

## CO<sub>2</sub> 소화제 노즐 분사각 및 분사속도가 CO<sub>2</sub> 농도분포특성에 미치는 영향에 관한 수치적 연구

### A Numerical Simulation of the Effect of the Injection Angle and Velocity of the CO<sub>2</sub> Agent Nozzle on the Characteristics of CO<sub>2</sub> Concentration Distribution

박 찬 수<sup>†</sup>

Chan-Su Park<sup>†</sup>

목포해양대학교 기관시스템공학부  
(2006. 4. 3. 접수/2006. 6. 7. 채택)

#### 요 약

선박에 설치되는 고정식 CO<sub>2</sub> 소화장치의 구성요소 중 하나인 CO<sub>2</sub> 소화제분사노즐의 분사각과 분사속도가 유동 및 CO<sub>2</sub> 농도분포특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 전산모의실험을 2차원 비정상상태로 수행하였다. 유동장과 CO<sub>2</sub> 소화제 농도장을 계산하여 분석하였다. 소화제 분사노즐의 조건에 따라 유동형태의 상이성을 확인할 수 있었으며, 모든 소화제 분사노즐조건에서 와류가 형성되는 영역으로부터 주위로 등농도선대가 확장됨을 알 수 있었다. 소화제 분사노즐각에 따라 계산영역의 밑바닥면을 따르는 벽면제트 기류의 강도가 다르게 나타났고, 등농도선대가 확장 또는 축소됨을 예측 가능하였다. CO<sub>2</sub> 소화제 분사유량을 일정하게 유지한 상태에서 소화제 분사속도를 증가시키는 것이 감소시키는 것 보다 더 높은 CO<sub>2</sub> 등농도선대가 밑바닥면 상에 형성될 것으로 예측되었다.

#### ABSTRACT

We have conducted a numerical simulation under two-dimensional unsteady conditions in order to analyze the effect according to the injection angle and velocity of the CO<sub>2</sub> agent nozzle which is one of the elements for the fixed type CO<sub>2</sub> fire extinguishing system installed in a ship on the characteristics of flow and CO<sub>2</sub> concentration distribution. The flow fields and concentration fields were measured and analyzed. We can find that the difference of flow patterns according to the conditions of CO<sub>2</sub> agent injection nozzle, and in all the conditions of CO<sub>2</sub> agent injection nozzle, the iso-concentration line was expanded from the region at which vortex was generated to the surroundings. We can expect that the intensity of the wall jet on the bottom floor was generated differently and the iso-concentration lines were expanded or shrunk according to the angle of CO<sub>2</sub> agent injection nozzle. In case of increasing CO<sub>2</sub> agent injection velocity maintaining the flow quantity of the CO<sub>2</sub> agent injection equally, the iso-concentration line of CO<sub>2</sub> agent on bottom floor can be formed more higher than in case of decreasing CO<sub>2</sub> agent injection velocity.

**Key words :** The angle of CO<sub>2</sub> agent nozzle, CO<sub>2</sub> concentration distribution, Wall jet

#### 1. 서 론

선박에 사용되고 있는 고정식 소화장치에는 소화제의 종류에 따라 고정 포말 소화장치, 고정 이산화탄소 소화장치, 고정분말 소화장치 등이 있으며, 이중에서 선

박의 특수성 때문에 고정식 이산화탄소 소화장치를 기관실에 설치한 선박이 주류를 이루고 있다. 이 소화장치의 구성은 크게 소화제 저장실, 밸브제어실, 제어밸브와 방호구역에 설치되는 분사노즐군으로 나눌 수 있다. 이산화탄소 소화설비를 선박의 고정식 소화장치로 설치할 경우에 이에 관련된 규정은 방호공간의 용적에 따른 소화제량과 소화제 방출시간에 관한 것만 있

<sup>†</sup>E-mail: cspark@mmu.ac.kr

으며, 소화제 분사노즐에 관한 사항은 특별히 규정하지 않고 있다. 하지만 선박 기관실은 층과 격벽 및 구획으로 나누어져 있고 각 층과 구획에는 필요한 기기들이 설치되어 있다. 따라서 선박의 기관실에 고정식 소화장치 설치 시에는 각 층 및 구획이 형성하는 방호공간의 특성이 고려되어야 한다. 가스계 소화설비와 관련된 최근 연구들<sup>1-3)</sup>은 할론 소화제의 퇴출로 이 소화제를 대체할 수 있는 소화제에 대한 연구와 미분무수 소화설비대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 소화제의 분사노즐에 관한 연구는 Jiusheng Li<sup>4)</sup> 등은 노즐 형상이 스프링클러 비말의 특성에 미치는 영향에 대한 연구를 하였으며, 김윤중<sup>5)</sup> 등은 가스계 소화제 노즐 오리피스에 따른 방사특성을 분석하였다. 하지만 가스계 소화제의 노즐각과 분사속도에 따른 유동 및 물질전달 특성에 관한 연구는 찾아보기 어렵다. 따라서 가스계 소화제의 분사노즐에 관한 연구가 필요하며, 본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 소화제 분사노즐의 각도, 분사속도 및 분사노즐위치 등을 변화시키면서 나타나는 유동특성 및 CO<sub>2</sub> 소화제농도분포에 대한 연구를 수행하여 CO<sub>2</sub> 소화장치 설계 시 분사노즐 선정에 있어서 고려되어야 할 노즐조건에 따른 특성들을 예측하여 제시하고자 한다.

## 2. 이론해석

### 2.1 지배방정식

유동장을 해석하기 위해 사용되는 방정식은 비압축성 유체로 가정하고, 난류 현상을 효과적으로 해석하기 위하여 지배 방정식들에 대해 밀도가중 평균인 Favre 평균을 취한 후 비정상 상태에 대해 유도한 것으로 연속방정식, 운동량방정식, 에너지 방정식 및 성분 보존 방정식은 다음과 같다.

