

CFD에 의한 선박용 DPF/DOC내 배기가스의 유동 균일도 및 특성 연구

김윤지, 한단비, 백영순*

수원대학교 환경에너지공학과
18323 경기도 화성시 봉담읍 와우안길 17, 환경에너지공학과

(2019년 5월 20일 접수; 2019년 6월 7일 수정본 접수; 2019년 6월 7일 채택)

A Study on the Flow Uniformity and Characteristics of Exhaust gas in Diesel Particulate Filter/Diesel Oxidation Catalyst of Ship Diesel Reduction System by Computational Fluid Dynamics

YunJi Kim, Danbee Han, and Youngsoon Baek*

Department of Environment-Energy Engineering, The University of Suwon
17 Wauan-gil, Bongdam-eup, Hwaseong 18323, Korea

(Received for review May 20, 2019; Revision received June 7, 2019; Accepted June 7, 2019)

요 약

디젤 선박 운행 횟수의 증가로 인한 대기오염이 심각해짐에 따라 선박의 유해배출가스에 대한 규제가 강화되고 있다. 따라서 선박용 디젤 배기 후처리 장치의 개발이 요구되고 배기 처리 장치는 유동 균일도가 높을수록 처리효율이 증가된다. 본 연구에서는 ANSYS Fluent를 이용하여 기존 저감장치, 저감장치 내부의 Baffle 설치시, 배기가스 유량에 따른 배압과 유동 균일도를 시뮬레이션 하였다. 기존 장치조건에서는 시스템 배압이 38 ~ 40 mbar로 나타났으며, 유동 균일도는 DOC 입구와 출구에서 약 84 ~ 92%로 나타났다. 시스템 내부에 Baffle을 설치한 경우 압력이 상승되고 유속 증가로 인해 유동 균일도가 낮아진다. 배기가스 유량을 7,548 kg h⁻¹에서 3,772 kg h⁻¹로 50% 감소했을 때, 낮은 유속에 의해 DOC 입구와 출구의 유동 균일도는 약 1 ~ 3% 증가했다. DPF의 경우 불균일한 유동이 DOC를 균일하게 거쳐 흐른 후 유입되기 때문에 유동 균일도가 98 ~ 99%로 높게 나타났다.

주제어 : 선박용 디젤 저감장치, 전산유체역학, 유동 균일도, 압력분포

Abstract : As air pollution becomes more serious due to the increased number of diesel vessel operations, ship regulations on harmful emissions strengthen. Therefore, the development of a diesel exhaust after-treatment system for ships is required, and the higher the flow uniformity of the exhaust treatment system, the higher the treatment efficiency. With the computer software ANSYS Fluent, pressure drop and flow uniformity were used in this study to simulate flow rate with and without a baffle in both a Diesel Oxidation Catalyst (DOC) and Diesel Particulate Filter (DPF) system. The system pressure drop was found to be 38 to 40 mbar in the existing system condition, and the flow uniformity was approximately 84 to 92% at the inlet and outlet of the DOC. When the baffle was installed inside the system, the pressure increased and the flow uniformity was lowered due to an increase in flow rate. When the exhaust gas flow was reduced by 50% from 7,548 kg h⁻¹ to 3,772 kg h⁻¹, the flow uniformity at the inlet and outlet of the DOC increased by approximately 1 to 3% due to the low flow rate. In the case of DPF, the flow uniformity of exhaust gas was 98 to 99% because the uneven flow proceeded after uniformly flowing from the DOC.

Keywords : Ship Diesel Reduction System, Computational Fluid Dynamics, Flow Uniformity, Pressure Distribution

1. 서 론

경제와 무역의 급속한 발전에 따라, 대기오염이 심해지고

있다. 특히, 해안지역을 따른 대기오염의 중요한 원인 중 하나인 선박 운행의 횟수가 증가되고 있다. 전 세계적으로 선박

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ysbaek@suwon.ac.kr; Tel: +82-10-6252-6109; Fax: +82-31-220-2533

doi: 10.7464/ksct.2019.25.2.151 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

은행으로 배출되는 총배출량은 매년 CO₂ 환산량 961 Mt, NO_x 20.9 Mt, SO_x 11.3 Mt, 미세먼지(PM) 1.4 Mt 등이며, 이는 대기질과 기후에 심각한 영향을 미친다[1]. 심각한 해상 오염에 대체하기 위해 국제해사기구(IMO)는 2008년 10월 해양환경보호위원회(MEPC) 제58차 회의에서 선박의 대기오염 방지규정인 MARPOL Annex VI 및 관련 NO_x 기술코드를 개정하였다[2,3]. 따라서 국제해사기구가 제정한 규칙과 규제의 추진에 따라 해상디젤 엔진의 유해배출량 감소가 해운업계의 화두가 되고 있다.

