

화재화염이 유동 및 CO₂ 소화제 전달특성에 미치는 영향 The Effect of Fire Plume on the Characteristics of Air Flow and CO₂ Extinguishant Transfer

박찬수[†] · 최주석*

Chan-Su Park[†] · Ju-Seok Choi*

목포해양대학교 기관공학부, *목포대학교 기계공학과 대학원
(2002. 8. 30. 접수/2002. 10. 24. 채택)

요 약

선박기관실과 유사한 공간내로 CO₂ 소화제를 분사했을 때 화재화염이 공기유동 및 CO₂ 소화제전달 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 수치해석을 수행하였다. 노즐 위치에 따라 유동장과 CO₂ 농도장을 계산하였다. 한 경우를 제외한 모든 경우에서 시계방향과 반시계방향 재순환 유동이 노즐 좌, 우측영역에 형성되었으며, 이러한 재순환 유동이 질량전달과 CO₂ 소화제 확산경로에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 화재화염이 위치한 1층 영역에서는 CO₂ 소화제 확산경로가 재순환 유동 확장경로와 일치하였다.

ABSTRACT

To analyze the effect of fire plume on the characteristics of air flow and CO₂, extinguishant transfer when extinguishant is injected into a closed space similar to a marine engine room with fire plume, a numerical simulation on a space was performed. Flow fields and CO₂ concentration fields are calculated according with the variation of the location of nozzles. In all cases excepting the case of all nozzles located in the right side of ceiling, an counterclockwise & clockwise recirculation flow was found in the region of the right and left side of the nozzle on the second floor and such a recirculation flow greatly affected mass transfer and the diffusion process of CO₂, extinguishant. In the region of the first floor with fire plume, the diffusion process of CO₂, extinguishant was in agreement with the extension process of recirculation flow. It is considered that the result of this study can be useful to designing the arrangement of nozzles for the CO₂ fire fighting equipments in a marine engine room.

Keywords : fire plume, CO₂, extinguishant, nozzle location, recirculation flow

1. 서 론

선박에서 화재가 발생하면 대부분 대형 화재로 확산되어 해난사고 발생 및 선박에 큰 손상을 초래하게 된다. 또한 선박의 특수성(고립성) 때문에 큰 인명피해와 재산피해가 필연적으로 동반되게 된다.金子俊男¹⁾의 보고서에서 선박의 화재사건을 착화물에 따라 분리하였으며, 주기관, 보조기관 및 보일러의 연료유에 의한 화재가 57.6%를 차지하고, 스토브에 의한 화재도 24.2%를 차지하여 이 두종의 착화물이 선박화재의 81.8%를 차지하고 있는 것으로 되어 있다. 따라서 이들 착화물

에 의한 화재중 57.6%의 비중을 차지하고 있는 연료유에 의한 화재는 기관실화재에 해당되며 선박 대형화재의 원인이기도 하다.

이러한 중요성 때문에 해상인명안전국제협약(SOLAS)에서는 기관실, 펌프실 및 보일러실 등과 같은 유류 화재 발생 가능성이 높은 구역에 영구적인 고정소화장치를 설치하도록 규정하고 있다. 국제협약에 합당한 고정식 소화장치중 고정식 이산화탄소 소화장치를 기관실에 설치한 선박이 주류를 이루고 있다. 선박 기관실 화재로 인한 인명 및 재산피해를 최소화하기 위해서는 기관실의 화재에 대한 소화 및 화재예방대책이 치밀하게 수립되어 있어야 하며, 이러한 소화 대책을 수립하는데는 소화제 특성이나 소화제 투입 방법 등에 따른

[†]E-mail: cspark@mail.mmu.ac.kr

소화특성 등 기초적인 소화관련 자료들이 필요하다.

지금까지 분사체와 소화와의 상관관계에 대한 연구들을 살펴보면, Han²⁾ 등은 Pool 화재에 대한 분무수의 냉각효과와 유동패턴을 실험적으로 연구하였고, Mike³⁾ 등은 목재 화재에 대하여 수분부를 이용한 소화연구를 수행하였다. Chow⁴⁾ 등은 화재로 인해 야기되는 유동 및 연기층과 분무수와의 상호작용에 대한 연구를 하였으며, Jang⁵⁾ 등은 유류화재에 수분부를 적용하여 소화에 대한 실험을 수행하여 적용 가능성을 보여주었다. 지금까지의 연구들은 육상화재 시에 소화제로서 물을 주로 사용하고 있으며, 이와 유사한 연구들이 주류를 이루고 있어서, 고정식 CO₂ 소화설비를 갖추고, 기관실 및 화물창 내에 CO₂를 직접 분사하여서 화재를 소화하는 방식의 선박 화재에 대한 연구들은 미흡한 실정이다.

따라서 선박화재의 대부분을 차지하는 기관실 화재 발생 시 CO₂ 소화제를 분사하였을 때 야기되는 유동 및 소화제 전달특성에 대한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 기관실 화재 발생 시 초기 진화에 실패했을 때, 최후의 소화방법으로 사용하는 CO₂ 소화제 방사 시 화재화염이 기관실내 기류유동특성 및 소화제 전달특성에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하여 선박 소화설비의 기초적인 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 이론해석

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 선박의 기관실을 2차원적 공간으로 설정하였다. 공간의 중앙에는 선박기관실의 기관 및 기기들에 상응하는 장애물이 위치한다.

