

가야호 발전기용 SCR System의 성능 평가

Performance Evaluation of SCR System for Generator Engine on Training Ship KAYA

정석호* · 정태영**† · 황성철***

Suk-Ho Jung*, Tae-Young Jeong**† and Sung-Chul Hwang***

(Received 26 July 2015, Revision received 23 November 2015, Accepted 24 November 2015)

Abstract: NO_x emission has been controlled because it is a major cause of the acid rain and effects considerably on formation and destruction of ozone. A SCR system on diesel engine is necessary to clear Tier III, because IMO(International Maritime Organization) plans on tightening regulations to Tier III at 1st January 2016. In this study, flow analysis was accomplished with ANSYS Fluent program so that the SCR system would be retrofitted in training ship KAYA and the temperature distributions of exhaust gas in SCR system were investigated after it was installed. As a result, it was confirmed that pressure and velocity distributions in SCR system were depended on pipe line shapes, then it was designed as the pressure was lower. The temperature differential between 1 and 3 point was 15°C because of evaporative latent heat of urea and the temperature of 4 point after catalyst was increased by 5°C than 3 point because of exothermic reaction.

Key Words : SCR System, NO_x, Performance Evaluation, Flow Analysis, Temperature Distribution

1. 서 론

선박으로부터 배출되는 배기배출물로부터 해양 환경을 보호하기 위해서 국제해사기구(IMO)의 해양환경보호위원회(MEPC)에서는 선박으로부터 배출되는 NO_x 규제를 점점 더 강화하고 있다. 2011년 발효된 Tier II는 2000년 발효되었던 Tier I에 비해 약 20%의 감소를 요구하였기 때문에 엔진 자체의 성능개선 기술만으로 NO_x 규제치를 만족시

킬 수 있었지만, Tier I 수준의 약 80%를 감축해야 하는 Tier III(2016. 01 이후 발효 예정)^{1,2)}는 엔진 자체의 성능개선 기술만으로는 만족시킬 수 없는 상황이므로 후처리 장치인 De-NO_x 시스템 설치가 필수적이다.

NO_x를 저감시키는 후처리 장치로는 널리 알려진 선택적 환원 촉매(SCR)³⁾와 플라즈마를 이용하는 방법⁴⁾이 있다. 전자의 경우는 1980년대부터 활발한 연구가 진행되어 대형트럭과 발전설비에는

**† 정태영(교신저자) : 부경대학교 가야호
E-mail : tyjeong@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-5998
*정석호 : 부경대학교 기계시스템공학과
***황성철 : 광성(주) 기술연구소

**† Tae-Young Jeong(corresponding author) : Training Ship Kaya, Pukyong University.
E-mail : tyjeong@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-5998
*Suk-Ho Jung : Department of Mechanical System Engineering, Pukyong University.
***Sung-Chul Hwang : Department of Research and Development, Kwang Sung CO. LTD..

이미 상용되고 있고, 후자는 실험 단계이며 비용과 유지보수에 드는 비용이 커서 거의 활용되지 못할 것으로 판단된다. 물론 이외에도 에틸전연료와 배기가스재순환(EGR), 천연가스 이중연료의 사용 등이 TierIII 대응 기술⁵⁾로 대두되고 있으나 당장 활용에는 어려움이 있을 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 광성(주)에서 개발된 순수 국산 제작의 선박용 SCR 시스템⁶⁻⁷⁾을 발전기 엔진 위에 배치를 하고 실선 베이스에서의 성능 실험을 실시하였다. 건조 20년이 넘는 기관실의 공간적 제약으로 발전기 엔진 상부의 터보차저를 지난 후, 기존의 파이프 배관에 바이패스 댐퍼를 설치 후 SCR 시스템을 배치하였다. 공해상에서는 기존의 파이프 배관을 통해 배기가스를 배출시키며, NOx 규제지역인 ECA(Emission control area)에서만 바이패스 댐퍼를 이용하여 SCR 시스템을 작동시킬 수 있도록 설계하였다. 설계 전 유동해석 결과에 따라 설계를 실시하였고 장착 후 SCR 시스템의 성능 평가를 수행하였다.

