

# CFD를 이용한 선박용 이코노마이저 Soot Blower 유동 해석에 관한 연구

### 지재훈・오 철†

### 목포해양대학교(교수) · \* 한국해양대학교(교수)

# A Study on the Flow Analysis of Economizer Soot Blower for Ship by using CFD Method

Jae-Hoon JEE · Cheol OH\*

Mokpo National Maritime University(professor) · \*Korea Maritime and Ocean University(professor)

#### Abstract

In the recent high oil era, fuel reduction, energy saving and environmental pollution reduction are the main tasks of this era. Even though it has a lot of heat in the exhaust gas of marine engines and boilers, it is discharged through the atmosphere, and the energy loss is very large. To this end, Economizer is essential for waste heat recovery, and there is a "Soot Cleaning System" to increase efficiency. The purpose of this paper is to verify the efficiency by analyzing the flow of exhaust gas inside the mill with the automatic soot blower installed in the mill. In this study, soot blowing inside the economizer was simulated using ANSYS CFX(V.18.1), a general-purpose flow analysis engineering program, and the temperature, pressure and velocity fields in the economizer were analyzed.

Key words : Economizer, Soot blower, Temperature, Pressure, Velocity

# I. 서 론

최근 국내외 산업전반에 걸쳐 강조되고 있는 고유가시대에 연료절감과 에너지절약을 통해 환 경오염을 줄이는 것은 이 시대의 주요과제이다 (KDB Report, 2017).

현재 조선 산업분야에서는 선박의 엔진 및 보 일러 운전 중에 배기온도가 200 ~ 350℃ 정도 되 며, 보일러 및 절탄기(Economizer)에 그을음이 많 이 발생하여 대기로 방출시 환경오염에 문제가 되고 있다.

선박에서 사용하는 엔진 및 보일러 배기에 많 은 열을 가지고 있음에도 대기를 통하여 배출되 고 있어 에너지의 손실이 대단히 상승함에 따라 대기 환경오염에 영향주어 녹색 환경기술에 문제 가 되고 있다. 절탄기는 필수 품목으로 설치하는 부품이며 폐열회수율을 올리기 위하여 세척기술 인 "Soot Cleaning System"이 있다(Han, 2015).

선박용 보일러 및 주기관(Main Engine)에서 배 출되는 배기가스의 폐열을 회수하는 기술로 대표 적으로 절탄기가 있다.

그러나 스팀터빈(Steam Turbine)을 이용하는 대 형 유조선의 대형보일러(스팀압력 60kg/cm<sup>2</sup>) 경우 자동 Soot Blower장치를 사용하고 있으나, 주기관 으로서 디젤기관을 사용하는 선박의 경우에는 보 조보일러와 절탄기장치에는 수동식 Soot Blower

\* Corresponding author : 051-410-4268, ohcheol@kmou.ac.kr

장치를 사용하고 있다(Han, 2015).

이로 인하여 주기적인 그을음의 배출이 되지 않아 보일러 및 절탄기의 효율이 낮은 상태로 운 전되고 있어 경제적 손실이 매우 큰 실정이다. 또한 선박의 경우에는 2015년부터 CO<sub>2</sub> 및 NO<sub>x</sub> 등의 배출규제 및 정부차원의 에너지 절감 대책 등 많은 규제가 발효될 예정이어서 에너지절감 및 연소효율을 높일 필요가 있다(KDB Report, 2017).

이러한 상황에서 선박에 설치된 절탄기의 효율 을 높이기 위해 자동 Soot Blower 장치의 설치가 고려될 수 있으며, 이를 통해 엔진 및 보일러 배 기 폐열 시스템의 미흡한 폐열회수 방안이 제안 될 수 있다. 본 논문에서는 효율을 높이기 위해 절탄기에 자동 Soot Blower가 장착된 상태에서 절탄기내부에 배기가스 유동 흐름을 분석하여 효 율성을 검증하고자 한다.

