

소형선박 기관실의 자연발화 방지를 위한 환기조건에 관한 연구 A Study on the Ventilation Conditions for the Prevention of Spontaneous Combustion of Small Ship Engine Room

박 찬 수[†]

Chan-Su Park[†]

목포해양대학교 기관시스템공학부
(2008. 5. 30. 접수/2008. 11. 6. 채택)

요 약

소형선박 기관실의 자연발화 방지를 위한 적합한 환기조건을 제시하기 위하여 급, 배기구 수와 위치를 변화시키면서 나타나는 유동장과 온도장을 CFD시뮬레이션을 수행하여 분석하였다. 급, 배기구 수와 위치에 따라 유동형태가 상이하게 나타났으며, 배기구를 천장에 배치시킬 경우는 세로대칭선에 대해 좌우 측 천장의 중앙에 위치하는 것이 열 제거에 더 효과적임을 알 수 있었다. 급, 배기구 수를 증가시킬 때는 배기구수를 증가시키는 것이 더 적합한 환기조건이며, 소형선박 기관실의 자연발화방지에 가장 적합한 환기조건은 급기구는 가로대칭선에 대해 전후 측 천장의 중앙에, 배기구는 양측 벽 중앙에 배치시키는 경우로 예측되었다.

ABSTRACT

In order to show the most suitable ventilation conditions for the prevention of spontaneous combustion of small ship engine room, We have performed CFD simulation and analyzed flow and temperature fields. The flow patterns indicated differently according to the number and location of supply and exhaust opening. The case of locating the exhaust openings at the center of left and right side ceiling to the longitudinal symmetric line were more effective to eliminate the generated heat. When the number of supply and exhaust openings were increased, the case of increasing the number of exhaust opening showed more suitable ventilation conditions. The most suitable ventilation conditions in order to prevent the spontaneous combustion of small ship engine room was predicted that the supply opening located at the center of front and after side ceiling to across symmetric line, and the exhaust opening located at the center of both side walls.

Keywords : Ventilation conditions, Small ships engine room, Temperature fields

1. 서 론

소형선박의 구조 및 설비기준에 따르면 선원실과 선교 및 기관구역에는 통풍시킬 수 있는 적당한 통풍장치를 설치하도록 규정하고 있다. 이 규정에 따라 대부분의 연근해어선, 연안 화물선 및 여객선에서는 기관실 통풍장치를 조선소 및 선주의 경험에 따라 적절하다고 판단되는 장치를 설치하고 있는 실정이며 특히 소형선박을 포함한 70~100톤급 근해어선은 기계식 통풍장치를 설치하지 않고 자연식 통풍장치를 설치하는

경우도 있어 기관실의 통풍상태가 열악한 상황일 수밖에 없는 실정이다. 기관실의 통풍상태가 좋지 않을 경우는 기관실의 온도가 상승함에 따라 화재의 위험성이 증가할 뿐 아니라 기관의 출력이 저하됨으로서 일정한 선속을 유지하기 위해 엔진출력을 더 증가시켜 결과적으로 기관실의 온도를 더욱 높게 하는 요인이 되어 화재의 위험성은 더 증가하게 된다. 또한 기관실의 온도를 낮추기 위하여 기관실 출입문을 개방하고 항해하는 경우도 있어 갑작스러운 횡요나 황천 시에 기관실이 침수됨으로서 기관고장이나 침수에 의한 복원력 상실로 전복사고의 원인이 되기도 한다. 따라서 소형선박 기관실의 적절한 통풍장치의 설치로 기관실 온도상승

[†]E-mail: cspark@mmu.ac.kr

에 의한 화재의 위험요소를 미연에 방지하여 해난사고의 원인을 제거할 필요성이 있다. 이와 관련된 연구는 선박설비기준 개선방안연구¹⁾에서 소형선박 기관실 및 보조기관을 조사 분석하여 기관실에 필요한 연소공기량 및 통풍공기량을 산정하였다. 박²⁾ 등은 개구부의 유입유속, 유출개구부의 위치 및 크기가 공간 내와 천장의 온도분포에 미치는 영향에 관한 수치적 연구를 정방형 2차원 공간에 대해 수행하였고, 이³⁾ 대형 선박기관실 내의 공기유동을 수치적으로 해석하였다. 그 외의 연관된 논문들⁴⁻⁷⁾은 대부분 육상의 사무실, 주방, 지하주차장 및 건조실 등에 대한 급배기방식, 배기구 위치, 종횡비 및 급, 배기조건이 환기성능에 미치는 영향에 관한 연구들이다. 연근해를 운항하는 소형선박 기관실의 환기조건에 관련된 연구는 전무한 실정이며 이에 대한 기초적인 연구의 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 소형선박의 기관실의 환기조건이 기관실 내의 유동 및 온도분포에 미치는 영향을 분석하여 적합한 급, 배기구 위치와 수 및 기관실 자연발화의 방지 측면에서 적합한 환기조건을 제시하고자 한다.

