

Clean Stocker내 새로운 방식의 기류제어에 관한 연구(II)

최기한* · 한창우** · 이상룡†

(2001년 11월 10일 접수, 2002년 3월 29일 심사완료)

Analysis of New Air Control System in Clean Stocker(II)

Gi Han Choi, Chang Woo Han and Sang Ryong Lee

Key Words: Clean Stocker(크린 스토커), Clean Room(크린룸), Open Ratios(개구율), Exit(유출구), Static Pressure Regain(정압재취득법), FEM(유한요소법)

Abstract

Clean stockers are being used by semiconductor and TFT-LCD manufacturers to store and buffer work in process. The only way to keep the stored product clean is to provide constant clean airflow the product and through stocker. Up to now, stockers typically have been configured to receive their laminar airflow from fan filter units that are located on the side of the stocker. This type of stocker may have such problems as complexity of structure, increment of temperature, mechanical vibration, initial investment and running cost. In this study, in order to solve the above mentioned problems, new air control system in stocker is proposed, which is to control open ratios of exits that are located on the side of the stocker without fan filter units. In this study, static pressure regain was used for the analysis of the open ratios of exits theoretically and experiment was also conducted using actual clean stocker for TFT-LCD manufacturers and CFDDesign, was used for simulating airflow in stocker. As a result, open ratios of exits can be obtained by the analysis of static pressure regain and was verified by experiment and simulation results. Therefore, new air control system in stocker can be used by the semiconductor and TFT-LCD manufacturers.

1. 서론

TFT-LCD 생산공정이나 반도체 생산공정에서는 생산공정중인 재공품을 다음 공정으로 이동하는 과정에서 임시 보관하기 위하여 스토커(Stocker)를 운영하고 있으며 스토커 내부 양질의 청정환경이 제품회수율을 크게 좌우한다. 특히, TFT-

LCD 생산공정에서는 생산성향상을 위하여 유리기판(Glass) 크기를 증가시키고 있는 추세이며 이에 따라 스토커 내부 체적이 커져 내부 청정유지가 더욱 더 힘들다.

Fig. 1은 대면적 TFT-LCD 생산공정의 스토커의 내부를 나타낸 것으로 중앙의 스택커(Stacker)가 최고 120m/min⁽¹⁾로 고속 주행할 때 오염입자를 비산하여 측면의 선반에 보관하고 있는 유리기판을 오염시킨다. 이렇게 비산하는 오염입자로부터 보관중인 유리기판을 청정상태로 유지하기 위해서는 스토커의 측면에서 일정한 양의 청정공기를 유리기판 사이로 흐르게 하여 유리기판 표면에 오염입자의 부착과 유동을 방지해야 한다.

SEMATECH⁽²⁾을 중심으로 지금까지 연구된 스

* 회원, 경북대학교 기계공학과

** 경북대학교 기계공학과

† 책임저자, 회원, 경북대학교 기계공학과

E-mail : srlee@knu.ac.kr

TEL : (053)950-5579 FAX : (053)952-0648



Fig. 1 Internal view of clean stocker



Fig. 2 Side view of FFU type clean stocker

토커 내부의 청정유지방식은 Fig. 2와 같이 스토커의 측면에 FFU(Fan filter unit)를 부착하여 크린룸의 천장 또는 크린룸에서 청정공기를 유입하여 스토커 내부로 수평의 공기를 공급하는 방식이다. 그러나 이 방식은 스토커의 측면에 FFU를 부착함에 따라 스토커 구조가 복잡해지고 투자비가 상승하며, FFU 운전에 따른 운전비용, 진동발생, 온도상승 등의 문제가 있어 새로운 청정유지방식의 연구활동이 요구되고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 새로운 방식의 스토커 내부 청정유지방식을 제시한다. 새로운 개념의 청정유지방식은 크린룸의 천장에서 스토커 측면으로 유입된 청정공기가 Fig. 3과 같이 스토커의 측면에 설치된 개구율(Open ratios)의 조절이 가능한 다공의 유출구(Exit)를 통과하여 스토커 내부의 상부와 하부의 선반위치별로 동일한 양의 청정공기를 공급하는 방식이다.

