

작업장 환기장치 최적화 유동 연구

A Numerical Optimization Study on the Ventilation Flows in a Workshop

엄태인*·장동순**

Tae-in Ohm, Dong-Soon Jang

ABSTRACT

A preliminary study is performed in order to design an effective ventilation equipment for the control of possible pollutants in a workshop. To this end, the Patankar's SIMPLE methodology is used to investigate the flow characteristics of the contaminated thermal deflected jet which is encountered often in practical hood system. SIMPLE-Consistent algorithm is employed for the pressure-velocity coupling appeared in momentum equations.

A two equation, $k-\epsilon$ model is used for Reynolds stresses. The prediction data is compared well against the experimental results by Chang(1989). Considering the control of the wake due to its high turbulence together with the stagnant feature has been investigated in term of major parameters such as temperature and magnitude of the discharge velocity.

Detailed discussions are made to reduce the size of the wake region which give rise to pollutant concentration stratification.

1. 서 론

고-액-기상 유해물질과 습도학(psychrometrics)에 관계된 작업장내의 쾌적도 문제는 근로자의 작업 능력과 건강뿐만 아니라 작업장내 정밀제품의 내구성 및 공장외부의 환경문제에도 영향을 미치는 중요한 사안이다. 이와같은 작업장의 유해물질

제어 문제는 최근 에너지 효율 강조에 따른 사무실이나 가옥의 실내공기 오염(indoor air quality) 문제와 함께 중요도나 성격면에서 같은 비중을 차지하는 유사한 문제이다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방법은 공해물질 방출을 억제하는 오염원 관리(source control)에서부터 배출된 오염물질을 최소 유입공기를 이용하

* 대전산업대학교 환경공학과

** 충남대학교 환경공학과

여 최대 농도로 처리하는 배출시설(duct, hood)을 이용한 처리방법이 있다. 또한 외부의 신선한 공기를 통풍에 의해 희석 배출하는 방법 등 다양한 방법들이 제시될 수 있다. 이와같은 대책의 실행은 유독물질의 제거라는 소기의 목적과 에너지 효율과 작업장내의 'draft' 온도 등에 따른 쾌적도도 함께 고려해야 하는 어려움이 따른다.

보통 작업장내의 유해물질을 제거하는 방법은 현장 경험에 의한 지식에 토대를 둔 것으로서 후드의 직경, 플렌지의 크기, 유해물질 발생원까지의 거리 및 그 지점에서의 속도의 자료 등 사안에 따른 각기 다른 경험식이 개별적으로 이용된다. 그러나 최근에 작업장 및 환경문제는 다양한 오염물질 종류와 후드나 환기 등에 따른 강제대류 그리고 열적 부력 문제가 작업장의 구체적인 조건과 복잡하게 연루되어 있다. 그러므로 단순한 경험법칙 이용에 따른 유해물질 제거는 효율적일 수 없다.

실제로 현재까지 이 분야에 대한 국내의 연구는 활발히 진행되고 있지 않다. 환기장치 설계 제작업체에서도 경험적인 설계 기준에 의해 제작하는 수준에 머무르고 있는 실정이므로 실제 필요한 용량보다 과잉 설계되어 에너지의 소비가 과다한 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 정량적인 실험과 가시화 방법에 의한 설계 인자 파악이 가장 중요하다. 그러나 현실적으로 유독한 물질에 의한 실험자의 위험 부담과 실험 장비의 규모의 증대, 환기장치의 형태 및 유입구 변경 등의 난이성과 신뢰도가 높은 측정 등 경제적, 시간적 제약이 크다.

이러한 점을 감안하여 최근 대기 공해 물질의 집진장치 설계, 작업장내 공해물질 환기와 공해물질의 대기 확산에 컴퓨터를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다²⁾. 국외에서는 Nielsen³⁾, Holmberg et al.⁴⁾, Hjertager et al.⁵⁾, Sefcik⁶⁾ 등이 수치해석을 통하여 실내에서 등은 및 부력의 영향을 고려한 2차원 해석을 시도하였다. 특히 Hjertager et al. 팀의 연구 결과에 의하면 실험치와 상당히 잘 일치함을 알 수 있다.

그러나 환기장치에 대한 실험값의 부재와 이론적인 확산 메카니즘 규명이 부족하여 현재까지 널리 적용되지 못하고 있다⁷⁾. 그리고 흙(fume) 발생 작업장이나 석면 제조 공장 등에서는 공해물질이 단순한 기체 상태가 아니라 기체·액체 또는 기체·

액체·고체 상태로 복잡한 양상을 이루고 있기 때문에 모델 개발에 어려움이 있다. 이들 난류 유동 지배방정식은 속도, 온도, 화학종 농도 등의 시간 평균값과 난류 변동값들의 함수로 표시되며, 이때 나타나는 난류 변동 상관항들은 난류에서 비선형 항에 의해서 발생하는 난류 모델의 대표적인 문제이다. 특히 공해물질 환기 및 확산에는 열성층 효과를 고려한 난류 확산 모델을 확립하여 임의의 공해원에서 분출되는 공해물질이 시간적 및 공간적으로 어떻게 분포되어 나가는가에 대한 예측이 매우 어려운 문제이다.