2. 유동해석조건

SCR 시스템의 유동해석을 위한 조건은 SCR 시스템 Inlet의 배기가스 유속은 20 및 30 m/sec, Inlet의 배기가스 온도는 300℃로 일정하게 하였다. 유동해석의 설계변수는 요소수 제어와 배기가스압력 관의 압력저하와 밀접하게 관계가 있는 촉매의 공극율과 유속으로 설정하였다. 촉매의 공극율을 0.3, 0.5, 0.7, 0.9로 변화시키며 SCR 시스템 및 배관의 압력분포를 비교하였다. 유동해석 프로그램은 ANSYS Fluent Ver.14를 사용하였고 모델은 표준 k-ε을 사용하였다.

3. 유동해석 및 실험결과

Fig. 1은 배기가스 입구 유속을 20 m/sec, 온도를 300℃로 일정하게 유지하였을 경우의 압력의 해석 결과이다. 공극율을 0.3에서 0.9로 0.2씩 늘려감에 따라 터보차저 후단부 뿐만 아니라 촉매 후단부까지 압력이 증가하는 것을 알 수 있다.

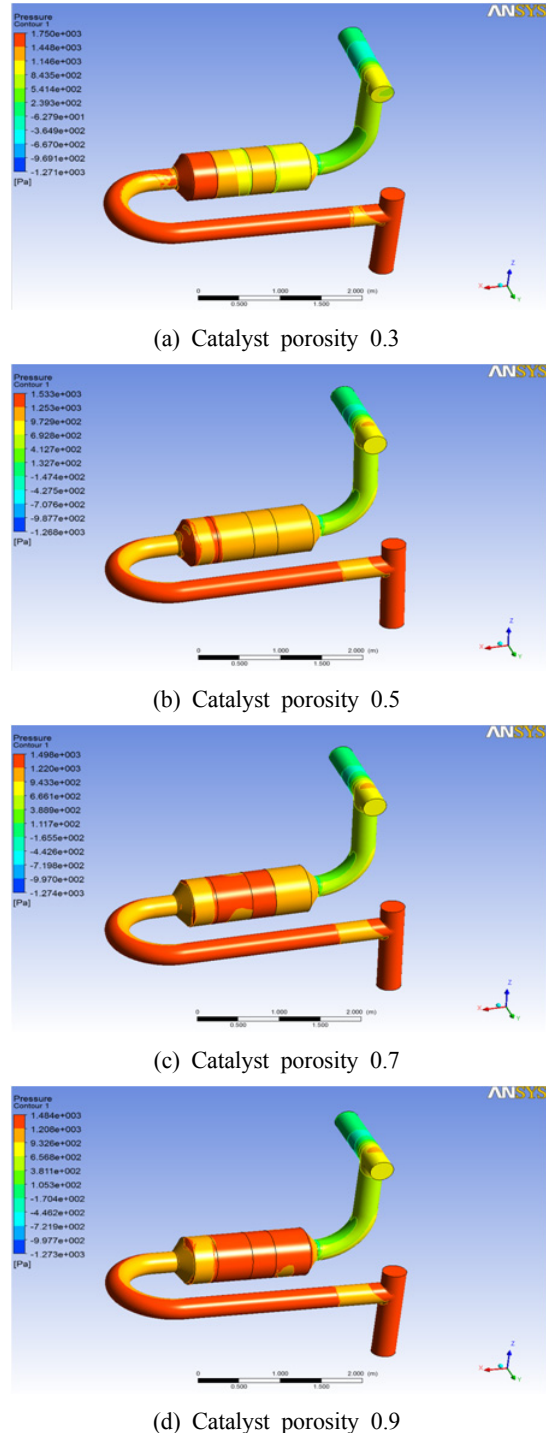
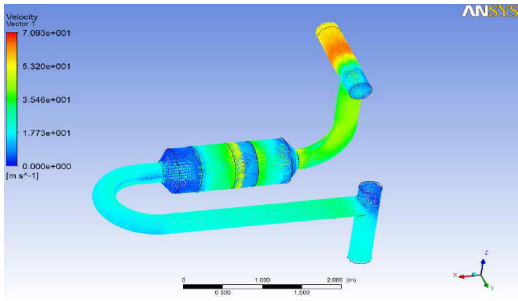
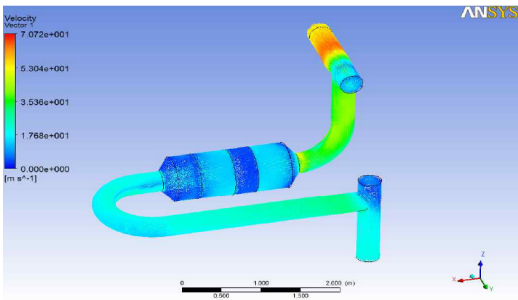


