

튜브형 박용 자동역세 연료유 필터 내부의 유동해석

양장식* · 김봉환† · 박영범**

(원고접수일 : 2009년 3월 31일, 원고수정일 : 2009년 4월 27일, 심사완료일 : 2009년 5월 8일)

Flow Analysis of the Tube Type Marine Auto-Backwashing Fuel Oil Filter

Jang-Sik Yang* · Bong-Hwan Kim† and Young-Bum Park**

Abstract : In this paper, the characteristics of incompressible flow in a tube type marine fuel oil filter have been investigated. Fluent program has been used to obtain the solutions for the problems of three-dimensional, turbulent fuel oil flow in a filtering system. The inlet flow field is assumed to be uniform. The velocity and pressure distributions were obtained using Darcy's law. The increase of inlet velocity for cleaning fuel oil may cause some problems like vibration of the filter element. It was also required to consider the distribution of cleaning velocity because the worst distribution of cleaning velocity may cause the local insufficient cleaning effect and furthermore the effective filtration area can be reduced. The simulated results show that the computer code can be successfully applied for simulation of the complex base oil flow through the porous media. This paper could be applied to the design of auto-backwashing filtering system as design factor.

Key words : Filter(여과기), Fuel oil(연료유), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학), Pressure drop(압력강하), Backwashing(역세)

1. 서 론

전 세계적으로 육상 및 해상에서 사용되고 있는 디젤 엔진과 가솔린엔진에서 배출되는 배기가스 성분 중, 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 입자상물질(PM), Soots의 양을 줄일 수 있는 엔진 기술 개발과 그리고 후처리 장치의 개발에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 조선헤양의 경우 해양 환경

규제가 지상만큼 엄격하게 적용되지 않는 관계로 완전 연소를 위한 엔진의 개발 및 후처리 장치의 개발이 미흡한 실정이다. 육상에서 사용되고 있는 엔진뿐만 아니라 선박엔진의 불완전 연소로 인한 환경오염을 미연에 방지하기 위해서는 엔진을 구동하기 위해 사용되는 연료유(fuel oil)에 포함되어 있는 미세 이물질질을 사전에 제거하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 이물질질을 제거하기 위해 기존에 사용되는 필터의 성분은 모직물, 직포류,

† 교신저자(진주산업대학교 자동차공학과, E-mail: bhkim@jinju.ac.kr, Tel: 055-751-3645)

* 부산대학교 기계기술연구원

** (주)디케이산기

메쉬, 세라믹 모노리스 필터, 다공관 등이 사용되고 있다^[1]. 그러나 이러한 종류의 필터는 수 마이크론 단위의 입자들을 제거하기에는 역부족이기 때문에 기존의 필터와 달리 수 마이크로 입자들을 제거할 수 있는 필터의 국내 기술 개발이 시급한 실정이다.

따라서 연료유에 포함된 미세 이물질을 제거하기 위해 기존의 필터와 달리 링과 링 사이를 수 마이크론 단위로 조절할 수 있는 링 필터를 개발하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 링 필터를 개발하기 위해서는 링으로 구성된 필터 내부의 유동 구조를 정확히 예측하는 것이 선행되어야 한다. 그러나 필터 내부의 유동압력은 약 1.5Mpa 정도를 실험을 통한 필터 내부의 유동 예측은 아주 힘들뿐만 아니라 실험기자재 및 이를 운용할 인력을 갖추어야 함으로 연구개발을 위한 비용이 우선적으로 해결되어야 한다. 이에 반해 전산기법을 통한 필터 내부의 유동해석은 연구개발 비용을 줄일 수 있는 이점이 있다. 국제적인 경쟁력을 갖는 필터를 개발하기 위해서는 필터 내부의 유동을 정확히 해석할 수 있는 방법을 도입하여야 하며 제품 개발 이전에 컴퓨터 모사(computer simulation)를 통해 전체적인 필터 내부의 유동현상을 해석한 후에 시제품을 제작하는 것이 성능 개선을 위한 최적의 방법일 것이다. Fig. 1은 본 연구에서 해석하고자 하는 연료유 필터링 시스템을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 연료유 필터링 시스템 내

부에서의 유동을 해석하기 위해 전산 유동 해석에 범용적으로 사용되고 있는 상용 패키지인 Fluent를 이용하여 필터 내부의 유동장을 해석하고, 유동장 해석을 기초로 연료유 필터링 시스템에 부착된 이물질들을 효과적으로 제거하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 시스템 내의 유동해석

2.1 유동 및 에너지 방정식

튜브형 필터 주위의 유동장 특성을 파악하기 위해서 질량, 운동량 보존 및 에너지 방정식에 대한 방정식을 풀어야 한다. 먼저 질량보존 또는 연속방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

운동량 보존 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \tag{2}$$

여기서 p 는 정압, ρg_i 와 F_i 는 중력 및 외부 힘이며, τ_{ij} 는 응력텐서로서 아래와 같다.

$$\tau_{ij} = \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \tag{3}$$

여기서 μ 는 점성계수이다.

