

## 분진 및 질소산화물 동시처리를 위한 1톤 중유 보일러용 세라믹 필터 집진기의 성능실험

Performance Test of Ceramic Filter Collector for the  
heavy-oil boiler for Concurrent treatment Dust and  
Nitrogen Oxides

정완보<sup>1\*</sup>, 조정식<sup>2</sup>

Jung Wan-Bo<sup>1\*</sup>, Cho Jung-Sick<sup>2</sup>

### 〈Abstract〉

The product developed in this study is a ceramic catalyst filter for 1 ton heavy-oil boiler that can simultaneously process dust and nitrogen oxides. This has been developed for simultaneous processing of nitrogen oxides and dust at high efficiency of hot exhaust gas (approximately 300° C) generated after burning 1 ton heavy oil boiler. Ceramic catalytic filters for 1 tonne heavy-duty glass display are technologies that remove 90% of dust and 85% or more of nitrogen oxides. This is an improved new technology to integrate exhaust ventilation and desiccation devices into one, thereby reducing the production process and improving the economy. To this end, the performance test of the catalytic filter for heavy oil boilers was carried out, and the durability of the PLC circuit was constructed.

*Keywords : Ceramic Catalyst Filter, Heavy-Oil Boiler, Nitrogen Oxides, PLC*

---

<sup>1\*</sup> Department of Mechatronics, Polytechnic, Incheon Campus, E-mail: jwbrambo@kopo.ac.kr, Tel: 032-510-2185

<sup>2</sup> TheEverone R&D Center, E-mail: jscho@theeverone.com, Tel: 051-727-2380

## 1. 서론

국제해상기구(IMO)에서는 선박 메인 엔진의 질소산화물의 규제를 2016년 1월부터 매우 높은 수준의 규제(약 90%저감)를 만족시켜야 선박의 운행이 가능도록 권고하고 있다. 이에 따라 선박용 보일러의 규제를 대비하여 선박용 보일러에 질소산화물 저감할 수 있는 기술을 연구하여 IMO 규제에 대비하고자 한다.

미국 DOE 지원으로 North Dakota 대학, Owens-Corning Fiberglass사(OCF), Raytheon 엔지니어링사가 공동으로 분진 및 질소산화물을 동시에 제거하는 연구를 수행하였고, 국내에서는 세라믹 필터 담체에 CuO 촉매를 이용한 SOx, NOx, 먼지 동시 제거에 관하여 A대학교에서 연구를 진행하였으나 CuO 촉매가 SOx와 반응하며 생성된 CuSO<sub>4</sub>가 NOx에 대한 전환율이 감소하는 문제가 발생하는 단점을 가지고 있다.

IMO 규제에 대비하여 세라믹 촉매 필터에 촉매를 담지하여 질소산화물을 저감하는 제품은 국내외에서 연구개발을 일부 진행하였으나<sup>1-5)</sup> 제품의 사업화를 진행하는 곳이 거의 없고 보일러에 적용하여 실증을 받은 곳은 본 기술이 유일하다.

따라서 본 연구는 세라믹 촉매 필터의 개발뿐만 아니라 모듈 제작을 통하여 운전, 유지, 보수 등을 고려한 제품으로 실용화가 가능한 기술이다. 이로 인한 연구 개발을 통해 보일러, 소각로, 발전시설, 철강제조시설 등 연소 배기가스를 배출하는 모든 산업에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 분진 및 질소산화물 동시처리를 위한 1톤 증유보일러용 세라믹 필터 집진기의 성능실험을 위하여 1톤 증유보일러 배출 가스 기준으로 세라믹 필터의 여과면적, 압력손실, 통기도, 내구수명, 분진 배출농도 7.5ppm이하, 질소산화물 85% 저감을 위한 세라믹 촉매 필터의 실용화

제조 기술을 확보하는 것이다.

## 2. 세라믹 촉매필터 집진기 개발의 필요성

산업 활동에는 에너지의 사용이 필수적이며 이 과정에서 수행되는 화석 연료의 연소에는 대기오염 물질의 발생을 피하기는 어려운 것이 현실이다. 지구 온난화 문제는 교토의정서에 의해 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> 등을 비롯한 6개 가스에 대한 각국의 감축 의무를 담아 전 세계적으로 공동 노력하고 있지만 오염에 관한 문제는 지속적으로 이슈화가 되고 있다. 세계 각국에서는 오염물질에 관한 규제를 실시하고 있고, 해양에서는 국제해상기구에서 선박의 질소산화물 및 황산화물 규제를 Table 1~2와 같이 시행하고 있다.