Fig. 1 Analysis results of pressure distribution according to catalyst porosity at 20 m/sec of velocity and 300℃ of gas temperature

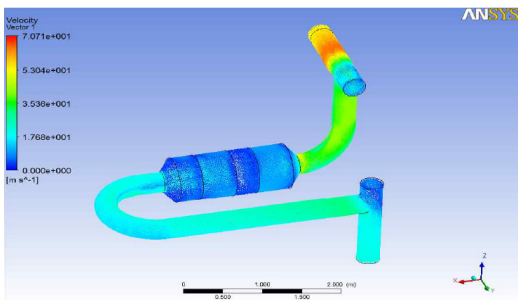
가야호 발전기용 SCR System의 성능 평가



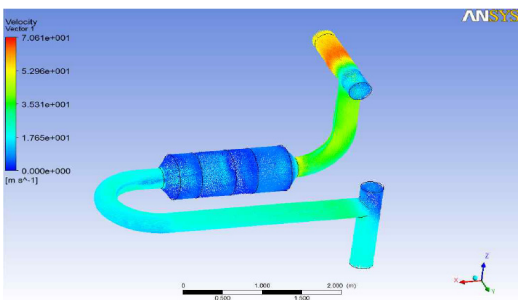
(a) Catalyst porosity 0.3



(b) Catalyst porosity 0.5

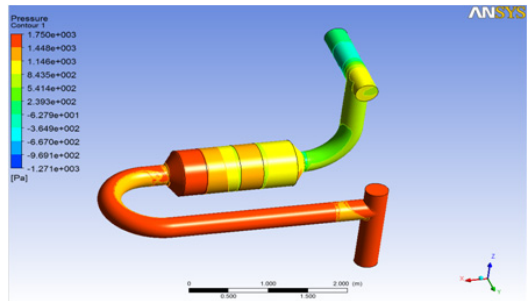


(c) Catalyst porosity 0.7

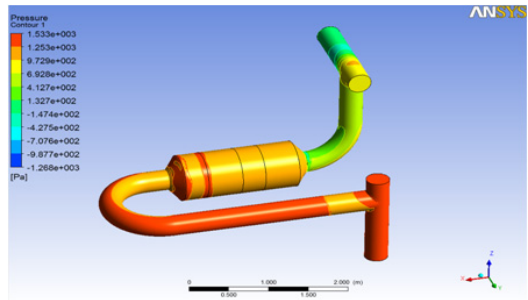


(d) Catalyst porosity 0.9

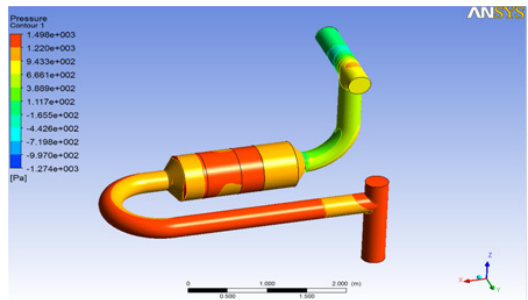
Fig. 2 Analysis results of flow velocity distribution according to catalyst porosity at 20 m/sec of velocity and 300°C of gas temperature



