

1.5톤 선박용 보일러의 SCR 시스템 수치해석에 관한 연구 A Study on the Numerical Analysis of the SCR system in a 1.5 Ton Marine Boiler

이정욱* · 최용준* · 황성철** · 한승훈*†

Jeong-Uk Lee*, Yong-Jun Choi*, Seong-Cheol Hwang**, Seung-Hun Han*†

(Received 18 January 2022, Revision received 13 April 2022, Accepted 19 April 2022)

Abstract : Diesel engines are widely used as transportation engines because for their superior torque and thermal efficiency compared to gasoline engines. In shipping companies, low-grade diesel oil is used to reduce fuel costs, but diesel engines emit up to 100 times more Nitrogen Oxides(NOx) and fine dust than gasoline engines. Currently, global warming and climate change are increasing interest in the air environment, and regulations on air pollution emissions are being strengthened. The International Maritime Organization has applied the Tier III, a nitrogen oxide emission regulation in the ECA area, to vessels built since 2016 and regulations are being strengthened on environmental pollution sources emitted from ships operating in the ocean and docking in ports. There are methods such as EGR and SCR systems to cope with enhanced environmental regulations. EGR reduces the amount of oxygen and increases the concentration of carbon dioxide as a way to reduce NOx emissions during engine combustion, slowing the combustion reaction and lowering the maximum combustion temperature. Previous studies on the comparison of nitrogen oxide reduction rates by boiler load using diesel fuel and LNG fuel have not been conducted in detail. In this study, the nitrogen oxide reduction rate and flow characteristics were investigated through CFD flow analysis according to the boiler load of the SCR system using diesel fuel and LNG fuel using a 1.5 ton marine boiler. In the future, through the results of numerical analysis, we will develop an efficient LNG propulsion ship SCR system based on comparative analysis with actual experimental values.

Key Words : Nitrogen oxide (NOx), Exhaust gas recirculation (EGR), Selective catalyst reduction (SCR), Reduction rate, Diesel fuel

*† 한승훈(ORCID:<https://orcid.org/0000-002-9125-7439>) :

교수, 경상국립대학교 기계시스템공학과

E-mail : shhan@gnu.ac.kr, Tel : 055-772-9150

*이정욱(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-6918-255X>) :

대학원생, 경상국립대학교 기계시스템공학과

*최용준(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5947-4516>) :

대학원생, 경상국립대학교 기계시스템공학과

**황성철(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-3286-8408>) :

연구소장, 겐에스씨알(주)

*† Seung-Hun Han(ORCID:<https://orcid.org/0000-002-9125-7439>)

: Professor, Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University.

E-mail : shhan@gnu.ac.kr, Tel : 055-772-9150

*Jeong-Uk Lee(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-6918-255X>)

: Graduate student, Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University.

*Yong-Jun Choi(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5947-4516>)

: Graduate student, Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University.

**Seong-Cheol Hwang(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-3286-8408>)

: Director of Research, GET-SCR.

1. 서 론

디젤엔진은 가솔린 엔진보다 토크와 열효율이 우수하여 수송용 엔진으로 많이 사용되어지고 있다. 소형선박을 제외한 중형선박 이상의 경우, 토크가 높아야 하기 때문에 가솔린 엔진보다 성능이 뛰어난 디젤엔진을 채택하고 있다.¹⁾ 해운 선사에서는 연료비 절감을 위해 저급디젤유가 사용되어지며, 디젤엔진은 시간, 마력당 비교적 낮은 연료소비율로 효율이 높아서 운전 비용을 고려하였을 때 선박에서 디젤엔진에 대한 채택은 절대적이라고 할 수 있다. 그로 인해 환경문제에 있어서는 디젤엔진은 가솔린 엔진보다 질소산화물(NOx), 미세먼지 등 최대 100배 이상 더 많이 배출되어진다.²⁾

현재 지구의 온난화 및 이상기후 등의 발생에 따라 대기환경에 대한 관심이 높아지며, 육상 및 해상에서의 화석연료를 통해 발생하는 대기오염 배출가스에 관한 규제가 강화되어지고 있다.^{3,4)}

국제해사기구(IMO)에서는 ECA(Emission Control Area) 지역에서 질소산화물 배출규제 Tier III를 2016년부터 건조되는 선박에 적용하였으며, 대양에서 운항 및 항구에 정박하는 선박으로부터 배출되어지는 환경오염원에 대해 규제를 더욱더 강화시켜 가고 있는 실정이다. 따라서 현재는 화석연료에 기반이 아닌 암모니아 및 LNG 연료추진 등 친환경 연료를 이용한 선박이 건조되어지고 있다. 현존선박인 경우, 선박의 보일러 및 디젤엔진 등의 동력장치로부터 배출되어지는 배기가스 오염 물질에 대한 규제가 강화되어지므로 이를 만족시키기 위한 배기가스 후처리 장치 기술이 다양하게 제시되어지고 있다.⁵⁾

Choi 등⁶⁾은 국제해사기구에서 2020년 1월 1일부터 배기가스 배출규제 지역 외의 전 해역에서 선박 연료유의 황 함유량을 기존 3.5%에서 0.5%로 강화하기로 결정되어짐에 따라 스크러버(Scrubber)를 이용한 후처리 장치에 대한 연구를 하였다.