2. 이론해석

2.1 지배 방정식

본 연구의 해석에 사용한 방정식은 3차원 비압축성, 비정상상태에 대한 연속방정식, 운동량방정식, 에너지 방정식이며 난류모델은 κ - ϵ 모델을 사용하였고 각 방정식은 다음과 같다.

(1) 연속 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0$$

(2) 운동량 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right] + \rho b_i$$

(3) 에너지 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{k}{C_p} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right)$$

(4) κ -방정식

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - C_D \rho \epsilon$$

(5) ϵ -방정식

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\epsilon}{k} C_1 G_k - C_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k}$$

2.2 경계조건

소형선박 기관실의 해석영역은 공기로 채워져 있으며 온도는 상온 300 K, 압력은 대기압, x, y 및 z 방향의 속도성분은 0이다. 기관실의 양측 벽면에 위치하는 배기구에서는 모든 속도성분 및 온도구배는 0이다. 또한 모든 벽면에 미끄럼불능(non-slip)조건과 단열조건을 적용하였고, 대칭면은 대칭조건인 구배가 0이라는 조건을 주었다. 따라서 모든 벽면에서 x, y 및 z 방향의 속도성분은 0이고 열전달도 0이다. 급기구에서는 엔진에서 발생하는 열제거에 필요한 공기가 급기구수에 따라 일정한 속도(2 또는 1.33 m/s)와 온도(308 K)로 급기 되는 것으로 하였다. 열제거에 필요한 공기량은 배용수등¹⁰⁾이 제시한 계산식을 이용하였다. 또한 기관실 중앙에 위치하는 엔진에서는 엔진마력에 상당하는 일정한 열유속(3.5 kW/m², 배용수등¹⁰⁾이 제시한 계산식을 이용)이 방사되는 것으로 가정하였다.

3. 실험방법

무인기관실에 효과적인 자동소화장치개발에 대한 연구⁹⁾에서 5톤 이하 선박 기관실의 대표적인 규격으로 제시한 모델(2.0 m×1.6 m×1.0 m)을 해석 공간인 소형선박 기관실로 선정하였다. 소형선박 기관실 내에 설치되는 엔진은 기관실 중앙에 위치하게 되므로 x축 방향과 z축 방향에 대해 대칭성이 있어 모델의 1/4부분(Figure 1)에 대해서만 해석하였다. 따라서 해석공간에는 두개의 대칭면과 두개의 수직벽, 밑바닥 및 천장이 있다. 분석 시 이해를 돕기 위하여 각각 후측벽, 좌측벽, 천장 및 밑바닥으로 표기하며 두개의 대칭면은 좌표축 원점을 기준으로 각각 우대칭면과 전방대칭면으로 한다. 급, 배기구의 규격은 위의 연구⁹⁾에서 제시한 0.3 m×0.3 m으로 하였으며 급, 배기구의 위치 및 수는 Table 1의 경우와 같이 선정하였으며 급, 배기구 위치는 Figure 1상에 나타내었다. 유한체적법 기반의 FLUENT(5.3)를 이용하여 전산모의실험을 수행하였다.

4. 결과의 해석 및 고찰

소형선박 기관실의 환기조건이 기관실 내의 유동 및

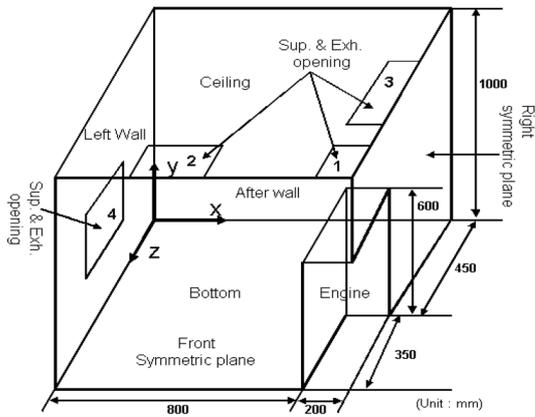


Figure 1. Calculation domain.(unit:mm)

온도분포특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 급기를 시작한 후 충분한 환기가 이루어진 시간대(600 sec)를 선정하여 유동장과 온도장을 비교 분석하였다.

4.1 급기구 2개소 배기구 2개소일 경우

4.1.1 급기구는 기관실 양측벽(Figure 1의 4)상에, 배

Table 1. Case of calculation

Case	Sup. opening number	Sup. opening location	Exh. opening number	Exh. opening location
A	2	4	2	3
B	2	4	2	2
C	2	3	2	4
D	2	2	2	4
E	3	1, 3	2	4
F	2	4	3	1, 2

기구는 천장의 가로대칭선을 기준으로 전, 후 측 천장 중앙(Figure 1의 3)에 위치할 때

Figure 2는 급기구가 기관실 양측 벽에, 배기구는 천장의 가로대칭선에 대해 전, 후 측 천장중앙에 배열시켰을 경우의 속도장과 온도장을 나타내고 있다.

