

## 다공질 재료의 기술 동향



**윤 중 열**

□한국기계연구원  
재료연구부 선임연구원  
□yjy1706@kmail.kimm.re.kr

**관심분야**

■기능성 세라믹 재료 분야  
■다공질 재료 분야



**송 인 혁**

□한국기계연구원  
재료연구부 선임연구원  
□sih1654@kmail.kimm.re.kr

**관심분야**

■기능성 세라믹 재료 분야  
■다공질 재료 분야



**박 동 수**

□한국기계연구원  
재료연구부 책임연구원  
□pds1590@kmail.kimm.re.kr

**관심분야**

■세라믹스 제조공정분야  
■기계부품용 세라믹스 분야



**김 해 두**

□한국기계연구원  
재료연구부 책임연구원  
□khd1555@kmail.kimm.re.kr

**관심분야**

■구조용 세라믹스 분야, 다공질 재료 분야

### 1. 서 론

다공질 재료란 체적의 15~95% 정도가 기공으로 이루어진 재료로 기존의 치밀한 재료가 갖지 못하는 새로운 특징을 가지고 있는 혹은 부여할 수 있는 재료이다. 또한 전 세계적으로 환경, 에너지 문제가 중요한 issue가 되고 있으며, 환경, 에너지 관련 핵심 부재는 다공질 재료이다. 예로서 각종 폐기물 처리 설비, 유해물질 제어 설비, 자동차용 매연제거 장치, 이차전지 등의 핵심부재로서 다공질 재료가 개발, 적용되고 있다.

다공질 재료에 대한 연구는 재료 내 기공을 도입하여 기공의 특성을 적극적으로 응용하는 기술, 즉 분리, 비표면적 확대, 유속조절, 저장, 차단 등의 기공 특성을 이용하는 기술과 재료내 기공의 크기, 형상, 기공율, 배향성, 분포 등을 제어하여 기존의 재료가

갖지 못하는 새로운 특성을 부여하는 기술로 구분할 수 있다. 예를 들면 재료의 탄성을 조절을 통한 안정성 제고, 경량화 재료의 열충격 특성 제고 및 특수 형상을 갖는 기공의 방향성 제어를 통한 특수 단열 기능 부여 등을 들 수 있다.

다공질 재료에 포함된 기공들은 각각의 형태에 따라 다른 역할들을 수행한다. 그림 1은 일반적인 다공질 재료에 존재하는 기공의 종류를 나타내었다. 다공질 재료내의 기공은 크게 개기공과 폐기공으로 나눌 수 있으며, 특히 개기공의 경우 penetrating pore와 ink-bottle pore로 도 불리는 nonpenetrating pore로 구분된다. 개기공은 촉매 저장, 비표면적의 확대 등의 역할을 수행하며 특히 penetrating pore의 경우는 filtration-separation 기능을 수행한다. 반면에 폐기공은 재료의 경량화 및 단열 특성의 제고 등에 기여를 한다.

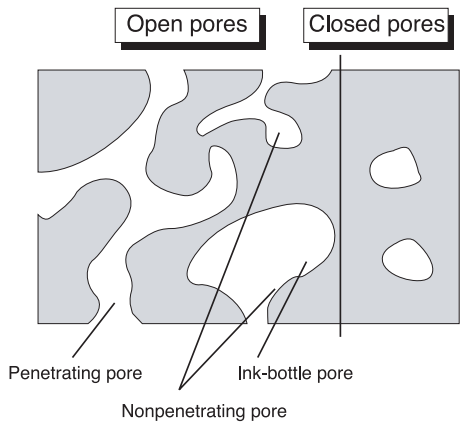


그림 1. 다공질 재료에 포함된 기공의 종류

기존 재료의 연구는 조직제어-특성연구 및 제조공정으로 대별되며, 기존 조직제어 연구는 기공이라는 변수를 배제하고 입자크기, 입계 제어에 집중되어 왔다. 그러나 이 두 가지 변수 외에 기공이라는 변수를 추가할 경우 기존의 재료가 갖지 못하는 새로운 특성을 부여할 수 있으며, 동시에 New business 창출도 가능할 것으로 판단된다.

현재 다공질 재료는 환경 산업, 자동차 산업뿐만 아니라 금속 산업, 건축 산업, 정밀기계 산업, 의료 산업, 내화물 산업 등 국가 기간 산업에 중요한 부품으로 사용되고 있으며, 그 전체 시장 규모가 약 3조원 정도일 것으로 추정된다.

본 고에서는 다양한 다공질 재료의 응용분야 중 자동차 산업, 금속 산업, 특수 내화물산업, 정밀산업용 다공질 재료에 관한 국내외 연구 개발 현황에 대해 조사하였다.

