

열원이 있는 밀폐된 선박 기관실에서의 난류기류에 관한 수치적연구

박 찬 수*

Numerical Simulation of Turbulent Air-flow in a Closed Engine Room with Heat Source in a Ship

C. S. Park

Key words : Velocity Profile(속도분포), Temperature profile(온도분포), Supply Air downword Angle(급기 하향각), Exhaust Air Port Area(배기구면적)

Abstract

Ventilation of the marine engine room is very important for the health of the workers as well as the normal operation of machines. To find proper ventilation conditions of this engine room, numerical simulation with standard $k - \epsilon$ model was carried out. In the present study, the marine engine room is considered as a closed space with a heat source and forced ventilation ducts. The injection angle of air supply is found to be important. Injection with downword angle depresses recirculation flow, causing a strong steam in the wider space of the room. Ventilation and removal of the released heat are promoted with this pattern. There is a possibility of local extreme heating at the upper surface of engine when supply and exhaust ports of air are in bilateral symmetry. The effect of the increase of exhaust port area on ventilation decreases as the number of supply port increases.

1. 서 론

1-1. 연구 배경

우리 나라 해운선사들은 경제 성장으로 선박 근

무의 장점이 사라져 급속한 이직현상과 선박근무
기피현상들이 일어나 선원 충원과 선박 안전운항
에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

위와 같은 현상들에 대한 대책으로 각 선사에서

* 북포해양대학교 (원고접수일 : 97년 11월)

는 선박 근무자들에 대한 복지 부분에 많은 관심을 갖고 개선해 가고 있다. 그러나 선박 부서중 하나인 기관부의 근무여건에 대해서는 다소 소홀한 점들이 있다고 보여진다. 따라서 선박내 근무환경을 개선하여 작업여건을 향상시키는 면에서의 노력 또한 필요한 시점이라고 생각된다. 선박 구조 특성상 기관실은 거의 밀폐된 공간이라 생각할 수 있으며, 이 밀폐된 공간 안에 육상 기관공장과 버금가는 각종 기기들이 장착되어 있고 선박 운항시 이들 전 기기들이 충분한 성능을 발휘하여야만 선박의 안전운항이 가능하다. 그러므로 기관실 당직 근무자는 당직 순찰을 철저히하여 예기치 않은 사고를 미연에 방지하여야 할 의무가 있다.

하지만 위와 같은 한정된 공간에 밀집 배치된 각종 기기들에서 발생하는 열과 소음 및 오염물질 때문에 계속 근무하는데 많은 어려움이 있으며, 환기 요건이 좋은 육상공장 시설과 비교가 되지 않을 정도로 근무 여건이 취약한 형편이다. 밀폐 공간에 대한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Larsson¹⁾은 좌측 상부에 급기구가 있고 우측 상부에 배기구가 있는 실내공간에서 공급 공기와 벽면의 온도가 0℃, 35℃ 및 -38℃ 인 경우에 대해서 레이놀즈수가 1100일 때 실내공간의 유동현상을 유량함수를 사용하여 2차원적으로 수치 해석하여 실험 결과와 비교하였고, Suzuki²⁾는 실내 환기시 오염 물질 입자의 궤적을 추적하여 오염 물질 입자의 거동을 이론적으로 연구하였으며, Murakami³⁾등은 이러한 k-ε 난류모델을 써서 단순한 정육면체의 모델로 입출구 위치를 변경시키면서 기류유동을 계산하였으며 실험 결과와 비교하였다.

Nishoka⁴⁾는 청정실내 수직 층류속에 열원을 설치하고 표준 k-ε 난류 모델을 적용하여 열원 상부의 온도분포를 계산하였고 실험 결과와 비교하였으며, 그 결과로 청정실내 열발생장치의 해석에 수치적 계산이 유용하게 사용될 수 있음을 보였다.

