

하부 플레넘 구조물 조건을 고려한 클린룸의 편류 개선 방법

김 영 섭[†], 하 만 영^{*}
(주) GS건설 기술연구소, *부산대학교 기계공학부

Improving Vertical Airflow Uniformity Considering the Structures of the Lower Plenum in a Cleanroom

Young Sub Kim[†], Man Yeong Ha^{*}
GS E&C Research Institute, Yongin-si, Gyeonggi-do 449-831, Korea
**School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea*
(Received June 14, 2007; revision received November 23, 2007)

ABSTRACT: To achieve the unidirectional airflow in a cleanroom, we need to predict accurately the static pressure losses at the lower plenum and to control properly the opening pressure ratio of access floor panels based on these pressure losses. At first, the present study proposed a correlation to predict the velocity distribution at the lower plenum, because the accuracy to predict pressure losses at the lower plenum depends on how to calculate the velocity correctly against the inner structures at the lower plenum. In the second place, this study proposed correlations which considered the effect of inner structures such as columns, ducts and equipments at the lower plenum on pressure losses. In order to test the accuracy of these correlations, we compared air flow patterns before regulating the opening ratio of access floor with those after regulating. Results after regulating the opening ratio of access floor show good unidirectional uniform airflow pattern. So the present method can be used as an important tool to control the air flow in a cleanroom.

Key words: Cleanroom(클린룸), Lower plenum(하부 플레넘), Access floor(엑세스 플로어), Opening ratio(개구율), Velocity profile(속도분포), Static pressure distribution(정압분포)

기 호 설 명

그 리 스 문 자

k : 정압 손실계수
 PP : 엑세스 플로어 개구율(%)
 ΔP_s : 정압강하 [Pa]
 u : 하부 플레넘 통과 풍속 [m/s]
 V : 엑세스 플로어 통과 풍속 [m/s]

α : 하부 플레넘에서 무차원 속도
 ρ : 공기의 밀도 [kg/m³]
 ϵ : 엑세스 플로어 손실계수

하 첨 자

[†] Corresponding author
Tel.: +82-31-329-4607; fax: +82-31-329-4660
E-mail address: kimys7@gsconst.co.kr

avg : 평균

1. 서 론

최근 IT산업의 발달과 함께 반도체 및 LCD 등 각종 전자 디바이스 기술들이 많은 발전을 거듭하였다. 전자 디바이스 제품을 생산하는 공장에서는 실내 부유미립자가 생산 중인 제품에 부착되어 불량률을 초래하지 않도록 고정정 클린룸 환경이 유지되어야 한다.

특히 LCD 디스플레이 산업은 유리 기판의 대형화를 통해 빠른 속도로 가격경쟁력을 확보함에 따라, LCD의 대형화는 이전에 볼 수 없었던 초대형 클린룸의 건설을 요구하고 있다. 실제 생산 환경에서 사람과 물자가 빈번하게 출입하며 수백 개에 이르는 제조장치가 가동되고 있는 초대형 클린룸 내에서 고정정 환경을 완벽하게 유지하기란 매우 어려운 일이다.

수직 층류형 클린룸에서 내부에서 발생한 미립자는 수직방향의 기류이동에 의하여 역세스 플로어 하부로 배출된다. 만일 불균일한 기류분포로 인하여 공기가 정체하는 영역이 존재한다면, 미립자는 신속하게 배출되지 않고 표류하며 주변 물체 표면에 부착하게 될 것이며, 혹은 돌발적인 기류의 흡어짐에 의해 다른 생산영역으로 이동하게 될 것이다. 따라서 클린룸에서 수직기류를 균일하게 유지하는 것은 매우 중요하며, KACA 기준⁽¹⁾에 따르면 클린룸에서 편향각을 14° 이내로 제한하고 있다. 이때 편향각은 클린룸 작업영역에서 수직방향으로 기류가 편향된 각도를 나타낸다.

클린룸 내부의 기류를 수직층류로 균일하게 유지하기 위해서는 천장면에서 토출풍속의 균일화와 바닥면에서 흡입풍속의 균일화가 동시에 이루어져야 한다. 토출풍속을 균일하게 유지하기 위해서는 천장면 FFU(fan filter unit) 배치에 있어서 데드 스페이스의 최소화, 필터 압력손실의 균일화 등이 요구된다.

본 연구에서 클린룸의 편류 개선 방법으로 제시하고자 하는 것은 바닥면에서 흡입풍속의 균일화를 유지하는 것이다. Kang et al.⁽²⁾은 수직 층류형 클린룸에서 바닥패널의 개구율을 적절하게 분포시켜 실내기류의 균일도를 제어할 수 있음을 나타내었으며, Park et al.⁽³⁾과 Cheng et al.⁽⁴⁾은 역세스 플로어 개폐 및 공극율 조절에 따른 클린룸 내부의 기류 특성을 검토하였다. 또한 Noh et al.⁽⁵⁾는 AFT(axial fan type) 및 FFU 시스템에서

바닥패널 하단부의 댐퍼 조절에 따른 기류분포, 편향각, 환기효율을 검토하였다.