Bae 등^{7,8)}은 선박용 대형 2행정 디젤엔진에 Miller 사이클을 적용하여 연비 특성을 조사하고, SCR(Selective Catalytic Reduction) 및 EGR

(Exhaust Gas Recirculation) 시스템을 적용해 엔진 부하에 따른 산소(O₂) 및 질소산화물(NO_x)을 측정해 비교 연구를 수행하였다. EGR은 엔진 연소 과정에서 질소산화물을 저감시킬 수 있는 방식으로 산소량을 줄이고 이산화탄소 농도를 늘려 연소반응을 느리게 하고 최고 연소온도를 낮추는 후처리 장치이다.

Bae 등^{9,10)}은 SCR 시스템의 촉매 주위의 작동 온도로 인하여 질소산화물 저감에 중요한 변수를 고찰하였으며, SCR 시스템의 유입되어지는 열이 혼합영역 내의 가스 유동에 따른 속도 및 온도 분포에 미치는 영향을 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 기존의 배기가스 후처리 장치를 바탕으로 디젤연료와 LNG 연료를 사용한 1.5톤 선박용 보일러 부하에 따른 SCR 시스템의 CFD 유동해석을 실시하였다.

2. 모델링 및 경계조건

2.1 실험대상

Fig. 1은 본 연구에 사용된 1.5톤 선박용 보일러를 나타낸다.

Table 1은 1.5톤 선박용 보일러의 제원을 나타낸다. 설계압력은 10 kg/cm², 최대 온도 300°C, 보일러 부하 100%의 기준으로 최대유량은 1,500 Am³/hr이다. 환산 증발량은 1,791 kg/h, 총 발생열량 965,550 kcal/h이며, 보일러효율은 88%이다.



Fig. 1 Photo of a 1.5 ton boiler

Table 1 Specification of experimental in a 1.5 ton boiler

Design pressure (kg/cm ²)	10
Max. temperature (°C)	300
Maximum flow rate (Am ³ /hr)	1,500
Convert evaporation (kg/h)	1,791
Total outbreak heat cap. (kcal/h)	965,550
Efficiency (%)	88
Heating surface (m ²)	35
Fuel consumption, Diesel (kg/h)	106.5
Fuel consumption, LNG (kg/h)	110.3

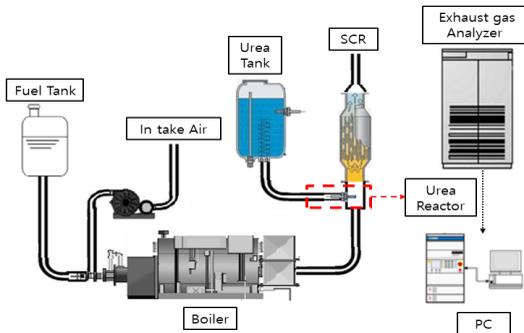


Fig. 2 Schematic diagram of experimental system

전열면적은 35 m²이며, 디젤연료 기준 연료소비량은 106.5 kg/h, LNG 연료 기준 연료소비량은 110.3 kg/h이다.

Fig. 2는 실험 장치의 구성도를 나타낸다. 1.5톤 선박용 보일러에 배기가스 후처리 장치인 SCR 시스템을 연결하여 구성하였다. 보일러의 연도 라인을 통해서 배기가스가 흘러나와서 우레아 공급 시스템(Urea Supply System)과 반응기(Reactor)를 거쳐서 선택적 촉매 반응이 일어나 배기가스 내의 질소산화물을 저감시킨다. 질소산화물 배출 측정 장치는 연도 라인 입구와 출구에 각각 설치하여 배기가스 전·후의 질소산화물 저감률을 측정하도록 하였다.