이에 DOC (diesel oxidation catalyst, 디젤산화촉매), DPF (diesel particulate filter, 디젤매연여과장치), SCR (selective reduction catalyst, 선택적 환원촉매기)등 각종 디젤 배기 후처리 장치의 개발이 요구된다[4]. 디젤 후처리 장치는 일반적으로 촉매를 사용하여 유해물질을 처리하는데, 촉매 활성을 높이기 위해 배기가스가 담체에 균일하게 유입되는 것이 중요하다. 유동이 일정하지 않으면 DPF의 경우 재생과정에서 포집된 물질이 국부적으로 누적된 곳에 높은 열이 발생하여 필터 크랙의 원인이 되며, DOC의 경우 중심부에 집중된 유동으로 인해 촉매의 성능에 영향을 미쳐 NO_x의 저감 효율이 감소된다. 따라서 배기가스의 균일한 유입은 후처리 장치에 성능에 크게 영향을 미치기 때문에 배기가스의 유동 균일도를 향상시켜 효율을 증대 시켜야 한다[5].

Lemme [6]와 Johnson [7] 등은 촉매변환기 내의 유속분포 실험을 통하여 보다 균일한 속도분포를 얻기 위해 연구를 수행했다. 이러한 실험연구는 PC 및 소프트웨어의 발달로 시뮬레이션의 정확성이 점차 높아지고, 시간과 실험비용 절감 등으로 CFD (computational fluid dynamics, 전산유체역학) 해석으로 대체하게 되었다. Kim [8], Anthony [9]와 Herman [10]들은 수치해석을 이용하여 촉매 변환기의 입구, 확대관의 각도 및 DOC, DPF의 셀 밀도, 입구 배기관의 곡률에 따른 유속분포 및 배압을 시뮬레이션으로 해석했으며, 현재도 많은 연구자들이 배기가스의 유동 균일도 및 배압 해석을 CFD를 이용하여 수행하고 있다.

본 연구는 디젤 선박용 배기가스 저감장치(DPF 크기는 140 × 140 × 305 mm의 64개, DOC 크기는 직경 267 mm, 길이 76 mm의 16개)에 400℃ 배기가스가 7,548 kg h⁻¹로 흐를 때 저감장치의 내부 유동흐름을 CFD 상용코드인 ANSYS Fluent를 이용하여 배기가스 저감장치에 유입되는 속도 및 촉매 층(DOC, DPF)을 지나며 생기는 압력 차를 계산했다. 이러한 해석으로부터 압력분포(Pressure distribution), 유속 분포 및 유동 균일도(Flow uniformity)를 구하였다. 또한 유동 균일도 향상을 통하여 배기가스 처리효율 향상 및 저감장치의 성능을 높이고자 다양한 위치에서의 Baffle 설치 유무 및 배기가스의 유량조절에 따른 압력 및 유속분포, 유동 균일도에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

2. 시뮬레이션 해석 및 방법

2.1. 지배방정식

본 시뮬레이션에서 배기가스 저감장치의 해석은 전산유체

역학 상용코드인 ANSYS Fluent 18.2를 이용했다. 3차원 Navier-Stokes 방정식에 근거하여 배기가스 저감장치 내의 배기가스 압력, 유속, 유동 균일도의 해석을 시뮬레이션 했으며, 배기가스의 난류의 영향을 고려하기 위하여 K-ε Realized model, 온도분포를 위해 Energy equation, DOC, DPF의 세라믹구조는 Fluent내의 다공성 물질모델을 이용하여 계산했다.

아래와 같이 연속방정식(1), 모멘텀 방정식(2), 에너지 방정식(3), 다공성물질 모델식(4)으로 해석하였다.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = -\nabla \cdot (\sum_j h_j J_j) + S_h \quad (3)$$

$$S_i = -(\sum_{j=1}^3 D_{ij} \mu v_j + \sum_{j=1}^3 C_{ij} \frac{1}{2} \rho |v_j| v_j) \quad (4)$$

여기서 p 는 압력(Pa), v 는 유속(m s⁻¹), ρ 는 유체의 밀도(kg m⁻³), $\bar{\tau}$ 는 응력 텐서, D_{ij} 는 점성저항계수, C_{ij} 는 관성저항계수, $D_{ij} = \frac{1}{K_i}$, $C_{ij} = 2\beta$ 이다.

