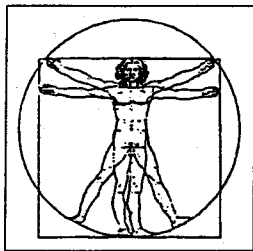


## CLEAN ROOM의 기류 속도와 청정화능력



### 서 언

근래 몇년간 CLEAN ROOM의 技術은 質적인 면이나 量적인 면에서나 획기적인 발전을 거듭하여 이제는 상당히 보편화 된 것으로 보여진다.

반도체 분야의 CLEAN ROOM에 있어서 미국의 Liu박사의 SEMICON. WAFER 상의 DEPOSITION VELOCITY를 비롯하여 특히 일본에서는 WAFER 상의 기류속도 변화에 따른 PARTICLE 침착에 대한 실험적 연구논문의 발표가 매우 활발하다.

여기서 소개하고자 하는 것은 수직층류 SYSTEM하에서 CLEAN度를 유지하기 위한 적정한 풍속에 대한 日本 某會社의 실험적 연구를 소개하여 이를 통해 공간에서의 기류속도와 청정화에 대한 이해를 돕는 계기를 마련코자 한다.

### 1. 개 요

크린도 (CLEAN度) 는 부유미립자의 농도에 의해 분류된다.

이 분류에 의하면 공기토출속도가  $0.1m/sec$ , CLASS 100 인 크린룸과  $0.5m/sec$ , CLASS 100 인 크린룸은 동일하게 CLASS 100 인 CLEAN ROOM으로 분류되나 이러한 크린룸은 CLEAN度에는 차이가 없으나 淸淨能力에는 차이가 있다. 따라서 CLEAN ROOM의 능력 (ABILITY) 은 부유미립자의 농도와 공기속도에 관련된 수치

로 언급되어져야 한다고 판단된다.

여기서 부유미립자의 농도의 변화, 약간의 서로 다른 ROOM의 압력에 의한 청정도의 비교, 청정능력, 앞에서 언급한 내용에 의한 회복시간과 공기평형에 대한 실험결과에 대한 결론으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

풍속 0.2 ~ 0.4 m/sec에서 가장 깨끗한 수준의 청정도를 유지하며 ROOM의 높은 압력에 의해 청정도가 유지되며 0.4m/sec 이상의 풍속에서는 더이상 청정시간에 변화가 없고, 0.1 m/sec 이하인 경우는 실내 물체에 의해 영향을 받고, 0.2 m/sec 이상에서는 공기흐름이 평형을 이룸을 알수 있다.

본실험은 층류 및 난류에 의한 크린룸의 청정능력의 관계를 구하기 위한 초기 실험이다.

## 2. 실험장치

### 1) 측정장소

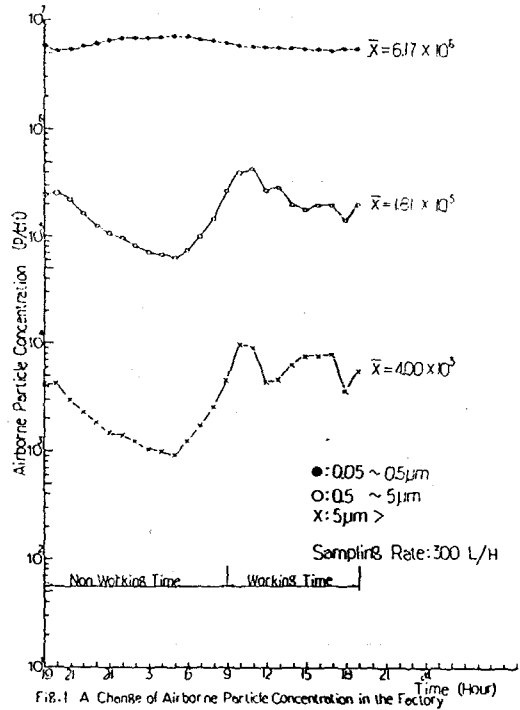
측정은 Fig.1의 분진농도를 가진 공장내에서 시행하였다. 공장내의 미소입자의 농도는  $0.05 \mu m \sim 0.5 \mu m$ 의 분포에 있어서 비작업시간대, 작업시간대와 전시간대에 대하여는 거의 일정하고  $0.5 \mu m$  이상의 입자에 있어서는 야간에 감소하는 경향이 있다.

