

유해가스 및 분진이 발생하는 작업장내의 자연환기에 대한 연구

추병길[†] · 김철^{*} · 최종욱^{**} · 유수열^{***}

순천제일대학 안전보건정보과 · ^{*}순천제일대학 차량기계과 · ^{**}전남대학교 기계공학과 · ^{***}CMS 테크(주)
(1999. 12. 4. 접수 / 2000. 3. 9. 채택)

The Study on Natural Ventilation in Working Places with the Noxious Gas and Dust

Byung-gil Chu[†] · Chul Kim^{*} · Jong-ook Choi^{**} · Soo-yul Yoo^{***}

Department of Safety & Health Information, Suncheon First College

^{*}Department of Automotive & Machinery, Suncheon First College

^{**}Department of mechanical Engineering, Cheonnam National University

^{***}CMS Total Solution & Consulting Engineering Company

(Received December 4, 1999 / Accepted March 9, 2000)

Abstract : In recent, occupational diseases in harmful working places become a social issue. It is the well-known fact that a respiration in polluted working places exert a serious effect on health of workers. Accordingly, the cutting off contaminants air originally is the best way to improve working environments. In these cases, ventilation systems should be essentially installed to dilute or exhaust the contaminated indoor air. In this study, we investigated the characteristics of ventilation system of the noxious gas in working indoor places with natural ventilation by using COMET. The numerical simulations were carried out the natural ventilation with two phase(air, dust). For turbulent flow, Reynolds stresses were closed by the standard $k-\epsilon$ model.

The results are as follows ;

- 1) In the natural exhaust in the working place, the flows of the central region have a more rapid velocity vector than the right and left one.
- 2) Numerical results show that the distribution of contaminants concentration have greater influence on convection than the case of diffusion by government of velocity vectors.
- 3) To observe the velocity variation with distance, three location of distance are considered. As results, it shows that the velocity are 0.075(m/s) at $y=5(m)$, $10(m)$ and mean concentration are raised 10.6% at $y=5(m)$, $10(m)$.
- 4) We have presented the useful data for the adequate counterplan in the harmful working places by carrying out the various investigation of the natural ventilation.

1. 서론

석유화학 공장내 작업장환경은 유해환경으로 인하여 발생하는 작업성 질병과 환경오염 및 석

유화학 제품의 농도 변화로 인한 불량품 발생, 화재와 폭발의 문제가 최근 자주 발생하여 사회 문제로 대두되고 있다.

그 중에서도 작업장 내의 오염공기를 계속적으로 호흡함으로써 발생하는 근로자의 직업병 발생과 작업장 내에서 오염공기의 배출에 의한 대기오염의 심각성이 더해가고 있는 것이 사실

[†] To whom correspondence should be addressed.
bgchu@first.suncheon.ac.kr

이다. 공장의 작업환경 개선에는 오염물질의 발생을 근본적으로 차단할 수 있는 방법의 채택이 가장 좋은 방법이지만 생산 여건상 그것은 불가능하여 어쩔 수 없이 공장내 공기가 오염될 경우 작업장의 유해환경으로부터 작업자를 보호하기 위한 가장 일반적이고 적극적인 공학적인 대책은 환기시설을 설치하여 오염물질을 효과적으로 제어하는 것이다¹⁾. 이러한 오염발생 작업장에서는 가능한 국소배기시설을 설치함이 환기의 적극적인 대책의 방법이며 그 중에서도 여러 인자 중 작업용도에 따라 유해가스와 분진의 후드 제어속도와 덕트내의 적정한 반송속도를 구하는 것이 절실이 필요하다.^{2,3)} 그러나 현실적으로는 근로작업 환경의 중요성에 비추어 많은 작업장에서 아직도 근로자의 보건 위생과 직결되는 작업환경의 특성에 적합한 환기시스템의 채택이 되지 않고 있는 실정이다. 이러한 환기시스템에는 전체환기와 국소배기 시스템이 있는데 대부분의 중소제조업은 상당수가 국소배기시스템을 설치하지 않고 자연환기에 의존하고 있으며, 설치하였다 하더라도 설계 기준치를 만족하지 못하고 있는 실정이다.⁴⁾ 이 때문에 작업자의 생산능률이 저하됨은 물론 작업성 질병의 발병이 증가되고 있으며, 환경오염문제, 화재·폭발의 위험성이 항상 잠재되고 있음은 주지의 사실이다. 따라서 공장의 유해물질 발생 공정의 작업환경을 개선하기 위하여 유해가스나 분진 등 입자상 물질이 발생하는 공정에서의 작업환경과 환기시스템에 대한 특성을 조사하여 쾌적한 작업환경, 원료의 재사용, 더 나아가서는 환경오염으로부터 보호가 절실히 필요하다.