2.2 해석조건

Table 2는 1.5톤 선박용 보일러의 부하별 디젤 연료와 LNG 연료의 특성을 나타낸다. 보일러 부하

Table 2 Specification of the Diesel & LNG fuel in a 1.5 ton boiler

Item		Diesel	LNG
Load (%)	50	3	3
	75	4.5	4.5
	100	6	6
Porosity		0.7	0.7
Urea (g/hr)		300	160
IN NOx (ppm)		177	67

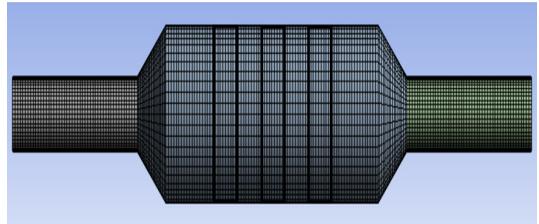


Fig. 3 The Cell grids of SCR modeling device

50%, 75%, 100%일 때 최대유량 값 750 Am³/hr, 1,125 Am³/hr, 1,500 Am³/hr, 유입구 속도 흐름은 3 m/s, 4.5 m/s, 6 m/s, 공극률(Porosity) 0.7, 질소산화물 배출량은 디젤연료 177 ppm, LNG 연료 67 ppm으로 하였고, 디젤연료와 LNG 연료의 우레아 분사량은 각각 300 g/hr와 160 g/hr로 설정하였다.

Fig. 3은 SCR 시스템의 모델링을 나타낸다. SCR 시스템과 같은 배기가스 후처리 시스템의 조밀한 설계를 위해 선형 셀(Linear cell) 격자를 사용하였다. SCR 시스템의 모델은 입구 및 출구, 가열 벽면 경계를 포함하여 노드 수 87,776개, 격자 수 82,950개로 설정하였다.

Table 3은 수치해석에 사용되어진 디젤연료와 LNG 연료의 물성치를 나타낸다. 디젤연료는 밀도 831 kg/m³, 기체 비중 0, 세탄가 40~55, 비점 180~370°C, CHO 함량은 탄소 86%, 수소 14%, 산소 0%, 동점도 3 mm²/s, 발화점 250°C의 물성치를 가지며, LNG 연료의 물성치는 밀도 415 kg/m³, 기체 비중 0.55, 세탄가 0, 비점 -162°C, CHO 함량은 탄소 76%, 수소 24%, 산소 0%, 동점도 0, 발화점 537°C의 물성치를 가진다.

Table 3 Properties of Diesel and LNG fuel

Item	Diesel	LNG	
Density (kg/m ³)	831	415	
Specific gravity	-	0.55	
Centane number	40~55	-	
Boiling point (°C)	180~370	-162	
CHO content (%)	C	86	76
	H	14	24
	O	0	0
Kinematic Viscosity (mm ² /s)	3	-	
Ignition point (°C)	250	537	

2.3 유동균일도

SCR 시스템에서 배기가스가 통과하는 담체 표면에서의 유속에 대한 균일성이 정화 효율에 중요한 지표가 되며 유동균일도가 사용이 된다. 이 지표는 Weltens이 제시한 아래의 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$U_F = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n |V_i - V| A_i}{2AV} \quad (1)$$

여기서, n은 셀의 총개수, A는 단면적, Ai는 축매 격자 I에서의 단면적, V는 속도, Vi는 축매 격자 I에서의 단위 속도를 의미한다. 유동균일도 지수가 1에 가까울수록 효과적으로 축매가 배기가스를 통과시킨다.¹¹⁾ SCR 시스템의 입구 덕트는 직선 형태보다 곡간 형태일 때 유동균일도가 낮아짐을 알 수 있다. 즉 배관 각도와 입구부 덕트 길이가 유동균일도에 영향을 미치는 설계 변수임을 알 수 있다.¹²⁾ 본 연구에서는 SCR 시스템은 입구 덕트가 직선 형태로 설계하였다.

2.4 경계조건(Boundary condition) 설정

Table 4는 SCR 시스템의 경계조건(Boundary condition)을 나타낸다. 보일러 부하별 SCR 시스템에서 배기가스가 유입되어지는 속도는 3~6 m/s

Table 4 Boundary condition of SCR system

Item		Value
Exhaust	Inlet Velocity (m/s)	3~6
	Temperature (°C)	200
Catalyst	Porosity	0.7
Wall		No-Slip
Turbulence Model		K-ε

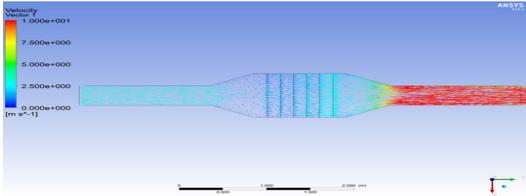
를 설정하였고, 보일러의 배기가스의 온도는 200°C를 적용하였다. 벽면의 점착 조건인 No-Slip 조건을 사용하였으며, 난류 모델은 정상상태의 난류 유동으로 가정하였으며, 공학적으로 타당성을 검증받은 K-ε 모델을 사용하였다.

