

Bypass 일체형 선박용 탈질설비의 입구형태에 대한 연구

하수현* · 이재철** · 이상범*** · 강동훈****†

* 경상국립대학교 해양시스템공학과 석사과정, ** 경상국립대학교 조선해양공학과 부교수,

*** 대우조선해양(주) 책임연구원, **** 경상국립대학교 조선해양공학과 교수

Study on the Inlet Shape of a Selective Catalyst Reduction System with an Integrated Bypass Unit for Ships

Soo-Hyeon Ha* · Jae-Chul Lee** · Sang-Beom Lee*** · Donghoon Kang****†

* Graduate Student, Division of Maritime Transportation Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

** Associate Professor, Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

*** Principal Researcher, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co. Ltd., Geoje 53302, Korea

**** Professor, Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

요약 : Bypass line과 Catalyst를 공간적으로 결합한 Bypass 일체형 탈질설비를 제안하였다. 탈질설비 내부에 설치되는 Bypass의 개폐장치의 형태에 따른 Catalyst로의 유동 변화를 확인하기 위하여 상용프로그램인 Ansys Fluent를 사용하여 탈질설비를 모델링하고 시뮬레이션을 구성하였다. 탈질설비 내의 Catalyst로 인한 계산시간과 Mesh의 수를 줄이기 위해 Porous media 방식으로 Catalyst를 모델링하였다. Catalyst로의 입구각도와 Bypass 개폐장치의 크기를 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하고 시뮬레이션의 결과로 Catalyst로의 유동 평균속도와 균일도의 변화를 확인하였다.

핵심용어 : 탈질설비, 우회경로, 촉매, 다공질재료, 유동균일도

Abstract : A selective catalyst reduction system (SCR) with an integrated bypass unit is proposed. Through simulations of the SCR, variations in flow to the catalyst due to the particular shape of the bypass shutting device in the SCR are also studied. The commercial software Ansys Fluent is used to develop the simulations. For the simulations, the catalyst of the SCR is modeled using the porous media method to reduce the calculation time and number of meshes, which is necessary because of the detailed modeling of the catalyst. Simulations are performed based on changes to the entrance angle to the catalyst and the size of the bypass shutting device. Finally, simulation results are used to compare and analyze the average velocity and uniformity of the flow to the catalyst.

Key Words : Selective catalytic reduction, Bypass line, Catalyst, Porous media, Flow uniformity

1. 서론

최근 세계적으로 환경규제가 강화되면서 연안지역의 대기오염 물질의 발생을 줄이기 위한 많은 노력이 행하여지고 있다. 선박에 의한 해양오염방지를 위해 IMO(International Maritime Organization)와 연안지역의 국가들은 ECA(Emission Control Area)를 설정하여 규제를 시작하였고, 북미와 유럽지

역으로부터 ECA는 점차 확대되고 있는 추세이다(Park et al., 2016b; Hong et al., 2021). IMO는 2000년부터 NOx 배출한도를 규제하기 위한 Tier 1를 시행하였고, 2011년에는 Tier 2, 2016년 이후에는 Tier 3까지 점점 규제를 강화해왔다. 국내에서도 2021년 5월부터 기관교체의 경우 Tier 2를 기준으로 적용하는 등 질소산화물 배출규제가 점점 강화되고 있다. NOx의 배출한도는 엔진의 분당회전수(rpm)에 따라 결정되고, 그 값은 Table 1과 같다(IMO, 2008). 점점 늘어나는 ECA와 강화되고 있는 NOx 배출규제를 만족시키기 위해 많은 연구가 진행되어 왔고, 디젤엔진의 연소기술을 개선하는 방식 등으

* First Author : huiui@naver.com, 055-772-9190

† Corresponding Author : kangdonghoon@gnu.ac.kr, 055-772-9192

Bypass 일체형 선박용 탈질설비의 입구형태에 대한 연구

로 Tier 2 배출규제까지는 만족시킬 수 있었지만, Tier 1의 NOx 배출량 대비 80% 이상의 저감을 요구하는 강화된 Tier 3를 만족시키기 위해서는 배기가스 재순환 장치(Exhaust Gas Recirculation, EGR), 배기가스 후처리 기술인 선택적 촉매환원(Selective Catalytic Reduction, SCR), LNG를 연료로 사용하는 Otto cycle 엔진의 적용 등의 기술이 필요하다(Won and Hong, 2019; Lindstad and Riialand, 2020).

Table 1. MARPOL Annex VI NOx emission limits (IMO, 2008)

Tier	Data	Nox Limit, g/kWh		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	45·n ^{-0.2}	9.8
Tier II	2011	14.4	44·n ^{-0.23}	7.7
Tier III	2016	3.4	9·n ^{-0.2}	2.0

앞서 언급한 기술 중에서 SCR 시스템은 NOx의 배출을 80-90%까지 줄일 수 있고 엔진 배기부에 장착되기 때문에 기존 선박의 개조 등에도 사용이 가능하다(Ahn, 2019). SCR 시스템의 작동원리에는 배기가스가 배출될 때 환원제를 분사하고 혼합시켜 NOx와 환원제를 Catalyst 내에서 화학반응시켜 NOx를 질소와 물로 전환시키는 기술이 사용된다. 하지만, Catalyst는 시간이 지남에 따라 비활성화되고 SCR의 탈질 효율을 유지하기 위해서는 Catalyst를 계속 교체해야 하는 고정지출이 생기게 된다.

