

디젤엔진에 적용하기 위한 SiC DPF용 접합제의 극성 및 첨가물에 따른 물리적 특성 변화에 관한 연구

김진원* · 류영현**†

* IB MATERIALS 기술연구소 세라믹팀 차장, ** 목포해양대학교 해양메카트로닉스학부 조교수

Study on the Change of Physical Characteristics by Polarity and Additives of SiC DPF Binder for Diesel Engine Application

Jinwon Kim* · Younghyun Ryu**†

* Ceramic Team Manager, Technical Center, IB MATERIALS, Yeongam 58453, Korea

** Assistant Professor, Division of Marine Mechatronics, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요약 : 미세먼지발생 문제는 커다란 사회적 문제로 대두되고 있다. 선박에서는 주 추진 동력원으로 디젤엔진을 주로 사용하고 있다. 본 연구에서는 디젤엔진에서 발생하는 미세먼지로 알려진 입자상 물질을 줄이기 위해서 디젤엔진의 후처리시스템으로 사용 중인 DPF(디젤미립자 필터, Diesel particulate filter)를 소개하고자 한다. DPF의 소재로는 Cordierite와 SiC (Silicon carbide)의 두 가지가 사용되고 있다. 본 논문에서는 SiC DPF에 사용되는 접합제의 물성 향상을 위해서 기존 접합제로 사용된 SiC 계열의 물질 대신 코디얼라이트를 사용하여 열팽창계수 변화를 통한 고온 변형에 대한 열 내구성을 평가하였으며, 접합제와 Segment 사이의 결합을 결정짓는 바탕제에 주성분인 실리카 졸의 pH 변화에 따른 물성 변화를 확인하였다. 이를 기반으로 실리카 졸의 반응성을 높이기 위해 Siline계 커플링제를 첨가하거나 SiC를 일부 첨가함으로써 접합제의 물성 변화의 영향에 대해서 실험을 통하여 확인하였다.

핵심용어 : 디젤엔진, 미세먼지, 입자상 물질, SiC 디젤미립자 필터, 접합제

Abstract : Fine dust has become a significant social problem. Diesel engines are used as the main propulsion power source in ships. This study introduces a diesel particulate filter (DPF) that is used as an exhaust after-treatment system for diesel engines to reduce particulate matter known as diesel fine dust. Two materials are used for the DPF: Cordierite and silicon carbide (SiC). In this study, to improve the physical properties of the binder used in the SiC DPF, cordialite was used instead of the SiC-based materials used as the conventional binder to evaluate the thermal durability against high-temperature deformation through the change of the coefficient of thermal expansion. In addition, the physical properties of the silica sol, as a main component of the base coating solution for determining the bond between the binder and the segment, were confirmed. Based on this, the change effect of the binder physical properties was confirmed through experiments by either adding a silane coupling agent or SiC to increase the reactivity of the silica sol.

Key Words : Diesel engine, Fine dust, Particulate matter, SiC DPF, Binder

1. 서론

미세먼지발생 문제는 커다란 사회적 문제로 대두되고 있다. 미세먼지 발생량을 줄이기 위해서는 근본적인 발생원을 차단하는 것이 근본적인 해결책이지만 자동차 등의 디젤엔진을 장착한 수송용 차량에서는 미세먼지로 알려진 입자상물

질을 줄이기 위해서 DPF(디젤미립자 필터; Diesel particulate filter) 등의 엔진 후처리시스템을 설치하여 저감을 시도하고 있다(Lee et al., 2011). DPF를 자동차에 장착하여 입자상물질을 저감하는 것은 사실상 실용화 되어 있고, 많은 연구가 진행되어 왔다(Lee et al., 2011). 미세먼지발생은 선박용 디젤엔진에서도 기여하고 있다는 조사결과가 있어서, Lee et al.(2017)에서는 입자상물질을 저감하기 위하여 선박용 고속 디젤엔진에 적용한 디젤미립자 필터의 측정법에 따른 입자상 물질

