

# 기류해석을 이용한 클린룸 내 오염물질의 확산경로 예측

정 기 호<sup>†</sup>

삼성전기 중앙연구소 부산연구분소

## The Qualitative Prediction for diffusion and transition of contaminants in the Clean Room by Numerical Flow Analysis

Giho Jeong<sup>†</sup>

Busan R & D Center, Samsung Electro-Mechanics, 1623-2, NockSan Industrial Complex, SongJeong-Dong, KangSeo-Gu, Busan, Korea

**ABSTRACT:** In this study, the qualitative prediction and evaluation of clean room being utilized for mass production of electronic components have been performed with the help of flow simulation. Compared to the experimental analysis based on measurements of the number of particles, concentration of contaminants and flow characteristics, the numerical analysis used in this study is much cost-effective.

**Key words:** Cleanroom(클린룸), Flow simulation(유동시뮬레이션)

### 기 호 설 명

$p$  : Pressure [psi]

$\vec{V}$  : Velocity

### 그리스 문자

$\Gamma$  : Coefficients

$\rho$  : Density [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\phi$  : Dependent Variables

### 하첨자

eff : Effective value

### 1. 서 론

최근 전세계적으로 전자제품의 수요가 증가하면서, 관련 전자부품에 대한 수요도 폭발적으로 증가하고 있다. 특히, TV나 에어컨 등 대형 가전 제품들과 핸드폰 등 IT관련 전자제품은 우리나라가 세계 1, 2위를 다툴 만큼 기술력을 인정받고 있다.

그러나 이러한 세트업체의 경쟁력에 비해, 전자부품을 생산하는 부문에서의 우리나라 기술력은 아직 세계 1위를 자부하기엔 부족하며 관련 대기업 또한 (주)삼성전기를 제외하고는 전무한 실정이다.

당사가 생산하는 주력 전자 부품은 PCB

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.:82-51-970-8290; Fax:82-51-970-7100(8290)  
E-mail address: giho.jeong@samsung.com