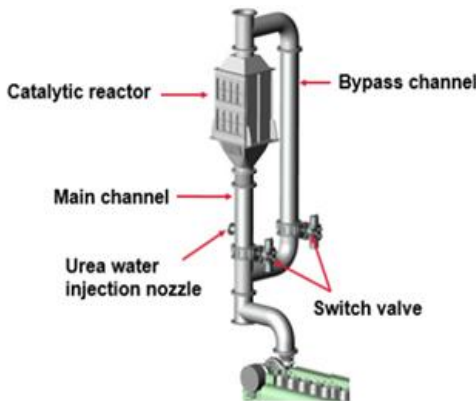


Fig. 1. Conventional design of SCR system (YANMAR, 2018).

선박에서 사용되고 있는 기존의 SCR system의 개략도를 Fig. 1에서 나타내었다. ECA를 운항할 때는 NOx의 배출을 저감하기 위해 배기가스가 Catalytic reactor를 거치게 Switch

valve를 조정한다. ECA 외의 지역에서는 Switch valve의 조정을 통해 Bypass line으로 배기가스를 배출시킴으로써 Catalyst의 사용빈도를 줄여 환원제의 사용과 Catalyst의 유지비용을 줄일 수 있다(YANMAR, 2018). 다만, 이 System은 SCR system 외부에 Switch valve unit을 포함한 Bypass channel의 설치가 필요하다.

Fig. 2는 기존에 선박에 사용되고 있는 SCR system의 유동 해석의 계산결과로써 배기가스가 SCR의 Catalyst에 들어가기 직전의 속도분포를 나타내고 있다(Park et al., 2013). SCR의 Inlet에서의 유입속도에 따라 속도분포가 달라지지만, 유동이 골고루 퍼지지 못하고 Catalyst의 중앙에 집중되는 속도분포도 확인할 수 있다. 이러한 현상은 부분적인 Catalyst의 비활성화로 인한 Catalyst의 사용주기를 줄이고 SCR의 성능을 감소시킬 수 있다.

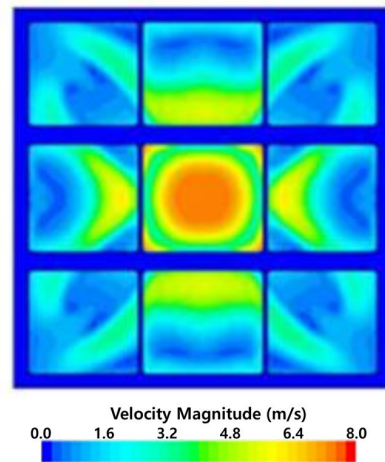


Fig. 2. Velocity contour in front of catalyst at conventional SCR.

본 연구에서는 Bypass line과 Catalyst를 공간적으로 결합한 Bypass 일체형 SCR을 제안하였다. Bypass 일체형 SCR은 선박 내의 제한적인 공간에서 SCR system과 Bypass line을 따로 설치하지 않고 Unit형태로 제작하여 선박 내에 설치할 수 있는 이점이 있다. 그리고 SCR system의 중심에 위치한 Bypass 개폐장치가 있어서 이 개폐장치의 형태에 따라 Catalyst로의 유동의 변화도 기대된다. 따라서 본 연구에서 Catalyst로의 입구각도와 Bypass 개폐장치의 크기에 따른 Catalyst로의 유동분포를 확인하기 위해 4가지의 입구각도, 2가지 크기의 개폐장치와 Bypass 연결부 그리고 4가지 형태의 개폐장치로 각각 SCR을 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 결과로 Catalyst로의 유동의 평균속도와 유동분포의 균일도를 확인하였다.

2. Bypass 일체형 선박용 탈질설비

Bypass line을 SCR 내부로 설치한 선박용 Bypass 일체형 탈질설비는 Bypass의 개폐장치가 유동에 변화를 주어 기존 SCR에서 발생할 수 있는 Catalyst 일부분에 배기가스가 집중되는 문제를 개선하여 Catalyst로의 유동 분포의 균일성을 향상시키고, 선박 내의 설치공간의 효율성을 확보할 수 있도록 개발되었다. Bypass 일체형 탈질설비는 Fig. 3과 같이 SCR의 외부에 있었던 Bypass line을 SCR의 내부에 포함하여, 기존의 SCR과 마찬가지로 ECA해역에서 SCR의 운용하고 ECA 해역 외에서는 Bypass line으로의 배기가스 배출 기능을 수행할 수 있게 구성되었다. 피라미드 형태의 개폐장치는 Bypass line 입구에 두어 배기가스의 유동을 다음과 같이 제어할 수 있다. 개폐장치가 열리게 되면 Fig. 3 (a)와 같이 배기가스는 Catalyst를 거치지 않고 SCR 내부의 Bypass line를 통해 그대로 배출되고, 개폐장치가 닫히면 Fig. 3 (b)와 같이 SCR의 Catalyst 부분으로 배기가스가 유입된다. 즉, 선박이 ECA를 운항 중일 때는 Fig. 3 (b)와 같이 Bypass line을 닫아 배기가스가 Catalyst로 유입되어 NOx를 제거하는 과정을 수행하고 ECA 이외의 해역에서는 Fig. 3 (a)와 같이 배기가스는 Bypass line으로 배출된다. 개폐장치의 기계적인 구동은 Bypass duct와 피라미드 형태의 개폐장치를 슬라이딩 방식으로 교체할 수도 있고 피라미드 형태의 개폐장치를 원뿔 형태로 수정하여 가변노즐 타입으로 구성할 수도 있을 것이다.