### 2) CLEAN ROOM의 개요

Fig. 2에 실험에 사용된 CLEAN-BOOTH의 개요를 표시했다.

크기는  $2m \times 2.4m \times 2m$ (실내치수)이다. 사용한 FILTER는 그림의 상부가  $0.3 \mu m$ , 99.99% 이상의 효율인 HEPA FILTER, 하부가  $0.12 \mu m$ , 99.999% 이상의 효율인 ULPA FILTER가 사용되었다.

FAN은 4대의 소형 FAN을 사용하였고, INVERTER 제어에 의해 토출풍속을 0.1



m/sec ~ 0.6 m/sec로 STAGE별 조절을 하였다. 토출구에는 풍속분포를 좋게하고 또한 정전기의 영향을 최소로 하기위해 STAINLESS MESH (250 MESH)를 사용하여 층류를 유도하였으며 주변 벽면에는 대전방지 비닐 커튼을 설치하였다.

TABEL 1. 은 각점에 있어서 풍속을 표시하였다.

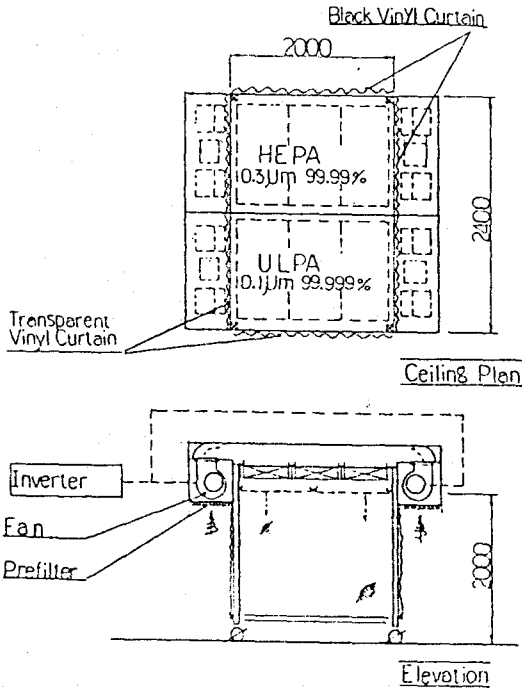


Fig.2 Diagram of Clean Booth

Table 1 Distribution of Air Velocity

	13	14	15	16
	ULPA			
	9	10	11	12
	HEPA			
	5	6	7	8
	1	2	3	4

Measur. Point

Air Velocity	0.1m/s	0.2m/s	0.3m/s	0.4m/s	0.5m/s	0.6m/s
Room Pressure	0.2mmHg	0.16	0.28	0.39	0.52	0.60
Inverter Frequency	25Hz	33	38	44	50	58
H	1	0.10	0.21	0.30	0.40	0.50
E	2	0.10	0.20	0.31	0.40	0.49
P	3	0.11	0.22	0.30	0.42	0.51
A	4	0.11	0.20	0.32	0.40	0.50
	5	0.10	0.21	0.31	0.40	0.52
	6	0.10	0.19	0.30	0.39	0.48
	7	0.09	0.19	0.31	0.36	0.46
	8	0.10	0.18	0.29	0.37	0.49
U	9	0.10	0.20	0.30	0.40	0.48
L	10	0.09	0.19	0.30	0.40	0.50
P	11	0.10	0.20	0.30	0.40	0.51
A	12	0.10	0.19	0.30	0.39	0.50
	13	0.10	0.20	0.31	0.41	0.51
	14	0.11	0.23	0.32	0.44	0.51
	15	0.10	0.21	0.31	0.40	0.49
	16	0.11	0.22	0.32	0.42	0.51
Average	0.10	0.20	0.31	0.40	0.50	0.51

3) 분진발생장치

CLEAN-BOOTH 토출구 바로 아래로부터 분진을 발생시켰을 때 오염이 확산되고 물체에 끼친 영향등의 회복시간을 파악을 목적으로 하여 공장내의 공기량을 일정하게 공급하는 장치를 이용하였다.

SWITCH의 ON-OFF에 의한 TIME-LAG를 최소로 하기위해 토출구의 끝단에 전자밸브를 설치하였다.

