

어선용 디젤엔진의 배출가스 저감 필터 개발과 저감 효율

이경훈* · 김상근¹ · 김성훈 · 양용수 · 박성욱
국립수산과학원 시스템공학과 · ¹(주)엠티

Development and efficiency of filter device for the emission reduction from the diesel engine in fishing boat

Kyounghoon LEE*, Sang-Keun KIM¹, Seonghun KIM, Yong-Su YANG, Seong-Wook PARK

Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-705, Korea

¹MT Co., Busan 612-020, Korea

The performance of five kind adsorbents, which can reduce nitrogen oxide (NOx) from the diesel engine occupying 85% of the fishing boat, was carried out and the emission reduction filter was manufactured and evaluated in the adsorption efficiency of the emission gas for 240 KW diesel portable generator. As a NOx emission filter made of mordenite which has an excellent cation exchange capacity was manufactured by ball type adsorbents having excellent specific surface area. The adsorption efficiency of mordenite material applying the emission reduction filter began to show up at the operating time 10 minutes in comparison with the activated carbon and zeolite materials, and it was exposed to continue until 100% capability with passing by 20 minutes. So the adsorption efficiency of the NOx reduction filter consistently maintained at the averaged 80%.

Keywords : Emission, NOx, Mordenite, Adsorbent, Adsorption efficiency

서론

온실가스의 발생량은 산업의 발달과 함께 증가하였으며, 산업에서의 생산량과 비례하여 증가한다. 수산업이 전체 산업 중 상대적으로 적은 부분을 차지하고 있으나, 우리나라 수산업 생산량 규모는 2006년 세계 13위, 수출금액 세계 26위에 있으며, 과거 1989년 생산량 세계 8위, 수출 세계 6위에 이른 적도 있다. 2010년 농림어업 생산액은 50조 9490억원이며, 이중 어업생산액은 7.4조 원을 차지하고 있다. 어업에 종사하고 있는 어선의 수는 2009년 기준 78,262척이 등록되어 있다. 연근해어업 어선은 총 어선수의 70%를 차지하고, 전체 어선의 크기에

서는 43%로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 한편, 어선으로 분류되지 않는 선박은 2009년 12월 자료에 따르면 전체 8,374척이 등록되어 있으며 총톤수는 13,916,563GT이다. 어선은 일반 선박과 비교하여 총톤수에서 전체 선박 중 4%의 비율을 차지하고 있으나 배의 척수에서는 전체의 90%를 차지하고 있다 (NFRDI, 2012)

우리나라 어선 총 수에서 가장 많은 부분을 차지하는 어선의 선령이 6-15년 사이에 밀집되어 있으며, 이러한 어선의 엔진 또한 노후화되어 있다. 선단 규모로 조업을 하는 대형선망, 기선저인망 등은 어획성능을 유지

*Corresponding author: khlee71@korea.kr, Tel:82-51-720-2583, Fax:82-51-720-2586

하기 위하여 지속적인 엔진의 정비를 하고 있으나, 소규모 조업을 하는 일반 어선은 엔진의 정비 부분에서 미흡한 실정이다. 또한, 어업분야의 온실가스 저감 관련 연구는 고효율 집어등 개발과 같은 에너지 저소모형 어업자재 개발 (An et al., 2012), 저탄소 어구 개발과 그에 따른 경제성 분석 (Lee et al., 2012; Park et al., 2012) 등이 주요 연구과제로 수행되었으나, 일반 어선은 선박 엔진에서 발생하는 배기가스 오염물질의 농도가 높으므로 이러한 조업환경 개선을 위한 저감장치의 개발과 보급은 시급한 분야라고 판단된다 (Choi et al., 2013; Kang et al., 2004; Kim and Eom, 2000).

기존 소형어선은 선박으로부터 대기오염방지규칙 (MARPOL 73/78, 부속서 VI)의 대기오염물질 규제대상인 오존층 파괴물질, 질소산화물 (NOx), 황산화물 (SOx) 등을 여과 없이 배출하고 있는 실정이다. 이 가운데 이산화탄소가 전체 온실가스 배출량의 약 80% 이상을 차지하고 있다. 디젤엔진은 출력 대비 일산화탄소 및 탄화수소 배출량이 적은 장점이 있으나, NOx 배출물이 현저히 많은 단점이 있다. 또한, 대부분 소형 어선이 130kW 이상의 디젤엔진을 사용하고 있어서 어업환경 규제가 시행될 경우 선주들의 부담과 국내 수산업의 피해가 예상된다.

