공 발포금속(closed cell)은 비탄성을 및 비강도가 우수하여 초경량 구조재의 적용을 목적으로 기공의 고른 분산과 크기 및 두께 제어에 대한 연구가 진행 중에 있으며, 개기공 발포금속(open cell)은 형태의 특성으로부터 열의 개체 및 filter재, 촉매재 등에 사용되고 있다. 이러한 발포금속의 제조방법을 간략히 분류하면 표 1과 같다.

이 외에 금속가공선을 엮어 공간구조를 형성하는 가교메법, 압연 판재에 발포제 분말을 분사한 후 압연 소성가공하여 가열열처리하여 제조하는 소성가공법 등이 있다.

### 발포 금속의 특성

내충격 및 압축특성은 기공의 종류, 형상, 크기, 균일

성, 표면적 및 발포금속의 고체 금속비 체적분을 등에 의해 좌우되며, 특히 밀도에 비례하여 증가하므로 충격 에너지 흡수성은 제조방법의 변화와 고체금속이나 fiber보드 등과의 적층구조에 의하여 에너지 흡수성 및 기타 제 성질이 다양하게 나타난다. 충격 에너지 흡수성 시험 방법은 일반적으로 충돌과 압축시험을 통해 이루어진다. 발포금속을 고속충돌이나 압축시험을 하게 되면 일반적인 금속재료들과는 다르게 그림 1과 같이 3단계의 특정 영역을 가진 결과를 얻게 된다. 먼저 변형의 증가와 함께 응력이 탄성적으로 증가하는 탄성 영역으로 이 영역에서 가장 높은 값이 해당 시편의 압축강도가 된다. 두 번째로 변형이 증가하여도 응력의 변화가 없는 plateau영역으로 발포금속에서만 볼 수 있는 특성이며, 보통 plateau영역이 증가할수록 충격 에너지 흡수량은 커진다. 마지막으로 변형률의 증가와 함께 응력이 직선적으로 증가하는 치밀화 및 파괴 영

표 1 각종 발포금속의 제조방법에 따른 분류

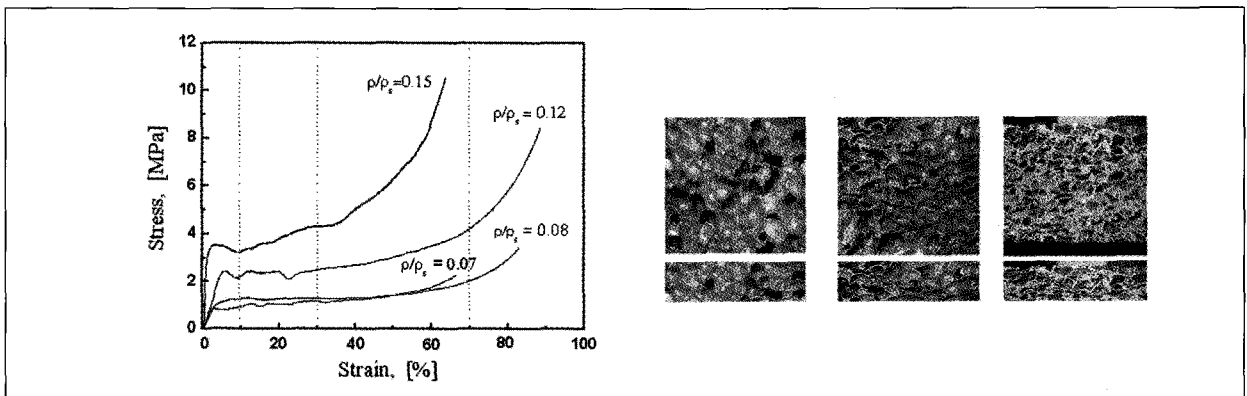
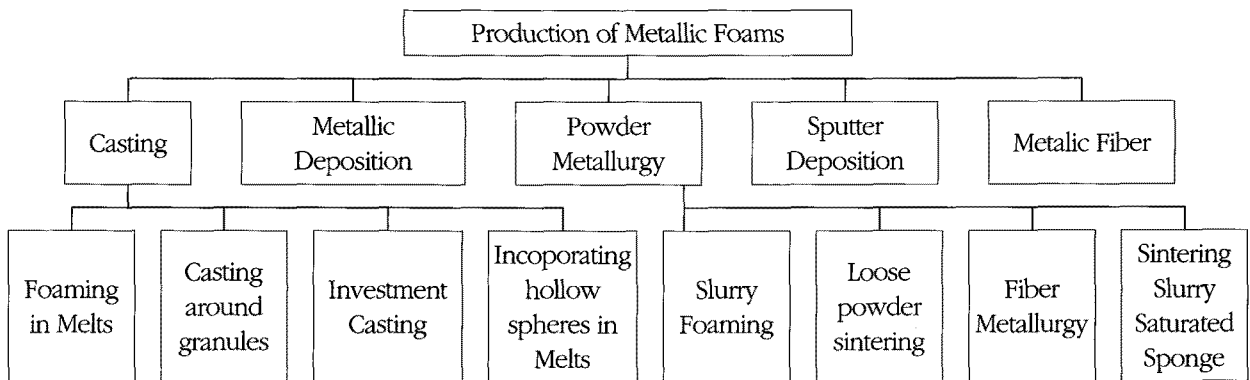