#### (1) 연속방정식

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{u}_j) = 0$$

#### (2) 운동량방정식

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \delta_{ij} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k} - \bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{u}_i \right] + \rho b_i$$

#### (3) 에너지보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{\rho} \tilde{h}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{h}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{k}{C_p} \frac{\partial \tilde{h}}{\partial x_j} \right)$$

#### (4) 성분보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{\rho} \tilde{Y}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{Y}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \rho D_i \frac{\partial \tilde{Y}_i}{\partial x_j} \right)$$

#### (5) 난류운동에너지방정식

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

#### (6) 난류소멸율방정식

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

#### (7) 이상기체상태방정식

$$P = \rho R T \sum_i \frac{\tilde{Y}_i}{W_i}$$

## 2.2 경계조건

초기 계산영역은 정지된 288K, 1기압의 공기, CO<sub>2</sub> 질량분율은 “0”이다. 이 같은 조건에서 천장의 노즐로부터 질량분율 1이고 일정한 온도(288K)인 CO<sub>2</sub>가 분출되며 계산영역은 소화제 분사노즐을 기준으로 대칭 조건이다. 대칭면에서는 모든 속도성분 및 온도, 이산화탄소 질량분율의 구배는 “0”이며, 천장과 바닥면은 단열조건이다. 개구부는 구배가 “0”인 대기압조건이다. 소화제 분사노즐크기는 0.55 cm<sup>2</sup>(실제 노즐의 크기)를 기준으로 하고 유량은 일정하게 유지한 상태에서 소화제 분사속도에 따라 노즐크기를 계산하여 변화시켰다. 분사노즐 크기에 상당하는 소화제 분사속도는 10 m/s를 기준으로 1.5배(15 m/s) 및 0.5배(5 m/s)의 속도로 이산화탄소 소화제가 분사되는 것으로 하였다.

## 3. 실험방법

본 연구에서 채택한 계산영역은 Fig. 1과 같다. 소화제 분사노즐각 및 분사속도의 변화에 따른 유동특성과 농도분포특성만을 해석하기 위하여 1m×1m의 단순한 모델을 해석영역으로 선정하였다. 해석영역을 1m×1m의 단순한 모델로 선정한 것은 한 개의 분사노즐 조건에 따라 야기되는 유동 및 농도분포 특성만을 분석하고자 함이며, 선박 기관실 내에 구획으로 나누어져 있는 특별한 기기실의 길이와 높이의 비가 2:1에 근접한 경우를 단순모델로 선정하였다. 실험의 편이를 위하여 소화제 분사노즐을 기준으로 대칭조건으로 하였으며, 해석영역에는 두개의 벽과 1개의 개구부가 있으며, 해석의 편이를 위하여 위측 벽을 천장으로, 아래측

벽을 밑바닥면으로 호칭하고자 한다.

검사체적에 기초한 유한체적방법(Control-volume based

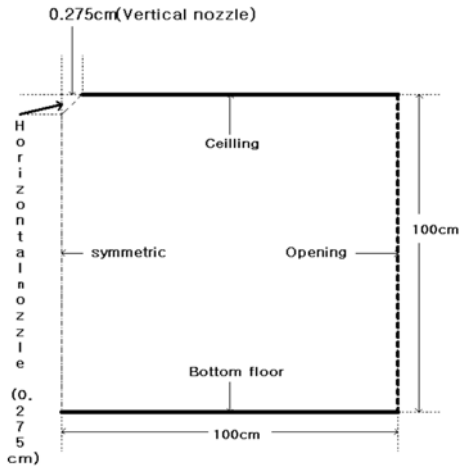


Fig. 1. Calculation domain.

finite difference method)을 이용하는 상용 코드인 Fluent 5.3 버전을 사용하였고, Up-wind scheme 및 Simple algorithm을 적용하였으며 난류모델로는 표준  $\kappa-\epsilon$  모델을 사용하였다.

사용된 격자수는  $100 \times 100$ 이며 소화제 분사노즐을 기준으로 밑바닥면과 개구부로 근접할수록 격자의 간격이 커지는 격자형태를 사용하였고, 수렴조건은 각 검사체적에서 계산한 잔류생성항의 절대치 합이  $10^{-3}$  이하이고, 일정한 지점에서 속도와 같은 주요변수들의 반복계산 결과가 거의 변화하지 않을 때를 수렴한 것으로 판단한다. Time step은 0.01 sec로 주었고 비정상상태에 대해 Implicit scheme을 사용하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 일정한 공간에 한 개의  $\text{CO}_2$  소화제 분사노즐로부터  $\text{CO}_2$  소화제를 분사하였을 시 소화제 분사노즐각 및 소화제 분사속도가 유동 및  $\text{CO}_2$  소화

