

Clean-Room內 氣流의 制御 및 解析

Control and Analysis of Air Flow in Clean Room

이 광 수*
Kwang Soo Lee

1. 기류제어의 필요성

1.1 배 경

Clean Room은 개발당초부터 수직층류형과 수평층류형 등의 명칭으로 분류되듯이 기류가 중요시되어 왔다. 그러나 사용되고 있는 層流라는 용어도 유체역학적으로 엄밀히 정의하여 보면 비층류(亂流)이다. 그러나 본 자료에서는 종래부터 관례적으로 사용하고 있는 층류 및 비층류의 용어를 그대로 사용하였다. 실제로 0.5m/s 이하의 저속 기류를 방향까지 포함하여 정확히 측정하기는 매우 어렵다.

최근 반도체 공장 등에 건설되는 Clean Room의 규모가 커짐에 따라 예측하지 못한 發塵源으로부터 발생한 미립자의 오염에 의한 제품불량이 자주 발생하였다. 그래서 종래보다도 정밀한 Clean Room 내의 기류제어가 요구된다.

여기서는 기류제어와 해석의 현상을 기술함과 동시에 그 문제점을 지적하고자 한다.

1.2 發塵과 附着

Clean Room에서 제거대상이 되는 최소입자의 크기는 최근 반도체 공업에서는 0.1 μ m에까지 달하며, 앞으로 16 M Bit 시대에서는 0.05 μ m에까지 해당한다. 큰입자의 공기중에

서의 거동은 중력 침강이 대부분임에 비하여 미소입자의 경우는 기체 분자와의 충돌에 의한 Brown운동의 효과가 현저하다. 양측의 효과가 거의 같게되는 입자경은 0.2 μ m이다. 따라서 0.1 μ m 또는 그 이하의 미소입자를 대상으로 하는 경우에는 기류를 타고 멀리까지 오염입자가 확산될 가능성이 크게 된다. 그래서 Clean Room내의 기류분포를 항상 정확히 파악할 필요가 있다.

입자경이 작아짐에 따라서 입자의 체적에 대한 표면적의 비율이 증가한다. 즉 부착력이 강하게 된다. 한편 정전기 부착도 입자경이 작을수록 일어나기 쉽다. 따라서 미소입자는 부착되기 쉽고 제거하기는 어렵다. 그래서 입자의 발생을 억제함과 동시에, 부착되지 않도록 발진원과 제품과의 상호 위치관계 및 기류제어가 고정정화를 위한 중요한 기술이 된다.

2. 기류제어의 현상

2.1 Air Curtain (칸막이 없는 구조)

종래의 Clean Room은 청정도가 다를 때마다 칸막이를 설치하고 각 구역마다 압력을 다르게 하여 인접구역으로부터의 오염을 방지하였다. 최근의 Clean Room에는 칸막이를 설치하지 않고 여러 종류의 다른 청정도공간을 형

* 정회원, 렉키엔지니어링(주) 설비사업부장, 기술사

성하고 있다. 어떻게 이러한 일이 가능하게 된 것인가? 그것은 인체와 장치로부터의 발진량을 감소시키는 한편 수직층류 영역을 광범위하게 채용하여 환기회수를 늘려서 효과를 발휘하고 있기 때문이다.

그림 1은 층류영역과 난류영역을 Air Cur-

tain으로 차단했을 때 미립자 분포의 측정결과를 나타낸다. No.2는 Air Curtain의 운전을 정지한 경우, No.3는 2.8m/s의 풍속으로 운전한 경우이고 No.4는 Air Nozzle을 실내에 돌출한 것이다. 그림에서와 같이 Air Curtain의 효과는 명백함을 알 수 있다.