유동의 특성과 공해물질의 난류확산 과정은 일반적으로 그 성질이 서로 다르다. 자유 유동의 속도가 매우 작을 때 공해원은 공해물질을 확산시키는 환경적 능력에 관계없이 연속적으로 분출되므로 공해물질의 농도는 계속 증가하여 심각한 공해 문제가 유발된다. 이런 문제에서 확산 거동은 유동의 수직 방향 속도 구배 보다는 수직방향의 포텐셜 온도구배에 지배적인 영향을 받게 된다. 이와같이 온도에 의한 부력과 속도에 의한 관성력의 비를 나타내는 것이 Richardson 수

$$(Ri = g \cdot \frac{d\theta}{dz} \cdot \frac{1}{[T(dV/dz)^2]}),$$

여기서 $\theta = T - T_{\infty}$,

또는 Ri수의 역수인 Froude 수

$$(Fr = \frac{V}{L[g \cdot (d\theta/dz) \cdot (1/T)^{1/2}]})$$

이다. 이 Ri수가 매우 큰 음의수를 가지면 자연대류에 의한 난류에 의하여 공해물질이 상하로 빠르게 혼합된다. 반면 바람이 약하고 대기층이 매우 안정되면 ($Fr \ll 1$), 공해물질은 쉽게 퍼지지 않고 유선(stream line)을 그대로 이동한다⁸⁾.

각국에서는 공해물질 배출 억제를 위해 환경 기준치를 정해두고 이 기준 이하에서는 배출을 허가해 주고 있다. 그러나 연속적으로 배출된 공해물질은 계속적으로 새로운 화학적 및 생물학적 변화 과정을 진행시키므로써 안정한 배출 농도기준이 점점 낮아지고 있다. 또한 이미 배출된 공해물질의 총량은 연속적으로 증가하고 있는 것이 더욱 심각한 문제이다.

본 연구에서는 Fig. 1에 제시한 바와같이 4각형 터널에서 일정한 농도와 온도를 가진 기체 공해물질이 일정한 속도의 분사젯트로 바닥에서 상부 공

간내로 유입되며 한쪽에서는 낮은 속도의 자유유동이 존재할 때 공해 물질의 확산과정 분석에 3차원 수치해석 방법을 이용하고자 하였다. 향후 이 프로그램을 개선하여 국내 산업 현장내에서 공해 물질이 발생하였을 때 효과적으로 배출할 수 있는 환기장치의 설계 및 환기방식에 대한 기초 설계자료로 사용하고자 한다.

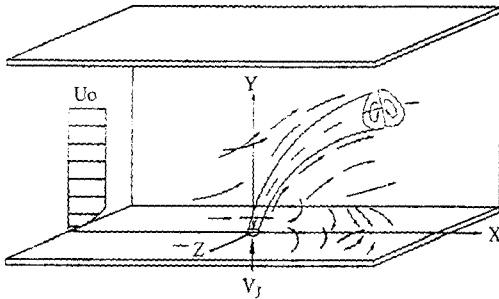


Fig. 1 Schematic diagram of the deflect jet system

본 논문은 전체의 크기를 공해가스가 유입되는 입구 지름으로 무차원화하여 표시하였으며, 자유유동 유동의 방향인 x축으로는 50, 공해물질 주입 방향인 y축으로는 10이고 공간의 폭인 z축으로는 10에서 수치해석을 수행하였다.

연구의 내용은 3차원 직교좌표계에서 공해물질의 환기 및 대기 확산 문제를 수치해석적 방법을 통하여 속도분포, 온도분포 및 공해물질의 질량분율(f)을 계산하였다.

2. 수치해석 모델 및 해법

3차원 x-y-z 좌표계에서 공해물질의 확산에 관한 기체의 운동을 기술하기 위해서는 운동방정식을 정상상태(steady state), 비압축성 유체, 뉴우튼 유체로 가정한다. 본 연구에서는 온도 차이에 의한 열적 부력이 존재하므로 이항을 고려하고, 입자 유동은 무시하였을 경우 u, v, w 속도에 대한 지배방정식(Navier Stokes Equation)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (\bar{\rho}_u \bar{\Phi}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\rho}_v \bar{\Phi}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho}_w \bar{\Phi}) \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_{\Phi} \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma_{\Phi} \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial y} \right) \end{aligned}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma_{\Phi} \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial z} \right) + S_{\Phi} \dots \dots \dots (1)$$

위의 식에서 종속변수 $\bar{\Phi}$ 는 속도성분 \bar{u} , \bar{v} , \bar{w} , 압력(\bar{p})과 단위질량당의 난류에너지(k) 및 이 에너지 소산율(ϵ)을 나타낸다.