# Ⅱ. 연구 방법

#### 1. 해석개요

본 유동해석은 CFD 기법을 활용하여 선박용 절탄기 Soot Blower의 유동특성을 분석하는 것이 다. 절탄기는 배기가스의 폐열을 이용하여 에너 지 효율을 높이는 선박기자재로써 최적의 운전 상태를 유지하는 것이 중요하다. 이를 위해 Soot Blower를 추가적으로 절탄기 내부에 장착하여 주 기에 따라 배기가스에 의해 절탄기 내부의 수관 에 점착되는 Soot를 제거하는 것이다.

과도한 Soot Blowing은 절탄기 내의 온도 저하 로 인한 저온부식과 같은 문제를 발생시킬 수 있 으므로 적절한 Nozzle의 수량과 크기를 선정하는 것이 설계에 있어 무엇보다 중요하다.

본 연구에서는 범용 유동해석 공학프로그램인 ANSYS사의 CFX(V. 18.1)를 활용하여 압축공기를 이용한 절탄기내 Soot Blowing을 모사하였으며 이를 통해 절탄기 내의 온도장, 압력장, 속도장을 분석하였다.

### 2. 해석형상

선박보일러 급수의 온도증가를 위해 사용하는 일종의 열교환기인 절탄기의 개략도는 [Fig. 1]과 같다. 모델형상은 설계도면의 절탄기를 바탕으로 만들었다.

직립형 절탄기는 주기관의 배기가스가 하부로 유입되어 상부로 배출되도록 설계되어 있으며 절 탄기 내부의 수관은 횡형식 지그재그 형태로 배 열되어 있다. Soot Blower는 절탄기 중앙에 배치 되어 주기관의 일정 Load 이상에서 운전된다.

2D 도면을 바탕으로 ANSYS사의 Design Modeler(V. 18.1)를 이용하여 3D 형상을 만들었으 며 절탄기 내부의 구조는 단순화하여 수관(Water Tube)과 Soot Blower의 형상만 내부에 배치하였 다.



[Fig. 1] Schematic Diagram of Economizer and Soot blower.

#### 3. 형상모델링

[Fig. 2] 및 [Fig. 3]은 해석을 위해 제작한 절탄 기 3D 형상을 보여주고 있으며, 이 모델은 크게 배기가스가 이동하는 유동공간, 수관 그리고 Soot blower로 구분되어 있는 형태를 가지고 있다. 해 석 대상은 수관과 Soot blower가 차지하는 공간을 제외한 부분이다. 수관의 직경은 50.8mm, 수관과 수관사이의 간격은 90mm 그리고 Soot blower의 직경은 60.5mm이다. Soot blower의 표면에 경계 조건으로 적용되어 있는 Nozzle hole의 직경은 3mm와 5mm, Nozzle 간의 간격은 60mm에 900 어긋나게 배치되어 있다.



[Fig. 2] 3D Modeling of Economizer.



[Fig. 3] Soot Blower 3D Modeling of Economizer.

#### 4. 격자작업

정해진 해석 영역(domain)에 대해 지배방정식 을 푸는 경우, 해당 공간을 계산해야하는 경우의 수는 무한하기 때문에 유한하게 제한할 필요가 있다. CFD에서 공간을 유한하게 제한하기 위해 FVM(Finite Volume Method)을 통해 공간을 검사 체적(Control Volume) 형태로 나누었다.

일반적으로 공간을 나누기 위한 기하학적인 형 태로는 정렬격자인 육면체 형태(Hexahedral type) 와 비정렬 격자(Tetra), 사면체(Pyramid) 또는 프리 즘(Prism) 형태 mesh가 사용된다. 그리고 격자 형 태에 따라 특성이 나눠지며, Hexahedral type의 경 우 형태적인 특성상 격자 구성에 있어 제한 점이 있으나, 격자 구성만 잘 이루어진다면 대체적으 로 비정렬 격자 타입에 비해 같은 수준의 결과를 도출하는데 있어 격자수를 줄일 수 있다. 반대로 비정렬 격자의 경우 특성상 격자 구성이 용이한 반면 Hexadral type에 비해 대체적으로 격자수가 증가하는 경향이 있다.