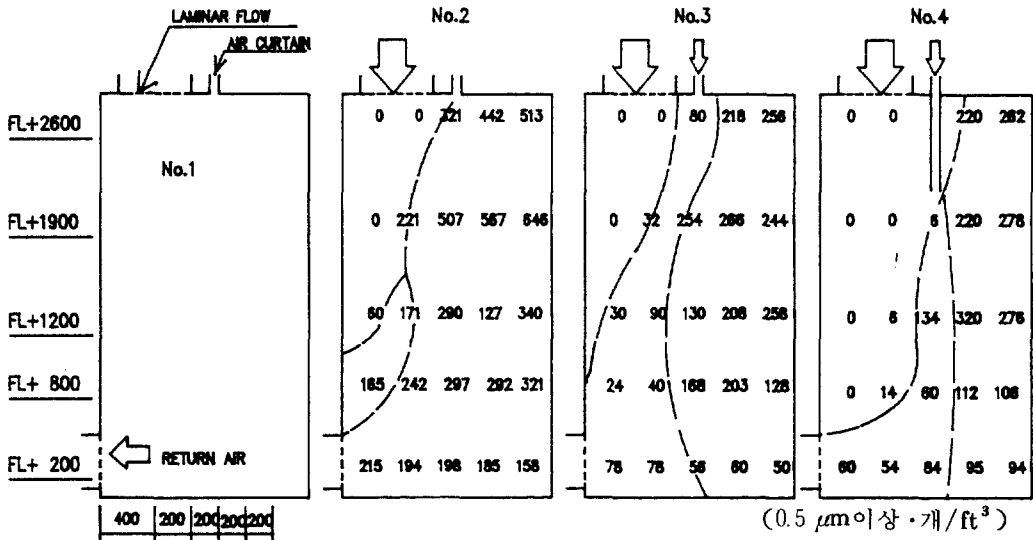


그림 1 부유미립자 농도분포 및 기류분포에 의한 국소 청정도

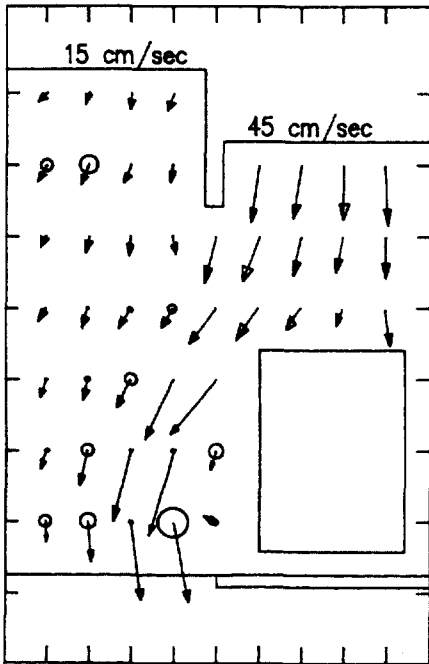


그림 2 초음파 풍속계에 의한 풍속분포도

Clean Tunnel 내의 기류분포를 측정할 예가 그림 2에 나타나 있다. 취출 풍속의 차에 따라 고속층 및 저속층의 기류가 형성되어 있으므로 저속층 구역에서의 발진 입자가 고속층으로 침입하는 것을 방지하고 있다.

앞으로는 Air Curtain이 작업자의 통과나 문의 개폐에 의한 압력차의 변동 등에 따라 어느정도 흐트러질 것인가, 즉 동적인 상태에 의 검토가 필요하게 되었다.

2.2 Floor하부저항

면적이 큰 전면수직(全面垂直) 층류형 Clean Room에는 바닥하부를 통하여 대량의 순환공기가 바닥하부 측면의 흡입구에 집중하여 흐르므로, 하부 흡입구로부터의 거리에 따라 저항분포가 발생하고 그 영향으로 Clean Room내에 偏流가 생긴다. 그 결과 실내에 발생한 먼지가 바로 아래의 바닥으로 흡입되지 않고 멀리까지 확산하여 실내 청정도 저하의

일차적 요인이 된다.