3. 수치해석 결과 및 고찰

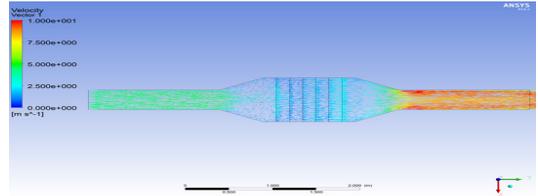
3.1 디젤연료 해석 결과

Fig. 4는 보일러 부하 50%일 때 수치해석 결과를 나타낸다. Fig. 4의 (a)는 SCR 시스템의 유동속도를 나타내며, 입구 속도는 2.5~3 m/s로 들어가 10 m/s의 속도로 출구 쪽으로 흘러나간다. (b)는 반응기의 입구와 출구의 압력차를 나타낸다. 압력 변화 확인 결과, 입구 및 출구의 압력차는 보일러 부하 50%일 때 입구의 압력이 28 Pa이었지만 유동이 반응기를 지날 때 출구 압력이 0 Pa로 감소하는 것을 알 수 있었다. (c)는 보일러 부하에 따른 시간당 질소산화물 저감률을 나타낸 것이다. 수치해석 결과, 보일러 부하 50%일 때 질소산화물은 177 ppm으로 입구로 유입되었지만, 출구로 배출되어지는 질소산화물은 0 ppm으로 질소산화물이 저감되었음을 확인하였다. SCR 시스템 반응기 입구의 2/5 지점 부근에서 축매 반응이 가장 활성화되어져 질소산화물이 저감되어짐을 확인하였다.

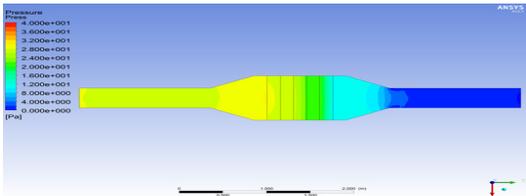
Fig. 5는 보일러 부하 75%일 때 수치해석 결과를 나타낸다. Fig. 5의 (a)는 SCR 시스템의 유동속도를 나타내며, 입구 속도는 2.5~3 m/s로 들어가 10 m/s의 속도로 출구 쪽으로 흘러나간다.



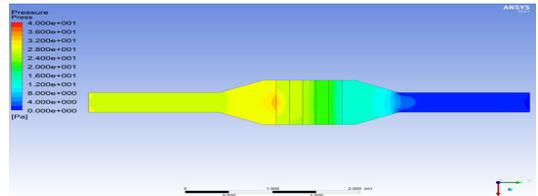
(a) Result of velocity for boiler load 50%



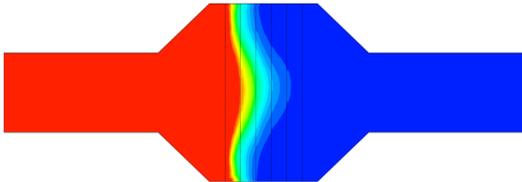
(a) Result of velocity for boiler load 75%



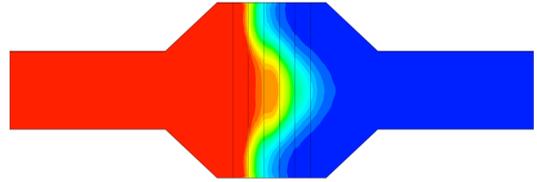
(b) Result of pressure for boiler load 50%



(b) Result of pressure for boiler load 75%



(c) Result of NOx reduction for boiler load 50%



(c) Result of NOx reduction for boiler load 75%

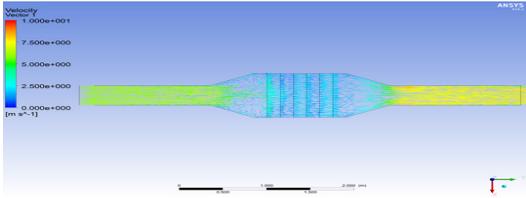
Fig. 4 NOx Reduction of SCR system in a 1.5 ton boiler (Diesel, load 50%)

Fig. 5 NOx Reduction of SCR system in a 1.5 ton boiler (Diesel, load 75%)