본 연구에서는 하부 플레넘의 기류 속도분포를 예측하고, 기둥, 덕트 및 배관, 장비류 등 내부구조물의 유형에 따른 정압강하를 예측하였다. 이러한 과정을 통해 보다 정확하게 하부 플레넘의 정압분포를 계산하여, 클린룸 내부기류를 균일하게 제어하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 하부 플레넘의 정압분포에 미치는 인자

클린룸에서의 기류특성은 압력과 유속의 관계를 통해서 나타낼 수 있다. Fig. 1은 전형적인 수직 층류형 클린룸의 공기흐름을 나타낸 것이다. 상부 플레넘의 FFU에서 토출된 청정기류는 클린룸, 하부 플레넘, 리턴 샤프트를 순환하게 된다. 하부 플레넘의 압력분포에서 동압(velocity pressure, P_v)은 (+)압이며, 정압(static pressure, P_s)은 흡입측이므로 (-)압으로 나타난다. 하부 플레넘의 풍속은 리턴 샤프트에 가까워질수록 커지게 되므로, 동압과 함께 정압은 풍속의 상승에 따라 급속하게 (-)압이 커져 그 부분의 역세스 플로어 면에서 흡입력이 커지게 된다. 따라서 흡입력이 큰 역세스 플로어 바닥면을 향하여 기울어지는 편류가 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 역세스 플로어 면에서 동일한 풍량이 흡입되도록, 역세스 플로어 하부에 셔터를 부착하여 개구율(opening ratio)을 조정하는 것이 필요하다.

하부 플레넘에서 발생하는 정압강하를 고려하여 정압분포를 예측할 수 있다면, 클린룸 내부의

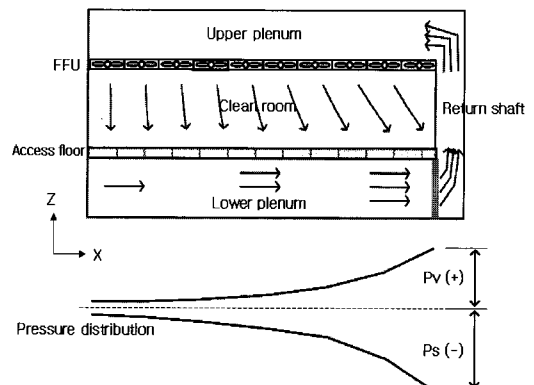


Fig. 1 Schematic of air flow and pressure distributions in a cleanroom.

기류분포를 균일하게 유지시킬 수 있는 역세스 플로어의 개구율 분포를 계산할 수 있다. 하부 플레넘에서 발생하는 정압강하 중, 유동 단면적 확대에 따른 손실, 벽면 마찰에 따른 손실 등은 통과풍속에 대해서 비교적 일정한 경향을 나타내므로 예측할 수 있다. 그러나 내부 구조물에 따른 정압강하는 그 유형에 따라 각기 다른 특징을 나타내므로 정확히 예측하기 어렵다. 최근 반도체 및 LCD 공장에 건설되는 클린룸의 규모가 점차 거대해짐에 따라, 하부 플레넘의 내부 구조물 크기도 점점 커지게 되었으며, 이로 인한 정압강하가 증가하게 되어 정확한 정압 예측이 필요한 실정이다.

Fig. 2는 하부 플레넘에 설치되는 내부 구조물의 유형을 간략하게 나타낸 것이다. 구조물의 형태에 따라 주변에 국부적인 정압변동이 발생하게 되며, 이를 점선으로 나타내었다. 기둥의 경우 하부 플레넘 전체 높이에 대해서 정압변동이 발생하며, 덕트, 배관 그리고 바닥에 놓이는 장비는 설치되는 위치에 대해서만 정압변동이 발생한다.

하부 플레넘 수직단면에서의 속도분포(velocity profile)는 균일하지 않다. 상하부 마찰면(non-silp condition)으로 인해 관내 유동과 유사하며, 바닥 구조 시스템(sub-structure)의 크기 및 형태에 따라 특정한 속도분포를 나타낸다. Fig. 3은 클린룸 내 적재하중을 지지하기 위한 일반적인 형태의 바닥구조 시스템을 나타낸 것이다.