* First Author : kjw80@ibmaterials.co.kr, 061-460-7670

† Corresponding Author : yhyu@mmu.ac.kr, 061-240-7243

저감효율을 비교, 분석한 연구를 발표하였다. 입자상 물질의 측정법으로는 분류회석 방법, 광흡수법이 적용된 스모크미터와 오페시미터를 이용한 측정방법 등을 소개하였으며, 측정방법에 따라 저감 효율이 달라질 수 있기 때문에 신뢰성 있는 평가결과를 도출하기 위해서는 측정방법의 단일화 필요성을 주장하였다. DPF는 Wall-Flow 방식으로 내부에 사각형 통로가 벌집(Honeycomb) 모양으로 배열되어 있다. 채널 입구와 출구는 교대로 막혀져 있어 입구로 유입된 배출 가스는 다공질의 벽을 통과하여 이웃한 채널을 통하여 빠져나가게 되며 이때 유입된 매연(Soot)은 다공질의 벽에 포집된다. 이렇게 포집된 매연은 여러 가지 방법에 의해서 제거된다. DPF는 매연 등의 입자상물질을 효과적으로 여과하면서 배기가스에 대한 압력손실이 작고, 재생 시 발생하는 열충격, 기계적 응력 등에 대한 내구 특성이 우수해야 한다. 이러한 DPF 소재 중 대표적인 것이 Cordierite인데, 낮은 열전도도 및 열적 내구성으로 인해 이를 대체할 소재의 개발이 필요하며 이에 따라 SiC(Silicon carbide)를 기반으로 한 DPF가 개발 및 상용화되었다. SiC는 높은 열적 안정성 및 열전도도로 인해 DPF의 재생과정 중 발생하는 열응력을 빠르게 소산시킬 뿐만 아니라 높은 강도와 내부식성으로 인해 Cordierite 대비 높은 안정성을 확보한다. 그러나 높은 열팽창계수로 열충격 매개변수(TSP; Thermal shock parameter)가 낮으며 특히 대형제품으로의 제작이 힘든 것도 사실이다(Oh et al., 2008). 이러한 단점을 보완하고자 SiC로 제작된 DPF의 경우 Segment 단위체를 제작하여 이를 결합하는 방식의 제조방법이 사용되어지고 있는데, 이 Segment 단위체를 결합하기 위해서는 고온의 사용 환경에서도 사용 가능한 세라믹 접합제의 개발이 필요하다(Mizutani et al., 2006). 본 논문에서는 SiC DPF에 사용되는 접합제의 물성 향상을 위해서 기존 접합제로 사용된 SiC 계열의 물질 대신 Cordierite를 사용하여 열팽창계수 변화를 통한 고온 변형에 대한 열 내구성을 평가하였으며, 접합제와 Segment 사이의 결합을 결정짓는 바탕제에 주성분인 실리카 졸의 pH 변화에 따른 물성 변화를 확인하였다. 이를 기반으로 실리카 졸의 반응성을 높이기 위해 Siline계 커플링제를 첨가하거나 SiC를 일부 첨가함으로써 접합제의 물성 변화의 영향에 대해서 실험을 통하여 확인하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 접합제

SiC DPF의 Segment를 접합하기 위해 사용되는 접합제의 주성분 가운데 대표적인 물질은 실리카 졸이다. 실리카 졸은 액상 속에서 실리카 입자가 전기적 반발력에 의해 고르게 분포된 물질로써 액상의 종류에 따라 하이드로 졸 혹은 오르카

노 졸 등으로 구분된다. 실리카 졸은 저온에서 안정적으로 분포되어 있으나 고온의 환경에서는 실리카 표면에 위치한 실라놀 그룹의 탈수에 의해 가교되어 실리카 브리지를 형성하며 온도 상승에 따라 점차 응집 및 결정화되는데 이때 pH 농도에 따라 산성의 경우 실리카가 파이버 형태로 결합되는 반면 염기성에 가까울수록 응집되어 입자화가 이루어진 후 결정화가 된다. 이러한 구조적 결합 방식을 기반으로 실리카 졸의 pH 변화에 따라 구조 강도가 변화하게 된다. 실리카 졸은 pH 변화 외에도 접합제의 기반이 되는 물질과의 반응성을 기반으로 주변 고상 물질과의 결합에 따라 구조적 강도가 결정되어 지는데 이를 위해 실리카 졸에 일부 반응물질의 첨가 또는 반응성의 정도를 높이기 위한 커플링제의 첨가를 통해 접합제의 결합 강도를 향상시키기도 한다.

2.2 접합제 제조

시험에 사용된 Cordierite 기반 접합제의 제조 공정은 Fig. 1과 같이 제조되었다. 먼저, 기반이 되는 골체인 Cordierite의 외강도를 부여하기 위한 Fiber 등의 고상을 섞은 후 액상인 실리카 졸과 점도 조절을 위한 PVA 등을 첨가하여 소재를 1시간 이상 섞는다. 이때 실리카 졸의 pH별로 염기성과 산성에 따른 추가적인 접합제를 제조한다. 또한 추가 실험을 위한 Siline계 커플링제의 경우, 먼저 액상 제조 시 실리카 졸에 Siline계 커플링제를 첨가하여 140°C 온도에서 60분간 고르게 섞어 실리카 졸을 개질한 후 위와 같은 제조 과정을 거쳐 접합제를 제조한다. 반면 SiC계 접합제의 경우 Fig. 2와 같이 제조되어지는데 전반적인 제조 과정은 유사하나 실리카 졸의 추가적인 개질 반응을 제외하고 골체인 Cordierite 외에 SiC를 첨가하여 섞는 부분에서는 차이가 있다.

