

# 선박용 디젤엔진 SCR 시스템의 효율향상을 위한 점성유동해석

송하철\* · 심천식\* · † 박윤용

\* 목포대학교 조선해양공학과, † 목포대학교 조선해양시스템공학과

**요 약** : 선택적 환원 촉매(SCR : Selective Catalytic Reduction) 시스템은 대기오염을 예방하기 위한 배기가스 처리장치 중 하나이다. 본 연구에서는 전산유체역학(CFD : Computational Fluid Dynamics)를 사용하여 SCR 시스템의 효율향상을 위하여 ANSYS-CFX package를 이용하여 점성 유동 해석을 수행하였다. SCR 시스템의 점성 유동 흐름의 전산 유체 역학을 이용하여 시뮬레이션하기 위하여 Navier-Stokes 방정식을 지배방정식으로 사용하였다. CATIA V5를 사용하여 SCR 시스템의 형상을 3D 모델링을 하였고, 암모니아와 배기가스의 혼합 비율을 확인하기 위해 요소수 분사 노즐의 위치를 변경하였다. 요소수 분사 노즐은 배기관 입구로부터 1/3, 1/2, 2/3에 위치한다. 또한, 분사 노즐의 위치가 배기관 입구의 1/3에 위치할 때 노즐의 분사구수에 따른 효율을 확인하기 위하여 분사구수를 4Hole, 6Hole, 8Hole일 경우를 확인하여 비교하였다. 시뮬레이션의 결과로는 배기관 입구에 가까울수록, 분사구수가 많을수록 효율이 좋아짐을 확인하였다.

**핵심용어** : 선택적 환원 촉매, 점성 유동 해석, 전산 유체 역학

## 1. 서 론

국제해사기구에서는 해양오염 방지협약을 통해 선박의 배기가스에 포함된 질소산화물과 황산화물의 배출을 규제하고 있으며, IMO의 해양오염 방지협약 부속서 VI에 의하면 배출통제지역에 대한 선박 배기가스의 NO<sub>x</sub>와 SO<sub>x</sub>의 배출량 제한을 2016년부터 강화하였다. NO<sub>x</sub> 배출 저감을 위한 엔진 최적화만으로는 선박 배기가스 질소산화물 배출량 제한을 만족시킬 수 없기 때문에, 반드시 배기가스를 후처리하여 질소를 저감하는 기술이 요구된다. NO<sub>x</sub>를 저감시스템 중 효율이 높고 상업적으로 많이 활용되고 있는 시스템으로는 SCR 시스템이 있다. SCR 시스템은 배기가스에 포함된 NO<sub>x</sub>를 환원제와 반응시켜 질소와 물로 환원, 분리하는 기술로, 요소수는 높은 안전성으로 인해 각광받고 있다. 요소수의 활성화 온도는 270℃ 정도의 높은 온도로 보통 엔진의 뒤에 위치하며, 배기가스와 요소수의 혼합율이 환원 촉매에 큰 영향을 줄 것으로 보인다.

따라서 본 논문에서는 요소수를 이용한 SCR 시스템에서 요소수 분사 노즐의 위치 및 노즐의 분사구 수에 따른 배기가스와 요소수의 혼합율과 정화효율을 확인 하여 SCR 시스템의 효율을 향상시키는 방안을 모색 하고자 한다.

## 2. 해석방법

### 2.1 해석모델

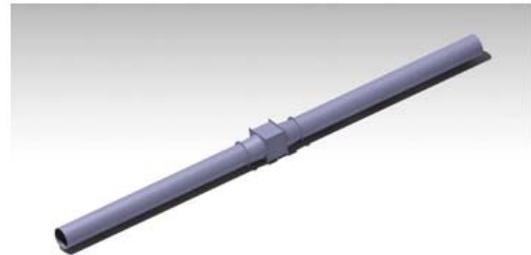


Fig. 1 Computational modeling of SCR

Fig. 1은 SCR 시스템에 대한 3차원 CAD 모델로 입, 출구 배기관을 제외한 SCR 반응기의 길이는 0.95m, 체적은 약 1.05m<sup>3</sup>인 모델로 반응기의 입, 출구 배기관은 유동 안정성을 충분히 확보하기 위하여 배기관의 직경의 10배로 모델링 하였다. 변수로는 요소수 분사 노즐의 위치를 입구 배기관의 1/3, 1/2, 2/3 지점으로 설정하였으며, 노즐의 직경은 4mm로 설계 하였다. 또한, 노즐의 분사구 수에 따른 농도균일도의 효율을 비교하기 위하여 입구배기관의 1/3위치에서 노즐의 분사구 수를 4Hole, 6Hole, 8Hole로 설정하여 상용 CFD코드인 ANSYS-CFX package를 사용하여 약 100만개의 격자를 사용하여 CFD 해석을 수행 하였다.

### 2.2 지배방정식 및 경계조건

본 연구에서는 SCR 시스템의 유동을 3차원 정상상태의 난류

\* hcsong@mokpo.ac.kr, cssim@mokpo.ac.kr

† myth0113@mokpo.ac.kr

유동으로 가정하고, 촉매부는 층류로 가정하였다. 또한, 촉매 변환기에서의 속도분포 및 압력계산을 위하여 연속 방정식과 운동량 방정식이 사용되었으며, 난류모델로 K-ε 모델을 사용하였다.