이 편류에 영향을 주는 요인으로는 실내의 길이, 바닥하부의 깊이 및 바닥면의 開口率 등이 고려된다. 그러나 대형실물의 Clean Room 을 사용하여 상기 요인을 검증하는 것은 곤란하기 때문에, 일반적인 모형실험과 수치 시뮬레이션에 의한 검토를 한다.

아래에 그 예를 나타내었다.

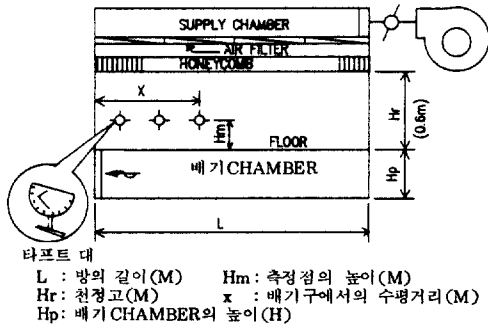


그림 3 실험장치 (1/5 축척모델)

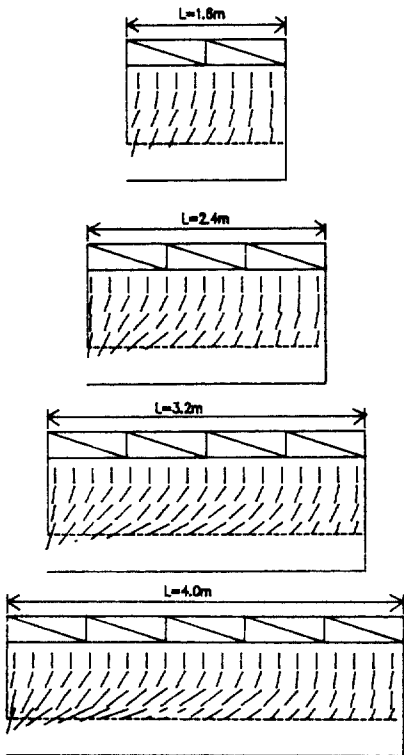


그림 4 기류형태에 미치는 L의 영향

그림 3은 모형 실험장치인데 실물에 대하여 1/5로 축소했다. 실내의 길이 L 를 1.6-4 m 까지 바꾼 경우의 실내 기류분포를 수치 시뮬레이션으로 작성한 것이 그림 4이다. L 가 커짐에 따라 편류도 커지게 된다. 그림 5는 L 을 변수로 하여 실제 Clean Room의 작업 높이에 상당하는 바닥위 0.2m에서의 편류각도를 표기한 것이다. 그림으로부터 편류각도가 최대가 되는것은 실장 L 의 중심보다 오히려 흡입구에 가까운 위치임을 알 수 있다.

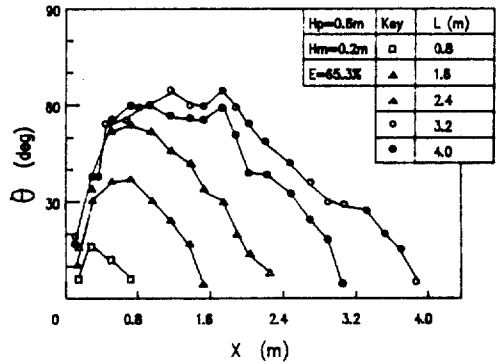


그림 5 편향 각도에 미치는 L의 영향

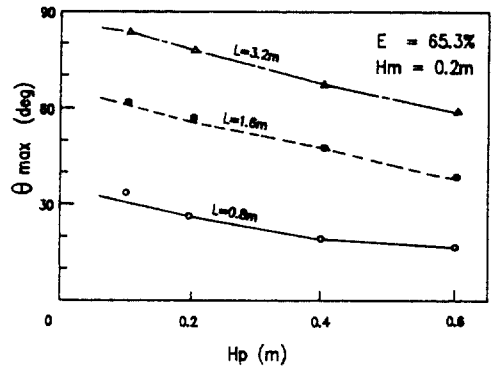


그림 6 Hp와 θ_{max} 의 관계

그림 6은 바닥하부의 깊이 H_p 와 최대편류각도의 관계를 실내길이를 변수로 하여 표시했는데, 바닥하부의 높이가 높게됨에 따라서 바닥하부저항이 작게 되므로 편류는 작게 된다. 그림 7은 바닥의 개구율 ϵ 를 변수로 하여 편류각도의 실내길이 방향거리에 따른 변

화를 표시했는데 편류는 개구율이 작을수록 감소했다.