본 연구는 국소배기장치가 설치되었으나 완전히 후드내로 흡인되지 못하고 후드를 이탈한 유해가스를 작업장에서 제거하기 위한 자연환기 방식을 채택하고 자연대류에 의한 유동장, 속도장, 압력장 및 발생된 유해가스의 농도분포 등을 수치해석을 통하여 조사하여 작업환경을 개선하는 것이다.

연구모델은 ABS수지의 혼합과 압출공정에서 스틸렌모노머(SM)가스와 분진이 발생하는 중소제조업의 작업장을 모델로 선정하였다. 동작유체는 공기와 SM 가스 및 SAN 분진이 자연순환될 때 SM가스는 공기의 유동에 흡수된다고 가정하고 공기와 분진의 2상(two phase)이 유동될

때 작업장의 전체환기를 개선하기 위한 방법을 제시하고, 공장의 자연환기 시스템의 환기특성을 분석하여, 환기시스템의 설계에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 작업공정별 유해요인 분포 실태

본 연구에서 채택한 공장의 작업공정은 원료 투입 → 원료저장 → 혼합 → 압출 → 냉각 → 절단 → 검사 → 포장이고 발생하는 분진(SAN)은 저장시설에서 자동으로 믹서에 혼합하는 과정과 압출과정에서 대부분 발생되고 있다.^{5,6)}

2.2. 연구모델 선정

Fig.1은 본 연구에서 채택한 작업장 계산모델이다. 이 작업장의 계절환경은 여름인 경우로 가정하였다. 아래 그림과 같이 공장내의 크기는 30m×20m이고 유입부가 1개소(0.3m×6m), 공기가 나가는 배기구(0.3m×3m)가 위치하여 있으며, 오염원 S₁은 좌측벽으로부터 8m, 바닥으로부터 1m 높이에 위치하고 있다. S₂는 우측벽으로부터 8m, 바닥으로부터 1m 높이에 위치하고 있다. 오염원은 일정한 질량(kg/s)의 SM(스틸렌모노머)가스와 SAN 분진이 발생되고 있으며, 동작유체는 공기와 SAN 분진이 혼합된 2유체 유동이다. 오염원의 세기 S₁은 1×10⁻⁴(kg/s), S₂는 1×10⁻³(kg/s)이다.

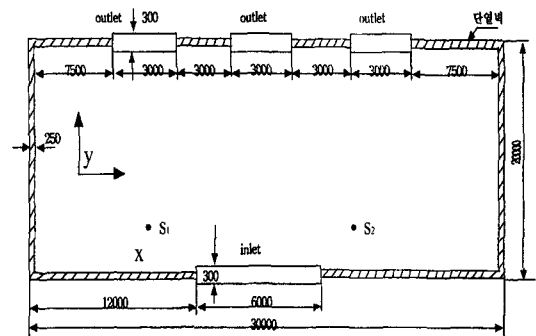


Fig. 1. Schematic of the natural ventilation model(unit:mm)

2.3. 이론적 배경

2.3.1. 지배방정식

유체의 거동은 질량보존, 운동량보존, 에너지보존 등 물리적인 평형에 기초한 기본방정식에

의하여 지배되어진다.⁷⁾

연속방정식

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \int_s \rho(\vec{v} - \vec{v}_s) \cdot \vec{d}s = 0 \quad (1)$$

여기서 t 는 시간, ρ 는 밀도, V 는 체적, s 는 면, v 는 속도를 나타낸다.

화학종 농도방정식

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho c_i dV + \int_s \rho c_i (\vec{v} - \vec{v}_s) \cdot \vec{d}s = \int_s \vec{q}_{ci} \cdot \vec{d}s + \int_V s_{ci} dV \quad (2)$$

여기서 c_i 는 i 번째 화학종의 농도, \vec{q}_{ci} 는 화학종의 확산유속(diffusion flux), s_{ci} 는 화학종의 생성항(source)을 나타내고, 화학종 질량은 한 점에서 혼합물질의 질량 m 과 i 번째 물질의 질량과의 비를 나타내며 식(3)으로 표현된다.

$$c_i = \frac{m_i}{m} \quad (3)$$

운동량 방정식

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \vec{v} dV + \int_s \rho \vec{v} (\vec{v} - \vec{v}_s) \cdot \vec{d}s = \int_s \vec{T} \vec{d}s + \int_V \vec{f}_b dV \quad (4)$$

여기서 \vec{T} 는 Cauchy 응력텐서, \vec{f}_b 는 단위체적당 체력(body force)이다.