## 2. 다공질 재료의 국내외 개발 동향

### 2.1 자동차 분야 : 매연여과장치(DPF : Diesel Particulate Filter Trap)용 필터

매연여과장치(DPF)는 경유를 사용하는 디젤엔진에서 배출되는 유해 입자상 물질인 PM(Particulate Matters)을 필터에서 포집 후 태워서 제거시키는 장치이다. 이때 사용되는 여과용 필터가 본 고에서 서술하고자 하는 다공질 재료이다. 일반적으로 디젤엔

진의 작동 시 배출되는 유해가스는 NO<sub>x</sub>와 PM이며, 특히 PM의 경우 기관지 등에 침투하여 장기간 잠재함으로서 폐암의 원인이 될 수 있다는 보고가 발표됨으로서 인체 위해성에 대한 논란이 가중되고 있어 PM의 획기적인 저감방법이 필요하다. NO<sub>x</sub>는 기존의 엔진 개선기술로서 저감할 수 있는 한계가 있어 NO<sub>x</sub> 저감촉매(DeNO<sub>x</sub>)의 개발이 근본적인 방안으로 제시되어 있으나 아직도 이의 개발 성공여부는 불투명한 상태이다. 그러나 NO<sub>x</sub> 저감촉매는 가솔린 엔진에서도 함께 사용하는 기술이기 때문에 결국 PM 저감기술이 디젤자동차의 장래를 좌우할 중요한 기술로 인식되고 있다.<sup>[1-4]</sup> 다공질 DPF용 필터는 고온 고압에서 배출되는 입자상물질(PM)을 포집하기 위하여 우수한 필터 특성 이외에 내구성 등이 요구된다. 이와 같은 필터재료의 적절한 적용을 위해서는 DPF 시스템에 대한 이해가 요구된다. 그러므로 본 고에서는 우선 DPF 장치의 원리 및 필터 특성 그리고 국내외 연구 현황에 대하여 살펴보도록 한다.

#### 2.1.1 DPF의 원리<sup>[2]</sup>

DPF의 핵심 기술은 PM 포집(trapping)기술과 재생(regeneration)기술로 나누어진다. 즉 포집된 PM은 가능하면 빠른 시간 내에 태워서 필터가 다시 PM을 포집할 수 있도록 하는 재생과정을 거치며 이때 재생에 의해 필터가 과열되어 파손되지 않도록 해야 한다. 재생과정은 light off 온도(PM이 타기 시작하는 온도), 공급되는 산소농도, 산소유량, PM의 포집량에 따라 적절하게 조절하여야 하며 이와 같은 재생과정은 기술 발전 단계를 고려하여 3가지 등으로 구분할 수 있다.

#### a) 1세대 DPF 기술: 강제 재생 방식

필터 내에 PM을 일정량 포집하고 이를 전기 히터나 버너 등을 이용하여 강제적으로 태우는 방식으로 장치구조가 복잡하고, 고장이 잦은 단점이 있다. 전기 히터 방식은 미국의 Donaldson사에서 최초로 시작하였다. 1992년 뉴욕시에서 강제 재생방식인 DPF를 약 400대의 버스에 탑재하여 시험운행 하였으나 고장 빈발과 비용 문제 때문에 중단하였다.



b) 2세대 DPF 기술: 자연재생방식

위의 강제 재생방식에서의 PM의 재생온도는 약 650℃이다. 자연재생방식이란 촉매나 연료 첨가제를 사용하여 PM의 재생온도를 약 300℃ 수준으로 낮추고, 엔진 배출가스의 온도를 이용하여 연속적으로 PM을 태우는 기술이다. 이러한 2세대 기술은 구조가 간단하고 고장이 적은 것이 장점이다. 미국의 경우 배출가스 온도가 높은 일부 시내버스 등에 적용하고 있으나 우리나라의 경우 주행속도가 낮고 정차가 잦아 배출가스 온도가 250℃ 수준으로 낮기 때문에 직접적인 적용은 어려울 것으로 판단된다. 또한 배출 가스의 온도가 150-200℃로 낮은 중소형 차량에도 적용하기가 어려운 단점이 있다.

c) 3세대 DPF 기술: 혼합재생 방식

DPF 장치의 실용화를 위해서는 낮은 배출가스 온도를 보완하는 보조 재생장치 기술이 추가되는 passive+active combination 방식의 3세대 기술이 필요하며 각국에서 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 보조 재생기술로서 전기 히터를 사용하는

방식이 가장 많이 사용되어 지고 있으며, 이는 세라믹 모노리스 타입 필터의 전방에 전기히터를 설치하여 복사열을 이용하는 기술 등이 개발되고 있으나 전기 에너지 사용량의 제한이 개발에 가장 큰 어려움으로 작용하고 있다.

2.1.2 DPF용 필터<sup>[3-6]</sup>

필터의 재질이나 형상은 DPF 시스템의 성능을 결정하는데 가장 중요한 인자이다. 모노리스 타입이 가장 보편적인 형태이며, 카트리지 형태, knit 형태 cross flow 타입 등도 사용되고 있다. 필터 재질은 cordierite가 가장 보편적이며 SiC, fiber, 금속 분말 등도 중요한 소재이다. 필터의 성능을 좌우하는 중요한 인자로는 여과용량, 다공성, 압력강하, 열용량, 열내구성, 열팽창과 강도, 열충격 저항, 화학적 내구성, 용융점과 가격 등이 있다. 그림 1은 대표적인 DPF용 필터의 포집원리를 나타낸 것이며 표 1은 현재 사용되고 있는 DPF용 필터의 종류를 나타내고 있다.