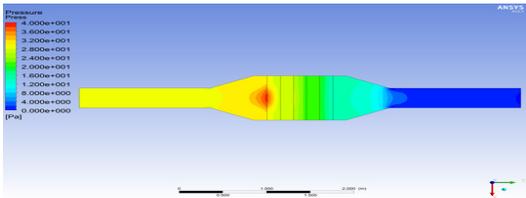
(b)는 반응기의 입구와 출구의 압력차를 나타낸다. 압력 변화 확인 결과, 입구 및 출구의 압력차는 보일러 부하 75%일 때 입구의 압력이 28 Pa 이었지만 유동이 반응기를 지날 때 출구 압력이 0 Pa로 감소하는 것을 알 수 있었다. (c)는 보일러 부하에 따른 시간당 질소산화물 저감률을 나타낸 것이다. 수치해석 결과, 보일러 부하 75%일 때 질소산화물은 177 ppm으로 입구로 유입되었지만, 출구로 배출되어지는 질소산화물은 40 ppm으로 질소산화물이 저감되었음을 확인하였다. SCR 시스템 반응기 입구의 3/5 지점 부근에서 촉매 반응이 가장 활성화되어져 질소산화물이 저감되어짐을 확인하였다.

Fig. 6은 보일러 부하 100%일 때 수치해석 결과를 나타낸다. Fig. 6의 (a)는 SCR 시스템의 유동

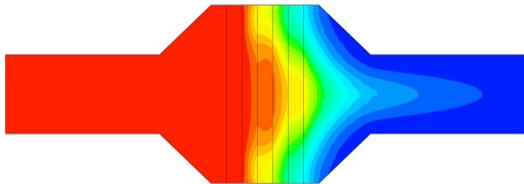
속도를 나타내며, 입구 속도는 2.5~3 m/s로 들어가 10m/s의 속도로 출구 쪽으로 흘러나간다. (b)는 반응기의 입구와 출구의 압력차를 나타낸다. 압력 변화 확인 결과, 입구 및 출구의 압력차는 보일러 부하 100%일 때 입구의 압력이 28 Pa 이었지만 유동이 반응기를 지날 때 출구 압력이 0 Pa로 감소하는 것을 알 수 있었다. (c)는 보일러 부하에 따른 시간당 질소산화물 저감률을 나타낸 것이다. 수치해석 결과, 보일러 부하 100%일 때 질소산화물은 177 ppm으로 입구로 유입되었지만, 출구로 배출되어지는 질소산화물은 60 ppm으로 질소산화물이 저감되었음을 확인하였다. SCR 시스템 반응기 입구의 3/5 지점 촉매 반응이 가장 활성화되어져 질소산화물이 저감되어짐을 확인하였다.



(a) Result of velocity for boiler load 100%



(b) Result of pressure for boiler load 100%



(c) Result of NOx reduction for boiler load 100%

Fig. 6 NOx Reduction of SCR system in a 1.5 ton boiler (Diesel, load 100%)

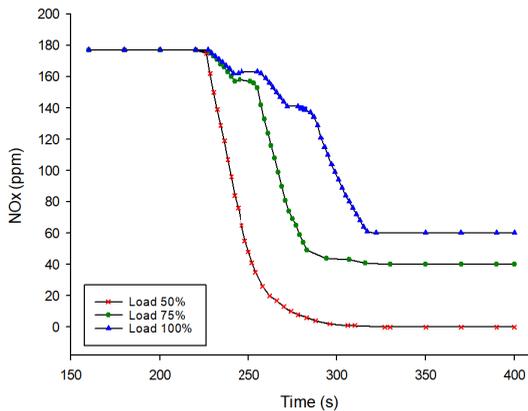


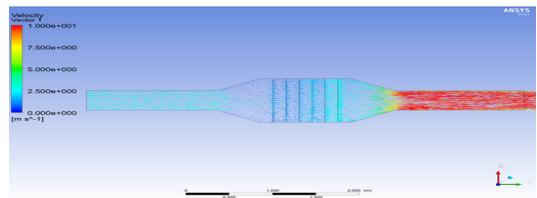
Fig. 7 Reduction rate of NOx emissions to a 1.5 ton boiler

Fig. 7은 보일러 부하 50%, 75%, 100%에서 300 g/hr의 우레아를 분사시켰을 때, 보일러 부하별 질

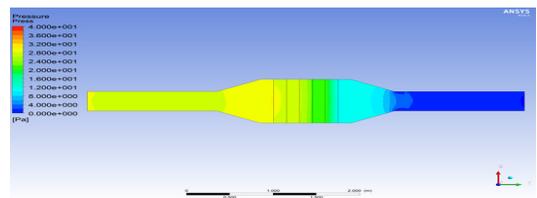
소산화물 저감률을 나타낸다. 보일러 부하 50%일 때 입구 쪽 질소산화물은 177 ppm으로 검출되었는데, 출구로 나오는 질소산화물은 0 ppm으로 100% 저감 수치를 나타내며, 보일러 부하 75%일 때 출구로 나오는 질소산화물은 40 ppm으로 77.4% 저감수치를 나타냈다. 보일러 부하 100%일 때 출구로 나오는 질소산화물은 60 ppm으로 66.1%의 저감수치를 나타냈다.