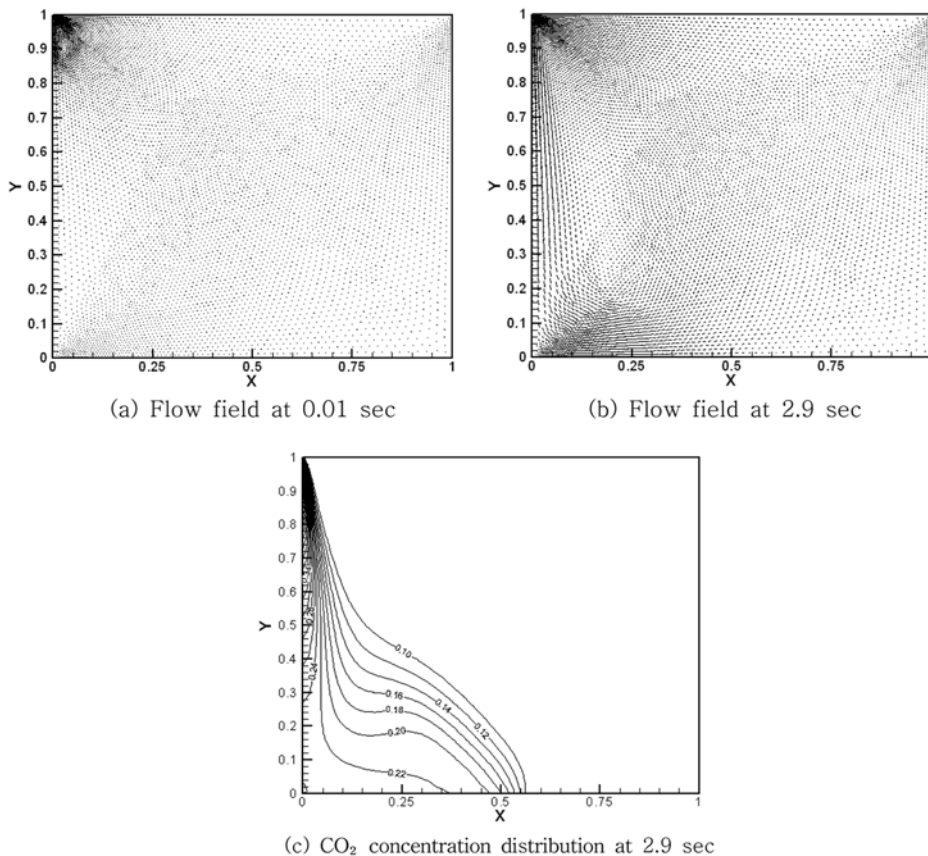


Fig. 2. Flow field and  $\text{CO}_2$  concentration distribution.

제 농도분포특성에 미치는 영향을 분석하였다. 소화제 분사노즐 각은 천장에 수직인 경우, 천장에 수평인 경우, 천장과 15°, 30° & 45°인 경우를 선정하였고, 소화제 분사 속도는 10 m/s(레이놀즈수 2,300이상)을 기준으로 하여 선정함을 기준으로 하여 1.5배(15 m/s) 증가시킨 경우와 0.5배(5 m/s) 감소시킨 경우를 선정하였으며, 소화제 분사 유량을 일정하게 유지한 상태에서 각 경우에 대한 유동특성 및 CO<sub>2</sub> 소화제 농도분포변화를 고찰하였다. 소화제 분사노즐의 각을 변화시켰을 경우 0.10 이상의 등농도선대가 개구부에 이르는 시간대(2.9 sec)를 선정하여 이 시간대의 유동장과 농도장을 비교 분석하였다.

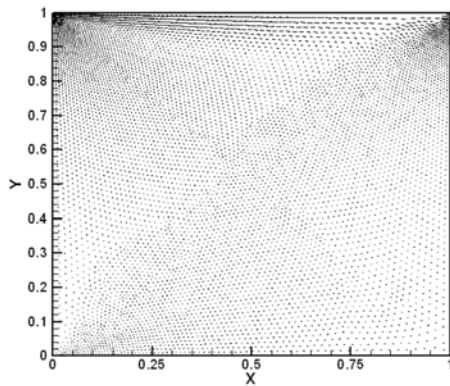
**4.1 소화제 분사노즐 각이 천장과 수직 및 수평을 이룰 경우**

Fig. 2는 소화제 분사노즐 각이 천장과 수직일 경우의 유동장과 CO<sub>2</sub> 농도분포를 나타내고 있다.

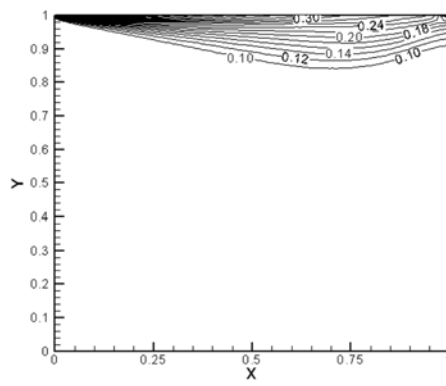
유동장에서는 분사초기에는 분사기류에 의한 유입기류로 인하여 분사기류 우측에 와류가 형성되고 시간경과와 함께 밀바닥 면을 향하여 이동한다. CO<sub>2</sub> 분사 2.9 초시에는 밀바닥으로부터 약 30 cm 떨어진 위치까지 이르고, 분사류가 밀바닥 면에 부딪혀 체트기류를 형성한 후 진행하다 영역 중앙부를 향한 상승기류로 전환되어 분사류로 향하는 유입기류와 합류하는 유동형태를 나타내고 있다.

농도분포에서는 분사류로 유입되는 기류의 영향으로 밀바닥 면에 근접할수록 0.10 이상의 농도분포대가 영역의 우측으로 확장됨을 알 수 있고, 상승기류로 인하여 좌측 밀바닥 면 모서리 부근으로부터 영역의 중앙을 향해 물질전달이 일어남을 보여주고 있다.

Fig. 3은 소화제 분사노즐 각이 천장과 수평일 경우이다. 분사초기에는 와류가 분사류로 유입되는 기류로 인해 분사류 하부에 형성되어 시간경과와 함께 우측으로 이동한다.

