

제한공간에 설치된 제트팬의 기류특성 예측

김 경 환, 유 준*, 이 재 현**, 임 윤 철**, 오 명 도***, 김 종 필****

한양대학교 대학원 기계공학과, *한양대학교 공과대학 기계공학부, **(주)명진에어테크,

서울시립대학교 정밀기계공학과, *홍익대학교 기계공학과

Prediction of the Flow Characteristics of Jet Fan in a Confined Space

Kyung-Hwan Kim, Liu Jun*, Jae-Heon Lee**, Yun-Cheol Iim**,
Myung-Do Oh***, Jong-Pil Kim****

Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*

***MJ Air Tech Co., Ltd., Sungsu 2-Ga, Sungdong-Gu, Seoul 133-120, Korea*

****Department of Mechanical Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea*

*****Department of Mechanical Engineering, Hongik University, Seoul 121-160, Korea*

(Received September 11, 2001; revision received January 29, 2002)

ABSTRACT: In this paper, the flow characteristics of an axial fan spraying isothermal compact jet in a confined space were investigated by the experimental methods, the numerical method, and the free jet theory. According to the results, the numerical result and the experimental result are agreed well qualitatively and different quantitatively within $\pm 10\%$ for the centerline velocity, the entrainment ratio, and the maximum throw. However, the free jet theory can reasonably predict the centerline velocity except the entrainment ratio and the maximum throw. In other words, the entrainment ratio and the maximum throw by the free jet theory are hard to estimate the characteristics of jet because of restriction of confined space.

Key words: Axial fan(축류팬), Enclosed parking garage(지하주차장), Centerline velocity(중심선속도), Entrainment ratio(유도비), Maximum throw(최대 도달거리)

기 호 설 명	
A_R : 제트에 수직인 단면적 [m^2] C : 난류모델 상수 D_z : 최대 도달거리 [m] D_h : 수력학적 지름 [m] E : 유도비	h : 노즐출구의 폭 [m] I : 난류강도 [%] K_1, K_2 : 속도상수 k : 난류운동에너지 [m^2/s^2] V : 속도 [m/s] V_z : 중심선속도 [m/s] x, y, z : 직교좌표계의 좌표

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2290-0425; Fax: +82-2-2293-5169

E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

그리스 문자

ϵ : 난류운동에너지 소산율 [m^2/s^3]

μ : 점성계수 [kg/(m · s)]
 σ : 프란틀 상수

하첨자

i, j : 직교좌표계의 방향
 o : 제트팬 노즐 입구

1. 서론

최근 지하주차장 환기를 위하여 축류팬에 의해 형성된 기류를 이용한 제트팬 환기시스템(일명, 무덕트 환기시스템)의 도입이 보편화되는 추세이다. 그러나 이 시스템을 지하주차장에 도입하는데 있어서 가장 큰 어려움은 제트팬의 설치대수와 배치방법을 결정하는 것이다. 일반적으로는 하나의 제트팬에 의해 환기시킬 수 있는 영역을 파악하고 이를 이용하여 적절한 제트팬 배치방법과 설치대수를 결정한다. 그러나 실제 현장에서는 설치대수 결정을 위하여 자유제트 이론에 근거하고 있으며 배치방법의 결정은 설계자의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 주차장에서 설치대수와 배치방법을 정하는 것은 경제적인 측면뿐만 아니라 환기성능 측면과 밀접하므로 실제 주차장과 같은 제한공간 내부에서의 제트기류 특성에 관한 상세한 연구가 요구된다.

제트의 특성은 중심선속도(centerline velocity), 도달거리(throw), 유도비(entrainment ratio) 및 노즐출구에서의 확산각(angle of divergence)⁽¹⁻⁴⁾으로 분석될 수 있다. 중심선속도는 노즐의 중심축 방향에 따른 제트의 속도이며 도달거리는 노즐출구로부터 분사된 제트가 일정속도까지 감쇄되는 거리를 뜻한다. 유도비는 노즐출구에서 분사된 유량에 대한 제트에 의해 유도된 유량의 비율이며 확산각은 노즐출구면에서 제트가 확산되는 각도이다.