2.1.3 국내 외 동향<sup>[1,2]</sup>

DPF 장치의 적용을 위한 기준이 되는 국내외의 정

표 1. Diesel Particulate Filter의 종류

Types of DPF	Advantages	Disadvantages
Ceramic honeycomb filter (wall-flow monolith)	- high efficiency - can be catalyst-coated	- moderately high backpressure - high backpressure rise rate - cracking due to thermal stress
Ceramic honeycomb filter (flow-through monolith)	- low back pressure - can be catalyst-coated - low cost	- lower efficiency
Ceramic fiber candle filter	- high efficiency - low backpressure - no thermal cracking	- possible large volume requirement - fiber shedding
Ceramic foam filter	- resistant to thermal cracking - low cost - can be catalyst-coated	- high backpressure - lower efficiency
Ceramic fiber mat	- very high efficiency - no thermal cracking	- high backpressure - high backpressure rise rate - fiber shedding
Metal wire mesh filter	- low backpressure rise rate - self-regeneration capability	- moderately high backpressure - lower efficiency, especially at high speeds
Sintered metal	- resistant to mechanical cracking - high efficiency - high thermal conductivity	- high thermal expansion - high cost

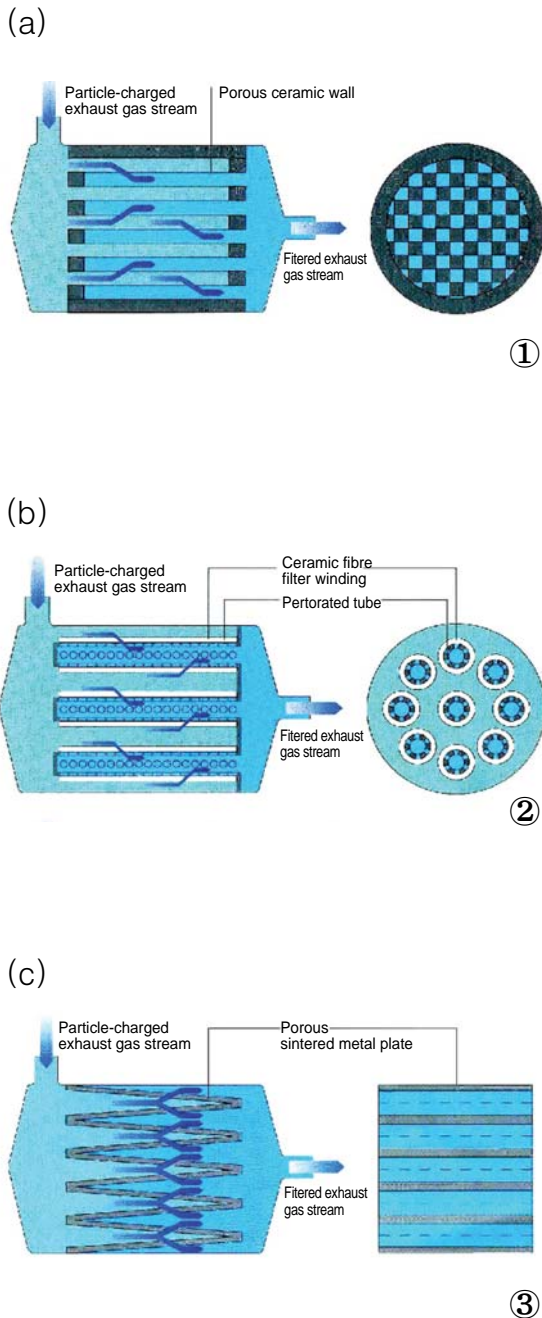


그림 2. 대표적인 DPF용 필터의 포집원리  
 (a) Ceramic honeycomb  
 (b) Ceramic candle filter  
 (c) Metal wire mesh filter

책 변화를 살펴보면 경유 자동차가 보편화되어 있는 유럽의 경우에는 2005년부터 EURO4 기준에 의해 DPF 강제 부착기준이 확정되었다. 이는 휘발유 및 CNG 자동차와 거의 동일한 수준으로서 PM을 기준으로 보면 2000년 기준(EURO3)의 0.1g/kwh에 비하여 1/5 수준인 0.02g/kwh으로 강화되는 것임을 의미한다. 미국의 경우 Tier 2 기준에 따라서 2007년 이전에 PM 및 NOx 기준을 강화할 계획이며, Tier 2에서 제시한 PM의 기준은 2004년에 0.1g/dhp-hr에서 0.01g/dhp-hr로 낮추는 것을 주요 내용으로 하고 있다.

일본의 경우는 2003년부터 동경시의 등록된 경유차의 경우 DPF의 장착의 의무화를 추진하고 있으며, 2006년까지는 완료할 계획으로 알려져 있다. 국내의 경우에는 제작차 배출 허용 기준을 강화하여 경유자동차의 경우 2006년까지 유럽의 EURO-4 수준으로 강화하고, 2010년까지 2006년 대비 50% 추가 강화를 추진하고 있다. 또한 최근 들어 경제장관 간담회(2003. 3.25)에서는 2005년에 경유승용차를 허용하되, 경유다목적차(RV) 등 제작차 배출허용 기준, 운행차 관리, 경유 중 황함량 기준 강화 등 경유차 전반에 관한 대기질 개선대책도 병행 추진하기로 결정하였다.

이와 같은 정책적인 변화에 발맞추어 DPF에 관한 연구는 활발하게 이루어지고 있다. 즉 Peugeot, Engelhard, Ibiden 등에서는 다양한 형태의 DPF를 개발 중이며, 특히 Peugeot의 경우는 2000년부터 양산용 경유승용차(Peugeot 607)에 DPF를 부착하여 판매하고 있다. Johnson Matthey에서 뉴욕시에 약 50여대의 버스를 시험운행 하였으며, 도요타 자동차, 이스즈 자동차 등에서 세라믹 섬유 필터 등을 이용한 DPF를 꾸준히 개발하고 있다.