엔진의 좌측 영역에는 시계방향의 와류를 동반한 유동이 발생되고 엔진과 기관실 후측벽 사이의 영역에서는 별도의 와류를 동반한 유동이 발생되고 있다.

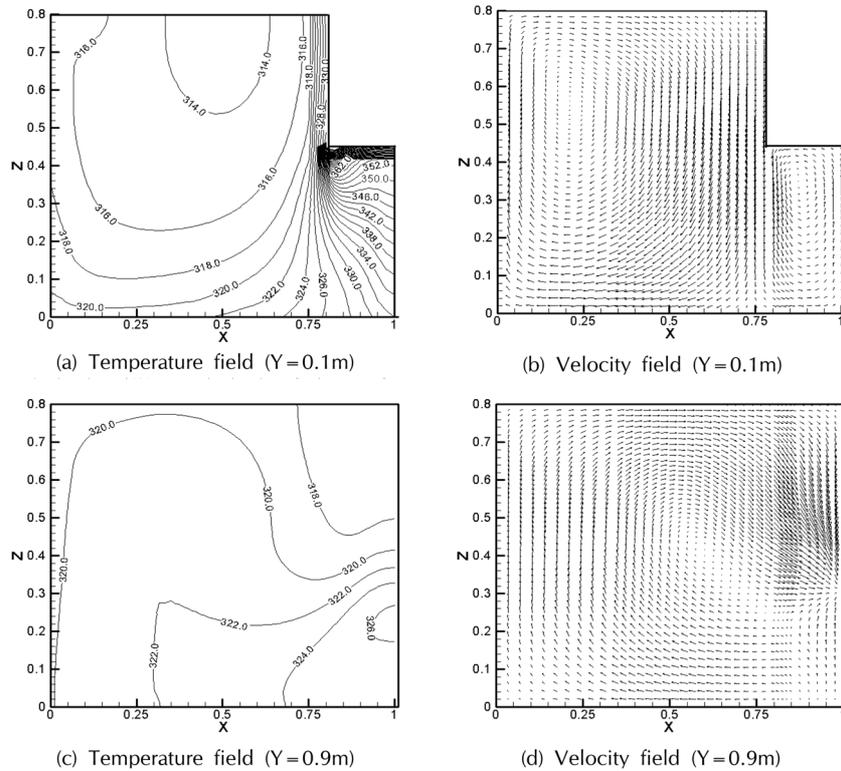


Figure 2. Temperature and velocity fields according to the height.

온도장을 보면 기관실 밑바닥면에 근접한엔진 좌측 영역(a)은 314~322 K, 그리고 천장에 근접한 영역(c)에서는 318~326 K 범위의 온도분포를 나타내고 있다. 또한 엔진과 기관실 후측벽 사이영역은 322 K 이상의 등온선대가 조밀하게 형성되어 이 영역의 열제거 효과가 낮음을 알 수 있다. 이것은 엔진좌측 영역의 유동과 방향이 반대인 와류를 동반한 유동이 발생되기 때문에 이 영역에 정체구역이 형성되어 환기가 원활하지 못하기 때문이다. 따라서 이 영역 내에 각종 유류나 가연성물질이 놓여있을 경우 유류가 증발하여 공기와 혼합되어 정체하게 되며 일정농도 이상이 되었을 때는 자연발화의 위험성이 높다고 할 수 있다.

4.1.2. 급기구는 양측벽(Figure 1의 4)상에, 배기구는 천장의 세로대칭선을 기준으로 좌, 우측 천장중앙(Figure 1의 2)에 위치할 때

Figure 3은 급기구는 Figure 2와 동일한 조건이고, 배기구만 천장의 세로대칭선에 대해 좌, 우측 천장중앙에 배열시켰을 경우의 속도장과 온도장이다.

Figure 2와 비교하여 보면 유동장은 전 영역에서 시계방향의 와류를 동반한 유사한 유동형태를 보여주고

있다. 온도장은 Figure 2보다 전반적으로 낮은 온도분포를 보여주고 있다. 이 같은 현상은 배기구를 향하는 유동이 Figure 2보다 더 강하게 형성되어 환기가 원활하게 이루어지기 때문인 것으로 여겨진다. 또한 엔진과 기관실 후측벽 사이영역에서도 더 낮은 등온선대가 형성되어 있다. 따라서 천장의 가로나 세로대칭선에 대하여 배기구를 좌, 우와 전, 후 천장중앙에 배치시킬 경우는 좌, 우 천장중앙에 배치시키는 경우가 열제거에 더 효과적임을 예측 가능하다.