하부 플레넘에서의 속도분포 예측은 매우 중요하다. 내부 구조물의 설치위치에 따라 영향을 미치는 풍속이 달라지기 때문이다. 특히 내부 구조물에 따른 정압강하(ΔP_s)는 식(1)과 같이 하부 플레넘 풍속(u)의 제곱에 비례하여 증가하므로 정확한 속도분포 예측이 필요하다.

$$\Delta P_s = k \frac{1}{2} \rho u^2 \quad (1)$$

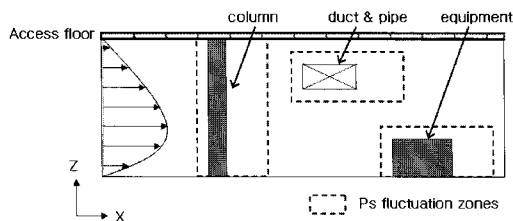
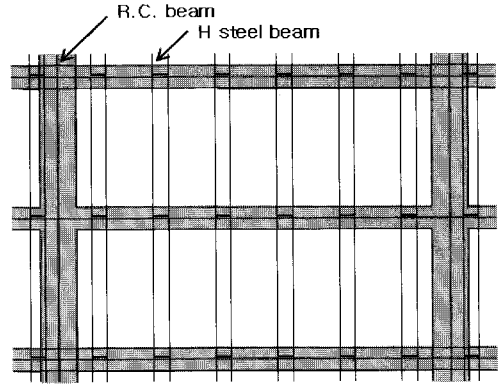
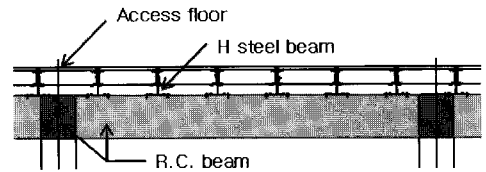


Fig. 2 Obstructive structures at lower plenum.



(a) Plane view



(b) Cross-sectional view

Fig. 3 Sub-structure details at lower plenum.

3. 수치해석 모델링

해석모델의 계산영역은 공기의 밀도, 점성계수 등의 물성치가 일정하며, 비압축성 난류유동으로 가정하였다. 연속방정식과 운동량방정식은 다음과 같다.

Continuity equation :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

Momentum equation :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = \\ - \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

클린룸의 기류를 계산하기 위해 사용된 난류 모델은 Launder and Spalding가 제안한 k-ε 난류 모델⁽⁶⁾로서 다음과 같다.

Turbulence kinetic energy equation :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (4)$$

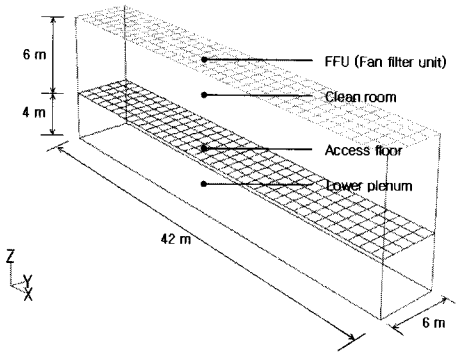


Fig. 4 Configuration of model cleanroom.

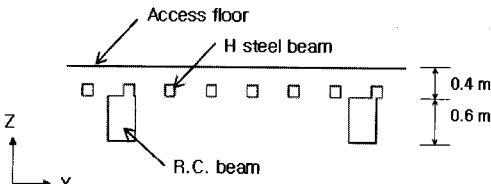


Fig. 5 Sub-structure of model cleanroom.

Turbulence dissipation rate equation :

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

$$\text{이때, } \mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}, \quad G_k = -\rho \overline{u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i},$$

$$C_{1\epsilon} = 1.44, \quad C_{2\epsilon} = 1.9, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 1.2$$

Fig. 4는 FFU 방식의 수직 층류형 클린룸으로서 해석모델의 계산영역을 나타낸 것이다. 하부 플레넘에서 정압분포를 예측하고자 하는 해석모델이므로 클린룸과 하부 플레넘을 대상으로 하였으며, 비교적 영향을 적게 미치는 상부 플레넘과 리턴 샤프트는 계산영역에서 제외하였다. 클린룸의 크기는 거리가 42m이며, 클린룸의 층고는 6m, 하부 플레넘의 층고는 4m이다.

본 연구에서 계산하고자 하는 하부 플레넘에서 속도분포와 정압분포는 편류가 발생하지 않은 이상적인 클린룸 상태에서 해석이 이루어지도록 요구된다. 따라서 클린룸 내부 기류분포가 균일하거나, 액세스 플로어에 흡입되는 풍속이 균일하도록 가정하여야 한다. 각각의 FFU 마다 액세스

플로어에 이르는 가상의 관을 연결하여 균일한 기류조건을 구현하였다.

유한체적법 해석코드인 Fluent v.6.3⁽⁷⁾을 사용하였으며, 해석에 사용된 경계조건(boundary condition)은 다음과 같다.

(1) 입구 조건(velocity inlet)은 FFU이며, 0.1m/s로 천장면 전체에서 균일하게 토출하도록 하였다.

(2) 액세스 플로어는 0.6 m × 0.6 m의 크기로 다공성 매질(porous)로 가정하였으며, 압력 강하량은 Darcy's law를 이용한 다음의 식을 사용하였다.⁽⁷⁾

$$\nabla P = -\frac{\mu}{\beta} \nu \quad (6)$$

여기서 β 는 투과성으로서 통과풍속에 따라서 $1.5 \times 10^5 \sim 4.5 \times 10^7$ 의 값을 가지며, μ 는 점성으로서 1.78×10^{-5} 를 사용하였다.