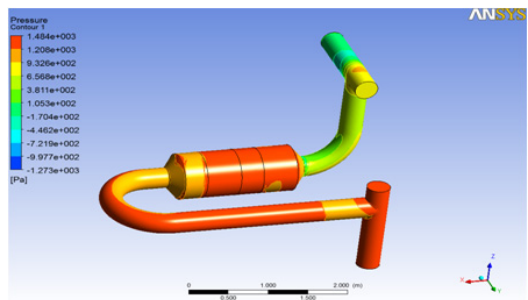
(a) Catalyst porosity 0.3



(b) Catalyst porosity 0.5

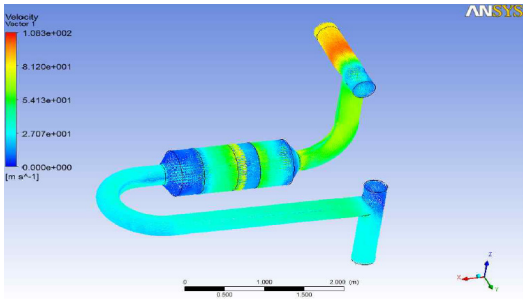


(c) Catalyst porosity

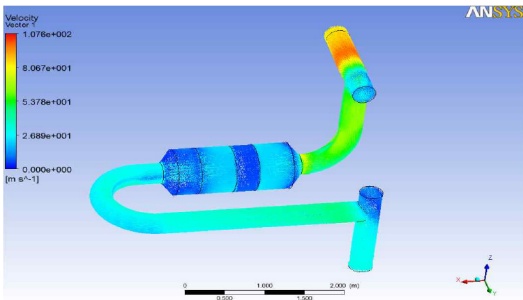


(d) Catalyst porosity 0.9

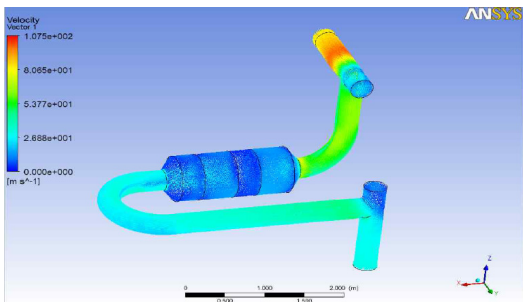
Fig. 3 Analysis results of pressure distribution according to catalyst porosity at 30 m/sec of velocity and 300°C of gas temperature