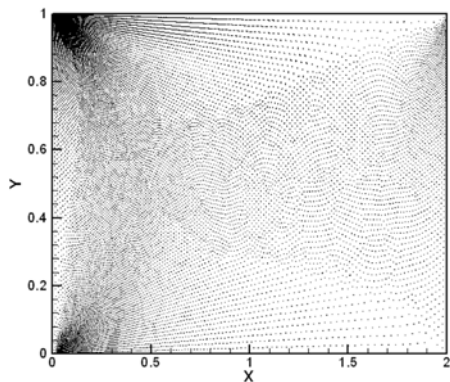


(a) Flow field at 2.9 sec

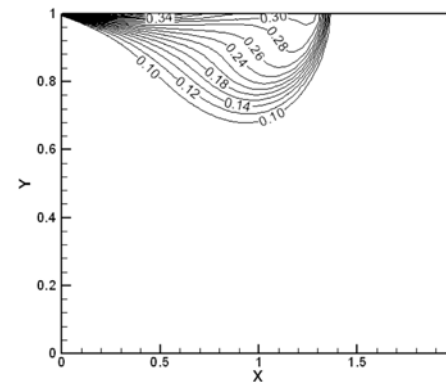


(b) CO<sub>2</sub> concentration distribution at 2.9 sec

**Fig. 3.** Flow field and CO<sub>2</sub> concentration distribution.



(a) Flow field at 2.9 sec



(b) CO<sub>2</sub> concentration distribution at 2.9 sec

**Fig. 4.** Flow field and CO<sub>2</sub> concentration distribution.

농도분포에서는 x축 0.70 위치를 지나면서 하부영역으로 확장되던 농도분포가 축소되어 나타나고 있다. 이것은 분사류가 천장을 따르는 제트기류를 형성하여 진행하다 x축 0.70 부근에서부터 시계방향으로 회전하는 와류의 기류에 유입되기 때문인 것으로 생각된다. 벽과 같은 장애물이 없기 때문에 하부영역으로 0.10 이상의 농도분포대가 형성되지 않음을 알 수 있다. Fig. 2의 (b), (c)와 비교해보면 노즐조건에서와 같이 서로 상반된 유동형태와 농도분포를 나타내고 있다.

Fig. 4는 소화제 분사 노즐 조건은 Fig. 3과 동일하나 x축 방향의 길이가 Fig. 3보다 2배(2m)인 경우의 유동장과 CO<sub>2</sub> 농도분포를 나타내고 있다. 길이에 따른 유동형태 및 CO<sub>2</sub> 농도분포 변화를 고찰하기 위하여 x축 방향 길이를 Fig. 3보다 2배로 증가시켰다.

유동형태는 Fig. 3의 (a)와 유사하고, 천장제트기류의 영향이 천장으로부터 x축 방향의 약 1.4 m 이상의 영

역에는 미약함을 보여주고 있다.

농도분포에서는 미약한 와류가 형성되는 영역에서 등농도선대가 영역중앙으로 확장되고 있지만 밑바닥면과 영역의 개구부까지는 이르지 못하고 있다. 소화제노즐분사 각이 천장과 수평한 노즐을 선정할 시에는 이와 같은 물질전달특성을 고려해야 할 것으로 생각된다.

#### 4.2 소화제 분사노즐 각이 천장과 15°, 30° 및 45°를 이룰 경우

Fig. 5는 소화제 분사노즐 각이 천장과 15°일 경우의 유동장과 CO<sub>2</sub> 농도분포를 나타내고 있다. Fig. 2의 (b) 보다 분사류로의 유입기류 영향이 더 강하게 나타나고, 밑바닥면 제트기류로 더 강하게 형성되어 제트기류 영향이 개구부까지 미치고 있다. 와류의 위치 또한 개구부 측으로 이동되어 발생하고 있다.

농도분포에서는 0.10의 등농도선대가 Fig. 2의 (c)보

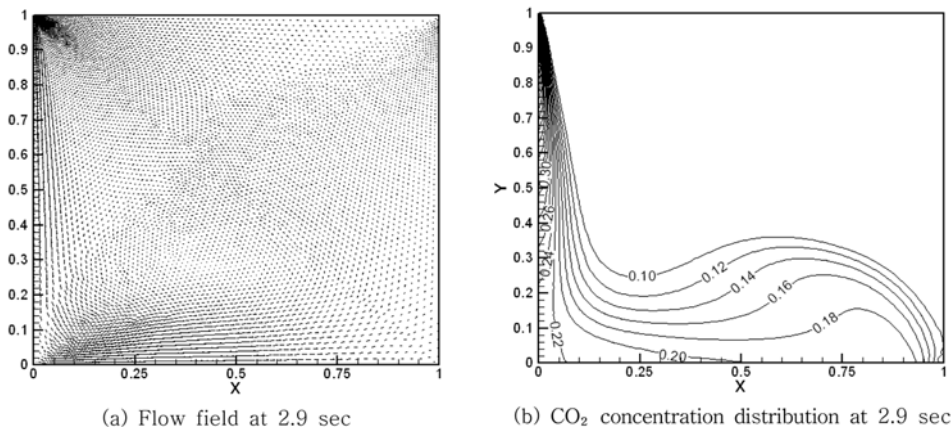


Fig. 5. Flow field and CO<sub>2</sub> concentration distribution (Injection angle: 15°).

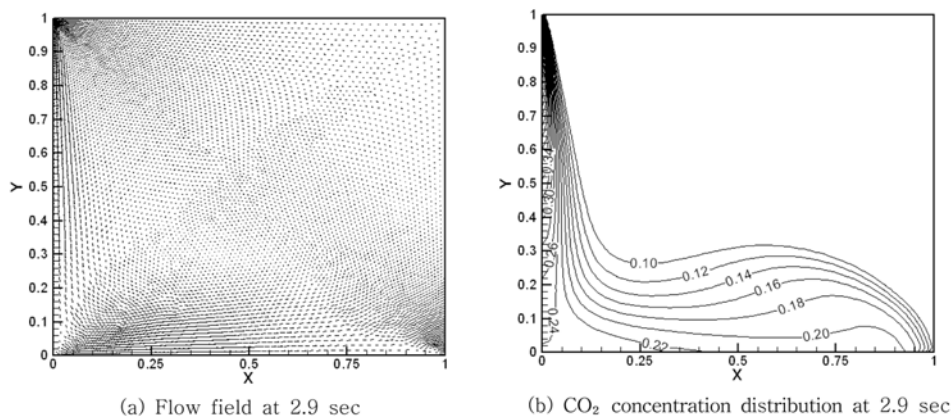


Fig. 6. Flow field and CO<sub>2</sub> concentration distribution (Injection angle: 30°).

