

클린 터널형 클린룸 설계를 위한 유동특성의 실험적 연구

An Experimental Study on the Airflow Characteristics for Clean Tunnel Type Clean Room Design

배 귀 남*, 임 학 규*, 오 명 도*
G. N. Bae, H. K. Lim, M. D. Oh

ABSTRACT

The airflow characteristics of clean tunnel type clean room were experimentally investigated with the change of operating speed and exit type. Distributions of air velocity and pressure were measured in clean room which is located lower than HEPA filters, and the pressure distribution was also measured in upper plenum which is located above the HEPA filters, to identify the performance of clean room. Through the analysis it was turned out that air velocity characteristics in clean room were significantly affected by the upper plenum flow conditions such as pressure distribuion. This results will be useful in the actual clean room design to enhance the performance.

1. 서 론

클린룸은 공기중에 부유된 입자의 농도가 명시된 한계 이내로 제어되는 실을 말하며, 이것은 입자가 오염원이 되는 반도체, 광학기기, 정밀기계 등 거의 모든 첨단산업 분야에 필요한 기본 시설이다. 각종 생산장비의 가동이나 작업자의 활동 등으로 인하여 클린룸내에 존재하게 되는 오염입자는 대부분 클린룸으로 공급되는 기류를 통하여 제어된다. 그리고 클린룸내의 불균일한 기류분포로 인하여 오염입자가 생산공정이 이루어지는 영역으로 확산되는 것을 방지하기 위하여 클린룸에서 균일한 기류분포를 확보하는 것이 오염입자 제어에 매

우 중요하다.

클린룸에서 기류의 공급 및 배기형태, 작업대의 크기 및 위치, 오염입자의 존재 등에 따른 클린룸내의 기류분포, 오염입자 분포특성에 관한 연구가 일본 등지에서 활발히 수행되고 있으며,^{1,2,3)} 최근에 이르러 국내에서도 클린룸에 관한 연구가 수치 해석적인 방법과 실험적인 방법에 의하여 수행되고 있다.^{4,5,6,7)} 클린 터널형 클린룸에 관한 실험적 연구는 많지 않은데, 그중에서 Kenji Hamano 등은 작업대가 놓여있는 클린룸에서 공급 풍량의 변화와 격막(eyelid)의 유무에 따른 수직 단면의 풍속분포와 온도분포, 입자분포를 측정하여 클린룸의 청정도가 기류분포, 온도분포와 밀접

하게 관련되어 있음을 밝혀냈다.⁸⁾ 그리고 Yasuyuki Uchiyumi, Mikio Takanaka 등은 공급풍량의 변화, 작업대와 격막의 유무에 따른 수직단면의 풍속분포와 입자분포를 측정하여 클린룸의 성능을 살펴보았다.^{9,10)}

본 연구는 동력비의 절감면에서 유리한 클린 터널형 클린룸에 대하여 팬의 공급풍량, 기류의 배기형태 등의 설계변수에 따른 클린룸 내부 및 클린룸 상부 플레넘(upper plenum)의 유동특성을 파악할 수 있는 실험을 수행함으로써, 클린룸의 성능 변수(풍속균일도, 실내압력 등)와 설계변수간의 관계를 규명하여 그 결과가 클린 터널형 클린룸의 설계에 활용될 수 있도록 하고자 하였다. 그리고 이층식 등에 의한 플레넘의 유동가시화 실험으로부터 플레넘의 유동상태와 클린룸의 유동상태가 서로 밀접한 관계가 있다는 것이 정성적으로 밝혀졌으므로,⁶⁾ 본 연구에서는 이런 상관성을 정량적으로 분석하여 클린룸에서 균일한 기류 분포를 확보할 수 있는 방법을 제시함으로써

클린룸의 성능향상에 기여하고자 하였다.

클린룸의 상태는 생산장비와 작업자의 유무에 따라 설비상태(as-built)의 클린룸, 비운전상태(at-rest)의 클린룸, 운전상태(operational)의 클린룸으로 나뉘는데, 본 연구는 설계변수들간의 관계를 단순화시키는 기초연구이므로 클린룸에 생산 장비와 작업자가 없는 설비상태에서 실시하였다.

2. 실험 시스템

2.1 실험용 클린 터널형 클린룸

클린 터널형 클린룸의 설계변수로는 팬의 공급풍량, 플레넘의 구조, 고성능 필터의 교체, 기류의 배기형태, 격막의 크기, 작업대의 크기 및 위치 등이 있으며, 본 연구에서는 이와 같은 설계변수들을 최대한 가변할 수 있도록 소형의 클린 터널형 클린룸을 제작하여 조립하였다. 본 연구에 사용된 클린 터널형 클린룸은 클린룸, 플레넘, HEPA필터, 팬과 모

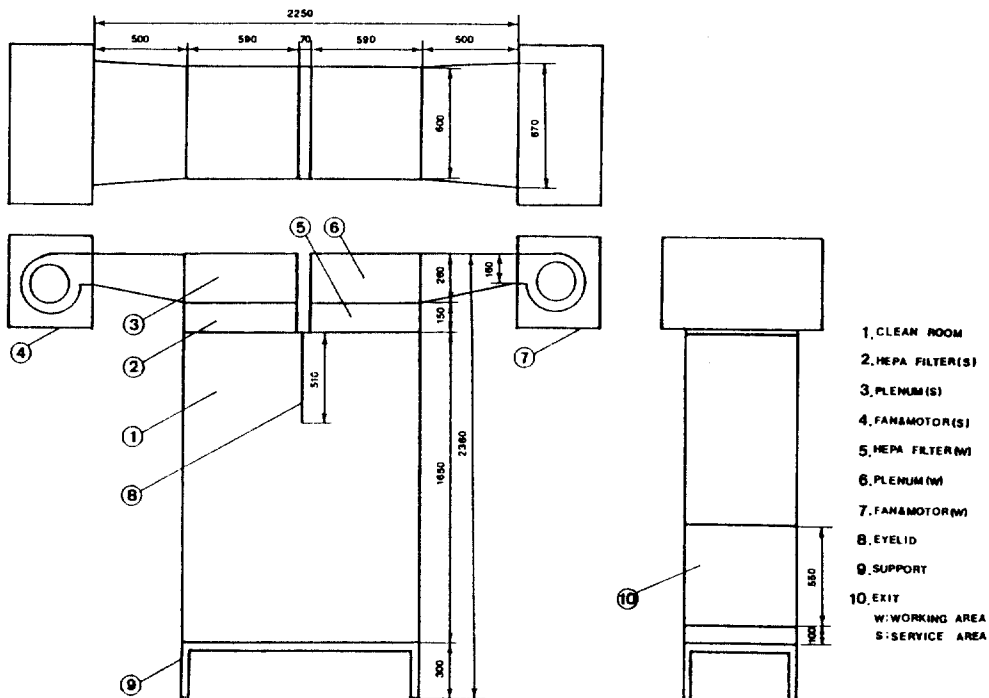


Fig.1 Schematic Diagram of Clean Tunnel Type Clean Room

터, 덕트로 구성되어 있으며¹¹⁾ 이것의 전체적인 개략도를 Fig.1에 나타냈다. 그리고 본 실험에 사용된 HEPA필터의 검사성적표를 Table 1에 나타냈다. Fig.1에 나타낸 클린 터널형 클린룸은 산업체에서 사용하는 대형 클린룸을 단순화시킨 것으로 생산공정이 이루어지는 작업구역(working area)과 생산 장비나 작업자가 이동하는 통로구역(service area)으로 구분되며, 독립된 2개의 가변판과 플레넘을 사용하여 각 구역으로 공급되는 풍량을 실험조건에 따라 조절하였다. 그리고 격막을 설치하여 상부에서 작업구역의 기류가 통로구역으로 확산되는 것을 방지하고자 하였다.