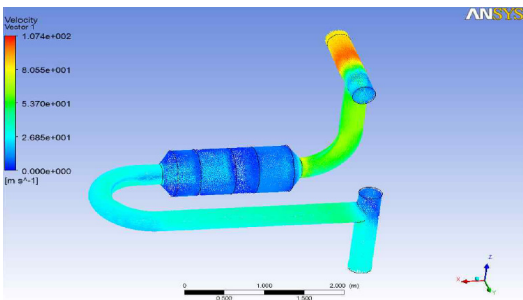
(a) Catalyst porosity 0.3



(b) Catalyst porosity 0.5

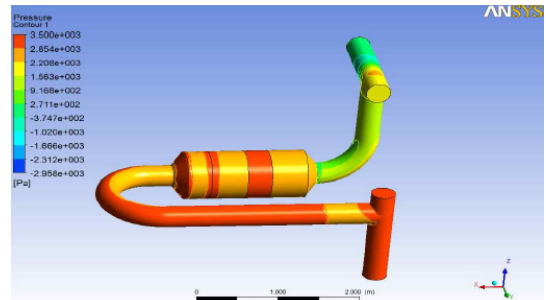


(c) Catalyst porosity 0.7

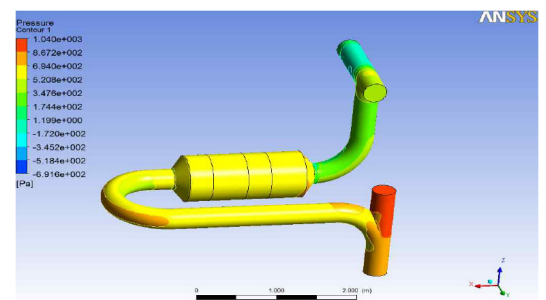


(d) Catalyst porosity 0.9

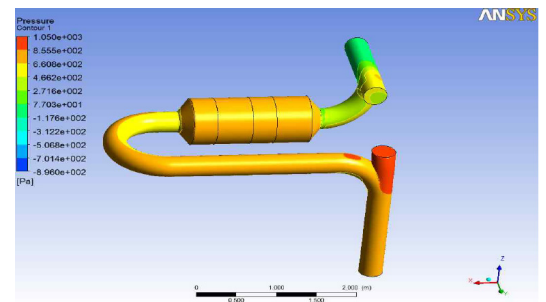
Fig. 4 Analysis results of flow velocity distribution according to catalyst porosity at 30 m/sec of velocity and 300°C of gas temperature



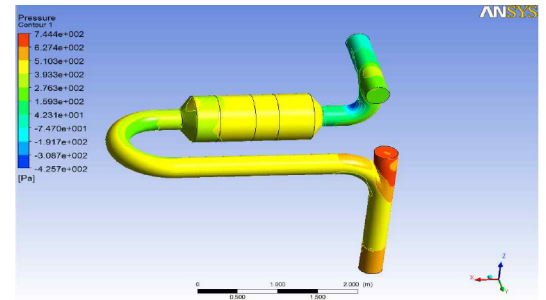
(a) Case 1



(b) Case 2

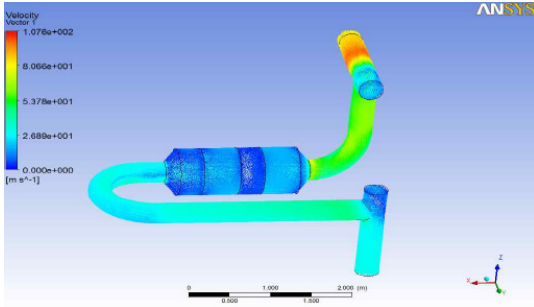


(c) Case 3

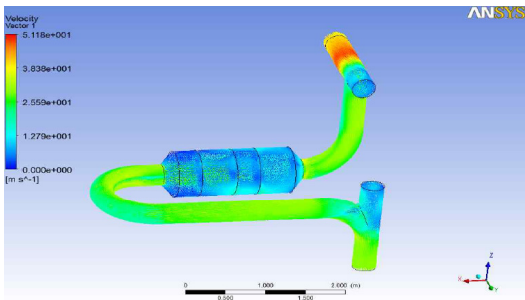


(d) Case 4

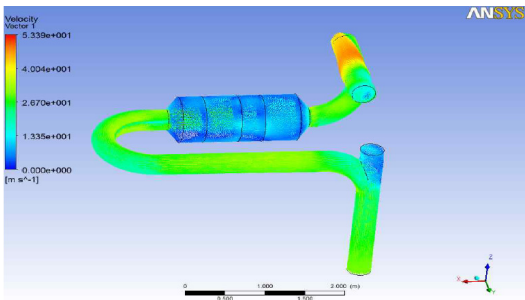
Fig. 5 Analysis results of pressure distribution according to configuration at 0.6 of porosity, 30 m/sec of velocity and 300°C of gas temperature



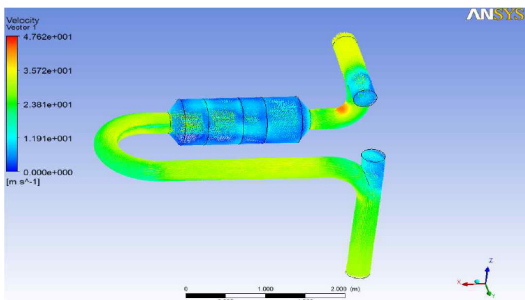
(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(a) Case 4