본 논문은 이러한 조건을 최적화 하는 스토커의 측면 유출구에서의 풍량을 동일 양으로 제어하기 위한 각 유출구의 최적 개구율을 정압재취득의 이론으로 해석하였으며, 또한 이 값을 TFT-LCD 생산공정에 설치한 새로운 방식의 기류제어 시스템을 적용한 Clean stocker를 대상으로 실험과 유한요소해석을 통하여 비교, 분석하여 새로운 방식에 대한 신뢰성을 검증하였다.

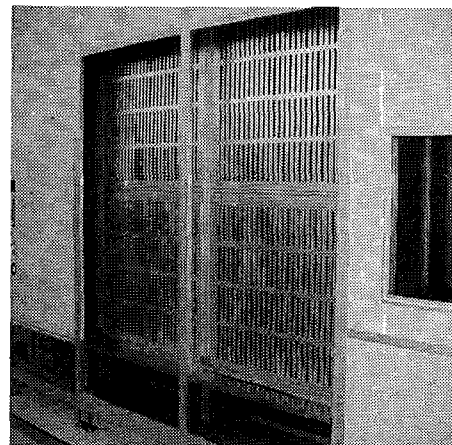


Fig. 3 Side view of new air control type clean stocker

2. 정압재취득법에 의한 공기유동해석

2.1 해석모델 및 고려사항

Clean Stocker의 공기유동해석을 위한 간략화한 모델은 Fig. 4와 같다. 크린룸의 천장에서 스토커 상부로 0.45m/s로 일정하게 공기를 배출하고 스토커의 하부 유출구(Outlet)의 개구율을 50%로 일정하게 유지한 상황에서 측면에 공기 유출구를 배치하였다.⁽¹⁾

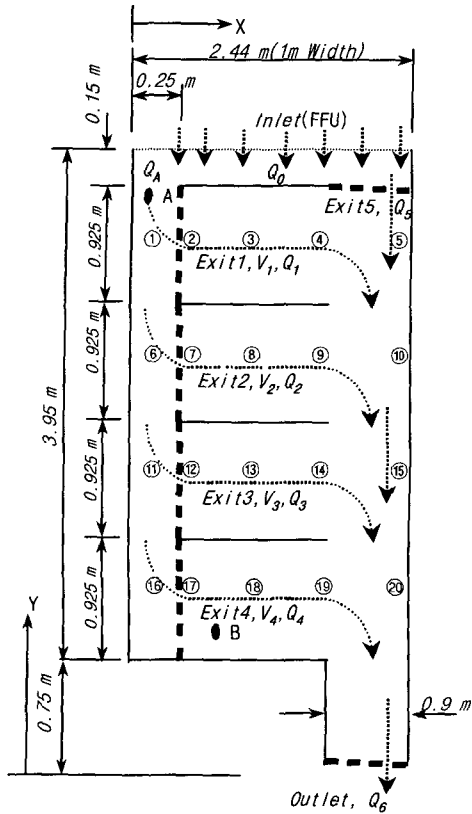


Fig. 4 Schematic diagram of analysis and experiment

본 논문은 Fig. 4와 같이 측면 유출구를 통하여 스토커 내로 공기가 유입될 때 최적의 공기유동 특성을 가지기 위한 측면 유출구의 유출풍량 $Q_1 \sim Q_4$ 을 동일하게 유지하기 위하여 각 유출구의 개구율을 해석에 중점을 두고 있다.

A점으로 B점까지의 공기통과 저항은 미소하며 유출풍량 $Q_1 \sim Q_4$ 을 동일하게 유지하기 위해서는 각 유출구의 저항치는 $1mmAq$ 이하로 고려하였다. 각 유출구를 동일한 개구율 조건으로 적용하면 Q_4 의 풍량이 제일 크다. 이러한 현상은 천장에서 스토커의 측면 공기통로로 유입되는 공기는 $Q_1 \sim Q_3$ 로 분기하여 공기통로 내의 풍속을 점점 낮아지게 하고 낮아진 풍속이 정압으로 변해 Exit 4에서는 정압재취득에 의해 정압이 제일 높아지기 때문이다.