에너지 방정식

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_V \rho E dV + \int_s \rho E (\vec{v} - \vec{v}_s) \cdot \vec{d}s \\ = \int_s \vec{q}_h \cdot \vec{d}s + \int_V s_h dV + \int_s (\vec{T} \cdot \vec{v}) \cdot \vec{d}s \\ + \int_V \vec{f}_b \cdot \vec{v} dV \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 q_h 는 열유속 벡터, s_h 는 열원, ϵ_i 는 화학종 구성물의 에너지이고, 총에너지 E 는 식(6)과 같다.

$$E = e + \frac{v^2}{2} + \sum_{i=1}^N c_i \epsilon_i \quad (6)$$

식(6)에서 첫째 항은 내부 열에너지, 둘째 항은 기계적 에너지, 셋째 항은 화학에너지이다.

기계적 에너지 방정식

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_V \rho \frac{v^2}{2} dV + \int_s \rho \frac{v^2}{2} (\vec{v} - \vec{v}_s) \cdot \vec{d}s \\ = \int_s (\vec{T} \cdot \vec{v}) \cdot \vec{d}s + \int_V \vec{f}_b \cdot \vec{v} dV \\ - \int_V \vec{T} \cdot \nabla \vec{v} dV \end{aligned} \quad (7)$$

열에너지 방정식

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_V \rho e dV + \int_s \rho e (\vec{v} - \vec{v}_s) \cdot \vec{d}s \\ = \int_s \vec{q}_h \cdot \vec{d}s + \int_V s_h dV + \int_V \vec{T} \cdot \nabla \vec{v} dV \end{aligned} \quad (8)$$

엔탈피 방정식은 정상상태에서 열-화학종 방정식으로 나타내면 식(9)와 같다.

$$h = e + \frac{p}{\rho} + \sum_{i=1}^N c_i H_i \quad (9)$$

여기서 p 는 압력, H_i 는 화학종 i 의 엔탈피이다. 식(2), 식(8), 식(9)를 혼합하여 식(10)을 얻는다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_V \rho h dV + \int_s \rho h (\vec{v} - \vec{v}_s) \cdot \vec{d}s \\ = \int_s \vec{q}_h \cdot \vec{d}s + \int_V s_h dV \\ + \int_V \vec{\mathcal{S}} \cdot \nabla \vec{v} dV + \int_V \vec{v} \cdot \nabla p dV \\ - \int_s \vec{p} \vec{v}_s \cdot \vec{d}s + \frac{d}{dt} \int_V p dV \\ - \left(\int_V \sum_{i=1}^N c_i H_i R_i dV \right) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $\vec{\mathcal{S}}$ 는 점성부의 응력텐서로서 식(11)로 표현되며 R_i 는 화학반응에 의한 총 생성항이다.

$$\vec{\mathcal{S}} = \vec{T} + p \vec{I} \quad (11)$$

여기서 \vec{I} 는 단위텐서(unit tensor)이다.

2.3.2. 난류모델

난류유동은 그 거동이 매우 불규칙하고 비정상 3차원 유동을 하므로 유동현상을 수치적으로 정확하게 예측하기란 어려운 일이다. 난류 운동량 방정식을 산출하기 위해 층류 운동량 방정식을 시간 평균하면 레이놀즈 응력(Reynolds stress)이 나타나게 된다. 이 레이놀즈 응력을 해결하기 위해 모델링을 한다. 난류모델은 난류점성계수(μ_t)를 취급하는 방법에 따라서 여러 가지로 분

류된다. 본 논문에서는 Launder와 Spalding가 제시한 혼합길이가 대수적으로 주어지지 않고 난류변수로서 미분방정식에서 자체적으로 계산되는 난류운동에너지 k 및 난류에너지 소산율 ϵ 이 연립된 2-방정식 모델을 사용하였다.⁸⁾ 그 이유는 계산영역에서 입구유동에 대한 Reynolds 수는 200,000이므로 난류유동으로 해석하였으며 환기의 유동은 온도차에 의한 영향보다 입구의 초기속도에 더 많은 영향을 받는다. 또한, 난류운동을 해석하기 위하여 난류운동에너지와 난류에너지소산율에 관한 방정식을 풀어 난류점성계수를 결정하는 표준 $k-\epsilon$ 모델을 사용하여 계산하였다. 표준 $k-\epsilon$ 모델은 와점성 모델에 넓게 사용되고 있다. 유효점성계수(μ_e)는 층류점성계수와 난류점성계수로 표현된다.

$$\mu_e = \mu_o + \mu_t \quad (12)$$

또한 난류질량확산계수와 난류점성계수, 난류전도계수는 식(13)로 정의된다.

$$\rho D_{i,t} = \frac{\mu_t}{\sigma_{ci}}, \quad \mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon}, \quad k_t = \frac{\mu_t C_p}{\sigma_t} \quad (13)$$

식(13)에 대한 표준 $k-\epsilon$ 난류모델에 대한 경험적인 상수값은 Table 1에 나타내었다.