Table 1 HEPA Filters Testing Report

Use	Rated Airflow Capacity [CMM]	Pressure Drop [mmAq]	0.3 μ mDOP Collection Efficiency [%]
Service Area	28.00	21.00	99.992
Working Area	28.00	24.00	99.996

2.2 측정 시스템과 자료처리

본 연구에서 측정대상은 기류의 속도와 압력이며, 클린룸의 속도분포는 저속용 풍속계로 측정하였고, 클린룸과 플레넘의 압력분포는 미세 차압계로 측정하였다. 이때 속도센서는 프로우브(probe) 축을 중심으로 $\pm 30^\circ$ 이내의 유동방향을 갖는 풍속을 측정한다. 속도와 압력측정 기기의 분해능은 각각 0.1cm/s, 0.01 mmAq 이다. 그리고 저속용 풍속계와 미세차압계로부터 얻은 실험자료는 A/D 변환기를 거쳐 개인용 소형 컴퓨터로 자동 처리하였다. 이때 속도는 80 초 동안에 200개의 자료(data)를 취한 후 이들의 시간에 따른 평균, 표준편차, 최대, 최소를 구하여 속도특성을 살펴보고, 이 중에서 평균을 대표값으로 하여 결과를 나타냈다. 또, 압력은 60 초 동안에 400개의 자료를 취하여 속도와 같은 방법으로 처리하였다. 전체적인 측정 시스템의 구성도를

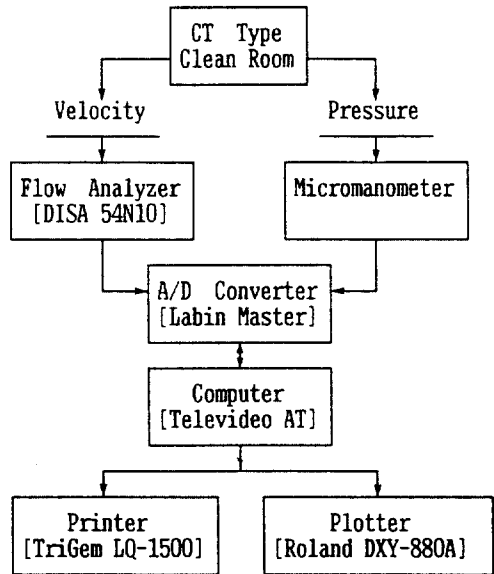


Fig.2 Block Diagram of Data Acquisition System

Fig. 2에 나타냈다. 그리고 본 실험여건에 적합하게 프로우브 이송장치를 2개 제작하여 사용하였는데, 이것은 프로우브를 3차원 방향으로 이송할 수 있고, 이송거리는 X축 방향으로 420mm, Y축 방향으로 425mm, Z축 방향으로 1600mm이다.

2.3 기류의 배기형태에 따른 클린룸의 분류와 측정점의 위치

클린룸의 기류는 기류의 공급형태와 배기형태에 따라서 그 유동형태가 크게 좌우된다.본 연구에서는 기류의 공급형태로 클린 터널형을 선택하였으며, 기류의 배기형태는 클린룸 바닥면과 작업구역 아래쪽 측면의 개폐에 따라 Fig. 3과 같이 5가지 형태로 분류하여 실험을 수행하였다. 여기서 바닥면 배기형태는 수직 층류형과 클린 터널형 클린룸에서 일반적으로 사용하며, 작업구역 아래쪽 측면의 배기형태는 작업대 상부의 재순환 영역을 없애기 위하여 추가로 사용하는데, 클린룸마다 용도에 따라 이들의 적절한 조합을 선택하여 사용한다.

한편, 클린룸의 속도분포 특성을 살펴보기

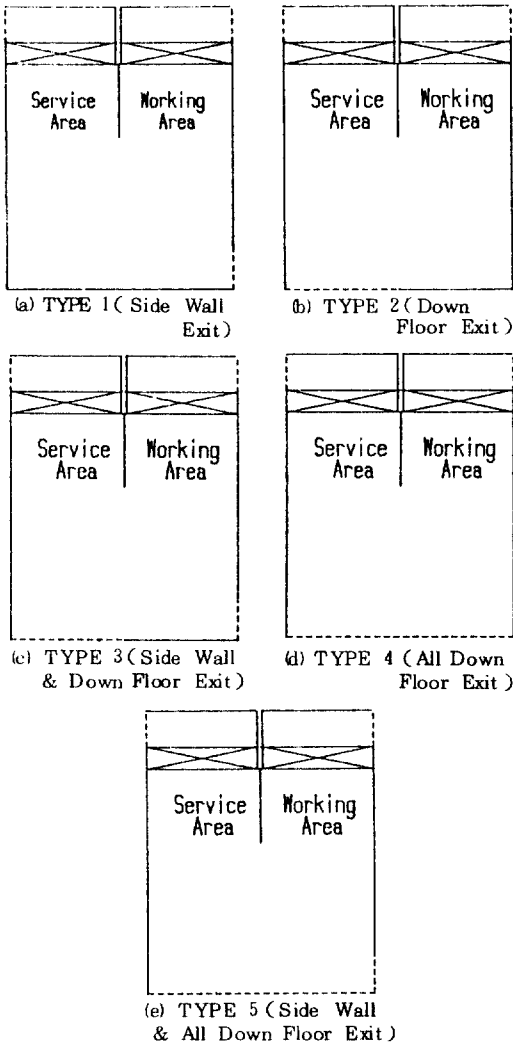


Fig. 3 Classification of Clean Room by Exit Type

위하여 Fig. 4에 나타낸 위치에서 속도를 측정하였는데, 수평면상의 속도 측정점은 72개이다. Fig. 4(a)에서 왼쪽은 통로구역이고, 오른쪽은 작업구역이며, X6, X7선이 격막 근처이다. Fig. 4(b)는 작업구역의 팬쪽에서 본 위치이다. 그리고 플레넘과 클린룸의 압력분포 특성을 알아보기 위하여 Fig. 5에 나타낸 위치에 42개의 압력공을 뚫어 실험실내 압력과 차압을 측정하였다.¹²⁾