그리고 에너지 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial(\rho c_p T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho c_p u_i T)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + S \tag{4}$$

여기서 c_p 는 유체의 비열을 의미하고, S 는 생성항(source)으로 아래의 같이 주어진다.

$$S = \mu \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] \tag{5}$$

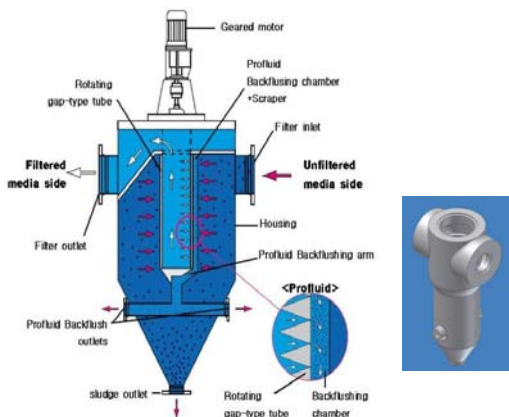


Fig. 1 The diagram of marine fuel oil filtering system.

위의 식(2)와 식(4)를 체적 적분하고 이산화 방정식을 이용하여 유동해석을 수행하는 FVM⁽²⁾⁻⁽⁴⁾ (Finite Volume Method)을 이용하여 링 필터 주위의 유동장을 수치해석 하였다.

2.2 격자 생성 및 경계조건

2.2.1 격자 생성

튜브형 필터 하우징(housing) 및 하우징 내부의 유동장 및 온도장을 해석하기 위해서는 격자(grid)를 생성하여야 하는데, 본 논문에서는 GAMBIT 2.0을 이용하여 Ted/Hybrid의 방식으로 격자를 생성하였다⁽⁵⁾⁻⁽⁶⁾.

Fig. 2는 GAMBIT 2.0으로 유동장을 해석하기 위해 링 필터 주위에 격자를 형성한 것을 나타내었고, 계산에 사용된 총 셀(cell)수는 약 52만개로 구성하였으며, 입구부를 기준으로 한 레이놀즈수가 약 70정도였기 때문에 층류유동으로 해석하였다.

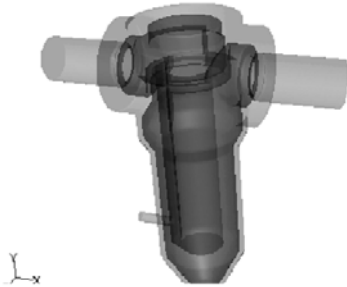


Fig. 2 The modeling of the filtering system.

2.2.2 경계조건

Fig. 3은 튜브형 필터 주위의 유동해석을 위한 경계조건을 나타내기 위한 그림이다. 본 연구에서는 입구에서 유량은 각각 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 이고, 압력이 1.5Mpa인 경우에 대해 유동을 해석하였으며, 다음과 같은 경우로 분리하여 수치해석을 하였다.

① Case 1 : 입구압력과 출구압력(Outlet 1)의 압력 차가 0.06Mpa보다 적은 경우(Scraper가 작동하지 않은 경우)

② Case 2 : 입구압력과 출구압력(Outlet 1)의 압력 차가 0.06Mpa보다 큰 경우(Scraper가 작동하는 경우)

그리고 각 경우에 튜브형 필터의 링과 링 사이의 간격이 $50 \mu\text{m}$ 이므로 이 간격을 기준으로 격자를 생성할 경우 격자의 수가 너무 많으므로 유동 계산을 수행할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 튜브형 필터를 Fig. 3과 같이 다공체(porous media)로 처리하여 유동을 해석하였다. 다공체로 처리할 경우 다공체 양단의 압력 관계식은 Darcy의 법칙과 추가 관성 손실항에 의해 다음과 같이 주어진다⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾.

$$\Delta p = -\left(\frac{\mu}{\alpha}v + C_2\frac{1}{2}v^2\right)\Delta m \quad (6)$$

여기서 α 는 층류유동일 때 porous media의 투과성을 의미하고, μ 는 유체의 점성계수, C_2 는 난류유동일 때 관성에 의한 손실계수를 의미한다. 그리고 v 는 다공체를 통과하는 유속, Δm 은 다공체의 두께를 나타낸다.

본 논문에서 입구유량을 기준으로 레이놀즈수가 약 70정도로 층류유동이므로 난류유동으로 인한 압력손실항 $C_2=0$ 으로 처리하였다.

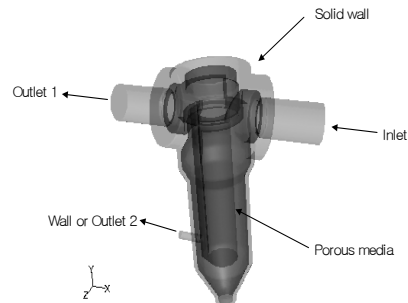


Fig. 3 The boundary conditions for the analysis

3. 해석결과 및 고찰

앞서 언급한 링 필터 내부 유동의 해석을 위해 2가지의 경우(2.2.2 경계조건 참조)에 대해 수치해석을 수행하였고 각각의 경우에 대해 Fig. 4와 5에 나타내었다. Fig. 4는 y 축 방향으로 가지화 단면을 나타낸 것으로 7개의 단면은 각각 $y_1=0.1 \text{ m}$ $y_2=0.162 \text{ m}$ $y_3=0.2 \text{ m}$ $y_4=0.3 \text{ m}$

$y_5 = 0.5m, y_6 = 0.492m, y_7 = 0.55m$ 로 구성하였다. Fig. 5는 z 축 방향의 가시화 단면 $z_1 = 0.0m$ 의 측정단면과 x 축 방향의 가시화 단면 $x_1 = 0.0m$ 의 측정단면을 나타낸 것이다.