2.2. 유동 균일도

배기가스 저감장치(DOC, DPF 포함)시스템에서 배기가스 내에 포함되어 있는 HC와 CO를 촉매 층에서 반응시켜 이산화탄소와 수증기로 전환되고, 가스와 동반하여 나온 Soot는 DPF에서 여과 제거되는 것이다. 이러한 저감장치 시스템에 유입되는 속도 값에 따라 촉매의 성능이 결정된다. 촉매층 면적에 대해 속도 유입이 균일하지 않으면 촉매 일부분에 대해서만 반응이 반복적으로 이루어지며 촉매설비의 교체주기가 짧아진다.

배기가스 저감장치의 입구부에 불규칙하게 유입되거나, 빠른 속도에 의해 배기가스가 촉매 전면에 국부적으로 집중되는 현상이 나타난다. 이와 같은 경우, 촉매의 일부분에서만 배기가스가 저감되는 현상이 심해지므로 촉매의 정화효율이 떨어진다. 따라서 유동 균일도가 낮으면 고가인 촉매의 활용성이 저하되어 배기가스 저감장치의 수명이 단축되는 요인으로 작용된다. 이에 따라 촉매 앞면에 구조체를 설치하여 촉매 앞면에서의 유동의 균일도를 높여 배기가스 저감장치의 정화효율을 향상시키면서 촉매의 수명을 높이고 있다.

유동 균일도는 촉매 층 내에서 많은 위치에서 유속을 구하여 Weltens가 제안한 Equation (5)을 이용하여 유동 균일도 값을 계산한다[10]. 유동 균일도 값이 1 (100%)이면 촉매 층내에 완전히 균일한 유동분포를 나타내는 것이며, 0 (0%)에 근접하면 촉매의 극히 일부분에 유동이 집중됨을 의미한다. 보통 배기가스 정화장치 설계에 있어서 0.9 (90%) 이상의 유동 균일도가 요구된다[11].

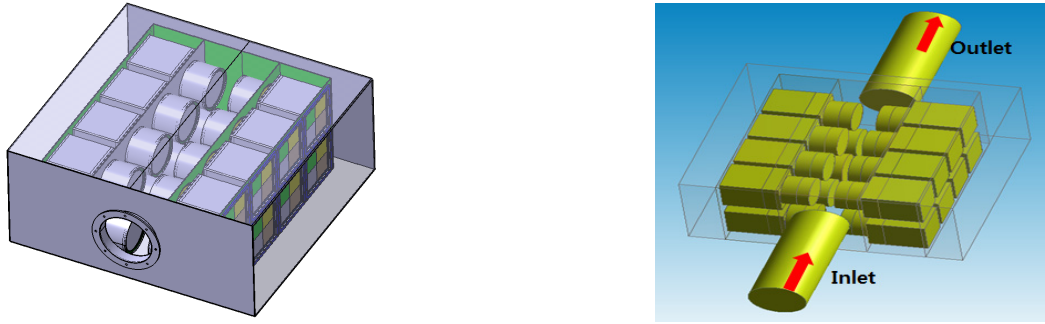


Figure 1. Configure (L) and Model (R) for the reduction system of exhaust gas.

Table 1. Characteristics of exhaust gas

Properties	Mass flow rate (kg h ⁻¹)	Temperature (°C)	Density (kg m ⁻³)	Viscosity (kg m ⁻¹ s ⁻¹)
Value	7,548	400	0.525	3.2 x 10 ⁻⁵

Table 2. Average flow rate and pressure distribution with the position of DOC and DPF

Position	Average flow rate (m s ⁻¹)		Pressure distribution (mbar)	Position	Average flow rate (m s ⁻¹)		Pressure distribution (mbar)
	DOC	DPF			DOC	DPF	
1	6.8	2.9	38 ~ 40	9	6.8	2.9	38 ~ 40
2	6.8	2.9		10	6.8	2.9	
3	4.9	3.1		11	4.9	3.1	
4	4.9	3.1		12	4.9	3.1	
5	4.6	3.1		13	4.6	3.1	
6	4.6	3.1		14	4.6	3.1	
7	4.6	3.2		15	4.6	3.2	
8	4.6	3.2		16	4.6	3.2	

$$\gamma = 1 - \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{(w_i - \bar{w})^2}}{w_i} \quad (5)$$

여기서, w_i 는 Local Velocity, \bar{w} 는 Average Velocity를 나타낸다.