Fig. 6 Analysis results of flow velocity distribution according to configuration at 0.6 of porosity, 30 m/sec of velocity and 300°C of gas temperature

Fig. 2는 Fig. 1과 같은 조건에서의 시스템 내부의 유속 해석 결과이다. 압력과 마찬가지로 터보차저 후단부의 바이패스 부분에서 상당한 영역의 유속이 떨어져 이 부분에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다. Fig. 3과 4는 앞선 조건에서 입구 유속을 30 m/sec로 바꾸었을 경우를 나타낸다. 유속의 증가로 촉매부에서 더욱 압력이 증가하는 현상이 일어나고 유속 또한 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 전체적으로 평가했을 때 공극율은 0.6이 적당한 것으로 판단되어 이후에는 0.6으로 해석하였다.

Fig. 5는 공극율이 0.6, 입구 유속이 30 m/sec, 온도가 300°C일 때의 압력분포 해석결과를 나타낸다. Case 1은 Fig. 1-4와 같은 형상을 나타내고, Case 2는 Case 1에 비해 터보차저 후단부에 있는 바이패스의 곡단부를 완만하게 한 것이고 Case 3은 Case 2에 비해 터보차저 후단에서 바이패스까지의 길이를 연장한 것이다. 그리고 Case 4는 Case 3에 비해 촉매 후단부와 바이패스 사이에 곡단부를 주었다. 각각의 결과를 살펴보면 Case 2에 의해 곡단부 및 촉매에서의 압력이 감소되었다. Case 3에 의해서는 시스템 내의 압력이 전반적으로 상승하였다. 따라서 촉매후단부에서의 압력감소를 피하기 위해 Case 4와 같이 변경한 결과 시스템 내의 압력이 전반적으로 감소하였다.

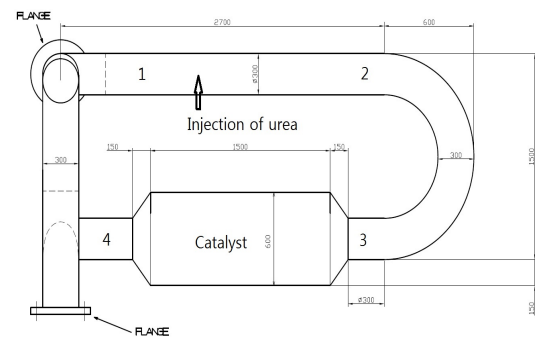


Fig. 7 Schematic diagram of SCR system adopted in training ship Kaya

Fig. 6은 공극율이 0.6, 입구 유속이 30 m/sec, 온도가 300°C일 때의 유속 분포 해석결과를 나타

낸다. Fig. 5에서의 압력감소에 비례하여 유속은 증가하기 때문에 최종적으로 Case 4를 가야호에 장착할 설계도로 채택하였고, 그 개략도를 Fig. 7에 나타내었다.