다 밑바닥 면에 근접하여 형성되며 밑바닥 면의 거의 전 영역에 0.18 이상의 등농도선대가 분포하고 있다. 이것은 개구부 영역까지 영향을 미치는 제트기류와 상승기류의 영향 때문인 것으로 생각된다. 이 같은 현상으로부터 소화제 분사노즐 각이 유동형태 및 CO<sub>2</sub> 물질전달에도 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 소화제 분사노즐 각이 천장과 30°일 경우의 유동장과 CO<sub>2</sub> 농도분포를 나타내고 있다. Fig. 2의 (b)와 Fig. 5의 (a)와 비교해보면 밑바닥 면에 형성되는 제트기류와 와류로 유입되는 상승기류가 강해지고, 와류의 위치는 유사함을 나타내고 있다.

농도분포에서는 밑바닥 면부근에 0.20 이상의 등농도선대가 나타나 Fig. 2의 (c) 및 Fig. 5의 (b)보다 더 높은 농도분포를 보이고 있다. 이것은 밑바닥 면을 따르는 제트기류가 Fig. 2의 (b)와 Fig. 5의 (a)보다 더 강하게 형성되기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다.

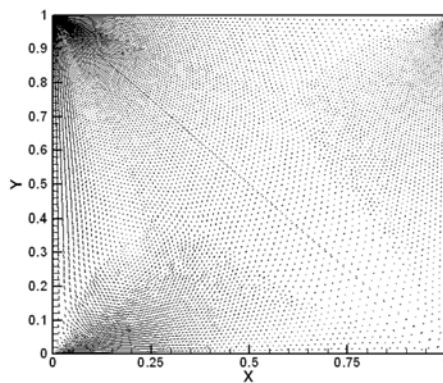
Fig. 7은 소화제 분사노즐 각이 천장과 45°일 경우의

유동장과 CO<sub>2</sub> 농도분포를 나타내고 있다. Fig. 2의 (b), Fig. 5의 (a) 및 Fig. 6의 (a)와 비교해보면 분사류로 유입되는 기류가 더욱 강해지고 밑바닥면의 제트기류는 Fig. 2의 (b)와 유사하지만 밑바닥 면으로부터 상승하는 기류가 더 강해져서 유입기류에 합류됨을 보이고 있다. 이것은 분사류로 유입되는 기류의 영역이 Fig. 2의 (b), Fig. 5의 (a) 및 Fig. 6의 (a)보다 더 확장되기 때문으로 생각된다.

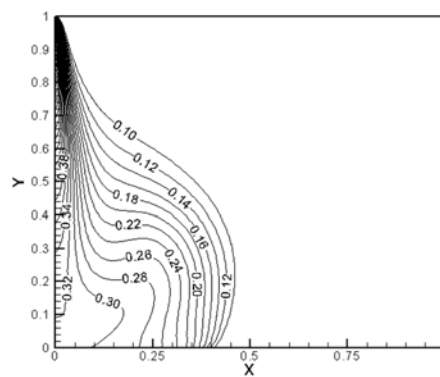
농도분포에서는 위와 같은 유동특성으로 인하여 등농도선대가 소화제분사노즐에 근접한 영역으로부터 Fig. 2의 (c), Fig. 5의 (b) 및 Fig. 6의 (b)보다 개구부 측으로 더 확장되지만 밑바닥 면에서는 0.10 이상의 등농도선대가 Fig. 5의 (b) 및 Fig. 6의 (b)보다 매우 수축됨을 알 수 있다.

### 4.3 소화제 분사속도를 증감시킬 경우

Fig. 8은 유량은 Fig. 2와 같은 상태에서 속도를 1.5

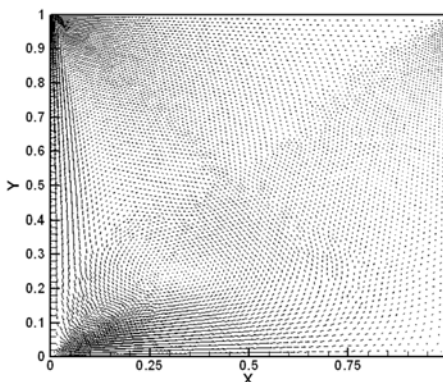


(a) Flow field at 2.9 sec

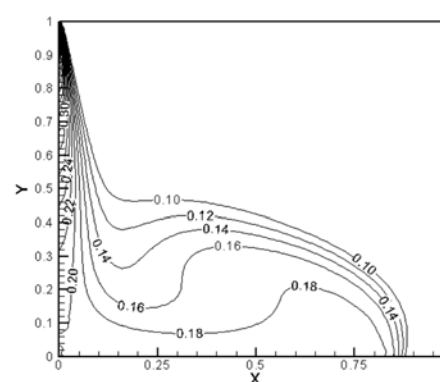


(b) CO<sub>2</sub> concentration distribution at 2.9 sec

Fig. 7. Flow field and CO<sub>2</sub> concentration distribution (Injection angle: 45°).



(a) Flow field at 2.9 sec



(b) CO<sub>2</sub> concentration distribution at 2.9 sec

Fig. 8. Flow field and CO<sub>2</sub> concentration distribution (Injection Velocity: 15 m/s).

배(입구면적 감소)로 증가시킨 경우의 유동장과 CO<sub>2</sub> 농도분포를 나타내고 있다. 밑바닥 면을 따르는 제트 기류가 Fig. 2의 (b)보다 더 강하게 나타나고 상승기류 또한 강하게 형성되고 있다. 와류의 기류도 Fig. 2의 (b)보다 강해지고 위치도 개구부 측으로 이동되었음을 알 수 있다.

농도분포에서도 Fig. 2의 (c)보다 등농도선대가 개구부 측으로 더 확장되고 있다. 반면에 Fig. 2의 (c)보다 밑바닥 면 모서리부근에 더 낮은 등농도선대가 형성되고 있다. 이 같은 현상은 Fig. 2의 (b)보다 더 넓은 영역에 영향을 미치는 제트기류와 상승기류의 영향 때문인 것으로 생각된다.