제트기류 특성과 관련된 연구로, 이춘식 등⁽⁵⁾은 새로운 형식의 디퓨저를 설계하기 위한 기초자료로서 공장환기용 선회 제트 디퓨저에서 유출된 제트의 유동특성을 파악하였다. 또한 Tuve et al.⁽⁶⁾은 제트의 특성을 네 개의 영역으로 구분하여 설명하였으며 밀폐된 실내에서 원형출구 및 슬롯에서 분사되는 속도의 패턴은 벽의 유무, 공기의 드래프트 및 레이놀즈수에 따라 서로 다르게 나타남을 보였다.

본 연구에서는 등은 콤팩트제트를 분사하는 축류팬이 제한공간에 설치되었을 때 발생하는 제트 유동의 여러 가지 특성을 실험적 방법, 수치해석적 방법 및 자유제트 이론 등으로 살펴보고자 한다. 본 논문에서는 이러한 축류팬을 제트팬으로 칭하기로 한다.

2. 자유제트 이론

일반적으로 자유제트는 무한공간에 분출되는 제트를 뜻한다. 그러나 제한공간에서도 제트출구면으로부터의 거리 z_R 이 아래 식을 만족하는 영역에서는 자유제트로 간주될 수 있다.⁽¹⁾

$$z_R \leq 1.5\sqrt{A_R} \tag{1}$$

여기서 A_R 은 제트의 진행 방향에 수직한 공간의 단면적을 뜻한다.

무한공간에 분출되는 자유제트는 제트의 진행 방향에 따라 핵심영역(core zone), 천이영역(transition zone), 난류영역(turbulence zone) 및 소멸영역(extinction zone) 등 네 개의 제트영역^(1,4)으로 구분된다. 핵심영역은 제트의 최대속도가 변하지 않는 영역으로서 노즐출구에서부터 노즐 직경의 4배 정도까지의 거리에 해당된다. 천이영역은 노즐의 형상비 및 난류유동에 의해 영향을 받는 영역으로서 핵심영역 경계로부터 노즐 직경의 8배 정도까지의 거리에 해당된다. 난류영역은 완전 발달된 난류유동 형태를 나타내는 영역으로서 천이영역 경계로부터 노즐 직경의 25배 또는 100배 정도까지의 거리에 해당된다. 소멸영역은 노즐출구로부터 분사된 공기속도가 급격하게 감소하는 영역으로서 난류영역 이후의 영역이다.

2.1 중심선속도

중심선속도는 노즐의 중심축 방향에 따른 제트의 속도로서 각 제트영역에 따라 다음과 같이 예측될 수 있다.

핵심영역과 천이영역에서의 중심선속도 V_z 는 아래와 같이 예측된다.

$$V_z = V_o \sqrt{\frac{K_1 h}{z}} \tag{2}$$

여기서 V_0 및 V_z 는 각각 노즐출구에서의 중심선 속도 및 노즐출구로부터 z 만큼 떨어진 지점에서의 중심선속도를 나타낸다. K_1 은 출구형태와 유출형태에 따른 속도상수⁽¹⁾로서 컴팩트 제트의 경우 1.6의 값을 갖는다. h 는 노즐출구의 폭을 나타낸다.

난류영역과 소멸영역에서의 중심선속도는 아래와 같이 예측된다.

$$V_z = \frac{V_0 K_2 \sqrt{A_0}}{z} \quad (3)$$

여기서 K_2 는 출구형태에 따른 비례상수⁽¹⁾로서 컴팩트 제트의 경우 6.2이다. A_0 는 노즐의 출구 단면적을 뜻한다.

2.2 최대 도달거리

최대 도달거리(maximum throw) D_z 는 노즐로부터 분사된 제트의 중심선속도 V_z 가 0.25 m/s 이하로 감소될 때까지의 거리로서 식(3)에 의하여 아래와 같이 예측된다.

$$D_z = \frac{K_2}{0.25} \frac{Q_0}{\sqrt{A_0}} \quad (4)$$

여기서 Q_0 는 노즐출구에서의 유출유량을 뜻한다.