이러한 기후변화 대응과 관련하여 온실가스 배출 감축 목표 수행은 물론, 조업환경에 미치는 선원 복지와 관련된 문제를 최소화하기 위해서 질소산화물과 황산화물을 선택적으로 감소할 수 있는 소형 여과장치의 개발 필요성이 대두되었다. 기존 상용 제품들은 판매시장이 다양한 대형선박을 대상으로 개발되어 있으며, 규모가 상당히 크고 가격이 높아 소형 선박에 적합하지 않으며, 디젤 자동차용으로 개발된 기존 상용 제품들은 해상의 환경적인 조건에 적합하지 않다. 따라서, 본 연구에서는 질소산화물 (NOx)를 대상으로 배출량 저감 필터를 개발하기 위한 목적으로, 다양한 타입의 흡착제 성능 검증과 최적의 조건에 맞는 저감필터를 제작하여 240kW급 발전기를 사용하여 엔진 부하량을 30% 이하로 설정하고 기존 연소 배기가스 출력단에 배압을 최소화되도록 저감장치를 설치하여 저감효율을 평가하였다.

재료 및 방법

가스 측정 장비의 특징 및 원리

온실가스 배출저감 필터장치의 저감효율을 검증하기



Fig. 1. Portable emission measuring system.

위하여, IPCC에서 인증하고 환경부에서 형식 승인 (ASGAM-2007-5호)된 휴대용 가스측정기 (Vario Plus, MRU co., Germany)를 이용하여 평가하였는데, NOx의 측정범위는 0-5,000ppm 범위이다 (Fig. 1).

본 시스템의 측정방식은 비분산적외선 측정 (NDIR, Non-dispersive Infrared) 방식을 채택하고 있는데, 광원에서 방출되는 넓은 파장의 IR 복사선이 광학섬유에서 광학필터를 거치며 특정 IR 파장대역을 불활성기체 (질소, 아르곤)가 충전된 기준 셀과 시료 셀이 흐르는 시료 셀을 번갈아 통과시키는 과정에서, 기준 셀은 IR 파장이 모두 통과하고 시료 셀에서는 CO₂에 의해 흡수가 일어나게 된다. 이때의 흡수도를 검출기 (IR detector)에서 검출하고 변환 증폭하여 농도를 측정하는 방법이다. 이러한 적외선분석기는 다원자 분자를 분석하기 위해 개발된 것으로서, 일반적으로 분자는 적외선 주사를 받으면 그 분자 고유 진동과 회전스펙트럼에 상당하는 파장의 빛에 의해 대응한 스펙트럼선의 흡수를 발생시킨다. 특히, NO 계열은 적외선 영역인 5.3 μm 부근 광 흡수를 이용하여 시료 가스중의 NO 농도를 비분산형 적외선 분석계를 이용하여 측정한다. 이러한 비분산 기술은 고정 발생원을 모니터링하기 위하여 광학필터 또는 가스필터를 사용하여 비교적 좁은 범위의 파장이나 밴드 파장을 사용하는 기술로서, 적외선 영역에서 사용하는 분광광도계를 일반적으로 비분산적외선 측정 분석계라고 한다. 이러한 비분산적외선 측정 분석계는 비파괴 측정 방식의 하나로서 배출가스 채취유량의 영향을 받지 않고 유지관리가 용이하다는 장점이 있다 (NFRDI, 2013).

또한, 적외선 분석계는 CO, SO₂, NOx 등을 주로 측정

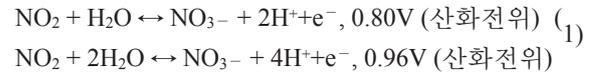
하며 구성되는 광원의 수와 광로에 따라 단광원, 복광원, 단광속 (single beam), 복광속 (double beam)으로 나누어진다. 광원에서 방사된 적외선은 초퍼 (chopper)에 의해서 일정한 주기로 단속하여 시료 셀과 기준 셀로 들어가게 되며, 시료 셀에서는 시료가스 중에 함유된 측정성분에 의해 적외선이 흡수되어지고 불활성가스로 봉입된 기준 셀에서는 적외선이 흡수되지 않은 상태로 통과된다. 따라서, 시료 측 검출부가 적외선에 의해서 미량변화를 갖게 된다. 이러한 광량이 적외선을 잘 투과할 수 있는 창으로 밀봉된 검출조에 도달하면 봉입가스는 측정성분 파장의 적외선을 흡수해서 압력이 상승한다. 적외선이 검출조에 조사되어질 때 기준 측에서 시료 측으로 가스가 흐르게 되며, 이와 반면에 차광으로 될 때는 평형으로 되돌아간다. 이러한 미소한 움직임은 센서에 의하여 검출되어 전기적 신호로 출력되어 저장된다.