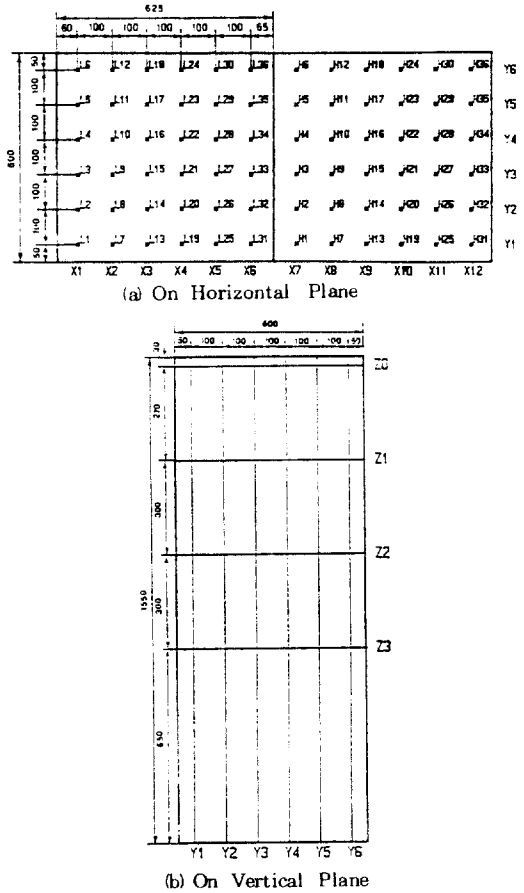


Fig. 4 Location of Air Velocity Measurement

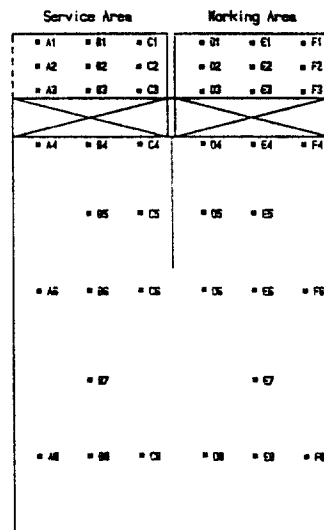


Fig. 5 Location of Pressure Measurement

3. 클린룸의 속도분포 특성

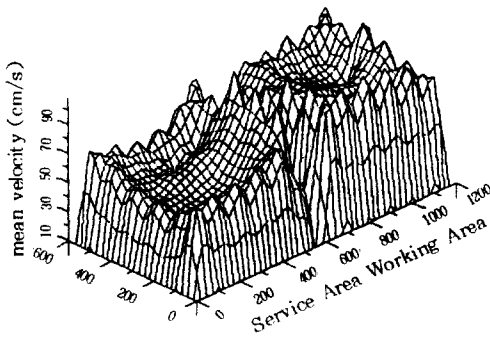
3.1 수평면상의 속도분포 특성

3.1.1 운전속도의 변화에 따른 특성

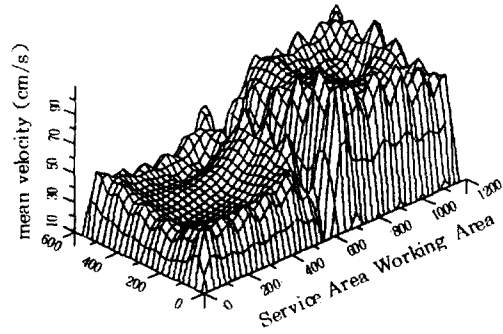
운전속도(HEPA 필터 직하방에서의 예상 평균 풍속)의 변화에 따른 수평면상의 속도분포 특성을 살펴보기 위하여 배기형태가 TYPE 3인 클린룸을 선택하여 Table 2에 나타낸 것과 같은 6가지의 운전속도의 조합에 대하여 Z1 평면(HEPA필터 하방 30cm인 평면)상의

Table 2 Operating Speed of CT Type Clean Room [cm/s]

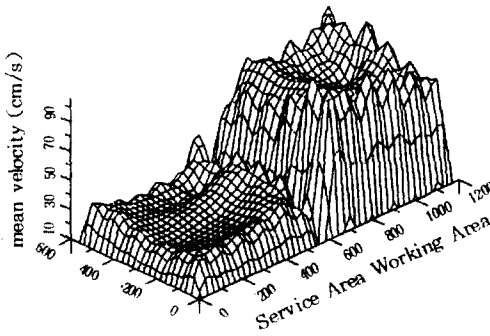
CASE	Service Area	Working Area
1	60	80
2	45	80
3	30	80
4	45	60
5	30	60
6	30	45



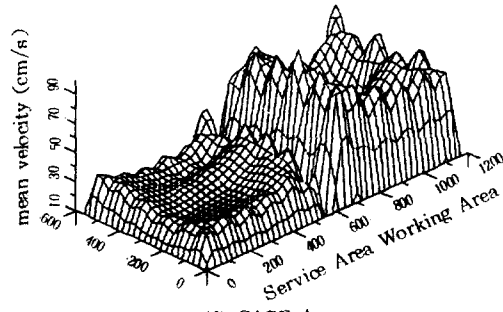
(a) CASE 1



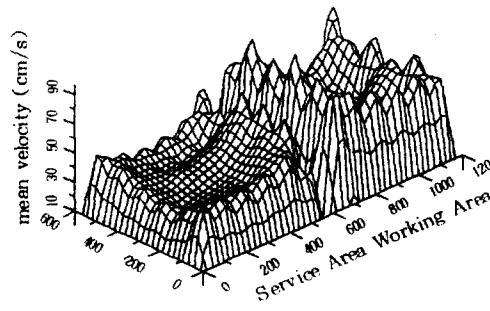
(b) CASE 2



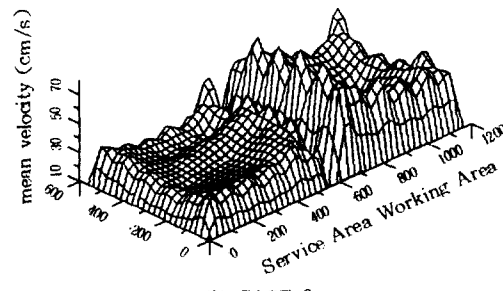
(c) CASE 3



(d) CASE 4



(e) CASE 5



(f) CASE 6

Fig.6 Measurement of Air Velocity Distribution on Z1 Plane(TYPE 3)

균일한 36개의 위치(6×6격자점)에서 기류 속도를 측정하였다.

Fig. 6을 보면, 통로구역에서는 운전속도에 관계없이 거의 비슷한 모양의 속도분포를 나타낸다. 즉, 상대적으로 낮은 속도폭이 2군데 생기며, 벽면 중에서도 격막 근처의 속도가 상대적으로 높게 나타난다. 반면에 작업구역에서는 운전속도의 변화에 따라 속도분포가 달라진다. 작업구역의 운전속도가 가장 높은 CASE 1, 2, 3에서는 중심부에 상대적으로 낮은 속도폭이 생기고, 벽면 근처의 속도가 높게 나타난다. 그리고 작업구역의 운전속도가 중간인 CASE 4, 5에서는 중심부의 낮은 속도폭이 상대적으로 더 깊어지고, 격막과 팬에 가까운 쪽 벽면 근처의 속도가 두드러지게 높게 되어 전체적인 풍속의 균일도를 저하시킨다. 또 작업구역의 운전속도가 가장 낮은 CASE 6에서는 여전히 중심부는 낮은 속도폭을 형성하지만, 팬에 가까운 쪽 벽면 근처의 속도는 상대적으로 줄어든 반면에 격막 근처의 속도는 계속해서 가장 높게 나타난다.