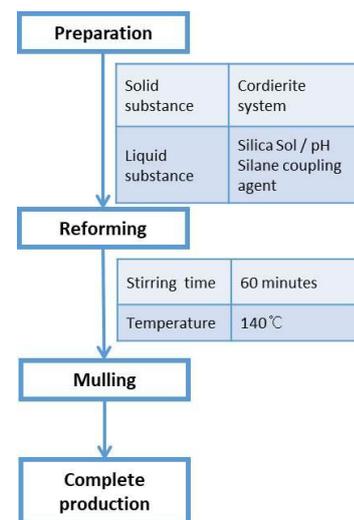


Fig. 1. Cordierite based binder manufacturing process.

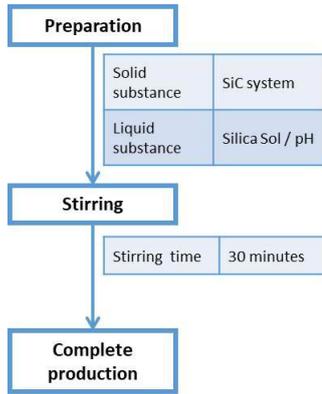


Fig. 2. SiC based binder manufacturing process.

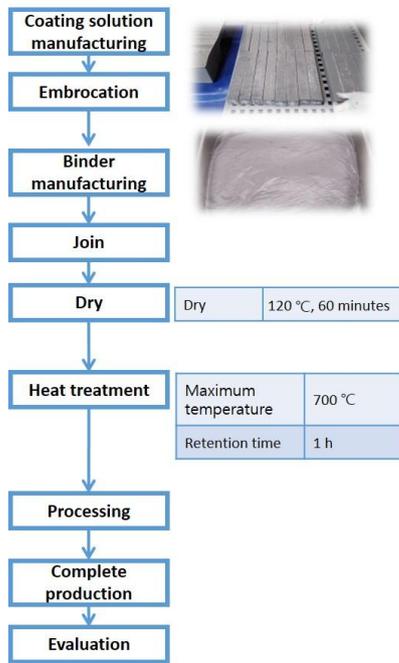


Fig. 3. Samples manufacturing.

최종적으로 제조된 접합제를 적용하여, 준비된 SiC 기반 Segment를 사용하여 Sample을 제조하였다. Fig. 3은 실험에 사용된 Sample을 제조하는 과정이다. 먼저, 준비된 SiC 기반 Segment에 접합제 적용을 위한 바탕제를 도포한다. 도포된 바탕제를 건조한 후 준비된 접합제를 도포한 후 균일한 압력을 가한 후 접합하여 120°C의 열풍 건조를 거쳐 형태를 잡은 후 최종적으로 700°C, 1시간의 소성을 거쳐 최종적인 Sample을 제조한 후 물성을 측정하였다. 또한, 본문에 제시된 DPF의 경우 이와 같은 경로를 거쳐 완제품 형태로 제조하였으며 이를 기준으로 시험 평가를 진행하였다.

2.3 접합제 실험장치 및 실험조건

SiC DPF에 사용되는 접합제의 물성 향상을 위해 열팽창 재료인 Cordierite를 기반으로 한 접합제와 Segment와의 결합을 결정짓는 바탕제에 결합력을 부여하는 실리카 졸의 pH 극성 변경에 따른 물성 변화를 확인하기 위하여 사용된 측정 장비를 소개하고자 한다. 먼저 접합제의 주성분인 실리카 졸의 분산형태를 확인하기 위해 제타전위를 BIC/ZetaPAL 장비를 이용하여 측정하였다. 이후 SiC DPF의 단위체인 Segment에 적용하여 접합 후 물성을 측정하였으며 이때 사용된 SiC Segment의 물성은 다음의 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of the SiC segment

Item	Result
Chemical composition (%)	SiC > 97, SiO ₂ > 3
CPSI	300 (1.95 ± 0.3 mm)
Channels geometry	Square
Wall thickness (mm)	0.26 ± 0.2
Square length of cell (mm)	1.20 ± 0.2
Porosity (%)	48 ± 2
Pore diameter (µm)	18 ± 2
3P-Bending strength-MOR (MPa)	8 ± 2
Coefficient of thermal expansion (CTE) (×10 ⁻⁶ /k)	5.8 ± 0.5