밀폐 공간에 대한 기존 연구들은 사람의 거주 또는 작업 공간이라는 측면에서 주로 육상 건물내의 공간에 치우쳐 있고, 선박의 밀폐 공간(기관실)에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 그래서 본 연구는 엔진등 발열체가 설치되어 있고 강제급배기를

통해 환기가 이루어지는 선박내 기관실을 밀폐형 공간으로 보아 실제에 가깝게 모델링하여, 표준 k-ε 난류모델을 사용해 기류유동을 해석하고 기관실 공기의 온도 분포를 구하여 효율적인 기관실 환기의 조건을 검토하여 발생열 제거 및 근무 여건 개선과 기기 유지에 적절한 공조 및 환기 시스템을 구현하는 설비의 설계에 필요한 기초 자료를 얻는 것을 그 목적으로 한다.

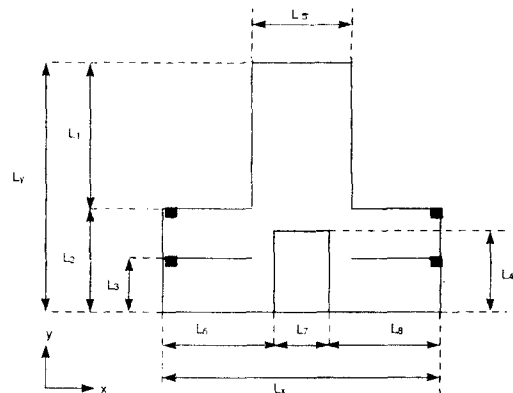
2. 이론 해석

2-1. 이론 해석

선박의 기관실은 크게 선박 중앙측에 위치하는 중앙 기관실형과 선박 선미측에 위치하는 선미 기관실형으로 구분할 수 있다.

본 연구는 Fig. 1에서와 같이 되어 있고 중앙 기관실형을 모델로 한다. 기관실내에는 2층으로 분리되어 있고 중앙에는 주엔진이 발열체로 자리하고 있다.

기관실내 덕트 배열을 실제와 같이 모사하는데 어려움이 많으므로 기관실 1층의 양쪽벽(좌우측)과 2층의 양쪽벽(좌우측)에 급배기를 위한 공조 덕트가 설치되어 있으며 이로부터 환기에 필요한 공기가 공급되거나 배기되는 것으로 하였다.



Symbol	Lx	Ly	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Length (m)	14.5	12.8	7.3	5.5	3.0	4.5	4.7	5.9	2.7	5.9

Fig. 1 Schematic diagram of engine room

필요한 공기는 덕트출구에서 일정속도로 공급되며 공급수 및 위치, 공급각도가 조절가능하다. 기관실 중앙에 위치한 주 엔진은 부하에 따라 일정한 열유속을 발생시킨다고 본다. 또한 기관실 온도는 외기온도에 영향을 받는 것으로 하였다.

기본 방정식에서 유도된 지배방정식은 다음과 같은 일반적인 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho \bar{u} \Phi) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \bar{v} \Phi) = \frac{\partial}{\partial x} (\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial y}) + S_\phi \quad (1)$$

위 식의 일반변수 Φ , 확산계수 Γ , 생성항 S_ϕ 를 정리하면 표 2와 같다.

Table 1. Summary of governing equations.

equation	Φ	Γ	S_ϕ
continuity	1	0	0
x - momentum	\bar{u}	μ_{eff}	$\frac{\partial}{\partial x} [\mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [\mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y}] - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} - \frac{2}{3} \theta (\mu_{eff} \theta + \rho k)$
y momentum	\bar{v}	μ_{eff}	$\frac{\partial}{\partial x} [\mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [\mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}] - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} - \frac{2}{3} \theta (\mu_{eff} \theta + \rho k)$
turbulent kinetic energy	k	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}$	$G - C_D \rho \epsilon$
dissipation rate	ϵ	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}$	$\frac{\epsilon}{k} (C_1 G - C_2 \rho \epsilon)$
energy	T	$\frac{\lambda}{C_p} + \frac{\mu_t}{\sigma_T}$	$\frac{w_a}{C_p} = w_T$

본 해석에 사용된 난류 모델 상수는 Table 1 과 같다.

Table 2 Turbulent constants

C1	C2	C_μ	CD	σ_k	σ_ϵ
1.44	1.92	0.09	1.0	1.0	1.3

해석에 필요한 초기 조건 및 경계 조건은 다음과 같다.