본 연구에서는 Bypass 일체형 탈질설비의 설계주요목을 결정하기 위해 Rolls Royce사의 SCR(Lee et al., 2012)을 참고하였다. Table 2에서 기존의 SCR과 본 연구에서 사용된 Bypass line을 포함한 SCR의 주요목을 비교하였다. 기준이 되는 모델은 길이 12.6 m, 폭 1.272 m이다. Bypass line을 포함한 모델은 기존의 모델과 주요목이 유사하나 기존에 비해 Bypass line이 SCR의 Catalyst 내부로 결합하기 위해 폭, 길이가 증가하였다. Catalyst의 편리한 유지보수를 위해 상용 Catalyst를 활용하기 적합하게 Bypass line을 사각형 덕트형태로 구성하였다. Bypass의 면적은 원으로 이루어진 입구 면적을 정사각형으로 바꿨지만, 면적의 크기는 동일하게 설정하였다. 그리고, 배기가스가 접하는 Catalyst의 면적도 기존 모델과 유사하게 설정하였다. Fig. 4는 본 연구에서 사용된 Bypass 와 SCR이 결합된 모델이다. Catalyst는 SCR내부에 4단으로 구성하였고 Catalyst의 중심에 Bypass line을 배치하였다. Fig. 4에서는 Bypass line 끝부분의 개폐장치가 닫혀 있는 모습을 보여주고 있다.

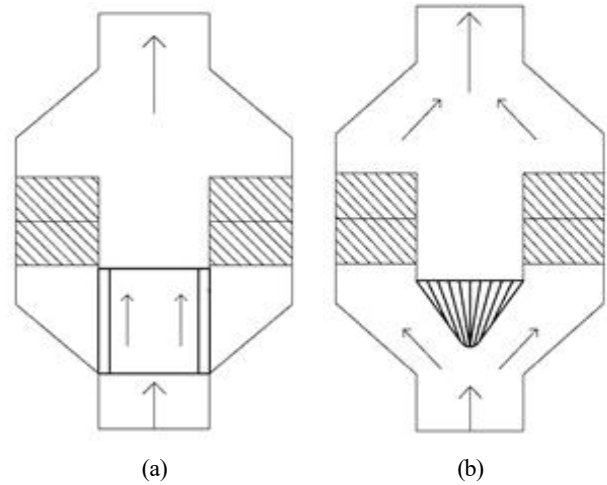


Fig. 3. Concept of developed SCR.

Table 2. Principle dimensions of the reference SCR and SCR with bypass

	Reference SCR	SCR with bypass
Length(mm)	12,600	12,600 ~ 14,000
Width(mm)	1,272	1,456
Inlet Dia.(mm)	800	800
Bypass area(mm ²)	-	502,681
Catalyst area(mm ²)	1,617,984	1,617,255

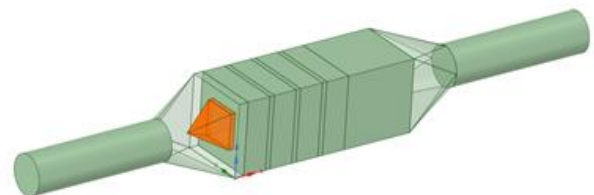


Fig. 4. Sketch of SCR with bypass.

2.1 SCR 입구부의 설정

Bypass line을 포함한 SCR에서 Catalyst 유동분포의 검토와 개선을 위해 4가지 입구각도와 2가지 타입의 개폐장치를 고려하였다. Fig. 5는 4가지의 입구각도와 Type A의 개폐장치를 보여준다. (a)는 입구각도 50°에 따른 4개의 개폐장치의 모습이다. 가는 점선으로 표시한 개폐장치는 길이가 가장 긴 개폐장치로 개폐장치의 끝이 Inlet까지 닿게 설정하였고

Bypass 일체형 선박용 탈질설비의 입구형태에 대한 연구

실선은 가장 작은 개폐장치의 모습이다. Catalyst로부터 Bypass line의 돌출길이는 동일하게 고정하고, 개폐장치의 크기는 Bypass line의 돌출부 끝에서 Inlet사이의 거리의 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 사이즈로 설정하였다. 입구각도에 따라서 Inlet에서 Catalyst 사이의 거리가 증가하는데 (b), (c), (d)에서는 이 거리에 따라 개폐장치의 크기를 조절하였다. 이때 개폐장치의 크기에 따른 Case를 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 사이즈에 따라 각각 1A, 2A, 3A, 4A로 표기하였다.