적외선용 광원은 흑체발광을 이용한 것으로 완벽한 흑체는 아니지만 흑체와 유사한 온도-발광 특성을 갖는다. 흑체 발광은 온도가 올라갈수록 적외선의 세기가 커지나, 온도가 지나치게 높아지면 불필요한 가시광선의 발광이 심해져 적외선 광학계에 산란광으로 작용하여 광학계를 교란시킬 우려가 있다. 따라서, 적외선 및 가시광선의 발광량을 고려하여 광원의 온도는 1,000–1,300K 정도의 제품이 주로 사용되고 있다. 적외선 광원으로 주로 사용되는 네른스트 원소 (nernst element)는 Zr, Y, Th 등의 산화물을 용융 소결한 것으로 장파장까지 가능 발광이 가능하고 수명이 비교적 길지만 전기전도선과의 접촉점이 약하다는 단점이 있으며, 글로바는 SiC 봉을 전기적으로 가열하는 방식으로 전력소모가 크나, 원적외선용으로 주로 사용된다. 한편, 백열등은 니크롬전열선을 가열한 것으로서, 주로 이러한 3가지의 적외선 광원이 사용되고 있다.

질소산화물 (NOx) 배출량 계산

질소산화물 측정 방법은 대기공정시험방법을 기준으로 비분산적외선 측정 분석계로 연속으로 측정하였다. 실측 계산의 이론적 근거는 대기환경보전법시행령-일일초과배출량 및 일일유량의 산정방법 (제25조 제3항)을 근거로 실측치를 계산하였다 (NFRDI, 2013). 측정가스를 가스투과성 격막을 투과시켜 전해조에 있는 전해액 중에 확산 및 흡수시키면, NO와 NO₂는 소정의 산화전위로 정전위 전해되어 전해전류로부터 NO와 NO₂ 농

도를 산정할 수 있다. 이러한 NO 및 NO₂의 산화반응과 각각 고유 산화전위는 아래 식 (1)과 같다.



이 때, 발생하는 전해전류의 크기는 온도가 일정한 조건 하에서 다음 식 (2)에 의해 결정되고 질소산화물의 농도에 비례한다.

$$i = \frac{n \cdot F \cdot A \cdot D \cdot C}{\delta} \quad (2)$$

여기서, i 는 전해전류, n 은 가스 1 mol당 발생하는 전자의 수, F 는 Faraday 정수 (96,500), A 는 가스의 확산면 크기, D 는 확산계수 (cm²/s), C 는 전해질 중에서 산화되는 시료가스 성분의 농도 (mol/ml), δ 는 확산층의 두께 (cm)이다.

$$\begin{aligned} C.I._{95} &= \frac{t_{.975}}{n \sqrt{(n-1)}} \sqrt{n(\sum di^2) - (\sum di)^2}, \\ \text{농도} &= \frac{|\bar{d}| + C.I._{95}}{\text{최대눈금값}} \times 100 \quad (3) \end{aligned}$$

또한, $|\bar{d}|$ 는 측정편차 절대값의 평균값이고, $C.I._{95}$ 는 95% 신뢰구간, di 는 각 측정값의 편차 (연속자동측정법-시료채취법), n 은 측정횟수, $t_{.975}$ 는 측정값이 참값의 95% 이하에 존재할 확률에 대한 t 값을 나타낸다.

흡착제 촉매 제작 및 구성

본 연구에서 사용된 촉매반응제는 NO_x 및 SO_x 전용 흡착 소재인 활성탄 (activated carbon), 모데나이트, 제올라이트 2종을 다양한 크기와 형상으로 5가지 형태로 제작하였는데, 각 시료별 구성 및 특성은 Fig. 2 및 Table 1과 같다. 각 시료마다 임의 번호를 지정하고, 시료 1–5의 흡착제를 구성하여 성능 평가를 수행하였다.

한편, 질소산화물 저감성능 실험을 위한 최종적인 실험인자와 조건들을 Table 2과 같이 나타내었다. 시료 1–5의 흡착제 5종에 대한 시료량은 150g으로 실험시 반응기의 4/5이상을 채운상태로 최대한 반응기에 채워 흡착제에 흡착이 용이하도록 제작하였다. 이와 같이 제작된 5종류의 흡착제 소재는 양이온 치환능력이 우수한 모데나이트 (170meq/100g)는 천연의 광물을 이용하여 기공성과 비표면적이 우수한 볼 형태의 필터를 제작하였으며, NO_x 저감필터의 목적에 맞도록 Fig. 3과 같이