본 해석을 위해 사용한 격자는 비정렬 격자인 Tetrahedral type 격자를 사용하여 격자작업을 하 였으며 격자구성에 사용된 프로그램은 ANSYS Meshing 프로그램을 이용하였다.

이 프로그램은 정렬격자와 비정렬 격자 모두 구성이 가능한 격자생성 전용 프로그램이다. 벽 면의 충분한 해상도를 위해 벽면의 Prism 격자로 구성하였다. 격자수를 확인하는데 있어서 2가지 가 있으며 이는 Element와 Node이다.

본 해석에 사용된 CFX Solver는 Node 기반의 Solver로 계산정보가 Node에 저장된다. 본 해석에 사용된 총 Node수는 약 2,100만개이다. [Fig. 4]는 생성된 외부 격자와 단면 격자를 나타낸다.



[Fig. 4] Grid of Exterior on Economizer Modeling.

# Ⅲ. 해석 조건

본 논문에서는 엔진의 배기가스가 통과하는 절 탄기 내부에서 Soot Blower Nozzle를 통해 분사되 는 공기의 유동을 해석해야하기 때문에 적용한 지배방정식은 모멘텀 및 난류모델을 적용하였으 며, 적용된 난류모델로는 벽면근처 예측이 좋고 회전체의 유동에서 높은 정확성을 보이는 것으로 알려진 SST(Shear Stress Transport) k-w을 사용하 였다.

적용된 물성치는 배기가스(O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)와 공기(Air Ideal Gas)이며, 절탄기 내부에서 Soot Blower로부터 공기가 분사됨에 따라 배기가스 중 의 공기의 비율이 변하게 된다. 이를 적용하기 위해 각 물성의 비율이 해석상황에 따라 변하는 Variable Composition Mixture 모델을 사용하였으 며, 공기에 대하여 Transport Equation을 풀면서 나머지 배기가스에 대한 비율을 계산하였다.

대기압 조건에서 배기가스의 유동과 공기가 분 사되는 것으로 설정하였으며 두 물성의 밀도차이 에 따른 부력효과를 적용하기 위해 Buoyancy Model을 사용하였다. 밀도차이를 계산할 때 기준 이 되는 밀도는 공기 밀도를 적용하였다. 이때 중력가속도의 방향을 설정하여 공기분사에 따른 부력효과를 고려하였다.

Domain은 2개로 나누었으며 그 이유는 Soot Blower는 3rpm으로 제자리에서 회전하는 회전체

<Table 1> Boundary Conditions of CFD

이고, 절탄기는 고정되어 있으므로 이를 구분한 기 위해서이다.

본 해석의 목적은 배기가스가 통과하는 절탄기 의 유동조건에서 Soot Blower로부터 압축공기가 분사되었을 때, 분사된 공기에 의해 절탄기 수관 (Economizer Water Tube)에 점착된 soot가 얼마나 효율적으로 제거되었는지를 확인하기 위함이다.

배기가스의 입구 유량은 실습선 한바다호 주기 관의 상용연속출력(Normal Continuous Rating) 값 인 44,900kg/hr을 경계조건으로 적용하였고 온도 는 300℃로 설정하였다. 수관은 절탄기의 보일러 급수의 입/출구 온도차 평균값인 70℃로 적용하 고 사용되는 배기가스는 그 조성을 고려하여 O<sub>2</sub> 는 13.5%, N<sub>2</sub>는 76.9%, CO<sub>2</sub>는 5.7%, H<sub>2</sub>O는 3.9% 로 설정하였다.

Soot Blower Nozzle부터 분사되는 유체는 공기 를 사용하였으며 축소-확대 노즐의 계산법을 이 용하여 노즐 목의 직경 3mm, 5mm 조건에서 도 출된 노즐 출구속도 480m/s를 경계조건을 사용하 였고, Transient 분석을 통해 시간 경과에 따른 계 산 결과를 확인할 수 있도록 하였다.