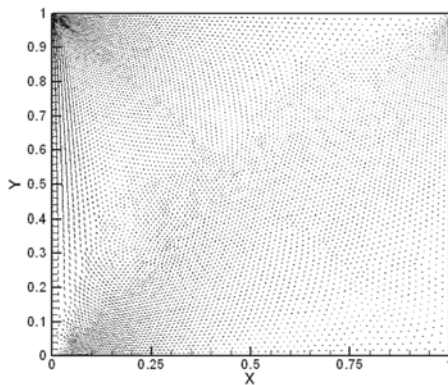
Fig. 9는 유량은 Fig. 2와 같은 상태에서 속도를 0.5배(입구면적 증가)로 감소시킨 경우의 유동장과 CO<sub>2</sub> 농도분포를 나타내고 있다. Fig. 2의 (b)와 Fig. 8의 (a)보다 미약한 제트기류와 상승기류가 형성되고 와류도 미약하게 발생하고 있다. 와류 위치 또한 Fig. 2의 (b)

와 Fig. 8의 (a)보다 더 높은 곳에 위치함을 알 수 있다.

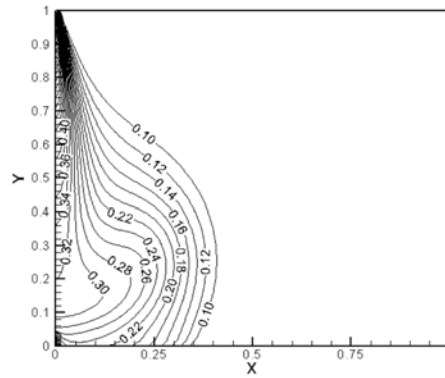
농도분포에서는 분사노즐 바로 밑의 바닥면 상에 Fig. 2의 (c)와 Fig. 8의 (b)보다 더 높은 등농도선대가 형성되고, 분사노즐 바로 밑에서부터 등농도선대가 개구부 측으로 확장됨을 보이고 있다. 반면에 밑바닥면 상에 형성되는 0.10 이상의 등농도선대는 Fig. 2의 (c)와 Fig. 8의 (b)보다 축소되고 있다. 이것은 분사속도 감소로 인해 바닥면을 따르는 제트기류가 미약해지기 때문이다. 이상으로부터 소화제 분사노즐이 설치되는 공간의 특성에 따라 속도증가조건 및 입구면적증가 조건을 고려해야 할 것으로 사료된다.

#### 4.4 소화제 분사노즐 위치를 증감시킬 경우

Fig. 10은 소화제 분사노즐의 조건은 Fig. 2와 같은 상태에서 분사노즐 위치(해석영역의 높이)를 Fig. 2보다 1.25배(1.25 m) 증가시킨 경우의 유동장과 CO<sub>2</sub> 농도분포를 나타내고 있다.

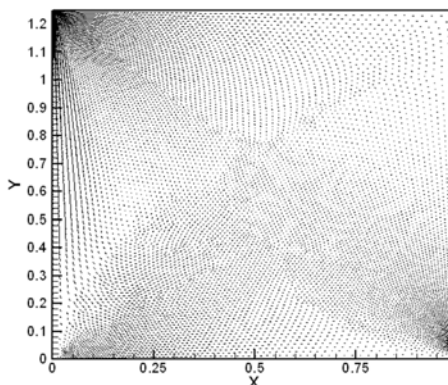


(a) Flow field at 2.9 sec

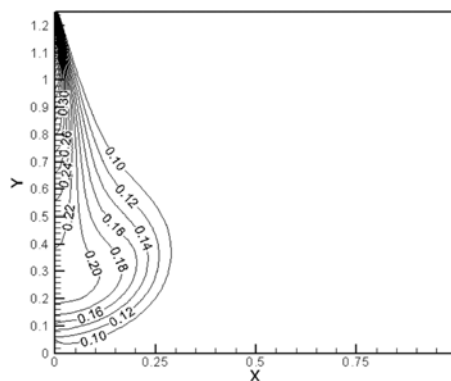


(b) CO<sub>2</sub> concentration distribution at 2.9 sec

Fig. 9. Flow field and CO<sub>2</sub> concentration distribution (Injection Velocity: 5 m/s).



(a) Flow field at 2.9 sec



(b) CO<sub>2</sub> concentration distribution at 2.9 sec

Fig. 10. Flow field and CO<sub>2</sub> concentration distribution (Height: 1.25 m).

높이 증가로 인하여 밀바닥 면을 따르는 제트기류가 Fig. 2의 (b)보다 미약하게 형성되며 유입기류에 합류되는 상승기류도 더 약함을 보이고 있다. 이러한 영향으로 인하여 와류가 밀바닥 면으로부터 더 높은 곳에

위치하여 발생하고 있다.

농도분포에서는 위와 같은 유동형태로 인해 0.10 이상의 등농도선대가 Fig. 2의 (c)보다 더 수축되어 나타나고 밀바닥 면에는 형성되지 않고 있다.

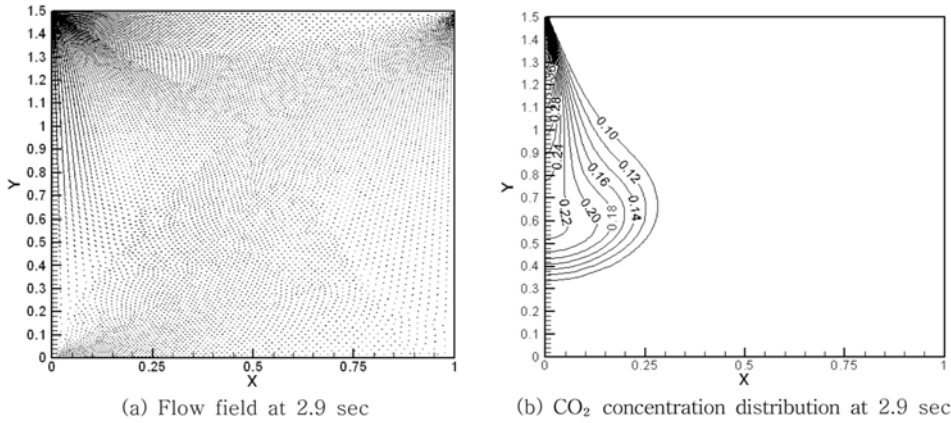


Fig. 11. Flow field and CO<sub>2</sub> concentration distribution (Height: 1.5 m).