수정된 압력(p_m)은 식(14), k 와 ϵ 은 식(15)으로 표현된다.

$$p_m = p + \frac{2}{3} (\mu_t \nabla \cdot \vec{v} + \rho k) \quad (14)$$

$$k = \frac{1}{2} (\overline{v' \cdot v'}), \quad \epsilon = \frac{\mu}{\rho} \overline{\nabla v' \cdot (\nabla v')^T} \quad (15)$$

이들은 지배방정식을 풀어 식(16) 및 (17)로 표현된다.

Table 1. The values of empirical coefficients in the standard $k-\epsilon$ model of the turbulence

C_μ	C_1	C_2	C_3	C_4	σ_k	σ_ϵ	σ_T	σ_{ci}
0.09	1.44	1.92	1.44	-0.33	1.0	1.3	0.9	0.9

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_V \rho k dV + \int_s \rho k (\vec{v} - \vec{v}_s) \cdot ds \\ = \int_s \vec{q}_k \cdot ds + \int_V (P + P_B - \rho \epsilon) dV, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_V \rho \epsilon dV + \int_s \rho \epsilon (\vec{v} - \vec{v}_s) \cdot ds = \int_s \vec{q}_\epsilon \cdot ds \\ + \int_V (C_1 P \frac{\epsilon}{k} - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} + C_3 \max(P, 0) \frac{\epsilon}{k} - C_4 \rho \epsilon \nabla \cdot \vec{v}) dV \end{aligned} \quad (17)$$

여기서 k 와 ϵ 에 대한 확산유속은 식(18)로 나타낸다.

$$\vec{q}_k = \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k, \quad \vec{q}_\epsilon = \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \quad (18)$$

전단력 P 와 부력 P_B 에 의한 난류 운동에너지의 생성은 식(19), (20)으로 정의된다.

$$P = \vec{T}_t \cdot \nabla \vec{v} = 2\mu_t \dot{D} : \dot{D} - \frac{2}{3} (\mu_t \nabla \cdot \vec{v} + \rho k) \nabla \cdot \vec{v} \quad (19)$$

$$P_B = \frac{\mu_t}{\rho} \sigma_T g \cdot \nabla \rho \quad (20)$$

위의 식에서 실험상수 C_1, C_2, C_3, C_4 와 $\sigma_k, \sigma_\epsilon$ 값은 Table 1에 나타내었다.

2.4. 수치해석

Fig. 1의 작업장 모델에 대하여 격자생성 프로그램인 ICEM을 사용하였고, 연구모델 해석은 COMET 프로그램을 사용하여 수치해석을 수행하였다. 작업장 실내에서 유동은 3차원, 비유동장, 압축성 등의 특성을 가지고 있으나 본 연구 모델은 한쪽 벽 길이가 다른 두 벽에 비하여 긴 형태이므로 2차원 자연대류 비압축성 유동, 실내 동작유체의 밀도 및 점성계수는 일정한 정상상태의 2유체 유동으로 가정하여 계산하였다. 또한 SM가스는 공기에 비하여 아주 소량이 발생하므로 그 흐름은 공기의 유동에 흡수한다고 가정하고 공기와 SAN 분진이 자연순환되는 2유체 거동으로 가정하였다. 한편, COMET 프로그램은 유한체적법(FVM)으로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 COMET 프로그램에서 제공하는 여러 가지 알고리즘 중 SIMPLE 방법을 이용하였다.

2.4.1. 격자모델

Fig. 2는 본 연구에 사용된 계산모델에 대한 격자구조이다. 작업장 해석의 격자는 비균일 격자계로 나누었으며 격자수는 7,296개로 생성하였다. 격자모델을 대칭으로 처리하지 않고 전체 작업장으로 처리한 이유는 입구를 중심으로 S1, S2의 오염원의 세기가 다르기 때문이다.

2.4.2. 경계조건

Fig. 2의 모델에 대한 초기조건은 Table 2 나타내었고, Table 3은 동작유체에 대한 물성치를 나타내었다.

개구부를 제외한 벽면에서의 온도에 대한 경계조건은 열의 출입이 없는 단열로 하였으며, 벽면에서의 속도(u, v)에 대한 경계조건은 슬립이 없는 조건을 적용하였고 난류운동에너지(k)와 난류에너지 소산율(ϵ)은 0으로 값을 주었다.