이와 같은 속도분포 특성으로부터 Z1평면이 격막으로 인하여 통로구역과 작업구역으로

확실히 나뉘기 때문에 최소한 Z1 평면에서는 상대구역의 운전속도에 속도분포가 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 그리고 통로구역에서는 운전속도에 관계없이 거의 비슷한 속도분포를 나타내는 반면에 작업구역에서는 운전속도의 변화에 따라 속도분포가 달라지는 것은, 사용된 HEPA 필터가 같은 회사의 동일한 모델이지만 Table 1에서 볼 수 있듯이 제작 특성으로 인한 성능 차이에 주로 기인된 것으로 생각된다.

3.1.2 수직높이의 변화에 따른 특성

수평면상의 속도분포가 수직높이에 따라 어떻게 변하는가를 살펴보기 위하여 동일 운전 조건(TYPE 3, CASE 5)에서 Z1, Z2, Z3 평면(HEPA 필터 하방 30 cm, 60 cm, 90 cm인 평면)상의 속도분포를 측정하였다. Fig. 6(e)와 Fig. 7을 수직위치에 따라 비교하면, 통로구역에서는 Z1 평면에서 Z2 평면으로 내려감에 따라 2곳의 낮은 속도폭이 없어지고 하나의 평평한 속도분포를 이루며, Z2 평면에서 Z3 평면으로 내려감에 따라서는 작업구역으로부터 속도차에 의하여 많은 유량을 공급받아 낮은 속도폭이 다시 생기고 벽면 근처 중에서도 특히 격막 하방의 속도가 높다. 그리고 작업구역에서는 격막 근처의 속도가 Z2, Z3 평면으로 내려감에 따라 동일 평면상의 다른 곳에

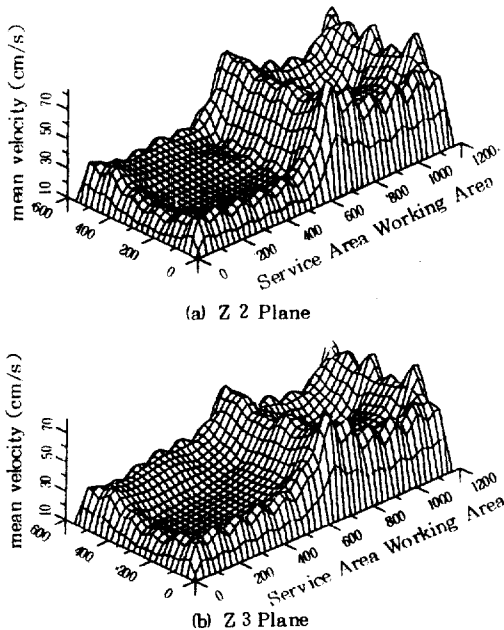


Fig.7 Measurement of Air Velocity Distribution on Horizontal Plane(TYPE 3, CASE 5)

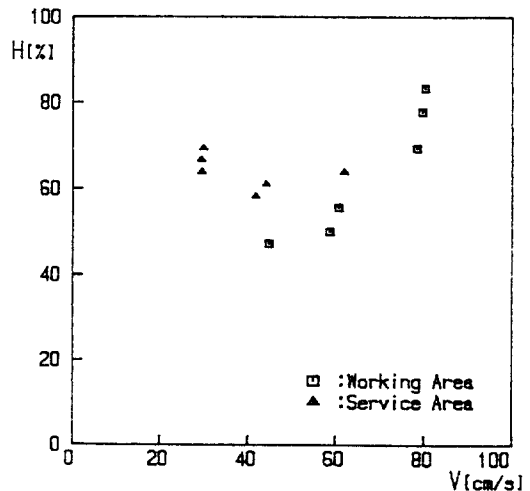


Fig.8 Relationship between Mean Velocity and Airflow Uniformity on Z1 Plane

비하여 상대적으로 떨어지는 것을 제외하고는 비교적 속도분포가 잘 유지된다. 이와같은 실험결과로부터 작업구역 상부에서 균일한 속도 분포를 얻을 수만 있다면 클린 터널형 클린룸은 경제적으로 기류제어를 할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

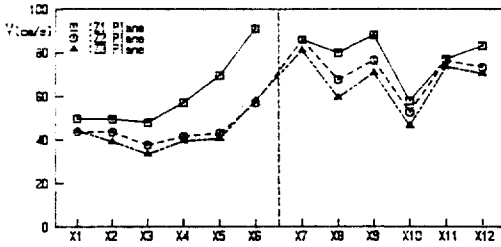
3.1.3 순간속도의 특성

본 실험에서 속도는 10 Hz 이하의 낮은 주파수 성분을 갖는데, 순간속도의 특성을 알아보기 위하여 실험자료로부터 속도의 교란(표준편차) 정도를 살펴보면, 모든 경우에 있어서 통로구역과 작업구역 모두 중심부, 벽면근처, 격막근처 순으로 교란이 증가함을 알 수 있었다. 그리고 통로구역에 비하여 작업구역의 속도교란이 월등히 심함을 알 수 있었다. 이것은 운전속도가 높은 작업구역이 운전속도

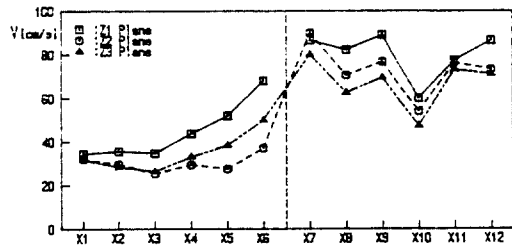
Table 3 Relationship between Mean Velocity and Airflow Uniformity on Z1 Plane

CASE	Service Area		Working Area	
	Mean Velocity [cm/s]	Airflow Uniformity [%]	Mean Velocity [cm/s]	Airflow Uniformity [%]
1	61.8	63.9	80.1	83.3
2	44.1	61.1	79.5	77.8
3	29.8	69.4	78.3	69.4
4	41.7	58.3	58.6	50.0
5	29.3	66.7	60.6	55.6
6	29.4	63.9	44.8	47.2

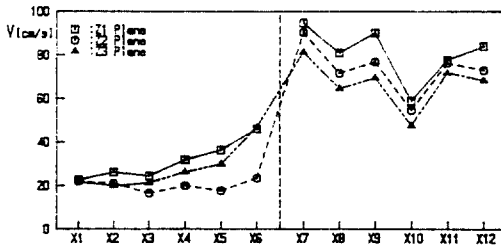
가 낮은 통로구역에 비하여 평균속도 분포뿐만 아니라 순간속도의 특성도 상당히 나쁘다는 것을 의미한다. 왜냐하면, 속도의 교란이



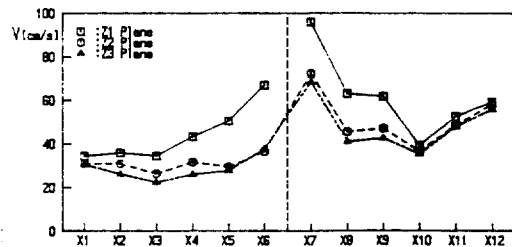
(a) CASE 1



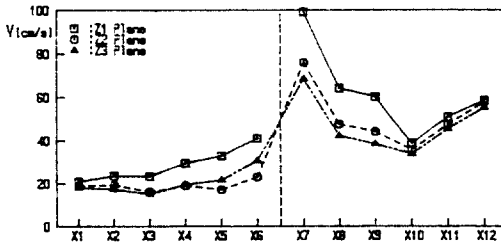
(b) CASE 2



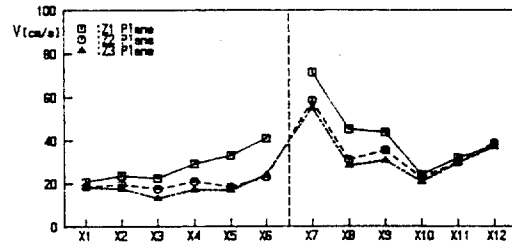
(c) CASE 3



(d) CASE 4



(e) CASE 5



(f) CASE 6

Fig.9 Measurement of Air Velocity Distribution on Vertical Plane(TYPE3, Y3 LINE)

심한 기류일수록 클린룸내에서 발진된 오염입자를 더 잘 확산시키기 때문이다.