제작된 시편의 미세구조와 물성을 확인하였다. 접합제의 조직 및 미세구조를 관찰하기 위해 Fig. 4에서 보여주는 주사전자 현미경(SEM, EM-30/Coxem)을 사용하였다. 접합제의 물성은 접합강도 및 열팽창계수(CTE)를 측정하였으며, 접합강도는 UTM을 이용하여 로드셀의 속도를 0.50 mm/min으로 하였고, 최대 휨강도가 나타날 때까지 충분한 하중을 가하여 측정하였다. 이때 사용된 스펠은 접합제 양단간의 결합구조를 고려하여 4점으로 안쪽 스펠과 바깥쪽 스펠의 간격을 시료 두께에 맞추어 각각 20 mm와 40 mm로써 이것은 ASTM C 1161 code를 적용하였다. 사용된 장비 UTM(UTM/대경테크)으로 Figs. 5, 6과 같다. 열팽창계수는 Fig. 7과 같은 Thermomechanical Analysis를 이용하였으며 모델명은 NETZSCH/TMA 402이다. 최종적으로 제조된 접합제의 성능을 분석하기 위하여 앞선 실험과 동일한 SiC 기반 Segment를 적용하여 “5.66 × 8” SiC DPF를 제조하였으며 제조된 DPF의 내열특성을 크게 두 가지 방식으로 관찰하였다. 이 방식에 대해서는 본문에서 제시하였다.

디젤엔진에 적용하기 위한 SiC DPF용 접합제의 극성 및 첨가물에 따른 물리적 특성 변화에 관한 연구



Fig. 4. Scanning electron microscope (SEM).

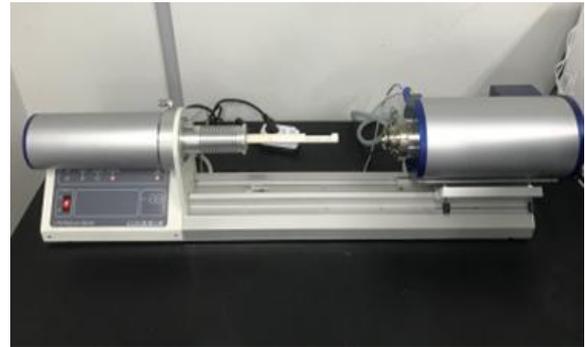


Fig. 7. Dilatometer.



Fig. 5. Universal testing machine (UTM).

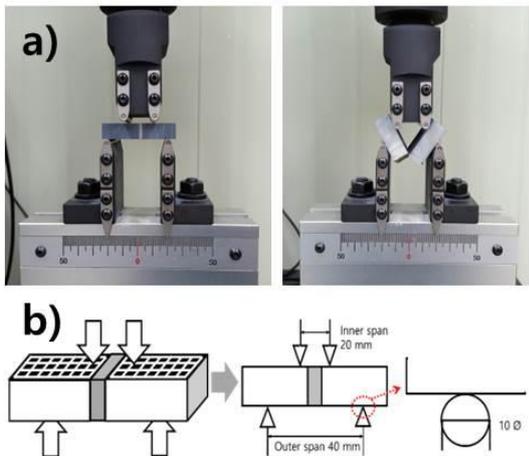


Fig. 6. Schematic of flexural strength test.

3. 실험결과 및 고찰

실리카 졸의 분산 정도에 따라 물리적 성질에 영향을 주게 된다. Table 2는 실험에 사용된 실리카 졸의 분산 특성을 나타내는 제타 전위의 측정 결과이다. 콜로이드 용액 내에 전위를 띤 입자가 전기영동 속도로 이동할 때 입자의 이중층 가운데 고정 층은 입자와 같이 움직이는데 비해 이온 확산 층은 액상과 같이 움직이며 이때 이 경계면에서 제타 전위를 가지게 된다. 이 제타 전위는 pH 농도, 표면개질 상태에 따라 영향을 받게 되는데, 제타 전위의 크기는 입자간의 분산도에 영향을 주게 되며 콜로이드 입자가 안정적으로 분산되기 위해서는 높은 제타 전위 값을 가져야 한다(Lee et al., 2006). 실험에 사용된 염기성과 산성의 두 대표군 각각의 제타전위는 -17.19 mV 및 -31.08 mV로 염기성에 비해 산성이 보다 우수한 분산도를 나타냄을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 실리카 졸의 특성상 중성의 경우 제타 전위의 감소로 인해 입자간 반발력이 감소하여 응집되는 현상이 실험에 사용된 두 양극성의 실험 군에서 나타나지 않음을 알 수 있으며 이는 접합제 등의 시험 평가에 사용될 실험 소재로 적합한 것임을 확인할 수 있다.