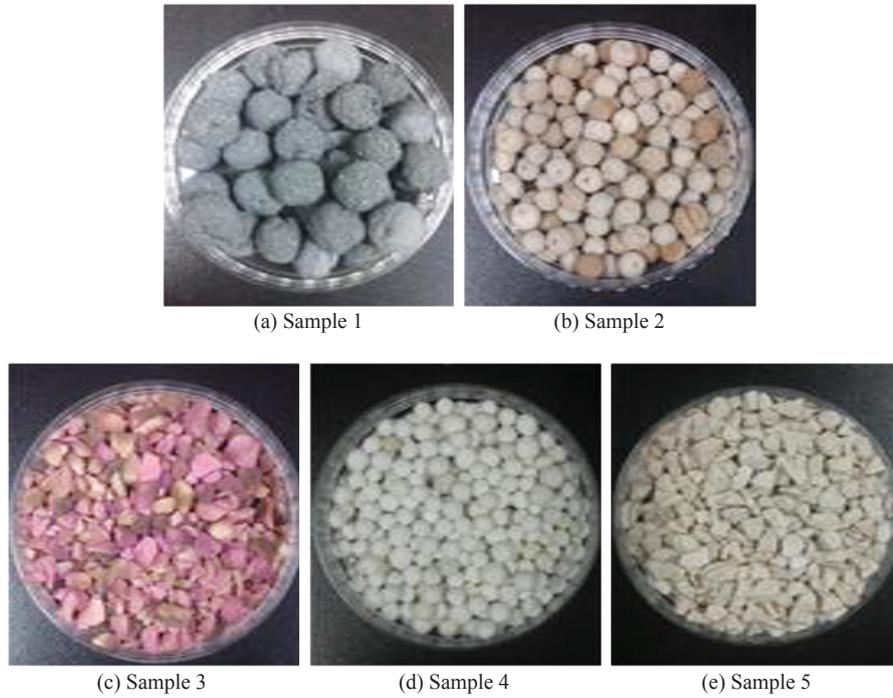


Fig. 2. Five samples (a-e) as adsorbents for emission.

Table 1. Five-type catalytic substances for emission adsorption

Type	Materials	Size of pores (nm)	Specific surface area (m ² /g)	Cation Exchange Capacity (CEC, meq/100g)
Sample 1	activated carbon	1000<	300 – 500	110.0
Sample 2	activated carbon	20 – 1000	800 – 1000	110.0
Sample 3	Mordenite	5.5 – 8.0	500 – 600	170.0
Sample 4	BEA zeolite	20 – 1000	800 – 1000	82.3
Sample 5	Natural zeolite	20 – 1000	300 – 600	41.1

Table 2. Factors and condition of NOx reduction adsorbents

Type	Flow rate (ml/min)	Temperature (°C)	Amount (g)	Reaction time (min)	Gas concentration (ppm)
Adsorbents of 5 types	500(ml/min)	25°C	150g	60min	5ppm



Fig. 3. Ball type filter for NOx(left) and SOx(right) reduction.

제작하여 소형 발전기에 장착하여 현장 검증 시스템으로 구성하여 측정하였다.

질소산화물 저감장치 측정 시스템 구축

질소산화물 저감용 5종류 흡착제를 충전한 반응기는 항온기에 보관하여 상온인 25°C로 설정하였으며, 반응 시간은 60분으로 설정하였다. 또한, 분석대상 NOx 가스의 농도는 초기 10ppm에서 N₂가스로 희석하여 5ppm으로 주입하였다. 또한, 분석가스와 희석가스는 질량유량계 (MFC, Mass Flow Controller)를 사용하여 일정한 유량

(500ml/min)으로 흘려보내고, 반응기에 가스 유입 전에 바이패스관을 통해 30분 이상 치환하면서 안정화시킨 후, 3-way 밸브로 가스 이동경로를 바꾸어 반응기 내부에

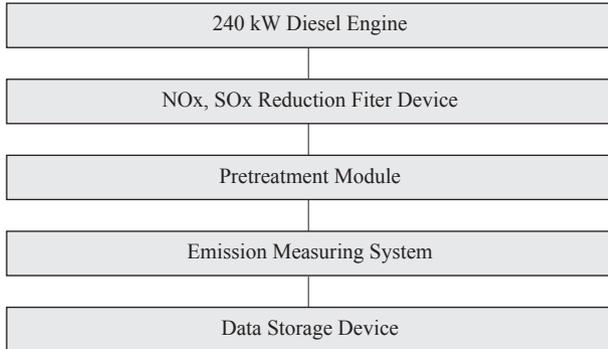


Fig. 4. Data acquisition processing chart.



Fig. 5. Emission reduction device set-up.

있는 흡착제와 반응할 수 있게 하고 비분산적외선 측정 방식 휴대용 가스측정 장비를 사용하였다 (KNIT, 2011).

질소산화물 흡착제의 저감 실험 장치의 주요 엔진 제원은 정격속도 1,500rpm, 출력전력 240kW 및 332HP, 연료소비 199g/kWh 및 58L/h의 240kW급 휴대용 발전기를 사용하였으며, 배출가스 측정은 Fig. 4 및 5와 같이 NOx 및 SOx 저감장치를 머플러 장착하고 프로브를 삽입하고 고농도의 배출가스를 전처리 장치를 이용하여 희석한 후, 비분산적외선 측정 방식 휴대용 가스측정 장비를 이용하여 질소산화물 배출량 측정 데이터를 최소 1초 간격으로 측정하여 Fig. 6와 같이 저장하였다.