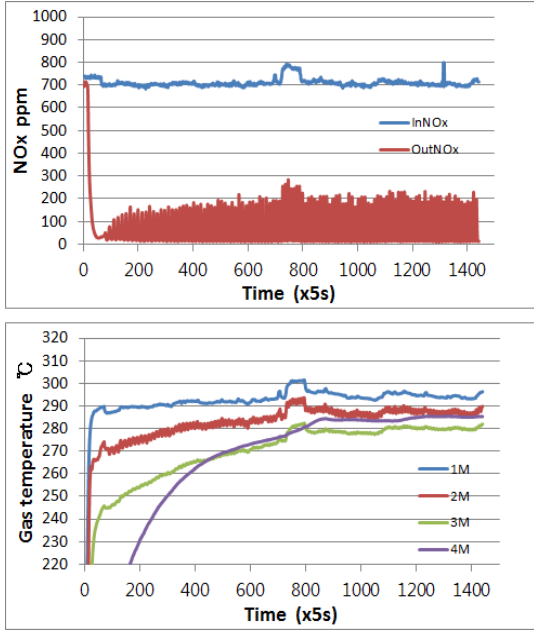


Fig. 8 Results of NOx and gas temperature in SCR system

Fig. 7에서 1~4는 가스의 온도와 압력을 측정하는 장소를 나타낸다. 1은 배기가스의 SCR 시스템 도입부, 2는 요소수가 분사되고 곡관부에 들어가기 전 부분, 3은 곡관부 후면에서 촉매 입구부, 4는 촉매 후단부이다.

Fig. 8은 가야호 내에서 일상적인 발전기 운전 중 2시간 동안의 SCR 시스템 입출구의 NOx량과 각 지점에서의 온도를 나타낸다. SCR 시스템 입구의 NOx량에 관계없이 출구측 값은 평균 목표 값인 100ppm을 유지하였지만 편차가 커서 제어 알고리즘을 개선시킬 필요가 있었다. 1과 3 지점 사이의 배기가스온도는 약 15°C의 차이가 났고 이는 요소수의 증발에 필요한 증발잠열 때문으로 판단된다. 3지점보다 4지점의 온도가 5°C 상승한 것은 NOx 환원 반응이 발열반응이기 때문이다.

4. 결 론

SCR 시스템을 기존 실습선에 장착하기 위하여 유동해석을 실시하였고 그 결과에 따라 설계하여 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) SCR 시스템에서 배기가스의 압력분포 및 유속분포는 By-Pass Damper를 지난 후 배관의 형상에 따라 많은 영향을 받는 것을 알 수 있었다.
- 2) 유동해석 결과에 따라 설계된 SCR 시스템을 NOx 규제가 발효되기 전에 건조된 실습선에 장착하는 것이 가능하였다.
- 3) 장착된 SCR 시스템은 정상적으로 작동하였고, NOx의 저감 성능도 Tier III를 만족할 수 있을 정도이지만 헤팅이 심하여 제어시스템의 개선이 필요할 것으로 사료된다.
- 4) SCR 시스템 내부의 온도를 측정한 결과, 요소수의 증발과정 중에 배기가스 온도가 15°C 정도 감소되었고 NOx 환원 반응으로 인해 5°C 증가하였다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2014년)에 의하여 연구되었음.

References

1. J. G. Nam, S. C. Hwang, S. J. Na and D. C. Lee, 2013, "A Study on the results of IMO 65th session and Future discussion points", Proceedings of the 37th KOSME Spring Conference, pp. 293.
2. J. H. Kim, 2015, "66th Session of Marine Environment Protection Committee", Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 51, No. 2, pp. 36-41.
3. C. U. Ingemar Odenbrand, Sten T. Lundin and Lars A. H. Andersson, 1985, "CATALYTIC REDUCTION OF NITROGEN OXIDES 1. THE REDUCTION OF NO", Applied Catalysis, Vol.

- 18, No. 2, pp. 335-352.
4. M. Okubo, M. Inoue, T. Kuroki, and T. Yamamoto, "NOx Reduction Aftertreatment System Using Nitrogen Nonthermal Plasma Desorption", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, Vol. 41, No. 4, pp. 891-899.
 5. T. Koga, T. Kubo, S. Fukuya and R. Aosaka, 2013, "Countermeasures to Comply with TierIII NOx Emission Regulations for Marine Diesel Engines", The japan institute of marine engineering, Vol. 48, No. 1, pp. 15-20.
 6. S. C. Hwang 2011, "Marine SCR System Development", Proceedings of the 35th KOSME Fall Conference, pp. 26.
 7. S. C. Hwang 2010, "Marine SCR System and Plant SCR System comparison", Proceedings of the 34th KOSME Fall Conference, pp. 109-110.