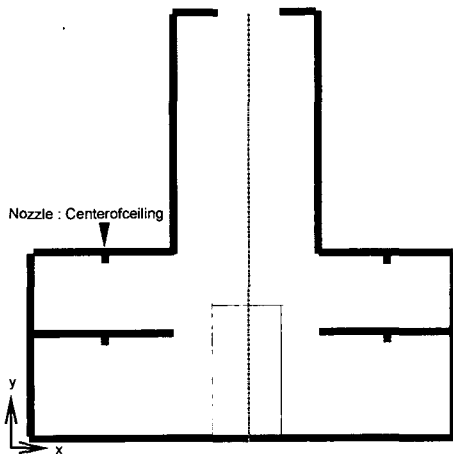


Fig. 1 Schematic diagram.

공간은 1, 2층과 중심부에서 연돌로 연결되는 상부공간이 수직 상 방향으로 길게 뻗어있다. 화재가 발생했을 때 공간의 시간에 따른 유동특성과 CO₂ 소화제의 전달 특성을 예측하기 위하여 각 층 노즐의 위치를 변화시켜 해석하고자 하며, 흐름은 2차원 난류유동으로 가정한다. 이러한 상태에서 CO₂ 소화제를 공간으로 분사시키면서 시간경과와 함께 나타나는 특성들을 검토하고자 한다.

2.1 해석모델

Fig. 1에 나타낸 공간은 실제 선박의 기관실의 치수로서 길이 14.5 m, 높이 14 m이며 공간의 좌우 대칭 조건을 가지므로 대칭면을 중심으로 반쪽 부분에 대해서만 계산을 하였다. 노즐의 위치는 각 층 천장의 중앙을 기준으로 좌우로 변화시키며 계산을 수행하였다

2.2 지배방정식

유동장을 해석하기 위해 사용되는 방정식은 2중 유체 등온장, 비압축성 유체를 가정하고, 비정상 상태에 대해 유도한 것으로 연속방정식, 운동량방정식, 에너지 방정식 및 성분 보존방정식은 다음과 같다.

(1) 연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \bar{v})}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

(2) 운동량 방정식

▷x방향

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \bar{u})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u} \bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \bar{u} \bar{v})}{\partial y} \\ = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

▷y방향

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \bar{v})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u} \bar{v})}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \bar{v} \bar{v})}{\partial y} \\ = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) - \rho g \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 성분 보존 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \bar{Y}_i) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho \bar{u} \bar{Y}_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \bar{v} \bar{Y}_i) \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\rho D + \frac{\mu_t}{\sigma_x} \right) \frac{\partial \bar{Y}_i}{\partial x} \right] \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\rho D + \frac{\mu_t}{\sigma_y} \right) \frac{\partial \bar{Y}_i}{\partial y} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 에너지 보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{u} T) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \bar{v} T) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{k}{C_p} + \frac{\mu t}{\sigma t} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\frac{k}{C_p} + \frac{\mu t}{\sigma t} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right] \quad (5)$$

(5) 난류운동 에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{v} k) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \bar{v} k) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] - G + C_D \rho \epsilon \quad (6)$$

(6) 난류 소멸율 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{u} \epsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \bar{v} \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] + \frac{\epsilon}{k} (C_1 G - C_2 \rho \epsilon) \quad (7)$$

(7) 이상기체 상태방정식

$$P = \rho R T \sum_i \frac{\bar{Y}_i}{\bar{W}_i} \quad (8)$$

2.3 경계조건

지배방정식을 해석하기 위한 초기 및 경계조건은 다음과 같다. 모든 벽은 단열되어 있으며 CO₂ 소화제에

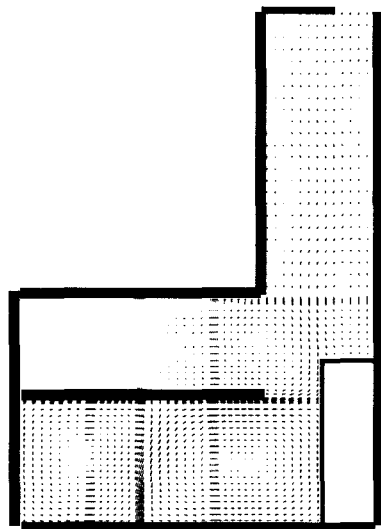


Fig. 2. Flow field at 30 sec after Hot air injected into a engine room.

대해 불침투성이고, 표면에서의 속도는 영이다. 실내공간의 이산화탄소 질량분율도 “0”이다. 이와 같은 조건 하에서 화재화염을 묘사하기 위하여 밑바닥면 중앙에 위치한 하나의 노즐로부터 일정 속도와 온도의 공기를 분사시켜서 화재화염을 비정상 상태에서 형성시킨다. 초기진화에 실패한 경우와 유사한 초기조건을 형성시키기 위하여 30초경과 시의 유동장(Fig. 2)을 초기조건으로 택하였고, 이 조건하에서 CO₂ 소화제를 분사시킨다. 공간의 중앙에는 장애물인 주기관이 위치하고 있으며, 각층의 분사노즐에서는 4 m/sec의 속도로 이산화탄소가 분사되고 있는 것으로 하였다. 배출구는 공간의 최상부에 위치하고 있다.

해석에 있어서는 검사체적에 기초한 유한차분방법(Control volume based finite difference method)을 이용하는 상용 code인 Fluent V5.0을 사용하였다. 격자수는 50×66이며 균일 격자를 사용하였고 Up-wind scheme을 적용하였다. 수렴조건은 각 검사체적에서 계산한 생성항의 최대값의 절대치가 10⁻³ 이하이고, 일정한 지점에서 속도와 같은 주요 변수들의 반복계산 결과가 거의 변화하지 않을 때를 수렴한 것으로 판단한다. 난류모델로는 k-ε 모델을 사용하여 운동방정식에서 유동항의 평균을 취할 때 생기는 레이놀즈응력(Reynolds stress)항을 해결하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구는 화재가 발생한 선박 기관실과 유사한 공간에 CO₂ 소화제 분사 시 유동특성 및 전달특성을 예측하기 위하여 노즐의 위치를 변화시키면서 공간 내 기류유동 및 CO₂ 소화제 농도분포변화를 고찰하였다. 화재가 발생한 곳은 1층 바닥 중간이며, 계산시간은 0~20초까지로 하였다. 시간 영역대를 0~20초로 선택한 것은 CO₂ 분사시 초기의 기류유동 및 CO₂ 소화제의 전달경로가 초기 소화에 지배적인 영향을 미치고 있다고 생각되기 때문이다.