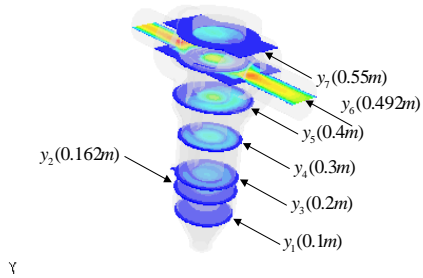


Fig. 4 The visualization y axis section.

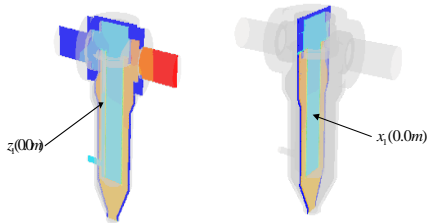


Fig. 5 The visualization z and x axis section.

3.1 Case 1의 수치해석 결과 및 고찰

3.1.1 속도벡터와 등속도 분포

Fig. 6은 Case 1(입구유량이 $20 m^3/h$ 이고 입구압력과 출구압력의 차가 $0.06Mpa$ 보다 작은 경우)에서의 필터 하우징 내부 및 필터 내부 주위의 전체 유동 형태를 보여주고 있다. 그림 우측의 입구에서 유입이 일어나고 유입유동은 배관을 통과하면서 경계층의 발달과 더불어 배관의 중심(core)에서 속도가 증가하는 형태를 나타내고 있다. 유입유동이 하류로 이동하면서 필터의 입구부(배관의 말단 부위)를 통과하기 직후의 위치에서 단면이 가장 작기 때문에 속도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이때의 최대속도는 약 $2.37 m/s$ 로서 입구유동($0.956 m/s$)에 비해 약 2.5배 정도 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 최대속도가 나타나는 지점을 지나면서, 유입유동은 필터의 주위로 유입되어 필터 내부로 유동하게 되는데 필터의 하부 바닥에

서의 유속에 비해 필터 상부에서의 유속이 더욱 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 필터의 하부에서부터 필터의 상부까지 필터의 중심(반경방향)으로 유입유동이 유입하여 출구쪽으로 유출되기 때문에 필터의 상부로 이동할수록 유량이 증가하여 상부에서의 속도가 증가하게 된다.

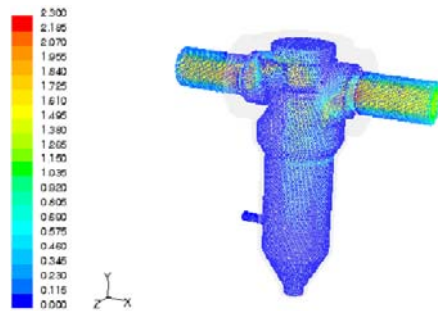


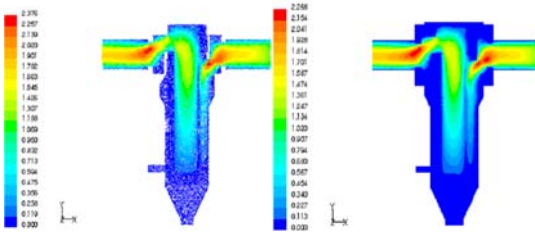
Fig. 6 Total flow conditions of Case 1.

필터와 하우징 사이에서는 유입배관을 통과한 유입유동이 필터 하부로 이동하면서 유동의 확산에 의해 속도가 감소하고 있음을 알 수 있다. 그리고 필터를 통과한 유동은 우측의 배관 유동과 동일하게 좌측의 배관을 통하면서 단면이 최소가 되는 지점에서 속도가 증대되었다가 배관의 출구에서 속도가 감소하는 경향을 보인다.

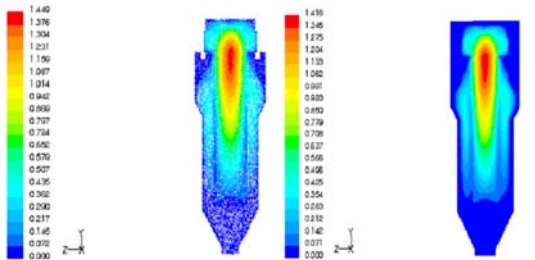
Fig. 7과 Fig. 8은 가시화 단면 $z_1(0.0m)$ 과 $x_1(0.0m)$ 에서의 속도벡터와 등속도 분포를 나타내고 있다. 앞서 Fig. 6에서 전체 속도벡터에서 알아보았듯이 z_1 단면(Fig. 7)의 속도 및 등속도 분포에서 입구에서 배관 하류로 이동할수록 배관 중심에서의 속도크기가 증가하고 최대속도가 발생하는 부위를 지나고 나면, 단면적의 증대로 인해 필터 외주부와 하우징 사이의 영역에서는 필터 하부로 이동할수록 속도가 감소함을 알 수 있다. 그리고 필터의 내부에서는 필터의 하부에서 상부로 이동할수록 속도 상승을 확인할 수 있다.