표 2는 현재 국내외의 DPF 관련 업체를 중심으로 적용되는 다공질 필터 및 재생 방식을 중심으로 정리한 것이다. DPF 장치의 핵심 부품인 필터재료는 표 2에서 알 수 있는 바와 같이 Corning, NGK, 3M 등에서 제조되는 필터를 그대로 차용하여 사용하면서, DPF 시스템 구현을 목적으로 하는 연구가 주류를 이루고 있다. 국내의 경우에도 대부분 연구가 시스템



연구에 치중하고 있기 때문에 원천 기술 확보 측면에서 핵심 소재인 다공질 필터 재료의 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

## 2.2 금속 다공질 분야

금속 다공질 분야는 크게 금속분말 또는 금속 fiber를 이용하는 금속 필터 분야와 건축 및 여과용 알루미늄 발포금속, 기계부품용 Oilless bearing 등을 들 수 있다.

### 2.2.1 금속 필터 분야

필터는 형태가 서로 다른 물질(고체와 액체 또는 고체와 기체 등)이 섞여 있는 상태에서 고체 입자를 여과하는 용도로 널리 사용되고 있다. 필터의 성능은 필터 재료 내부에 존재하는 기공에 의해 좌우되며, 전체 기공률, 기공의 크기 및 분포에 의해 결정된다. 필터 재료에서 기공의 구조는 필터 재료의 양쪽 면에 관통할 수 있도록 존재해야 하며, 내부에 고립된 기공은 필터의 여과 성능에는 영향을 미치지 않고 필터

표 2. 국내외의 DPF 관련 업체 현황 (다공질 필터 및 재생 방식 중심) <sup>(1),(4)</sup>

제조사	필터의 형태 및 재생 방법
Cornig	ceramic cell filter, honeycomb structure (cordierite)
NGK	ceramic cell filter, honeycomb structure (SiC, cordierite)
3M	wound fiber filter
BUCK	knitted fiber filter cartridges, catalytically coated for regeneration, optional integrated electric heating
DEUTZ	ceramic cell or wounded fiber filter, full flow diesel burner, replaceable filter (external regeneration), snap-on filter
ECS	ceramic cell filter additive regeneration, electric stand-still regeneration on board
HJS	ceramic cell filter, CRT system, sintered metal filter (type SHW), additive regeneration and/or burner heating
HUG	woven fiber filter, catalytic coating and/or additive and/or burner
HUSS	ceramic cell filter (new SiC), electric stand-still regeneration on board
Johnson Matthey	ceramic cell filter, CRT system, diesel injection and catalytic ignition, electrical stand-still regeneration on board
Oberland-Mangold	fiber knitted filter, additive regeneration and/or catalyst coating and/or electric internal heating
Donaldson	ceramic cell filter, twin filter system, electric partial flow regeneration, paper filter, disposable when laden
Engelhard	ceramic cell filter, catalytic coating, wound fiber filter (3M), electric stand-still regeneration on board
IBIDEN	ceramic cell filter, material is SiC, additive regeneration, sequential electric regeneration
NOTOX	ceramic cell filter (SiC), additive regeneration
한국기계연구원	DPF 시스템 평가, nano-PM 포집용 다공질 필터
일진	복합 재생 방식(전기 히터와 산화 촉매 필터 이용)
SK, MOBIS	촉매식 디젤 매연 정화 장치 (EnCPF), wall flow type 필터, 자연재생방식
블루플래닛	디젤 플라즈마 후처리 장치, wall flow type 촉매 필터
씨에이테크	중대형 차량용, un-structured multi-layered filter
템스	Engelhard 방식, wall flow type 필터





의 부피만 증가시키는 역할을 한다.

필터의 종류는 재질 면에서 종이, 금속, 요업, 플라스틱 필터 등으로 구분할 수 있다. 종이 및 플라스틱 필터는 가격이 저렴하고, 무게가 가벼운 장점이 있으나 강도, 내열성 및 통기성 등에서 다른 재질의 필터에 비해 특성이 떨어지고 있다. 세라믹재료 필터는 내열성과 내식성이 우수한 특성을 가지고 있다. 그리고 금속재료 필터는 내열성, 내식성 및 강도가 우수하여 널리 사용되고 있다. 그림 3에는 금속 분말을 이용해 만든 각종 필터들을 나타내었다.

### 2.2.2 발포금속 분야

금속으로 다공질체를 만드는 방법 중에 요즘 많은 연구가 되고 있는 분야가 발포 공정이다. 이 공정은



그림 3. 금속 분말에 의해 제조된 다공질 부품의 모습

일반적으로 금속 용탕내에 발포제를 투입하고 응고시키는 것이 일반적인 방법이다. 최근에는 분말야금법을 이용한 발포 공정도 연구가 이루어지고 있다. 제조공정은 먼저 원하는 분말합금에  $TiH_2$  등의 발포제를 혼합하여 냉간이나 열간으로 예비 성형한 후 압연이나 압출을 실시한 후, 이 반가공재를 die에서 용융온도 부근까지 가열하면 발포제에서 수소가 분해되어 나오며 기공을 생성해 준다. 제품의 밀도는 발생하는 수소에 따라 달라지므로, 분말 합금과 발포제를 혼합할 때 발포제의 양을 조절하여 밀도를 조절할 수 있다.