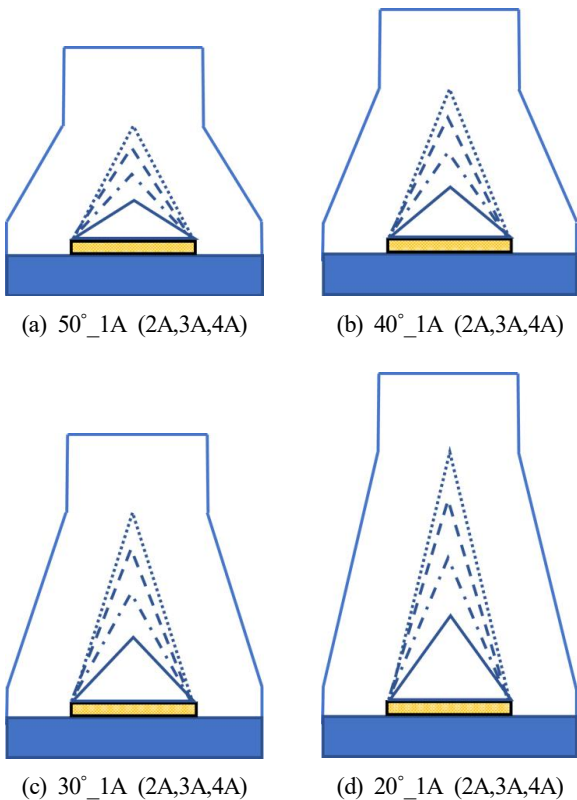


Fig. 5. Variation of opening and shutting device (Type A).

Fig. 6는 4가지의 입구각도에서 개폐장치의 크기는 Fig. 5 (a)와 동일하게 하고 Bypass line의 돌출길이를 변화시킨 Case들을 나타내었다. Bypass line의 돌출길이를 변경하면서 가장 큰 개폐장치의 경우에서 개폐장치의 끝이 Inlet에 닿게끔 설계를 하였다. Type A와 같은 방식으로 Inlet과 Bypass line의 돌출부 사이의 거리가 1/4, 2/4, 3/4, 4/4로 나누고 개폐장치 사이즈를 설정하여 각각 1B, 2B, 3B, 4B로 표기하였다. 비교를 위해 중복해서 보여주고 있지만, Fig. 5의 (a)와 Fig. 6의 (a)는 같은 모델이다.

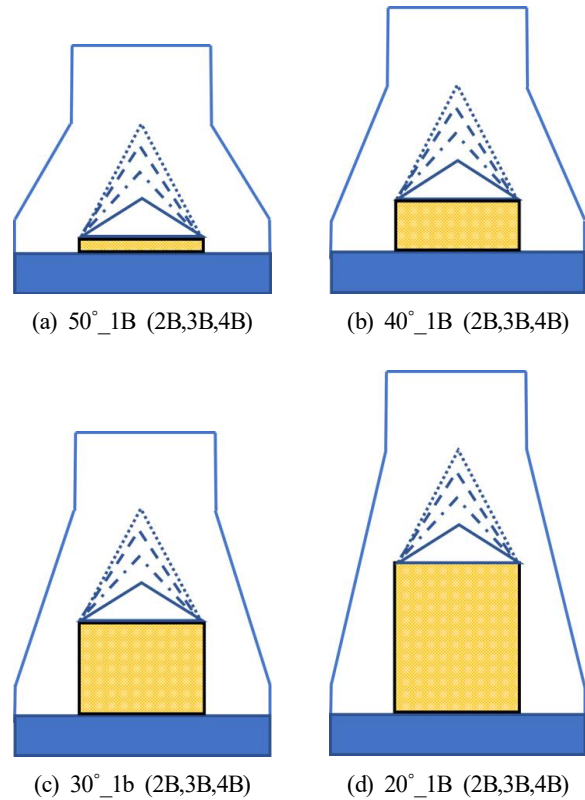


Fig. 6. Variation of opening and shutting device (Type B).

2.2 Porous 설정

Honeycomb type의 Catalyst가 안정적으로 효율이 높을 뿐만 아니라 제작 비용이 낮아 대부분 선박용 SCR에서 널리 사용되고 있다(Jeong et al., 2018). Fig. 7은 본 연구에 적용된 Honeycomb type catalyst의 모습과 제원을 나타내고 있다. Fig. 7의 (a)는 Catalyst의 형태로 (b)와 같이 4.36 mm인 정사각형 형태의 구멍들과 두께 0.6 mm의 벽으로 구성되어 있다.

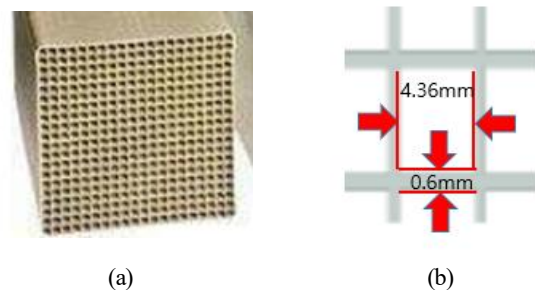


Fig. 7. Actual size of catalyst.

시뮬레이션에 사용된 SCR모델에서는 길이 500 mm의 Catalyst가 총 4단으로 구성되어있고, Catalyst의 단면적은 1,617,255 mm²이다. SCR내의 모든 Catalyst 형상을 Modeling 하여 계산을 수행한다면 Mesh 수가 기하급수적으로 늘어나게 되고, 이에 따라 계산시간도 늘어나게 될 것이다. 이를 보완할 방법으로 Porous의 수학적 모델을 사용하였다. 식(1)~(2)는 Porous media를 통과하는 속도와 압력강하의 관계식을 나타낸다. 식(1)의 좌변은 식(2)과 같이 Porous 전후의 압력강하에 Porous 두께를 곱한 값이고, 식(1)의 우변의 첫번째 항은 점성손실항이고, 두번째항은 관성손실항이다(Park et al., 2016b; Sim et al., 2017).

$$S_i = - \left(\frac{\mu}{\alpha} v_i + C_2 \frac{1}{2} \rho |v| v_i \right) \quad (1)$$

$$\Delta p = -S_i \Delta n \quad (2)$$

여기서 S_i 가 나타내는 것은 i 번째(x, y 또는 z) 모멘텀 방정식의 소스 항이고, v 는 속도의 크기, Δn 는 촉매의 길이, α 는 투과성계수, C_2 는 관성저항 계수를 나타낸다.