4.1.3. 급기구는 천장의 가로대칭선을 기준으로 전, 후측 천장중앙(Figure 1의 3)에, 배기구는 양측벽(Figure 1의 4)상에 위치할 때

Figure 4는 Figure 2 경우에서 급, 배기구의 위치를 서로 바꾼 경우이다. 엔진 좌측영역(a)은 Figure 2보다 높은 온도분포이지만 천장에 근접한 영역(c)은 더 낮으며, 엔진과 후측벽 사이의 영역은 320 K 이하의 등온선대가 거의 전 영역에 걸쳐서 형성되어 있다. 이것은 급기류의 영향으로 더 강한 유동이 형성되기 때문이다.

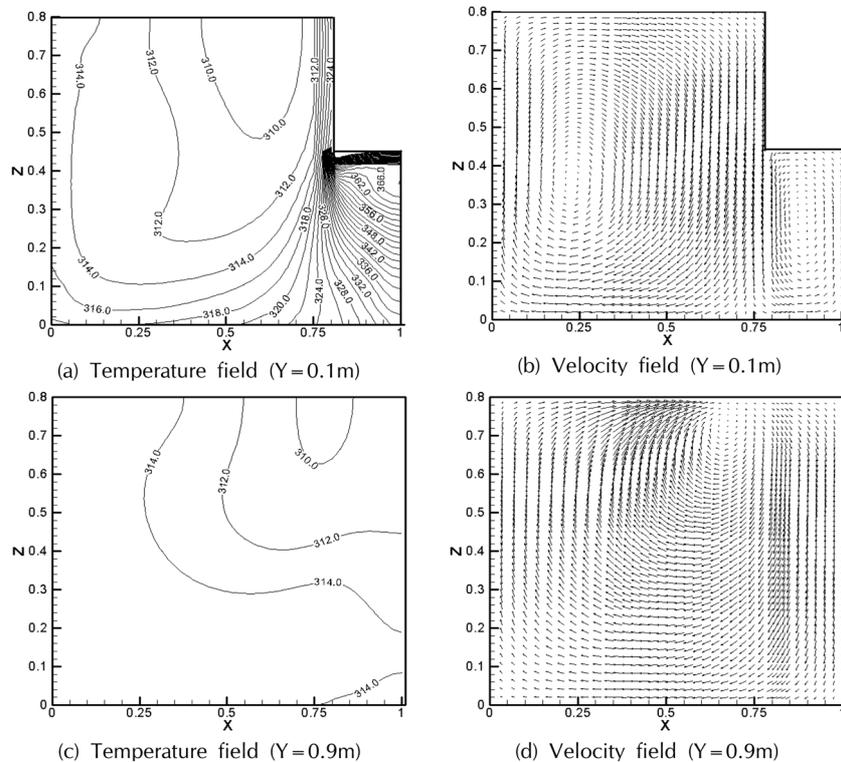


Figure 3. Temperature and velocity fields according to the height.

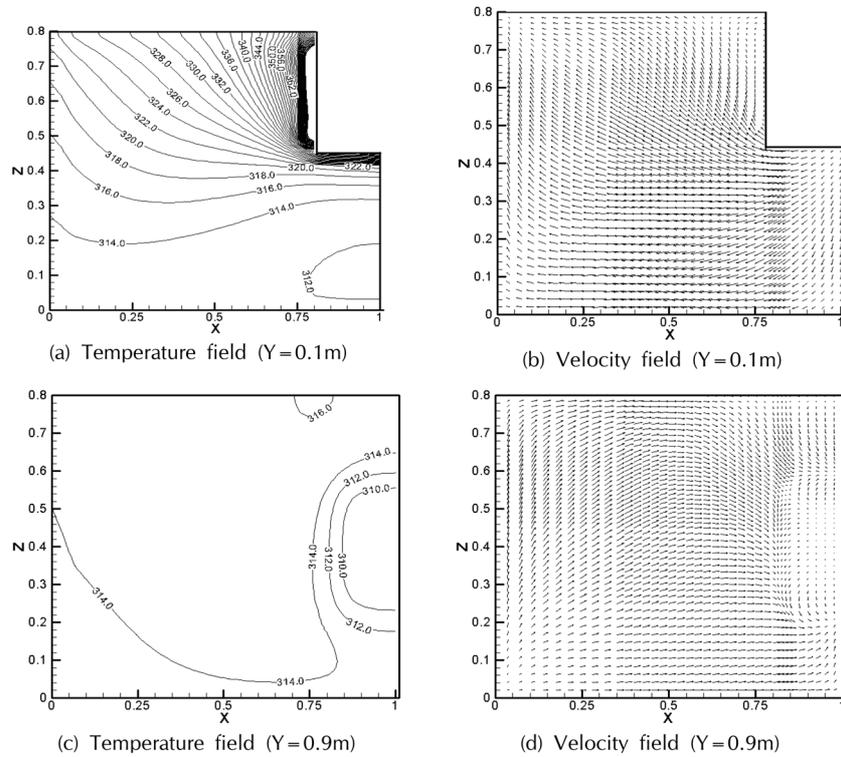


Figure 4. Temperature and velocity fields according to the height.