특히 지난 2016년 1월부터 시행하는 TierⅢ는 질소산화물의 저감이 TIER I에 비해 75~80%를 줄여야만 하고 황산화물의 경우에도 2012년에 실시된 규제에 비해 약 90% 저감을 해야 함으로 인해 선박의 운행 중 질소산화물 및 황산화물을 배출하는 선박기자재 및 해양플랜트 업체의 경우 강화된 규제를 만족하기 위하여 연구개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서 개발한 제품은 분진 및 질소산화물의 동시 처리가 가능한 1톤 증유 보일러용 세라믹 촉매필터이다. 이것은 1톤 증유 보일러 연소 후 발생하는 고온 배기가스(약 300°C)의 질소산화물과 분진을 높은 효율로 동시 처리 가능하도록 개발되었다. 본 기술 개발에 적용된 1톤 증유 보일러용 세라믹 촉매 필터는 분진 90%와 질소산화물 85% 이상을 제거 하는 기술로써 배기가스의 집진장치와 탈질장치를 하나로 통합시켜서 제작 공정 단축 및 경제성을 향상시킬 수 있도록 개선

Table 1. Regulation of nitrogen oxides on ships

TIER	PRM	Less than 130	More than 130~Less than 2000	More than 2000
	TIER I (2000.01.01.~2010.12.31.)		17.0g/kWh	45.0*n <sup>-0.2</sup> g/kWh
TIER II (2010.12.31.~2015.12.31.)		14.4g/kWh	44.0*n <sup>-0.23</sup> g/kWh	7.7g/kWh
TIER III (2016.01.01.~)		3.4g/kWh	9.0*n <sup>-0.2</sup> g/kWh	2.0g/kWh

Table 2. Regulation of sulfur oxides in the seas

Sortation	Standard		
	Prior to 2012	Year 2012	Year 2020
All the seas	4.5% less	3.5% less	0.5% less
Restricted area (Baltic Sea · North Sea)	Prior to 2012	July-Year 2012	Year 2015
	1.5% less	1 % less	0.1% less

된 환경 기술로서 Fig. 1(a)와 같이 KIST에서 시험성적서<sup>6)</sup>를 확보한 상태이다.

### 3. 성능실험

현재의 대기오염 제어 분야를 조망하여 보면 기존의 탈질, 탈황, 집진 기술들이 상용화, 보급되

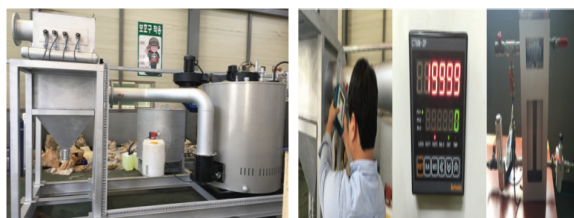
어 안정적으로 운전되고 있는 상황에서 새로운 공정으로 시장 진입을 하기 위해서는 특징적인 장점을 지녀야 하고 이러한 기술이 적용되었을 때 기존의 기술보다 비교우위를 가져야 한다. 따라서 본 연구에서는 중, 소규모의 선박용 보일러뿐 아니라 육상플랜트, 발전플랜트의 배기가스 등을 대상으로 적용할 수 있는 시스템을 개발하는 것을 목표로 하였다. 또한 선박에서 사용하는 최소의 사양인 1톤 보일러에 적용함으로써 본 연구에서 개발되는 기술이 그대로 적용되거나 약간의 Scale-up을 통하여 손쉽게 상용화 될 수 있도록 하였다.

#### 3.1 여과면적 측정

세라믹 촉매 필터의 여과면적 측정을 위해서 Fig. 2와 같이 세라믹 필터 단품을 줄자로 가로,

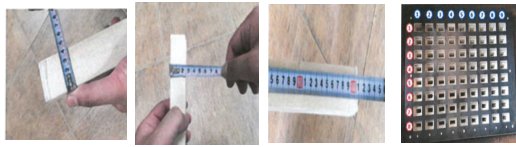


(a) Test report of KIST((R0004290)



(b) Device of ceramic filters

Fig. 1 Performance test device of ceramic filters



Horizontal Length	Vertical Length	Length	Module
0.04m	0.025m	1.01m	9×8=72

Fig. 2 Ceramic filter area measurement

세로, 길이를 측정하고 집진기에 장착된 필터의 수량을 고려하여 계산하였다. 여과면적은 Fig. 2의 측정 결과에 따라 9.526m<sup>2</sup>이다.