본 논문에서는 측면 공기통로내의 압력 변화는 정압재취득의 값이 제일 큰 요소가 되기 때문에

이 값을 해석해서 측면 유출구 유출풍량 $Q_1 \sim Q_4$ 을 동일하게 유지하기 위한 개구율을 해석한다. 스토커 내부의 와류를 방지하기 위하여 풍량 Q_5 를 전체풍량의 10% 정도로 가정하였다.

2.2 정압재취득법(Static Pressure Regain)⁽³⁻⁴⁾

관로속을 유체가 정상적으로 흐르는 경우 유체를 비압축성, 비점성유체라 하면 베르누이 법칙(Bernoulli equation)에 의하여 식 (1)이 성립한다.

$$p_1 + \frac{v_1^2}{2g} \gamma + Z_1 \gamma = p_2 + \frac{v_2^2}{2g} \gamma + Z_2 \gamma + \Delta P_e \quad (1)$$

취급되는 유체가 기체인 경우, 덕트 내의 위치수두의 변화는 다른 수두의 변화에 비하여 무시할 수 있으므로 식 (2)가 된다

$$p_2 = p_1 + \left(\frac{v_1^2}{2g} \gamma - \frac{v_2^2}{2g} \gamma \right) - \Delta P_e \quad (2)$$

여기서 ΔP_e 는 덕트 도중의 압력손실이다.

p_2 는 p_1 에 비하여 동압의 차만큼 크게 된다. 따라서 동압차를 고려한 정압계산식을 수립할 수 있다. 실제로 그 구간의 경계에 있는 분기, 확대 등 국부저항 ΔP_e 를 고려하면 식 (3)과 같다.

$$p_2 - p_1 = k \left(\frac{v_1^2}{2g} \gamma - \frac{v_2^2}{2g} \gamma \right) \quad (3)$$

식 (3)의 우변의 값을 정압재취득(Static pressure regain)이라고 한다. k 의 값은 ΔP_e 로써 알 수 있으나 일반적으로 80%로 한다.

식 (3)에서 구한 정압재취득의 값은 스토커 측면 유출구로 공기를 내보내는 데 사용되고, 유출구에서의 해석은 전압기준에 의하여 적용하였다. 즉 앞에서 구한 정압재취득의 양은 전압기준에서 손실량인 ΔP_e 로 에너지가 소비된다고 볼 수 있다. ΔP_e 는 직선부분의 마찰저항 ΔP_f 와 곡부, 분기점등에서의 저항 ΔP_d 을 합한 값이다.

$$\Delta P_e = \Delta P_f + \Delta P_d \quad (4)$$

여기서 덕트의 곡부, 분기점, 기타 이형부분 속에서는 와류의 에너지소비에 따르는 압력손실과 마찰에 의한 압력손실이 생기며, 그 합을 개별저항 또는 국부저항(Local resistance) ΔP_d 라 한다.

$$\Delta P_d = \xi \frac{v_1^2}{2g} \gamma = \xi \left(\frac{v_1}{4.04} \right)^2 \quad (5)$$

Table 1 The quantities of the air flow

항 목	계산식
전체 풍량 Q_0	$Q_0 = (244 \times 4) \times 0.45 \times 60$ $\cong 65.9 \text{ m}^3/\text{min}$
측면 공기통 로 풍량 Q_A	$Q_A = 65.9 \times 0.9$ $\cong 59.3 \text{ m}^3/\text{min}$
각 유출풍량 $Q_1 \sim Q_4$	$\frac{59.3}{4} = 14.825 \text{ m}^3/\text{min}$
상부 유출구 유출풍량 Q_5	$Q_5 = 65.9 \times 0.1$ $\cong 6.6 \text{ m}^3/\text{min}$