2.3. 선박용 디젤 저감장치 및 시뮬레이션 조건

기존 선박용 디젤 저감장치는 Figure 1(좌)과 같이 총 64개의 140 × 140 × 305 mm DPF와 16개의 직경 267 mm, 길이 76 mm의 DOC가 구성되어있으며, 저감장치의 외관은 1,473.6 (W) × 760 (H) × 1,550 mm (L)이고, 입/출구의 직경은 350 mm, 길이 1,000 mm의 크기를 가지고 있다. 이러한 사양으로부터 Design Modeler를 이용하여 선박용 디젤 배기가스 저감장치의 형상을 Figure 1(우)과 같이 모델링하였다.

선박용 배기가스의 특성은 Table 1에 나타났다. 아래와 같은 조건에서 선박용 배기가스 저감장치의 설계사양, 저감장치 입구 부근과, 내부의 다양한 위치에서의 Baffle 설치, 배기가스 유량 5,661 kg h⁻¹ (75%)와 3,774 kg h⁻¹ (50%)로 변경했을 때의 압력분포(Pressure distribution)과 유동 균일도(Flow uniformity)에 관해서 시뮬레이션했다.

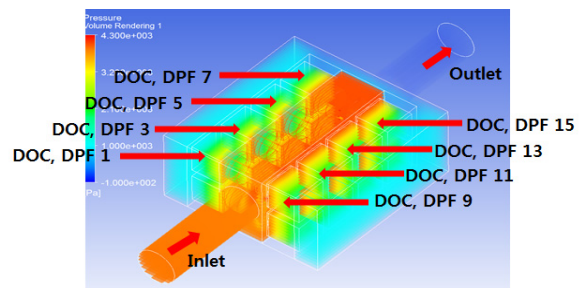


Figure 2. Pressure distribution for the reduction system of exhaust gas.

3. 시뮬레이션 결과 및 토론

3.1. 선박용 배기가스 저감장치의 시뮬레이션

배기가스 저감장치의 사양에서 시뮬레이션한 결과를 Figure 2에 압력분포와 Table 2에 유속분포를 나타냈으며, 그림에서 보듯이 배기가스의 입구 및 DOC, DPF 모든 부분에서 압력분포가 약 38 ~ 40 mbar으로 나타났다. Table 2와 같이 DOC 1, 2, 9, 10번에서 평균유속 6.8 m s⁻¹로 가장 높게 나타났다. 입구로부터 멀어질수록 낮아져서 DOC 7, 8, 15, 16번에서의 평균유

Table 3. Flow uniformity with the position of DOC and DPF

DOC Position	flow uniformity (%)	pressure distribution (mbar)	DOC Position	flow uniformity (%)	pressure distribution (mbar)
1	84	98	9	84	98
2	84	98	10	84	98
3	85	99	11	85	99
4	85	99	12	85	99
5	89	99	13	89	99
6	89	99	14	89	99
7	92	99	15	92	99
8	92	99	16	92	99

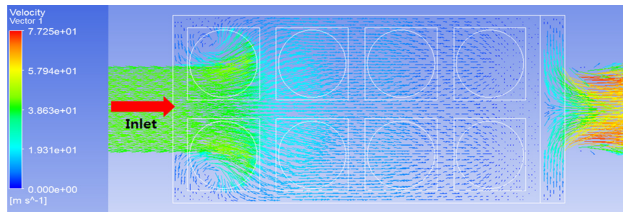


Figure 3. Flow distribution for reduction system of exhaust gas.

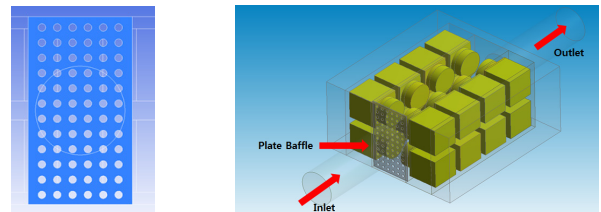


Figure 4. Geometry for the reduction system of exhaust gas with plate baffle.