3.1 1, 2층 노즐이 천장의 중앙에 위치할 때

Fig. 3은 CO₂ 소화제 노즐이 모두 천장중앙에 위치하며 배출구는 공간의 최 상부에 위치하고 있다. CO₂ 소화제를 분사속도는 4 m/s로 공간내로 분사할 때 시간변화에 따른 속도장 및 CO₂ 농도장을 나타내고 있다.

Fig. 3(a)는 공간 내로 CO₂ 소화제 분사가 시작된 후 2초 경과한 때의 속도장을 나타내고 있다. 2층 CO₂노즐 좌, 우측 영역은 시계방향과 반시계방향의 재순환 유동이 밑바닥면 근처에서 발생하고, 1층 CO₂노즐 좌

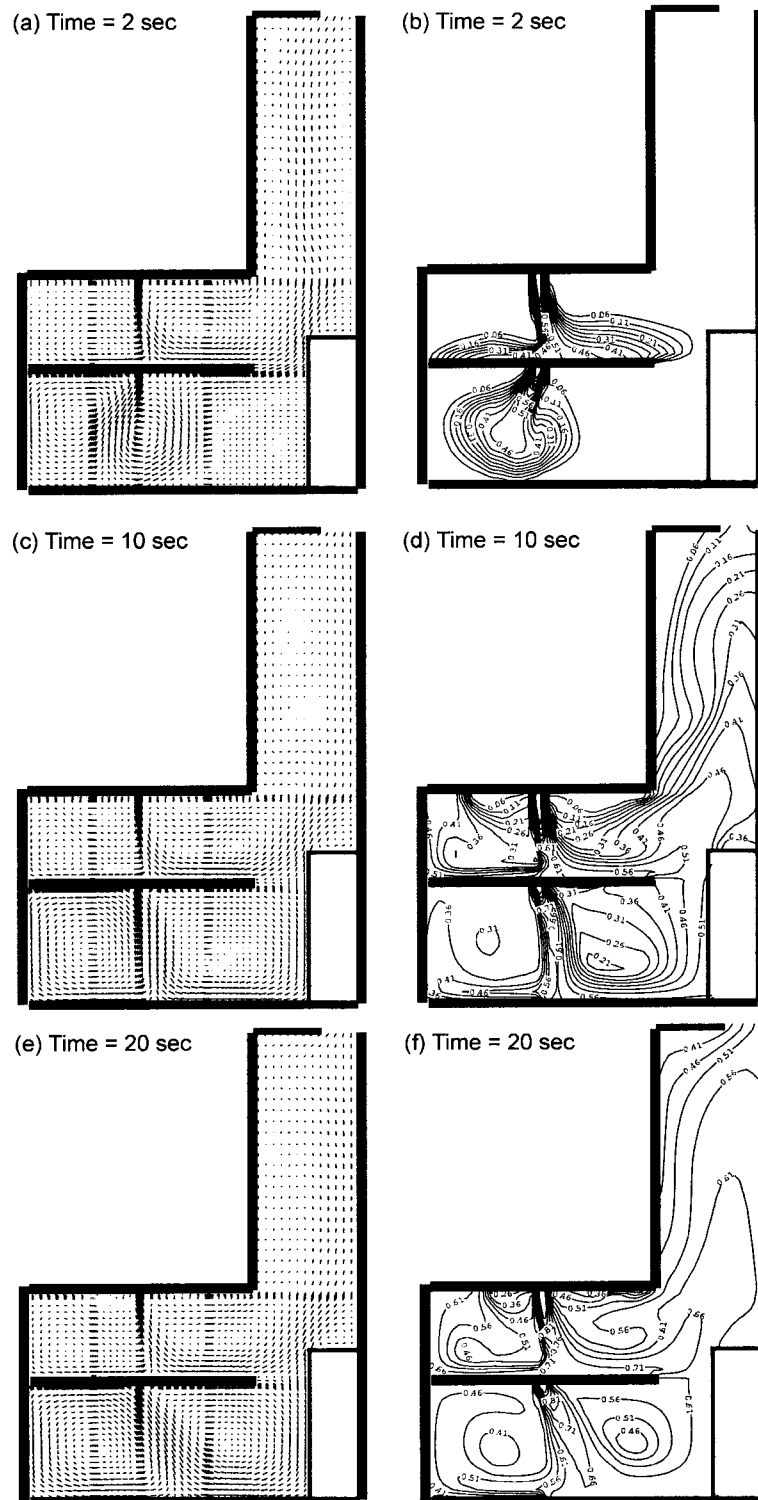


Fig. 3. Velocity and CO₂ Concentration fields (Nozzle : Center of ceiling).

측영역은 상부영역에 시계방향재순환유동이, 우측은 분사노즐 바로 하부 중간영역에서 반시계방향의 재순환 유동이 분사기류와 화염의 영향으로 형성된 U자형 유동 때문에 발생하고 있다.