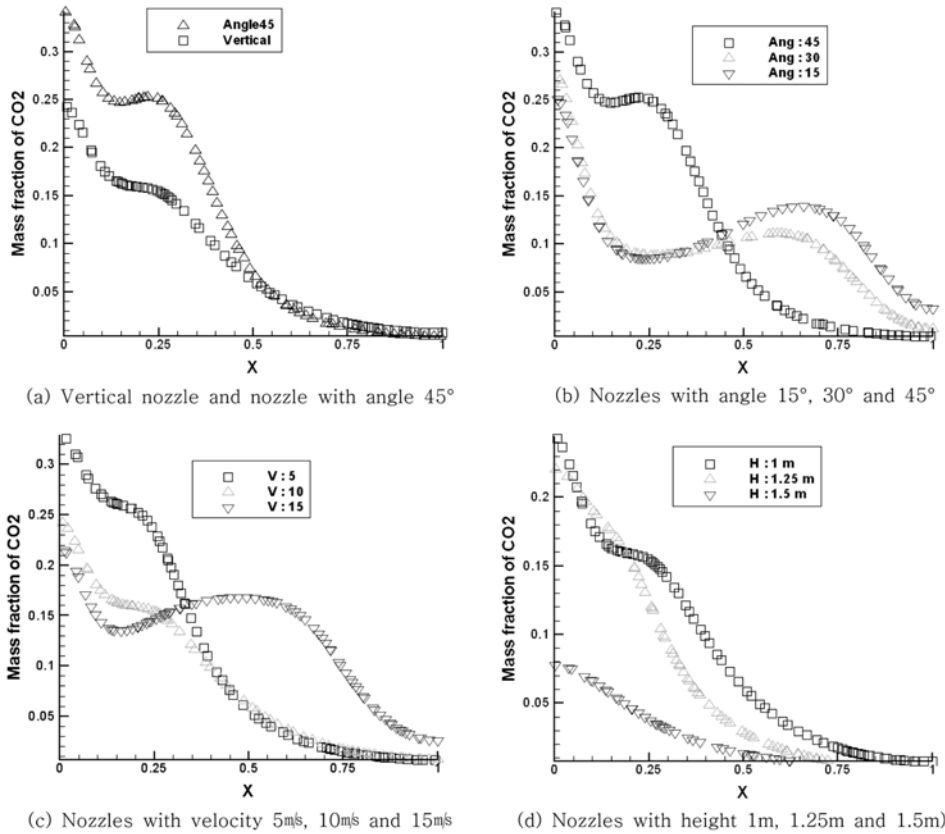


Fig. 12. Variation of CO<sub>2</sub> mass fraction according to the conditions of agent injection nozzle ( $y = 0.3$  m).



Fig. 11은 소화제 분사노즐의 조건은 Fig. 2와 같은 상태에서 분사노즐 위치(해석영역의 높이)를 Fig. 2보다 1.5배(1.5 m) 증가시킨 경우의 유동장과 CO<sub>2</sub> 농도 분포를 나타내고 있다.

Fig. 2의 (b)와 유사한 유동형태를 보이지만 천장부근의 유입기류가 더 강하게 형성되고, 밀바닥 면의 기류는 더 미약한 것을 알 수 있다. 와류도 밀바닥 면으로부터 더 높은 곳에서 발생하고 있다.

농도분포에서도 분포형태는 Fig. 10의 (b)와 유사하지만 0.10 이상의 등농도선대가 밀바닥 면으로부터 더 떨어진 곳에 형성되고 있다. 따라서 분사노즐의 높이에 따라 소화제 분사속도를 고려해야 할 것으로 생각된다.

#### 4.5 각 경우에 대한 CO<sub>2</sub> 질량분포 비교

Fig. 12의 (a)~(d)는 밀바닥 면으로부터 30 cm 높이 ( $y = 0.3$  m)의 X 방향 CO<sub>2</sub> 질량분포를 나타내고 있다. Fig. 12의 (a)는 천장에 수직인 노즐과 45도 각을 이루는 노즐을 같은 유량조건 하에서 2.9초시의 농도분포를 나타낸 것이다. 수직분사노즐보다 45도 각을 갖는 분사노즐이 더 넓은 영역에 더 높은 농도분포를 형성시키는 것을 알 수 있다. 노즐분포 특성 면에서 볼 때 45도 분사각을 갖는 노즐이 수직분사노즐 보다 더 효과적임을 예측 가능하다.

Fig. 12의 (b)는 소화제 분사노즐 각을 15°, 30° 및 45°로 변화시킨 경우의 농도분포 변화이다. 노즐분사각이 15°일 경우는 30° 및 45°인 경우보다 농도분포가 개구부 측으로 더 넓게 확장됨을 보여주고, 노즐분사각이 45°인 경우는 분사노즐에 더 근접한 영역에서부터 더 높은 농도분포가 X방향 약 0.45 m 부근까지 형성되지만 그 이후 영역에서는 급격히 낮은 농도분포를 보이고 있다. 분사노즐 각이 30° 이하일 경우는 한 노즐의 방호영역이 넓은 조건에 합당하고, 45도일 경우는 분사노즐 하의 방호영역을 순간적으로 에워싸야 할 조건에 적합할 것으로 생각된다.