그리고 공해가스의 확산을 정량화하기 위해 conserved scalar인 유독가스의 질량분율 f를 다음과 같이 정의하였다.

$$f = \frac{\text{유해가스의 질량}}{\text{유해가스+공기의 질량}} \dots \dots \dots (2)$$

이 질량분율은 공해가스가 분출되는 입구에서는 100% 공해가스만 존재하기 때문에 f=1이 된다. 그리고 자유유동의 입구에서는 100% 공기만이 존재하므로 f=0이 되고 기타 나머지 영역에서는 f=1-0 사이에 속하게 되어 공해가스의 농도를 알 수 있다. 또한 Γ_{Φ} 와 S_{Φ} 는 $\bar{\Phi}$ 에 대한 확산계수와 생성항이고 Table 1에 제시하였다. 이 표에서 G_k 는 난류에너지 생성을 나타내며, σ 는 난류 prandtl수 또는 Schmidt수이다.

Table 1에서 y방향 속도 \bar{v} 의 생성항에서 $-\left[\rho g (T_0 - T) \right] / T$ 항은 공해가스와 실내 공기의 온도 차이에 의한 부력항을 나타낸다. 이 항에서 T_0 는 실내 공기의 평균온도를 의미한다.

난류점성 계수 μ_t 는 아래와 같이 Prandtl-Kolmogorov관계식에 의하여 다음식으로 나타낸다.

$$\mu_t = \frac{C_{\mu} \rho k^2}{\epsilon} \dots \dots \dots (3)$$

식(3)에서 C_{μ} 는 경험상수이며, k와 ϵ 값은 각각의 지배방정식을 이용하여 구할 수 있으며 k와 ϵ 값을 얻은 후에 μ_t 는 식(3)에서 구한다. 여기서 난류 점성계수가 구해지면 물질 또는 에너지 전달식의 확산계수는 난류에서 Prandtl수 또는 Schmidt수를 이용하여 물질 및 에너지의 전달계수를 각각 구할 수 있다.

또한 μ_{eff} 는 유효 점성계수(effective turbulent viscosity)로서 역확점성계수 μ 와 난류점성계수 μ_t 의 합으로 표현된다.

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \dots \dots \dots (4)$$

유동의 난류모델은 일반적인 k- ϵ 모델을 사용하였고, 위의 식(1)과 같이 표현된 2차 편미분 방정식의 해를 얻기 위해서는 검사체적에 기초한 유한차분법(control-volume based finite differenc method)을 사용하여 선형 이산화 방정식을 유도하

Table 1 Expressions for the diffusion coefficients Γ_Φ and source terms S_Φ for a general dependent variable Φ

Conservation of	Φ	Γ_Φ	S_Φ
Mass	1	0	0
x-Direction Momentum	\bar{u}	μ_{eff}	$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right)$
y-Direction Momentum	\bar{v}	μ_{eff}	$-\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right) - 2\mu_{eff} \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \bar{v} \right) + \rho \bar{w}^2 - \frac{\rho g(T_0 - T)}{T}$
z-Direction Momentum	\bar{w}	μ_{eff}	$-\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} - \bar{w} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + 2\bar{v} \right) \right) + \mu_{eff} \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} - \bar{w} \right) - \rho \bar{w} \bar{v}$
Kinetic Energy	k	μ_{eff} / σ_k	$G_k - \rho \epsilon$
Dissipation Rate	ϵ	μ_{eff} / σ_k	$\frac{\epsilon}{k} (C_1 C_k - C_2 \rho \epsilon)$

$$G_k = \mu_{eff} \left[2 \left(\left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \bar{v} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right)^2 \right) + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right)^2 \right]$$

였다. 이 이산화 방정식은 line-by-line TDMA (Tridiagonal Matrix Algorithm) 방법을 사용하여 해를 구하였다.

본 연구에 사용된 격자계의 크기는 20×13×13 이며 더 큰 격자계는 컴퓨터 계산시간의 제약 때문에 수행하지 못하였다. 격자점 사이의 임의의 함수값 보정은 Power-Law Scheme을 이용하였으며, 운동방정식에서 나타나는 압력과 속도의 연계 문제는 SIMPLEC(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation Consistent) 알고리즘을 사용하여 풀었다.