Exhaust Gas Inlet	Mass-flow	44,900kg/h
	Temperature	<b>300</b> °C
Exhaust Gas Outlet	Relative Pressure	0 Pa
Soot Blower Nozzle	Dia.	3mm, 5mm
	Velocity	480m/s
Water Tube	Temperature	<b>70</b> °C
Wall		No Slip Condition

<Table 2> Computational Conditions of CFD

Fluid	Air, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>
Turbulence model	SST Model
Simulation type	Transient Analysis
Heat transfer	Total Energy
Advection scheme	High Resolution

<Table 1>과 <Table 2>는 본 논문에서의 유동 해석을 위한 계산조건을 보여주고 있다. 노즐로 부터 분사되는 공기의 유동은 압축성 유동해석이 필요하지만 본 계산에서는 단지 Soot Blower의 표면에 속도경계조건으로 값을 적용하였다.

공기를 사용유체로 하는 축소-확대 노즐 (Convergent-Divergent Nozzle)에서 노즐의 입구압 력을 5bar, 그리고 노즐 통과 후의 출구는 대기압 의 상태에서 노즐 목 직경 3mm에서의 값을 Matlab을 이용하여 계산하였고, 노즐 출구에서의 속도 값을 본 수치해석에서 Soot Blower Nozzle의 경계조건으로 적용하였다. [Fig. 5]는 이러한 경계 조건이 적용된 절탄기의 모델링을 보여주고 있 다.



[Fig. 5] 3D Modeling applying Boundary Conditions for Economizer.

## Ⅳ. 해석 결과

Soot Blower Nozzle 직경을 3mm와 5mm로 나 누어 각각 계산을 진행하였다. Soot Blower로부터 공기가 분사되는 시점을 계산의 시작으로 하였으 며, Soot Blower가 적어도 1회전을 마친 20초 시 간 경과 이후 계산을 종료하였다.

#### 1. 온도분포

[Fig. 6] 및 [Fig. 7]은 절탄기 내부의 온도분포

를 XY축 및 YZ축 수직단면 기준으로 Nozzle 단 면을 3mm와 5mm를 비교하여 보여주고 있으며, [Fig. 8]은 XZ 수평단면에 대하여 나타내고 있다.

수직단면은 절탄기 입/출구의 중앙이며 XZ 수 평단면 사이의 거리는 0.7m이다. 온도분포는 25 0℃ ~ 300℃ 범위에 대하여 나타내었으며 절탄기 입구 영역에서 300℃ 배기가스의 유입으로 인해 온도가 높게 형성된 것을 확인할 수 있다.

수관과의 열교환이 일어나지 않기 때문에 유입 된 배기가스의 온도하강이 보이지 않는 것을 관 찰할 수 있다. 수관이 위치하지 않는 절탄기 벽 면에서는 큰 저항 없이 300℃의 배기가스가 일정 온도를 유지하며 이동하는 것이 확인되었다.

절탄기 출구 단면적에서의 평균온도를 비교해 보면 Nozzle 직경이 3mm 조건에서는 287℃ 이며, Nozzle 직경이 5mm 조건에서는 283℃로 큰 차이 가 없음을 알 수 있다.

Soot blower가 위치한 절탄기 중앙부근에서는 분사되는 압축공기의 영향으로 상대적으로 낮은 온도분포를 보였다.



[Fig. 6] Temperature Distribution on X-Y Axis Vertical Section at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).



[Fig. 7] Temperature Distribution on Y-Z Axis Vertical Section at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).



[Fig. 8] Temperature Distribution on X-Z Axis Vertical Section at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).

분사되는 공기와 배기가스와의 열교환이 발생 하지만 배기가스의 유량이 노즐로부터 분사되는 공기의 유량보다 100배 이상 크기 때문에 전체적 인 온도 분포에 미치는 영향은 미미하였다. 다만 노즐 직경 5mm 조건에서는 Soot Blower 부근에 서 상대적으로 낮은 온도분포를 보였다. [Fig. 9)는 수관의 외부 표면, [Fig. 10]은 절탄 기의 외부표면 온도분포를 250℃~300℃ 범위로 나타낸 것이다. 배기가스의 유동이 상부 방향인 것의 영향으로 인해 Soot Blower를 기준으로 그 하부 측에는 분사공기의 영향이 작아 상대적으로 높은 온도분포를 보여주고 있다.