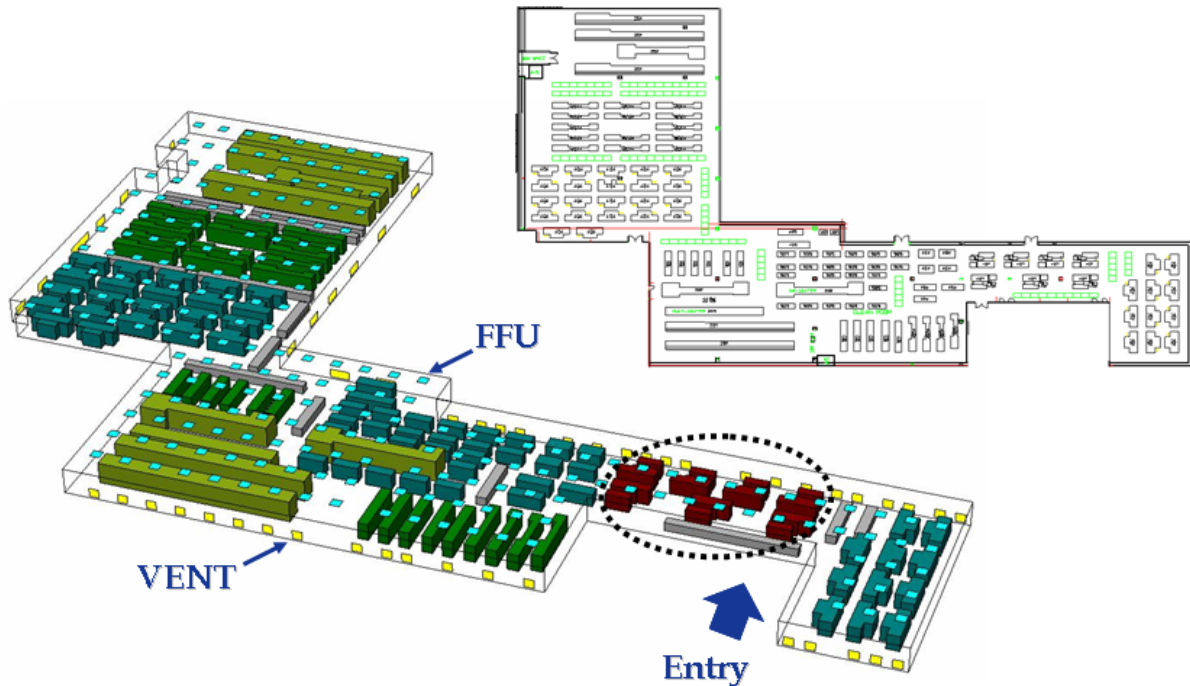


Fig. 1 Schematic view of large cleanroom

(Printed Circuit Board)와 MLCC (Multi Layer Ceramic Capacitor) 등이며 제조공정상 클린룸이 필요하여 여러 크기의 클린룸을 운영하고 있다. 이중 대형 클린룸의 경우에는 내부에 여러 공정이 같이 들어있는 관계로 한 공정에서 발생한 오염물질(입자, VOC's)이 타 공정으로 확산/전이되면서 불량야기 및 작업자의 건강에 영향을 주게 된다.

그러나 지금까지는 측정/관리의 어려움으로 인해 각 공정 별로 기류를 측정하는 방법으로 전체 클린룸에 대한 관리가 이루어졌다. 따라서, 클린룸 내부의 타 공정에서 발생하는 오염물질의 확산/전이 가능성에 대한 관리가 이루어지지 못하고 있어 개선이 요구되고 있다.

본 연구는 이러한 클린룸 전체에 대한 오염물질의 확산/전이 예측기술의 필요성이 커짐에 따라 수치해석적인 방법을 적용하여 클린룸 전체기류에 대한 평가를 하고자 하였다. 본 연구의 결과를 이용하여 전체 클린룸 기류에 대한 정성적인 평가가 가능하였으며, 차후 오염물질의 확산에 기인한 여러 불량개선작업에 가이드 라인으로 적용할 수 있음을 확인하였다.

## 2. 시뮬레이션 방법

### 2.1 클린룸 형상

전체 클린룸의 도면과 개략적인 형상은 Fig. 1에 나타내었으며, 오른쪽 위 그림은 실제 클린룸의 도면을 나타내고 왼쪽하단의 그림은 시뮬레이션을 위해 모델링된 클린룸이다. 전체 클린룸의 가로 및 세로 최대길이는 각각 123m, 76m이고, 총체적은 10404m<sup>3</sup>이다. 공정간 작업연결을 용이하게 하기 위해, 여러 공정이 하나의 클린룸에 같이 배치되어 있다.

Fig. 1에서 점선으로 표시된 부분은 가장 높은 청정도를 요구하는 공정으로서, 본 연구의 주요 개선목표가 되는 공정이다. 실제 공정설비들은 복잡한 형상을 가지고 있지만, 시뮬레이션 시간, 노력 등의 제약으로 인해 직육면체의 조합으로 이루어진 간단한 형상으로 대체하였다. 전체적인 클린룸 기류평가를 위해서는 간략화된 형상으로도 정성적인 분석이 가능할 것으로 판단된다.

### 2.2 지배방정식 및 수치해법

본 연구에서는 3차원 정상상태 Navier-Stoke

Table 1

Terms, coefficients and constants in Eq.(1)

Equations	$\phi$	$\Gamma_{\phi,eff}$	$S_{\phi}$
Continuity	1	0	0
Momentum	$\bar{V}_i$	$\mu_{eff}$	$-\partial p/\partial x_i$
Turbulent, $\kappa$	$\kappa$	$\mu_{eff}/\sigma_{\kappa}$	$S_{\kappa}^*$
Turbulent, $\epsilon$	$\epsilon$	$\mu_{eff}/\sigma_{\epsilon}$	$S_{\epsilon}^*$

\* See details in Hu and Chuah.<sup>(1)</sup>

방정식과 난류모델로는 Standard k- $\epsilon$  model, 농도방정식을 적용하였으며, 식(1)에 보존방정식 기본형을 나타내었고 Table 1에 각 변수들과 상수들을 나타내었다<sup>(1)</sup>. 관련 상수들의 자세한 사항들은 참고문헌과 동일하다.

$$\nabla \cdot (\rho \bar{V}\phi - \Gamma_{\phi,eff} \nabla p) = S_{\phi} \quad (1)$$

식(1)에 나타난 지배방정식의 풀이를 위해 유한체적법 SIMPLE기법을 기본으로 하는 상용 소프트웨어 CFD-ACE(ESI software, USA)를 해석 도구로 사용하였다.