경계조건으로 입구조건은 배기가스 유입단면에 균일 유동조건을 사용 하였으며, 배기가스의 유동해석을 위한 혼합가스의 온도는 200℃이고, 15m/s의 속도로 유입된다. 출구조건으로는 정압 조건을 부여하였고, 벽면의 경계조건은 점착조건을 적용하였다. 노즐에서 분사되는 요소수의 온도는 20℃이고, 7.96m/s의 속도로 분사된다.

### 2.3 유동균일도

노즐의 위치 및 분사구 수에 따른 배기가스와 요소수의 혼합 효과를 알아보기 위하여 Weltens et al.(1993)이 제안한 균일도 (Uniformity,  $U_c$ )가 사용되며 식(1)과 같이 정의한다.

$$U_c = 1 - \frac{1}{2n} \sum_{i=0}^n \left( \frac{\sqrt{(C_i - C)^2}}{C} \right) \quad (1)$$

여기서, n은 총 셀의 개수, C는 단면적에서의 평균농도,  $C_i$ 는 촉매격자 i에서의 국부농도를 의미하며, 균일도 지수가 1에 가까울수록 환원제의 농도 분포가 균일함을 의미한다.

### 3. 해석결과

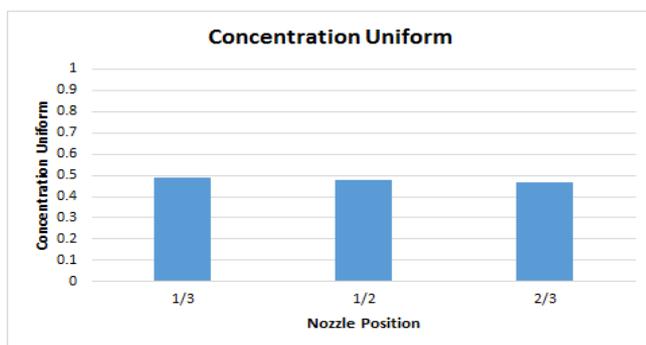


Fig. 2 Concentration uniform according to the position of nozzle

Fig. 2를 보면 농도균일도는 노즐의 위치에 따라 그 값이 달라지며, 노즐의 위치가 입구배기관의 1/3지점에 위치하였을 때가 다른 경우보다 효율적인 것으로 나타났다. 또한, 노즐의 위치가 1/2지점일 경우가 1/3지점에 있을 때보다 효율적인 것으로 나타난 것으로 보아 노즐의 위치가 입구 배기관에 가까울수록 효율이 좋아짐을 확인 하였다.

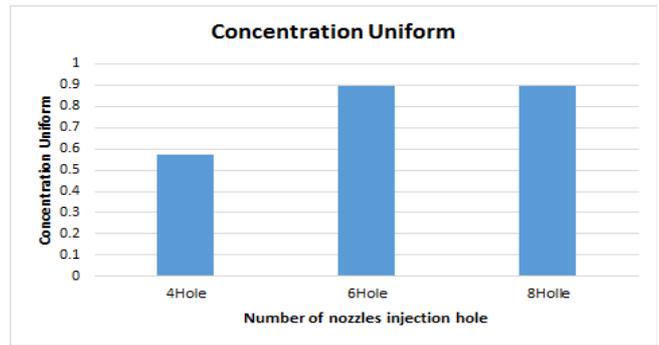


Fig. 3 Concentration uniform according to the number of nozzle injection hole

단일분사노즐의 농도균일도는 0.5이하로 비효율적으로 나타났으나 다중분사구(4Hole, 6Hole, 8Hole)로 확장하여 해석을 수행한 결과 Fig. 3과 같이 4Hole의 경우 약 0.58, 6Hole과 8Hole 경우 약 0.9로 농도균일도가 증가한 것을 확인하였으며, 요소수 소모 비용등을 감안할 경우 6Hole의 경우가 8Hole의 경우보다 효율이 높은 것으로 보인다.

### 4. 결 론

본 연구를 통하여 선박용 디젤엔진 SCR 시스템의 수치해석을 통하여 분석하였다.

- 1) 노즐의 위치를 고려한 경우 입구배기관의 1/3지점에서 가장 효율이 좋음을 확인 할 수 있었다.
- 2) 단일분사노즐의 경우 농도균일도가 0.5정도로 낮게 나타났지만, 다중 분사 노즐로 확장하여 확인해본 결과 분사 노즐의 수가 6Hole인 경우에 SCR시스템이 가장 효율적임을 확인하였다.

향후 연구계획으로는 실제 선박에 사용되는 배기관 형상 및 가이드 링을 적용하여 와류현상을 고려한 유동해석 시뮬레이션을 수행 할 예정이다.

### 후 기

이 논문(저서)은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업(NRF-2014H1C1A1073060) 및 2016년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해양케이블 시험연구센터(Offshore cable R&D center)의 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

[1] H. Weltens, H. Bressler, F. Terres, H. Neumarier & D. Rammoser (1993). Optimization of Catalytic Converter Gas Flow Distribution by CFD Distribution. SAE 930780