3.2 평균풍속과 풍속균일도의 관계

클린룸의 성능시험에 관한 미국의 IES-RP-CC-006-84-T "Testing Clean Rooms"의 규정에 의하면, 클린룸에서 풍속 균일도는 평균풍속의 $\pm 20\%$ 인 풍속을 균일 풍속범위로 정하여 균일 풍속범위에 속한 면적이 기류의 입구평면에서 차지하는 백분율로 나타낸다. 이때 측정평면은 기류의 공급원(HEPA 필터)으로부터 30 cm 이하인 곳에 위치하여야 한다.

Z1 평면상에서 평균풍속과 풍속균일도의 관계를 Table 3과 Fig. 8에 나타냈다. Fig. 8을 보면, 평균풍속이 감소함에 따라 풍속균일도는 감소하다가 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 이것은 수직 층류형 클린룸에 관한 실험 결과에서 평균풍속이 높은 경우가 풍속균일도도 높다는 것과 어느정도 일치하나,⁶⁾ Fig. 8에서 상대적으로 낮은 평균풍속에서 다시 풍속균일도가 증가하는 것은 새로운 결과이다. 또, 전반적으로 풍속균일도는 작업구역보다 통로구역이 높다. 이것은 전항에서도 언급했듯이 사용된 HEPA 필터의 특성에 주로 기인되는 것으로 생각된다.

3.3 운전속도의 변화에 따른 수직면상의 속도분포 특성

클린룸에서 작업자나 생산기기로부터 발진된 오염입자는 기본적으로 기류제어를 통하여 제거된다. 이러한 기류제어를 효과적으로 수행하기 위해서는 클린룸에서 수평면상의 속도분포 뿐만 아니라 수직면상의 속도분포 특성을 파악하는 것이 중요하다. 산업체에서 사용하는 대형 클린 터널형 클린룸의 경우에는 클린룸의 대부분이 2 차원 유동특성을 나타내고, 벽면효과는 부분적으로 나타나는데 비해 본 실험에서는 벽면효과가 실제보다 클 것이므로, 이것을 배제하기 위해서 중심부인 Y3, Y4 선상에서만 속도의 수직분포를 측정하였다. 그리고 속도측정의 수직위치는 Z1, Z2, Z3 평면이다.

Table 2에 쓰여진 6 가지 운전속도에 대하여 Z1, Z2, Z3 평면중에서 Y3 선상의 격자점에서 측정된 실험결과를 Fig. 9에 나타냈다. Fig. 9를 보면, 대체로 수직높이가 달라져도 수평적으로는 비슷한 속도분포가 유지되고, 통로구역과 작업구역의 운전속도차가 클수록 작업구역에서 통로구역으로 유량이 이동하기 시작하는 위치가 하부에서 점점 격막 근처로 높아지는 것을 알 수 있다.

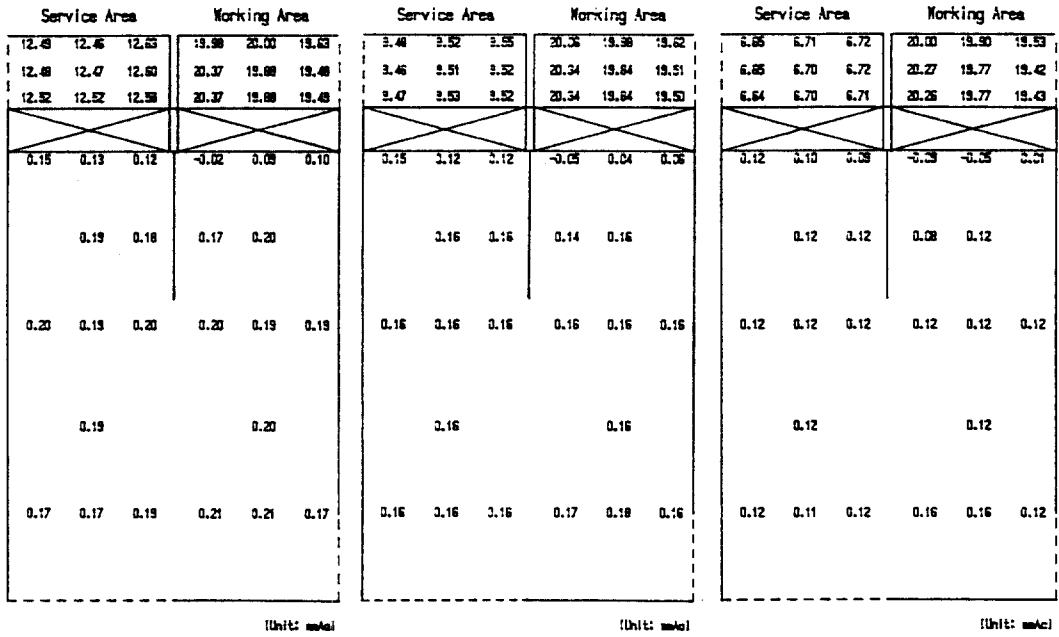
4. 클린룸 및 플레넘의 압력분포 특성

4.1 운전속도의 변화에 따른 압력분포 특성

본 연구에서는 유동특성을 나타내는 물리적 양인 압력을 측정하여 플레넘의 유동 상태와 클린룸의 유동 상태간의 상관성을 정량적으로 밝혀보고자 하였으며, 또한 클린룸 외부로부터의 오염입자 침투를 방지하기 위해서 클린룸내의 압력을 외부보다 높은 압력(양압)으로 유지해야 한다는 관점에서도 해석을 시도하였다.

본 실험에서 대상으로 하는 플레넘의 유동은 방향성이 분명하지 않은 복잡한 유동이며 플레넘의 구조가 폐쇄된 공간이므로, 플레넘 및 클린룸의 벽면에 압력공을 뚫어 정압을 측정하였다. 측정된 압력은 기준압력을 실험실내의 압력으로 하여 측정위치와의 차압을 mm Aq 로 나타냈다.