계절중 봄철의 온도를 기준하여 기관실 2층의 벽면온도와 대기온도는 25 ℃, 기관실 바닥면과 1층 벽면의 온도는 15 ℃로 주었고, 발열기기의 발

생열량은 기관실내 모든 기기들의 발열량을 계산하여 기관실 중앙에 위치한 주엔진 단위 면적당의 발열량으로 주어진 값이다. 급배기구를 제외한 모든 벽에서의 유속은 0 이고 기관실 상부측 벽은 단열 조건이다.

기본 방정식에서 유도한 이상의 방정식들은 서로 연립된 타원형 비선형 편미분방정식이다. 해석적인 방법으로는 해를 구하기 어려우므로 수치 해석적인 방법으로 해석한다. 유체 유동 해석에 적용되는 유한 체적법 (finite volume method)을 사용하여 지배 방정식들을 대수 방정식으로 변환한 후 전산 프로그램을 이용하여 각각의 해를 얻는다.

사용된 격자수는 50×50 이며 유동장을 계산할 때 연속 방정식을 만족함에도 불구하고 그릇된 결과가 나오는 것을 방지하기 위하여 x, y방향의 속도 u, v에 대해서는 엇갈림 격자(staggered grid)를 사용하였고 온도 대해서는 일반 격자를 사용하였다.

이상에서 유도된 이산화 방정식과 경계 조건으로부터 수치해를 구하기위해 SIMPLE 해법을 사용하고 각 방정식의 계산에는 TDMA (Tri-diagonal Matrix Algorithm)를 사용하여 해를 구한다. 수렴 조건으로는 일회 반복마다 각 검사체적에서 계산한 잔류 생성항의 최대값의 절대치가 10⁻⁶ 이하이고 일정한 지점에서 속도와 같은 주요 변수들의 반복 계산 결과가 거의 변화하지 않을 때를 수렴한 것으로 판정한다. 반복계산과정에서 발산을 방지하고 수렴 성능을 극대화하기 위한 이완 계수를 0.2~0.6 정도의 범위에서 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 급·배기구 수 및 위치 변화에 따른 실내 환기 특성

3-1-1. 급기구 2개소, 배기구 2개소로 환기하는 경우

Fig.2 는 급기구로부터 공급속도 14.64 m/s, 온도 25 ℃의 대기가 강제 급기되는 상황에서 기관실내 유동상태를 속도벡터선도로 나타낸 것이다. 급기구는 좌측 1층 및 우측 2층에 있고 우측 1층

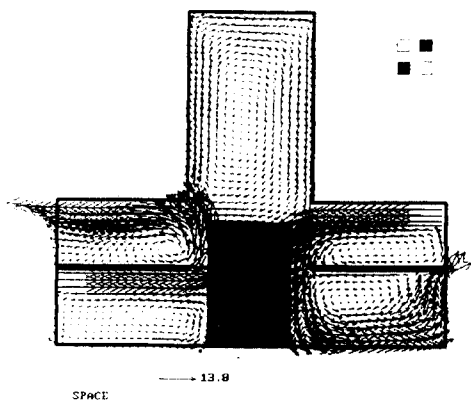


Fig. 2 Velocity field of the domain

(Inlet velocity = 14.64 %, Inlet angle = 0°, Outlet area = 0.8 m², ■ : inlet, □ : outlet)

및 좌측 2층에 배기구가 있다.

좌우 1,2층 모두 재순환 유동형태의 기류를 보여주고 있으며 기관실 상부의 공간에서도 별도의 재순환 유동이 일어남을 알 수 있다. 또한 1층 좌측 공간은 직접적인 급배기류의 영향이 적어 약한 재순환 유동이 나타난다. 엔진 좌측상부와 우측에서는 강한 기류가 형성되어 엔진으로부터의 발생열을 제거하는 냉각효과가 클 것으로 생각되며 좌측 1층 영역과 엔진 상부공간은 기류가 미약하여 이같은 효과가 작을 것으로 판단된다.