Table 2 Local friction and open ratios at multi-hole exit

개구율	v_1 (m/s)	국부저항 계수 (ζ)	국부저항 (mmAq)
0.4	0.66	3.0	0.08
0.3	0.9	6.2	0.3
0.25	1.07	9	0.63
0.2	1.33	15	1.63

여기서 ζ : 국부저항계수 v : 풍속 [m/s]
 γ : 공기비중량 [kg/m³]

2.3 유출구의 개구율 해석

유출구의 개구율을 계산을 위해 각 지점의 풍량을 Fig. 4의 주어진 조건으로 구하면 Table 1과 같고 스토커 측면의 공기통로는 직관 덕트부로 가정되며 각 지점 부의 저항은 미소하므로 무시한다.⁽³⁾

Exit 1~4의 측면 유출구는 다공판으로 구성되어 있고 다공판으로 공기가 통과할 때 국부저항 (ΔP_f)은 식 (5)로 계산된다.

여기서 v_1 은 다공판의 구멍을 통과하는 풍속 [m/s]이고 식 (6)과 같이 개구율에 따라 값이 변한다.

$$v_1 = \frac{Q}{60 \times \text{흡출면적} \times \text{개구율}} \quad (6)$$

$$\cong \frac{14.8 (\text{m}^3/\text{min})}{60 \times 0.925 \times \text{개구율}} \cong \frac{14.8}{55.5 \times \text{개구율}} \text{ (m/s)}$$

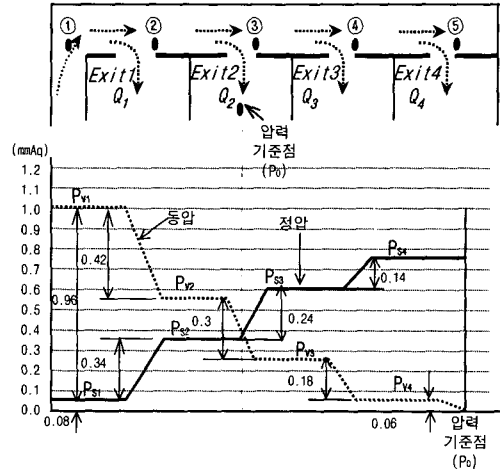


Fig. 5 The variation of static and dynamic pressure on the airflow location

Table 3 The open ratio of each exit by the analysis

항목	점①	점②	점③	점④
풍량Q(m ³ /min)	59.3	44.5	29.7	14.9
풍속V(m/s)	3.95	2.97	1.98	0.99
정압재취득 P_{st} (mmAq)		0.42	0.3	0.18
실효정압 재취득(mmAq)		0.34	0.24	0.14
유출구	Exit1	Exit2	Exit3	Exit4
국부저항(mmAq)	0.08	0.42	0.66	0.8
각 유출구의 개구율(%)	40	30	25	22

또 다공판의 국부저항계수(ζ)는 개구율에 의하여 결정되며⁽³⁾ 식 (5), (6)에 의하여 Table 2의 계산 결과를 얻을 수 있다.

따라서 스토커의 측면 유출구(Exit)에서의 풍량 $Q_1 \sim Q_4$ 을 동일 양으로 하기 위한 각 유출구의 최적 개구율 해석을 위해 스토커의 측면 공기통로 각 지점의 공기속도저하에 따른 동압의 변화와 이로 인한 정압의 변화를 Fig. 5로 나타내었고, 각 유출구의 국부저항을 Table 3과 같이 나타내었다. Table 3의 각 유출구의 개구율 해석결과는 Table 2의 데이터 참고로 하였다.

3. 유한요소 해석

본 논문에서의 수치해석은 Blue Ridge Numerics 사의 유체해석프로그램인 CFDesign으로 Bernoulli, Navier-Stokes 방정식에 의해 계산되는 유한요소법(FEM)을 이용하여 공기유동을 해석하였다.⁽⁵⁾

Fig. 2를 참고로 하여 3 Dimension 모델을 작성하였다. 압력조건은 무시하고 크린룸의 천장에서 스토커 상부로 0.45m/s의 풍속, 스토커의 하부 유출구(Outlet)의 개구율 50%, 스토커 측면 공기유동통로의 크기를 경계조건으로 설정하였다. 요소(Mesh)의 크기는 측면 유출구 부위는 50mm, 스토커 내부는 100mm로 설정하였으며 전체계산영역은 121541 Element로 세분화하였다.