Table 2 Constants of turbulent model

C_1	C_2	C_μ	σ_ϵ	σ_k
1.44	1.92	0.09	1.22	0.90

수치계산을 위한 경계조건으로 대칭면에서는 수직 속도성분을 제외하고는 모든 변수의 수직 구배값이 영(zero)인 Neumann 경계조건을 이용하였

다. 수직 속도 성분인 $w=0$ 로 두었다. 벽에서 대류 flux에 대해서는 no-slip 조건을 적용하였고, 벽에 수평인 두 속도성분에 대해서는 확산 flux는 다음과 같은 벽함수에 의해 계산된다.

$$\mu_{eff} = \mu \text{ if } y^+ < 11.5 \dots\dots\dots (5)$$

$$\mu_{eff} = \frac{\mu y^+}{(1/k) \ln(Ey^+)} \text{ if } y^+ \geq 11.5 \dots\dots\dots (6)$$

위식에서 κ 는 Von-Karman 상수(=0.41)이고 $E=9.0$ 인 상수이다. 또한 y^+ 는 다음식으로 표시되

Table 3 A Summary of boundary conditions

	Upstream	Downstream	Symmetry	Jet exit	Walls
U	U_0	$\partial U / \partial x = 0$	$\partial U / \partial z = 0$	0	WF
V	0	$\partial V / \partial x = 0$	$\partial V / \partial z = 0$	V_j	WF
W	0	$\partial W / \partial x = 0$	0	0	WF
f	0	$\partial f / \partial x = 0$	$\partial f / \partial z = 0$	1	NC
k	$(2/3)u_0^2$	$\partial k / \partial x = 0$	$\partial k / \partial z = 0$	$(1/2)(v_j)$	WF
ϵ	$k^{3/2}/(0.16R)$	$\partial \epsilon / \partial x = 0$	$\partial \epsilon / \partial z = 0$	$k^{3/2}/(0.5D)$	$(C_\mu^{3/4} k^{3/2}) / \kappa y_1$

WF : Wall Function
NC : Neumann Condition

는 벽에서 첫번째 격자점까지의 상관거리이다.

$$y^+ = \rho k^{1/2} C_{\mu}^{1/4} \frac{y_I}{\mu} \dots\dots\dots (7)$$

식(7)에서 y_I 는 벽에서 처음 격자점까지의 실제 거리이다.

이와같이 본 연구에서 사용한 경계조건은 Table 3에 제시하였다.

한편 프로그램에서 사용한 이산화방정식은 비선형 편미분방정식을 선형방정식으로 변환한 것이므로 반복 계산 과정에서 발산을 방지하고 수렴 성능을 극대화하기 위한 이완화 인자(relaxation factor, λ)를 0.1-0.3범위에서 사용하였다. 완전히 수렴할 때까지의 반복 계산 횟수는 2,000번이다.

3. 연구 결과 및 토론

본 연구에서는 Fig. 2에 제시한 밀폐된 3차원 공간에서 공해물질의 배출을 위한 환기장치의 최적 설계를 위한 기초 연구로서 3차원 난류 유동장 해석과 열적 부력에 의한 영향과 온도 및 공해물질의 확산에 중점을 두었다. 고려한 계산영역은 Fig. 1에 제시한 바와같이 전체의 크기를 공해가스가 유입되는 입구 지름으로 무차원화하여 표시하였으며, 자유유동의 방향인 x축으로는 50, 공해물질 주입 방향인 y축으로는 10이고 공간의 폭인 z축으로는 10에서 수치해석을 수행하였다.

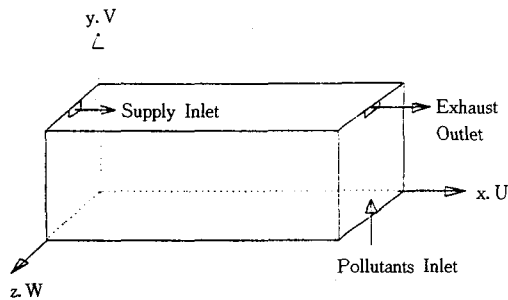


Fig. 2 Schematic of room geometry and notation

자유 횡단유동의 입구 속도를 9.5m/s로 하고, 분사젯트의 속도는 자유 횡단유동의 2배와 4배인 경우에 대하여 검토하였다.

Fig. 3은 본 컴퓨터 프로그램의 평가를 위하여 Chang⁹⁾이 발표한 연구에서 수행한 실험값과 수치

해석의 결과를 비교한 것으로서, 입구 자유 횡단 유동의 평균속도는 U_0 이고, 분사젯트(V_j)와 횡단 유동의 속도비(V_j/U_0)는 R이며 수치해석에서 사용한 격자계의 크기는 $20 \times 15 \times 15$ 이다.