Fig. 8의 x_1 단면에서의 속도벡터와 등속도 분포에서 알 수 있듯이 필터의 하부에서 상부로 이동할수록 유량의 증가로 인해 필터의 최상부 부근에서 가장 속도 분포가 크고 필터 하부로 갈수록 속도의

크기가 감소하고 있음을 알 수 있으며 필터의 원주 방향으로 갈수록 속도분포가 감소하고 있다. 그리고 이물질 제거 scraper가 유입유동의 정반대방향에 설치되어 있기 때문에 필터와 하우징 사이의 유동은 대칭구조를 나타내었다.



(a) velocity vector (b) equi-velocity contour
Fig. 7 The velocity distributions at $z_1=0.0m$.

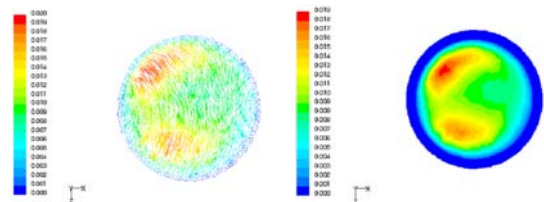


(a) velocity vector (b) equi-velocity contour
Fig. 8 The velocity distributions at $x_1=0.0m$.

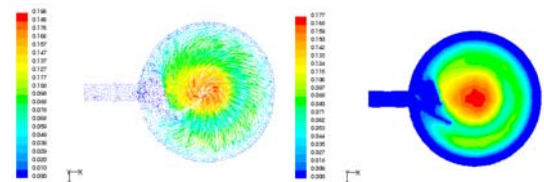
Fig. 9에서 Fig. 15는 필터 하우징의 높이 방향으로 7개 단면에 대한 속도벡터와 등속도 분포를 나타낸 그림이다. 이 그림은 앞서 설명된 그림과 달리 하우징 외부와 필터 및 scraper 내부의 유동의 형태를 확인할 수 있다. Fig. 9는 $y_1 = 0.1 m$ 에서의 유동형태를 나타내는 것으로 Fig. 9(b)의 등속도 분포 그림에서 하부 좌측부위(250° 부근)에서 약 $0.015 m/s$ 의 상승유동과 상부 좌측부위(130° 부근)에서도 약 $0.019 m/s$ 의 상승유동이 발생하고 이들 유동은 250° 방향에서 130° 방향으로 흐름이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 scraper의 설치위치가 180° 위상에 설치되어 있기 때문에 이 영향으로 인해 상승유동이 250° 와 130° 방향에서 발생되는 것으로 판단된다. Fig. 10은 $y_2 = 0.162 m$ 에서의 속도벡터와 등속도 분포를 나

타낸 그림이다. 180° 위치에서 하우징 외부로 돌출되어 있는 원통은 입구와 출구의 압력차가 $0.06Mpa$ 이상일 때 scraper의 작동에 의해 이물질을 제거하기 위한 출구이다. 그림에서 알 수 있듯이 scraper가 작동하지 않는 상태이므로 scraper 내부의 유동은 거의 정지 상태로 나타나며, 필터 주위에서는 필터의 반경방향을 기준으로 외부에서 내부로 유동이 유입되고 있음을 알 수 있다. 그리고 필터 중심위치에서 상·하 대칭구조의 속도분포를 나타내고, 필터의 중심을 향해 스윙 유동(swirl flow)이 발생함을 알 수 있다^{[13]-[14]}.

Fig. 11에서 Fig. 13은 가지화 단면($y_3 = 0.2m, y_4 = 0.3m, y_5 = 0.4m$)에서의 속도벡터와 등속도 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 10과 마찬가지로 필터 중심에서의 속도분포가 대칭적으로 나타나고 있으며 상부로 이동할수록 필터 중심의 최대속도는 $0.354, 0.804, 1.22 m/s$ 로 증가하고 있고, Fig. 13은 Fig. 11과 Fig. 12와 달리 필터 외주 부 약 85° 에서부터 -85° 까지의 영역에서 대칭 구조의 속도분포가 관찰되었다. 이는 입구 배관을 통해 하우징 내부로 공급되는 유입유동이 제트 효과를 나타내기 때문에 0° 를 기준으로 대칭적인 유동 구조를 유발하게 된다.



(a) velocity vector (b) equi-velocity contour
Fig. 9 The velocity distributions at $y_1=0.1m$.



(a) velocity vector (b) equi-velocity contour
Fig. 10 The velocity distributions at $y_2=0.162m$.

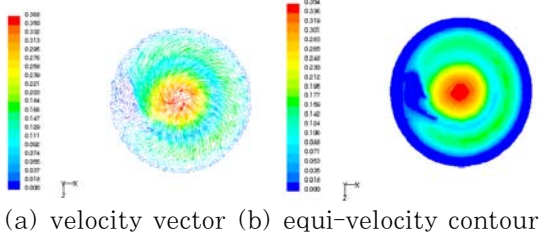


Fig. 11 The velocity distributions at $y_3=0.2m$.

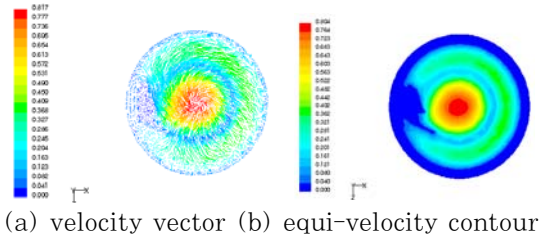


Fig. 12 The velocity distributions at $y_4=0.3m$.