Table 2. Zeta potential measurement of silica sol by polarity

Item	Result
Base	-17.19 mV
Acid	-31.08 mV

실리카 졸의 pH 농도에 따른 접합제의 물성을 확인하기 위해 산성과 염기성의 두 대표군인 실리카 졸을 사용하여 접합제와 바탕제를 제조하였으며 제조된 접합제와 바탕제를 사용하여 접합한 후 4점 휨강도 측정을 통해 접합강도를

측정하였다. Fig. 8은 측정된 각 시료의 4점 휨강도 결과이다. 그림에서 보는 것과 같이 접합제-바탕제의 pH 농도에 따라 염기성-염기성 및 산성-염기성, 염기성-산성, 산성-산성으로 분류되며 결과 값은 각각 0.70 및 0.93, 0.80, 0.56 MPa로 동일 극성에 비해 반대 극성의 접합강도가 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 반대극성의 접합제와 바탕제가 결합할 경우, 결합 면에서 제타 전위의 감소와 더불어 동일 극성에 비해 응집력이 증가하게 되며 이로 인해 접합강도가 높아진 것으로 판단된다.

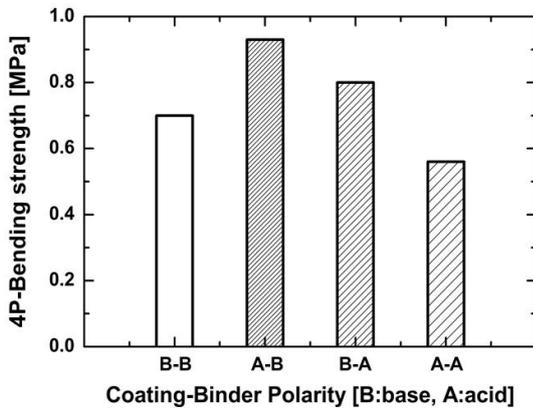


Fig. 8. 4P-Bending strength results of the coating-binder by polarity.

위의 실험을 기반으로 하여 실리카 졸의 반응도를 높이기 위해 Siline계 커플링제 및 SiC를 일부 첨가하여 실험을 진행하였다. 먼저, 앞에서 실험을 통해 얻은 결과를 기반으로 양 극성의 바탕제와 접합제를 제조한 후 각각 Siline계 커플링제와 SiC를 일부 첨가하여 SiC 기반 Segment에 접합한 후 Table 3에서 보이는 것과 같은 시험편을 제조하여 각각의 4점 휨강도 측정을 통해 접합강도를 측정하였다. Fig. 9는 각 시험편의 접합강도를 측정한 결과이다. Siline계 커플링제를 첨가한 시료인 A-BASX 및 A-BASO, A-ABSX, A-ABSO의 접합강도는 각각 0.83 및 1.62, 1.11, 0.72로 Siline계 커플링제를 첨가한 경우의 접합강도가 큰 것을 확인할 수 있으며 SiC를 일부 첨가한 시료인 S-BASX 및 S-BASO, S-ABSX, S-ABSO의 접합강도는 각각 1.15, 및 1.47, 0.77, 0.95로 앞의 실험과 마찬가지로 SiC를 일부 첨가한 시료가 그렇지 않은 시료에 비해 접합강도가 큰 것을 확인할 수 있다. Siline계 커플링제의 경우 $x\text{-Si(OR)}_3$ 의 일반식으로 표시되며 이는 실리카 졸 입자 표면의 OH기와 결합하여 표면을 개질함으로써 입자간의 반응성을 높이는 작용을 한다(Song et al., 2011). 마찬가지로 SiC는 실험에 사용된 코디얼라이트 계열의 골재에 비해 실리카 졸과의 결합 반응성이 높다. 이를 통해 Siline계 커플링제 및

SiC를 일부 첨가한 경우가 그렇지 않은 기본 실험군에 비해 높은 접합강도를 보여주었으며, 두 실험군의 경우 SiC를 첨가한 경우에 비해 Siline계 커플링제를 첨가하였을 경우가 실리카 입자의 표면 개질을 통해, 보다 치밀한 구조의 결합 형태를 형성하여 높은 접합 강도를 나타낼 것이라 판단할 수 있다.