Table 4. Flow uniformity and pressure distribution of DOC with plate baffle

DOC Number	Flow uniformity (%)	pressure distribution (mbar)	DOC Number	Flow uniformity (%)	pressure distribution (mbar)
DOC 1	82	37 ~ 40	DOC 9	82	37 ~ 40
DOC 2	82		DOC 10	82	
DOC 3	85		DOC 11	85	
DOC 4	85		DOC 12	85	
DOC 5	89		DOC 13	89	
DOC 6	89		DOC 14	89	
DOC 7	93		DOC 15	93	
DOC 8	93		DOC 16	93	

속은 약 4.6 m s⁻¹이고, DPF의 평균 유속은 2.9~3.2 m s⁻¹로 큰 차이가 없게 나타났다.

DOC와 DPF의 위치에 따른 유동 균일도(Flow uniformity)를 계산하여 Table 3에 나타냈다. 유동 균일도는 입구와 근접한 DOC 1, 2, 9, 10에서 약 84%, 입구로부터 멀어질수록 점차 높아져서 최대 92%까지 증가하였으며, DPF에서의 유동 균일도는 약 98~99%로 높은 결과를 얻었다.

이러한 유동 균일도 차이는 Figure 3의 내부 유속분포 벡터(Vector)에서 보듯이 입구에서 유속이 빨라서 큰 와류가 형성되어 DOC 1~4와 9~12에서의 유동 균일도가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 사료된다.

3.2. Baffle 설치했을 때의 시뮬레이션

Figure 4와 같이 Baffle hole의 직경 30 mm를 72개 제작하여 입구로부터 약 27.5 mm 떨어진 곳에 설치하여 압력, 유속

과 유동 균일도를 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 결과를 Figure 5와 Table 4에 나타냈으며, 결과에서 보듯이 DOC 1, 2, 9, 10번의 유동 균일도는 약 82%, DOC 압력분포는 약 37~40 mbar로 나타났으나 입구와 Baffle 전단에서는 약 100 mbar으로 크게 나타났다.

또한 Baffle을 Figure 6과 같이 시스템 내부에 위치를 달리 하여 각각 설치하여 시뮬레이션을 수행하였다. Baffle (hole Φ 30 mm)에 ①의 경우 18개, ② 36개, ③ 72개 hole을 만들었다.

Figure 6의 ①의 경우를 시뮬레이션한 결과를 Figure 7과 Table 5에 각각 유속분포, 압력분포와 유동 균일도를 나타냈으며, 결과에서 보듯이 DOC 1, 2, 9, 10의 유동 균일도가 약 76%로 나타났으며, 입구에서 가장 거리가 먼 DOC 7, 8, 15, 16에서는 약 93%로 나타났다. 압력분포는 입구에서 약 42 mbar, DOC에서는 약 39~40 mbar로 나타났다.

Table 5. Flow uniformity and pressure distribution of baffle ①

DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)	DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)
DOC 1	76	39 ~ 40	DOC 9	76	39 ~ 40
DOC 2	76		DOC 10	76	
DOC 3	79		DOC 11	79	
DOC 4	79		DOC 12	79	
DOC 5	87		DOC 13	87	
DOC 6	87		DOC 14	87	
DOC 7	94		DOC 15	94	
DOC 8	94		DOC 16	94	

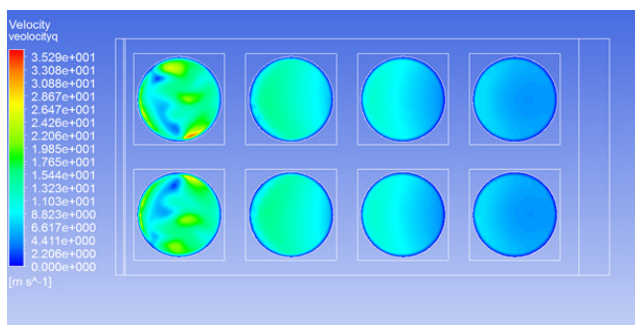
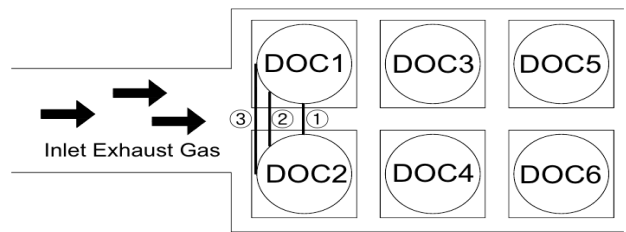


Figure 5. Flow velocity distribution of DOC with plate baffle.