결과 및 고찰

질소산화물 및 황산화물의 흡착제 5종에 대한 실험 유량 (500ml/min)조건 하에서 NOx 및 SOx 저감 성능에 관한 결과는 Table 3, 4와 같다. Table 3는 시간에 따른 NOx 농도를 나타내었고, Table 4는 시간에 따른 SOx 농도를 나타내었다. 한편, 흡착효율을 백분율로 환산한 값을 Fig. 7과 같이 그래프로 나타내었다. 그 결과, 시료 3은 다른 시료와는 달리 10-20분 사이에서 NOx가 급속하게 저감되어 20분을 경과하는 시점부터 100% 저감하는 흡착효율을 확인하였으나, 그 외 시료에 대한 흡착 저감 성능은 10% 미만으로 효율이 낮게 나타났다. 황산화물에 대한 흡착제 5종에 대한 결과도 질소산화물과 유사하게 시료 3이 가장 높은 흡착효율을 가지는 것으로 확인되었으며, 그 외 시료에 대한 흡착효율은 낮게 평가되었다.

본 연구에서 저감필터로 적용한 모테나이트 소재는

block	date	time	O2, %	CO2, %	CO, ppm	CO, mg	NO, ppm	NO, mg	NO2, ppm	NO2,mg	C3H8, ppm	C3H8, mg	T-Gas, °C	T-Amb, °C	NOx, ppm
1	2012-07-12	오후 4:09:31	20.96	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2
2	2012-07-12	오후 4:09:32	20.96	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2
3	2012-07-12	오후 4:09:33	20.96	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2
4	2012-07-12	오후 4:09:34	20.96	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2
5	2012-07-12	오후 4:09:35	20.96	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2
6	2012-07-12	오후 4:09:36	20.96	0	1	1	3	4	0	0	0	0	0	0	3
7	2012-07-12	오후 4:09:37	20.96	0	1	1	3	4	0	0	0	0	0	0	3
8	2012-07-12	오후 4:09:38	20.96	0	1	1	3	4	0	0	0	0	0	0	3
9	2012-07-12	오후 4:09:39	20.96	0	1	1	3	4	0	0	0	0	0	0	3
10	2012-07-12	오후 4:09:40	20.96	0	1	1	3	4	0	0	0	0	0	0	3
11	2012-07-12	오후 4:09:41	20.96	0	1	1	3	4	0	0	0	0	0	0	3
12	2012-07-12	오후 4:09:42	20.96	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2
13	2012-07-12	오후 4:09:43	20.96	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2
14	2012-07-12	오후 4:09:44	20.96	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2
15	2012-07-12	오후 4:09:45	20.96	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2
16	2012-07-12	오후 4:09:46	20.96	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2
17	2012-07-12	오후 4:09:47	20.96	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2
18	2012-07-12	오후 4:09:48	20.96	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2
19	2012-07-12	오후 4:09:49	20.96	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2
20	2012-07-12	오후 4:09:50	20.96	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2

Fig. 6. Acquisition data sample from emission measuring system.

Table 3. NOx concentration according to time elapsed

Type	0min.	10min.	20min.	30min.	40min.	50min.	60min.
Sample 1	4946.18	4086.24	4356.92	4444.34	4496.95	4535.43	4562.43
Sample 2	4946.51	4538.04	4711.79	4764.27	4783.34	4797.98	4811.61
Sample 3	4944.79	1153.59	0	0	0	0	0
Sample 4	4945.95	4736.16	4750.16	4752.87	4756.55	4764.11	4766.10
Sample 5	4929.90	4640.29	4630.44	4623.68	4620.41	4613.23	4610.28

(unit:ppb)

Table 4. SOx concentration according to time elapsed

Type	0min.	10min.	20min.	30min.	40min.	50min.	60min.
Sample 1	4956.04	4026.26	4346.02	4424.78	4498.01	4535.67	4562.90
Sample 2	4965.58	4545.24	4751.75	4774.07	4785.74	4798.66	4822.11
Sample 3	4972.88	933.50	0	0	0	0	0
Sample 4	4955.65	4738.45	4760.06	4755.88	4757.50	4765.18	4766.08
Sample 5	4930.88	4645.56	4635.47	4623.60	4620.34	4603.23	4610.09

(unit:ppb)