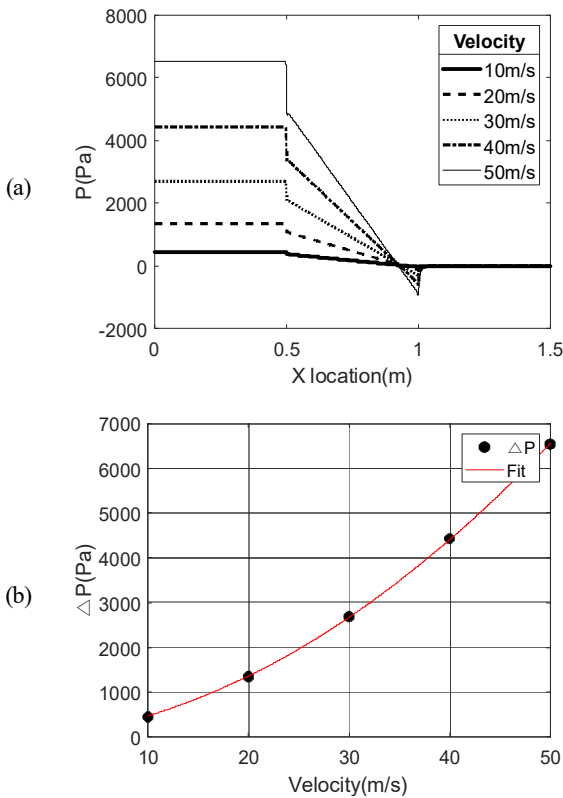


Fig. 8. Pressure drop vs. inflow velocity.

식(1)의 α (투과성계수)와 C_2 (관성 저항 계수)를 구하기 위해, 1500 mm × 4.96 mm × 4.96 mm의 유동공간을 모델링하고 중앙부에 500 mm의 1 × 1 Catalyst 모델을 구성하여 Catalyst를 거치면서 발생하는 압력강하(Pressure drop)를 구하였다. 입구속도는 10 m/s에서 50 m/s까지 10 m/s 간격으로 5개의 속도를 설정하였다. Fig. 8의 (a)는 유동이 Catalyst를 지나갈 때 압력변화를 나타내고 있다. Catalyst가 있는 0.5 m에서 1.0 m 사이에서 발생하는 각 입구속도에서의 압력강하를 뚜렷하게 확인할 수 있다. Fig. 8의 (b)에 각 입구속도에 따른 압력강하를 나타내었다. x 축은 입구속도, y 축은 압력강하이다. Fig. 8의 (b)의 입구속도와 압력강하의 관계를 2차식으로 커브 피팅을 하여 나온 결과로부터 μ/α 와 $1/2\rho C_2$ 를 구하였다. 이 값들을 사용하여 Ansys Fluent에서 Porous media 방식으로 Catalyst의 공간을 설정하였다.

2.3 시뮬레이션 해석설정

본 연구에서는 Ansys Fluent를 이용하여 시뮬레이션을 구성하였고, Rolls Royce사의 SCR을 참고하여 계산조건을 Table 3과 같이 설정하였다(Lee et al., 2012). 난류 모델은 난류 유동에너지 k 와 난류 운동 에너지의 소산율 ϵ 에 대한 수송방정식을 기초로 한 반경험적 모델인 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다(Park et al., 2010). 벽면에서의 경계조건은 점착 조건, 온도에 따른 공기의 밀도변화를 고려하였다. Inlet 조건은 참고한 Rolls Royce사의 SCR과 동일하다고 가정하고 Lee et al.(2012)의 계산조건을 참고하여 Inlet 속도를 25 m/s, 난류 운동에너지를 입구 유속의 5%로 설정하였다. 실제 SCR의 작동유체는 배기가스이지만, 본 연구에서는 Catalyst로의 속도분포를 확인하는 것을 목표로 설정하였기에 공기를 작동유체로 설정하고 계산을 수행하였다. Fig. 9는 계산을 진행하기 위한 Mesh 모형의 예로 (a)는 표면 Mesh, (b)는 Volume mesh를 나타낸다.