이 공정으로 다공질 알루미늄체를 제조하는 데는 동일한 무게의 주조법에 비하여 5-8배의 정도의 많은 비용이 들지만 다른 공정에 비하여 합금조성의 폭이 넓고, 복잡한 3차원 형상을 제조할 수 있는 장점을 가지고 있다.

일본의 미쓰비시사 등에서는 분말야금 기술과 바인더 성형기술을 사용한 슬러리 발포법에 의해 금속 분말을 이용한 고품질의 발포 금속 성형체를 제작한다. 이 방법은 금속 분말, 유기 바인더, 용제, 발포제 및 미량 첨가제를 포함하는 슬러리를 닥터브레이드법으로 성형하여 내부로부터 직접 발포시켜 스펀지상으로 성형체를 제조한 후 성형체를 소결시키는 방법이다. 특징은 90 - 96%의 고 기공율이 얻어지며, 유효 공극 체적이 크게 되는 점이다. 또한 종래의 발포

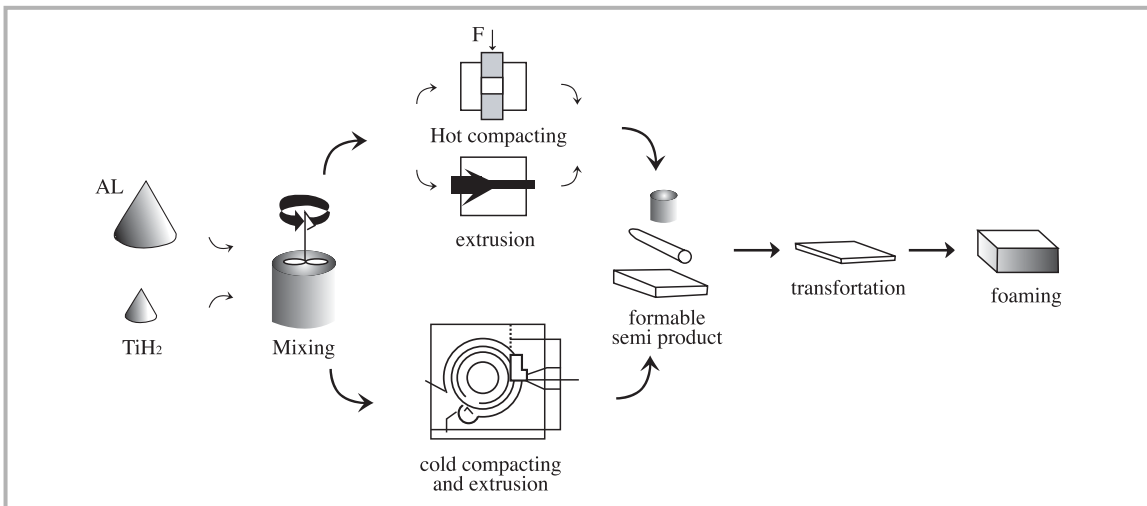


그림 4. 금속분말에 의한 foam 형성 개략도



금속 재료는 니켈, 동, 금, 은 등 중금속에 한정되었으나, 이들 중금속 외에도 스테인레스스틸 및 각종합금 재료로 응용범위가 확대되고 있는 추세이다.

### 2.2.3 국내외 연구개발 동향

일반적으로 분말 필터 분야의 기술수준은 안정기에 접어든 상태이며, 일반적인 필터의 경우 생산으로부터 특수 용도의 필터 분야로 연구 개발의 방향이 전환되고 있는 실정이다. 즉 기존의 분말 필터의 단순 소결 공정으로부터 경사 기능성 구조의 필터나 금속 fiber 등을 혼합하여 제조하는 필터 및 여러가지 종류의 금속을 혼합하여 제조되는 필터 등으로 연구가 집중되고 있는 실정이다. 그림 5는 금속 분말을 이용하여 경사기능성 다공질 재료를 제조한 예를 나타내었다.

금속 fiber를 이용한 필터는 미국의 Fluid dynamics사, 일본의 일본정선, 벨기에의 Bekaert사

에서 전세계 수요의 90%정도를 생산하고 있다. 하지만 이들 업체들이 대부분 bundle drawing이라는 공정을 이용하고 있어, 적용소재가 stainless steel로 한정된 단점이 있다. 이에 국내에서는 화이버텍(주)에서 FIME공정을 이용하여 다양한 종류의 금속 fiber를 제조하고 있으며, 표면연소 mat등에 적용을 시도하고 있다. 그림 6은 화이버텍(주)에서 제조한 각종 필터와 표면연소 mat를 나타내었다.

금속 분말 발포 분야는 주조 분야에 비하여 비교적 시장범위는 작으나, 기존의 발포 공정에 비하여 니켈, 동, 금, 은 등 중금속뿐만 아니라 스테인레스스틸 및 각종 합금 등으로 응용범위가 확대되고 있는 추세이다. 주요 용도는 자동차부품의 촉매 캐리어(담체), 에어필터, 윤활유 필터 등 내식성을 요구하는 부품 및 전자기기의 관련부품 등으로서 응용범위가 점차 증가되는 추세를 보이고 있다. 국내의 경우 (주) 에이티에서 2000년부터 흡/차음재 및 여과용 알루