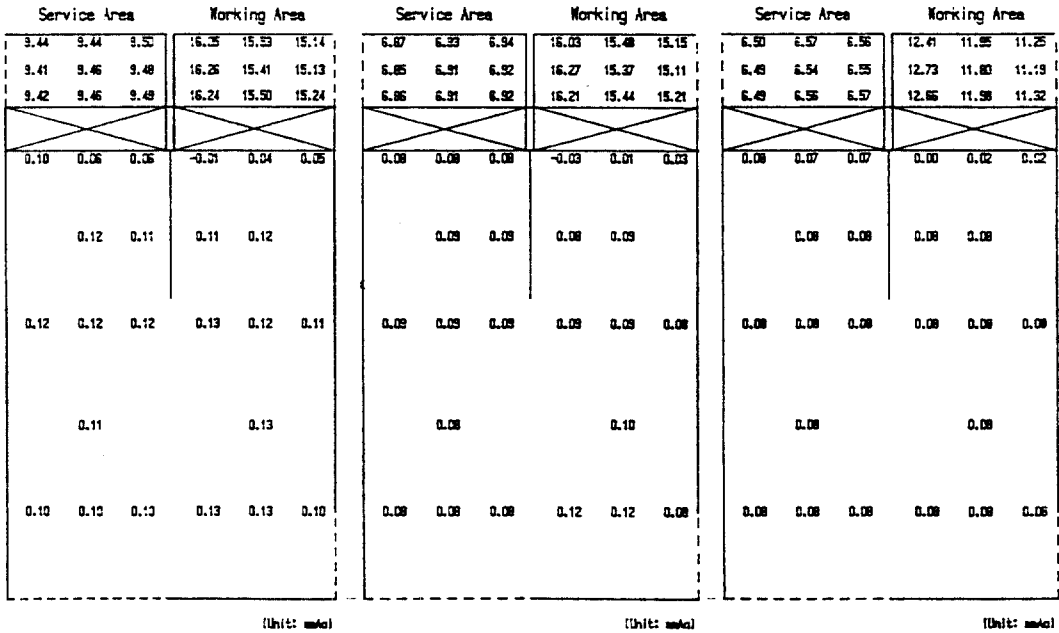
기류의 배기형태가 TYPE 3인 클린 터널형 클린룸에 대하여 6 가지의 운전속도의 변화에 따른 압력차의 측정결과를 Fig. 10과 Table 4에 나타냈다. Fig. 10을 보면, 플레넘에서는 운전속도에 관계없이 압력분포가 수직적으로는 큰 차이가 없으나 수평적으로는 $A < B < C, D > E > F$ 인 경향을 나타낸다(Fig. 5 참조). 이것은 통로구역과 작업구역의 기류를 독립적으로 제어하기 위하여 플레넘을 2 개로 분리하였기 때문에 팬으로부터 공급되는 기류의 속도가 플레넘의 맞은편 벽면에서 줄어들어 나타난 결과이다. 클린 터널형 클린룸은 플레넘과 클린



(a) CASE 1

(b) CASE 2

(c) CASE 3



(d) CASE 4

(e) CASE 5

(f) CASE 6

Fig.10 Pressure Distribution with the Change of Operating Speed (TYPE 3)

룸의 압력차에 의하여 유량을 공급하므로 D1 과 같이 벽면구석 위치의 압력이 낮은것은 이 부분에서 재순환 유동이 생겨 에너지 손실을

가져오게 되므로, 설계상 이런 부분을 제거하는 것이 매우 중요하다.

그리고 Table 4에 쓰여진 플레넘에서의 최

Table 4 Pressure Distribution Characteristics with the Change of Operating Speed (TYPE3)

CASE	Service Area		Working Area	
	Mean Pressure in Plenum [mmAq]	Maximum Pressure Difference in Plenum[mmAq]	Mean Pressure in Plenum [mmAq]	Maximum Pressure Difference in Plenum [mmAq]
1	12.53	0.17	19.90	0.89
2	9.51	0.09	19.89	0.84
3	6.69	0.08	19.82	0.85
4	9.46	0.09	15.61	1.13
5	6.90	0.09	15.59	1.16
6	6.54	0.08	11.92	1.54

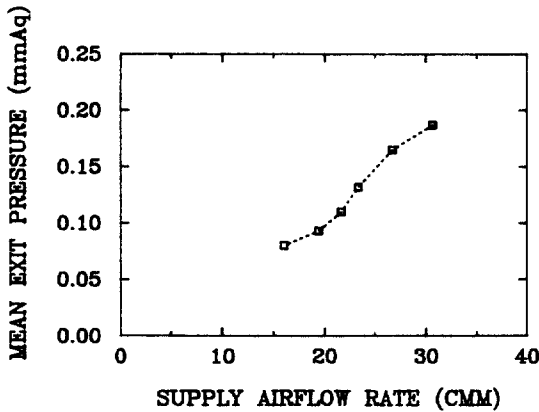


Fig.11 Relationship between Supply Airflow Rate and Mean Exit Pressure(TYPE3)

대압력과 최소압력의 차이를 운전속도의 변화에 따라 비교하면, 통로구역에서는 운전속도가 감소함에 따라 그 차이가 줄어들어 가는 반면에, 작업구역에서는 운전속도가 감소함에 따라 그 차이는 더 커지는 경향을 보이며, 절대적인 값을 비교해도 통로구역에서의 차이가 작업구역에서의 차이보다 훨씬 작다. 이것은 플레넘의 압력분포도 작업구역보다 통로구역이 훨씬 더 균일하여 통로구역이 더 좋은 특성을 갖는다는 것을 의미한다.

다음으로 Fig. 10에서 클린룸의 압력분포를 살펴보면, 대체로 HEPA 필터 바로 밑의 압력은 다른 곳보다 상당히 낮은 값을 나타낸다. 특히 작업구역에서는 이 곳의 압력이 실험실 내의 압력과 거의 같거나 오히려 더 낮은 경

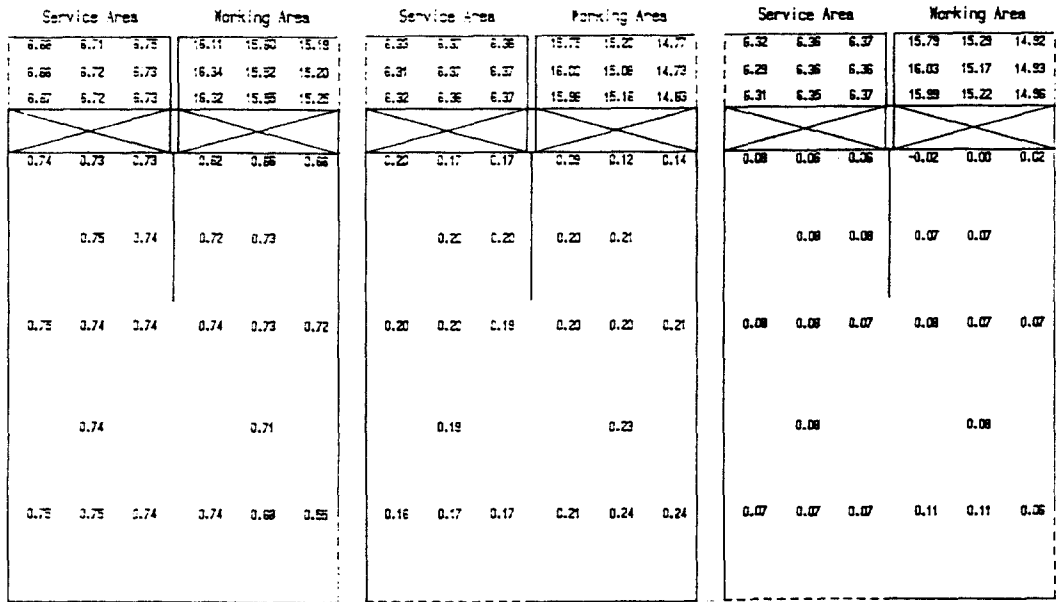
우도 생긴다. 이처럼 클린룸의 압력이 외부의 압력과 거의 유사하거나 작게 되면 외부로부터 오염입자가 클린룸으로 침투할 가능성이 있으므로 HEPA 필터와 클린룸의 연결부분에 대한 기밀(sealing)이 매우 중요하게 된다. 그리고 HEPA 필터 바로 밑이나 형상이 특별한 부분(배기 기류가 자연스럽게 나가는 것을 방해하는 폐쇄된 바닥면)을 제외하고는 클린룸내의 압력이 거의 비슷하게 분포하므로, 이러한 곳을 제외한 위치에서 압력을 측정함으로써 개략적인 클린룸의 압력을 알 수 있다.