Fig. 3 은 Fig. 2 와 같은 급배기 조건하에서의

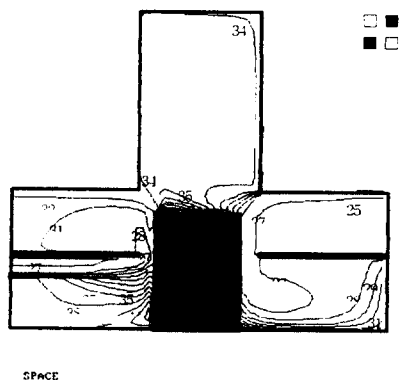


Fig. 3 Temperature field of the domain

(Inlet velocity = 14.64 %, Inlet angle = 0°, Outlet area = 0.8 m², ■ : inlet, □ : outlet)

기관실내 온도분포선도를 나타내고 있다. 비교적 강한 기류가 재순환 유동과 함께 형성된 좌측 2층 및 우측 1,2층 공간에서는 25 ~ 30 ℃ 정도의 온도분포와 등온선 간격이 넓고 비교적 온도변화가 작음을 알 수 있다. 반면 좌측 1층 공간은 40 ℃ 정도까지 온도변화가 심하게 나타나며 엔진부근에 조밀한 등온선이 보인다. 이는 기류가 미약하여 발생열이 원활하게 제거되지 못해 나타나는 현상으로 보인다. 엔진 상부의 공간은 35 ℃ 정도의 온도를 보이며 특히 엔진 윗면에 등온선이 조밀하여 온도변화가 심한데 이는 이곳에서 열전달이 원활하지 않아 국부적 가열이 일어나고 있음을 보여주고 있다.

3-1-2 급기구 3개소, 배기구 1개소로 환기하는 경우

Fig. 4 는 급기구가 좌측 1층과 좌우측 2층에 있고 배기구가 우측 1층 벽에 있을 때 급기구로부터 공급속도 9.76m/s, 온도 25℃ 의 대기가 수평방향으로 강제급기되는 상황에서의 기관실내 유동상태를 속도벡터선도로 나타낸 것이다.

우측 1,2층에서 강한 기류가 형성되고 재순환 유동영역이 형성되었으며 좌측 1층은 상대적으로 약한 재순환 유동을 보인다. 엔진 윗면의 발생열 제거는 원활할 것으로 판명된다.

Fig. 5 는 Fig. 4 의 급배기 조건하에서 기관실내

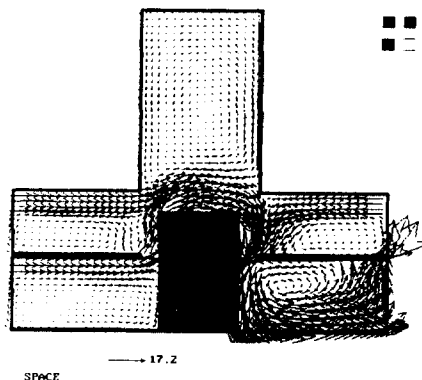


Fig. 4 Velocity field of the domain

(Inlet velocity = 9.76 %, Inlet angle = 0°, Outlet area = 0.8 m², ■ : inlet, □ : outlet)

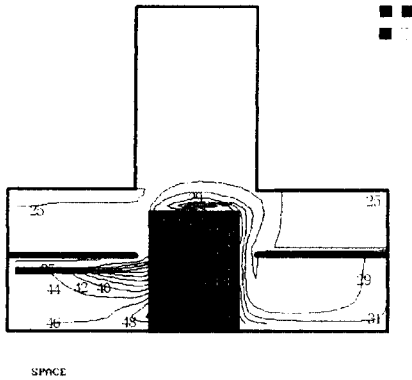


Fig. 5 Temperature field of the domain
 (Inlet velocity = 9.76 %, Inlet angle = 0°, Outlet area = 0.8 m², ■ : inlet, □ : outlet)

의 온도분포선도를 나타내고 있다.

좌우측 2층 급기구영역과 기관실 상부 공간은 25 ~ 27 °C 의 균일한 온도분포를 나타내고 좌측 1층 공간은 27 ~ 48 °C 의 큰 온도차 및 변화가 심한 온도분포를 보인다. 이는 이곳에 공급된 급기가 하부에까지 침투되어 발생열을 제거하는 유동을 형성치 못하고 바로 상층으로 이동함에 따라 하부 유동이 유리되어 발생열에 가열되기 때문에 나타나는 현상이다.