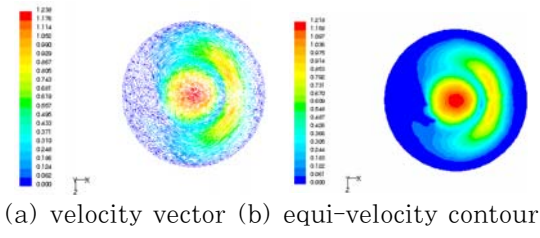


Fig. 13 The velocity distributions at $y_5=0.4m$.

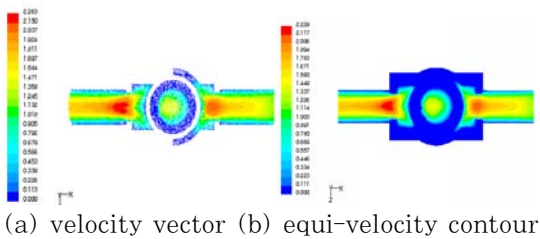


Fig. 14 The velocity distributions at $y_6=0.492m$.

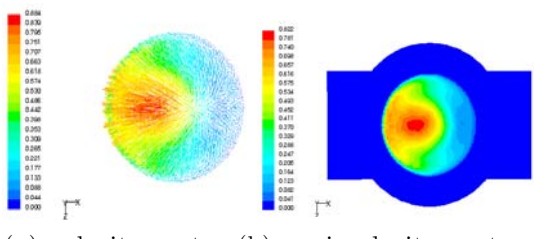


Fig. 15 The velocity distributions at $y_7=0.55m$.

Fig. 14는 가시화 단면($y_6 = 0.492m$)에서의 속도 벡터와 등속도 분포를 나타낸 그림이고, 이 단면에서는 유입과 유출이 동시에 발생하게 된다. 입구와 출구에서는 대칭적인 구조의 유동형태가 발생하고, 하우징 중심에서는 필터 하부에서 상부로 이동되고 있는 유동을 확인할 수 있다. 하우징 중심에서는 거의 대칭인 유동이 발생하며, 하우징 중심에서 외주방향으로 속도분포가 감소하고 있고 출구 쪽의 유출 영향으로 180° 부위의 속도구배가 반대 쪽의 속도구배보다 상대적으로 큼을 알 수 있다(10-12)

Fig. 15는 가시화 단면($y_7 = 0.55m$)에서의 속도 벡터와 등속도 분포를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 필터 하부로부터 상부로 이동하는 유동은 이 단면에서 방사방향으로 유출되는 형태를 나타내며, 특히 180°부위는 출구의 영향을 받아 다른 부위에 비해 속도분포가 큼을 알 수 있다.

3.1.2 정압 분포

속도벡터와 등속도 분포와 달리 필터의 하우징 및 필터 내부 그리고 scraper 내부의 정압력분포는 가시화 단면 z_1 과 x_1 에서 y_1 단면의 정압분포를 유추할 수 있기 때문에 정압분포는 z_1 과 x_1 단면에서만 나타내었다. Fig. 16은 가시화 단면 z_1 과 x_1 의 정압분포를 나타낸 것이다. Fig. 16의 가시화 단면 z_1 에서 하우징 주위의 압력분포는 속도분포(Fig. 9)에서 알 수 있었듯이 하우징 하부로 갈수록 유동속도의 결손 및 마찰손실의 증대로 인해 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 필터 내부에서는 필터를 통과하면서 발생된 압력강하와 출구부로의

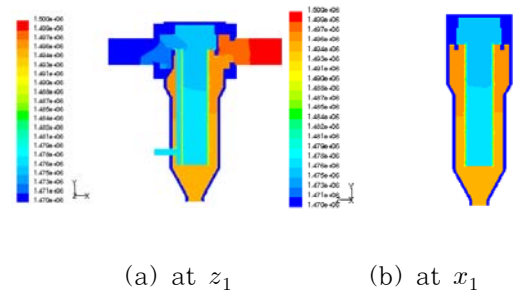


Fig. 16 The static pressure distributions.

유동발생으로 인해 마찰손실의 증대로 출구 쪽으로 갈수록 압력강하가 더욱 심함을 알 수 있다. 그리고 scraper 내부는 유동이 거의 정체되어 있기 때문에 거의 일정한 압력을 유지하고 있음을 알 수 있다. Fig. 16의 가시화 단면 x_1 에서 동일 단면의 속도벡터 및 등속도 분포는 대칭적 구조로 나타났기 때문에 정압력분포도 역시 좌우 대칭 구조의 압력분포로 나타났고, z_1 단면에서와 마찬가지로 필터 내부에서는 상부로 이동할수록 압력강하가 증가함을 알 수 있다.

3.2 Case 2의 수치해석 결과 및 고찰

3.2.1 속도벡터와 등속도 분포

Fig. 17은 Case 2(입구유량이 $20\text{ m}^3/\text{h}$ 이고 입구압력과 출구압력의 차가 0.06Mpa 보다 클 경우)에서의 필터 하우징 내부 및 필터 내부 주위의 전체 유동 형태를 보여주고 있다. 그림 우측의 입구에서 유입이 일어나고 또한 이물질 제거용 scraper에서 설치되어 있는 유출 부(하우징 아래 부분: Outlet 2)의 토출 압력을 0Mpa 로 설정하기 때문에 유입부의 압력(1.5Mpa)에 비해 상대적으로 압력이 낮으므로 scraper쪽에 설치되어 있는 유출부 쪽으로 급격한 유출이 발생되고 있음을 알 수 있고, 유출속도는 최대 37.7 m/s 정도였다.