Table 3. Samples code name

Item	Coating solution	Binder	Silane coupling agent	SiC
A-BASX	Base	Acid	-	
A-BASO	Base	Acid	Adding	
A-ABSX	Acid	Base	-	
A-ABSO	Acid	Base	Adding	
S-BASX	Base	Acid	-	Adding
S-BASO	Base	Acid	Adding	Adding
S-ABSX	Acid	Base	-	Adding
S-ABSO	Acid	Base	Adding	Adding

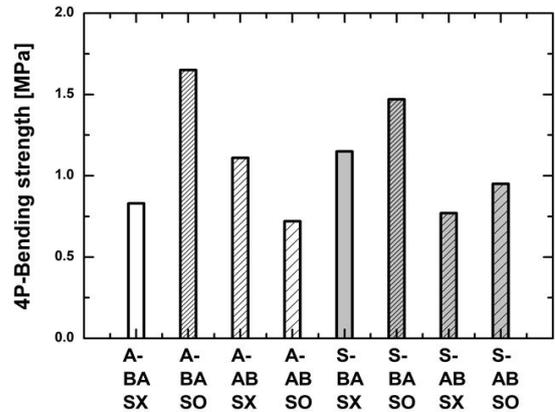


Fig. 9. 4P-Bending strength results of the samples.

Fig. 10은 조직의 치밀성 결합 형태를 확인하기 위해 접합면의 미세구조를 전자회절 현미경을 통해 관찰한 결과이다. Fig. 10에서 확인할 수 있듯이 Siline계 커플링제를 첨가한 실험군의 경우 기본 실험군 및 SiC를 첨가한 실험군에 비해 결합면의 조직이 좀 더 치밀화 된 것을 확인할 수 있으며, 이것은 앞에서 설명된 각 실험군의 접합강도와 일치하는 결과로 Siline계 커플링제를 첨가한 경우의 반응성이 다른 두 실험군에 비해 높을 것이라는 사실을 뒷받침해준다.

디젤엔진에 적용하기 위한 SiC DPF용 접합제의 극성 및 첨가물에 따른 물리적 특성 변화에 관한 연구

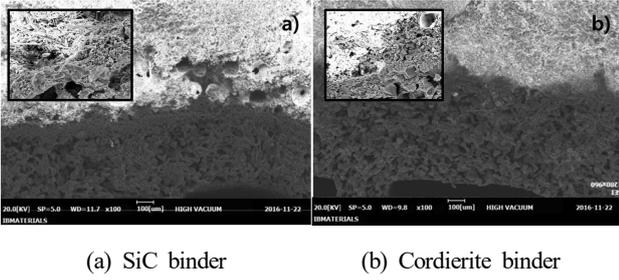


Fig. 10. Microstructure of the segment-coating-binder.

지금까지의 실험을 기반으로 양극성의 실리카 졸을 사용하고 Siline계 커플링제를 첨가한 접합제 및 바탕제를 기반으로 DPF를 제조한 후 SiC계 접합제와 물성, 그리고 성능을 비교분석하였다.

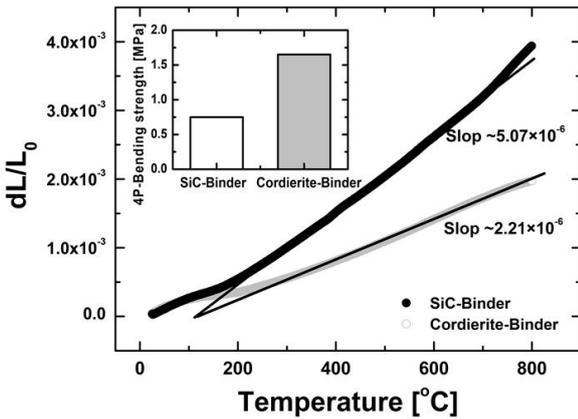


Fig. 11. Properties of the binder.

Table 4. Materials properties

Item	SiC binder	Cordierite binder
Coefficient of thermal expansion (CTE) ($\times 10^{-6}/k$)	5.0	2.2
4P-Bending strength (MPa)	0.8	1.7

SiC계 접합제와 Cordierite계 접합제를 비교, 실험한 결과를 Fig. 11과 Table 4에서 보여준다. 세라믹 제품의 특성상 소재의 강도 및 열팽창계수는 고온에서 변형 등의 내구성에 영향을 준다. 특히 담체의 파손조건은 임계온도차이 ΔT_c 에 의해 영향을 받게 되며 이는 다음의 인자들에 의해 결정되어진다(Back et al., 2010).