Fig. 3 참조

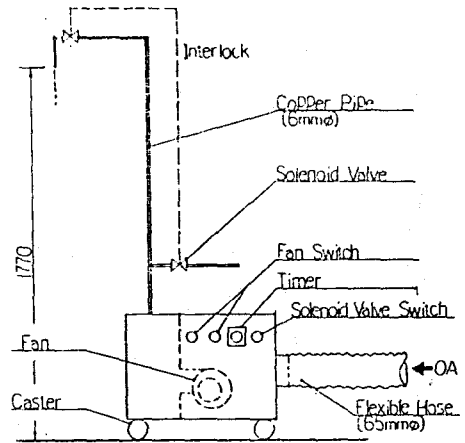


Fig.3 Particle Generator

4) CNC COUNTER

분진 측정기로서 일본과학공업(주) 제품인 ULTRAFINE PARTICLE COUNTER (MODEL 3861)를 사용하였고 측정기로의 기류의 도입은 등속도로 흡입하고 또한, 흡입파이프는 정전기의 영향을 고려하여 동(銅)파이프로하고 그 길이를 최소로 하였다.

정화능력시간, 회복시간을 측정함에 있어서 CNC COUNTER의 소요시간을 토출풍속 별로 측정을 하였다.

결과를 TABLE 2. 에 표시하였다.

Table.2 Time La6 of Particle Counting Time

Air Velocity	1st	2nd	3rd	4th	5th	Mean
0.1(m/s)	4	5	4	3	3	3.8Sec
0.2	3	3	4	3	4	3.4
0.3	4	3	4	3	3	3.4
0.4	3	3	3	3	4	3.2
0.5	3	3	3	3	3	3.0
0.6	2	2	3	3	3	2.6

### 3. 실험방법

본 실험에 있어서 토출풍속을 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 m/sec 의 6 단계로 변화시켜 다음에 서술된 각종 실험을 행하였다.

#### 1) 청정도의 경과시간변화

CLEAN-BOOTH 중앙의 FL. + 1340 mm의 지점에서 24 시간 연속 SAMPLING 을 측정하였다.(유량: 300 l/hr)

HEPA, ULPA의 양 BOOTH에 의해 측정을 행하였다.

#### 2) 실내정압의 차이에 의한 청정도의 차이

토출풍속 0.1 m/sec에 의하여, 주변비닐 커튼의 개구부의 치수를 조정하고 실내정압을 0.3 mm Aq로 하고, 1)에서 행한 0.12 mm Aq와의 청정도를 비교하였다. 실험은 HEPA, ULPA FILTER 2종류의 BOOTH에 대하여 행하였다.

#### 3) 정화능력 (淨化能力)

실내를 주변환경농도에 대하여, COUNT수 /cft 로 감소할때 까지의 시간을 측정하였다.

#### 4) 회복시간 (回復時間)

Fig.4 와 같이 분진발생장치의 토출구 바로아래에 장애물을 설치하고 일정량의 분진을 발생시킨후 TABLE.3 에 표시된 바와같이 장애물 하부의 청정도의 회복시간을 측정하였다.

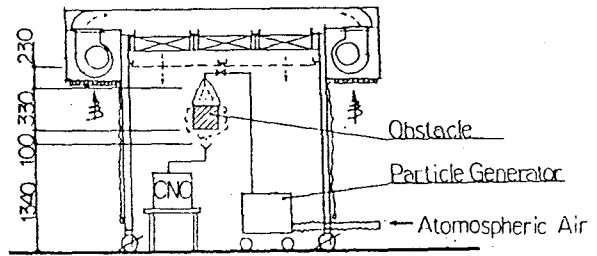


Fig.4 Recovery Time of Various Air Velocity

Table.3 Obstacles

Obstacles	Size
Notin8	—————
Cube	50mm x 50mm x 50mm
"	100mm x 100mm x 100mm
"	200mm x 200mm x 200mm
Flat Plate	100mm x 100mm x 1mm <sup>1</sup>
"	200mm x 200mm x 1mm <sup>1</sup>

#### 5) 오염의 확산

Fig.5 와 같이 분진발생장치로 일정량의 분진을 발생시켜서 FL. + 750 mm 지점까지 오염을 확산시킨 후 농도분포 및 기류의 평행성을 측정하였다.

