

선박배기가스 유해물질 저감을 위한 선박용 SCR 시스템 요소기술에 관한 소개

박윤용* · 송하철* · 심천식* · 안기주** · 박기영**

* 목포대학교 조선공학과, ** (주)S&K 중공업

요 약 : 산업화로 인하여 토지의 사막화, 물부족, 오존층 파괴, 지구 온난화 등 많은 환경문제가 발생되었으며 아직 진행 중에 있다. 이에 UN에서는 환경 규제를 강화하였으며 국제해사기구(IMO:International Maritime Organization)에서는 선박의 배기가스 규제 강화를 위하여 NOx(질소산화물) 및 SOx(황산화물)의 배기량을 줄이도록 하고 있으며 2016년부터는 본격적으로 규제하려 하고 있다. 상기의 규제 물질 중 NOx를 제거하는 선택적환원촉매(SCR:Selectivity Catalytic Reduction) 시스템은 선박의 배기가스가 지나가는 통로에 요소수(Urea)를 분무하여 260°C 이상의 높은 온도에서 요소수에 있는 암모니아가 배기가스에 있는 NOx와 반응, 결합함으로써 NOx를 질소와 산소로 분리, 제거하는 방식이다. 하지만 선박의 경우 대부분 엔진이 2행정으로 배기가스 온도가 일반적으로 180°C~220°C이기 때문에 요소수에 있는 암모니아가 배기가스에 있는 NOx와 반응하지 않아 환원률이 높지 않다. 이에 우리는 초미세기포를 이용하여 낮은 온도에서도 반응할 수 있는 요소수 및 요소수 활성화 기기를 개발하여 상기의 문제점들을 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한 SCR 시스템의 점성유동해석을 통하여 보다 효율적인 SCR 시스템의 개발을 할 수 있도록 기여하였다.

핵심용어 : 요소수, 활성화, 초미세기포, 나노, 수소, 선택적환원촉매, 점성유동해석

1. 서 론

Table. 1과 같이 최근 개정된 IMO의 해양오염 방지협약 부속서 VI에 의하면 선박 배기가스의 NOx 및 SOx의 배출량 제한을 강화한 Tier III 기준이 2016년부터 신조선에 적용된다. 따라서 강화될 IMO의 배출 규제에 대응하기 위해 선박의 배기가스 오염물질 저감장치의 개발이 절실히 필요하게 되었다.

Table. 1 MARPOL 73/78 Annex VI NOx Emission Limits

Tier	Ship construction Date on or after	NOx Emmission Limits (g/KWh)		
		n(RPM) < 130	130 < n < 2,000	2,000 < n
I	2000.01.01	17.0	45.0 n ^{-0.2}	9.8
III	2016.01.01	3.4	9.0 n ^{-0.2}	2.0

상기의 오염물질 중 NOx를 저감하는 장치를 SCR이라 하며 SCR 시스템은 선박에 그대로 적용하는데 몇 가지 문제점을 표출하게 되었다. 먼저 SCR 시스템의 크기와 무게이다. 선박의 경우 육상의 탈질설비와 다르게 제한된 면적과 공간에서 설치되어야 하며, 기존 선박에 설치할 경우 탈질설비의 무게로 인하여 선박의 무게중심이 기울어지거나 바뀌어져 복원성에 문제가 생길 수 있기 때문이다.

다음으로 효율의 문제이다. SCR 시스템의 크기는 작게 만들어야 하지만 효율은 좋아야 한다는 이율배반적인 문제가 발생하였으며 선박이라는 폐쇄된 공간이기에 화재나 폭발의 문제

가 발생할 위험이 있어 안전성을 위하여 폭발성이 없는 요소수를 사용하게 되어 효율은 더욱 떨어지게 되었다.

이에 따라 본 연구는 선박용 SCR의 크기를 줄이면서도 효율을 극대화 할 수 있는 방향에서 연구를 시작했으며 효율이 낮은 요소수를 선박엔진에 맞게 활성화 시킬 수 있는 방안을 모색하게 되었고, 초미세기포를 이용한 활성화 요소수 에 초점을 맞추고 이를 개발하였다. 또한, 효율성 향상을 위하여 점성유동해석을 수행하였다.

2. 효율극대화 나노버블 생성 기술

컴프레서로 가압되어 발생하는 공기와 오존, 기체상태인 이산화염소가 함께 섞여 압축된 기체를 10~30 나노미터 크기의 수많은 구멍을 가진 다공성 고분자 필름이 충전된 디퓨저에 공급한 뒤, 압력 개방으로 발생하는 산소를 단독으로 공급 접촉시켜서 용해효율 및 접촉효율, 정화효율이 극대화된 나노 버블 처리수를 발생시킨다.

3. 나노버블 요소수 삽입 기술

개발한 요소수 활성화 기기를 이용하여, 나노버블 처리수에서 일반기포와 마이크로기포를 제거하고, 남아있는 나노버블을 요소수에 삽입하여 활성화 요소수를 생성한다. 이러한 방법으로 생성된 활성화 요소수를 한국 디젤엔진 전문업체인 Decco에서 일반요소수와 활성화 요소수의 암모니아 전환율 비교 시험을

* 박윤용 : myth0113@mokpo.ac.kr 송하철 : hcsong@mokpo.ac.kr 심천식 : csshim@mokpo.ac.kr
** 안기주 : bigaxe@naver.com 박기영 : pky0856@naver.com

하였고, 한국조선해양기자재연구원에서 실험을 통하여 시험성적서를 발급 받았으며, 기기 개발에 대한 특허출원을 하였다.