(3) 장변길이의 측면은 다음과 같은 대칭조건(symmetry)으로 설정하였다.

$$\nu = 0, \quad \frac{\partial k}{\partial x} = \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial k}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \epsilon}{\partial x} = \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial \epsilon}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

(4) 출구(outflow)는 하부 플레넘의 한쪽 면을 설정하였으며, 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial k}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \epsilon}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

계산시 수렴판정 조건으로는 각각의 셀(cell)에 대한 운동량 잔차(residual)와 연속방정식의 잔차를 모두 합한 값이 10^{-3} 이하일 때로 정하였다.

4. 해석 결과

4.1 하부 플레넘의 속도분포

Fig. 6은 하부 플레넘의 속도분포를 나타낸 것이다. 길이방향(X), 즉 리턴 샤프트 방향으로 기류가 이동하면서 액세스 플로어를 통과하는 기류가 합류되어 점차 누적된다. 따라서 하부 플레넘 기류의 평균속도는 점차 증가하게 된다.

길이방향(X)에 따라 평균속도가 다르지만 높이

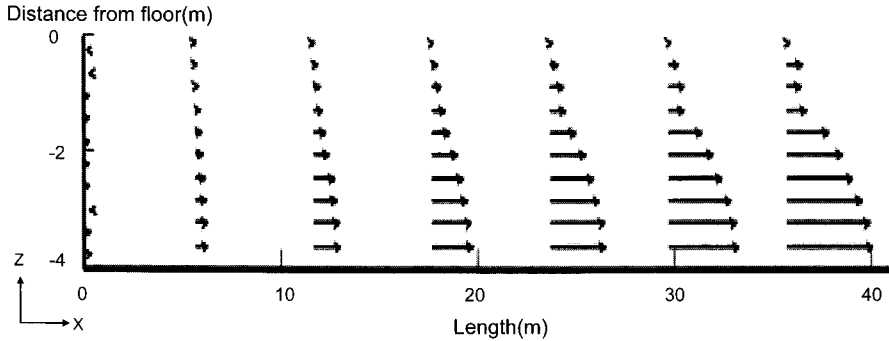


Fig. 6 Velocity profile at lower plenum.

방향(Z)에 따른 속도분포는 유사하다. 바닥구조 시스템의 영향을 받는 Z= -1.0 m 부근을 제외하면 일정한 분포를 갖는다.(Fig. 7(a)) X축 임의의 위치에서의 평균속도($u_{avg}(x)$)에 대해서 높이에 따른 속도분포($u(x,z)$)를 식(9)로 정의하였다.

$$\alpha(z) = \frac{|u(x,z)|}{|u_{avg}(x)|} \quad (9)$$

기체의 속도 $u_{avg}(x)$ 및 $u(x,z)$ 는 X방향으로 진행하면서 점차 증가하지만, $\alpha(z)$ 는 하부 플레넘 높이(Z)만의 무차원 속도함수이며 X방향의 위치와 상관없이 일정한 값을 갖는다. 본 연구에서는 수치해석 결과를 평균하여 적절한 함수의 형태로 나타내었다(Fig. 7(b)).

$\alpha(z)$ 의 형태는 하부 플레넘 바닥면에 편중된 형태를 나타내는데, 이는 클린룸의 바닥구조 시스템(Fig. 3, Fig. 5)의 영향이 크다. H-steel beam 및 R. C. beam 등으로 인하여 기류 진행방향을 직접적으로 차단하기 때문이다. 보의 크기가 다르거

나 기류 진행과 다른 방향으로 놓여지는 경우, 속도함수 $\alpha(z)$ 의 형태는 다른 양상을 나타낼 수 있다.

Fig. 7(c)는 속도함수 $\alpha(z)$ 와 연구용 클린룸에서 실측된 결과를 비교한 것이다. 연구용 클린룸의 규모는 28m(X) × 12m(Y)로서 해석모델보다 작은 크기지만, 클린룸의 높이는 6m이며, 하부 플레넘 높이는 4m로서 해석모델 조건과 동일하다. 또한 바닥구조 시스템의 설치조건도 해석모델과 동일하다. 계측장치는 3차원 초음파풍속계(model: WA-590)를 사용하였다. 실측값과 속도함수 $\alpha(z)$ 를 비교한 결과, 오차율은 5% 미만으로 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 하부 플레넘의 내부 구조물 설치위치에 따라 영향을 미치는 풍속조건으로서 $\alpha(z)$ 를 사용하는 것이 적합한 것으로 판단되었다.