3-2. 급기각도(45°) 변화에 따른 실내 환기 특성

3-2-1 급기구 2개소, 배기구 2개소로 환기하는 경우

Fig. 6 은 급기구가 좌측 1층과 우측 2층에 있고 배기구가 우측 1층과 좌측 2층에 있을 때 급기구로부터 공급속도 14.64 m/s, 온도 25 °C 의 대기가 45° 방향으로 강제급기되는 상황에서의 기관실내 유동형태를 속도벡터선도로 나타낸 것이다.

Fig. 6 을 Fig. 2 와 비교하면 좌측 1층 급기구 상부에 적은 영역에서 재순환 유동이 있고 우측 1층 영역과 좌측 2층 배기구 밑의 영역에서도 재순환 유동이 일어나고 있으며 기관실 상부 공간에도 별도의 약한 재순환 유동이 있음을 알 수 있어 급기각도 0°(수평방향으로 급기될 때) 일 때 보다 재순환 유동 영역이 매우 감소함을 보여주고 있

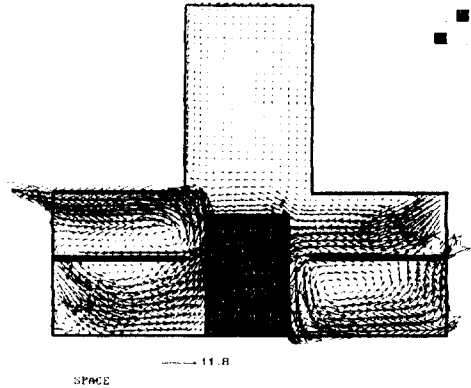


Fig. 6 Velocity field of the domain
 (Inlet velocity = 14.64 %, Inlet angle = 45°, Outlet area = 0.8 m², ■ : inlet, □ : outlet)

다. 이같은 재순환 영역 감소는 우측 2층에서 현저한데 이는 급기가 하부를 향해 공급되어 넓은 영역에서 강한 기류를 형성함에 따라 주유동에서 분리되는 유동이 생겨 영역이 줄어들어 따라 나타나는 현상이다. 또한 엔진 좌우측 면에 강한기류를 나타내고 있어 발생열 제거면에서도 효과적일 것을 예측케 한다.

Fig. 7 은 Fig. 6 의 급배기 조건하에서 기관실내의 온도분포선도를 나타내고 있다.

Fig. 7 를 Fig. 3 과 비교하면 좌측 1층과 우측 2층의 급기구측은 27 °C 의 균일한 온도분포를 나

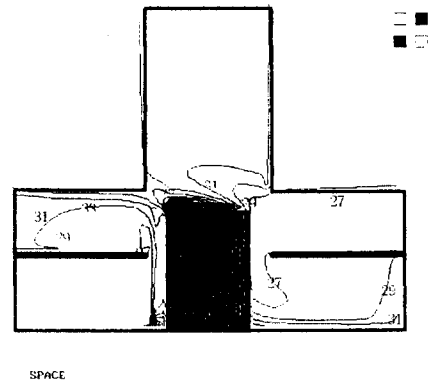


Fig. 7 Temperature field of the domain
 (Inlet velocity = 14.64 %, Inlet angle = 45°, Outlet area = 0.8 m², ■ : inlet, □ : outlet)

타내고 우측 1층과 좌측 2층의 배기구측은 27 ~ 31 °C 의 온도분포를, 기관실 상부 수직공간은 33 ~ 34 °C 의 균일한 온도 분포를 나타내어 급기각도 변화전 보다 낮은 온도 분포와 원활한 기류유동을 보여주고 있다. 또한 엔진 좌우측 전면도 급기각도 변화전보다 개선된 온도분포를 보인 반면에 엔진 뒷면부근은 급기각도 변화전과 거의 같은 국부적가열 온도분포를 보여주고 있다.

3-2-2 급기구 3개소, 배기구 1개소로 환기하는 경우

Fig. 8 은 급기구가 좌측 1층과 좌우측 2층에 있고 배기구가 1층 우측에 있을 때 급기구로부터 공급속도 9.76 m/s, 온도 25 °C 의 대기를 급기각도 45° 방향으로 강제 급기되는 상황에서 기관실내의 유동상태를 속도벡터로 나타낸 것이다.