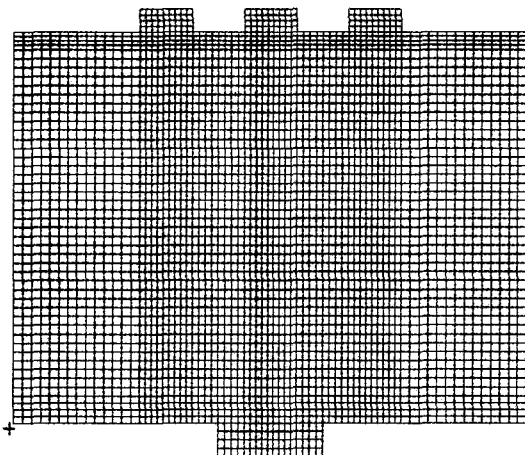


Fig. 2. Grid system for numerical calculation

Table 2. Initial and boundary condition

Classification	Working field	Remark
Ambient Temperature	293(K)	
Inlet Temperature	303(K)	
Outlet Temperature	303(K)	
Inlet Velocity	0.5(m/s)	
Inlet Pressure	1atm	
Noxious Dust Intensity	$1 \times 10^{-4}, 1 \times 10^{-5}(\text{kg/s})$	S ₁ , S ₂

Table 3. The property of woking fluids(20°C, 1 atm)

Classification	Air	SAN Dust
Density(ρ)	1.12(kg/m ³)	$0.9059 \times 10^3(\text{kg/m}^3)$
Dynamic Viscosity(ν)	$15.68 \times 106(\text{m}^2/\text{s})$	$0.83 \times 10^3(\text{m}^2/\text{s})$
Specific Heat(Cp)	1.0057	
Viscosity(μ)	$1.983 \times 10^5(\text{kg/m} \cdot \text{s})$	$0.751(\text{mN} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$
Thermal Diffusion(α)	$0.2216 \times 10^6(\text{m}^2/\text{s})$	
Thermal Conductivity(k)	0.02624(w/m · c)	
Prandtl Number	0.708	
Mass Flow		2.5(g/min)

3. 결과 및 고찰

3.1. 속도장 및 온도장, 압력장

Fig. 3, 4에서는 작업장내 정상상태의 자연대류에 의한 유동장, 속도장을 도시하였으며 Fig. 5, 6에서는 거리에 따른 x, y방향의 속도분포를 나타내었다. 또한 Fig. 7 및 Fig. 8에서는 온도장, 압력장을 계산한 결과를 나타내었다.

작업장 내의 유동장 및 속도장을 살펴보면 출입 개구부가 있는 작업장 중앙부의 속도가 0.5~0.7(m/s)로 빠른 속도로 흐르고 있으며, 유선분포는 중앙부를 중심으로 좌우에 대칭으로 커다란 2개의 셀이 벽면을 타고 순환하고 있다. 순환되지 않은 이탈된 일부 기류는 3개의 유출구를 통하여 나가고 있다. Fig. 4의 속도벡터를 보면 3개의 유출구에서의 유체흐름은 좌우의 2개의 개구에서 흐름이 중앙에 위치한 유출구보다 빠르게 유출되고 있으며, 좌우 유출구의 속도벡터는

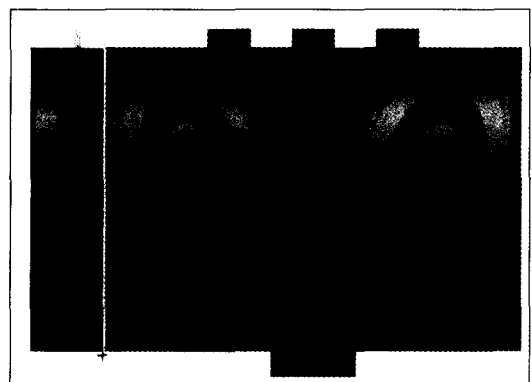


Fig. 3. The streamlines for V_{in}= 0.5 m/s

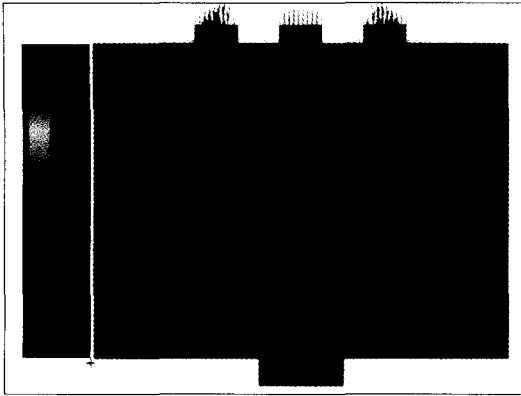


Fig. 4 The velocity Vector for $V_{in} = 0.5$ m/s

동일한 형상의 속도장을 보여 주고 있다. 이것이 작업장이 중앙을 중심으로 좌우 대칭이며, 중앙에서 빠르게 흐르는 기류가 유출개구에 도착하기 전에 대류열전달에 의해 생성되어지는 좌우 대칭적인 순환기류의 영향으로 좌우 개구에서의 유출속도가 커지며 만약 상대적으로 높은 온도차에 의해 유입속도가 증가하면 이러한 순환기류의 영향은 더 크게 나타날 것으로 생각된다.