Fig. 3(c)는 CO₂분사 후 10초 경과한 때의 속도장이다. 2층 노즐 좌, 우측은 유동의 중심이 각각 좌측벽 모서리 부근과 우측 장애물 부근으로 이동되었음을 알 수 있다. 이 같은 현상은 벽면제트기류와 배출구를 향하는 주유동의 영향때문으로 분석된다. 1층은 분사기류 밑의 U자형 유동과 장애물 근처의 미세한 시계방향재순환유동이 소멸됨을 알 수 있는데, 이는 CO₂ 분사기류가 유동을 지배하여 화염을 누르고 발달된 벽면제트기류를 형성시키기 때문이다. 또한 이 벽면제트기류 때문에 재순환유동 중심이 좌측은 상부영역에서 하부측으로, 우측은 분사노즐 밑의 영역에서 장애물측으로 이동되어 발생하고 있다.

Fig. 3(e)는 20초 경과한 때의 속도장을 나타내고 있다. 1층 노즐 우측 영역에서 좌측 천장벽을 따라 형성된 벽면제트기류가 분사기류에 사선방향으로 편향 유입되고 이 벽면제트기류로 인해 재순환 유동 중심이 밀바닥면에서 영역의 중심으로 이동되어 위치함을 알 수 있다.

Fig. 3의 (b), (d) & (f)는 시간 경과에 따른 CO₂ 질량분율의 변화를 나타내고 있다.

선박소화설비 규정상 이산화탄소를 일정한 체적 내에 방사했을 때 13.8% 이하의 산소체적농도로 떨어뜨릴 수 있어야 한다고 되어 있다. 해상인명안전국제협

약(SOLAS)에 의하면 산소체적농도 13.8%는 CO₂ 질량분율 0.45에 해당하므로 CO₂ 질량분율 0.45 이상의 영역을 “소화가능영역대”라고 부르기로 한다.

화재화염이 위치한 1층 영역은 분사초기에는 U자형 유동 때문에 분사기류 중간부에서 질량전달이 활발하여 등농도곡선이 확장됨을 볼 수 있으나, 10초 후부터는 1, 2층 노즐 좌측영역은 밀바닥면과 좌측벽면에서 공간의 중앙으로 질량전달이 일어나고, 우측 영역은 밀바닥면과 장애물 측에서 공간의 중앙으로 등농도곡선이 확장됨을 알 수 있다. 또한 2층 노즐 좌, 우측 상부 좁은 영역과 1층 좌측 중앙부근을 제외한 전영역이 소화가능영역대(0.46) 이상의 등농도선대를 나타내고 있어 화염이 벽면제트 기류형성과 CO₂ 질량전달에 지배적인 영향을 미침을 예측할 수 있다.

3.2 1층 노즐은 천장의 좌측, 2층 노즐은 천장의 중앙에 위치할 때

Fig. 4는 Fig. 3의 1층 노즐 위치만 천장의 좌측으로 1m이동시킨 경우로서 20초 때의 속도장 및 CO₂ 농도장을 나타내고 있다.

Fig. 4(a)의 노즐 위치를 변화시킨 1층 영역은 좌측 최상부 좁은 공간에서 시계방향의 재순환유동이 발생하며, 우측영역은 분사초기에는 U자형 유동과 장애물 부근에 별도의 재순환 유동이 발생하지만 10초경과 후부터는 이 유동은 소멸되고, 전 영역에 걸쳐서 반시계방향의 재순환 유동이 형성되고 있다. 이것은 화염의 좌측에 노즐이 위치하기 때문에 분사기류가 분사초기

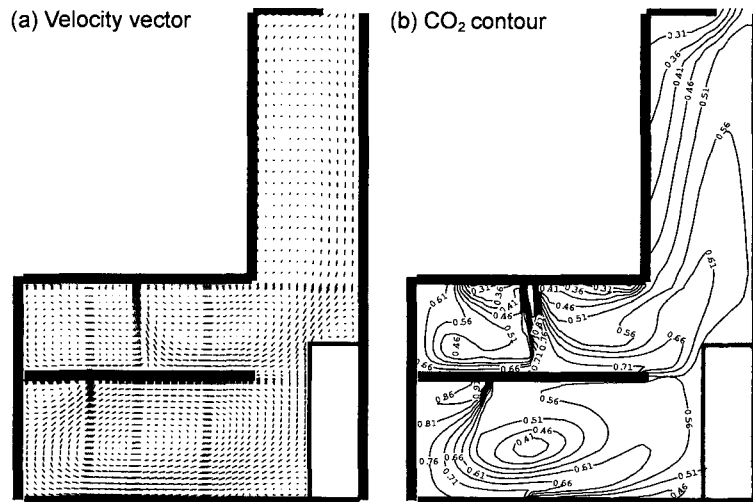


Fig. 4. Velocity and CO₂ Concentration fields at 20 sec (1st floor nozzle : Left side of ceiling, 2nd floor nozzle : Center of ceiling).

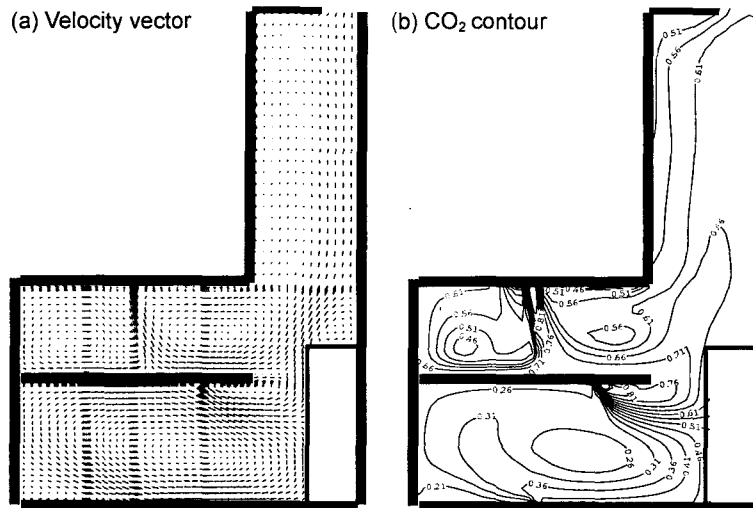


Fig. 5. Velocity and CO₂ Concentration fields at 20 sec (1st floor nozzle : Right side of ceiling, 2nd floor nozzle : Center of ceiling).