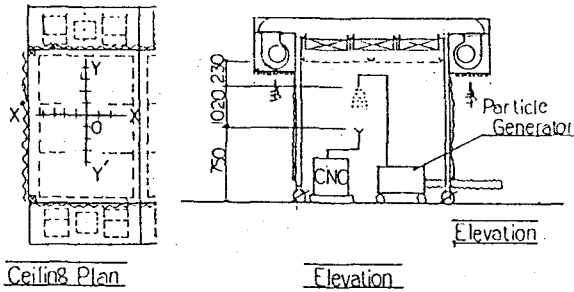


Fig.5 Width of Contamination

4. 실험결과

1) 청정도의 경과시간

Fig. 6 에 HEPA FLTER 사용시, Fig. 7 에 ULPA FLTER 사용시의 청정도의 경과시간 변화를 표시하였다.

Fig. 8 에 Fig. 6, 7 에서 얻어진 토출풍속과 청정도와와의 관계를 표시하였다.

여기서 HEPA, ULPA BOOTH 공히 토출풍속 0.2 m/sec ~ 0.4 m/sec 에서 최고로 높은 청정도가 얻어졌다. FILTER 의 포집원리로 추정하면 0.1 m/sec에서 가장 효율이 높아지겠지만, 장치로서는 반대의 결과를 얻었다. 이 원인으로서는 0.1 m/sec 인 때는 FILTER 의 효율보다도 실내정압이 낮음으로 인한 영향을 미쳤기 때문이라고 추정된다.( 0.1 m/sec 시에는 실내정압이 0.12 mmAq 로 낮게 유지되어 외부의 영향을 받았기 때문이라고 추정된다.)

한편으로 풍속이 가장 빠른 0.6 m/sec 일 때 청정도가 나빠지는 원인에 대해서는 다음의 2 가지 이유로 생각된다.