4.2 하부 플레넘의 정압변동

Fig. 8은 하부 플레넘의 기둥 위치에 따른 정

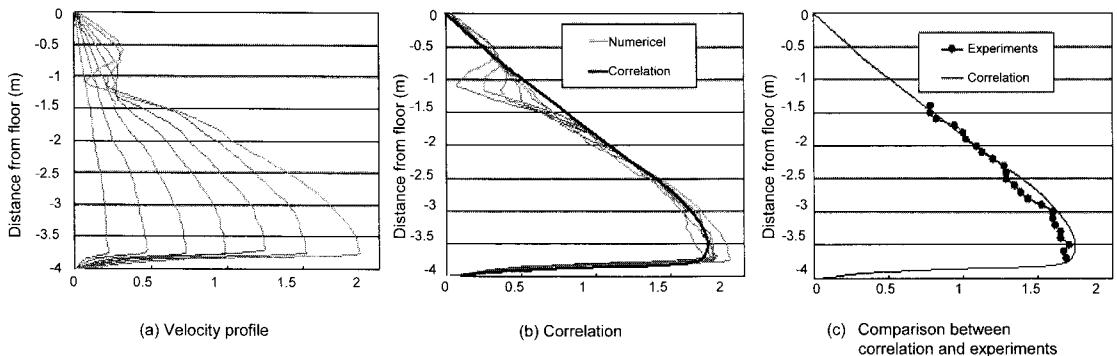


Fig. 7 Figure out of correlation of velocity profile at lower plenum.

압 분포를 나타낸 것이다. 기둥의 단면 크기는 400 mm × 400 mm이며, 기둥이 3,600 mm 간격으로 배치되었다. 기둥의 위치에 따른 정압변동은 기둥을 중심으로 일정 주변에서 나타난다. 기둥 앞면은 기류 진행의 정체점이 되어 정압이 상승하며, 기둥 뒷면에서는 정압이 하강한다.

기둥이 존재하지 않는 경우와 비교함으로써, 기둥으로 인한 정압 변동량을 예측할 수 있다. Fig. 9는 기둥의 영향을 예측할 수 있는 상관식 도출 과정을 나타낸 것이다.

(1) Fig. 9(a)는 기둥 유무에 따른 정압을 나타낸 것이다. 첫 번째 역세스 플로어를 통과한 기류의 정압을 영(zero)으로 상정하고, 리턴 샤프트 방향(X방향)으로 기류가 이동함에 따른 정압 강하량을 상대적으로 표시한 것이다. 기둥으로 인해 보다 많은 정압강하가 발생하였으며, 기둥이 위치한 지점에서 국부적인 변동이 큰 것을 알 수 있다.

(2) Fig. 9(b)는 기둥 유무에 따른 정압 강하량 차이(기둥이 없는 경우의 정압-기둥이 존재하는 경우의 정압)를 나타낸 것이다.

(3) Fig. 9(c)는 기둥 앞면의 위치에 대한 정압 강하량으로서, 하부 플레넘 내의 통과풍속에 대해서 상관식을 나타낸 것이다. 기둥 앞면과 뒷면의 위치에 대해서, 그리고 기둥 주변에 대해서 상 관식을 도출할 수 있다.

Fig. 10은 기둥 중심을 통과하는 기류와 기둥 주변을 통과하는 기류의 정압강하를 비교한 것이

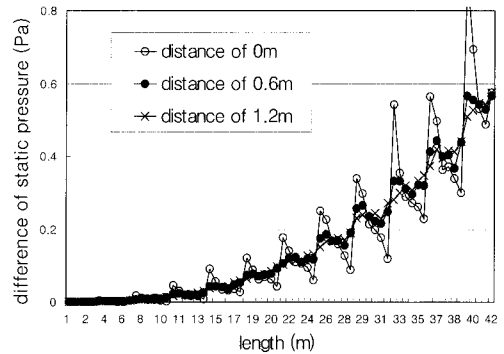


Fig. 10 Comparison of static pressure for distance from column.

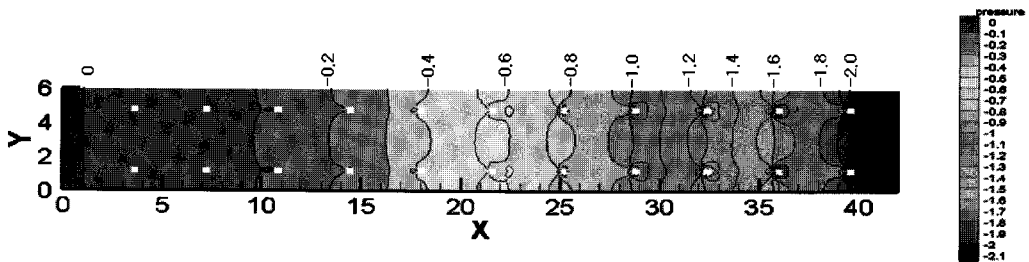


Fig. 8 Static pressure contour according to the location of columns at lower plenum(Z = 1.2m).