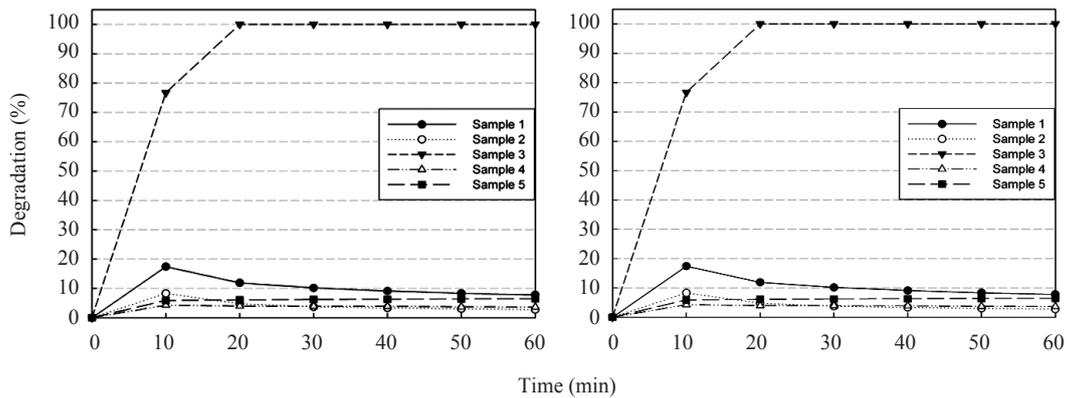


Fig. 7. NOx(left) and SOx (right) degradation according to time elapsed.

기존의 화학필터로 주로 활용되고 있는 활성탄 (110meq/100g) 보다 치환능력이 우수하고, 100-200° C 정도에서 경도성을 유지하기 때문에 수분이 많은 해상에서 적용될 경우, 내구성이 우수하여 환경적인 영향을 최소화 할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 기존 NOx 및 SOx 저감 방식은 비표면적이 적어서 저감 성능이 저하되지만, 볼의 형태로 비표면적을 증가하므로 제품의 크기 및 용량을 줄이더라도 우수한 성능을 유지할 수 있다는 장점과 함께, 기존 페브릭 소재의 필터가 차압에 의해 엔진 부하가 발생하는 문제점을 용량별로 볼 크기를 다양하게 제작하여 공극률을 높여 부하를 줄일 수 있다는 장점이 있는 것으로 확인되었다.

또한, 본 연구에서 제작한 NOx 저감필터에 대한 성능을 평가하기 위하여 기존 배기가스 출력단에 배압이 최

소화 되도록 저감필터 장치를 설치하였으며, 시험기관은 240 kW급 디젤용 이동식 발전기를 사용하여 배출되는 NOx 측정은 엔진의 부하량을 30% 이하로 설정하여 작동하였다. 본 가스 측정장비는 COx 및 NOx 계열 측정은 가능하지만, SOx를 직접적으로 계측하지 못하기 때문에 NOx의 저감량을 예측하여 SOx의 계측량도 간접적인 예측이 가능하다. 저감장치의 유무에 따라 저감 효율을 100분 동안 측정한 결과, 저감필터를 적용하지 않은 경우 100분동안 엔진부하량 30%에서 측정한 NOx 평균 배출량은 17.6ppm이었으며, 저감필터를 적용한 경우 평균 3.51ppm으로 유지되는 것으로 평가되었다 (Fig. 8). 그 결과, 본 연구에서 개발된 NOx 저감필터의 저감효율은 평균 80.01%로 높게 나타났다.

엔진을 가동하고 부하가 없는 상태에서 가동시키면

NOx 배출량이 줄어드는 것을 알 수 있다. 처음 시동을 걸었을 때 COx, NOx의 배출량이 최대치로 올랐다가 점차 감소한다. 이는 엔진을 가동하는 상황에서는 부하가 지속적으로 가해지고 COx, NOx의 배출량이 시동을 처음 걸었을 때와 유사한 패턴을 가진다는 것도 알 수 있다. 본 저감 장치를 사용했을 때는 Fig. 8과 같이 일정하게 NOx의 배출이 이뤄지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 저감장치의 성능을 지속적으로 유지할 수 있다는 것을 의미한다.

부가적으로, NOx 혹은 SOx의 배출량 저감 기준에 따라, 저감필터의 기준량을 설정할 필요가 있다. 현재 실험한 장치는 NOx와 SOx의 용량을 1kg씩 사용하여 제작하였다. 그리고, SOx 배출량은 NOx 배출량에 비해 Table 5와 같이 20% 수준 밖에 되지 않는다. 이와 같이 동일한 용량이라면, NOx 용량을 증가시키고 SOx 용량을 줄여서 저감 효율을 높일 수 있다. 대부분의 연소 배출가스의 가장 큰 부분을 차지하는 이산화탄소 (CO₂)는 독성이 아니지만 지구 온난화를 가중시키는 온실가스 유해물질이며, 연소되는 배기가스의 비교적 적은 부분을 유해하거나 독성인 물질로 구성되어 있다. 특히, 불완전 연소에서 발생하는 일산화탄소 (CO), 탄화수소에서 발생하는 미연소 연료, 질소 산화물 (NOx)의 과도한 연소 온도에서 발생하는 오존 (O₃) 및 미세먼지 (PM) 등이 문제이다. 따라서, Fig. 9와 같이 5종 필터에 대한 NOx의 비율을 줄여가면서 NOx의 저장용량을 산출하였으며, 이를 기반으로