시뮬레이션의 결과는 스토커 내부의 Z축 방향 성분의 공기유동특성은 동일하므로 X-Y축의 2 Dimension의 스토커 측면으로 변환하여 고찰하였고, 이를 정압재취득법을 적용하여 해석한 이론적 결과와 비교하였다.

4. 실험 및 측정

4.1 유출구의 기류속도 측정실험 및 풍량 산출
정압 재취득의 이론적 해석의 신뢰성을 확보하기 위하여 각 유출구의 기류속도의 측정과 공기량의 산출이 필요하다.

본 연구에 적용한 실험장치는 TFT-LCD 생산공정에 설치한 새로운 방식의 기류제어 시스템을 적용한 Clean stocker를 대상으로 하였다. 측정대상은 기류의 속도이며 스토커 내부의 속도분포는 Tr식 저속용 풍속계(Model : ANEMOSYSTEM AM-11)에 의하여 측정하였다.

측정방법은 풍속계를 수평으로 하고 측정의 신뢰성을 높이기 위하여 Fig. 6과 같이 각 측정부위당 5점을 측정해서 평균값 산출하였고 1점 당 60sec를 측정하였다.

공기이동통로(Location ①, ⑥, ⑪, ⑯), 유출구의 다공판 통과지점(Location ②, ⑦, ⑫, ⑰), 카세트 보관지점(Location ③, ④, ⑧, ⑨, ⑬, ⑭, ⑱), Stacker의 이동부위(Location ⑤, ⑩, ⑮, ⑳, ㉑)를 측정하여 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

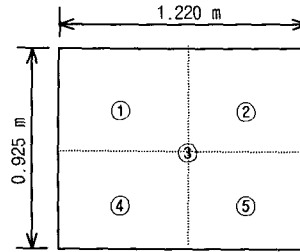


Fig. 6 Point of velocity measurement on exits

Table 4 Condition of experimental measurement

(%: 개구율)

	Exit 1	Exit 2	Exit 3	Exit 4
개구율 조건 1	40%	30%	25%	22%
개구율 조건 2	22%	25%	30%	40%

Table 5 Measurement of air velocity on exits

Exit NO	Location	유속(m/s)	
		조건 1	조건 2
Exit 1	①	1.89	2.7
	②	0.84	0.72
	③	0.62	0.41
	④	0.45	0.36
Exit 2	⑥	2.14	2.25
	⑦	0.99	1.04
	⑧	0.87	0.65
Exit 3	⑨	0.50	0.49
	⑪	1.66	2.04
	⑫	1.36	0.99
Exit 4	⑬	0.51	0.45
	⑭	0.42	0.29
	⑯	0.84	1.28
Exit 5	⑰	1.49	1.17
	⑱	1.19	0.85
	⑲	0.66	0.65
Exit 5	⑤	1.44	1.4
	⑩	0.99	0.83
	⑮	0.34	0.33
	⑳	0.37	0.58
	㉑	1.12	1.39

Table 6 The quantities of airflow on exits
(m^3/min)

	Exit 1	Exit 2	Exit 3	Exit 4
개구율 조건 1	18.65	16.48	18.87	18.19
개구율 조건 2	8.79	14.43	16.49	25.97

실험의 조건은 크린룸의 천장 FFU에서 0.45 m/s의 일정한 속도의 공기를 스토커 상부로 배출하고, Exit 5, 6의 개구율을 10%, 50%로 일정하게 유지하면서 이론의 해에서 구한 각 유출구별 동일한 풍량을 유지할 때의 개구율 조건인 Table 4의 조건1과 반대의 조건인 조건2로 실시하였다.