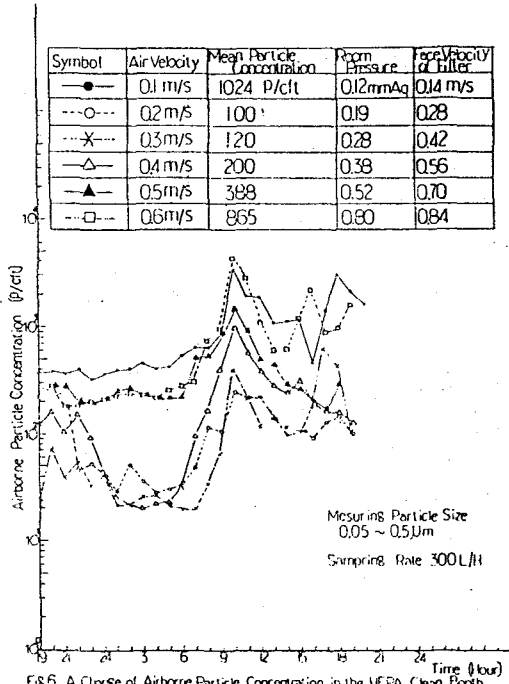


Fig.6 A Graph of Airborne Particle Concentration in the HEPA Clean Booth

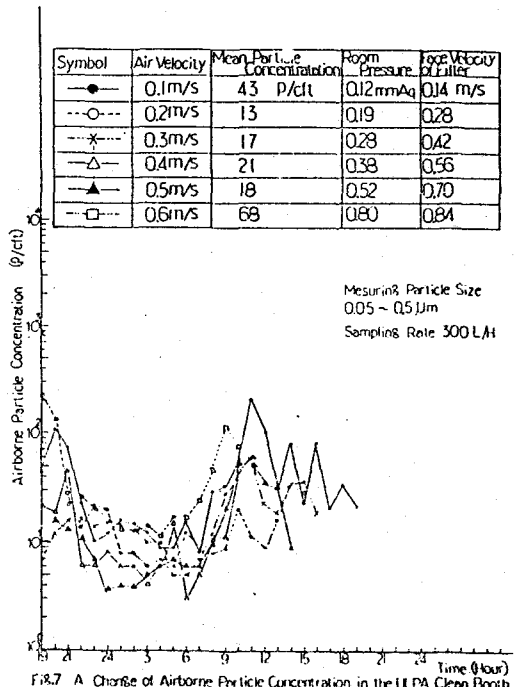


Fig.7 A Graph of Airborne Particle Concentration in the ULPA Clean Booth

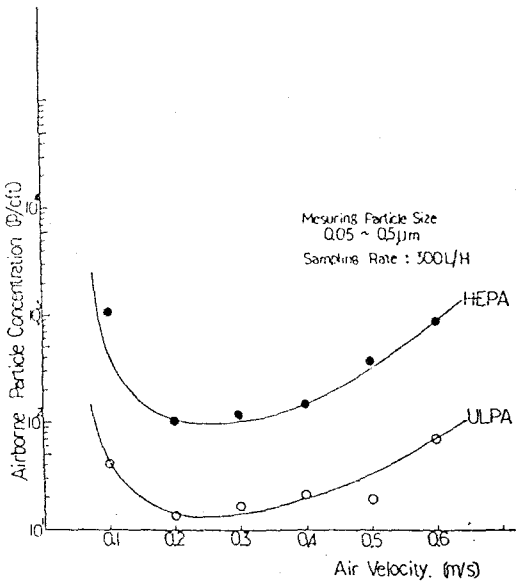


Fig.8 Relationship Between Cleanliness And Air Velocity

i) 풍속이 0.6 m/sec 일때 FILTER의 면속이 0.84 m/sec로 FILTER의 포집효율이 저하되기 때문에 전체적인 효율이 저하되고

ii) 측정점 근처의 풍속분포를 측정하면 평균 0.48 m/sec로, 최소 0.4 m/sec 최대 0.55 m/sec로 난류가 발생하고, 이 난류에 의한 입자의 휘감아 올라가는 현상에 의한 것이라고 추정된다.

이는 바닥이 막혀있는 장소이기 때문에 상기 현상이 발생하였다고 보여진다.

2) 실내정압에 따른 청정도의 차이

1) 항에 있어서 토출풍속 0.1 m/sec 일때 청정도가 낮아진 이유에 대하여 실내정압의 영향이라 생각되기 때문에 실내정압을 0.3 mmAq로 하고 풍속을 0.1 m/sec로 할때의 청정도를 측정하였다. 그 결과는 Fig.

9, 10에 나타내었다.

HEPA, ULPA FILTER의 BOOTH도 실내정압을 상승시키면, 평균 분진농도는 약 1/3로 감소하고, 동일풍속에서도 실내정압의 차이로 인해 바닥면의 영향을 받음으로 인해 분진농도가 차이가 난다고 생각된다.

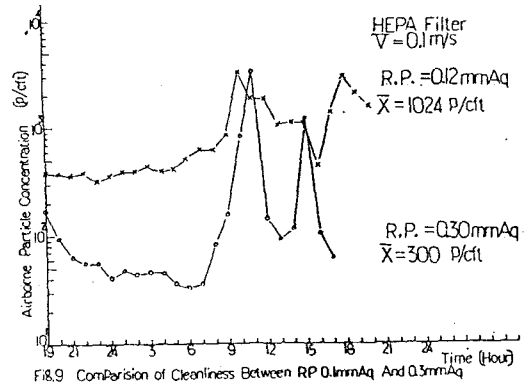


Fig.9 Comparison of Cleanliness Between RP 0.1mmAq And 0.3mmAq

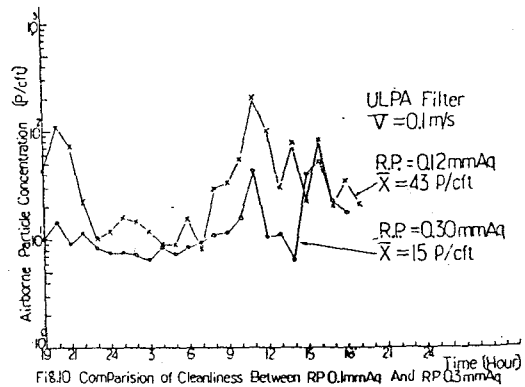
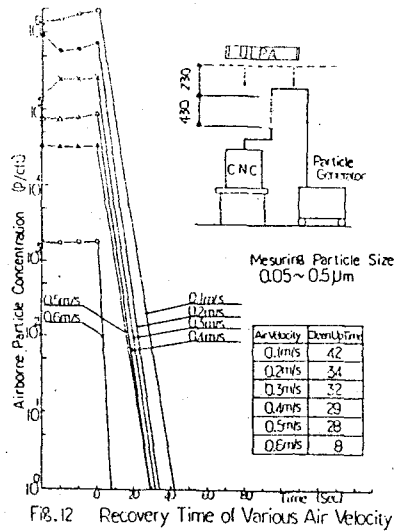
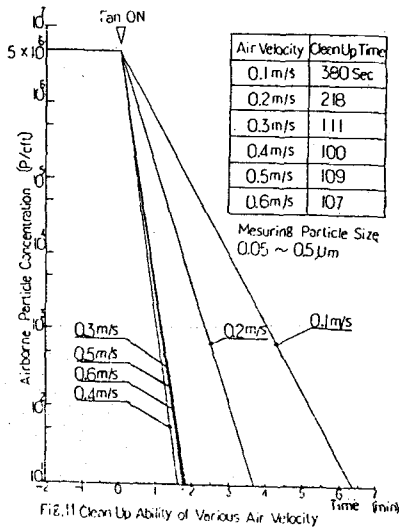