3.2 LNG 연료 해석 결과

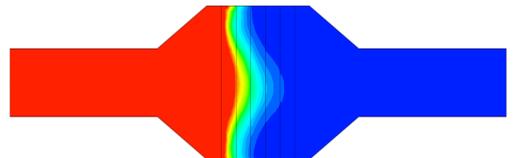
Fig. 8은 보일러 부하 50%일 때 수치해석 결과를 나타낸다. Fig. 8의 (a)는 SCR 시스템의 유동 속도를 나타내며 입구 속도는 2.5~3 m/s로 들어가 10 m/s의 속도로 출구 쪽으로 흘러나간다. (b)는 반응기의 입구와 출구의 압력차를 나타낸다. 압력 변화 확인 결과 입구 및 출구의 압력차는 보일러



(a) Result of velocity for boiler load 50%



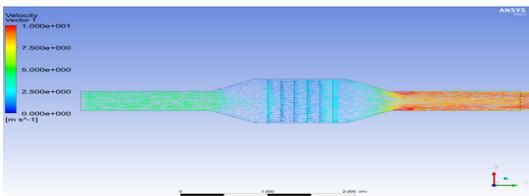
(b) Result of pressure for boiler load 50%



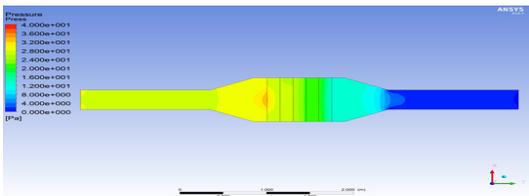
(c) Result of NOx reduction for boiler load 50%
Fig. 8 NOx Reduction of SCR system in a 1.5 ton boiler (LNG, load 50%)

부하 50%일 때 입구의 압력이 32 Pa이었지만 유동이 반응기를 지날 때 출구 압력이 0 Pa로 감소하는 것을 알 수 있었다. (c)는 보일러 부하에 따른 시간당 질소산화물 저감률을 나타낸 것이다. 수치해석 결과, 보일러 부하 50%일 때 질소산화물은 67 ppm으로 입구로 유입되었지만, 출구로 배출되어지는 질소산화물은 0 ppm으로 질소산화물이 저감되었음을 확인하였다. SCR 시스템 반응기 입구의 2/5 지점 부근에서 촉매 반응이 가장 활성화되어져 질소산화물이 저감되어짐을 확인하였다.

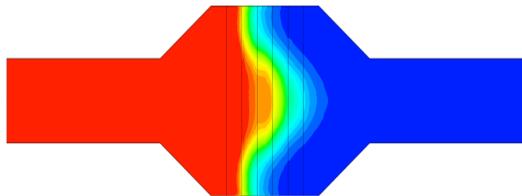
Fig. 9는 보일러 부하 75%일 때 수치해석 결과를 나타낸다. Fig. 8의 (a)는 SCR 시스템의 유동 속도를 나타내며, 입구 속도는 2.5~3 m/s로 들어가 7.5~10 m/s의 속도로 출구 쪽으로 흘러나간다. (b)는 반응기의 입구와 출구의 압력차를 나타낸다.



(a) Result of velocity for boiler load 75%



(b) Result of pressure for boiler load 75%

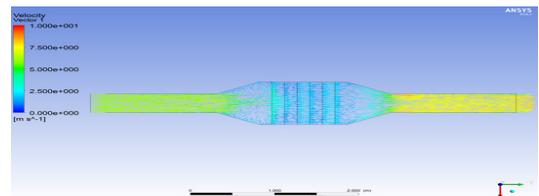


(c) Result of NOx reduction for boiler load 75%

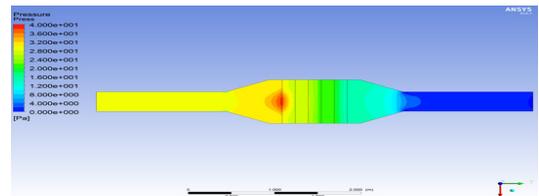
Fig. 9 NOx Reduction of SCR system in a 1.5 ton boiler (LNG, load 75%)

압력 변화 확인 결과, 입구 및 출구의 압력차는 보일러 부하 75%일 때 입구의 압력이 32 Pa이었지만 유동이 반응기를 지날 때 출구 압력이 0 Pa로 감소하는 것을 알 수 있었다. (c)는 보일러 부하에 따른 시간당 질소산화물 저감률을 나타낸 것이다. 수치해석 결과, 보일러 부하 75%일 때 질소산화물은 67 ppm으로 입구로 유입되었지만, 출구로 배출되어지는 질소산화물은 24 ppm으로 질소산화물이 저감되었음을 확인하였다. SCR 시스템 반응기 입구의 3/5 지점 부근에서 촉매 반응이 가장 활성화되어져 질소산화물이 저감되어짐을 확인하였다.