조건1에서 각 유출구의 개구율이 다르기 때문에 다공판의 통과 지점에서는 기류속도가 다르나 유출구를 빠져나온 카세트 보관대의 끝 점 (Location ④, ⑨, ⑭, ⑰)에서는 이론적으로는 동일한 유량으로 동일한 기류속도가 되어야 한다. 실험의 측정결과는 0.42~0.66 m/s의 일정한 기류속도 분포를 나타내고 있다.

Table 6의 각 유출구의 풍량은 다공판의 기류의 통과지점(Location ②, ⑦, ⑫, ⑰)에서의 기류속도에 다공판의 면적 합을 곱하여 산출한 결과이다.

4.2 스토커 내부 청정도 측정실험

스토커 내부의 청정상태를 검증하기 위하여 Particle 측정이 필요하다. 실험장치는 Fig. 7과 같이 TFT-LCD 생산공정에 설치한 새로운 방식의 기류제어 시스템을 적용한 Clean stocker를 대상으로 하였다. Particle 측정기는 PMS사 프로우브 방식(Model : LASAIR-110-(11))이며 측정기기의 분해능은 $0.1\mu\text{m}$ 이하이며, 1점 당 $1\text{ft}^3/\text{min}$ 공기를 흡입하면서 60sec동안 측정하였다.

실험의 조건은 크린룸의 천장 FFU에서 0.45 m/s의 일정한 속도의 공기를 스토커 상부로 배출하고 Exit 5, 6의 개구율을 10%, 50%로 일정하게 유지하면서 측면 유출구의 동일 풍량의 조건인 Exit 1~4의 개구율을 40%, 30%, 25%, 22%로 하고 스테커를 120 m/min로 고속 주행하면서 측정하였다. 측정위치는 Fig. 7에 나타내었고, 각



Fig. 7 Location of particle measurement in clean stocker

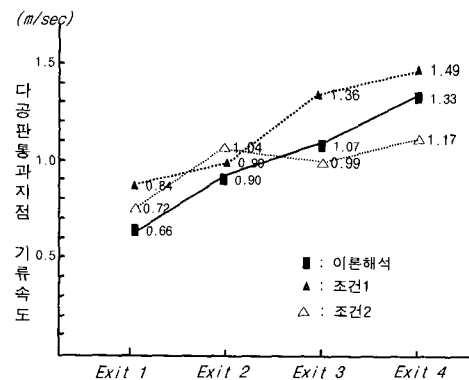


Fig. 8 Comparison of air velocity on exits

측정위치 별로 Particle 수는 0으로 측정되었다.

5. 결과 및 고찰

5.1 유출구의 기류속도 및 풍량 해석

스토커의 측면 유출구에서의 풍량을 동일 양으로 제어하기 위한 각 유출구의 최적 개구율을 정압계취득의 이론으로 해석하였으며, 또 이 값을 실험과 유한요소해석을 통하여 비교, 분석하여 신뢰성을 검증하였다.

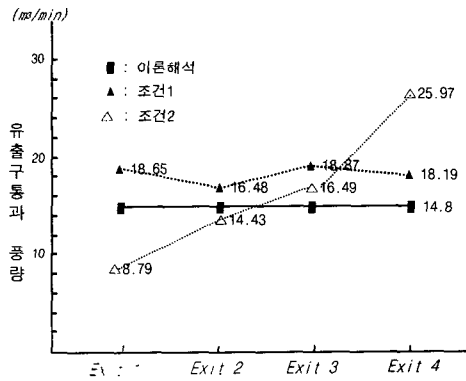


Fig. 9 Comparison of air quantities on exit

Fig. 8은 측면 유출구 다공판을 통과하는 기류의 속도를 이론의 값과 실험의 값을 비교한 것으로 Exit 1에서 Exit4로 갈수록 정압재취득에 의하여 기류의 속도는 증가하는 것으로 이론해석의 신뢰성을 나타내고 있다.

Fig. 9는 스토커의 측면 유출구에서의 풍량을 동일 양으로 제어하기 위한 이론의 값을 실험으로 적용한 Table 4의 조건 1과 이론 값을 역으로 적용한 조건 2을 나타내었다.