Fig.10 Comparison of Cleanliness Between RP 0.1mmAq And RP 0.3mmAq

3) 정화능력 (淨化能力)

Fig.11에 나타난 바와같이 토출풍속이 0.1 ~ 0.4 m/sec의 범위에서는 풍속이 빠르면 정화시간이 짧아진다. 그러나 0.4 m/sec 이상의 풍속에서는 정화능력에 차이가 확인되지 않았다.



4) 회복시간 (回復時間)

Fig. 12 에 장애물에서의 회복시간곡선을 TABLE. 4 에 장애물별 회복시간을 표시했다.

장애물의 형상, 크기에 영향을 받고 토출풍속이 빠르면 회복시간이 짧아진다. 같은 모양의 장애물들을 비교하면, 토출풍속이 0.1 m/sec 일때 치수가 큰 장애물의 회복시간이 길어진다. 0.2 m/sec 이상일때는 장애물의 크기와 회복시간의 관계가 거의 없는 경향을 띠고 있음을 알수있다.

Table.4 Recovery Time of Various Obstacles

Obstacles Size	Cube			Flat Plate		
	Nothing	50mm	100 200	100	200	200
0.1 m/s	42	75	90 109	70	81	81
0.2	34	52	57 55	52	60	60
0.3	32	46	43 46	49	44	44
0.4	29	40	41 39	37	38	38
0.5	28	20	25 31	24	26	26
0.6	8	12	29 12	8	15	15

Particle Counts from Particle Generator.  
 0.05 ~ 0.5 μm 1 x 10<sup>6</sup> (p/mi) x 7min  
 0.5 ~ 5 μm 39 x 10<sup>6</sup> \*  
 5 > 4 x 10<sup>6</sup> \*

5) 오염확산 (汚染擴散)

Fig. 13 ~ 18 에 풍속에 따른 오염원의 확산 (분진갯수의 분포) 을 표시하였다.

토출풍속이 빠르면, FL + 750 mm 지점의 오염의 농도확산이 적어서 농도가 낮아진다. 반면, 토출풍속이 느려지면 O - Y 축 방향으로 (O - Y 축은 FAN의 RETURN 측에 해당) 오염이 늘어진다.

TABLE. 5 및 Fig. 19 에 오염의 확산 각도를 표시하였다.

기류의 평행성의 관점 (편측 14° 이내) 에서 보면, 0.1 m/sec 에서는 3 방향, 0.3 m/sec 에서는 1 방향이 초과 (14° 초과) 되었 고 평균값으로 볼때, 0.2 m/sec 이상에 있어서는 평행성이 유지된다.

5. 결론 (結論)

상기 실험의 결과를 토대로 하여 다음과 같은 5 가지 결론을 얻을 수 있다.

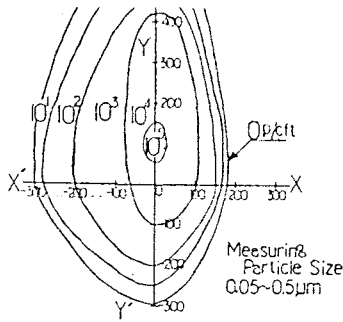


Fig. 13 Contour Line of Cleanliness (V=0.1m/s)

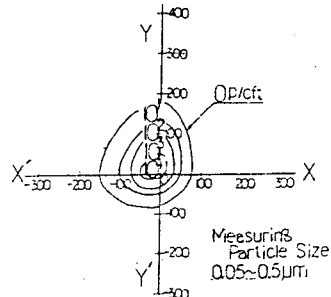


Fig. 17 Contour Line of Cleanliness (V=0.5m/s)