그림 1 발포시 금속의 압축시험 결과

역이다. 여기서 에너지 흡수율은 plateau 영역의 아랫 부분 면적으로 계산된다. 일반적으로 Al 발포금속의 항복강도는 2~10MPa의 값을 가지며, 기본소재의 강도보다는 발포금속의 상대밀도와 기공의 크기 등과 같은 구조적인 영향을 많이 받는다.

흡음, 제진특성은 금속 fiber를 압축 후 소결하거나 금속분말을 소결한 제품이 주로 사용 되는데 구조용 흡음재로 사용되는 발포금속은 주로 압축을 통해 내부기공을 파괴한 후 음파가 진입하는 반대방향에 air gap을 만들어주는 방법으로 설치된다. 판재로 흡수된 음파가 재료 내부의 기공과 100 $\mu$ m 이하의 막으로 이루어진 기공벽의 진동 및 발포금속 흡음재 뒤편의 air gap에 의한 공명효과로 음향에너지가 운동에너지와 열에너지로 각각 변환되어 소멸되는 원리이다. Air gap의 폭이 증가할수록 흡음피크가 저주파 영역으로 이동함을 알 수 있다.

전자파 차폐능은 전자파차폐 시험은 ASTM의 “전자파 차폐효과에 대한 표준 시험방법(ASTM D 4935-89)”에 의해 행하여진다. 측정된 주파수 범위 내에서 90dB 이상의 차폐효과를 가지며, 일반재료에 비해 넓은 진폭의 범위에서 차폐능을 나타내고 있다.

단열특성은 폐기공이 열을 함유하는 탱크 역할을 하여 단열 및 차단 효과가 큰데 그림 2는 발포알루미늄의 열 차단효과와 내열성을 측정하기 위한 화염테스트 시험결과 보여주고 있다. 가스 토치로 10~30cm 떨어진 곳에서 발포알루미늄을 가열하고 가스 토치의 불꽃이

도달하는 부분으로부터 여섯 곳에 온도 센스를 부착하여 온도변화를 측정한 결과이다.

### 발포금속의 활용성

수송기기 부품 및 건축, 토목 산업, 고속도로, 강당, 야외 전시장, 공공 목적에의 활용 등에 방음, 차음 기술이 요구되고, 향후 전자 산업의 발전에 따라 발포금속 패널은 전자파 차폐제 개발 및 품질향상과 다층, 적층 sealing 공정개발 등이 진행되고 있다. 주로 다공질 성형체 제조의 문제 해결과 기능성 향상, 균질화, 원가절감이 요구되어, 현재 제조 원가가 저렴한 구조용 발포금속 기술과 연속주조 기술이 개발되고 있다.