Fig. 5의 속도변화율을 살펴보면 오염원 S_2 지점에서부터 x -거리에 따른 속도 u 와 v 의 변화율을 보여주고 있다(대칭이므로 S_2 지점에서부터만 고려함). 유입구와 유출구에 가까운 $y=5$ m와 15m에서 x 방향의 기류속도는 0.075 m/s로 빠른 속도를 보이다가 S_2 지점에서부터 거리가 멀어짐에 따라 점차 감소되어 0에 접근되어지고 순환류의 중심부에 해당하는 영역에서는 u, v 의 속도성분이 거의 나타나지 않았다. v 방향속도의 유출구 방향은 (+)방향, 유입구 방향은 (-)로 표시하였다. y 방향의 속도크기는 S_2 지점으로부터 x 축에 따라 유입구 방향으로 증가하고 있으며, 유입구에 가까운 S_2 지점의 속도크기는 벽면을 따라 순환된 기류와 개구부에서 유입된 기류가 부딪혀 우측벽의 속도보다 작다. 최대의 속도크기는 $x=7$ m 지점에서 0.3 m/s이다. Fig. 6에서는 u 와 v 속도에 따른 $x=24, 26, 28$ m인 3지점의 y 거리의 변화를 보여주고 있다. u 속도 변화율을 살펴보면 유입 및 유출의 속도 방향이 바뀌는 중성대가 형성되는 지점은 $y=10$ (m) 지점이었으며 3지점의 u 속도에 대한 y 의 변화율은 유사한 경향을 보이고 있다. y 위치에 따른 v 속도의 변화는 $x=24$ m에서는 속도구배가 없으며, $x=28$ m 지점에서

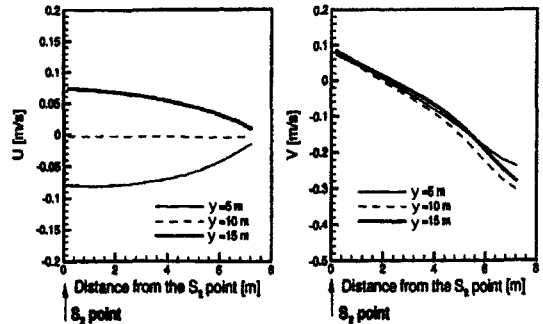


Fig. 5. The variation rate of velocities with y -distance

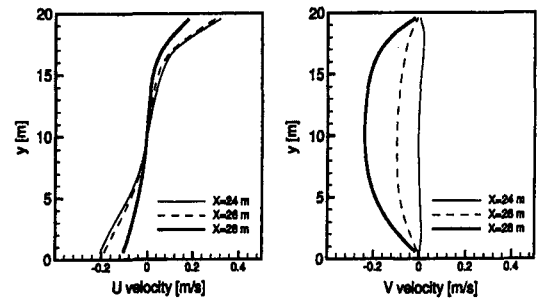


Fig. 6. The variation rate of velocities with x -distance

는 작업장 유출입 영역에서 속도구배가 커짐을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 Fig. 4의 속도벡터와 일치된 경향을 보이고 있다.

Fig. 7에서는 정상상태에 도달하였을 때 온도장을 보여준 것이다. 실내온도(20°C)보다 실외온도(30°C)가 높으므로 기류는 유입구를 통하여 유입되어 작업장 유입구 및 그 주변의 벽을 중심으로 온도가 높은 영역을 보이고 있다. 작업장내로 유입된 기류는 자연대류에 의하여 순환되면서 열전달되어 유출구쪽으로 접근할 수록 온도는 점차 강하되고 있음이 확인되었다. 그러나 그 온도차는 정상상태에 도달되어 있어 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 정상상태에 도달하기 전까지 작업장 유입구와 유출구의 온도차가 형성되어 작업장 내의 오염된 공기는 유출구를 통하여 이동하므로 자연환기의 효과를 얻을 수 있다.

Fig. 8의 압력장을 살펴보면 유입구에서 빠른 속도의 기류가 유입되므로 압력이 낮고 유출부 영역에서는 벽면의 마찰영향으로 유출구부분에서 압력증가가 관찰되고 있다. 따라서 압력분포는 작업장 유입구에서 멀어질수록, 유출구에서는 가까워질수록 압력이 상승되는 경향을 나타내었다.