①, ②, ③ : Plate Baffle

Figure 6. Baffle installation point in the system.

Table 6. Flow uniformity and pressure distribution of ② Baffle

DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)	DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)
DOC 1	70	40 ~ 41	DOC 9	70	40 ~ 41
DOC 2	70		DOC 10	70	
DOC 3	84		DOC 11	84	
DOC 4	84		DOC 12	84	
DOC 5	84		DOC 13	84	
DOC 6	84		DOC 14	84	
DOC 7	90		DOC 15	90	
DOC 8	90		DOC 16	90	

Table 7. Flow uniformity and pressure distribution of ③ Baffle

DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)	DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)
DOC 1	81	38.1 ~ 40.4	DOC 9	81	38.1 ~ 40.4
DOC 2	81		DOC 10	81	
DOC 3	83		DOC 11	83	
DOC 4	83		DOC 12	83	
DOC 5	88		DOC 13	88	
DOC 6	88		DOC 14	88	
DOC 7	91		DOC 15	91	
DOC 8	91		DOC 16	91	

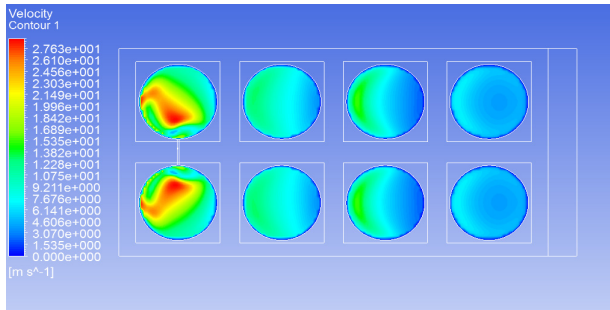


Figure 7. Flow velocity distribution of DOC with Baffle ①.

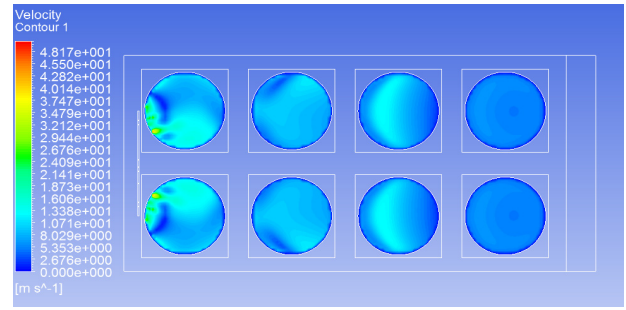


Figure 9. Flow velocity distribution of ③ Baffle.

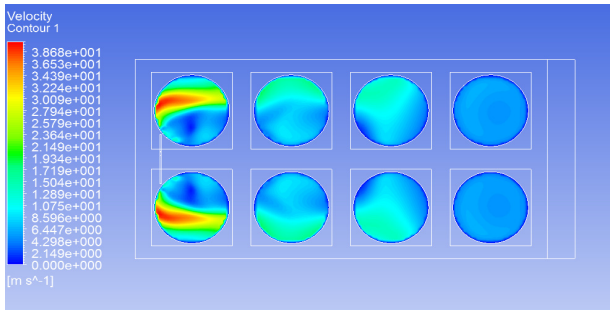


Figure 8. Flow velocity distribution of ② Baffle.

Figure 6의 ②과 같이 Baffle이 설치된 경우는 Table 6과 같이 DOC 1, 2, 9, 10에서 유동 균일도가 약 70%로 가장 낮은 유동 균일도를 나타냈으며, 입구와 가장 거리가 먼 DOC 7,

8, 15, 16에서도 90%로 나타났다. Figure 8의 유속분포를 보았을 때 Baffle 상단으로 유동이 집중되어 DOC의 유동 균일도가 낮아지는 것으로 사료된다. 압력분포는 약 45 mbar로 압력이 상승하였고, 내부 DOC의 압력분포는 40~41 mbar를 나타냈다.

Figure 6의 ③과 같이 Baffle을 설치한 경우 Table 7과 같이 DOC 1, 2, 9, 10의 유동 균일도는 약 81%로 나타났으며, 유속 분포는 Figure 9와 같고 DOC의 압력분포는 약 38~40 mbar, 입구에서 약 61 mbar로 나타났다.