4.1.4. 급기구는 천장의 세로대칭선을 기준으로 좌, 우 측 천장중앙(Figure 1의 2)에, 배기구는 양측벽(Figure 1의 4)상에 위치할 때

Figure 5는 Figure 3의 경우에서 급, 배기구 위치를 서로 바꾼 경우이다. 온도장을 보면 전 영역에서 Figure 3의 경우보다 더 높은 온도분포를 나타내고 있다. 이것은 전 영역에서 Figure 3의 경우보다 더 미약한 유동이 형성되기 때문인 것으로 생각된다. 이와 같은 현상으로부터 급기구의 위치가 열 제거 효과에 큰 영향을 미치는 것을 예측 할 수 있다.

또한 Figure 4와 비교하여 보면 전 영역에서 더 높은 온도분포를 보임을 알 수 있다. 따라서 급기구 2개소를 천장의 대칭선을 기준으로 배치시켜야 할 경우는 좌, 우측 천장중앙보다는 전, 후 측 천장중앙에 배치시키는 것이 열 제거에 더 적합한 환기조건으로 여겨진다.

4.2 급기구수 3개소 배기구수 2개소일 경우

4.2.1 급기구는 천장중앙(Figure 1의 1), 천장의 가로대칭선을 기준으로 전, 후 측 천장중앙(Figure 1의 3)에, 배기구는 양측벽(Figure 1의 4)상에 위치할 때

Figure 6은 급기구 수를 2개소에서 3개소로 증가시

킨 경우이다. Figure 4와 비교하여 보면 기관실 모든 영역에서 약간 높은 등온도선대가 형성됨을 보여주고 있다. 이 같은 현상은 급기수를 증가시켜서 동일한 유량을 급기하기 때문에 급기속도의 저하로 인하여 기관실 전 영역에서 더 미약한 유동이 발생되기 때문이다. 따라서 급기구 수를 결정할 때는 이와 같은 영향을 고려해야 할 것으로 여겨진다.

4.3 급기구수 2개소 배기구수 3개소일 경우

4.3.1 배기구는 천장중앙(Figure 1의 1), 천장의 세로대칭선을 기준으로 좌우 측 천장중앙(Figure 1의 2)에, 급기구는 양측벽(Figure 1의 4)상에 위치할 때

Figure 7은 배기구 수를 2개소에서 3개소로 증가시킨 경우이다. Figure 3과 비교하여 보면 기관실 밀바닥면에 근접한 영역의 온도분포는 더 낮게 나타나고 천장에 근접한 영역에서는 약간 높은 온도분포를 보이고 있어 Figure 3보다 열제거 효과가 더 좋음을 알 수 있다. 따라서 동일한 급기량에서 배기구 수를 증가시키면 열제거에 더 효과적임을 알 수 있다. 또한 Figure 6과 비교하면 전 영역에서 더 낮은 온도분포를 나타내지만 엔진과 후측벽 사이의 영역은 높고 조밀한 등온