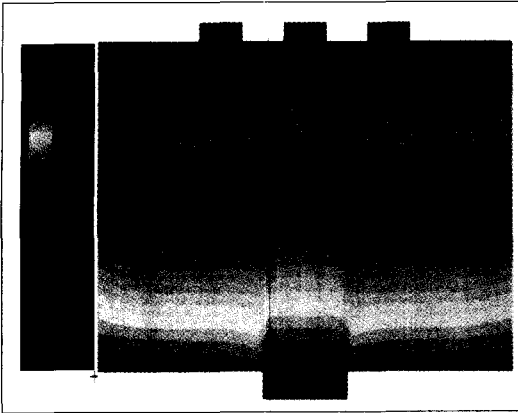


Fig. 7. The isothermal lines for $V_{in}=0.5(m/s)$

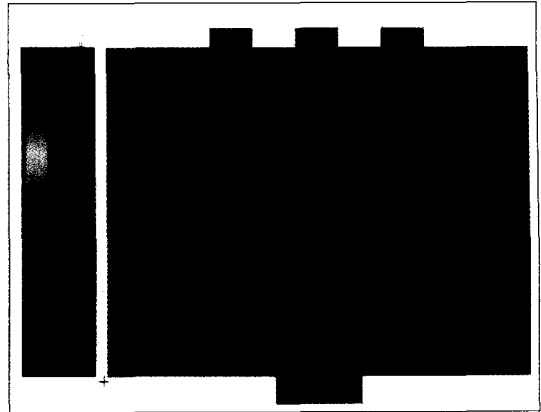


Fig. 9. The distribution of noxious materials concentration in working place

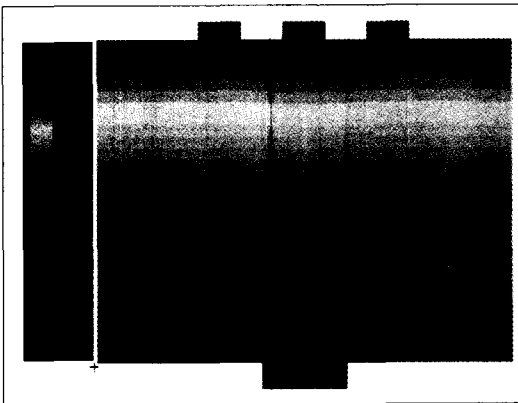


Fig. 8. The pressure fields for $V_{in}=0.5(m/s)$

3.2. 농도장

Fig. 9에서는 작업장 내의 유입속도가 0.5 m/s 일 때 오염원의 농도분포를 나타내었다. 오염원은 S_1 , S_2 두지점에서 일정하게 초기조건과 같은 크기로 발생하고 있을 때 오염원의 농도 분포 영역은 유입속도가 빠른 유입구 부근에서 오염원을 중심으로 높은 농도를 보이고 있다. 오염원 농도분포 역시 속도벡터의 영향을 많이 받고 있으며 유입속도가 큰 작업장 중앙부 기류 주위를 따라 흐르고 있어 확산에 의한 영향보다 대류에 의한 영향에 크게 지배되고 있음이 관찰되었다. 이는 유입속도가 증가할 때 개구부를 통한 오염원의 유출량이 증가하여 유입속도가 작을 때보다 작업장내의 환경이 더 청정상태가 된다는 것을 의미한다.⁹⁾ 또한 유선분포의 경향에 따라 오염농도가 달라지고 있는데 속도가 느린 좌우 수평방향으로는 농도가 낮으며 유출구가 있는 방

향으로 오염원이 유동되고 있으므로 이 작업장에서는 상대적으로 높은 농도의 오염원은 재순환유동에 의한 장애요인은 발생되지 않으므로 전체환기 성능은 유입구 및 유출구의 위치선정 등은 양호하다고 평가할 수 있다.

Fig. 10에서는 오염원 S_2 지점에서부터 x 거리의 변화에 대하여 $y=5(m)$, $10(m)$, $15(m)$ 지점의 농도변화를 나타낸 것이다. 거리에 따른 농도분포는 $y=15(m)$ 지점이 S_2 오염발생지점과 이웃한 $y=5(m)$ 지점보다 높은 농도를 보였다. 이것은 오염발생점의 오염기류가 속도가 빠른 중앙영역으로 휩쓸려 빨리 들어가고 있으며 오염원이 속도가 빠른 기류를 따라 일부는 유출구로 유출되고 있으며, 유출되지 못한 오염원은 Fig. 4의 속도벡터에서 보인 것처럼 시계방향의 유동에 편승하여 순환되기 때문이다. $x=7(m)$, $y=15(m)$ 지점에서는 최고농도는 S_2 발생원 농도 1×10^{-3} 에 대하여 $0.00115(kg/s)$ 를 나타내었으며 $x=7(m)$ 이상의