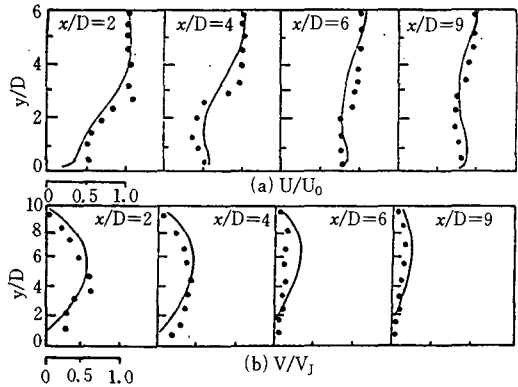


Fig. 3 Comparison of mean velocities between prediction and measurements in x-y plane
● : Measurement, — : Prediction

이 그림에서 분사젯트와 입구 횡단 유동의 속도 비 즉, $R=2$ 이고 $z=0$ 인 x-y평면에서 LDV(laser Doppler velocimeter)를 이용한 실험값과 3차원 난류 유동장 수치해석 결과이다. 상부 그림은 분사젯트 노즐의 직경인 D로 무차원화한 횡단 유동 방향으로 $x/D=2, 4, 6, 9$ 인 위치에서 x방향 평균속도 U와 입구 횡단 유동의 평균속도 U_0 의 비로 속도분포를 수직 높이, y/D의 변화에 따라 나타내었다. 또한 아래 그림은 y방향의 속도분포를 수직방향의 평균속도 V와 분사젯트의 속도 V_j 의 비로서 y방향의 높이에 따라 제시하였다.

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 조건에서 x-y평면의 u-v속도 벡터를 나타내고 있다. 이 그림에서 상부 그림은 x-y 평면의 중심축($z=0$)에서의 u-v속도이고 하부 그림은 $z=0.25$ 인 위치의 속도이다.

Fig. 5은 분사젯트와 입구 횡단 유동의 속도비를 두배로 증가한 경우 즉, $R=4$ 인 경우의 축방향 속도(u)의 등속도선이다. 이 그림에서 보면 $x=0$ 인 분사젯트 하류에서 약한 후류가 발생함을 관찰할 수 있다.

이들 그림에서 $R=2, R=4$ 일때 분사젯트의 Reynolds수는 각각 $1.5 \times 10^4, 3.0 \times 10^4$ 이고, 분사젯트 노즐 인접 하류와 하부 평면 사이에서 후류