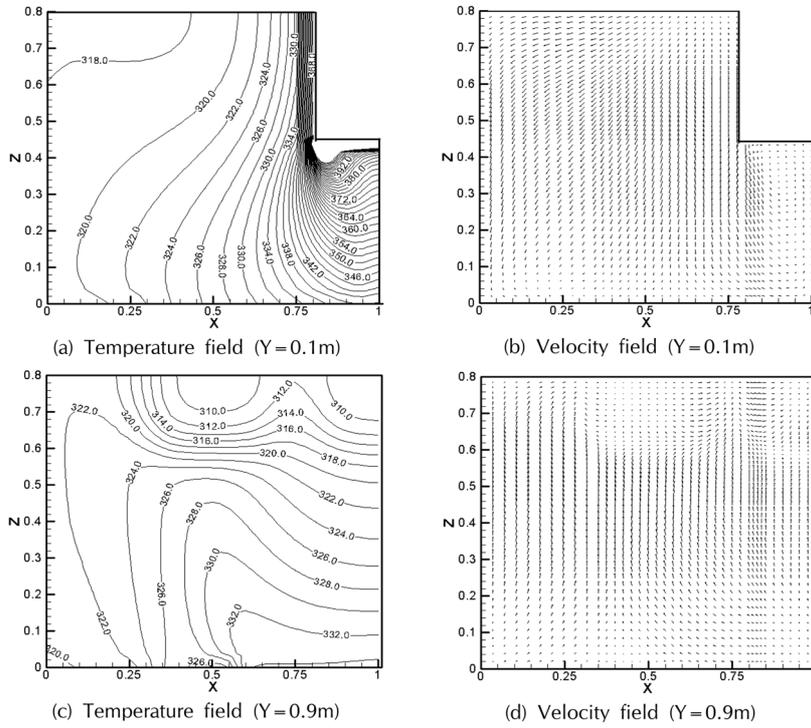


Figure 5. Temperature and velocity fields according to the height.

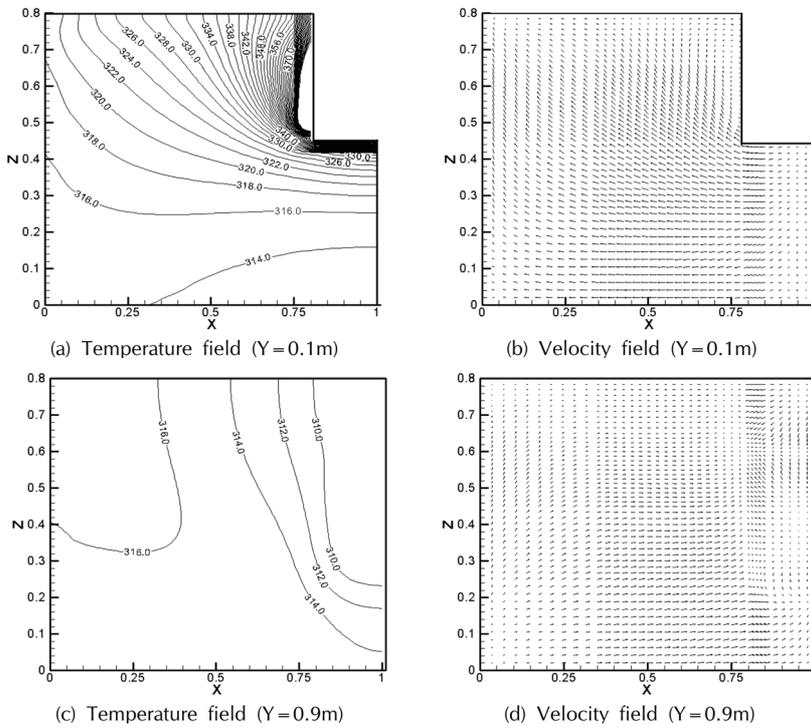


Figure 6. Temperature and velocity fields according to the height.

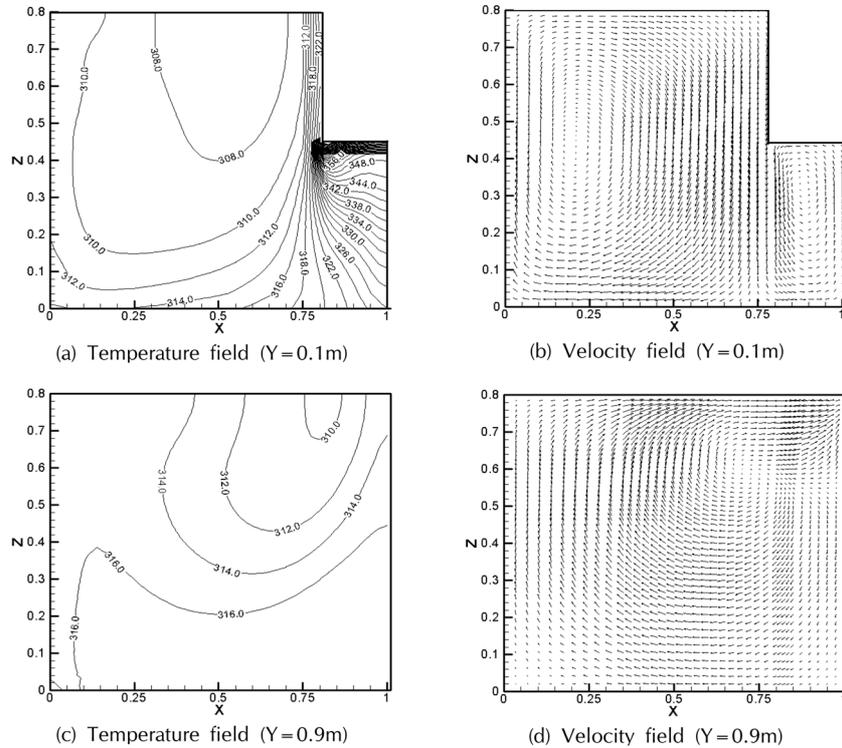


Figure 7. Temperature and velocity fields according to the height.