조건 1에서는 각 유출구의 풍량을 평균으로 한 동일 풍량(18.05 m³/min)에 대하여 Exit2 에서 9%의 오차로 나타나지만 Exit 1,3,4에서는 5%이 내의 오차로 잘 일치하고 있다. 이로써 정압재취득의 이론의 해석값은 실험의 값으로 검증되어 신뢰성을 확인하였다. 조건 2는 Exit 1~4로 갈수록 증가한 개구율과 정압재취득에 의하여 풍량이 증가한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 10는 측면유출구 Exit 1~4의 개구율을 40%, 30%, 25%, 22%로 하고 상부유출구 Exit 5의 개구율을 10%로 유지할 때의 스토커의 내부 공기유동특성을 나타내었다. 하부 유출구(Outlet) 부근에 있는 Exit 3,4에서의 공기유동현상은 천장에서 스토커 측면 통로로 유입된 공기가 빠른 속도로 통과하면서 균일한 속도분포로 스토커 내부로 유입하는 것을 나타내고 있다. 또한 Exit 1,2는 상대적으로 Exit 3,4에 비하여 공기유동의 속도가 느려서 상부 유출구 Exit 5에 의해 유입되는 공기

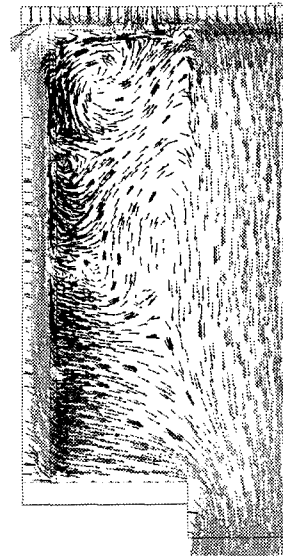


Fig. 10 Distribution of velocity vector in clean stocker(Case1)

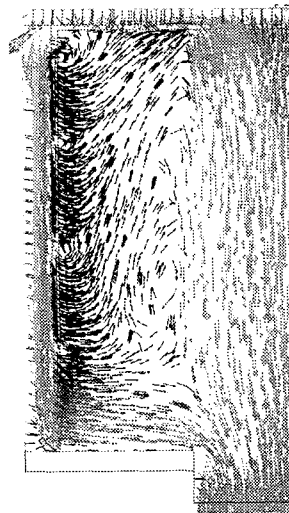


Fig. 11 Distribution of velocity vector in clean stocker(Case2)

에 영향을 크게 받아 균일한 속도분포를 유지하기가 어려운 것으로 나타난다. 이러한 수치해석의 결과는 각 유출구의 공기속도는 Exit 1에서 Exit 4 갈수록 일정하게 증가하는 Fig. 8의 실험 측정결과와 일치한다는 것을 알 수 있다.

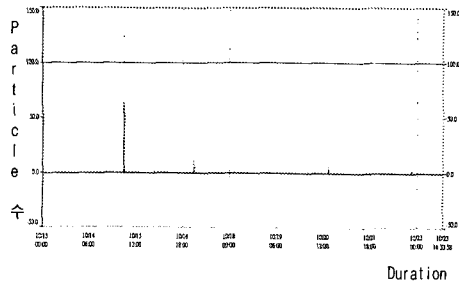


Fig. 12 Particle monitoring data in stocker

Fig. 11는 측면유출구 Exit 1~4의 개구율을 22%, 25%, 30%, 40%로 하고 상부유출구 Exit 5의 개구율을 10%로 유지할 때의 스토커의 내부 공기유동특성을 나타내었다. Exit 3에서의 공기유동현상은 Fig. 9의 Exit 3과 다르게 공기유동의 속도가 느려서 일정한 속도분포를 유지하기 어려운 것으로 나타난다. 이러한 수치해석의 결과는 실험측정결과인 Fig. 8의 조건 2에서 알 수 있듯이 Exit2에서 Exit4로 갈수록 공기속도가 증가하지 않고 특히 Exit3에서는 Exit2에 비하여 공기속도가 줄어드는 현상과 일치한다는 것을 알 수 있다.