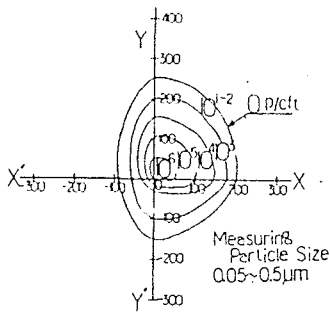


Fig. 14 Contour Line of Cleanliness (V=0.2m/s)

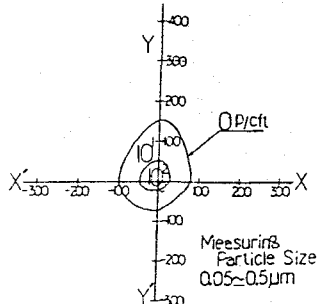


Fig. 18 Contour Line of Cleanliness (V=0.6m/s)

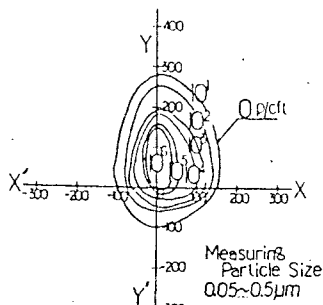


Fig. 15 Contour Line of Cleanliness (V=0.3m/s)

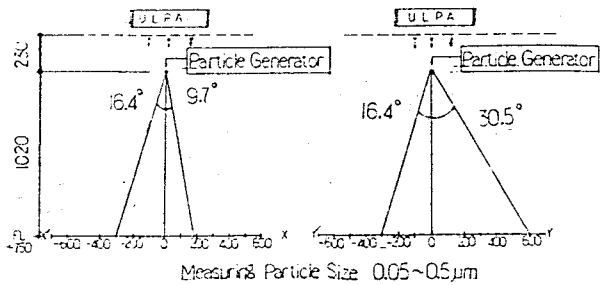


Fig. 19 Parallelism (V=0.1 m/s)

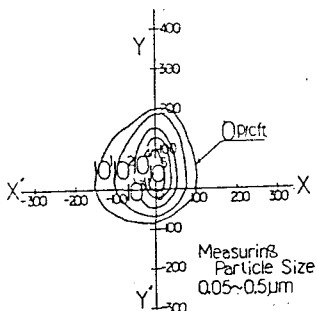


Fig. 16 Contour Line of Cleanliness (V=0.4m/s)

Table.5 Parallelism

Direction Air Velocity	X'-0 O-X	Y'-0 O-Y	Mean
0.1 m/s	16.4°	9.7°	13.3°
0.2	4.2	11.1	9.4
0.3	5.6	8.4	8.7
0.4	8.4	5.6	7.3
0.5	8.3	4.2	6.6
0.6	5.6	4.2	5.6

1) CLEAN ROOM, BIO-CLEAN ROOM에 관한 무부하 실내청정도는 HEPA, ULPA FILTER 공회, 토출풍속 0.2 m



/sec ~ 0.4 m/sec 사이에서 최고로 높은 청정도를 나타내고 있다.

2) 실내의 정압은 RETURN측 개구부나 바닥측으로 부터 미소입자의 영향에 관계가 있어서 실내정압이 높으면 유리하다.

3) 0.1 ~ 0.4 m/sec 사이에서는 토출풍속이 빠르면 ROOM의 청정시간이 짧아지고, 그 이상이 되어도 청정시간은 크게 변화하지 않는다.

4) 장애물의 형상에 관계없이 토출풍속이 빠르면 청정화 능력은 높아진다.

0.1 m/sec 이하의 경우에 있어 그의 청정화 능력은 풍속에 의해 영향을 받는다.

5) 토출풍속이 빠를수록 오염의 확산이 적게된다. 0.2 m/sec 이상이 되면 기류는 평행성이 유지된다.

상기 실험의 결과에서 우리는 상당히 고무적인 자료를 얻을 수 있다. 즉 풍속 0.2 m/s ~ 0.4 m/s 하에서는 높은 청정도를 유지할 수 있으며 그 이상의 풍속에서는 청정 능력에 차이가 없다는 점으로써 이는 한 실험의 결과로써 단정하기는 곤란하겠지만 본인의 견해로는 타당성이 있는 자료로 보여지며 다른 유형의 실험으로 이러한 사항들을 재검토해 볼수 있는 기회가 주어졌으면 하는 바이다.