부터 사선방향으로 좌측영역에 유입되면서 나타나는 현상으로 여겨진다.

Fig. 4(b)의 1층 노즐좌측영역은 0.66이상의 높은 등농도선대를 보이고, 우측영역은 0.41 이상의 등농도선대를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이것은 벽면제트 기류를 동반한 반시계방향재순환 유동의 영향으로 좌측벽과 장애물측에서 공간의 중앙으로 CO₂ 질량전달이 촉진되어서 나타나는 현상으로 여겨진다. 2층은 노즐 좌, 우측영역은 상부 좁은 영역에만 소화가능영역대 이하의 CO₂ 질량분포를 보이고 있다. 장애물 수직공간에도 소화가능영역대가 배출구를 향해 확장되고 있음을 알 수 있다.

이 같은 사실로부터 노즐위치에 따라 분사기류와 화염의 상호작용이 벽면제트기류 및 재순환 유동형성과 CO₂ 질량전달에 지배적인 영향을 미친다는 것을 예측할 수 있다.

3.3 1층 노즐은 천장의 우측에, 2층 노즐은 천장의 중앙에 위치할 때

Fig. 5는 Fig. 2와 동일조건 하에서 1층 노즐 위치만 우측으로 1m 이동시킨 경우로써 20초 때의 속도장 및 CO₂ 농도장을 나타내고 있다.

Fig. 5(a)의 2층 좌, 우측영역은 Fig. 3(e)와 유사한 형태의 유동을 나타내며, 노즐위치를 변화시킨 영역에서는 벽면제트 기류를 동반한 시계방향의 재순환 유동이 전 영역에 걸쳐서 형성됨을 알 수 있다. 이는 장애물벽을 따라 형성된 벽면제트기류가 화염을 누르고 유

동을 지배하기 때문에 나타나는 현상으로 여겨진다.

Fig. 5(b)의 2층 좌, 우측영역은 전 영역에 걸쳐 소화가능영역대 이상의 CO₂ 질량분포를 나타내고, 장애물 수직상부공간에도 소화가능영역대 이상의 CO₂ 질량분포를 보이고 있다. 1층 영역에서는 CO₂ 질량전달이 장애물측에서 영역중앙으로 일어나며, 좌측 노즐하부영역은 0.46 이하의 낮은 CO₂ 질량분포를 보이고 있다. 장애물 주위에는 소화가능영역대 보다 높은 0.46 이상의 CO₂ 질량분포를 나타내고 있어 기관실기기를 상징하는 장애물 부근소화와 화재발생영역으로 유입되는 공기를 차단하는데는 효과적인 것으로 생각된다.

3.4 1, 2층 노즐이 모두 천장의 우측에 위치할 때

Fig. 6은 Fig. 3과 동일 조건하에서 1, 2층 노즐 위치만 천장의 우측으로 1m 이동시킨 경우로써 20초 때의 속도장 및 CO₂ 농도장을 나타내고 있다.

Fig. 6(a)의 2층 노즐 좌측영역은 시계방향의 재순환 유동이 확장되어 형성되고, 우측 영역에서는 U자형 유동이 발생하고 있다. 이로써 노즐위치 변화가 재순환 유동형태에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

Fig. 6(b)의 1, 2층 좌측영역은 0.36 이하의 등농도선대가 확장됨을 알 수 있고, 우측영역은 모두 소화가능영역대 이상의 CO₂ 질량분포를 나타내고 있다. 이 같은 현상은 화염을 누르고 발달된 벽면제트기류가 분사기류에 편입되어 장애물벽에 이른 후 2층의 주 유동과 원활히 합류하기 때문에 이 영역으로 유입되는 CO₂ 량이 감소하여 나타나는 것으로 여겨진다.

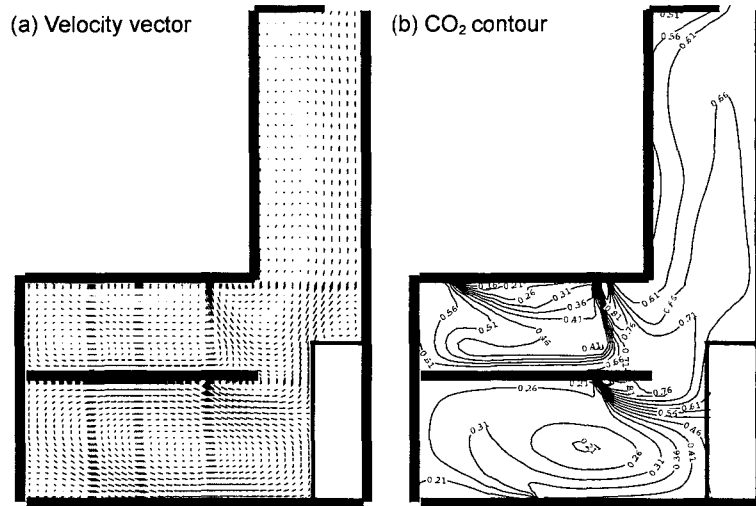


Fig. 6. Velocity and CO₂ Concentration fields at 20 sec (Nozzle : Right side of ceiling).