또한, 순간압력 자료로부터 통로구역의 플레넘에 비하여 작업구역의 플레넘에서의 압력교란(표준편차)이 월등히 큼을 알 수 있었다.

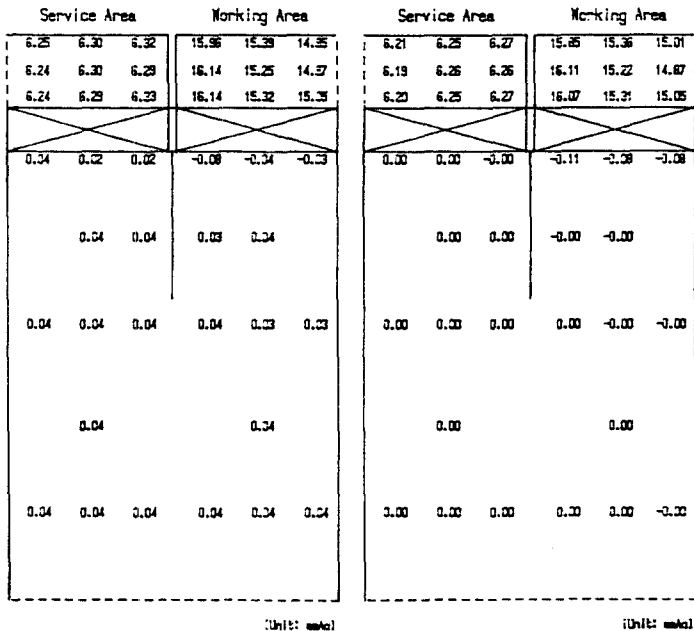
한편, 배기구의 면적이 일정한 TYPE 3에서 클린룸으로 공급되는 전체 공급풍량과 배기구 근처(A8, B8, C8, D8, E8, F8)의 압력평균간의 관계를 Fig. 11에 나타냈다. 이것을 보면, 전체 공급풍량이 증가함에 따라 배기구 근처의 압력평균이 거의 선형적으로 증가한다. 이 결과는 클린룸 설계에서 실내 양압 유지에 필요한 전체 공급풍량의 결정에 활용될 수 있다.

4.2 배기형태의 변화에 따른 압력분포 특성

클린 터널형 클린룸의 기류 및 오염입자를 효과적으로 제어하면서 적절한 실내 양압을 유지하기 위해서는 운전속도의 변화에 따른 기



(a) TYPE 1 (Unit: mmHg) (b) TYPE 2 (Unit: mmHg) (c) TYPE 3 (Unit: mmHg)



(d) TYPE 4 (Unit: mmHg) (e) TYPE 5 (Unit: mmHg)

Fig.12 Pressure Distribution with the Change of Exit Type(CASE5)

류 특성 뿐만아니라 배기형태에 따른 기류특성을 비교하는 것도 중요하다. 본 연구에서는 Fig.3 과 같이 기류의 배기형태를 5 가지로

분류하여 이들의 변화에 따른 플레넘 및 클린룸의 압력분포를 살펴보고자 하였다. 이때 클린룸의 운전속도로는 CASE 5를 택하여 실험

하였다.

클린룸에서 기류의 배기형태에 따른 압력분포의 측정결과를 Fig. 12에 나타냈다. 이것을 보면, 기류의 배기형태와는 거의 무관하게 플레넘의 압력분포 특성이 유지된다는 것을 알 수 있다. 그러나 클린룸에서의 압력의 크기는 기류의 배기형태에 따라 차이가 많다. Fig. 12를 보면, 클린룸의 기류가 작업구역의 측면으로만 배기되는 TYPE1이 다른 형태에 비하여 클린룸의 압력이 월등히 높고, HEPA 필터 바로 밑의 압력도 다른곳과 별로 차이가 나지 않으므로, 실내양압을 유지하는데 가장 좋은 기류의 배기형태임을 알 수 있다. 그 다음으로는 통로구역의 바닥면으로만 배기되는 TYPE 2가 비교적 높은 클린룸내의 압력을 나타내고, HEPA 필터 바로 밑의 압력도 다른곳과 큰 차이가 나지 않으므로 비교적 양호한 배기 형태라고 할 수 있다. 그리고 TYPE 3, 4, 5는 배기통로가 넓기 때문에 클린룸내의 압력을 양압으로 유지하는데 어려움이 있다.

한편, 클린룸으로 공급되는 전체 공급풍량이 일정할 때, 배기구의 면적과 배기구 근처(A8, B8, C8, D8, E8, F8)의 압력평균간의 관계를 Fig. 13에 나타냈다. 이것을 보면, 배기구의 면적이 증가함에 따라 배기구 근처의 압력평균이 감소하는데, 특히 처음에 급격히 감소하는 것은 바닥면 배기가 압력저하에 큰 영

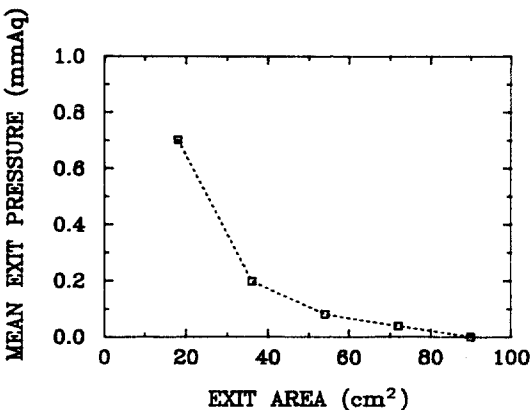


Fig. 13 Relationship between Exit Area and Mean Exit Pressure(CASE 5)

향을 끼치기 때문이다.

이와같은 실험결과로부터 실내 양압 유지와 HEPA 필터 바로 밑의 낮은 압력을 방지하기 위해서는 배기기류의 통로를 작게하고, 바닥면보다는 측면으로 기류를 배기시키는 것이 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

5. 클린룸의 속도분포 특성과 플레넘의 압력분포 특성간의 상관성

본 연구에서는 비교적 측정하기 쉬운 물리적 양인 압력을 플레넘에서 측정함으로써, 플레넘의 유동상태가 클린룸의 기류분포에 끼치는 영향을 정량적으로 밝혀 그 결과를 플레넘의 설계에 응용하고자 하였으며, 실험결과를 비교하여 밝혀진 두 유동간의 상관성은 다음과 같다.