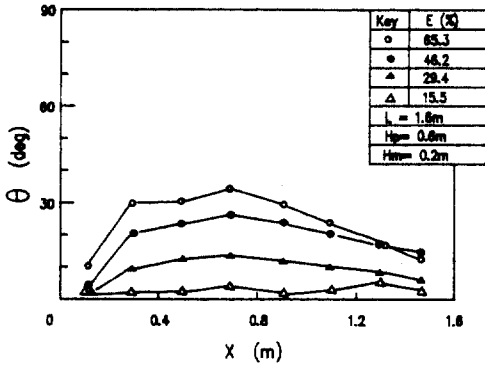


그림 7 편향각도에 미치는 E의 영향

이것은 개구율을 작게 하여 Clean Room 측의 저항을 크게 하면 편류를 감소시킬 수 있음을 보여준다.

그러나 지나치게 저항을 크게 하면 실내 풍속이 작아지고 환기 회수가 감소하여, 또한 국소배기에 의한 편류를 크게 하는 것으로 된다.

한편 바닥의 개구율을 균일하게 한 경우와 3종류의 다른 개구율을 분포시킨 경우의 시뮬레이션 결과가 그림 8에 나타나 있다. 분포에

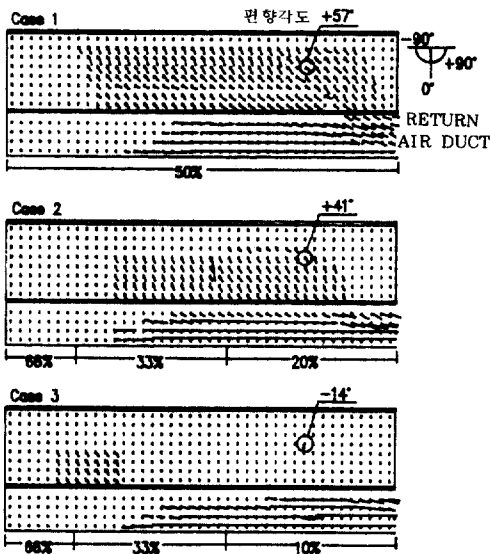


그림 8 기류형태와 개구율의 관계

따라 편류를 감소시킬 수 있다. 실제로는 바닥 상하에 제조장치 및 각종 닥트가 존재하므로 실제의 모양은 훨씬 복잡하고 앞으로 더욱 정밀한 고찰이 필요하다.

2.3 국소 영역에의 기류 균일성

(1) 장비 주위의 기류 분포

균일한 수직 층류의 가운데에 위치한 제조장치의 주위에는 편류가 발생한다. 이것에 영향을 주는 인자로는 장치의 크기, 장치간의 간격, 간막이판의 거리 및 장치의 형상 등을 들 수 있다. 기류분포의 측정은 타프트법과 트레이서법에 의한 기류의 可視化와 더불어 기류해석 시뮬레이터에 의한 해석수법이 사용된다.

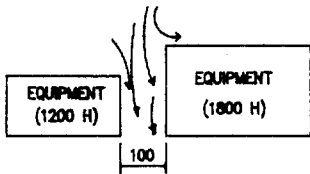
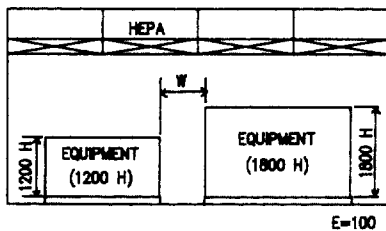
장치의 크기에 관해서는 장치의 높이와 넓이에 관계없이 장치의 상단에서 600~800mm 높이에 流氣滯留域이 생긴다고 보고되었다(단지 이때의 토출풍속은 0.37m/s 임).