결과적으로 고찰해 보면 스토커의 측면 공기통로내의 압력 변화는 정압재취득의 값이 제일 큰 요소가 된다는 이론적 가정과 실험의 결과, 유한요소프로그램으로 시뮬레이션의 결과가 일치한다는 것을 알 수 있다.

5.2 스토커 내부 청정도

Stocker를 120 m/min 로 고속 주행하는 조건에서의 스토커 내부 청정도 측정결과는 Table 7과 같이 전 측정지점에서 Particle 수량이 0으로 측정되었고, Fig. 12과 같이 10일 동안 자동 모니터링을 실시한 결과 1회 128개의 Particle이 측정되었다. 이러한 결과는 측정기간 동안 스토커 내부로 작업자의 출입이 1회 정도 있었고 청정상태로 잘 유지된다는 것을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 새로운 방식의 스토커 내부 청

정유지방식에 관한 신뢰성의 검증을 위해 각 유출구의 최적 개구율을 정압재취득의 이론으로 해석하였으며, 또 이 값을 실험과 요한요소해석을 통하여 비교, 분석하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 스토커의 측면 공기통로내의 압력 변화는 정압재취득의 값이 제일 큰 요소가 되고 정압재취득법으로 측면 유출구 풍량을 동일하게 유지하기 위한 개구율 해석이 가능하다.

(2) 스토커의 측면 유출구에서의 풍량을 동일 양으로 제어하기 위한 최적의 개구율에 대한 이론의 값과 실험의 값을 비교한 결과, 최대 8% 오차의 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 이로써 정압재취득의 이론의 해석 값은 실험의 값으로 검증되어 신뢰성을 확인하였다.

(3) 공기통로내의 압력 변화는 정압재취득의 값이 제일 큰 요소가 된다는 이론적 가정과 유한요소프로그램으로 시뮬레이션의 결과가 일치한다는 것을 알 수 있다.

(4) Stocker를 120 m/min 로 고속 주행하는 조건에서의 스토커 내부 청정도 측정결과는 전 측정구간에서 0으로 측정되고, 장기간의 모니터링 결과도 일치하여 청정상태로 잘 유지된다는 것을 알 수 있다.

(5) 본 논문의 연구결과에 의하면 새로운 개념의 기류제어방법으로 스토커 내부를 청정상태로 유지할 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- (1) DAIFUKU(株), 2001, Clean Stocker자료.
- (2) Eric C., Duane P., 1996, "Standard Stocker Environmental Characterization Method," Technology Transfer #96103192A-ENG, SEMATECH, pp. 2~11.
- (3) Fundamentals, Ashrae. 1989, ashrae Hand Book.
- (4) 井上宇市, 1998, "空氣調和 HANDBOOK," pp. 385~396.
- (5) Blue Ridge, 1998, Blue Ridge Numerics Software Reference Manuals.
- (6) 이광수, 1998, "Clean Room내 기류의 제어 및 해석," 공기조화냉동공학논문집, 제17권, 제3호, pp. 217~223.
- (7) 이재현, 박명식, 1993, "부분적인 필터교체에

- 따른 청정실내부의 유동특성,” 대한기계학회논문집, 제17권, 제8호, pp. 2110~2121.
- (8) 오명도, 임학규, 배귀남, 1990, “초청정 클린룸 난류유동장내에서의 오염입자 비정상 전파거동에 관한 연구,” 대한기계학회논문집, 제14권, 제2호, pp. 430~439.
- (9) Ron, B. and Patricia, B., 1995, “Summary of Material Logistics in Semiconductor Manufacturing,” Technology Transfer #95052811A-ENG SEMATECH, pp. 14~20.
- (10) 이재현, 1998, “다수의 출구를 가지는 크린룸 내부의 기류분포에 관한 연구,” 공기조화냉동공학논문집, 제17권, 제4호, pp. 418~425.
- (11) 오명도, 이춘식등, 1989, “클린룸의 상부 플레넘 설계를 위한 유동특성실험,” 공기조화냉동공학논문집, 제1권, 제4호, pp. 277~289.