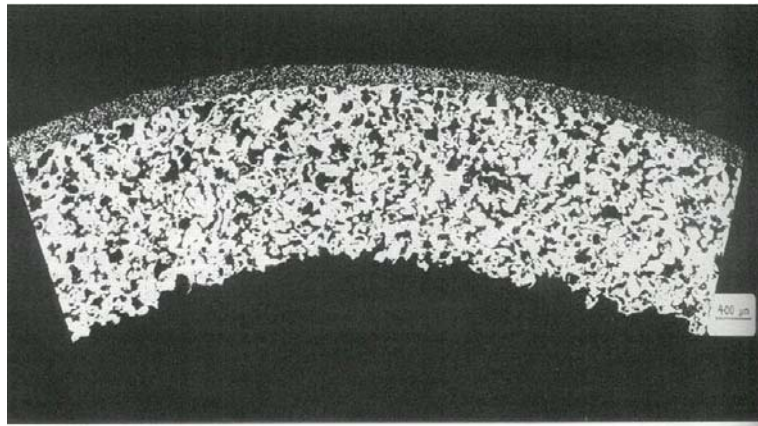


그림 5. Sinter Metals Krebsoge Filter Inc사의 경사 기능성 다공질재료



그림 6. 화이버텍(주)에서 제조한 금속 fiber filter 및 표면연소 mat



표 3. 발포공정에 의한 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	
ERG(USA)	Directional solidification	Al	
Hogan Industries(USA)	Fine powder, sinter	Cu, Ni	
Norsk Hydro(Norway)	Semi-continuous casting	Al	Developmental
Frauenhofer Institute(Germany)	P/M hydries	Al	
Frauenhofer Institute(Germany)	Electrodeposition	Zn	
Austrian Metal AG (Austria)	P/M hydries	Al	
Gergia IT(USA)	Oxide reduction	Ni	
Lawence Livermore(USA)	P/M hydries	Be-Li	
Akademi of Science (Ukraine)	sinter powder	Ti-Mo	
DMI(Ukraine)	Directional solidification	Al	

미늄 발포재를 생산 판매 하고 있다. 그림 7에는 기공의 크기가 약 50 - 400 $\mu$ m인 발포 알루미늄을 나타내었다.

### 2.3 Kiln furniture 및 단열재

Kiln furniture는 소결공정 중에 제품들을 적재하여 소결하기 위한 지지대 및 판재 (그림 8)로써, 제품의 소결온도에 따라 1600 $^{\circ}$ C까지의 고온에 노출되었다가 소결공정이 끝나면 상온까지 냉각되는 과정



그림 8. 세라믹 소결용 지지대



그림 7. 발포 알루미늄

을 반복하게 된다.

이러한 소결로 내에 사용되는 부품들은 creep, 균열, 산화 및 기타 화학적 반응에 반복적으로 노출된다. 특히, 최근에 시도되고 있는 급속 소결의 환경에서는 급격한 가열과 냉각이 반복적으로 이루어진다. 이러한 환경에서 에너지를 절감하고 생산성을 향상시키기 위하여 경량 고강도의 소결로용 부품이 필요

하게 되었다.

다공질 세라믹스가 이러한 용도에 사용되는 이유는 우선 다공질 세라믹스의 자체 하중이 작다는 점과 내열 충격성이 우수하다는 점이다. 내열 충격성을 나타내는 열충격계수는 꺾임강도와 열전도도의 곱에 비례하고 탄성계수와 열팽창계수의 곱에 반비례한다. 소재를 다공질화 함으로써 탄성계수를 낮추어 내열 충격성을 높일 수 있다. 물론, 이러한 과정에서 강도의 저하를 최대한 억제하여야 한다는 것도 중요하다.

따라서 핵심기술은 강도를 최대한 유지하면서, 기공을 최대한 많이 도입하여 내열 충격성을 높이는 기술이 된다. 구체적으로 한가지 예를 들면, 기공이 이방성의 모양, 즉 미세한 바늘모양이나 판 모양을 갖도록 한 뒤, 이들 기공들의 방향성을 제어하면, 기공



의 배향방향과 수직인 방향으로 높은 강도를 유지하면서 소결체 전체적으로는 많은 양의 기공을 갖게 되어 내열 충격성이 우수한 소재를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

최근 본 연구팀에서는 chopped carbon fiber와 인상흑연을 이용하여 침상 및 판상기공이 배향된 다공질체 제조에 성공하였으며, 관련 기술을 특허출원할 예정이다. 그림 9는 본 연구팀에서 제조한 침상 기공이 배향된 다공질체의 단면 조직을 나타내었다.

소결로용 구조 세라믹스 부품의 시장은 서유럽에서만 1995년 6,000 ton의 탄화규소 세라믹스 부품이 생산되었으며, 이는 약 1억 마르크 (약 500억원)에 상당한다. 산화물 세라믹스 부품의 경우에는 1995년 약 25,000 ton이 생산되었으며, 이는 약 6천만 마르크 (약 300억원)에 상당한다. 또, 향후의 시장은 매년 약 8-12% 씩 증가할 것으로 예측된다. 주요 생산업체로는 AnnaWerk, Norton, Cesiwid 등이 있다. 최근 일본의 Kanebo사는 세라믹스 분체와 비슷한 크기의 polymer beads를 세라믹스 분체와 함께 혼합하여 소결과정 중에 polymer beads를 제