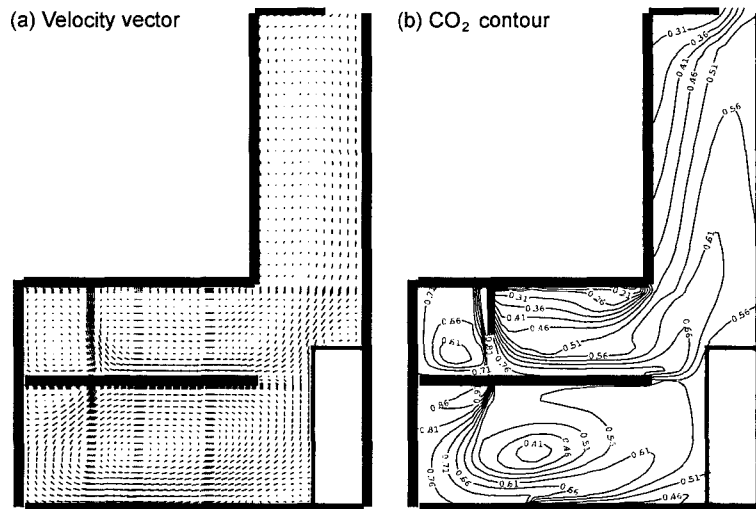


Fig. 7. Velocity and CO₂ Concentration fields at 20 sec (Nozzle : Left side of ceiling).

3.5 1, 2층 노즐이 모두 천장의 좌측에 위치할 때

Fig. 7은 Fig. 3과 동일한 조건하에서 노즐의 위치만 모두 1, 2층 천장의 좌측으로 1m 이동시킨 경우로써, 20초 때의 속도장과 CO₂ 농도장을 나타내고 있다.

Fig. 7(a)의 1, 2층 노즐 우측영역에서는 전 영역에 반시계방향의 재순환 유동이 형성되어 Fig. 6(a)와는 상반된 유동특성을 나타내고 있어 노즐위치 변화로 인해 야기된 유동과 화염의 상호작용이 유동특성에 지배적인 영향을 미침을 예측할 수 있다.

Fig. 7(b)에서는 1층 노즐우측 공간의 중앙과 2층 노즐 우측 상부영역을 제외한 전 영역이 소화가능 영역

대 이상의 CO₂ 질량분포를 나타내는데, 이는 벽면제트 기류를 동반한 재순환 유동이 장애물 측으로 확장되는 유동특성을 나타내기 때문으로 분석된다.

이상으로부터 화염과 소화제 분사로 야기된 기류의 상호작용이 영역내의 벽면기류 형성과 재순환 유동 형태 및 CO₂ 소화제의 질량전달에도 지배적인 영향을 미침을 예측할 수 있다.

3.6 화재화염 유무에 따른 유동특성

Fig. 8은 화재화염이 있을 때와 없을 시 CO₂ 소화제를 속도 4 m/s로 공간내로 분사할 경우의 속도장과

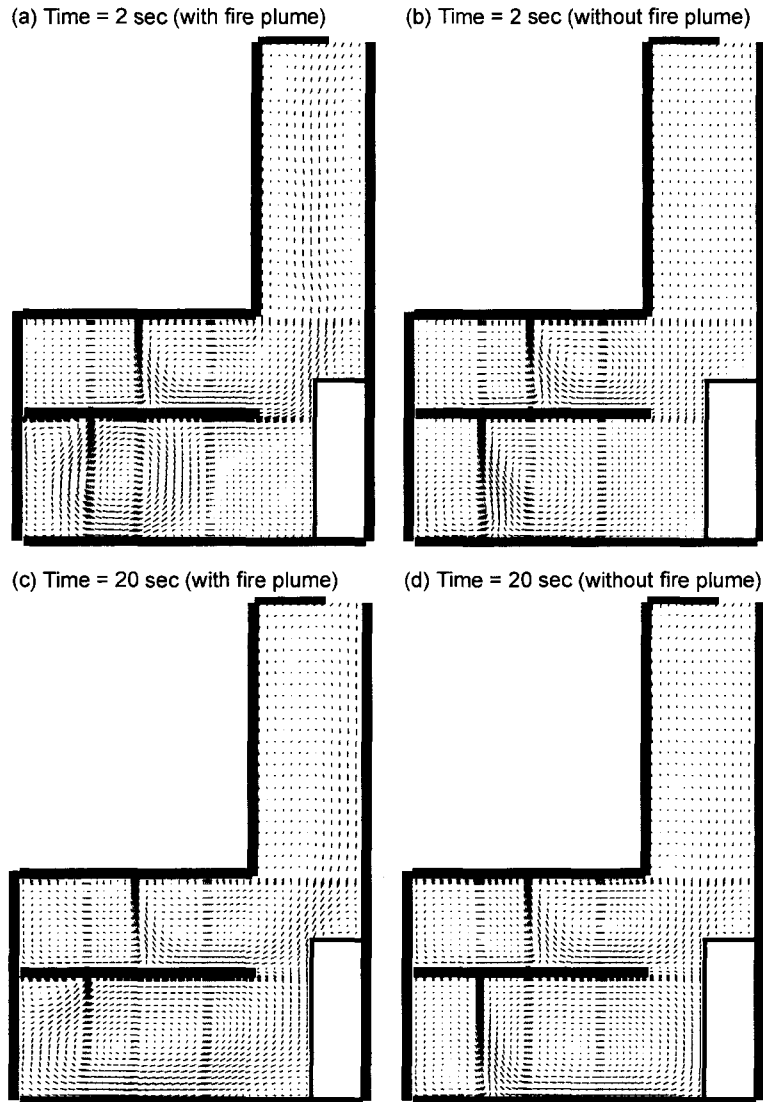


Fig. 8. Velocity fields with and without fire plume (1st floor's nozzle : Left side of ceiling, 2nd floor's nozzle : Center of ceiling).

CO₂ 농도장이다. CO₂ 소화제 노즐은 2층은 천장의 중앙에, 1층은 천장의 중앙에서 노즐좌측으로 1m 떨어진 곳에 위치하며 배출구는 공간의 최상부에 있다.