3.3. 배기가스 유량에 따른 유동 균일도

배기가스의 유량에 따른 DOC의 유동 균일도에 미치는 영향을 알기 위하여 유량을 5,661 kg h⁻¹와 3,774 kg h⁻¹으로

Table 8. DOC flow uniformity and Pressure distribution at mass flow rate of 5,661 kg h⁻¹

DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)	DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)
DOC 1	84	26.7 ~ 28.0	DOC 9	84	26.7 ~ 28.0
DOC 2	84		DOC 10	84	
DOC 3	85		DOC 11	85	
DOC 4	85		DOC 12	85	
DOC 5	89		DOC 13	89	
DOC 6	89		DOC 14	89	
DOC 7	94		DOC 15	94	
DOC 8	94		DOC 16	94	

Table 9. DOC flow uniformity and Pressure distribution at mass flow rate of 3,774 kg h⁻¹

DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)	DOC Number	Flow uniformity (%)	Pressure distribution (mbar)
DOC 1	85	16.8 ~ 17.4	DOC 9	85	16.8 ~ 17.4
DOC 2	85		DOC 10	85	
DOC 3	87		DOC 11	87	
DOC 4	87		DOC 12	87	
DOC 5	91		DOC 13	91	
DOC 6	91		DOC 14	91	
DOC 7	95		DOC 15	95	
DOC 8	95		DOC 16	95	

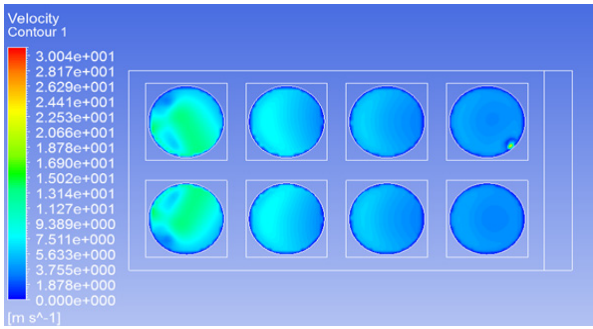


Figure 10. DOC flow velocity distribution at mass flow rate of 5,661 kg h⁻¹.

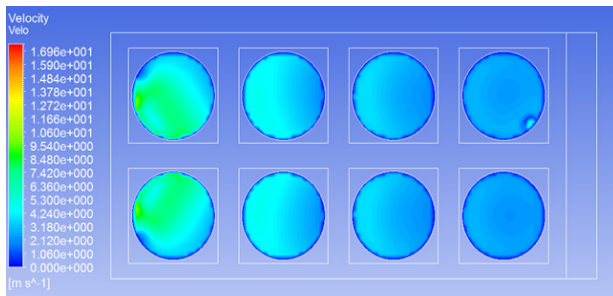


Figure 11. DOC flow velocity distribution at mass flow rate of 3,774 kg h⁻¹.

변화하면서 시뮬레이션한 결과를 Table 8~9에 나타냈으며, 유속분포는 Figure 10~11에 나타냈다. 유량을 75%로 낮추어 5,661 kg h⁻¹로 수행한 결과 유동 균일도는 DOC 1, 2, 9, 10에서 유량 100%와 동일하며, 입구와 거리가 먼 DOC 7, 8, 15, 16에서는 94%로 나타났다. 압력분포는 입구에서 약 27.5 mbar의 압력이 발생했으며, 내부 DOC의 압력 분포는 27~28 mbar를 나타냈다. 평균유속이 약 25~30%정도 낮아졌다.

유량을 50%로 낮추어 3,774 kg h⁻¹로 수행한 결과 유동 균일도는 DOC 1, 2, 9, 10에서 약 85%로 나타났으며, 입구와 거리가 먼 DOC 7, 8, 15, 16에서는 95%를 나타냈다. 압력은 입구에서 약 17 mbar이며, DOC에서 16.8~17.4 mbar의 분포를 나타냈다. 따라서 유량이 낮아질수록 전체적인 유속과 압력이 낮아지며, 유동 균일도가 높아지는 것으로 나타났다.