한편 장치 상부에 단(段)의 유무와 장치가 설치된 바닥이 콘크리트일 경우에는 기류체류역의 폭이 변하고, 특히 段差가 있는 경우 터널 구조의 작업영역으로부터 제조영역으로 기류가 유입되는 현상이 인지되었다. 또 장치사이의 간격은 풍속이 0.37m/s 일때 이지만 그림 9에서 보듯이 200mm의 경우에 더욱 더 기류체류폭이 작고, 500mm에는 장치의 측면에 체류구역이 발생하고 있다. 이것은 장치끼리의 형상에도 존재한다고 생각되지만 흥미있는 자료이다. 장치 후면의 Back Panel까지의 간격과의 관계에 대해서는 그림 10에서 보는 바와 같이 측정조건으로 열선풍속계와 smoke Tester를 사용하여 측정한 결과가 각각 정리되어 있다. 상기의 간격과 Back Panel의 개구부의 크기를 바꾸고 Back Panel측의 흡입압력을 변화시킴에 따라서 장치상부의 기류분포가 상당히 바뀌는 것이 명백하게 되었다.

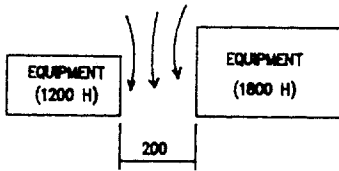
장치 주위의 기류 체류역의 감소를 시험하기 위하여 장치 상부의 모서리에 착안하여 모서리를 10cm씩 45°로 절단하여 체류역을 감소시킬 수 있다고 보고되었다. 그의 장치측면

상부에 Slit 형상의 개구부를 설치하고 장치내로부터 개구부를 설치하여 주위 공기를 흡입하는 방법도 제안되었지만 제조 장치측의 문제로 인하여 실용화에는 의문시 된다.

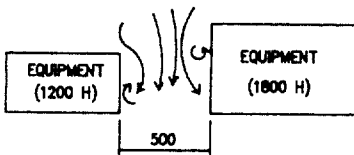
이상의 해석은 터널구조를 포함하여 모두 수직 층류구조에 관한 것이어서 앞으로는 실내 전체에 편류가 발생하여 있는 구조까지 확장하지 않을 수 없다.



(A) W=100의 경우(1800H의 높이에 작은 기류체류가 발생함)



(B) W=200의 경우(기류상태가 양호함)



(C) W=500의 경우(장비 사이에 기류체류역이 발생함)