Table 3. Calculation condition

Factor	Value
Inlet velocity	25 m/s
Temperature	350 °C
Velocity boundary condition	No slip condition
Turbulence	k-ε
Turbulent kinetic energy	5 % of inlet flow rate
Dissipation	Turbulence mixing distance 10 %

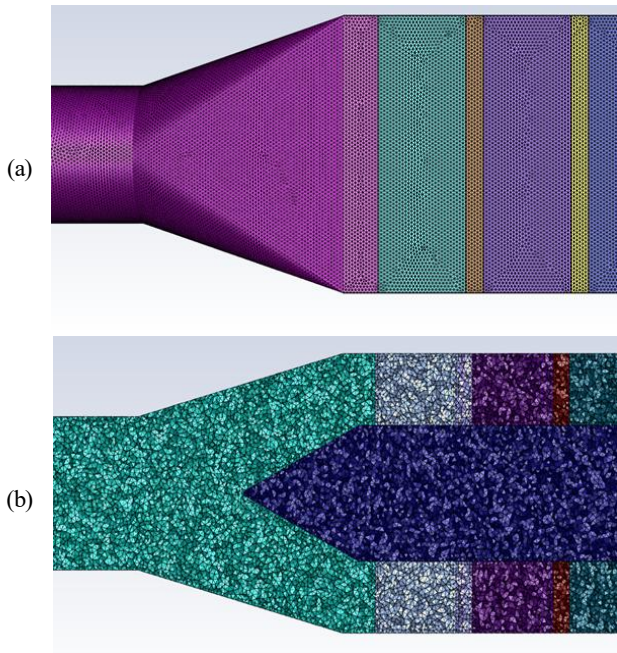


Fig. 9. Example of mesh model.

3. 해석결과

유동이 Catalyst로 들어가기 전 Catalyst로부터 100 mm 전 평면에서 평균속도와 속도의 균일도를 구하여 각 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. 유동의 균일도는 속도의 표준편차에 평균속도를 나누어 계산하였다. 균일도는 작을수록 상대적으로 속도분포가 더 일정함을 나타내는 기준으로 작은 값에서 Catalyst의 활용성이 높아진다고 가정할 수 있다.

Fig. 10과 Fig. 11은 Type A 모델의 평균속도와 균일도를 각각 보여주고 있다. 입구각도 50° 모델을 예를 든다면, Type 1A는 개폐장치의 끝부분이 Inlet에서 가장 멀리 떨어진 Case를 나타낸 것이고, 반대로 Type 4A는 개폐장치의 끝부분이 Inlet에서 가장 가까운 Case를 나타낸다.

Type A의 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 입구각도별로 경향성을 비교하여 보면 상대적으로 낮은 균일도를 보인 것은 입구각도가 20°인 경우이다. 다른 각도와 비교하였을 때 상대적으로 입구와 Catalyst 사이의 거리가 가장 많이 떨어져 있는 Case이기도 하다. Fig. 11에서 확인할 수 있듯이 20° Type 2A의 결과에서 가장 낮은 균일도를 확인하였다. Type 3A와 Type 4A의 경우에는 입구각도 40°에서 높은 균일도를 보이기도 하지만, 전반적인 경향은 입구각도가 50°일 때 균일도가 크게 나왔고 입구각도가 점점 각도가 작아질수록 균일도는 작아졌다. Type에 따른, 즉 개폐장치의 높이 차에

따른 균일도의 명확한 경향성은 확인하기 힘들었지만, 평균속도(Fig. 10)에 있어서는 개폐장치의 끝이 입구에 가까울수록(Type 1A → Type 4A) 평균속도는 줄어드는 경향을 확인할 수 있었고 평균속도에 있어서는 입구각도가 커짐에 따라 뚜렷하게 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

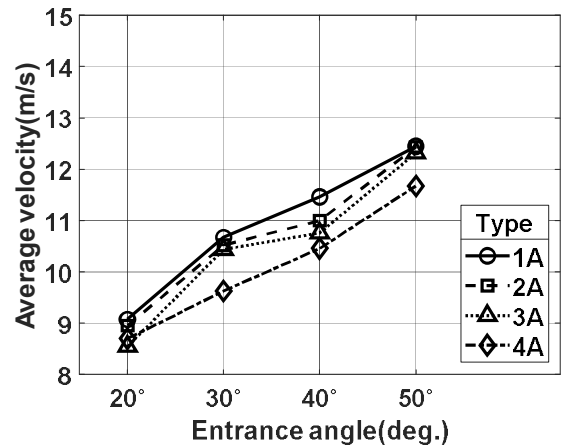


Fig. 10. Average Velocity for Type A.

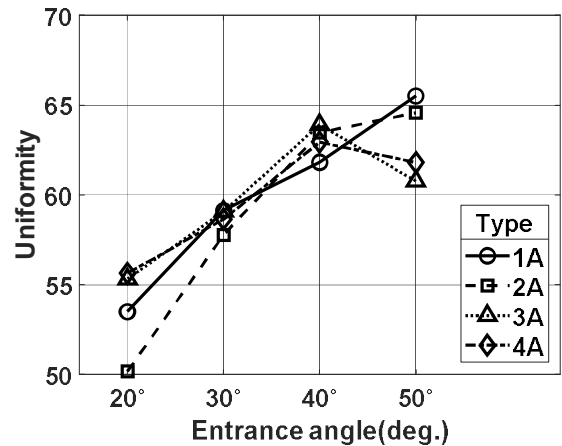


Fig. 11. Uniformity for Type A.

Fig. 12과 Fig. 13은 Type B 모델의 평균속도와 균일도를 각각 보여주고 있다. Type B는 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 Type A와는 다르게 개폐장치의 크기는 고정된 구조이며, Bypass line과 개폐장치의 연결부가 점차 높아지면서 Case 1B, 2B, 3B, 4B로 구성되었다.