첫째, 클린룸의 성능을 대표적으로 나타내는 풍속균일도가, 비슷한 평균풍속에서 작업구역보다 통로구역에서 높게 나타나는데, 이것은 통로구역보다 작업구역에서 플레넘의 최대압력과 최소압력의 차이가 5~20배 정도 큰 것과 관련되는 것으로 생각된다. 즉, 플레넘의 압력분포가 불균일할수록 HEPA 필터 상부 전면에 작용하는 압력분포도 균일하지 않을 것으로 예상되므로 필터 하부인 클린룸의 풍속 균일도는 낮아진다. 이처럼 플레넘에서의 불균일한 압력분포가 클린룸에서의 풍속 균일도에 직접적으로 영향을 미치므로, 풍속 균일도를 증가시키기 위해서는 플레넘의 압력분포를 균일하게 하는 작업이 요구된다.

둘째, 운전속도의 변화에 따른 Z1평면상에서의 속도분포를 살펴보면, 통로구역은 운전속도에 무관하게 속도분포가 유지되지만, 작업구역은 운전속도에 따라 크게 변한다. 이것은 플레넘에서의 최대압력과 최소압력의 차이가 통로구역에서는 CASE1이 0.17mmAq, CASE 2, 3, 4, 5, 6에서는 0.08~0.09mmAq로 운전속도에 따라 큰 차이가 없으나, 작업구역에서는 CASE 1, 2, 3이 0.84~0.89mmAq, CASE 4, 5가 1.13~1.16mmAq, CASE 6이 1.54mmAq로 운전속도에 따라 상대적으로

크게 차이가 나는 것과 관련된다. 즉, 플레넘에서의 압력분포의 불균일한 정도에 따라 클린룸의 속도분포가 변한다.

세째, 순간속도의 교란도 통로구역이 작업구역에 비하여 작는데, 이것은 플레넘에서 통로구역의 순간압력의 교란이 작업구역에 비하여 작은 것과 관련된다.

지금까지 비교한 것을 종합하면, 플레넘에서의 최대압력과 최소압력의 차이와 순간압력의 교란 정도가 HEPA 필터를 통과한 후인 클린룸의 풍속균일도, 속도분포특성, 순간속도의 교란에 직접적으로 영향을 끼친다. 따라서 효율적으로 클린룸의 기류제어를 하기 위해서는 플레넘에서 균일한 압력분포를 얻을 수 있도록 플레넘의 설계방식에 대한 실험적 연구가 필요하다.

6. 결 론

본 연구에서는 동력비의 절감면에서 유리한 클린 터널형 클린룸의 설계능력을 확립하기 위해서 여러가지 설계 변수중에서 가장 중요한 팬의 공급 풍량과 클린룸의 배기형태를 변화시켜 이에 따른 플레넘 및 클린룸의 유동특성을 파악하는 실험을 수행하여 다음과 같은 사실을 알아냈다.

첫째, 클린룸의 수평면상에서 운전속도의 변화에 따른 속도분포 및 순간속도의 특성을 파악하였으며, 이것으로부터 수치 시뮬레이션에서 클린룸으로 유입되는 기류의 입구조건으로 보통 사용하는 균일한 기류분포가 실제로 클린룸으로 유입되는 기류분포와는 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 이러한 실험결과는 수치 시뮬레이션에서 실제 상황에 맞도록 입구조건을 개선하는데 활용될 수 있다.

둘째, 평균풍속의 변화에 따른 클린룸의 풍속균일도 측정결과로부터 풍속균일도가 최소가 되는 평균풍속이 존재한다는 것을 알 수 있었다. 이것은 클린 터널형 클린룸의 최적설계에 있어서 클린룸의 성능향상과 동력비 절감면에서 반드시 고려되어야 하는 중요한 실험결과이다.

세째, 작업구역에서 수평면상의 속도분포는 비교적 수직적으로 잘 유지되므로, 작업구역상부에서 균일한 속도분포를 얻을 수만 있다면 클린 터널형 클린룸은 경제적으로 기류제어를 할 수 있다는 것을 알았다.

네째, 배기형태의 변화에 따른 압력분포 측정결과로부터 클린룸의 양압 유지와 HEPA 필터 바로 밑에서 상대적으로 낮은 압력을 방지하기 위해서는 배기기류의 통로를 작게 하고, 바닥면보다는 측면으로 기류를 배기시키는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

다섯째, 클린룸의 속도분포 특성과 플레넘의 압력분포 특성을 비교함으로써, 플레넘에서의 최대압력과 최소압력의 차이와 순간압력의 교란 정도가 HEPA 필터를 통과한 후인 클린룸의 풍속균일도, 속도분포특성, 순간속도의 교란에 직접적으로 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업으로 이루어졌으며, 관계자 여러분께 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. Syuzo Marakami, Shinsuke Kato, Yoshimi Suyama, "Study on Air Velocity Distribution in Conventional Flow Type Clean Room (Part 2)", *5th Proceedings of JACA*, pp.21-32, 1986.
2. Yukihiko Tanaka, Shuzo Murakami, Shik-suke Kato, "Study on Distribution of Airborne Particles in Clean Room (Part 1)", *6th Proceedings of JACA*, pp.143-150, 1987.
3. Ilango Shanmugavelu, Thomas H. Kuehn and Benjamin Y.H. Liu, "Numerical Simulation of Flow Fields in Clean Rooms", *33rd Proceedings of IES*, pp. 298-303, 1987.

4. 이재현, 이진원, 이상렬, “작업대가 있는 청정실 내의 유동특성에 관한 연구”, 대한기계학회 논문집, 제 10 권, 제 6 호, pp. 852~860. 1986.
5. 이춘식 등, 클린룸 및 공장환기에 관한 연구, 과학기술처 N102-2370-2, 1985.
6. 이춘식 등, 입자제어용 유동분배 시스템에 관한 연구, 과학기술처 N231-2760-2, 1987.
7. M.D. Oh, H.C. Yang and C.S. Lee, “Numerical Simulation of Air Flow and Contaminant Diffusion in Clean Tunnel Type Clean Room”, *AAAR 1988 Annual Meeting and International Symposium on Particulate Contamination Control in Microelectronics*, p.68, Chapel Hill, North Carolina, October 10-14, 1988.
8. Kenji Hamano, Ro Toshitami, Kenichi Unno, “Experimental Studies of Indoor Environment in Clean Tunnel System”, *5th Proceedings of JACA*, pp.85-88, 1986.
9. Yasuyuki Uchiumi et al., “Experimental Studies on Clean Tunnel System (Part 1)”, *5th Proceedings of JACA*, pp.89-92, 1986.
10. Mikio Takanaka et al., “Experimental Studies on Clean Tunnel System (Part 2)”, *5th Proceedings of JACA*, pp.93-96, 1986.
11. 이춘식, 오명도 등, 입자제어용 유동분배 시스템에 관한 연구(II), 과학기술처 2N 391-3230-2, 1988.
12. Robert P. Benedict, *Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements, 2nd ed.*, John Wiley & Sons, Inc., 1977.