$$\Delta T_c = \frac{\sigma_c(1-\nu)}{E\alpha f(\beta)} \quad (1)$$

여기서 α_c : 균열 발생 또는 파손 임계응력, ν : 푸아송 비, E : 탄성계수, a : 열팽창계수, $f(\beta)$: Biot 수 $\beta(=Lh/k)$ 에 의한 함수, L : 담체 특성 길이, h : 담체와 냉각 유체 사이의 대류 열전달계수 k : 세라믹 담체의 열전도계수이며 SiC의 경우에는 높은 열팽창계수로 인해 Segment 단위로 제조한 후 결합하는 방식을 취하는데 접합제 역시 이러한 요소에 영향을 준다. 높은 열팽창계수는 고온의 환경에서 높은 열응력을 형성하여 DPF의 열 내구성을 약화시키는 원인으로 작용하며 이를 방지하기 위해 보다 낮은 열팽창계수를 가진 접합제의 적용이 필요한데 본 실험에서 개발된 양극성 바탕제와 Siline계 커플링제를 첨가한 실험군의 열팽창계수를 측정된 결과 기본 접합제의 경우 $5.0 \times 10^{-6}/k$ 에 비해 매우 낮은 $2.2 \times 10^{-6}/k$ 로 확인되었었다. 뿐만 아니라 완제품의 일부를 시험편으로 제작하여 본문에 제시된 4점 휨강도 측정법을 통해 측정된 접합강도 역시 기본 접합제의 0.8 MPa 대비 1.7 MPa로 우수한 접합강도 값을 나타내 주었다. 이러한 물성은 기존 DPF 대비 우수한 열 내구성을 보여줄 것이라 예상되며 이를 확인하기 위해 두 가지 방식의 내열특성을 확인하기 위하여 실험을 진행하였다.

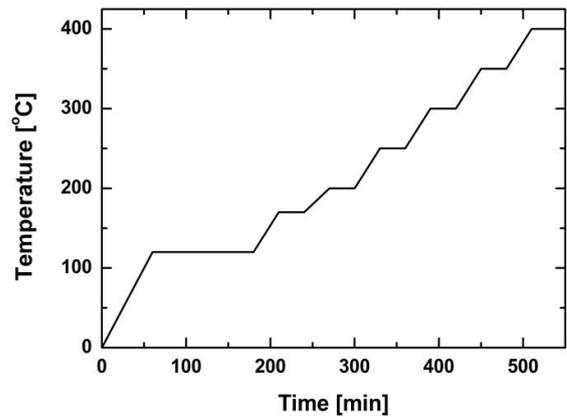


Fig. 12. Profile of the Thermal shock test.

첫 번째, 열 내구성 평가를 위해 다음과 같은 실험을 진행하였다. 함습량 20% 기준 DPF를 평가로에 넣어 기존 Fig. 12는 Test profile로 열을 가한 후에 특정 온도 구간에서 상온으로 냉각한 후 외관 파괴 결과를 확인하였다. 일반적으로 상온과의 온도차이가 클수록 가열 혹은 냉각 시 발생하는 열응력을 증가하게 되며 이로 인해 파괴 현상이 발생하게 되는데 기존 제품의 경우 300°C로 유지한 후 상온 냉각과정 중

접합부에 Crack이 발생하는 반면 신규 접합제를 적용한 경우 350℃로 유지한 후 상온 냉각과정 중에 접합부에 Crack이 발생되었다. 이는 기존 제품 대비 50℃ 이상 내열특성이 향상된 것으로 판단된다. 두 번째, 열 내구성 평가는 열 건조 평가로 흡습량 20% 기준 DPF에 Fig. 5와 같이 200℃의 열풍을 10분씩 교차로 발생시켜 건조 중 발생하는 Crack을 확인하는 실험으로 먼저 10 m³/min 유량으로 실험한 후 11.5 m³/min의 높은 유량에서 2차 실험을 진행한 후에 파괴유무를 확인하였다. 이 실험의 결과, 현 제품의 경우 10 m³/min와 11.5 m³/min 각각 50분 및 20분 후 외관상 파괴가 관측되었으나 개발품의 경우 60분이 진행된 후에도 외관상 파괴가 없었으며 첫 번째 실험과 더불어 양극성의 바탕제와 Siline계 커플링제를 첨가한 경우에 내열특성이 크게 향상된 것으로 확인되었다. SiC 기반 DPF에 사용되어지는 세라믹 접합제 역할은 단위 부품으로써 제조된 SiC Segment를 접합하여 하나의 완제품 형태로 제조되는데 사용되며 이때 고온의 사용 환경 속에서 높은 열 내구성을 확보하는 것이 중요한 물성인자로 확인된다. 이에 기존 SiC 기반 접합제에 비해 낮은 열팽창계수를 지닌 Cordierite를 골재로 실리카 졸의 특성을 pH 농도와 실리카 졸의 개질을 통해 향상시킬 경우 기존 제품에 비해 높은 열 내구성을 확보하는 것이 확인되었다. 이는 강도를 부여하는 실리카 졸의 극성 변화에 따른 응집력의 변화와 개질을 통한 결합력 및 반응성의 증대로 인해 낮은 열팽창계수와 높은 접합력을 유지함으로 인한 것이라 판단된다.