또한 구조용 발포금속은 경량 구조용 재료로도 사용이 가능하며, 특히 사용온도가 200 $^{\circ}$ C 이상의 내열성을 요구하는 항공기재료의 core 등에도 이용되며, 높은 중량비 탄성률과 인장보다는 압축저항이 높은 발포금속의 특징으로 적층구조의 설계에 의해 경량구조재료로 활용이 넓어지고 있다.

내 충격성을 이용한 범퍼 빔과 백 클러치 박스 등 수송기이용 재료로서의 개발은 발포알루미늄 적용 범퍼 빔의 경량화 및 충격흡수능 극대화를 위해 0.3g/cm<sup>3</sup> 및 0.7g/cm<sup>3</sup>의 비중을 가진 발포알루미늄을 사용한 범퍼 등이 개발되었으며 Pole 충돌 테스트를 실시한 결과는 표 2와 같이 충돌 후 변형이 현저히 감소하였다.

발포금속의 비중이 0.7g/cm<sup>3</sup>인 경우가 약간 우수한 충돌특성을 나타내었으나, 향후 소재의 종류와 기공의 다양한 형상 및 기공률, 기공 크기를 가진 발포금속을 적용한 경량, 고안전성 자동차 부품용 발포금속의 개발이 이루어질 전망이다. 또한 크래시 박스는 범퍼 빔과 Shock-absorber를 연결시켜주는 부

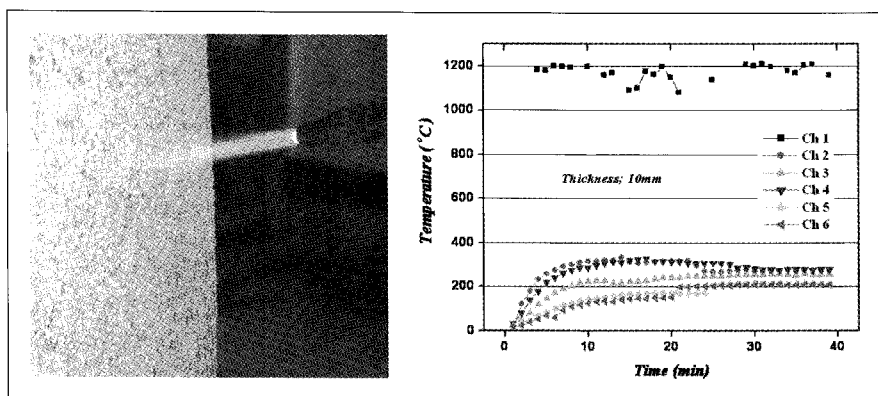


그림 2 발포Al 패널의 토치 열 시험 결과(Ch1:전면부 온도, Ch2: 배면부 온도)

폼으로 충돌흡수능 향상은 엔진룸 보호 및 승객의 안전을 위하여 매우 중요하다. 따라서 현재 적용되고 있는 형상을 가능한 한 단순화한 형상으로 개발되고 있으며 외피의 두께와 발포알루미늄의 형상을 변화시켜 최적의 발포알루미늄 적용 크래시 박스를 개발하고자 연구가 진행 중이다. 이들의 적용 예는 그림 3과 같다.

건축자재용 아파트 바닥용 소재로의 활용은 공동주택의 경우 소음 기준은 선진국 수준과 거의 유사한 60dB 이상의 소음을 규제하는 법률안을 2002년도 발표하여 현재 시행 중에 있으므로, 이러한 기준에 적합한 소재를 선정하여 발포에 대한 연구를 진행 중에 있다. 여기에 소음과 진동을 동시에 흡수할 수 있고 재 활용성이 높으며 친환경적인 발포알루미늄 패널을 사용하여 층간 소음저감재로 사용하기 위하여, 층간소음저감재(발포알루미늄) 15mm 시공 바닥구조에 대하여 경량 충격음은 KS F 2865(표준 콘크리트 바닥 위 마감구조의 경량 충격음 레벨 저감량 실험실 측정 방법 : 2002)를 적용하는데, 중량 충격음은 KS F 2810(바닥충격음 차단 성능 현장 측정 방법) 제2부(표

준 중량 충격원에 의한 방법 : 2001)를 준용하여 측정 한 결과 표 3과 같이 일반 건축과 유사한 결과를 나타내고 있다.