Fig. 8 과 Fig. 4 를 비교하면 좌측 1층과 2층 공간은 강한 기류가 하부로 침투되어 약한 기류 영향이 해결 되었음을 알 수 있고 우측 2층 공간의 재순환 영역이 줄어들었다. 좌측 1층 엔진하부면에도 강한 기류가 형성되어 엔진의 발생열 제거면에서도 효과적인 것으로 생각되며 엔진 상부 공간은 별도의 재순환 유동을 나타내어 거의 비슷한 유동형태를 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 9 은 Fig. 8 의 급배기 조건하에서 기관실내의 온도분포선도를 나타내고 있다.

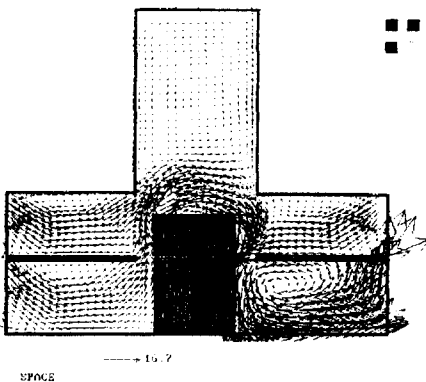


Fig. 8 Velocity field of the domain
(Inlet velocity = 9.76 m/s, Inlet angle = 45°, Outlet area = 0.8 m², ■ : inlet, □ : outlet)

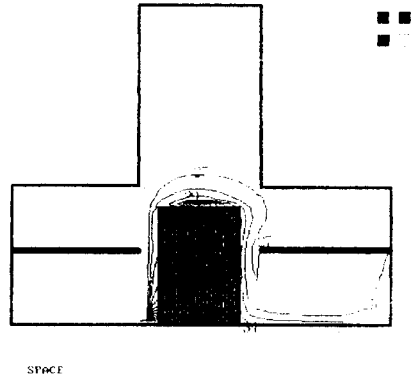


Fig. 9 Temperature field of the domain
(Inlet velocity = 9.76 m/s, Inlet angle = 45°, Outlet area = 0.8 m², ■ : inlet, □ : outlet)

Fig. 9 와 Fig. 5 을 비교하면 재순환 기류가 약했던 좌측 1층 공간의 온도가 강한 기류형성으로 낮고 균일한 온도분포를 나타내어 현저하게 개선되었음을 알 수 있다. 그외 공간은 급기각도 변화전과 거의 비슷한 온도분포를 보이고 있다.

3-3. 배기 면적 변화에 따른 실내 환기 특성

Fig. 10 ~ Fig. 17 은 급기각 45°, 급기구가 2개소일 때 급기속도 14.64 m/s, 급기구가 3개소일 때 급기속도 9.76 m/s, 25°C의 대기를 공급한 경우로서 Fig. 10 ~ Fig. 13은 배기 면적이 0.4 m² 이고, Fig. 17 ~ Fig. 20 은 배기면적이 1.2 m² 이다.

급기구 위치가 같은 Fig. 10 과 Fig. 14 및 Fig. 6 를 서로 비교하여 보면 모든 공간에서 거의 비슷한 속도분포를 나타내고 있어 배기 면적 변화가 속도분포에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 생각되어진다.

Fig. 11 과 Fig. 15 및 Fig. 7 의 온도분포선도를 서로 비교하여 보면 배기 면적을 증가시킨 경우는 엔진 상부에서 전반적으로 온도가 낮아지는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

급기구 위치가 같은 Fig. 12 와 Fig. 16 및 Fig. 8 를 서로 비교하면 거의 비슷한 속도분포를 나타내고 있어 배기 면적 변화가 속도분포에 영향을