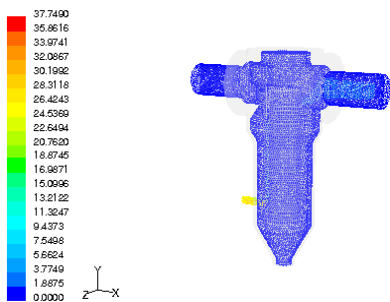
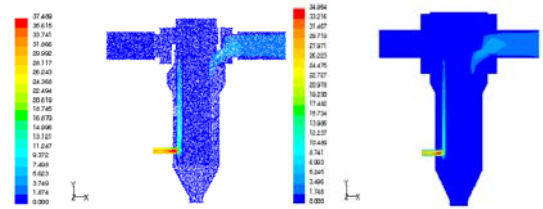


Fig. 17 Total flow conditions of Case 2.

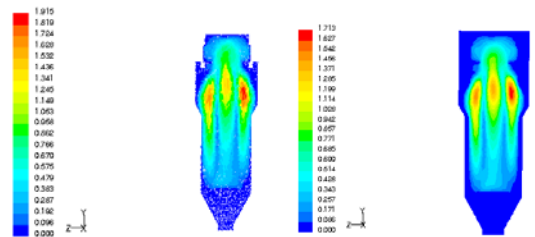
Fig. 18과 Fig. 19는 $z_1(0.0\text{m})$ 과 $x_1(0.0\text{m})$ 에서의 속도벡터와 등속도 분포를 나타내고 있다. Fig. 18의 속도 및 등속도 분포도에서 알 수 있듯이 Scraper 출구 쪽으로 급격한 유속 변화를 확인

할 수 있다.



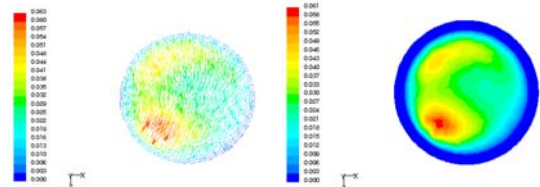
(a) velocity vector (b) equi-velocity contour

Fig. 18 The velocity distributions at $z_1=0.0\text{m}$.



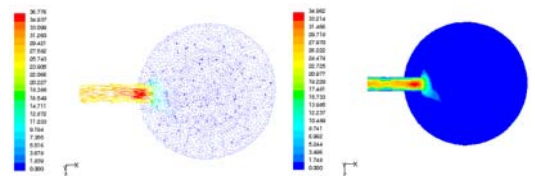
(a) velocity vector (b) equi-velocity contour

Fig. 19 The velocity distributions at $x_1=0.0\text{m}$.



(a) velocity vector (b) equi-velocity contour

Fig. 20 The velocity distributions at $y_1=0.1\text{m}$.



(a) velocity vector (b) equi-velocity contour

Fig. 21 The velocity distributions at $y_2=0.162\text{m}$.

Fig. 19의 $x_1(0.0\text{m})$ 단면에서의 속도 및 등속도 분포를 보면 Case 1과 달리 최대속도의 위치가 필터 외주부 두 곳에서 발생되고 있음을 알 수 있다.

이는 scraper 출구의 유출압력이 0Mpa로 유입압력 1.5Mpa과 압력차가 1.5Mpa이기 때문에 scraper 출구에서는 고속유동이 발생한다. 또한 scraper 출구의 위치가 하우징 하단부에 위치해 있고 유입부와 180°의 위상차로 설치되어 있다. 이와 같은 두 가지 영향으로 인해 x_1 단면에서는 하우징 외주 부 두 곳에서 최대속도를 갖게 되고, 빠른 속도로 필터 외주 부를 통해 필터 하단부로 흐름이 발생하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 20은 $y_1 = 0.1 m$ 에서의 유동형태를 나타내는 것으로 Fig. 20(b)의 등속도 분포 그림에서 하부 좌측(250°부근)에서 약 0.06 m/s의 하강유동과 상부 좌측(150°부근)에서도 약 0.04m/s의 하강유동이 발생하고 이들 유동은 250°방향과 150°방향으로 유입되어 scraper 하부에 설치되어 있는 outlet2으로 유출되어진다. 이는 scraper에 설치되어 있는 유출구의 위치가 180°위상에 설치되어 있기 때문에 이 영향으로 인해 하강유동이 250°와 150°방향에서 발생된다.

Fig. 21은 $y_2 = 0.162 m$ 에서의 속도벡터와 등속도 분포를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 scraper의 출구압력이 0MPa로 설정되어 있기 때문에 출구에서는 입구의 1.5Mpa과의 압력차로 인해 고속분류가 발생되고 있음을 알 수 있고,

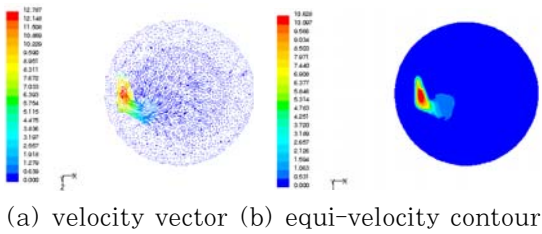


Fig. 22 The velocity distributions at $y_3=0.2m$.