도선대가 형성되어 있다. 따라서 이 영역의 열제거 효과가 미흡함을 알 수 있으며 자연발화의 위험성도 존재한다고 볼 수 있다.

4.4 환기조건에 대한 각 벽면의 온도분포 비교

Figure 8은 기관실의 밑바닥면, 후측벽과 좌측벽의 온도분포를 나타내고 있다. 기관실에서 발생하는 빌지(유성혼합물)는 빌지 웰에 모이도록 설계되어 있고 빌지 웰은 엔진의 전후 측과 기관실 각 벽의 모서리 부근에 일반적으로 설치되어 있다. 또한 소형선박의 특성상 기관실 내에 각종 가연물질(윤활유, 소제용 기름 및 기름걸레 등)이 보관되어 있으며, 각 배관계통에서 유출된 연료유가 일반적으로 기관실의 바닥에 고여 있는 경우도 있다. 자연발화를 예방하기 위해서는 이러한 특성을 감안하여 적합한 환기조건을 제시할 필요성이 있다. 따라서 앞에서 언급한 급배기조건에 따른 자연발화의 위험성을 분석하기 위해 각 환기조건에 대한 각 벽면의 온도분포를 Figure 8에 나타내었다.

Figure 8의 (a)는 Figure 2와, Figure 8의 (b)는 Figure 3과, Figure 8의 (c)는 Figure 4와, Figure 8의 (d)는 Figure 5와, Figure 8의 (e)는 Figure 6과 그리고 Figure

8의 (f)는 Figure 7과 각각 동일한 환기조건에서 각 벽의 온도분포를 보여주고 있다.

Figure 8의 (a),(b),(d) 및 (f)는 엔진과 후측벽 사이의 영역에 자연발화의 위험성이 있고, Figure 8의 (c)와(e)는 엔진에 근접한 좌측 영역에 이러한 위험성이 존재한다. 따라서 앞에서 언급한 기관실의 빌지 위치와 가연물질을 기관실 모서리 부근에 보관하는 특성 등을 고려하였을 경우에는 엔진과 후측벽 사이의 온도가 낮고 엔진에 근접한 좌측영역과 모든 모서리 부근에서 비교적 낮은 온도분포를 나타내는 Figure 8의 (c)의 환기조건이 기관실 자연발화 예방과 발생열 제거에 적합하다고 볼 수 있다.

5. 결 론

소형선박 기관실의 자연발화를 예방하는데 적합한 환기조건을 제시하기 위하여 수치적 연구를 수행하였다. 환기조건에서 급, 배기구 수와 위치를 변화시키면서 유동장과 온도장을 분석한 결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