Type B의 평균속도 결과(Fig. 12)에서 입구각도 20°의 Type 1B, 2B, 3B를 제외하고 입구각도가 클수록 평균속도가 높아짐을 확인하였다. Type B의 균일도 결과(Fig. 13)에서는 몇몇

Case에서 예외를 보이고 있으나 전반적인 경향은 입구각도가 낮을수록 상대적으로 낮은 균일도를 보임을 확인하였다. 하지만, Type A와 달리 Type B의 경우에는 평균속도와 균일도 모두에 있어서 Type에 따른 뚜렷한 경향성을 보이고 있지는 않았다.

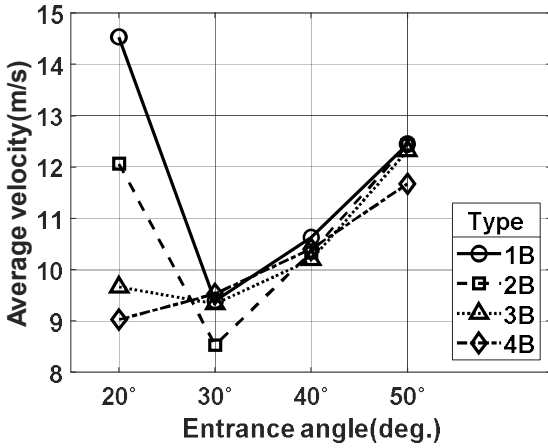


Fig. 12. Average Velocity for Type B.

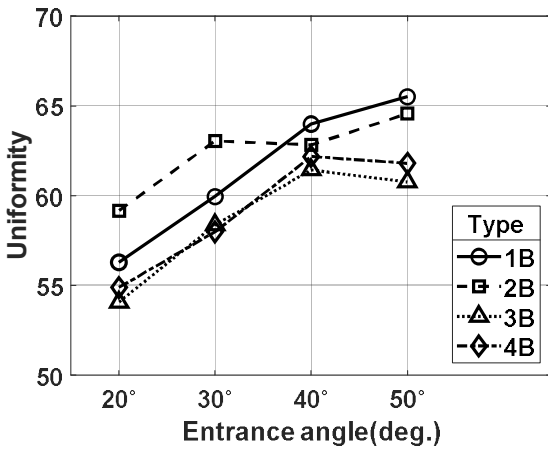
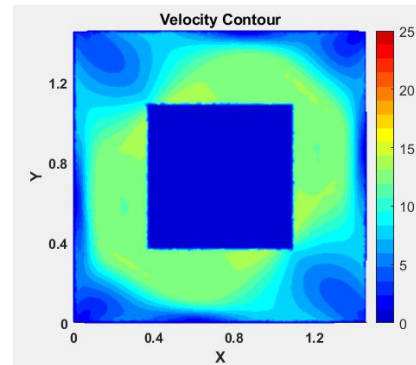
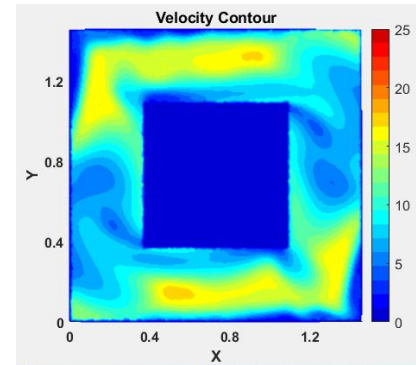


Fig. 13. Uniformity for Type B.

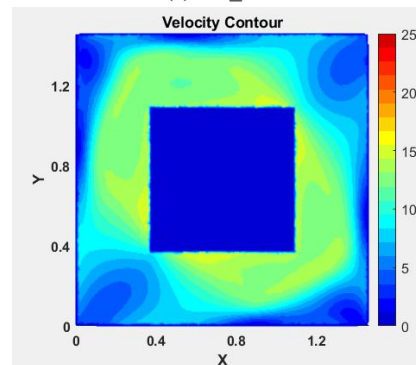
Fig. 11와 Fig. 13에서 균일도가 가장 낮은 4개의 Case를 정리하여 Fig. 14에 나타내었다. Fig. 14에 보여지는 그림은 Catalyst 입구100 mm 전의 평면에서의 속도 Contour이다. 모델링에서는 네 개의 모퉁이는 대칭적으로 설계되었지만, Mesh가 정확히 대칭적으로 분포되어 있지 않아 모퉁이 부분의 속도에서 비대칭성을 보이고 있다. Type A의 경우(Fig. 14의 a, c, d), 전반적으로 모퉁이 부분을 제외하고는 속도가 균일하게 분포되어 있는 모습을 보이고 있다.



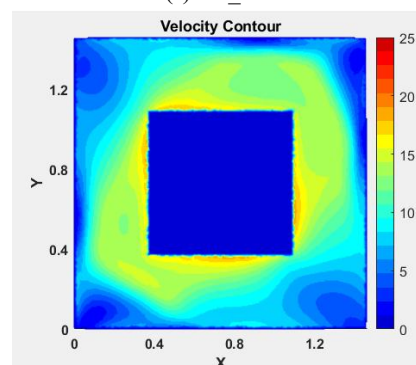
(a) 20°_3A



(b) 20°_3B



(c) 20°_2A



(d) 20°_1A

Fig. 14. Velocity contours of cases selected for smaller flow uniformity.