그림 9 생산기기간의 기류분포

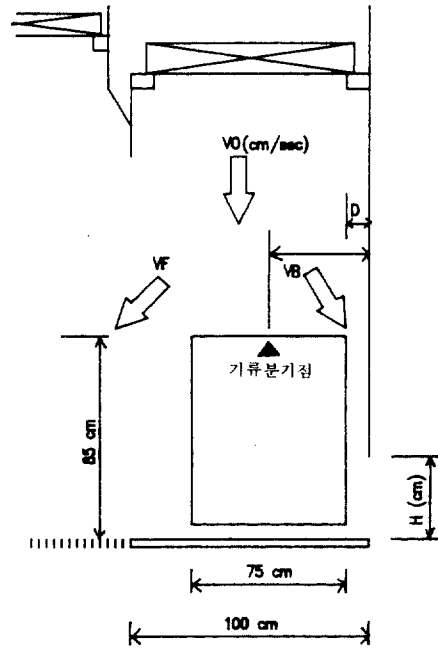


그림 10 (A) 풍속측정조건

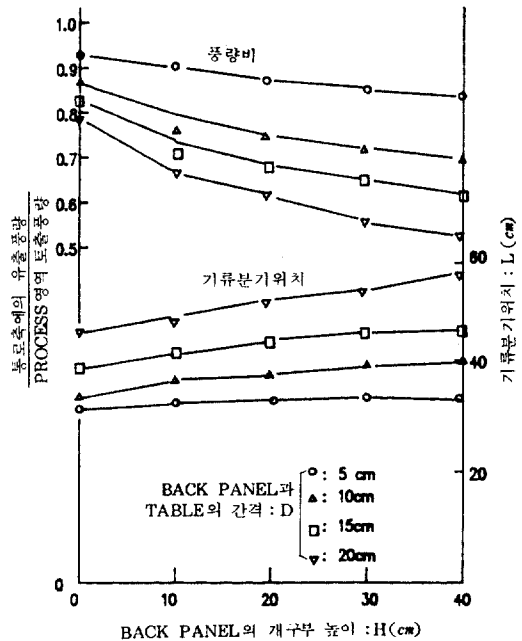


그림 10 (B) 분기풍량비 및 분기위치

(2) 입자의 확산

입자의 확산은 상기 기류해석과 겹쳐서 검토되어 있는 경우가 많다. 그것에 따르면 DOP 등의 입자를 장치의 상면과 측면에서 연속적으로 방출하면 기류 체류역에 입자 농도가 높게 되는것이 명백하다.

이상의 결과는 발전원이 고정된 정상상태의 경우이나 실제로는 중요한 발전원인 작업자들은 항상 이동한다. 이 비정상시의 해석도 조금은 간행되어 있다. 그림 11은 작업자가 움직일때의 장치 상부 가까이의 삼차원의 기류변동을 측정 한 것으로 3초이상의 기류변동이 측정되었다. 그외에도 작업통로를 보행한 때의 작업자로부터의 입자 확산상황에 관한 보고서도 있다. 이 비정상시의 해석은 앞으로 더욱 증가하리라고 예상된다.

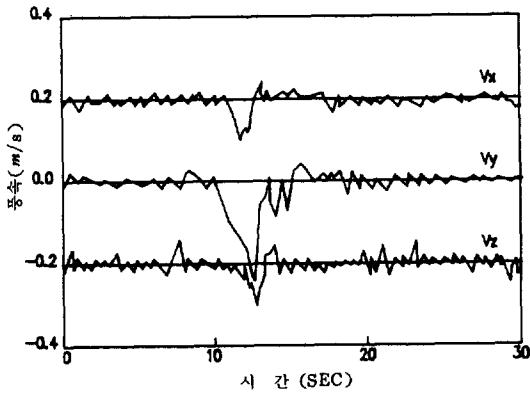


그림 11 작업자가 통로를 보행함에 따른 기류속도의 변동 (Work Bench의 전면상단부의 위치에서 측정함)

(3) 배기의 영향

Clean Room내에는 세정장치 등 약품과 가스를 사용하는 것, 진공펌프의 회전부 등 다량의 발전을 동반하는 것이 다수 존재하고 있고 이 가스나 입자를 옥외로 배출하기 위한 국소배기가 곳곳에 배치되어 있다. 이 배기에 의하여 수직층류가 흐트러지게 된다.

그림 12는 터널 구조에 장치를 설치하고 후부의 Back Panel의 국소배기를 설치한 경우 장치 상부로부터 취출하는 공기가 장치 전면의 통로부쪽에 유출되는 속도를, 배기량을 변

수로 하여 표기한 것이다. 배기량이 많아지면 당연히 통로측으로 취출하는 공기량은 작아지고 그 결과 Air Curtain 효과가 낮아져 통로측의 작업자로부터 발생하는 입자가 장치측에 확산되어 제품 오염을 일으키기 쉽게 된다.