Table. 3 Testing comparison table

측정항목	측정값
비교시료 NH_3 농도	$211 \mu mol/mol (ppm)$
시험시료 NH_3 농도	$254 \mu mol/mol (ppm)$

Table. 2에서 보는 것과 같이 비교시료 대비 시험시료의 경우 암모니아 농도가 높음을 확인할 수있으며, 이를 통해 요소수 활성화 기기를 이용한 요소수의 활성화율이 약 20% 높음을 확인하였다.

4. SCR 시스템의 효율성 향상을 위한 유동해석

SCR 시스템의 점성유동해석을 통하여 배기관 입구와 출구의 압력차, 유동균일도 및 농도균일도를 확인하여 효율성 향상에 기여하였다.

4.1 SCR 시스템 모델링

Fig. 1와 같이 노즐의 위치에 따른 압력변화와 유동균일도 및 농도 균일도의 비교를 위하여 분사 노즐의 위치는 배기가스 입구 배기관의 1/3, 1/2, 2/3 지점의 3개의 Case를 비교하였다.

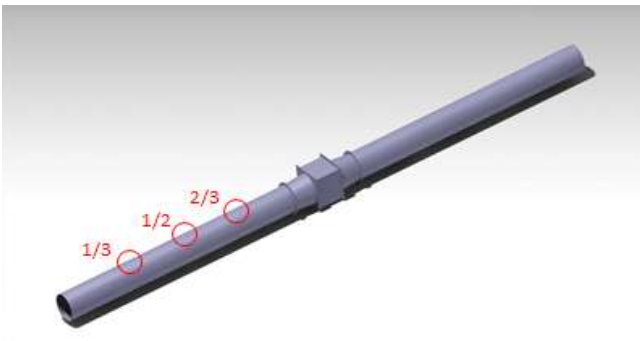


Fig. 1 3D modeling of SCR system

4.2 Boundary condition 설정

Boundary condition은 배기가스의 유입속도는 15m/s를, 온도는 200℃를 사용하였다. Outlet의 압력은 0 Pa로 설정하였고, 요소수의 속도는 7.96m/s, 온도는 20℃를 사용하였다. 촉매의 공극률은 0.76을, 벽면은 점착조건인 No-Slip 조건을 적용하였으며, 난류 모델은 정상상태의 난류유동으로 가정하여 K-ε 모델 사용하였다.

4.3 유동해석 결과

SCR 시스템의 배기관 입구와 출구에서의 압력 차는 약 600Pa로 설계기준인 $\Delta P \leq 980Pa$ 만족함을 확인할 수 있었다.

유동균일도는 보통 0.8이상일 경우 유동이 균일하다고 하며,

첫 번째 촉매전단에서 약 0.85로 나타나고 두 번째 촉매전단에서는 약 0.9로 나타나 유동이 균일함을 확인할 수 있었다.

농도균일도는 0.5이하로 낮게 나타났지만, 노즐의 위치가 입구 배기관의 1/3지점에 위치하였을 때 효율적인 것으로 나타났다.

5. 결 론

나노버블 요소수 활성화 기기개발을 통하여 기존 요소수 대비 암모니아 전환율이 약 20%정도 높은 활성화 요소수를 생성하였다.

또한, 점성유동해석을 통하여 SCR 시스템의 입·출구 배기관의 압력차이가 설계기준인 $\Delta P \leq 980Pa$ 만족함을 확인하였고, 유동균일도 또한 0.85이상으로 유동이 균일함을 확인하였다.

농도균일도는 입구배기관의 1/3지점에 위치하였을 때가 다른 경우보다 효율적인 것으로 나타났다

향후연구계획으로는 Economizer 효율화를 위한 요소수 온도 예열 시스템 구조물 개발하여 요소수 활성화율을 높이는데 기여할 것이며, 요소수 활성화 기기 소형화 설계 및 소형 SCR 시스템 개발을 통하여 선박에 SCR 시스템을 탑재할 때, 선박내부 공간활용에 도움이 되도록 할 것이다.

또한, 요소수 분사 노즐을 다중분사구로 확장하여 농도균일도를 확인하고, 기존 SCR 시스템의 해석을 반영하여 소형 SCR 시스템의 점성유동해석 수행할 예정이다.

감사의 글

이 논문(저서)은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014H1C1A1073060)

참 고 문 헌

- [1] Alahmer A, Yamin J, Sakhrieh A, Hamdan MA (2010). Engine performance using emulsified diesel fuel. Energy Conversion and Management 51:1708-13.
- [2] Armas O, Ballesteros R, Martos FJ, Agudelo JR (2005). Characterization of light duty diesel engine pollutant emissions using water-emulsified fuel. Fuel 84:1011-8.
- [3] Jong-Min Kim 2015. School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University Seoul Korea
- [4] Lin CY, Chen LW (2006). Engine performance and emissions characteristics of threephase diesel emulsions prepared by an ultrasonic emulsification method. Fuel 85:596-600.
- [5] Yasuhito Nakatake, Shintaro Kisu, Kenta Shigyo, Toshihiko Eguchi, Takashi Watanabe (2013). Effect of nano air-bubbles mixed into gas oil on common-rail diesel engine, Energy, V.59, pp.233-239