2.3 유도비 및 확산각

유도비 E 는 노즐출구에서의 유출유량에 대한 일정거리에서 제트에 의해 유도된 유량의 비율이며, 컴팩트 제트의 유도비는 아래와 같이 예측된다.

$$E = \frac{Q_z}{Q_0} = 2 \frac{z}{K_2 \sqrt{A_0}} \quad (5)$$

여기서 Q_z 는 노즐출구로부터 중심선을 따른 거리가 z 인 위치에서 제트에 의하여 유인된 주위공기의 유량을 뜻한다. 유도비는 식(3)에 의하면 다음과 같이 산정될 수도 있다.

$$E = 2 \frac{V_0}{V_z} \quad (6)$$

자유제트의 경우, 확산각 α 는 제트가 노즐출구에서 공간으로 분사될 때 확산되는 각도로서 일반적으로 $20^\circ \sim 24^\circ$ 의 범위이며 평균 22° 를 가진다.⁽¹⁾

3. 제한공간 제트 특성의 수치적 예측

본 연구에서는 지하주차장과 같은 제한공간에서 등은 컴팩트 제트가 분사되는 경우의 제트 특성을 수치적인 방법으로 예측하고자 하였다.

3.1 연구모델

본 연구에서는 폭 30 m, 높이 20 m, 그리고 길이 50 m인 제한공간의 한쪽 벽에 3.5 m 높이로 지하주차장용 제트팬 한 대가 설치된 상황을 연구모델로 선정하고 이를 Fig. 1에 나타내었다. 이 제트팬은 M사에서 제작된 실용팬의 사양을 따라 풍량 1,500 CMH, 노즐직경 17.5 cm, 그리고 출구 유속 17 m/s의 제한을 갖는다. 그림에서 O.P는 좌표계의 원점으로서 제트팬의 노즐출구 중심으로 부터 바닥면으로 투영된 위치이며 원점을 기준으로 x 방향은 폭방향, y 방향은 천장방향, 그리고 z 방향은 제트 분사방향으로 정하였다.

본 연구모델에서 자유제트 이론의 적용범위는 식(1)에 의해 $z=0 \sim 36.7$ m로 산정된다.

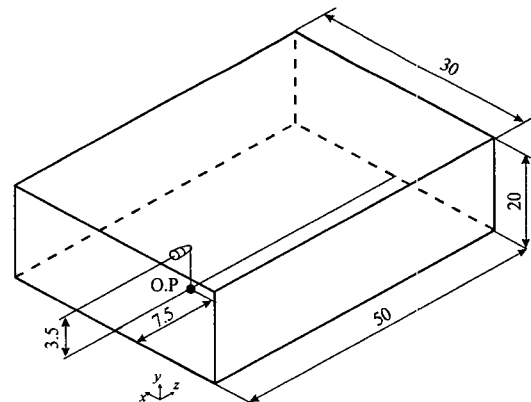


Fig. 1 Computational domain of present investigation [unit: m].

3.2 지배방정식 및 경계조건

상기 제한공간에서의 제트기류 특성을 기술하는 정상상태의 지배방정식은 연속방정식, 운동량 방정식, 난류운동에너지방정식, 그리고 난류운동 에너지소산율방정식이며 이들을 Table 1에 나타내었다. 난류모델은 표준 $\kappa-\epsilon$ 모델을 이용하였으며, 각 식들에서의 기호선정은 일반적인 교과서⁽⁷⁾에서의 예를 따랐다.

제트팬 노즐출구의 조건으로서는 출구면에 수직한 균일속도로서 17.0 m/s를 부여하였다. 또한 제트팬 노즐출구에서의 난류운동에너지 k_o 과 난류운동에너지소산율 ϵ_o 에 대해서는 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$k_o = 1.5(I \cdot V_o)^2 \quad (7)$$

$$\epsilon_o = C_\mu^{0.75} k_o^{1.5} / D_h \quad (8)$$

여기서 I 는 난류강도로서 10%로 간주하였으며, D_h 는 출구의 수력학적 지름이다.

벽면에서는 점착조건(no-slip condition)을, 벽면에 인접한 난류항의 처리를 위해서는 벽함수(wall function)를, 그리고 대칭면에서는 대칭경계조건을 사용하였다.