[Fig. 9] Temperature Distribution on the Economizer Water Tube at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).



[Fig. 10] Temperature Distribution on the Economizer Body at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).

### 2. 압력분포

[Fig. 11]은 X-Y 축의 수직단면을 기준으로 Blower Nozzle의 3mm와 5mm에 대한 압력분포를 보여주고 있으며, [Fig. 12]는 XZ 축의 수평단면 을 기준으로 Blower Nozzle의 3mm와 5mm에 대 한 압력분포를 보여주고 있다. [Fig. 13]은 절탄기 자체가 받는 압력분포를 Blower Nozzle의 3mm와 5mm에 대한 압력분포를 보여주고 있다.

절탄기 입구를 통해 유입되는 배기가스로 인해 입구 맞은편에서 상대적으로 높은 압력이 형성되 었다. 또한 절탄기 천장에 위치한 배기구로 배기 가스가 배출되면서 압력이 낮아지고 배기가스의 흐름에 따라 배기구 영역에서 단면적이 좁아지면 서 상대적으로 속도가 증가하고 압력이 낮아지는 현상 때문이다.

절탄기 입/출구 차압은 Nozzle 직경이 3mm 조 건에서 77mmH<sub>2</sub>O이며 Nozzle 직경이 5mm 조건 에서는 79mmH<sub>2</sub>O로써 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 주기관 실린더 내의 연소 후 배기가스를 효과적으로 배출하는 것은 주기의 출력과 관련이 있으므로 설계 시 이러한 점을 고려할 필요가 있 다.



[Fig. 11] Pressure Distribution on X-Y Axis Vertical Section at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).



[Fig. 12] Pressure Distribution on X-Z Axis Vertical Section at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).



[Fig. 13] Pressure Distribution on the Economizer Body at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).

### 3. 수관 표면 압력분포

[Fig. 14]는 수관 표면에 형성되는 배기가스 유 동에 의한 압력분포를 -300~1,200Pa 범위를 보여 주었으며, [Fig. 15]는 Soot Blower로부터 분사되 는 압축공기의 영향으로 수관 표면에 형성되는 압력분포를 0 ~ 50Pa 범위를 보여주고 있다. 배기가스의 유량이 Soot Blower Nozzle로부터 분사되는 공기의 유량보다 훨씬 크기 때문에 배 기가스의 영향을 지극히 많이 받는 전체적인 압 력분포에서는 [Fig. 14]에서 알 수 있듯이 차이가 없지만, 분사공기의 영향만을 관찰한 결과, Nozzle 직경의 크기에 따라 차이점이 식별되었다. Seo(2012)에 의하면, 분사압축공기가 46Pa 이상 이면 Soot는 제거된다. 이를 바탕으로 분사공기에 의한 절탄기 수관 표면 압력분포를 보면 Nozzle 직경이 3mm 조건에서는 Soot Blowing 효과는 미 미한 것을 확인할 수 있지만, Nozzle 직경이 5mm 조건에서는 확장된 영역에서 Soot Blowing이 효 율적으로 이루어짐을 알 수 있다.

Nozzle 직경이 3mm 조건에서는 약 0.1m<sup>2</sup>에 해 당하는 수관 표면적에서 점착된 Soot가 제거되며 Nozzle 직경이 5mm 조건에서는 4m<sup>2</sup>수관 표면적 에서 점착된 Soot가 제거된다.

분사되는 공기의 유량은 Nozzle 직경이 3mm에 서 총 0.1kg/s, Nozzle 직경이 5mm에서 총 0.3kg/s 로써 약 3배가량 증가하지만 Soot의 제거 면적은 40배가량 증가하는 것이 관찰되었다.