- 1) 급, 배기구의 위치 및 수에 따라 와류를 동반한

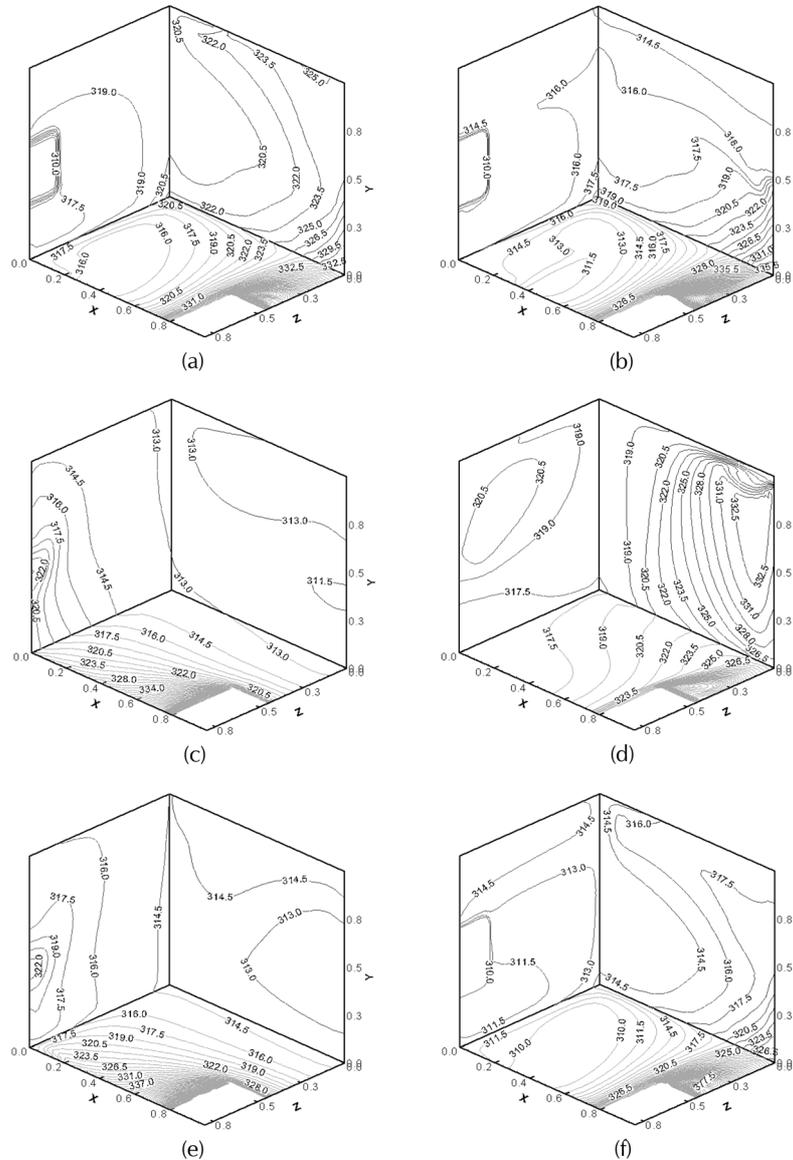


Figure 8. Temperature fields of the front, left and bottom wall according to the conditions of ventilation.

유동과 미약하고 강한 유동이 발생되어 유동패턴의 상이함을 확인할 수 있었다.

2) 급기구가 기관실 양측 벽에 위치하고 배기구를 천장에 배치시킬 경우는 세로대칭선을 기준으로 좌우측 천장중앙에 배치시키는 것이 열 제거에 더 효과적인임을 알 수 있다.

3) 급기구를 천장에 배치시킬 경우는 가로대칭선에 대해 전 후측 천장중앙에 배치시키는 것이 더 적합한 환기조건으로 나타났다.

4) 급기구 수와 배기구 수를 증가시킬 경우는 급기구 수 보다 배기구 수를 증가 시키는 경우가 열 제거에 더 효과적인임을 알 수 있다.

5) 소형선박 기관실의 특성을 감안한 각 벽면의 온도분포를 분석한 결과 자연발화 방지에 가장 적합한 환기조건은 급기구는 가로대칭선에 대해 전후 측 천장의 중앙에, 배기구는 양측 벽에 배치시키는 경우로 예측되었다.

기호설명

μ_{eff}	: $\mu + \mu_t$
u	: x축 방향의 평균속도, $[m \cdot s^{-1}]$
v	: y축 방향의 평균속도, $[m \cdot s^{-1}]$
μ_{eff}	: 유효점성계수, $[kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}]$
μ	: 점성계수, $[kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}]$
μ_t	: 난류점성계수, $[kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}]$
ρ	: 기체밀도, $[kg \cdot m^{-3}]$
g	: 중력가속도, $[m \cdot s^{-1}]$
k	: 난류운동에너지, $[m^2 \cdot s^{-1}]$
ϵ	: 난류소멸율
G	: 난류운동에너지 생성항
C, C_1, C_2	: 실험적 난류모델상수
C_p	: 정압비열 $[kJ/kg^\circ C]$
T	: 온도, $[K]$
P	: 압력, $[kg \cdot m^{-2}]$
h	: 엔탈피 $[J]$

참고문헌

1. 선박기술협회, “선박설비기준 개선방안연구”, 해양수산부보고서(2006).
2. 박원철, 김재일, “유출구부의 위치와 크기에 따른 천

장의 온도분포에 관한 수치연구”, 한국산업안전학회지, 제16권 제2호, pp.7-12(2001).

3. 이혁, 서형균, “선박의 기관실 통풍해석”, 대한조선학회지, 제41권 제5호, pp.63-69(2004).
4. 김경환, 최호선, 이감규, 한화택, 권용일, “사무실에서 환기용 급배기구 위치에 따른 실내 공기환경 특성”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.734-738(2004).
5. 강영모, 한화택, “보조급배기 방식에 의한 주방환기 시스템의 성능”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.707-713(2001).
6. 송규선, 조영진 외 “환기시스템 방식에 따른 지하주차장의 환기효율”, 공기조화 냉동공학회 동계학술발표회 논문집, pp.355-362(1999).
7. 최석호, 이관수, “Dry Room내의 환기성능 개선에 대한 연구”, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, pp.650-655(2001).
8. Kato, S. and Murakami, S., “Numerical study on diffusion in a room with a locally balanced supply-exhaust airflow rate system”, ASHRAE Transactions, Vol.98 Part 1, pp.218-238(1992).
9. 선박기술협회, “무인기관실에 효과적인 자동소화장치 개발 연구”, 해양수산부 보고서(2005).
10. 배용수, “Diesel 기관이 설치된 선박에 있어서의 기관실내 Heat Generation과 Ventilation장치”, 기술현대, 제8권 제2호, pp.57-62(1988).