본 연구에서는 지배방정식을 풀이하기 위하여

상용 프로그램인 PHOENICS를 이용하였다. 이 프로그램은 완전암시기법을 사용한 유한체적법 코드로서, 속도 등의 벡터량과 온도 및 농도 등의 스칼라량의 존재 위치가 서로 다른 엇갈린 격자계를 사용한다. 연구모델은 제트팬의 축을 중심으로 대칭되었으므로 절반영역을 약 250,000개의 제어체적으로 구분하였다.

4. 주차공간 제트 특성실험

주차장과 같은 제한공간 내에서의 제트 특성을 살펴보기 위하여 본 연구에서는 연구모델과 유사한 크기와 모양을 가진 체육관 공간에 M사 제품의 실제 제트팬을 설치하고 연막실험(smoke test)에 의하여 유동을 가시화시키고 중심선속도와 유속분포를 측정하였다. 연막실험을 위하여 Antari 사 제품의 FLR fog liquid를 약 200℃로 가열하여 백색 연막을 발생시켰으며 이때 연막의 밀도는 3.9 kg/m³이다.

4.1 실험장치

제트의 유속분포를 측정하기 위해 제작된 실험장치의 구성을 Fig. 2에 나타내었다. 그림에 보이는 바와 같이 실험장치는 제트팬(jet fan)부, 자동이송장치(automatic traversing device)부 및 자료획득(data receiving device)부로 구성되어 있

Table 1 Governing equations and model coefficients

Continuity equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

Momentum equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right\}$$

Turbulent kinetic energy equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right\} + G_k - \rho \epsilon$$

Dissipation rate equation of Turbulent kinetic energy;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right\} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

where,

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon}, \quad G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i}, \quad C_\mu = 0.09, \quad C_{1\epsilon} = 1.44, \quad C_{2\epsilon} = 1.92, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 0.9$$

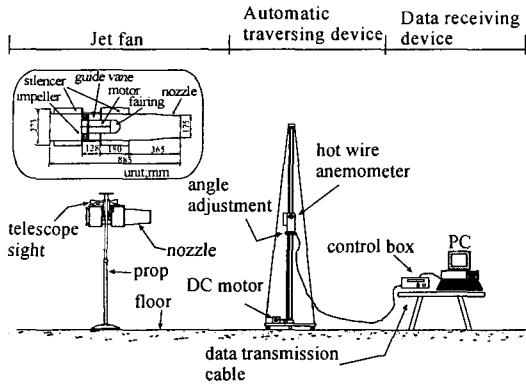


Fig. 2 Schematic diagram of experimental device.

다. 제트팬부는 공간에서 수평으로 제트가 분사되는 곳으로서 제트팬, 받침대(prop) 및 조준경(telescopic sight)이 있다. 받침대는 높낮이 조절이 가능하도록 설계되어 있으며 조준경은 제트팬이 수평방향을 유지할 수 있도록 한다. 한편, 제트팬은 M사에서 제작된 지하주차장용 축류팬으로서 임펠러, 모터, 소음기(silencer) 및 노즐 등으로 구성되며 내부에는 노즐출구에서의 속도가 일정하게 발생할 수 있도록 안내깃(guide vane)과 모터덮개(fairing)가 있다.

자동이송장치부는 유속 측정시 측정자의 움직임으로 발생할 수 있는 실험오차를 줄이기 위한 것으로서 열선유속계(hot wire anemometer), 직류모터(DC motor), 각도조절장치(angle adjustment) 및 전송케이블(data transmission cable)로 이루어져 있다. 열선유속계는 두 개의 직류모터에 의해 자동 이동되며, 각도조절장치는 열선유속계가 노즐의 중심축을 정확히 바라볼 수 있게 한다. 또한 전송케이블은 열선유속계로부터 측정된 값을 자료획득부로 전송한다.

자료획득부는 직류모터의 구동제어와 열선유속계로부터 전송된 데이터를 수신하는 제어박스 및 수신된 데이터를 저장하는 PC로 이루어져 있다.