본 연구에서는 SiC-DPF에 사용되는 접합제의 실리카 졸 극성 및 첨가물에 따른 물성 변화 및 제품의 특성에 대한 연구를 진행하였다. 이에 이를 기반으로 개발된 접합제에 적합한 Segment 및 기타요소에 대한 추가 개발을 통해 DPF의 성능을 향상시킬 수 있는 요소에 대한 연구가 계속적으로 진행될 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 SiC DPF의 두 가지 종류(SiC계, Cordierite계) DPF의 접합제에 대해서 비교, 분석하였으며, 다음과 같은 연구 결과를 얻을 수 있었다.

1. SiC DPF에 사용되는 접합제의 물성 향상을 위해 저열 팽창 재료인 Cordierite를 기반으로 한 접합제와 Segment와의 결합을 결정짓는 바탕제에 결합력을 부여하는 실리카 졸의 pH 극성 변경에 따른 물성을 확인하였다.
2. 원료 평가를 위해 실리카 졸의 제타 전위를 측정하여 상태를 확인하였으며 SiC 기반의 Segment를 적용하여 물성 평가용 시편을 제작하였다.
3. 4점 휨강도를 측정한 결과 동일한 pH 극성으로 제조된 시료에 비해 상반된 pH 극성으로 제조된 시료의 경우 우수한 강도를 나타내었다.
4. 위 실험을 기반으로 결합력 증대를 위해 Silane 및 SiC가 첨가된 접합제를 추가하여 동일한 평가를 진행하였으며 Silane이 첨가된 산성 실리카 졸이 적용된 접합제와 염기성 실리카 졸이 첨가된 바탕제로 제조된 시편의 경우 1.7 Mpa의 우수한 휨강도 값을 나타내었다.
5. 이러한 결과는 실리카 졸의 pH 변화에 따른 결합구조가 접합제와 바탕제의 응집과 영김 현상에 영향을 주어 보다 강한 결합형태가 되었기 때문이라 판단된다.

후 기

“이 논문은 2019년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(선박배출 미세먼지통합저감기술개발사업 400kW급 이하 선박용 저가보급형 PM-NOx 동시저감을 위한 p-SDPF 시스템 개발).”

References

- [1] Baek, S. H., J. S. Park, M. G. Kim, and S. S. Cho(2010), A Study on Thermal Shock of Ceramic Monolithic Substrate, Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 34. No. 2, pp. 129-138.
- [2] Lee, H. C., J. H. Kim, and Y. H. Chang(2006), Preparation and Interface Properties of Colloidal Silica, J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 17, No. 4, pp. 386-390.
- [3] Lee, I. S., D. K. Ko, G. F. Moon, Y. W. Nam, S. H. Kim, and Y. T. Oh(2017), Comparison of removal efficiency of diesel particulate filter with different measurement methods in a high-speed marine diesel engine, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 41, No. 4, pp. 362-367.
- [4] Lee, S. H., H. S. Kim, J. H. Park, and G. B. Cho(2011), On-road investigation of PM emissions of diesel aftertreatment technologies (DPF, Urea-SCR), Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 19, No. 5, pp. 92-99.
- [5] Mizutani, T., M. Ito, N. Masukawa, S. Ichikawa, K. Yuuki, H. Kurachi, T. Toyoshima, T. Ito, I. Lappas, A. S. Sindlinger, and C. D. Vogt(2006), The study for structural Design of the Segmented SiC-DPF, SAE International, No. 1, pp. 1527-1537.
- [6] Oh, K. C., C. H. Lee, and T. D. Cho(2008), Uncontrolled Regeneration Characteristics of SiC DPFs using DPF Test Rig, Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 2, pp. 80-86.

디젤엔진에 적용하기 위한 SiC DPF용 접합제의 극성 및 첨가물에 따른 물리적 특성 변화에 관한 연구

- [7] Song, S. K., J. H. Kim, K. S. Hwang, and K. R. Ha(2011), Spectroscopic Analysis of Silica Nanoparticles Modified with Silane Coupling Agent, Korean Chem. Eng. Res., Vol. 49, No. 2, pp. 181-186.

Received : 2019. 12. 02.

Revised : 2019. 12. 23.

Accepted : 2019. 12. 27.