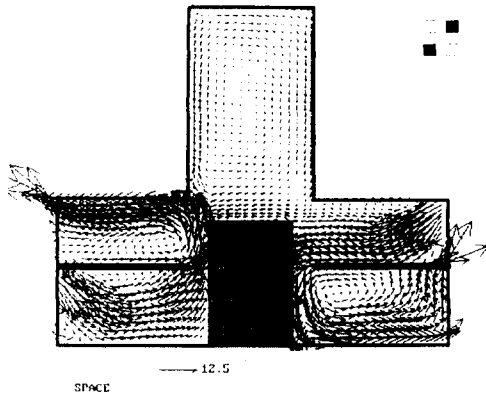


Fig. 10 Velocity field of the domain

(Inlet velocity = 14.64 %, Inlet angle = 45°, Outlet area = 0.4 m², ■ : inlet, □ : outlet)

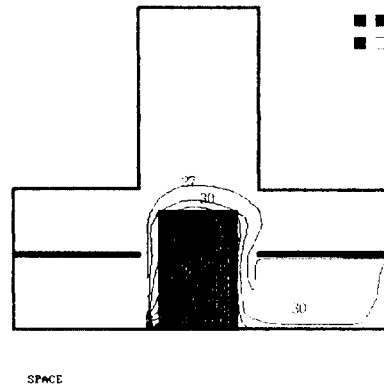


Fig. 13 Temperature field of the domain

(Inlet velocity = 9.76 %, Inlet angle = 45°, Inlet area = 0.4 m², ■ : inlet, □ : outlet)

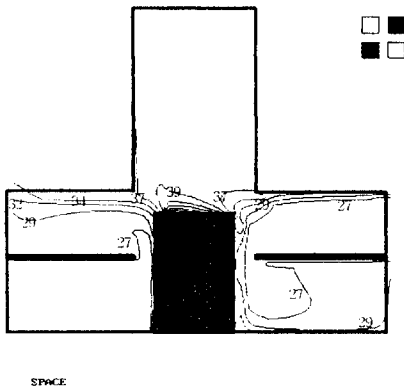


Fig. 11 Temperature field of the domain

(Inlet velocity = 14.64 %, Inlet angle = 45°, Outlet area = 0.4 m², ■ : inlet, □ : outlet)

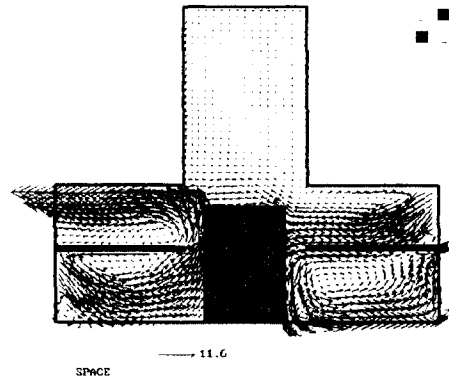


Fig. 14 Velocity field of the domain

(Inlet velocity = 14.64 %, Inlet angle = 45°, Outlet area = 1.2 m², ■ : inlet, □ : outlet)

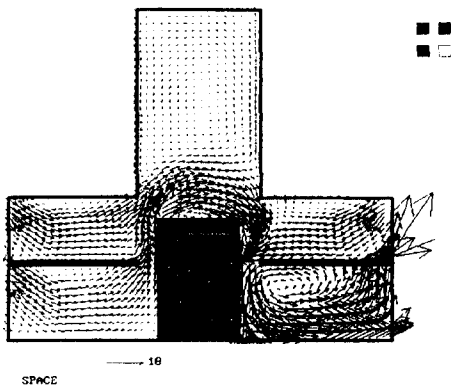


Fig. 12 Velocity field of the domain

(Inlet velocity = 9.76 %, Inlet angle = 45°, Outlet area = 0.4 m², ■ : inlet, □ : outlet)

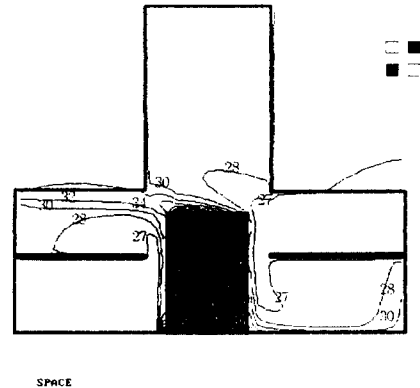


Fig. 15 Temperature field of the domain

(Inlet velocity = 14.64 %, Inlet angle = 45°, Outlet area = 1.2 m², ■ : inlet, □ : outlet)