### 3.2 압력손실

Fig. 3과 같이 자체 제작한 압력손실 측정기의 입구 방향에 압축공기분사장치를 연결하여 1kg/cm<sup>2</sup>의 공기를 일정하게 주입한 후 입구 방향과 출구



Fig. 3 Pressure loss experiment



29.79mmHg    29.41mmHg    29.56mmHg

Fig. 4 Pressure Loss data of ceramic filter

방향을 연결한 차압계를 통해 차압을 측정하였다. 차압 측정 결과는 Fig. 4와 같으며 5회 반복시 평균측정치는 29.41mmHg이다.

### 3.3 통기도

통기도는 Fig. 3의 실험장치인 압력손실측정기에 압축공기분사장치를 연결하여 1kg/cm<sup>2</sup>의 공기를 일정하게 주입한 후 입구 방향과 출구 방향을 연결한 차압계를 통해 차압을 측정하고, 압력손실 측정기 후단압력을 이용하여 후단부에 공급되어진 공기의 유량을 이용하여 통기도를 측정하였다. 통기도는 공기의 유량 19242.864cm<sup>3</sup>/s이고, 필터의 단면적 1315.04cm<sup>2</sup>을 나눈 값이다. 이로 인한 통기도 결과는 14.63cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>s으로 나타났다.

### 3.4 내구수명

Fig. 5는 내구수명 측정장치이다. 내구수명 측정 장치의 입구방향에 압축공기분사장치를 연결하여 3~5kg/cm<sup>2</sup>의 공기를 주입하였다. 내구수명 측정기에 주입하는 공기는 솔레노이드밸브에 의해서 3.5초 마다 분사하도록 PLC로 세팅하였다. 측



Fig. 5 Durable life test device



Fig. 6 Durable life test data

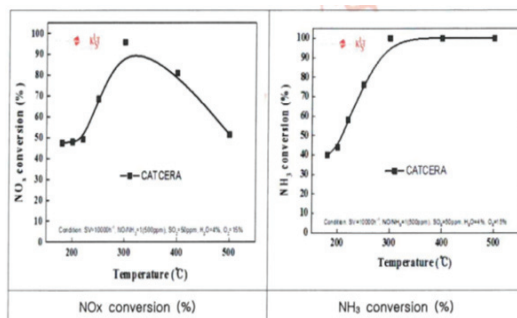


Fig. 7 NOx reduction by temperature

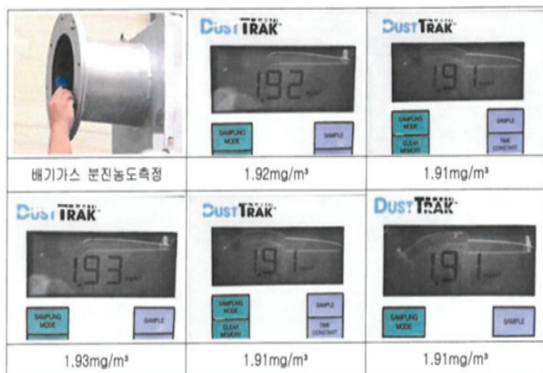


Fig. 8 Measurement at the rear of the baghouse(C1)

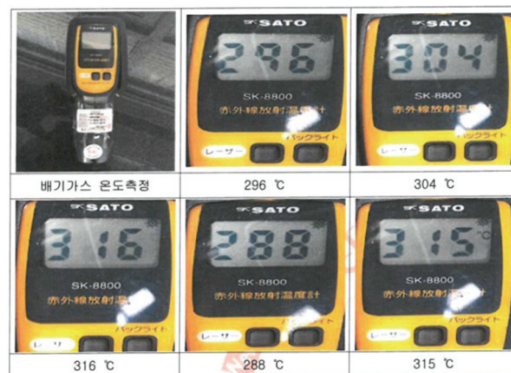


Fig. 9 Exhaust gas temperature

정횡수는 총 20,000회를 시험하여 세라믹 촉매 필터의 크랙이 발생하였는지 육안으로 확인하였다. 확인결과 Fig. 6과 같이 크랙이 발견되지 않았으며, 20,000번 이상의 내구수명을 만족하는 것을 알 수 있다.