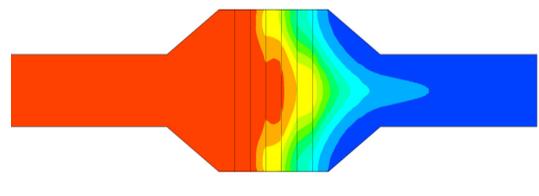
Fig. 10은 LNG 연료를 이용한 보일러 부하 100%일 때 수치해석 결과를 나타낸다. Fig. 10의 (a)는 SCR 시스템의 유동 속도를 나타내며, 입구 속도는 2.5~3 m/s로 들어가 7.5 m/s의 속도로 출구



(a) Result of velocity for boiler load 100%



(b) Result of pressure for boiler load 100%



(c) Result of NOx reduction for boiler load 100%

Fig. 10 NOx Reduction of SCR system in a 1.5 ton boiler (LNG, load 100%)

쪽으로 흘러나간다. (b)는 반응기의 입구와 출구의 압력차를 나타낸다. 압력 변화 확인 결과, 입구 및 출구의 압력차는 보일러 부하 100%일 때 입구의 압력이 32 Pa이었지만 유동이 반응기를 지날 때 출구 압력이 0 Pa로 감소하는 것을 알 수 있었다. (c)는 보일러 부하에 따른 시간당 질소산화물 저감률을 나타낸 것이다. 수치해석 결과, 보일러 부하 100%일 때 질소산화물은 67 ppm으로 입구로 유입되었지만, 출구로 배출되어지는 질소산화물은 35 ppm으로 질소산화물이 저감되었음을 확인하였다. SCR 시스템 반응기 입구의 3/5 지점 부근에서 촉매 반응이 가장 활성화되어져 질소산화물이 저감되어짐을 확인하였다.

Fig. 11은 보일러 부하 50%, 75%, 100%에서 160 g/hr 우레아 분사량은 보일러 부하별 분사시켰을 때 보일러 부하별 질소산화물 저감률을 나타낸다. 보일러 부하 50%일 때 입구 쪽 질소산화물은 67 ppm으로 검출되었는데, 출구 쪽으로 나오는 질소산화물은 0 ppm으로 100% 저감 수치를 나타내며, 보일러 부하 75%일 때 출구 쪽으로 나오는 질소산화물은 24 ppm으로 64.1% 저감수치를 나타냈다. 보일러 부하 100%일 때 출구 쪽으로 나오는 질소산화물은 35 ppm으로 47.8%의 저감수치를 나타냈다.

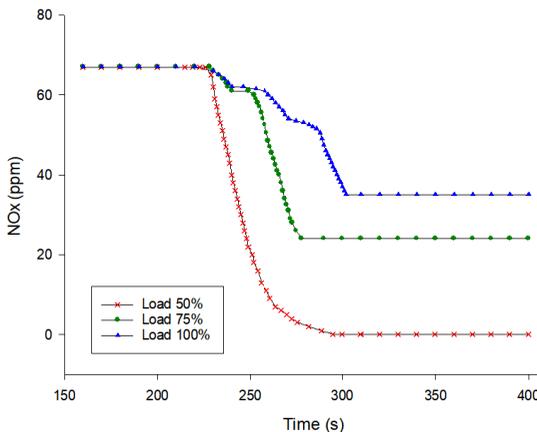


Fig. 11 Reduction rate of NOx emissions to a 1.5 ton boiler

4. 결 론

본 연구에서는 디젤연료와 LNG 연료를 이용한 1.5톤 선박용 보일러의 50%, 75%, 100% 부하별에 따른 질소산화물 저감률을 알아보고자 유동해석을 실시하였다.

1) 보일러 부하별 디젤연료와 LNG 연료의 유동 속도는 2.5~3 m/s로 일정하게 진행하였으며, 디젤연료의 경우 SCR 시스템의 출구로 배출되어지는 속도는 10 m/s로 일정하였고, LNG 연료의 경우 보일러 부하 50%일 때 출구로 배출되어지는 속도 10 m/s, 75%일 때 7.5~10 m/s, 100%일 때 7.5 m/s로 보일러 부하가 높아질수록 출구로 배출되어지는 유동 속도는 감소되어짐을 알 수 있었다.

2) 디젤연료와 LNG 연료를 사용한 보일러 부하에 따른 SCR 시스템의 압력은 디젤연료 사용 시 입구 압력 28 Pa, 출구 압력 0 Pa로 감소되었으며, LNG 연료 사용 시 입구 압력 32 Pa, 출구 압력은 0 Pa로 동일하게 감소되어짐을 알 수 있었다.