Fig. 10와 Fig. 12에서 4개의 Case의 평균속도를 비교해 보면 20°_3B가 가장 높은 평균속도를 보이고 있지만, 20°_3B에서는 Bypass와 Wall 사이에 국부적인 속도의 쏠림현상을 보이고 있다. 동일한 체적을 가지는 Catalyst 내에서 면속도의 변화에 따라 Nox저감효율이 변화하는 연구결과를 참조하면 (Park et al., 2016a) 속도의 쏠림현상은 SCR의 설계 및 Catalyst의 선택에 어려움을 줄 수 있다. 그리고 Catalyst 일부로의 지속적인 속도의 쏠림현상은 Catalyst의 부분적인 비활성화의 원인이 될 수도 있다. 이 같은 이유로 Catalyst의 활용성에 대한 검토를 위해 균일도와 평균속도의 확인에 더하여 Catalyst로의 속도 Contour를 통해 국부적인 속도 쏠림 현상을 확인하여야 할 것이다.

4. 결론

본 논문은 Bypass line과 Catalyst를 공간적으로 결합시킨 선박용 탈질설비를 제안하고 Bypass 개폐장치의 형태 변화에 따른 Catalyst로의 평균속도와 균일도를 시뮬레이션으로 확인하였다. 입구조건으로 입구각도를 20°에서 50°까지 10°씩 변화시켜 4가지 각도에 대한 유동변화를 확인하였고, 개폐장치의 높낮이는 Type A, Type B에서 개폐장치가 입구와 Catalyst 사이의 길이의 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 사이즈로 나누어 설정하였다. 시뮬레이션에서 도출한 결과는 다음과 같다.

- (1) Type A의 경우, 개폐장치의 끝이 입구에 가까울수록 평균속도는 줄어드는 경향을 보이고, 입구각도가 점점 작아질수록 균일도도 전반적으로 작아졌다.
- (2) 시뮬레이션의 설정에서 입구각도가 작을수록 Inlet에서 Catalyst의 사이의 거리가 더 먼 것을 의미한다. Type A와 Type B에서 대부분의 경우, 입구각도가 낮을수록 더 나은 균일도를 보였고, 이는 균일도가 고르게 분포되기 위해서는 상대적으로 더 긴 거리가 필요하다는 것을 나타낸다.
- (3) 균일도와 평균속도로 Catalyst의 활용성 향상을 확인할 수 있지만, 국부적인 속도 쏠림현상이 Catalyst의 활용성을 줄일 수 있으므로 속도 Contour의 확인이 필요하다.

후 기

본 연구는 2020년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S2872625]

References

- [1] Ahn, Y. S.(2019), A Study on Assessment and Certification System for Reduction Technology of Emission from Ships, Korea Maritime Institute Research Project Report 2019-06.
- [2] Hong, C. H., C. M. Lee, and S. D. Lee(2021), Temperature Variation of Exhaust Gas in Diesel Generator for Low Pressure SCR, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 27, No. 2, pp. 355-362.
- [3] IMO(International Maritime Organization)(2008), Report of The Marine Environment Protection Committee On ITS Fifty-Eighth Session, Marine Environment Protection Committee, MEPC 58/23/Add.1.
- [4] Jeong, H. Y., T. Y. Kim, E. M. Im, and D. H. Lim(2018), Optimum Synthesis Conditions of Coating Slurry for Metallic Structured De-NOx Catalyst by Coating Process on Ship Exhaust Gas, Clean Technol., Vol. 24, No. 2, pp. 127-134.
- [5] Lee, C. S., 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. 4, pp. 28-35.
- [6] Lindstad, E. and A. Riialand(2020), LNG and Cruise Ships, an Easy Way to Fulfil Regulations-Versus the Need for Reducing GHG Emissions, Sustainability, Vol. 12, pp. 1-15.
- [7] Park, I. S., C. S. Lee, J. S. Suh, K. Y. Jeong, and C. D. Park(2013), A Study on the Flow uniformity in SCR Reactor Follow Area Ratio, The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 4084-4087.
- [8] Park, J. W., S. S. Park, K. W. Ku, and J. G. Hong(2016a), Effect of NOx Removal Efficiency according to Space Velocity and Linear Velocity of SCR Catalyst, Journal of ILASS-KOREA Vol. 21, No. 2, pp. 71-77.
- [9] Park, M. J., H. S. Chang. and J. S. Ha(2010), Numerical Study on the Baffle Structure for Determining the Flow Characteristic in Small Scale SCR System, Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 32, No. 9, pp. 862-869.
- [10] Park, Y. Y., H. C. Song, G. J. Ahn, and C. S. Shim(2016b), Preliminary Study on Factor Technology of Selective Catalytic Reduction System in Marine Diesel Engine, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 40, No. 4, pp. 173-181.

- [11] Sim, J. H., J. H. Hong, J. R. Lee, and S. U. Kim(2017), Analysis for Flow Uniformity in SCR Reactor of a 1200~1800kw Marine Engine, The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 1675-1677.
- [12] Won J. M. and S. C. Hong(2019), Selective Catalytic Reduction (SCR) Technology Trend for the Removal of Nitrogen Oxide from Ship Flue Gas, KIC News, Vol. 22, No. 5, pp. 25-40.
- [13] YANMAR(2018), Marine SCR System for Compliance with IMO NOx Tier 3 Regulations, YANMAR Technical Review, Spring 2018, https://www.yanmar.com/global/about/technology/technical_review/.

Received : 2021. 06. 24.

Revised : 2021. 08. 10.

Accepted : 2021. 08. 27.