복합 패널의 제진 및 흡음재로의 활용은 복합패널을 제조하여 다양하게 활용되고 있는데 활용분야에 따라 각각의 장점을 최대한 살리는 조합을 가지면서도 활용도가 높은 복합패널을 만드는 공정 연구가 진행되고 있으며, 발포금속 자체를 그대로 이용할 경우 흡음특성은 뛰어나지만 발포금속의 표면형상과 색상이 여러 주변 환경과 조화를 이루기 힘들기 때문에 여러 가지 색상으로 페인팅한 인테리어 기능을 가미한 발포알루미늄 제품이 활용되고 있다.

최근에는 미네랄 울과 honeycomb, 발포금속을 조합한 복합패널에 대한 개발이 활발하게 진행되었다. 이 패널의 특징은 거의 모든 주파수 영역에서 70% 이상의 흡음률을 보인다는 점이며 honeycomb을 사용함으로써 경량성과 강도를 높였다는 장점이 있다. 또한 알루미늄 발포금속의 흡음기능을 향상시키는 동시에 실내 인테리어에 적용하기 위하여 세라믹 분말 혼합 유기물

개량제를 분사하여 단열, 차열과 내마모성을 향상시킨 패널도 개발되고 있다. 그림 4는 실내장식용 복합재료의 한 예로서 천연대리석에 발포판을 부착하여 절단하였을 때 대리석을 2mm 두께까지도 절단 가능함을 나타내고, 경사 절단하였을 때에는 거의 무제한으로 얇게 절단하여도 crack이 발생하지 않음을 나타내고 있어 대리석의 가공과 활용성을 증대하고 있으며, 발포금속의 경량, 고압축강도, 단열성을 이용하여 대리석 표면의 결로 현상을 현격히 줄일 수 있어 욕실 등의 내장재와 경량을 요하는 내장재, 즉 엘리베이터 내장재로도 활용되고 있다.

국내에서 발포금속을 적용한

표 3 발포시을 적용한 자동차용 범퍼 빔의 플 시험 결과

	Steel bumper beam	Foam Al bumper beam	
		Case-1	Case-2
Collision velocity(5MPH)	5.0	5.1	5.1
Density of Al foam	-	0.3	0.7
Deflection (mm)	H1	91	80
	H2	60	56

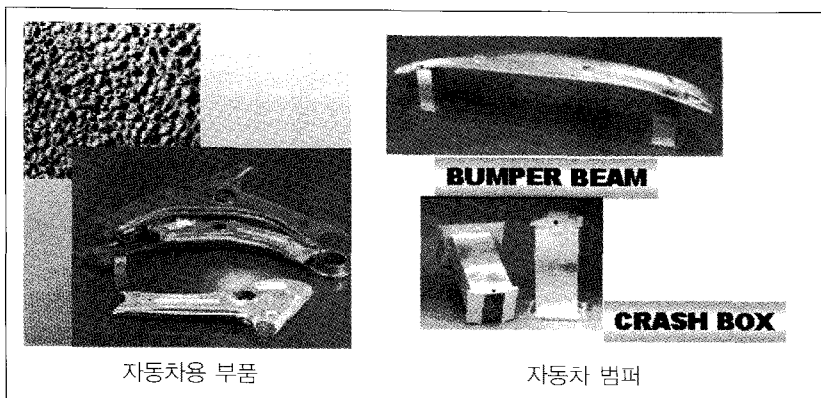
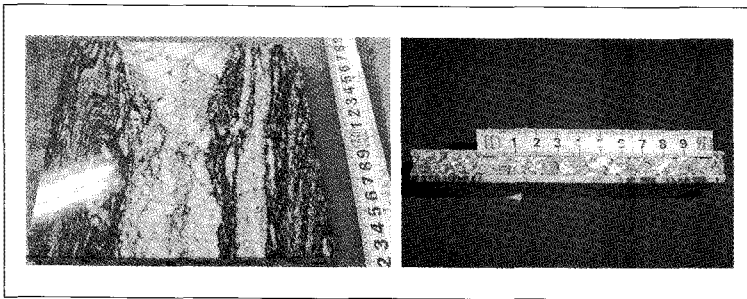