Clean Room 운전의 에너지 절약을 위하여 배기량을 작게하여 외기의 신선공기 도입량을 줄이는 것은 Clean Room 관계자의 소망이기에, 기류제어에 주의를 기울이면서 배기량을 감소시키는 여러가지 시험이 앞으로 행하여질 것이다.

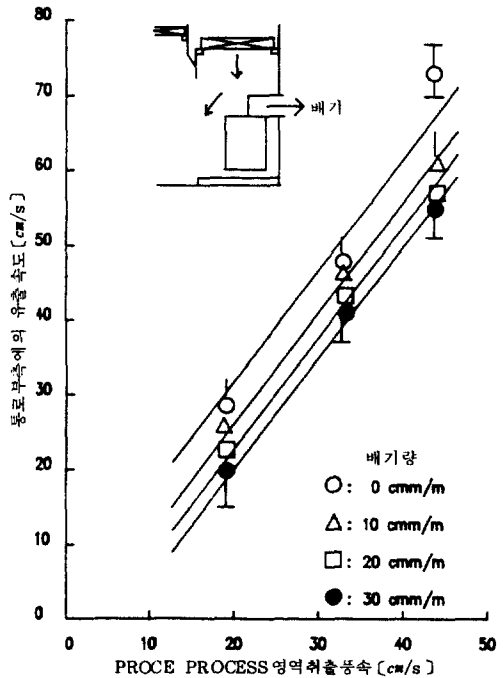


그림 12 Back Panel측 국소배기와 통로부측 유출속도

(4) 발열에 의한 기류의 흐트러짐

Clean Room에 사용되는 장치중에는 전기로 등 열을 발생하는 것이 있고 로입구로부터 나오는 복사열을 배기 덕트를 설치하여 외부에 방출하고 있다. 그러나 장치주위 (특히 상부)로부터의 전도열이 실내에 방출되어 로 표면 온도가 50℃ 이상 되는것도 있다. 이열로 가열된 상승기류는 천정으로부터 토출되는 청정공기의 흐름을 방해하게 된다.

3. 미래의 기술동향

미래의 기류해석은 실험 및 시뮬레이션에 있어서 아주 세밀하고 현실에 일치하는 고도의 정밀성을 요구하고 있다. 실험에는 3차원 저풍속 측정 등 오염이 없는 기류 가시화 기술의 조기개발이 기대되며, 이를 위해서는 신속한 측정 이외에도 로봇과 컴퓨터를 사용하는 자동측정 및 자료처리가 불가피하게 된다.

시뮬레이션을 실험과 정확히 대비하기 위한 컴퓨터를 사용한 수치풍동 시스템의 개발도 진행중이므로 미래에는 컴퓨터 화상처리 기능의 향상에 따라 기류의 가시화 측정시의 정밀도 향상이 기대된다.

실제로 보이는 기류와 미립자의 거동문제를 해석하는데는 靜的시뮬레이션으로부터 진일보한 動的시뮬레이션이 필요하게 된다. 전반적으로는 현상의 해석 데이터가 One Point에

가까운 것이고 앞으로 데이터를 늘림에 따라 체계적인 상관관계가 명백히 밝혀진 기류해석이 가능할 것이다.

이상의 기류제어는 거시적시야에서 언급한 것이며 웨이퍼 표면 근방의 1mm 두께에서의 기류기동이라는 미시적 시야에서의 문제는 현재 전혀 연구되지 못하고 있다.

參 考 文 獻

1. 深尾 : 空氣清淨, Vol. 24, 1986.
2. 超清淨空間評價基準 관련 調査研究報告書, 1987. 日本機械工業連合會
3. 田中他 : AEROSOL 研究, Vol. 2, 1987.
4. 山崎他 : 第5回 空氣清淨 및 Contamination Control 관련 技術研究大會, 1986.
5. 石井他 : 日本建築學術講演概集, 1986.
6. 日本機械學會編 : 技術資料<流體計測法>付録A, 流體의 可視化