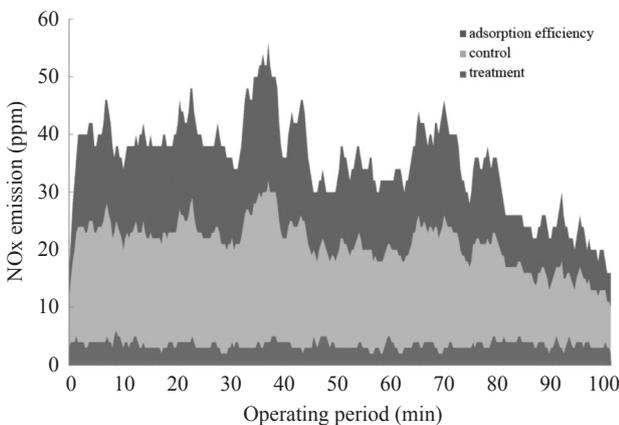


Fig. 8. Adsorption efficiency with a NOx reduction filter.

Table 5. Exhaust gas from diesel engine

Composition	N ₂	CO ₂	H ₂ O	O ₂	NOx	CO	PM	CXHY	SO ₂
Total, %	67	13	11	10	< 0.15	< 0.045	< 0.045	< 0.03	< 0.03

일반적으로 사용하는 240kW급 어선용 디젤엔진에서 발생하는 질소산화물에 대하여 적정용량으로 NOx 제거를 위한 성능 최적화의 기반 자료를 확보하였다.

한편, 일반적인 배기가스 저감장치를 장착 했을 때의 촉매 공급률이 다른 제품보다 높다고 하더라도 기존 필터 없이 배기가스를 대기 중으로 배출하는 기존 선박의 형태보다 엔진의 부하가 걸리는 것을 확인 할 수 있었다. 현재 운행되고 있는 육상 디젤 승용차에서는 매연저감필터 (DPF, Diesel Particulate Filter)를 장착하여 유해물질 배기가스 매연을 제거하고 있다. 그러나, 아직 어선을 포함한 소형선박에서는 이러한 규제가 법적으로 시행되고 있지 않기 때문에 저감장치에 대한 엔진부하에 대해서는 고려를 하고 있지 않은 상황이다. 본 저감필터를 적용한 경우, 기존 필터의 부하보다 70%이상 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있는데, 이것은 정격출력의 큰 감소 없이 친환경적인 저감필터를 적용할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장점을 극대화하여 효율을 높이기 위해서 다양한 볼 형태의 크기와 제품에 관한 기술적인 장점을 활용할 수 있는 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 기존 페브릭 소재의 입자상물질 (PM, Particulate Filter)를 사용해 연소에서 발생하는 PM을 제거하였지만 이로 인해 발생하는 부하를 최소화시켜야 하며, 엔진 시동을 걸거나 운행 중에 지속적인 부하가 발생하면 PM의 발생이 많아지고 이로 인한 PM이 촉매의 공극을 막아 효율 감소 요인을 제거하는 것에 적용될 것으로 사료된다.

기존 디젤엔진에서 사용되는 PM제거 필터들은 DPF

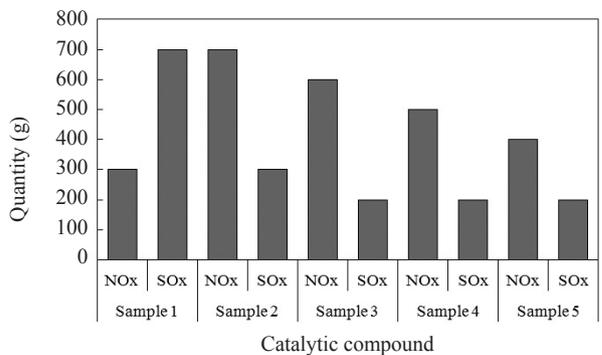


Fig. 9. Catalytic compound ratio to verify a emission reduction filter.