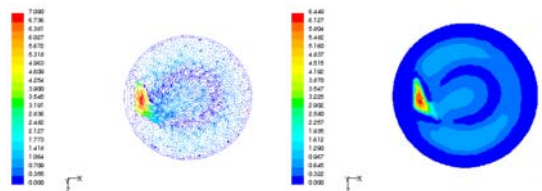
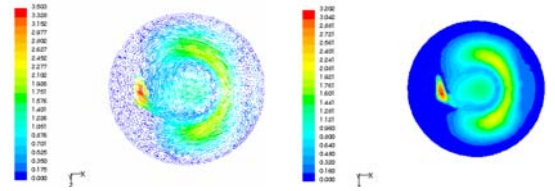


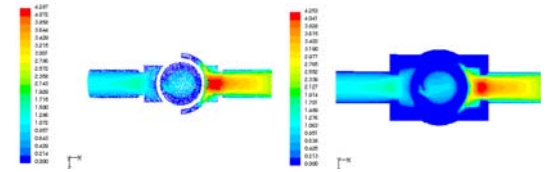
Fig. 23 The velocity distributions at $y_4=0.3m$.

scraper 내부에서도 고속유동이 발생하고 있음을 알 수 있다. 그러나 필터 주위 및 내부의 유동은 상대적으로 저속유동을 유지하고 있다. Fig. 22에서 24는 가시화 단면($y_3 = 0.2m, y_4 = 0.3m, y_5 = 0.4m$)에서의 속도벡터와 등속도 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 22의 그림에서 scraper 내부에서는 스월 유동(swirl flow)이 발생되고 있고, scraper와 필터의 연결부에 제트유동(jet flow)이 발생한다^{[13]-[14]}. y_4 단면의 유동(Fig. 23)도 y_3 단면과 유사한 형태로 나타났지만 상대적으로 속도가 감소함을 알 수 있다. 그러나 y_4 단면의 필터 외주 부에서는 y_3 단면에서와 달리 0°를 기준으로 대칭 형태의 원주방향의 유동이 발생하고 있다.



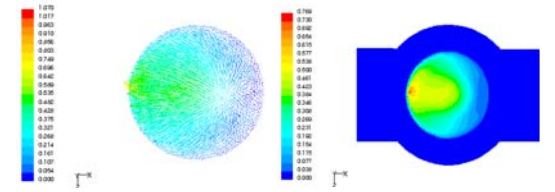
(a) velocity vector (b) equi-velocity contour

Fig. 24 The velocity distributions at $y_5=0.4m$.



(a) velocity vector (b) equi-velocity contour

Fig. 25 The velocity distributions at $y_6=0.492m$.



(a) velocity vector (b) equi-velocity contour

Fig. 26 The velocity distributions at $y_7=0.55m$.

y_5 단면(Fig. 24)은 y_4 단면의 속도 및 등속도 분포

와 달리 필터 내주부에서 쌍 와동(pairs of vortex)의 유동이 발생하였고, 필터 외주부에서는 0°를 기준으로 대칭인 유동이 발생하였지만 y_4 단면에 비해 속도구배가 더욱더 증가한다. Fig. 25는 가시화 단면($y_6 = 0.492m$)에서의 속도벡터와 등속도 분포를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 유출구(Outlet 1)에서 출구방향으로 유동이 발생하고 필터 중심 180°부근에서 필터 상부로 유동이 발생하고 있지만 유동은 저속을 유지하고 있다. 또한 y_7 단면(Fig. 26)에서도 Case 1의 경우와 유사한 경향의 유동을 나타내지만 scraper의 작동으로 유출속도가 상대적으로 감소하고 있음을 알 수 있다.

3.2.2 정압분포

Fig. 27은 가시화 단면 z_1 과 x_1 의 정압분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 scraper 출구의 압력이 0Mpa로 인해 필터와 연결되어 있는 scraper의 압력변화가 상부에서 하부로 이동할수록 급격히 변화함을 알 수 있다. 그러나 필터 내부와 하우징 외부의 압력변화 값은 최대압력과 최소압력의 차가 너무 커서 색깔의 분해능이 이에 따라가지 못하기 때문에 그림 상으로 확인이 곤란하나 필터 외부의 압력이 필터 내부의 압력보다 높다. 그러나 속도벡터와 등속도 분포에서 알 수 있었던 것과 같이 필터 상부에서 필터 하부로 갈수록 scraper 입구의 유속이 증가하는 경향을 나타내기 때문에 이물질 제거효과는 상부보다는 하부가 더 좋을 것을 판단된다. 따라서 균등한 분포의 이물질 제거를 위해서는 scraper 형상을 변경하는 방법과 scraper 출구를 한 개가 아닌 다수 개로 하는 방법도 고려하여야 할 것으로 판단된다.

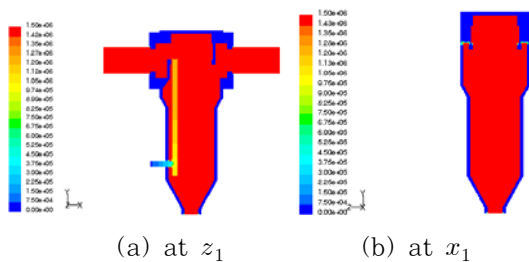


Fig. 27 The static pressure distributions.