[Fig. 14] Pressure Distribution on the Water Tube by Exh. Gas Flow Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).



[Fig. 15] Pressure Distribution on the Water Tube by Comp. Air at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).

#### 4. 속도분포

[Fig. 16]은 배기가스 유동과 Soot Blower로부터 공기분사에 의해 절탄기 내부에 형성되는 속도분 포를 Blower Nozzle의 3mm와 5mm를 기준으로 수직단면(X-Y축)에 나타낸 것이다.



[Fig. 16] Velocity Distribution on Internal of Economizer(X-Y) at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).

직립형 절탄기의 하부로부터 배기가스가 유입 되어 입구 측에서 상대적으로 높은 속도분포를 보이며 상부방향으로 부상하면서 수관과의 저항 으로 속도가 감소되는 것을 관찰하였다.

또한 상부와 하부의 빈공간보다 중앙의 수관이 밀집한 영역에서 다소 복잡하고 균일하지 못한 유동장이 형성되는데 이는 배기가스와 수관관의 효율적인 열 교환을 위해서 수관을 종방향 지그 재그 형태로 배열하였기 때문이다.

[Fig. 17]에서 보는 바와 같이 수직단면(Y-Z축) 의 속도분포를 살펴보면 유동장의 형성은 명확해 보였다. 벽면과 수관과의 좁은 공간으로 상대적 으로 높은 속도분포가 형성되는 것은 배기가스 흐름 저항이 적기 때문이다.

분사된 공기와 배기가스는 절탄기 상부의 배기 구로 배출되는데 이때는 단면적의 급격한 삼소로 인해 상대적으로 높은 속도가 형성되었다.



[Fig. 17] Velocity Distribution on Internal of Economizer(Y-Z) at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).

[Fig. 18]에서 보는 바와 같이 수평단면(X-Z)의 속도분포는 Soot Blower 근처 영역에서 다소 복 잡한 유동이 형성되었음을 알 수 있다.



[Fig. 18] Velocity Distribution on Internal of Economizer(X-Z) at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).



[Fig. 19] Velocity Distribution on Exh. Gas Flow at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).

[Fig. 19], [Fig. 20]에서는 절탄기 입구로부터 유입되는 배기가스와 Soot Blower Nozzle로부터 분사되는 공기 유선은 0~50m/s 범위를 보여주고 있다. 절탄기 입구로부터 유입되는 배기가스의 유선은 nozzle 직경에 관계없이 상부방향으로 이 동되는 것이 확인된다. Soot Blower Nozzle로부터 분사되어 배기구로 배출되는 분사 공기는 Nozzle 직경이 5mm 조건 에서 더욱 큰 힘을 유지하면서 분사되는 것을 관 찰할 수 있다.

특히 Soot Blower 하부공간에 분사공기가 미치 는 영향은 Nozzle 직경 5mm 조건에서 상대적으 로 크며, 그 이유는 주류인 배기가스 유동의 영 향을 많이 받는 분사공기 흐름의 관점에서 상부 측으로 이동하는 배기가스의 유동력을 이기고 하 부공간으로 분사되는 힘이 Nozzle 직경이 클수록 더 세지기 때문이다.



[Fig. 20] Velocity Distribution on Comp. Air from Soot Blower at Nozzle Dia. 3mm(Left side) and 5mm(Right side).

# Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 상용 CFD 프로그램인 ANSYS 사의 CFX(v. 18.1)을 활용하여 수치해석적 방법을 통해 선박용 절탄기 내부 Soot Blower의 공기분 사를 고려한 유동해석을 진행하였다. 해석 대상 은 실습선 한바다호 절탄기이며 그 내부에 횡형 식 수관을 지그재그 형태로 배열하였고 중앙에 3rpm으로 회전하는 Soot Blower를 배치하였다. 계산결과 본 해석대상과 계산 조건 및 범위 내에 서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공기 분사에 대한 CFD 모델링의 적합성 검 증을 위해 이와 유사한 형태의 Soot Blowing에 관한 실험 결과와 본 연구의 계산 조건과 동일한 모델링을 적용한 시뮬레이션 결과를 비교하였으 며, 이를 통해 분사 공기에 의해 수관 표면에 약 46Pa 이상의 압력이 형성될 때 점착된 Soot가 제 거됨을 확인하였다.