4.2 실험방법

제트의 특성실험은 공간의 기류가 충분히 정상상태가 된 30분 이후부터 수행되었다. 속도는 자동이송장치에 의하여 열선풍속계가 측정위치로 이동된 지 60초 후부터 측정되며 이후 20초 동안 매초간격으로 수행되었다. 실험시 공간의 조건은

공기온도 $17 \pm 2^\circ\text{C}$, 그리고 상대습도 $63.5 \pm 2\%$ 의 범위이다.

제트의 중심선속도는 제트팬의 중심축선을 따라 노즐출구로부터 10 m까지는 50 cm 간격으로, 20 m까지는 1 m 간격으로, 그리고 40 m까지는 2 m 간격으로 총 40개 지점에서 측정되었다. 또한 유도비 산정을 위해서는 $z=6.5\text{ m}$, $z=20\text{ m}$ 및 $z=30\text{ m}$ 위치의 유량을 측정하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 유동 가시화 및 확산각

체육관 공간에서 제트의 유동가시화 실험결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 살펴보면, 제트팬 노즐에서의 확산각은 약 20° 로 나타나며, 노즐로부터 멀어짐에 따라 제트의 확산각은 22° 로 증가된다. 특히 $z=20\text{ m}$ 위치부터의 제트는 중심축보다 상승하여 나타내는데 이는 실제 공간 내부에 존재하는 상하 온도차에 의한 부력의 영향으로 사료된다.

수치해석결과에 의한 제트 속도분포특성을 Fig. 4에서 살펴보면, 제트팬 노즐에서의 확산각은 약 20° 로써 자유제트 이론 및 실험결과와 유사하게

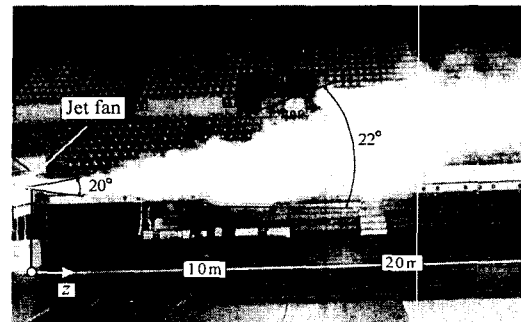


Fig. 3 Flow visualization of the jet in a large space.

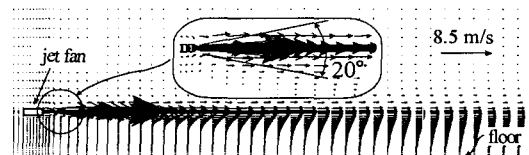


Fig. 4 Distributions of velocity vector from numerical result at $y-z$ plane ($x=0\text{ m}$).

나타난다. 그러나 유동가시화 실험결과와는 달리 제트의 중심축이 상승하지 않는다. 이는 수치해석에서 등온제트를 고려하였기 때문이다.

5.2 중심선속도

제한공간 내에서 수평으로 분사되는 제트의 특성을 살펴보기 위하여 노즐출구로부터 떨어진 거리에 따른 자유제트의 실험결과, 수치해석결과 및 이론계산결과로부터의 중심선속도를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 횡축은 노즐출구를 기점으로 한 거리 z 를, 종축은 중심선속도 V_z 를 뜻한다.

먼저 핵심영역($z=0\sim 0.7\text{m}$)과 천이영역($z=0.7\sim 1.4\text{m}$)에서의 중심선속도의 살펴보면, 세 가지 결과 모두에서의 중심선속도는 노즐출구로부터 멀어짐에 따라 급격히 감소됨을 알 수 있다. 특히 $z=1.4\text{m}$ 위치에서의 중심선속도는 초기 유출속도의 50% 이상 감소된다. 이는 노즐출구로부터 분사된 제트가 이 구간에서 급격히 확산되기 때문이다. 세 가지 결과를 비교하여 보면, 정상적인 경향은 유사하게 나타나지만 자유제트 이론에 의한 중심선속도는 실험결과와 수치해석결과보다 약 15% 정도 낮게 나타난다.