필터 및 CPF라고도 하며, 배기가스에서 미립자를 촉매로 흡착하여 다시 태워 보내는 방식으로서 기존 선박에 사용하려면 추가적인 장비와 비용이 추가된다. 또한, 기존 디젤승용차 전용 방식으로 개발되었기 때문에 소형화되어 있고 가격 경쟁력도 높은 장점이 있으나, 염분과 수분에 취약하다는 단점은 내구성의 문제가 발생할 수 있으므로 향후 해양 환경에 적합한 PM 제거 필터의 개발은 필요하다고 사료되며, 지속적인 개발과 성능 검증을 통해 실제 선박에서의 저감장치의 효용성과 제품의 용량별 유지 성능 및 내구성에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

결 론

우리나라 어선에서 주로 사용하고 있는 디젤기관은 가솔린기관보다 값이 싼 중유, 경유 등의 연료를 사용할 수 있고, 연료 소비량이 적으므로 유류비용 측면에서 절감할 수 있는 장점이 있으므로, 내연기관 중에서 가장 널리 사용되고 있다. 또한, 동력을 얻는 방식이 공기를 흡입과 압축을 하는 과정에서 압축열로 얻어지는 고온·고압의 상태에서 연료를 분사하여 연소시켜 동력을 생성하기 때문에, 가솔린기관 대비 열효율이 높고 경제성이 우수하며, 출력 대비 일산화탄소 및 탄화수소 배출량이 적은 장점은 있으나, 질소산화물의 배출물이 현저히 많다는 단점이 있다. 이러한 특징으로 선박 및 대형 엔진에 많이 활용되고 있으며, 어선엔진의 약 85% 정도로 대부분을 차지하고 있다. 이러한 기후변화 대응과 어선원 복지관련 질소산화물과 황산화물 저감은 필수 사항이므로, 본 연구에서는 이산화탄소를 제외한 유해성 배기가스 질소산화물을 대상으로 5종의 흡착제의 성능 검증과 선박용 저감필터를 제작하여 온실가스 저감 효율을 평가하였다.

그 결과, 저감필터를 적용한 모데나이트 소재는 활성탄과 제올라이트 소재에 비해 흡착효율이 10분을 경과하는 시점에서 흡착효율이 나타나기 시작하여 20분을 경과하면서 100% 질소산화물의 흡착효율이 지속적인 것으로 나타났으며, 양이온 치환능력이 우수한 모데나이트는 비표면적이 우수한 불 형태의 필터를 제작하여 NOx 저감필터의 저감효율은 80% 성능을 가지는 것으로 확인하였다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 수산시험연구사업 및 해양

수산부 지속가능한 어업생산체계구축 정책과제 (RP-2014-FE-002)의 지원에 의해 수행되었으며, 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님과 보다 나은 논문의 완성도를 위해 지적해주신 편집진께 감사드립니다.

References

- An HC, Bae BS, Lee KH, Park SW and Bae JH. 2012. Operating Performance of hair-tail angling vessel using the LED and metal halide fishing lamp combination. *J Kor Soc Fish Tech* 48, 337–345. (DOI: <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.4.337>)
- Choi DH, Son HJ, Park JS, Moon CY, Ryu DC, Jang SH, Kwon KW and Kim HS. 2013. Adsorption Efficiency of Coal Based GACs and Evaluation of Economic Efficiency. *J Environmental Science International* 22, 205–213. (DOI: <http://10.5322/JESI.2013.22.2.205>)
- Joo YN, Hong MS, Moon SH, Lee DS and Lim WT. 2003. A Study on the Exhaust Reduction of Diesel Particulates Using Ceramic Fiber Filters. *J KOSAE* 19, 297–306.
- Kang KJ, Kim SH and Kim EC. 2004. A Study on the NOx Emission Status and Reduction Technologies of Domestic Marine Engine. *J Kor Soc Mar Environ Eng* 7 (2), 57–63.
- Kang H, Park SM, Jang YD and Kim JJ. 2008. Studies on Adsorption of Heavy Metals with Zeolite and Bentonite. *J Miner Soc Korea* 21, 45–56.
- Kim DS and Eom MD. 2000. Estimation of Exhaust NOx Emission for Marine Engines. *J Kor Soc Mar Eng* 24, 441–445.
- Kumoh National Institute of Technology. 2011. Report of NOx and SOx reduction filter performance. KNIT, pp25.
- Lee K, Lee CW, Yang YS and Lee J. 2012. Development of a low-energy used large midwater trawl using a numerical method. *J Kor Soc Fish Tech* 48 (3), 195–207. (DOI: <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.3.195>)
- NFRDI. 2012. Assessment of Green House Gas emission and construction of Zero emission plan in Fisheries, pp225.
- NFRDI. 2013. Assessment of Green House Gas emission and construction of Zero emission plan in Fisheries, pp295.
- Park SW, Lee KH, Kang MJ and Park SK. 2012. Economic analysis of development of low-carbon trawl gear. *J Kor Soc Fish Tech* 48 (4), 360–369. (DOI: <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.4.360>)

2014. 1. 28 Received

2014. 2. 20 Revised

2014. 2. 21 Accepted