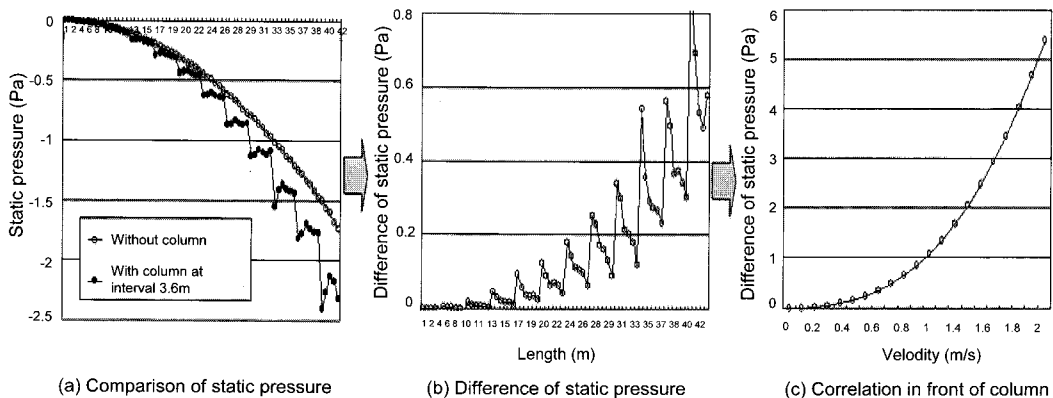


Fig. 9 Figure out of the correlation of the effect of columns on static pressure at lower plenum.

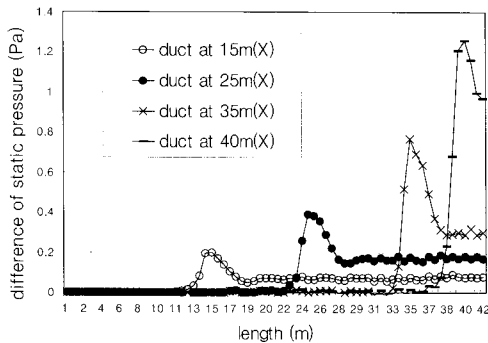


Fig. 11 Effect of ducts on static pressure at lower plenum.

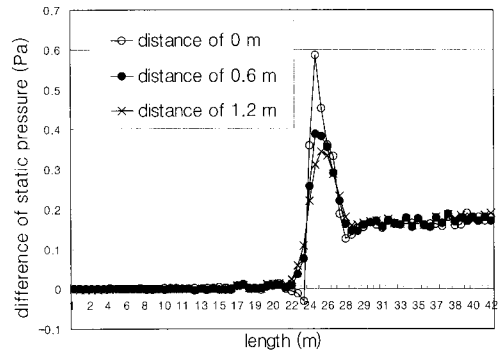


Fig. 12 Comparison of static pressure for distance from duct.

다. 기둥 중심에서 Y축 방향으로 0.6, 1.2m로 멀어짐에 따라 정압변동 폭이 적어지며, 이에 따라 엑세스 플로어의 개구율 조정량도 적어진다.

하부 플레넘에서 덕트 및 배관이 정압강하에 미치는 영향은 보다 복잡하다. 덕트의 단면 크기(높이와 폭), 설치높이(Z방향), 기류 진행방향 위치(X방향)에 따라 다르게 나타난다. 덕트의 설치높이에 따라 영향을 미치는 풍속이 달라지므로, 속도함수 $\alpha(z)$ 를 사용하여 해당풍속을 예측하여야 한다.

Fig. 11은 하부 플레넘의 X방향으로 덕트가 위치함에 따른 정압강하를 나타낸 것이다. 덕트의 단면 크기는 1,800 mm × 800 mm(폭 × 높이)이며, 설치높이는 2,000 mm이다. 덕트의 위치가 리턴 샤프트에 가까워짐에 따라 기류속도가 커지기 때문에 이에 따른 정압 강하량도 커지는 것을 알 수 있다. 상관식을 도출하는 과정은 기둥의 경우와 동일하며, 덕트 앞면과 뒷면의 위치에 대해서 상관식을 도출하여야 하며, 특히 설치높이(Z방향)에 따라 상관식을 도출하여야 한다.

Fig. 12는 덕트 중심을 통과하는 기류와 덕트 주변을 통과하는 기류의 정압강하를 비교한 것이다. 덕트 중심에서 Z축 방향으로 0.6, 1.2m로 멀어짐에 따라 정압변동 폭이 적어지는 것을 알 수 있다.

하부 플레넘의 바닥에 놓이는 장비가 정압강하에 미치는 영향은 덕트와 유사하다. 장비의 단면 크기(높이와 폭), 기류 진행방향 설치위치(X방향)에 따라 다르게 나타난다. 특히 장비의 높이에 따라 영향을 미치는 풍속범위가 달라지므로, $\alpha(z)$ 를 사용하여 해당풍속을 예측하여야 한다.