난류영역($z=1.4\sim 17.5\text{m}$)에서 세 가지 결과에 의한 중심선속도는 정성적으로 그리고 정량적으로 유사하게 나타난다. 이 영역의 $z=5\text{m}$ 위치에서 중심선속도는 약 3m/s 이며 이 후부터 중심선속도의 감소율은 작아짐을 알 수 있다. 이는 이 영역에서의 제트가 완전 발달된 난류유동의 특성

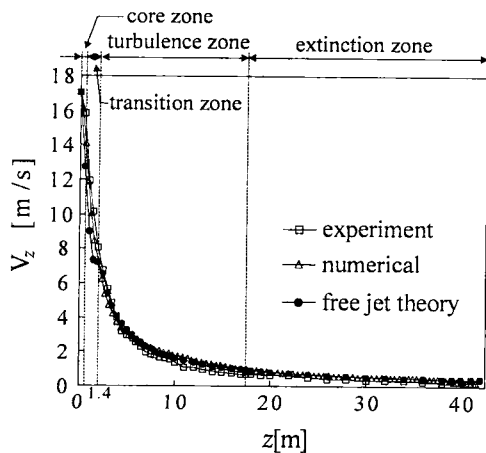


Fig. 5 Comparisons of centerline velocity.

을 가지기 때문이다.

한편 소멸영역($z=17.5\sim 42.5\text{m}$)에서의 중심선속도는 세 가지 결과 모두에서 1.0m/s 이하로 나타나며, 자유제트 이론결과 및 수치해석결과는 실험결과보다 25% 정도 높게 나타난다. 그러나 벽면($z=42.5\text{m}$)으로 갈수록 실험값과의 오차는 수치해석결과의 경우 감소하는 반면에, 자유제트 이론결과의 경우 변하지 않음을 알 수 있다. 즉 제한공간에 적용된 자유제트 이론은 식(1)에 의한 적용영역($z=0\sim 36.7\text{m}$)을 벗어난 공간에 대하여 제트기류 특성을 파악하기 어려움을 알 수 있다.

5.3 최대 도달거리

실험결과, 수치해석결과 및 자유제트 이론의 최대 도달거리를 살펴보기 위하여 Fig. 5에서 보인 $z=17.5\text{m}$ 이상의 저속영역을 확대하여 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 자유제트 이론의 중심선속도는 이론 적용영역인 $z=36.7\text{m}$ 까지 표시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 실험결과 및 수치해석결과의 중심선속도 0.25m/s 를 기준으로 한 최대 도달거리는 각각 37m 및 41m 로 나타났다. 즉 실험과 수치해석의 최대 도달거리가 상당히 유사함을 알 수 있다. 그러나 식(4)에 의한 자유제트 이론의 최대 도달거리는 66m 로서 자유제트 이론에 의한 최대 도달거리 산정은 지하주차장과 같은 제한공간에 적용하기에는 다소 무리인 것으로 판단된다.

5.4 유도비

공간에 분사된 제트에 의해 유도되는 유도비를

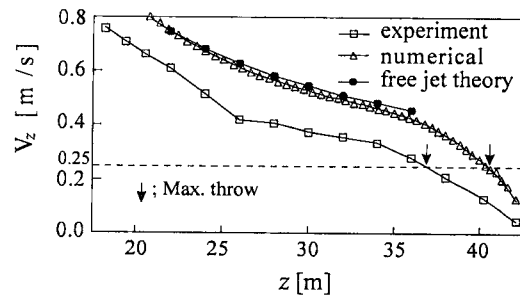


Fig. 6 Centerline velocities at low velocity region.

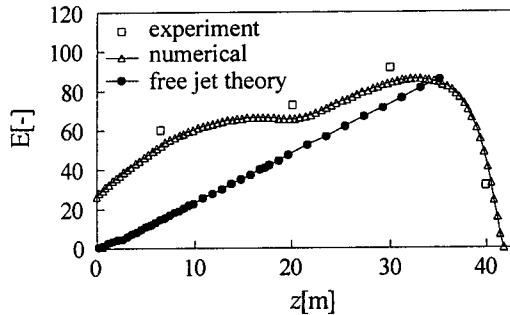


Fig. 7 Comparisons of entrainment ratio.

살펴보기 위하여 실험결과, 수치해석결과 및 자유제트 이론의 유도비를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 횡축은 노즐출구를 기점으로 한 거리 z 를 그리고 종축은 유도비 E 를 뜻한다.