Fig. 12의 (c)는 유량은 일정한 상태에서 입구면적에 대한 분사속도를 변화시켜서 나타낸 농도분포이다. 기준상태( $V: 10$  m/s, 노즐면적:  $0.00275$  m<sup>2</sup>)보다 속도를 증가시키면( $V: 15$  m/s, 입구면적 감소) 다른 경우보다 농도분포가 더 넓게 확장되고, 속도를 감소시키면( $A: 5$  m/s, 입구면적 증가) 소화제 분사노즐 바로 밑의 영역에 더 높은 농도분포를 나타낸다. 이 같은 결과로부터 노즐이 설치되는 공간의 특성에 따라서 소화제 분사노즐 조건을 고려해야 할 것으로 생각된다.

Fig. 12의 (d)는 소화제 분사노즐 조건은 다른 경

우와 동일한 상태에서 높이를 1.25배(1.25 m)와 1.5배(1.5 m)로 증가시킨 경우의 농도분포를 나타낸 것이다.

높이를 증가시킬수록 바닥면에 근접한 영역의 농도가 낮아짐을 보여주고 있다. 분사노즐의 높이에 따라서 소화제분사노즐 속도를 증가시켜야 할 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 체적이 일정한 공간에 한 개의 CO<sub>2</sub> 분사노즐로부터 소화제를 분사하였을 시 소화제 분사노즐각 및 소화제 분사속도가 유동 및 CO<sub>2</sub> 소화제 농도분포특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 소화제 분사노즐각과 분사속도를 변화시키면서 전산모의실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론들을 예측가능 하였다.

1. 소화제 분사노즐의 조건에 따라 예상 가능한 유동패턴의 상이성을 확인할 수 있었다.
2. 모든 분사노즐의 조건에서 와류가 형성되는 영역에서 등농도선대가 주위로 확장됨을 알 수 있었다.
3. 소화제 분사노즐각이 15°와 30°일 경우는 밀바닥 면을 따르는 제트기류가 분사노즐각이 천장과 수직인 경우보다 더 강해지고 높은 등농도선대가 밀바닥 면상의 전 영역으로 확장되지만 분사노즐각이 45°일 경우는 밀바닥 면상에 형성된 0.10 이상의 등농도선대는 분사노즐각이 15° 및 30°일 경우보다 축소되는 경향을 보였다.
4. 소화제 분사유량이 일정한 상태에서 분사속도를 증가시킨 경우가 감소시킬 경우보다 더 높은 등농도선대가 밀바닥 면상의 넓은 영역에 형성될 것으로 예측되었다.
5. 소화제 분사노즐의 높이에 따라 밀바닥면상에 0.10 이상의 등농도선대가 형성되지 않고 있어 분사노즐의 높이에 따른 분사속도를 고려해야 할 것으로 생각된다.
6. 각 경우의 질량분포 비교에서는 노즐분사각이 30° 이하인 경우는 한 노즐의 방호영역이 넓은 조건에 적합하고, 노즐분사각이 45°인 경우는 분사노즐하의 방호영역을 순간적으로 에워싸야 하는 조건에 합당할 것으로 예측된다.
7. 전산모의 실험결과들로부터 선박에 고정식 CO<sub>2</sub> 소화 장치설계 시 소화제 분사노즐각이나 분사속도 등의 분사노즐의 조건들이 설치공간의 특성에 따라 고려되어야 할 것으로 사료되나 차후 3차원 모의실험과 실험적인 검증이 필요할 것으로 여겨진다.

## 기호설명

$\mu_{eff}$	: $\mu + \mu_t$
$\tilde{u}$	: x축 방향의 favre 평균속도 [ $m \cdot s^{-1}$ ]
$\tilde{v}$	: y축 방향의 favre 평균속도 [ $m \cdot s^{-1}$ ]
$\mu_{eff}$	: 유효점성계수 [ $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ]
$\mu$	: 점성계수 [ $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ]
$\mu_t$	: 난류점성계수 [ $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ]
$\rho$	: 기체밀도 [ $kg \cdot m^{-3}$ ]
$g$	: 중력가속도 [ $m \cdot s^{-1}$ ]
$k$	: 난류운동에너지 [ $m^2 \cdot s^{-2}$ ]
$\varepsilon$	: 난류소멸율
$G$	: 난류운동에너지 생성항
$C, C_1, C_2$	: 실험적 난류모델상수
$C_p$	: 정압비열 [ $kJ/kg^\circ C$ ]
$\bar{Y}_i$	: i종 기체평균질량분율
$W_i$	: i종기체분자량 [ $kg \cdot mol^{-1}$ ]
$D$	: 확산계수 [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]
$\bar{R}$	: 일반기체상수
$T$	: 온도 [ $k$ ]
$P$	: 압력 [ $kg \cdot m^{-2}$ ]
$h$	: 엔탈피

## 참고문헌

1. Anthony Hamins, "Flame Extinction by Sodium Bicarbonate Powder in a Cup Burner", Twenty-Seventh Symposium on Combustion, pp.2857-2864 (1998).
2. Nader Vahdat and Yong Zou, "Fire-extinguishing Effectiveness of New Binary Agents", Fire Safety Journal 38, pp.553-567(2003).
3. S. C. Kim and H. S. Ryou, "An Experimental and Numerical Study on Fire Suppression Using a Water Mist in an Enclosure", Building and Environment, 38, pp.1309-1316(2003).
4. Juisheng Li, "Effect of Pressure and Nozzle Shape on the Characteristics of Sprinkler Droplet Spectra", J. agric. Engng Res., pp.15-21(1997).
5. 김윤중, 윤명오, "용기 일체형 가스소화 방식의 오리피스 방사특성에 관한 연구", 한국화재소방학회, 제 16권, 제 2호, pp.2-9(2002).
6. 박승민, "가스계 소화설비의 개구부를 통한 소화약제 누출 및 보상문제에 관한 소고", 한국화재소방학회, 제 16권, 제 3호, pp.77-83(2000).