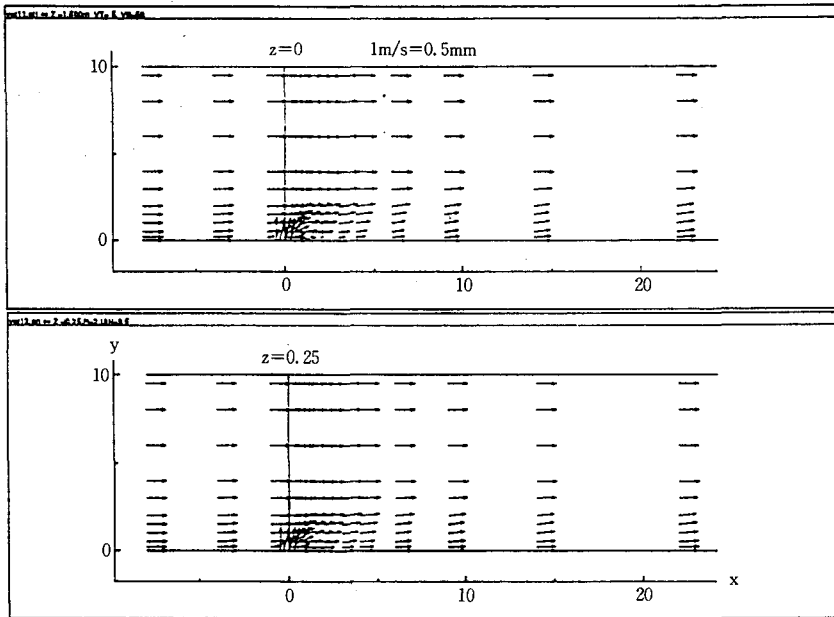


Fig. 4 x-y plane u-v vector plots for R=2 at z=0, 0.25

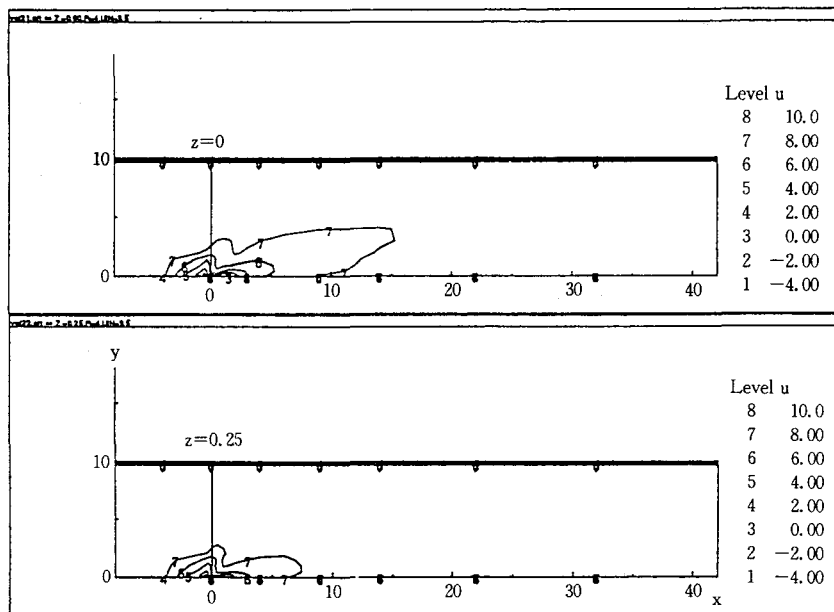


Fig. 5 x-y plane axial velocity(u) contour plots for R=4 at z=0, 0.25

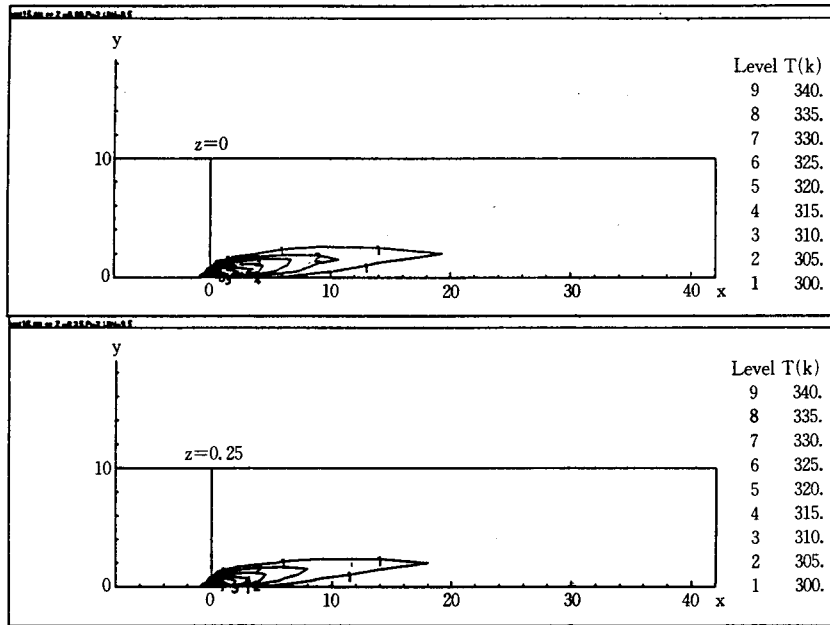


Fig. 6 x-y plane temperature contour plots for $R=2$ at $z=0, 0.25$

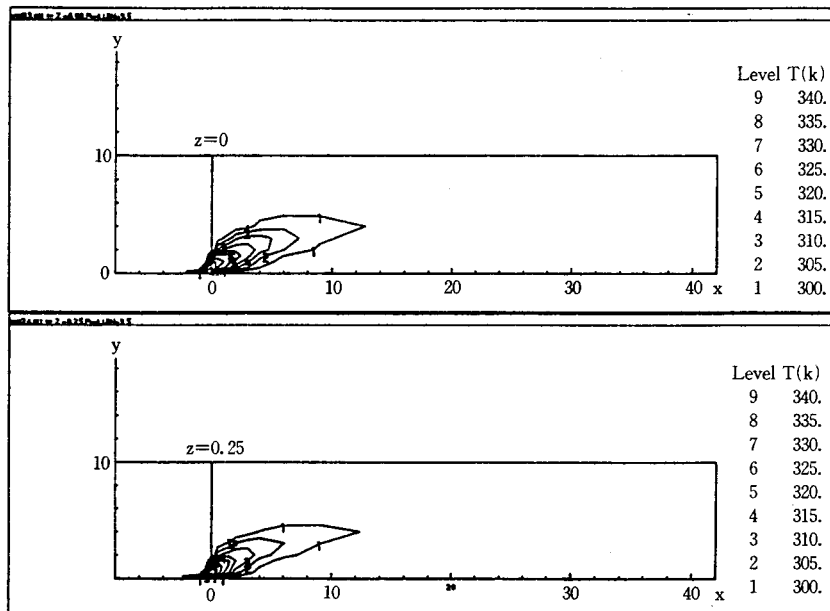


Fig. 7 x-y plane temperature contour plots for $R=4$ at $z=0, 0.25$

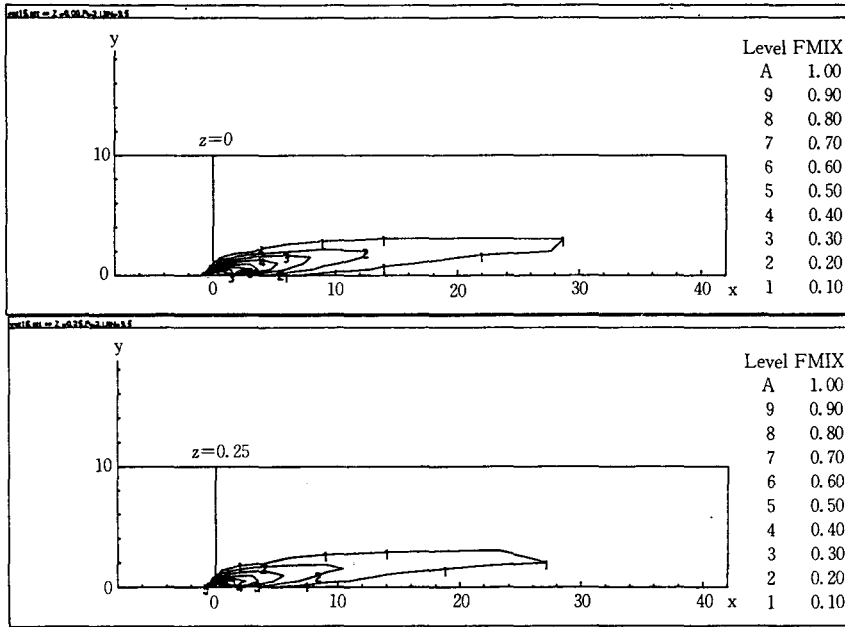


Fig. 8 x-y plane mixture fraction contour plots for R=2 at z=0, 0.25