2. 제안된 설계 조건에서 Soot Blower Nozzle 직경만을 변경하여 각각 3mm, 5mm 두 가지 계 산 조건을 설정하였다. 그 결과 절탄기 출구의 온도는 Nozzle 직경 5mm 조건에서 약 3℃ 가량 낮게 나타났지만, 전체적인 온도분포에는 큰 차 이는 없었다.

3. 압력분포를 확인한 결과 Nozzle 직경 5mm 조건에서 절탄기 입/출구의 차압이 Nozzle 직경 3mm 조건에 비해 다소 높게 나타났지만 일반적 인 절탄기의 설계 허용한계를 초과하지 않는 것 을 확인하였다. 그러나 분사 공기에 의해 형성되 는 수관 표면에 46Pa 이상의 압력분포는 Nozzle 직경 5mm 조건에서 확연히 크게 나타났다. 따라 서 보다 넓은 범위에서 효과적으로 점착된 Soot 제거를 위해서는 Soot Blower Nozzle 크기 증가를 검토할 필요가 있음을 알 수 있다.

4. 계산된 속도분포를 통해 Nozzle로부터 분사 된 공기의 유동장에 미치는 배기가스와 수관의 영향을 확인할 수 있었다. 절탄기 중앙에 위치한 Soot Blower를 기준으로 그 하부공간은 상부방향 으로 이동하는 배기가스에 의해 분사공기의 힘이 원활하게 전달되지 않았으며, 지그재그 형태로 배열된 수관에 의해 배기가스의 유속은 저하되고 다소 균일하지 않은 기류가 형성됨을 관찰할 수 있었다.

### References

Choi YS, Lim TW and Kim YT(2015). Performance Analysis of Floating Wave Energy Converter by Using CFD. JFMSE, 27(5), 1303~1309.

https://doi.org/10.13000/jfmse.2015.27.5.1303

- Choi YS, Lim TW, Kim YT and Kim DY. CFD Analysis on the Channel Shapes of Parallel Micro-Channels. JFMSE, 25(5), 1102~1109. https://doi.org/10.13000/jfmse.2013.25.5.1102
- Han KI(2015). A Study of Cleaning of Heat Transfer Surface in Thermal Power System. Journal of Korean Society Fisheries Technology, 51(4), 576~582.

https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.4.576

- KDB(2017). Possible to Develop Shipbuilding Equipment Industry by Strengthening Environmental Regulations. Weekly KDB Report, 11, 6~8.
- Kim BJ, Kim SY, Roh CS and Lee YH(2016). A Study on the Flow Characteristics of Oil-Water Separator for Marine Ship CFD. The KSFM Journal of Fluid Machinery, 19(4), 48~53. http://dx.doi.org/10.7464/ksct.2019.25.2.151
- Kim YJ, Han DB and Baek YS(2019). 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. Clean Technol, 25(2), 153~160.

http://dx.doi.org/10.7464/ksct.2019.25.2.151

- Lee JH, Kim HJ, Cho H and Cho YH(2017). Analysis of energy Saving Effect in Variation of Supply Air Temperature of Economizer System. Journal of KIAEBS, 11(5), 415~424. https://doi.org/10.12972/jkiaebs.20170013
- Park SK(2013). A Study on temperature characteristic of the gases supplied to SOFC system by utilizing the ship exhaust gas. Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 37(8), 822~828. http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2013.37.8.822
- Seo MH and Chang HS(2012). Computational Study on the Soot Blowing Method for Enhancing the Performance of the SCR System. Particle and Aerosol Research, 8(3), 99~110.
- Received : 02 September, 2019
- Revised : 10 September, 2019
- Accepted : 24 September, 2019