실험결과에 의한 유도비는 $z=6.5$ m, $z=20$ m, $z=30$ m 및 $z=40$ m일 때 각각 61, 72, 89 및 32로서 노즐출구로부터 멀어질수록 유도비는 증가하다가 벽 근처에서 감소함을 알 수 있다.

수치해석결과에 의한 유도비는 실험결과값보다 10% 정도 낮게 나타나지만 정성적으로는 유사한 경향을 보인다. 즉 유도비는 노즐출구로부터 멀어질수록 구간별로 증가, 일정, 증가 및 감소되는 경향을 나타낸다. 특히 $z=11\sim 18$ m의 범위에서 유도비가 거의 일정한 것은 제트팬으로부터 분사된 제트가 $z=11$ m 지점에서부터 바닥과 충돌함에 따라 이 구간에서 유인풍량의 증가가 없기 때문으로 사료된다. 또한 $z=33\sim 42.5$ m의 범위에서 유도비가 감소하는 것은 제한공간 벽면($z=42.5$ m)의 존재로 인한 속도감소와 벽에 충돌 후 순환하는 역기류에 의한 것으로 사료된다.

한편 그림에 나타난 자유제트 이론 유도비는 실험결과와는 아주 다르게 노즐출구로부터 멀어질수록 거의 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 이는 식(6)에 보는 바와 같이 자유제트 이론에 의한 유도비는 중심선속도가 감소됨에 따라 증가하기 때문이다.

세 가지 방법에 의한 유도비를 비교해 보면, 수치적 방법은 실험적 결과는 유사하게 예측되는 반면 자유제트 이론은 전혀 다르게 예측한다. 즉 제한공간에 설치되는 제트팬의 유도비를 예측하기 위해서는 자유제트 이론을 적용하는 것보다 수치적 방법이 보다 효과적이다.

6. 결 론

본 연구에서는 등은 콤팩트 제트를 분사하는 지하주차장용 제트팬이 $50\times 20\times 30$ m의 제한공간에 설치되었을 때, 제트팬에 의해 발생하는 제트기류의 특성을 자유제트 이론, 실험 및 수치적인 방법 등 세 가지 방법으로 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 본 연구에서 선정된 제트팬은 상기 제한공간에서 22° 의 확산각, 37 m의 최대 도달거리, 89의 최대 유도비를 가진다.

(2) 수치해석은 10% 정도의 오차범위 내에서 중심선속도, 최대 도달거리, 그리고 유도비를 예측할 수 있다.

(3) 자유제트 이론은 핵심영역과 천이영역에서의 중심선속도를 실험에 비하여 15% 낮게 예측한다. 소멸영역에서는 자유제트 이론의 적용한계로 인하여 그 예측이 제한된다.

(4) 자유제트 이론으로는 그 적용영역을 벗어나므로 최대 도달거리와 유도비의 예측이 불가능하다.

후 기

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

참고문헌

- ASHRAE Handbook, 1997, Space air diffusion, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
- Lai, J. C. S. and Lu, D., 1994, Effect of wall inclination on the mean flow and turbulence characteristics in a two-dimensional wall jet, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 17, No. 4, pp. 377-385.
- Lin, Y. T. and Shieh, M. S., 1998, Investigation on the mass entrainment of an acoustically controlled elliptic jet, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 25, No. 3, pp. 379-388.
- Huo, T., Haghghat, F., Zhang, J. S. and Shaw, Y. C., 2000, A systematic approach to

- describe the air terminal device in CFD simulation for room air distribution analysis, *Building and Environment* 35 (2000), Elsevier Science Ltd., pp. 563-576.
5. Lee, C. S., Jurng, J. S., Jeong, S. Y. and Hong, K. H., 1994, An experimental study on the flow characteristics of a swirl-jet diffuser, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 6, No. 2, pp. 103-109.
 6. Tuve, G. L. and Ohio, C., 1953, Air velocities in ventilation jets, *Transactions American Society of Heating Ventilation Engineers*, ASHVE Research Report, No. 1479, pp. 216-279.
 7. Hoffmann, K. A. and Chiang, S. T., 1993, *Computational Fluid Dynamics for Engineers*, 1st ed., A Publication of Engineering Education System, Kansas.