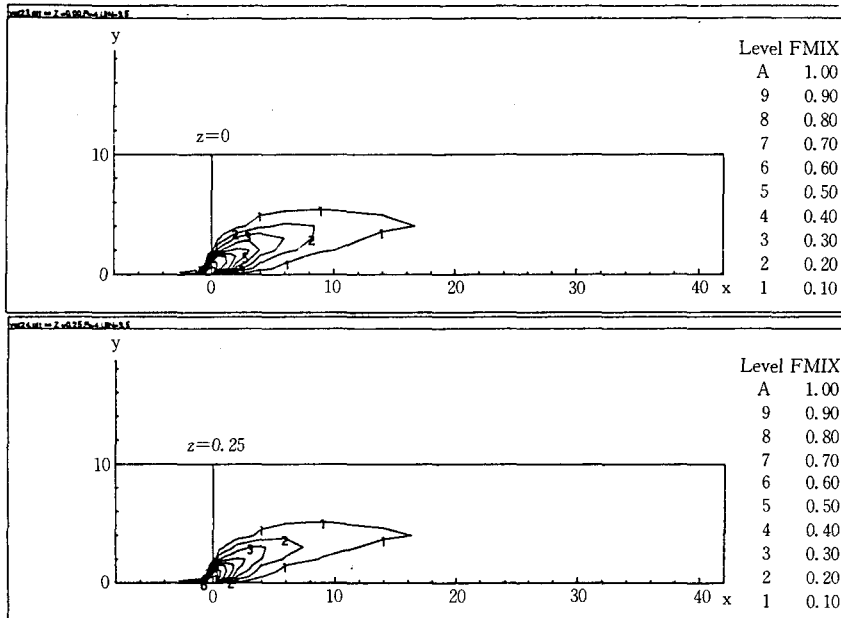


Fig. 9 x-y plane mixture fraction contour plots for R=4 at z=0, 0.25

(wake)가 발생함을 발견할 수 있으며 LDV를 이용한 실험값과 수치해석 결과가 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 6은 R의 비가 2인 경우에 대하여 횡단 자유 유동보다 온도가 50°C 높은 공해물질이 분출될때 $z=0$, $z=0.25$ 인, x-y 단면에서의 등온선을 나타낸 것이다. 또한 Fig. 7은 R=4일때의 등온선이다. 이들 그림에서 보면 분사 제트의 속도가 느린 R=2 일때가 온도가 하류쪽으로 길게 늘어나고 분사 제트의 속도가 빠른 R=4일때는 온도영역이 상부로 넓어짐을 알 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 각각 Fig. 6, Fig. 7과 동일한 조건에서 x-y단면의 질량분율을 나타내고 있다. 이 그림에서도 온도분포와 유사하게 공해물질의 배출 속도가 느릴때가 출구방향 하류쪽으로 농도 분포가 길게 늘어난다.