Fig. 8(a) & (b)는 CO₂ 소화제 분사가 시작된 후 2초 경과한 때의 속도장을 나타내고 있다. 서로 비교하여 보면, 2층 CO₂노즐 좌측 영역은 유사한 유동형태를 나타내나, (a)의 노즐우측 영역은 재순환 유동이 넓은 영역에 걸쳐서 발생하며 배출구를 향하는 주 유동이 빠르게 형성되고 있다. 1층 좌측영역은 시계방향재순

환 유동이 각 각 영역의 상부와 하부에서 발생하고, (a)의 1층 노즐우측은 분사노즐과 화염 사이영역에서 반시계방향재순환 유동이 분사기류와 화염에 의해 형성된 U자형 유동영향 때문에 발생하고 있다.

Fig. 8의 (c) & (d)는 20초 경과한 때의 속도장을 나타내고 있다. 서로 비교하여 보면, 2층 좌측은 유사한 재순환유동형태를 보이고, (c)의 2층 노즐 우측은 주 유동방향으로 더 굴곡된 재순환 유동형태를 이루고 있다. 1층 좌측은 각 각 영역의 상부와 하부에서 시계

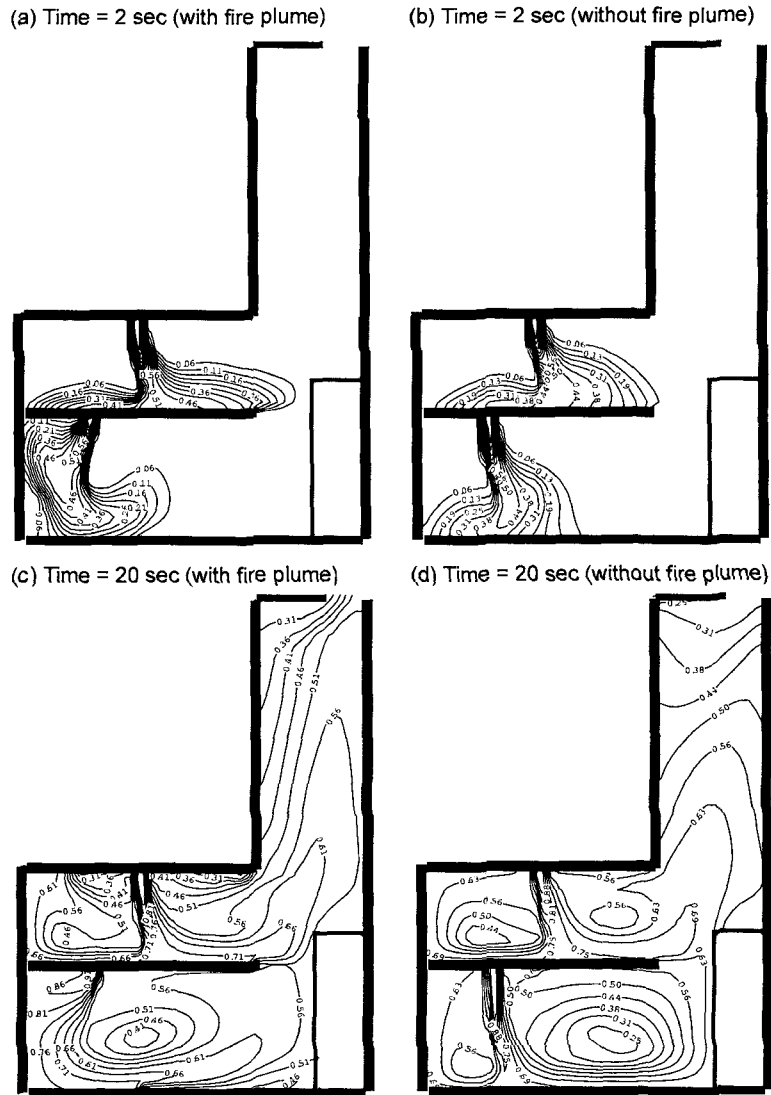


Fig. 9. CO₂ Concentration fields with and without fire plume (1st floor's nozzle : Left side of ceiling, 2nd floor's nozzle : Center of ceiling).

방향재순환 유동이 형성되고, (c)의 노즐 우측은 좌측 벽측으로 반시계방향재순환 유동이 더 확장되며 전 영역에 걸쳐서 발생하고 있다.

Fig. 9의 (a) & (b)는 2초 경과한 경우의 농도장을 나타내고 있다. 서로 비교하여 보면, 2층은 유사한 경향의 CO₂ 질량분포를 보이는 반면, 1층 좌측영역은 분사기류와 화염에 의하여 형성된 U자형유동 때문에 분사기류 중간부에서 노즐좌측영역으로 더 확장되는 CO₂ 질량분포를 보여주고, 우측영역은 밀바닥면에서 영역의 상부측으로 등농도선대가 확장됨을 알 수 있다. 또

한 소화가능영역대는 분사 노즐 바로 밑 부분에서 노즐 좌측영역으로 더 확장되고 있다.

Fig. 9의 (c) & (d)는 20초 경과한 경우로서 서로 비교하여 보면, (c)의 2층 노즐 좌, 우측영역에서 상부 좁은 영역에 소화가능영역대 이하의 CO₂ 질량분포를 나타내는데, 노즐좌측은 상부 좁은 영역에서 형성된 별도의 재순환유동 때문이고, 우측은 배출구를 향해 빠르게 형성된 주 유동의 영향 때문인 것으로 분석된다. (c)의 1층 노즐좌측은 0.66 이상의 더 높은 등농도선대가, 우측은 0.41이하의 등농도선대가 사라졌

음을 알 수 있는데, 이는 화염을 누르고 형성된 벽면 제트기류를 동반한 반시계방향재순환 유동이 이 영역 중앙으로 CO₂ 질량전달을 촉진시켜 나타난 현상으로 사료된다.