그림 3 자동차 부품에 Al 발포금속을 적용한 예

표 3 중간 바닥 충격시험 결과

바닥충격음 레벨[dB]	중심주파수별 바닥충격음 레벨						A 역특성
	63	125	250	500	1000	2000	
경량		59.1	62.0	56.0	54.0	51.2	51
중량	75.3	59.9	52.4	38.9			45



표본 4 대리석을 붙인 Al 발포금속 패널

사례는 많으며, 흡·차음, 단열 및 충격 흡수용 Closed cell type의 발포금속을 적용한 경우는 당산

철교 방음터널, 성내 전철역내 레일 사이 차음벽, 서울도심전철역 외부방음벽, 삼성 타워 팰리스 스포츠센터 방음 제진벽, 장식용 대리석 복합패널, 발포금속을 이용한 경량 자동차 부품 및 범퍼 빔 개발, 단열, 대리석 침대 복합패널, 한국기계연구원 공장실 차음벽, 전철 송배전실 차음벽, 흡음용 천장 마감재, Lotus type의 골프 퍼터 등이 있으며, 열 교환기능 및 filter 및 촉매 기능을 이용한 Open cell type의 발포금속은 Ni 촉매제, Cu 필터, 반도체 방열판, 열 교환기 및 히트 싱크 등이 개발되고 있으며 기계구조물에 부착하여 기능성을 보장하는 연구가 진행

되고 있으며 그 용도는 더욱 빠른 속도로 확대되리라 본다.



기계 용어해설

진공성형(Vacuum Molding)

플라스틱판 가장자리를 클램프로 하형에 압착시켜 놓고, 위에서 히터로 가열하여 충분히 연화되었을 때 형속의 공기를 빼내는 플라스틱 성형가공법의 일종.

진공관(Vacuum Tube)

양극, 음극, 그리드의 각 전극을 고도로 배기한 유리 또는 금속용기 속에 봉입하여, 열전자의 작용으로 증폭, 발진, 변조 등을 하는 데 쓰이는 통신기기의 중요 부품.

밸브 푸시 로드(Valve Push Rod)

태핏과 로커 암 사이에 있는 중공의 강봉으로, 태핏의 운동을 전달받아 로커 암을 움직이게 하는 것.

속도복식 증동 터빈(Velocity Compounded Impulse Turbine)

노즐 속에서 증기가 제1회전 날개에 유입된 후 고정날개로 유동 방향이 바뀌어 제2회전 날개로 유입하는 형식의 증동 터빈.

벤트 슬리브(Vent Sleeve)

공장이나 실내의 환기를 위하여 벽 또는 지붕에 설치하거나 또는 갱내에서 발생하는 가스를 배출하기 위하여 설치하는 장치.

통풍차(Ventilated Box Car)

야채, 과일 등 통풍이 필요한 화물을 수송하기 위하여 지붕에 통풍기를 설치하고, 주위와 바닥에도 통풍구멍을 낸 화차.

접선 키(Angent Key)

키 홈을 축의 접선 방향으로 내어 서로 반대 방향의 구배를 가진 2개의 키를 짝지은 것으로, 플라이 휠과 같이 무거운 물건이나 급격한 속도변화가 있는 부분을 강력하게 체결하는 방법의 일종.

태코제너레이터(Tachometer Generator)

측정하고자 하는 구동축에 발전기를 장착하고, 발전기에서 발생한 전력을 측정하여 축의 회전수를 측정하는 데 쓰이는 속도계용 발전기.