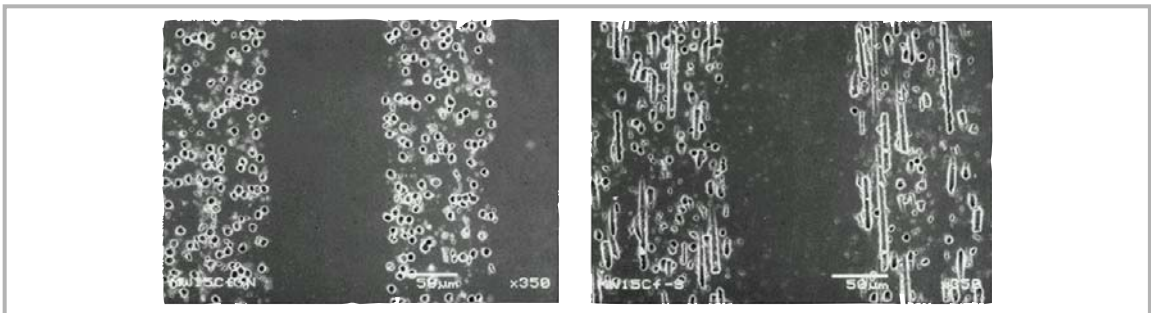
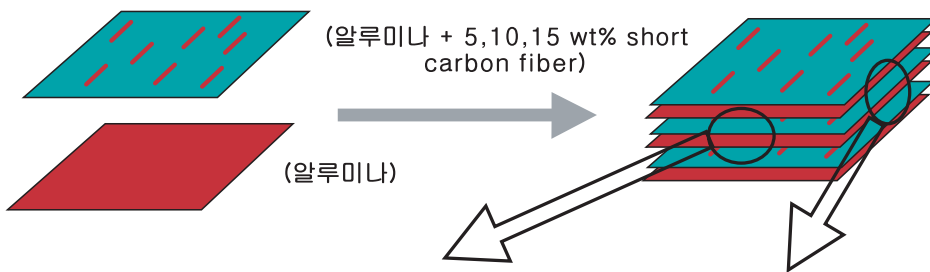
거함으로써, kiln furniture용 다공질의 세라믹스를 얻는 방법을 공개하였다.

#### 2.4 Air-bearing

공작기계와 같은 이송 부품을 갖는 각종 산업에서도 고속화를 통한 생산성 향상이 지속적으로 추진되고 있다. 이러한 고속 운동은 다량의 마찰열을 수반하게 되고 많은 양의 에너지가 손실된다.

Air bearing은 부품들이 접촉하지 않은 상태에서 이송이 이루어지므로 마찰로 인한 에너지의 손실은 물론 떨림 등을 방지함으로써 기계의 정밀성을 크게 향상시킬 수 있다.

현재 개발되고 있는 Air Bearing 및 정압 Screw는 다공질 탄소 재료를 사용하고 있으나, 다공질 탄소 재료의 내부 기공 구조가 원하는 대로 제어되지 않아 Pneumatic Hammering 현상이 발생하고 있으며, 정압 Screw의 경우 다공질 탄소 재료의 강도가 낮아 정밀 가공이 불가능한 상태이다. 또한 탄소재료는 탄소 입자간 낮은 결합강도에 기인하여 기계 가공



알루미나/알루미나-24vol% 기공의 SEM 사진

그림 9. 침상 기공이 배향된 다공질체 단면조직



후 미세한 Particle이 발생할 가능성이 높아 고정정도가 필수적인 반도체 제조공정에 오염요인으로 작용할 가능성이 있다.<sup>[7]</sup> 따라서 원하는 기공율(30% 정도)을 가지면서도 내부 기공을 원하는 대로 제어하여 Pneumatic Hammering 현상이 발생하지 않는 Ceramic Air Bearing 재료의 개발이 필요하며, 기공율 및 가공능이 우수하면서도 입자간 강도 및 재료 전체의 강도가 높은 정압 Screw용 다공질 재료의 개발이 필요하다.

최근 반도체/Display/정보통신산업이 급성장하면서 최종 제품에 대한 생산기술은 발전하고 있으나, 장비기술의 infra부족으로 장비의 개발기술은 후진국 수준이다. 특히 반도체/PDP용 stepper, wafer/PDP 결합 측정장비 등 공정장비나 검사장비는 거의 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 현재 Air bearing stage의 설계기술은 국내에도 infra가 구축되어 있으나 공기 베어링용 재료 및 가공기술은

실용화기술이 개발되지 못하고 있는 실정이다. 국내 X-Y stage는 기계 설비 전체가 수입되는 관계로 정확한 금액 산정이 불가능하나 일본의 경우 위치제어기만 연간 150억원의 시장의 시장을 가지고 있다.