4. 결론

1,800 HP급의 선박으로부터 발생하는 디젤 배기가스 저감장치를 시뮬레이션하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 현재 시스템에서 배기가스 저감장치의 배압은 38~40 mbar로 나타났으며, DOC 내의 유동 균일도는 배기가스 입구에서는 약 84%, 출구에서는 약 92%로 나타났다. 유동 균일도가 출구보다 입구에서 낮은 이유는 입구에서의 배기가스의 빠른 유속과 와류에 의한 유속 편차로 인해 유동 균일도가

낮아지기 때문인 것으로 사료된다.

2) 저감장치의 입구에 Baffle을 설치했을 때, Baffle이 없는 경우에 비해 압력은 유사하게 나타났으나, 입구 DOC의 유동 균일도는 82%로 약 2% 낮은 나타났으며, Baffle을 저감장치 내부에 설치했을 때는 약 3~14% 낮았다. Baffle을 설치로 인한 유속상승으로 유동 균일도가 낮아지고 압력도 증가하는 것으로 나타났다.

3) DPF의 경우 모든 실험 변수에 대하여 유동 균일도가 98~99%로 나타났다. 이는 DOC 입구의 불균일한 유동이 DOC를 거쳐 균일하게 흐르고, 이후 DPF로 유입되기 때문으로 사료된다[5].

4) 배기가스 유량을 3,774 kg h⁻¹로 50% 감소했을 때, DOC 입구의 유동 균일도는 DOC 1, 2, 9, 10에서 85%로 약 1% 증가했으며, DOC 7, 8, 15, 16에서 95%로 약 3%의 유동 균일도가 증가했다. 이는 유량이 줄어들면서 저감장치 내의 유속이 낮아져서 DOC의 유동 균일도가 높아진 것으로 사료된다.

따라서 현재 선박용 배기가스 저감장치의 구조에서는 배기가스 유량 5,661 kg h⁻¹의 이상에서 유동 균일도가 감소하고 Baffle의 설치를 할 때도 유동 균일도가 낮게 나타나므로 배기가스의 유량은 5,661 kg h⁻¹의 이하로 줄이거나 저감장치의 크기를 1.5배로 늘이고 Baffle이 없는 것이 좋다.

감사

본 연구는 글로벌 탑 환경기술개발사업 중 친환경차 보급 확산 기술개발(E618-00208-0603-2)에서 지원받아 수행됐습니다.

References

1. IMO, "Third IMO greenhouse gas study," International Maritime Organization (2014).
2. IMO, "Report of the marine environment protection committee on its' fifty-eighth session - revised MARPOL annex VI," International Maritime Organization (17 October, 2008).
3. IMO, "Report of the marine environment protection committee on its' fifty-eighth session - revised NOx technical code," International Maritime Organization (17 October, 2008).
4. Choi. B. K., and Cho. J. D., "Study on the Improvement of Uniformity of Inlet Velocity in Exhaust After-treatment System for System for Heavy Duty Engine," *Korean Society of Automotive Engineers Conference*, 357-360 (2002).
5. Jeong, S. Y., Lee. W., Lee. G. S., Kim. K. H., Bae. S. H., and Kim. H. S., "A Study on Flow Characteristics in Diesel Particle Filter for Heavy-duty Diesel Engine", *Korean Society of Automotive Engineers Conference*, 280-284 (2006).
6. Lemme, C., and Givens, W., "Flow Through Catalytic Converters - An Analytical and Experimental Treatment,"

- SAE Technical Paper 740243 (1974).
7. Johnson, W., and Chang, J., "Analytical Investigation of the Performance of Catalytic Monoliths of Varying Channel Geometries Based on Mass Transfer Controlling Conditions," SAE Technical Paper 740196 (1974).
 8. Lai, M.-C., Kim, J.-Y., Cheng, C.-Y., Li, P., Chui, G., and Pakko, J. D., "Three-Dimensional Simulations of Automotive Catalytic Converter Internal Flow," SAE Technical Paper 910200 (1991).
 9. Baxendale, A. J., "Computational Fluid Dynamics in Exhaust System Design and Development," 94 International E/G Design, Sterling Publication, Ltd., 126-130 (1994).
 10. Weltens, H., Bressler, H., Terres, F., Neumaier, H., and Rammoser, D., "Optimisation of Catalytic Converter Gas Flow Distribution by CFD Prediction," SAE Technical Paper 930780 (1993).
 11. Ahn, J. Y., Ku, J. H, Park, J. K., and Kim, J. W., "A Study on the Pressure Drop and Flow Characteristics depending upon the inlet·Outlet Geometry of Catalytic Converter," KSAE 81-86 (2007).