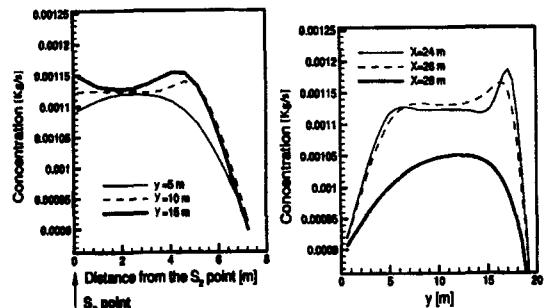


Fig. 10. The Variation of noxious dust concentration for x , y -distance

거리에는 급격한 감소를 보이고 있다. y방향의 높이에 따른 농도변화를 살펴보면 오염원 위치에 가까운 $x=24(m)$ 위치의 평균농도는 $x=28(m)$ 의 평균농도보다 약 10.6(%) 상승되었으며 $x=24(m)$ 와 $x=26(m)$ 의 농도분포는 유사한 경향이 관찰되었다. 그 이유는 유입구가 있는 중앙부에서 유입속도가 빠른 기류에 편승하여 오염원은 이동되고 $x=28(m)$ 에서는 자연대류의 순환유동을 따라 오염물질이 이동되기 때문이다.

4. 결론

유해가스 및 분진 등의 입자상 물질이 발생하는 작업장내의 자연환기에 대한 유체 유동 및 농도분포 등을 계산한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 작업장 내의 속도는 유입구가 위치한 작업장 중앙 영역이 좌우의 작업장보다 빠르게 흐르고 있으며 3개의 유출구 중 중앙에 위치한 유출구의 속도가 가장 느리게 유출되고 있음이 관찰되었다.

2) 온도분포는 실내보다 실외의 높은 온도의 기류가 작업장내로 유입되어 대류에 의하여 순환되면서 온도가 낮은 유출구에 접근할수록 낮은 분포를 보이므로 오염공기는 유출구를 통하여 빠져나가고 있어 전체환기의 효과를 얻을 수 있다.

3) 압력은 출구에서 속도가 빠른 기류가 유입되므로 압력이 낮고 유출구 영역에서는 벽면의 마찰 영향으로 압력증가가 관찰되었다.

4) 오염원의 농도분포는 속도분포의 지배를 받고 있어 기류속도가 빠른 중앙부에서 높은 농도를 보였으며 확산보다는 대류의 영향이 크게 미치고 있음이 관찰되었다. 이 모델의 유출구 및 유

입구 위치선정 따른 효율성은 농도분포의 경향으로 보아 전체환기성능은 양호하다고 평가된다.

5) S_2 발생원 농도 1×10^3 에 대하여 $x=7(m)$, $y=15(m)$ 지점에서는 최고농도 0.00115(kg/s)를 나타내었으며 $x=7(m)$ 이상의 거리에는 급격한 감소를 보이고 있다.

6) 오염원 위치에 가까운 $x=24(m)$ 위치의 평균농도는 $x=28(m)$ 의 평균농도보다 약 10.6(%) 상승되었으며 $x=24(m)$ 와 $x=26(m)$ 의 농도분포는 유사한 경향이 관찰되었다.

참고문헌

- 1) 신웅상, 이승일, 추병길, 황경철, 김용국, 산업환기기술, 동화기술, pp. 111~120, 1999.
- 2) Industrial Ventilation- A Manual of Recommended Practic, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1976.
- 3) D. Leith, S. N. Rudnick and M. W. First, High Velocity High Efficiency Aerosol Filtration, EPA Report, EPA 600/2-76-020 Office of Reserch and Develoment, Washington, 1976.
- 4) ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Applications, chap. pp. 41~43, 1987.
- 5) 한국기계연구소, 유해가스 및 분진발생공장의 환기시스템 연구, 과학기술처, p. 39, 1988.
- 6) 김광중, 김영환, 나규환, 정문식, 산업위생관리, 신광출판사, 1999.
- 7) ICCM Institute of Computational Continuum Mechannics GmbH, COMET Manual, ICCM, 1998.
- 8) 추병길, 개구부를 갖는 사각공간내의 화재에 의하여 생성된 연소가스 유동 및 성분 분포에 관한 연구, 전남대학교 박사학위 논문, pp. 9~10, 1997.
- 9) 空氣清淨, 作業環境における粉じん 對策の技術的體系 -空氣清淨誌 第18券 第6號, 1981.