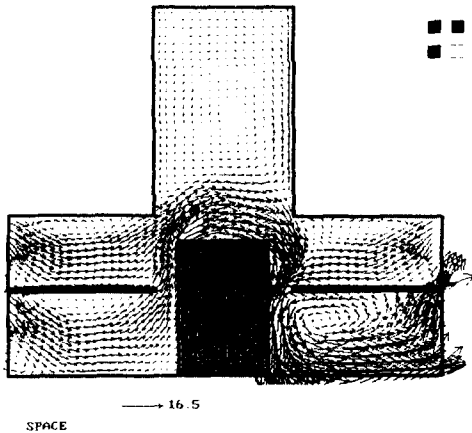


Fig. 16 Velocity field of the domain

(Inlet velocity = 9.76 %, Inlet angle = 45°, Outlet area = 1.2 m², ■ : inlet, □ : outlet)

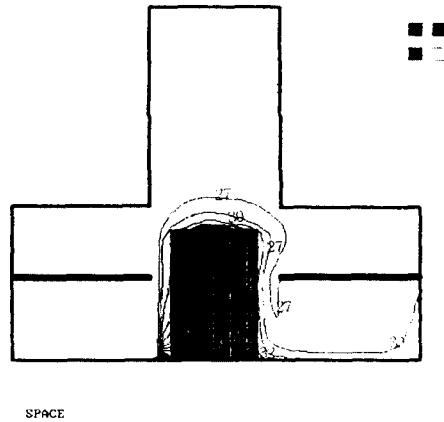


Fig. 17 Temperature field of the domain

(Inlet velocity = 9.76 %, Inlet angle = 45°, Outlet area = 1.2 m², ■ : inlet, □ : outlet)

주지 않음을 예측할 수 있다.

Fig. 13 과 Fig. 17 및 Fig. 9 를 비교하면 모든 공간에서 거의 비슷한 온도분포를 나타내고 있어 배기 면적 변화는 온도분포에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

4. 결 론

선박 기관실을 모델링으로 한 밀폐된 공간에 강제 환기 시스템 적용시 급기구 수 및 위치 변화, 급기각도, 배기면적 변화를 시켜 기관실의 유동상태와 온도 분포에 대해 수치 해석을 실행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 급기각도를 수평으로 하는 것보다 하향각을 주는 것이 하부에 강한 기류를 형성시켜 재순환 유동을 방지하며 환기 및 열제거 효과를 높인다.

2. 급기구를 2개소로 하는 경우 급기에 하향각을 주지 않으면 급기구가 있는 1층 공간에 환기 및 열제거 불량상태를 유발할 가능성이 있다.

3. 급기구를 3개소로 할 때 하향각이 없으면 급기구가 있는 1층 공간에 환기 불량을 초래할 수 있다. 하향각을 주면 급기구가 있는 공간의 환기 상태는 양호해진다.

4. 배기 면적 변화에 따라 급기구 2개소인 경우는 엔진 상부의 온도가 감소하는 경향이다. 그러

나 급기구 3개소인 경우는 배기 면적 증가가 환기에 미치는 영향이 거의 없다.

참고문헌

1. Larsson, M, " Prediction of Buoyancy Influenced Flow in Ventilated Industrial Hall", Energy Conservation in Heating, Cooling and Ventilating Buildings, (1978)
2. Suzuki, H. Hasegawa, E., and Matsufuji, H., " Movement of Small particles caused by an Air Flow in a Chamber", TSME international journal, Series 2, Vol.2, (1988)
3. Launder, B. E. and Spalding, D. B, " The numerical computation of Turbulent Flows", computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, (1974)
4. Murakami, S. and Kato, S, Sayama, S, " Three-Dimensional Numerical Simulation of Turbulence Air-flow in a ventilated Room by means of a Two-Equation Model", ASHRAE Trans, Vol.33, (1987).
5. 장문석, 이창식, 우재성, " 실내 공간에서 부력이 있는 가스의 확산 거동에 관한 수치해석적 연구", 대한기계학회 논문집 제 3권. 제 3호, (1991).
6. 최형돈, " 전산유체 역학의 기초와 응용", 도서출판 한미, (1991)