5. 엑세스 플로어의 개구율 계산

앞서 설명한 하부 플레넘에서 속도분포와 내부 구조물에 따른 정압변동의 예측 결과는, 클린룸 내부기류를 균일하게 제어하기 위해 엑세스 플로어의 개구율 분포를 계산하는 과정에 적용된다. 엑세스 플로어의 개구율을 계산하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 클린룸 내부기류가 균일하다고 가정하여 FFU 토출 풍량을 기준으로 엑세스 플로어 통과 풍량을 계산한다. 또한 엑세스 플로어 통과 풍량을 기준으로 하부 플레넘 임의의 위치(x, y)에서 평균풍속($u_{avg}(x, y)$)을 계산한다.
- (2) 하부 플레넘의 내부 구조물 유형을 분류하고 각각 정압변동을 일으키는 영향범위를 결정한다.
- (3) 내부 구조물 유형에 따른 상관식을 사용하여 엑세스 플로어 임의의 위치(x, y)에서 정압 강하량($\Delta P_s(x, y)$)을 계산한다.
- (4) 엑세스 플로어의 압력손실은 통과풍속(V_{avg}), 개구율(PP)에 대해서 다음의 식으로 계산된다.⁽⁸⁾

$$\Delta P_s = \xi \frac{\rho}{2} \left(\frac{100 V_{avg}}{PP} \right)^2 \quad (10)$$

Fig. 13은 엑세스 플로어 개구율 계산의 실험성을 검증하기 위한 해석모델을 나타낸 것이다. 계산영역은 앞서 수행한 해석모델과 동일하며, 다른 점은 하부 플레넘에 가상의 장애물을 배치한 것이다. 1,200 × 1,200 mm의 기둥을 12,000 mm 간격으로 배치하였으며, 바닥구조 시스템에 해당되는 400 × 400 mm의 기둥을 3,600 mm 간격으로

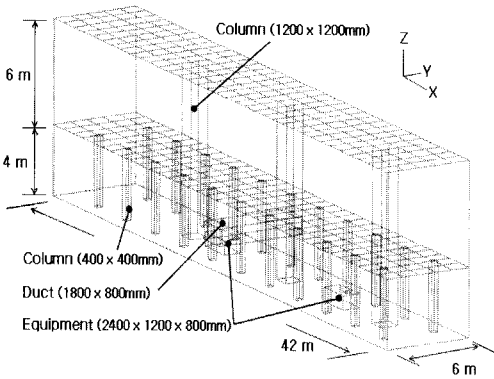


Fig. 13 Configuration of model cleanroom for case study.

배치하였다. 단면 크기 1,800 × 800 mm(폭×높이)의 덕트를 배치하였으며, 2,400 × 1,200 × 800 mm(길이 × 폭 × 높이)의 장비를 배치하였다.

먼저 액세스 플로어 개구율이 동일한 경우에 대해서 해석하였으며, 내부 구조물에 따른 정압 변동을 계산하여 액세스 플로어의 개구율을 조정

한 경우를 해석하였다. 액세스 플로어 하부에 부착되는 서터의 개구율은 20~100%로 계산되었다.

Fig. 14는 액세스 플로어의 개구율 조정 전과 후의 클린룸 내부기류를 속도벡터로 나타낸 것이다. 개구율 조정 전에는 전반적으로 편향기류의 발생이 두드러지나, 개구율 조정 후에는 수직 층류를 이루어 편류가 발생하지 않는 것이 확인되었다.

Fig. 15는 클린룸 내부 1m 높이에서 기류속도를 비교한 것이다. (a)는 클린룸 내부 기둥의 주변을 통과하는 기류이다. 개구율 조정 전에는 0.06~0.2 m/s 유속을 나타내며, 리턴 샤프트 부근에서 약 3배 이상 커지게 된다. 반면에 개구율 조정 후에는 0.1 m/s(± 10%)로서 균일한 유속을 나타내었다. (b)는 클린룸 내부 기둥에 면하여 통과하는 기류를 나타낸 것이다. 개구율 조정 전에는 기둥이 위치하는 지점에서 극심한 유속 증감이 나타나며, 리턴 샤프트 부근에서 약 3배 이상 커지게 된다. 개구율 조정 후에는 기둥에 직접 충돌하는 일부 구간을 제외하고는 균일한 유속을 나타내었다.