4. 결 론

본 연구에서는 튜브 타입 연료유 필터의 유입유량을 각각 $20 m^3/h$, 입구부 압력이 1.5Mpa인 경우에 scraper가 작동할 때와 작동하지 않을 때의 유동장을 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 유동장 형태가 Case 1의 경우에 유입 유동이 최대가 되어지는 부위에서 가장 먼저 필터링 되고, 필터의 외주부와 하우징 사이 영역은 상부에서부터 하부로 속도가 감소하고 있기 때문에 상부에서 먼저 필터링 되고 하부로 갈수록 필터링이 감소하는 경향을 보인다.

2) Case 2의 경우 필터에 부착된 이물질 제거를 위한 scraper의 주위의 속도는 하부로 갈수록 증가하였기 때문에 상부에서보다는 하부에서 부착된 이물질을 더 용이하게 제거할 것으로 판단된다. 이로 인해 필터에 부착된 이물질의 제거는 필터 주위에서 불균등하게 발생될 것으로 판단된다.

3) 따라서 부착된 이물질의 불균등 제거를 방지하기 위해서는 scraper의 구조를 개선하는 방법과 scraper에 부착되어 있는 출구 부분을 한 개가 아닌 다수 개를 설치하는 방법을 고려하고, 또한 부착된 이물질을 제거하기 위해 다수 개의 출구에 동일한 압력을 인가할 것이 아니라 이물질 분포에 따라 압력을 달리 인가하는 방법을 고려하여야 한다.

참고문헌

[1] 한유동, 송인혁, “여과용 금속 Fiber 필터 개발”, 대한금속학회, 제10권, 제6호, pp. 737-744, 1997.
 [2] S. V. Patanker, “Numerical heat transfer and fluid flow”, Hemisphere, Washington, DC, 1980.
 [3] 명현국, 아라카와 추우이치, “수치 유체공학”, 한미출판사, 1995.
 [4] L. Chen, J. Y. Tu and G. H. Yeoh, “Numerical simulation of turbulent wake flows behind side-by-side cylinders”, Journal of Fluids and

Structures, Vol. 18, pp. 387~403, 2003.

- [5] FLuent v 6.0 User's Guide Manual
- [6] Gambit v 2.0 User's Guide Manual
- [7] I. F. Macdonald, M. S. El-Sayed, K. Now and F. A. L. Dullien, "Flow through Porous Media-the Ergun Equation Revisited", Industrial Engineering of Chemical Fundamental, Vol 18, No. 3, pp. 199-208, 1979.
- [8] J.P. Du Plessis and J.H. Masliyah, "Mathematical modeling of flow through consolidated isotropic porous media", Transport Porous Media, Vol. 3, pp. 145-161, 1988.
- [9] T. Mizushima, S. Takeshita and G. Unno, "Study on flow in a porous tube with radial mass flux", Journal of Chemical Engineering Japan, Vol 4, No. 2, pp. 135-140, 1971.
- [10] 서태원, 최주홍, 정재화, "세라믹필터에서의 축대칭 유동해석", 대한환경공학회지, 제20권, 제12호, pp. 1761-1769, 1998.
- [11] 서양근, 최주홍, 정진도, "정상상태하에서 다공성 필터 내의 흐름에 대한 전산 모사", 대한환경공학회지, 제18권, 제7호, pp. 867-877, 1996.
- [12] 박석주, 박영욱, "유입구 위치에 따른 세라믹 캔들 필터 집진장치 내의 입자거동수 치해석", 화학공학, 제 42권, 제 5호, pp. 577-587, 2004.
- [13] M. C. Potter and D. C. Wiggert, "Mechanics of fluids", Prentice-Hill, London, 1997.
- [14] 조영민, 홍성창, "배가스 정화용 박형 복합 세라믹 필터의 유체흐름 및 구조적 특성", 대한환경공학회지, 제20권, 제2호, pp. 255-266, 1998.

저 자 소 개



양장식(梁長植)
 1961년 1월생, 1984년 부산대학교 공과대학 기계공학과 졸업(학사), 1986년 동대학원 졸업(석사), 1995년 동대학원 졸업(박사), 현재 동의대학교 겸임교수, 부산대학교 기계기술연구원 전임연구원



김봉환(金奉煥)
 1958년 2월생, 부산대학교 기계설계학과 (공학사) 1982년 2월: 부산대학교 대학원 기계공학과 (공학석사) 1993년 2월 부산대학교 대학원 기계공학과 (공학박사) 1982년 1월~1997년 2월: 현대중공업 산업기술연구소 1997년 3월~2004년 12월 양산대학 기계설비과 2005년 3월~현재: 진주산업대학교 자동차공학과 부교수



박영범(朴榮凡)
 1967년 7월생, 1992년 2월: 한국해양대학교 조선공학과 (공학사), 1996년 2월: 한국해양대학교 대학원 조선공학과 (공학석사) 2002년 2월 부산대학교 대학원 기계설계공학과 박사과정수료 1995년 11월~2002년 2월: 한진중공업 구조설계 2003년 10월~현재 (주)디케이 이산기 대표이사