이는 앞에서 설명한 바와같이 고열의 공해물질이 배출될 때 발생하는 열성층화 문제가 관여함으로 이 부분의 실험값에 근거한 검토가 필요하다.

4. 결 론

본 연구는 밀폐된 작업장에서 연속적으로 발생하는 각종 공해물질을 외부로 부터 신선한 공기를 유입시켜 효과적으로 배출 시키기 위한 환기 시스템 설계인자에 대한 연구이다. 이를 위하여 4각형 터널의 입구에서 자유 횡단 유동이 유입되고 바닥 아래에서는 공해물질이 주입되는 분사제트가 존재할 때 이 분사제트의 유동, 온도분포 및 공해물질의 농도분포를 계산하였다. 이 때 주입되는 공해물질이 신선한 공기보다 온도가 50°C 높은 경우를 가정했으므로 열적 부력에 의한 영향을 고려하였다.

분사제트 속도와 자유 횡단 유동 속도의 비를 변화시키며 공간내의 유동을 계산한 결과 분사 제트 입구 인접 하류와 하부 바닥면 사이에 후류(wake)가 발생함을 발견할 수 있으며, 이는 LDV를 이용한 실험값과 비교적 잘 일치하고 있다. 또한 분사 제트에서 분출되는 공해물질의 온도와 농도 분포를 계산한 결과 열적 부력의 영향을 확인할 수 있으나, 정량적인 비교는 실험값이 없으므로 이 모델의 직접적인 비교는 불가능하다.

본 연구에서 발생한 후류는 공해물질을 공간내

에 정체시켜 농도 성층화 현상을 일으키므로 환기 장치 설계시 이 현상 방지에 유의하여야 한다.

이들 계산 결과를 이용하여 밀폐된 작업장 내부에서 공해물질이 연속적으로 발생할 때 이 공해물질이 작업장내를 적게 오염시키고 신선한 공기에 의하여 외부로 신속히 배출될 수 있는 환기 시스템 연구에 활용하고자 한다.

참 고 문 헌

- 1) 박범수, 대기공해 방지기술, 형설출판사, pp. 525-637, 1992.
- 2) 이선경, 송은영, 장동순, 고-기상 유해물질 대기 확산에 관한 수치해석, 한국산업안전학회지, 제9권 제1호, 1994.
- 3) P. Nielsen, Predictions of Air Distribution in a Forced Ventilated Room, Inteniores Ugeb-lad No. 5, 1973.
- 4) R. Holmberg, M. Larsson and S. G. Sundkvist, Calculation of Velocity Distribution in a ventilated Room, VVS, No. 5, pp. 59-66, 1975.
- 5) B. H. Hjertager and B. F. Magnussen, Numerical Prediction of Three-Dimensional Turbulent Buoyant Flow in a ventilated Room, Hemisphere Publishing Corporation, pp. 429-441, 1976.
- 6) D. M. Sefcik, B. W. Webb and H. S. Heaton, Analysis of Natural Convection in Vertically-Vented Enclosures, International Heat Mass Transfer, Vol. 34, No. 12, pp. 3037-3043, 1991.
- 7) Park, Hwa Choon, Mumerical Analysis of Scalar Dispersion in a Turbulent Boundary Layer, Ph. D., Dept. of Mechanical Eng. KAIST, 1992.
- 8) 김경천, 환경 및 산업에서의 난류유동 이해와 응용, 대한기계학회지 9, Vol. 34, No. 9, pp. 666-677, 1994.
- 9) K. S. Chang, An Experimental and Computational Investigation of Turbulent Jet Impingement in a Confined Cross Flow, Louisiana State Univ. Ph. D. Dissertation, 1989.

- 10) 장동순, 엄태인, 질소산화물 생성 저감을 위한 산업용 미분탄 연소로 수치모사, 대한환경학회지, 제16권 제5호, 1994.
 - 11) EPA, Guidline on Air Quality Models (revised), U.S. Environmental Protection Agency, EPA-450/2-78-027R, 1986.
 - 12) Taylor, G.I., Diffusion by continuous movements, Proc. London. Math. Soc., Vol. 20, pp. 196-212, 1920.
 - 13) 엄태인, 로타리 킬른 소각로 고도 설계를 위한 3차원 난류반응 컴퓨터 프로그램 개발, 인하대학교 박사학위 논문, 1993.
-