이상으로부터 화염이 위치한 1층 영역에서 U자형 유동이 분사초기에 발생하여 좌, 우측영역으로 확장 발달되어 반시계방향재순환 유동을 형성시키고, 이 유동의 영향으로 좌측은 0.66 이상의, 우측은 0.41이상의 더 높은 CO₂ 질량분포를 나타냄을 알 수 있다. 2층 영역은 유사한 유동형태를 보이지만, 배출구를 향하는 주 유동이 빠르게 형성되어 0.46 이하의 낮은 등농도선대가 재순환유동의 중심에서는 나타나지 않고 노즐 좌, 우측 상부 좁은 영역에 형성된다. 이로부터 화재화염이 유동형태 및 CO₂ 질량전달에도 큰 영향을 미침을 예측할 수 있다.

4. 결 론

화재가 발생한 선박 기관실과 유사한 공간에 CO₂소화제를 방사했을 시 야기되는 기류유동과 CO₂소화제 전달특성에 화재화염이 미치는 영향을 파악하기 위하여 분사노즐 위치를 변화시키면서 전산실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 노즐이 모두 천장중앙에서 우측에 위치하는 경우를 제외한 모든 경우에서 2층 노즐 우측영역은 반시계방향재순환 유동이, 좌측은 시계방향재순환 유동이 발생하여 각 각 장애물과 좌측벽 측으로 확장되는 유동형태를 나타낸다. CO₂ 질량전달은 노즐좌측 영역은 좌측벽에서 영역의 중앙으로, 우측은 장애물 측에서 영역의 중앙으로 일어나고 있어, 이 같은 재순환 유동이 CO₂ 질량전달 경로에 지배적인 영향을 미침을 예측할 수 있다.

2. 화재화염이 위치하는 1층 영역에서는 분사초기에 노즐과 화염사이의 영역에서 U자형 유동이 발생한 후 10초 후부터 소멸된다. 노즐이 천장의 우측에 위치할 때와 좌측에 위치할 경우는 서로 상반된 재순환 유동 특성을 나타내고, 이러한 재순환 유동이 CO₂ 질량전달을 촉진시키며, CO₂ 질량전달 경로와 재순환유동의 확장경로가 일치함을 알 수 있다.

3. 화재화염의 유무에 따른 경우에서는 화염이 위치한 영역에서 U자형 유동이 노즐 좌, 우측영역으로 확장 발달되어 반시계방향재순환 유동을 발생시키고, 이 유동의 영향으로 0.41이하의 등농도선대가 사라져 화염이 유동형태 및 CO₂ 질량전달에도 큰 영향을 미침을 예측할 수 있다.

한국화재·소방학회, 제16권 제4호, 2002년

기호설명

μ_{eff}	: $\mu + \mu_t$
\bar{u}	: x축 방향의 평균속도, [m · s ⁻¹]
\bar{v}	: y축 방향의 평균속도, [m · s ⁻¹]
μ_{eff}	: 유효점성계수, [kg · m ⁻¹ · s ⁻¹]
μ	: 점성계수, [kg · m ⁻¹ · s ⁻¹]
μ_t	: 난류점성계수, [kg · m ⁻¹ · s ⁻¹]
ρ	: 기체밀도, [kg · m ⁻³]
g	: 중력가속도, [m · s ⁻²]
k	: 난류운동에너지, [m ² · s ⁻²]
ϵ	: 난류소멸율
G	: 난류운동에너지생성항
C, C_1, C_2	: 실험적난류모델상수
C_p	: 정압비열[kJ/kg°C]
\bar{Y}_i	: i중기체평균질량분율
W_i	: i중기체분자량, [kg · mol ⁻¹]
D	: 확산계수, [m ² · s ⁻¹]
\bar{R}	: 일반기체상수
T	: 온도, [K]
P	: 압력, [kg · m ⁻²]

참고문헌

1. Toshio Kaneko, Kazuo Hitomi, Hiroahi Sawada, "On the Actual Condition and the Cause of Ship Fires", pp.1-52(1980).
2. Han, Yong-Shik, Kim, Myung-Bae, "Extinguishment by the Cooling Effect of the Fuel Surface with Pool Fires", 한국화재·소방학회논문집, 11(4), pp.15-23(1997).
3. Mike, J. A., Evans, D. D. and Hayes, W. "Water Spray Suppression of Fully Developed Wood Crib Fires in a Compartment", NBSIR 88-37453, National Institute of Standards and Technology, Gaithersberg, MD(1988).
4. W. K. Chow and N. K. Fong, "Numerical Simulation on Cooling of the Fire-induced Air Flow by Sprinkler Water Spray", Fire Safety Journal 17, pp.263-290(1991).
5. 장용재, 김명배, 김진국, "Water Spray를 이용한 순수화산화염의 소화에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제20권, 제2호, pp.624-631(1996).
6. 정해영, "A Study on Diffusion of Flammable Gas in Ventilated Space", Journal of Ship & Ocean Engineering, 7, pp.31-42(1991).
7. 전철균, 김성연, "A Study on Air Flow and Ventilating Characteristics for the Room with

- Leaked Gaseous Fuel”, 목포대학교 석사학위논문 (1998).
8. 박찬수, 조대환, “화물유 펌프실의 환기특성에 관한 연구”, 한국박용기관학회지, 제24권, 제1호, pp.134-141(2000).
9. Magee, R. S. and Reitz, R. D., “Extinguishment of Radiation Augmented Plastic Fires by Water Spray”, Fifteen Symposium(International) on Combustion, pp.337-347(1975).