### 3.5 NOx 저감율 및 배출농도

세라믹 촉매 필터의 공간속도를 고려하여 절단 및 샘플링하여 시편을 만든 후 세라믹 촉매 필터의 방향성을 고려하여 반응기 튜브에 고정시킨 후 촉매 반응기에 고정한 후 활성 테스트를 각각 온도변화에 따라 180°C, 200°C, 220°C, 250°C, 30

0°C, 400°C, 500°C에서활성화 테스트를 실시하였다. 실험결과 Fig. 7과 같이 NOx 저감율이 95.5%로 나타나고, NOx 배출농도(300도 기준)는 22.5ppm으로 나타나는 것을 알 수 있었다.

### 3.6 분진 배출농도

분진 배출농도를 실험하기 위해서 1톤 증류보일러를 가동한 뒤, 세라믹 촉매 필터를 거쳐 정화된 공기의 분진을 집진기 후단에 미세분진농도와 배기가스 온도를 측정하여 계산하였다. 실험방법은 미세분진 농도 및 온도를 1분 간격으로 5회씩 측정하였다. 보일러에서 배출되는 배기가스의 온



도 및 미세먼지의 농도 즉 분진 배출 농도는 0.91ppm(table 3 참조,  $1.92\text{mg}/\text{m}^3 \times 273 / (273 + 304) = 0.91\text{ppm}$ )으로 나타났다.

Table 3. Concentration of dust emission

Category	Dust Concentration( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		
	Total	Average	Reference
Dust concentration (C1)	9.58	1.92	Repeat 5 times(Fig.8)
Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	1,519	304	Repeat 5 times(Fig.9)

#### 4. 결론

본 연구에서는 분진 및 질소산화물 동시처리를 위한 1톤 증유보일러용 세라믹 필터 집진기의 성능실험을 위하여 1톤 증유보일러 배출 가스 기준으로 세라믹 필터의 내구수명, 분진 배출농도 7.5ppm이하, 질소산화물 85% 저감을 위한 세라믹 촉매 필터의 실용화 제조 기술을 확보하는 하는 성능실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 20,000회의 내구수명 측정결과 세라믹 촉매 필터의 크랙이 발생하지 않아 상용화 기술을 확보 하였다.
2. 온도변화에 따른 활성화 테스트를 실시한 결과 NOx 저감율이 95.5%로 나타나고, NOx 배출농도(300도 기준)는 22.5ppm으로 나타나는 것을 알 수 있었다.
3. 보일러에서 배출되는 배기 가스의 온도 및 미세먼지의 분진 배출 농도는 0.91ppm으로 나타났다.

#### 참고문헌

- [1] Han, B. W., Kim, H. J., Kim, Y. J., Song, D. K., Hong, W. S. and Shin, W. H., 2011, "Characteristics of Charging and Collection of 10nm Class Ultrafine Nanoparticles in an Electrostatic Precipitator", Trans. Korean Soc. Mech Eng. B, Vol. 35, No. 10, pp.1013~1018
- [2] Witt, P. J., Solnordal, C. G., Mittoni, L. J., Finn, S., Pluta, J. 2006, "Optimizing the design of fume extraction hoods using a combination of engineering and CFD modelling", Applied Mathematical Modelling, Vol. 30, pp.1167-1179.
- [3] Lim, K. B., Lee, K. S. and Lee, C. H., 2006, "A numerical study on the flow characteristics of kitchen hood system", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 4 pp. 359-369.
- [4] Sung-Cheol Jang, Jung-Sick Cho, 2018, "A Basic Study on the Portable Collector of Ship Gausing", KSPSE Spring Conference, pp.139-141.
- [5] Sung-Cheol Jang, Dae-Young Jung, Jung-Sick Cho, 2018, "Flow Analysis of Cyclone-Cartridge Filter Gausing Collector", KSIC, Vol. 21, No. 3 pp. 133-140.
- [6] Test report, KIST, R0004290.

(접수: 2018.09.27. 수정: 2018.11.29. 게재확정: 2018.12.04.)