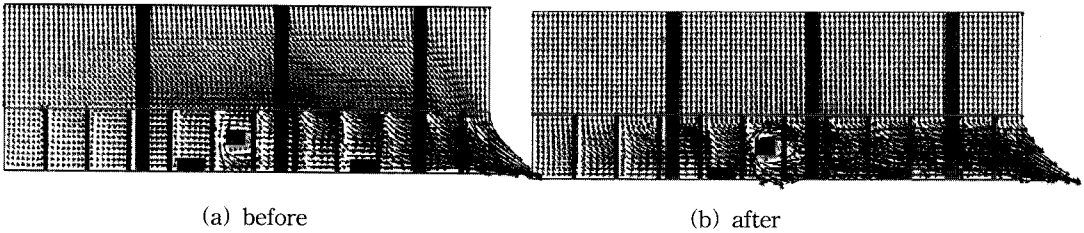
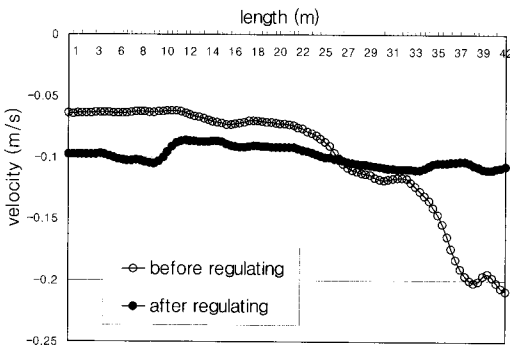
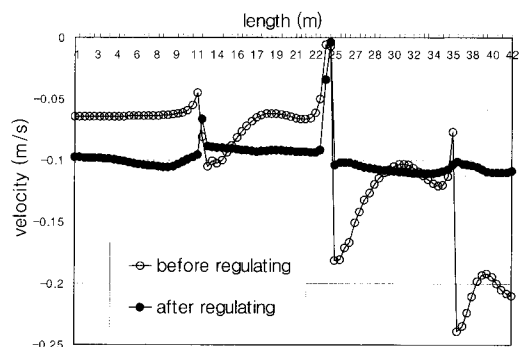


Fig. 14 Comparison of velocity vector between before and after regulating opening ratio of the floor (section of Y = 3.0m).



(a) Section of Y = 1.2m



(b) Section of Y = 3.0m

Fig. 15 Comparison of velocity distribution at 1m above floor.

6. 결 론

최근 건설되는 클린룸의 규모가 대형화됨에 따라 하부 플레넘의 내부 구조물 크기가 커지고, 이로 인하여 정압변동 폭이 커짐에 따라 정확한 정압 예측이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 내부구조물의 유형에 따른 하부 플레넘의 정압변동을 예측함으로써 클린룸 내부기류를 균일하게 제어하는 방법을 제시하였다. 주요 연구내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 하부 플레넘의 속도분포를 예측하기 위해 높이(Z)에 대한 속도함수 $\alpha(z)$ 를 산출하였다. $\alpha(z)$ 의 형태는 클린룸의 바닥구조 시스템의 영향이 크다.

(2) 연구용 클린룸에서 하부 플레넘의 풍속을 측정된 결과, 속도함수 $\alpha(z)$ 와 오차율 5% 미만에서 일치하였다.

(3) 기둥, 덕트 및 배관, 장비 등 내부구조물의 유무에 따른 정압을 비교함으로써 내부 구조물로 인한 정압강하 상관식을 도출할 수 있다.

(4) 덕트의 설치높이, 장비의 높이에 따라 영향을 미치는 풍속범위가 달라지므로 속도함수 $\alpha(z)$ 를 사용하여 해당풍속을 예측하여야 한다.

(5) 역세스 플로어 개구율 조정 전과 후의 클린룸 내부기류를 비교한 결과, 개구율 조정 후에는 균일한 유속분포를 나타내었으며, 수직층류를 이루며 편류가 발생하지 않는 것이 확인되었다.

참고 문헌

1. SPS-KACA003-133, Test methods for performance evaluation of cleanrooms and associated controlled environments, Korea Air Cleaning Research Association, 2000.
2. Kang, S.H., Jeon, W.P. and Oh, M.D., 1990, Effect of the floor pannel of flows in a vertical laminar flow type clean room, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration, Vol. 2, No. 4, pp. 303-315.
3. Park, M.S., Lee, J.H., Ahn, K.H. and Kim, J.H., 1993, On the characteristics of the flow with opening and shutting of access panels in a clean room, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration, Vol. 5, No. 1, pp. 55-64.
4. Cheng, M., Liu, G.R., Lam, K.Y., Cai, W.J. and Lee, E.L., 1999, Approaches for improving airflow uniformity in unidirectional flow cleanrooms, Building and Environment, Vol. 34, pp. 275-284.
5. Noh, K.C., Oh, M.D. and Lee, S.C., 2005, A numerical study on airflow and dynamic cross-contamination in the super cleanroom for photolithography process, Building and Environment, Vol. 40, pp. 1431-1440.
6. Launder, B.E. and Spalding, D.B., 1972, Lectures in mathematical models of turbulence, Academic Press, England.
7. Fluent Inc., Fluent V6.3 User Guide, Fluent Inc., 2006.
8. Kim, D.K., Cho, S.J., Moon, I.H. and Kim, J.J., 2003, A study for improving airflow uniformity in vertical unidirectional flow cleanroom with FFUs, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 1-7.