3) 보일러 부하 50%일 때 디젤연료와 LNG 연료의 질소산화물 저감 수치는 0 ppm으로 100% 저감이 되었으며, 부하율 75%일 때 디젤연료는 40 ppm으로 77.4%, LNG 연료의 경우, 24 ppm으로 64.1%의 저감 수치를 나타냈으며, 부하율 100%일 때 디젤연료는 60 ppm으로 66.1%, LNG 연료의 경우, 24 ppm으로 47.8%의 저감 수치를 나타냈다. 보일러 부하에 따른 디젤연료의 질소산화물 저감률은 LNG 연료보다 높은 저감률을 가지는 것을 알 수 있었다.

향후 본 연구의 수치해석 결과를 통해서 실제 실험값과 비교 분석을 통하여 효율적인 LNG 선박용 SCR 시스템 설계에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

후 기

본 논문(결과물)은 2021년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다. (2021RIS-003)

Author Contributions

J. U. Lee; formal analysis, Software, writing-original. Y. J. Choi; Visualization. S. C. Hwang; Investigation, Resources. S. H. Han; Project Administration, Supervision, writing-review & editing.

References

1. C. S. Yi, I. G. Jeong, J. S. Suh, C. D. Park and K. Y. Jeong, 2012, "A Numerical Analysis on Flow Uniformity of SCR Reactor for 5,000PS Grade Marine Engine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 6, pp. 28-35.
2. H. S. Seong, I. S. Park, H. Jang, C. D. Park, H. K. Kim, K. Y. Jung and J. S. Suh, 2015, "Numerical Analysis on Flow Uniformity According to Area Ratio and Diffuser Angle in an SCR Reactor of a 500 PS-Class Ship", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 24, No. 4, pp. 394-399. (<http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2015.24.4.394>)
3. J. U. Lee, 2020, "Investigation on Environmental Impact of Marine LNG Propulsion Systems through a Life Cycle Assessment", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 75-81. (<http://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.3.075>)
4. H. Y. Lee, C. S. Yoon and H. S. Kim, 2014, "CFD Analysis on Gas Injection System of Solid SCR for NOx Reduction of Exhaust Emissions in Diesel Engine", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 22, No. 5, pp. 73-83. (<http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2014.22.5.073>)
5. IMO MEPC 66/21, 2014, Report of the marine environment protection committee on its sixty-sixth session, pp. 968-973.
6. J. H. Choi and S. G. Cho, 2020, "A Study on the Characteristics of Exhaust Gas Emission by Changing in Biofuel Ration and Biofuel Temperature in Diesel Engine", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 94-102. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.2.094>)
7. M. W. Bea, Y. J. Ku and B. S. Lee, 2006, "A Study on Characteristics of Performance and NOxTHC Emissions in Turbo Intercooler ECU Common-rail Diesel Engines with a Combined Plasma EGR System", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 10-21.
8. Y. S. Choi, M. H. Cha, M. Kim, T. W. Lim, 2019, "Designing of nozzle diameter based on the IMO regulation for discharging scrubber wash-water", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 43, No. 4, pp. 285-291. (<https://doi.org/10.5916/jkosme.2019.43.4.285>)
9. M. W. Bae, J. H. Ryu, S. W. Kim and H. S. Park, 2020, "A Study on Reduction Characteristics of NOx Emissions by SCR and EGR Systems in a Large Two-stroke Diesel Engine", Journal of the Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - B, Vol. 44, No. 7, pp. 449-457. (<https://doi.org/10.3795/KSME-B.2020.44.7.449>)
10. M. W. Bae and F. Syai, 2008, "A Study on Numerical Modeling of the Induced Heat to Gaseous Flow inside the Mixing Area of Ammonia SCR System in Diesel NOx After-treatment Devices", Transaction of the Korean Society of Mechanical Engineers-B, Vol. 32, No. 11, pp. 897-905. ([10.3795/KSME-B.2008.32.11.897](https://doi.org/10.3795/KSME-B.2008.32.11.897))
11. H. Weltens, H. Bressler, F. Terres, Neumarier, H. and D. Rammoser, 1993, "Optimisation of Catalytic Converter Gas Flow Distribution by CFD Prediction", Journal of the SAE Technical Papers 930780. (<https://doi.org/10.4271/930780>)
12. C. S. Yi, I. G. Jeong, J. S. Suh, C. D. Park and K. Y. Jeong, 2012, "A Numerical Analysis on Flow Uniformity of SCR Reactor for 5,000PS Grade Marine Engine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 6, pp. 28-35.