최근 본 연구팀에서는 알루미늄 소결에서의 소결수

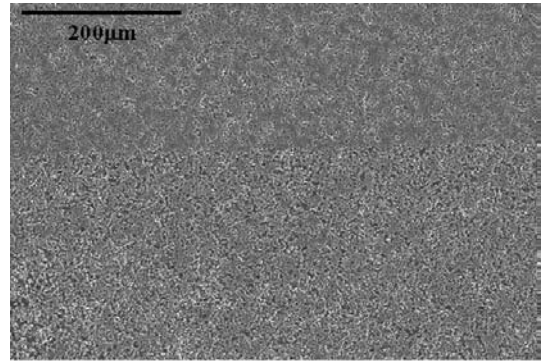


그림 10. 이종기공구조를 갖는 세라믹 다공질체의 단면조직과 이를 적용한 X-Y stage

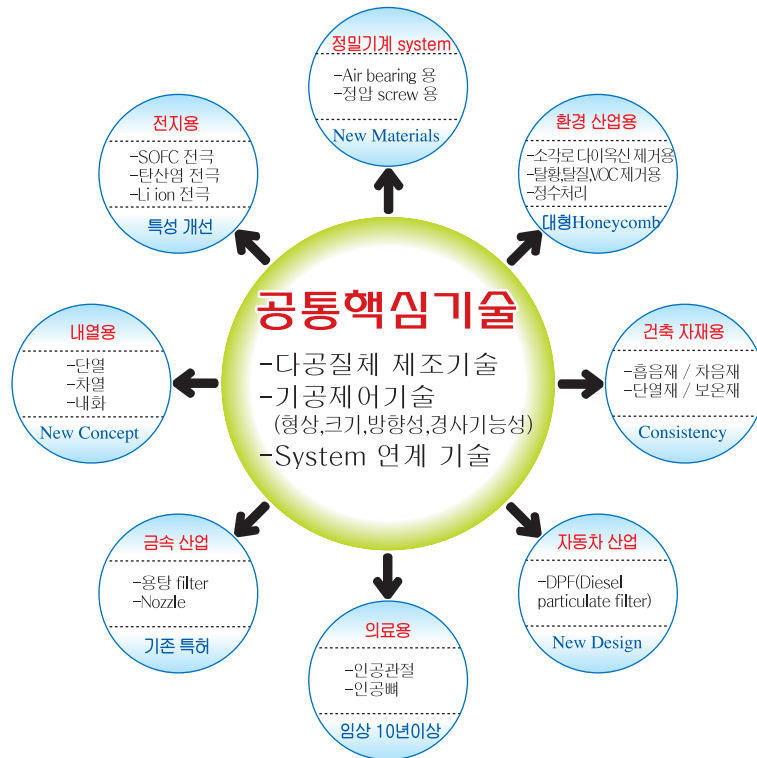


그림 11. 다공질 재료개발에 필요한 공통핵심기술



축거동을 이용하여 반도체 stepper X-Y stage용 세라믹 다공질체 개발에 관한 연구를 수행하였다. 핵심기술은 Pneumatic Hammering현상이 발생하지 않도록 Air-bearing이 이중기공구조를 갖도록 제조하는 것으로 평균입자크기가 다른 이중의 알루미늄 분말을 사용하여 소결수축거동을 제어함으로써 Pneumatic hammering이 발생하지 않는 Air-bearing을 개발하였다.

그림 10은 본 연구팀에서 개발한 이중기공구조를 갖는 air-bearing용 세라믹 다공질 소재와 이를 적용한 X-Y stage를 나타내었다.

### 3. 결론

본 고에서는 자동차 산업, 금속 산업, 건축 산업, 기계부품 산업과 같은 각종 첨단 산업에서 DPF, 필터, 발포금속, Kiln furniture, 단열재, Air-bearing과 같은 핵심 부품으로 적용되는 다공질 재료의 국내외 연구동향을 알아보았다.

본 고에서 조사한 분야는 다공질 재료의 응용범위 중 일부만을 조사한 것이며, 이 외에도 재료내 포함된 기공이 갖는 분리, 비표면적 증대, 유속제어, 저장, 차단, 경량화, 방향성의 특성을 이용하여 탈황, 탈질, 수질정화용 담체, 전극재료, 의료용 Implant, 미생물 Carrier, 각종 산업용 Flow-control device, Gas distributor, Self-Lubricating bearing, 열교환기, 비료 holder, 배기 소음제, 정밀 회전 기기부품 등에도 적용되고 있다.

그림 11에는 다공질 재료가 적용되는 산업분야와 해결해야 할 기술 및 공통핵심 기술에 관한 개략도를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 매우 많은 산업 분야에 다공질 재료가 적용되고 있지만 아직 개선해야 할 부분도 있음을 알 수 있다. 특히 기공율 제어 기술, 기공크기 제어기술, 기공형상 제어기술, 기공 배향성 제어기술, 기공 FGM화, System 연계기술 등의 공통핵심기술의 개발은 파급성이 매우 크기 때문에 시급히 연구되어야 할 부분이다.

국제적으로 독자 모델 개발이라는 시대적 조류에 대응하여 다공질 재료에 관한 기술개발은 주요 부품

의 국산화 뿐만 아니라 독창적 기술 개발이 필요하며, 다공질 재료에 대한 연구는 국가 기간 산업의 위상을 제고시킬 수 있으므로 재료연구분야의 새로운 축으로서 역할을 수행할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 1회 심포지엄: 경유차후처리기술 보급동향 및 향후전망, 한국기계연구원, 2003. 4.
- [2] web site, 자동차와 환경, www.autoenv.org
- [3] A. Mayer et al., "Effectiveness of Particulate Traps on Construction Site Engines " DieselNet technical report, www.DieselNet.com, 1999
- [4] Andreas Mayer, "Selection Criteria for Diesel Particulate Trap Systems" DieselNet technical report, www.DieselNet.com, 1998
- [5] S. Miwa, et al., Diesel particulate filters made of newly developed SiC, SAE Paper 2001-01-0192.
- [6] K. Ohno, et al., Characterization of SiC-DPF for passenger car, SAE Paper 2000-01-0185.
- [7] Sinichi Togo, Guidebook of Air Bearing Design, Kyouritsu Pub. Ltd. Co., 2002.