### 3. 해석결과 및 고찰

#### 3.1 클린룸 기류 평가

Fig. 2에 전체클린룸 기류의 속도를 나타내었다. 수직하향방식의 클린룸과는 달리 배기구가 클린룸 벽면에 있어 기본적으로 편향 기류가 발생할 수 밖에 없는 구조이며, 이는 ISO에서 규정하고 있는 deflection angle  $\leq 14^\circ$ 를 만족하지 않는 구간이 발생한다. Fig. 2에서도 이런 특성을 잘 보여주고 있으며, 누기(air leakage)가 없는 시뮬레이션 특성상 배기구에 가까이 갈수록 실제 측정 배기속도보다 속도가 커지는 특성 또한 관찰할 수 있다.

또한 클린룸 구역별로 배기 가능 단면적이 다르기 때문에 클린룸 전체적으로 기류의 방향성을 관찰할 수 있는데, Fig. 3에서 좌측에서 우측으로 흐르는 기류를 볼 수 있다.

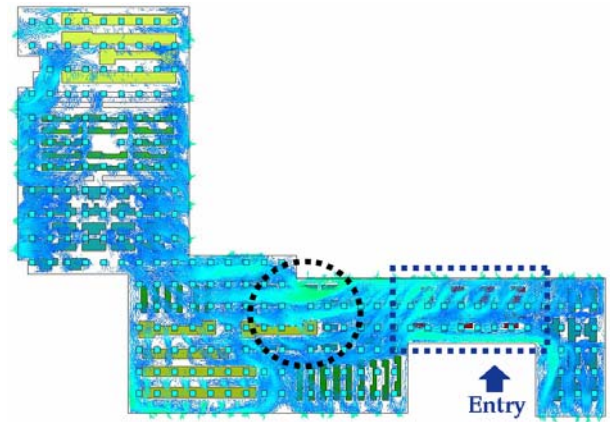


Fig. 2 The overview of flow pattern

Fig. 3은 주요공정 부근에서의 기류를 고찰하기 위해 확대한 그림이다. Fig. 2에 언급한 대로 주요공정으로의 기류가 발생하여, 입자전이의 가능성을 충분히 보여주고 있다. 특히, 클린룸 입구와 근접한 거리에 공정이 배치되어 있어, 클린룸 출입작업자의 영향도 클 것으로 예상된다.

이러한 클린룸내의 기류분포는 실제 공정이물 관리에 있어 매우 주목할만한 사실로서, 평면도를 기준으로 좌측에 배치되어 있는 공정에서 발생한 입자가 우측 공정으로 대류/확산에 의해 전이될 수 있다는 것을 의미한다. 비록 전체적으로 높은 청정도를 요구하지는 않지만 주요공정의 경우는 상대적으로 높은 청정도를 요구하고 있으며, 또한 입자부착 가능성은 작으면 작을수록 좋은 망소특성이므로 Fig. 2, 3과 같은 기류는 개선

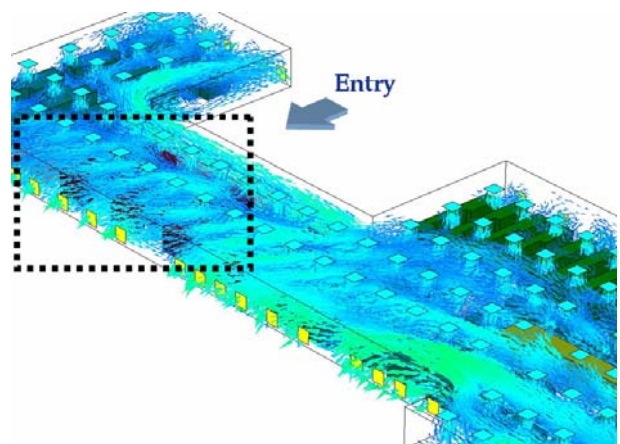


Fig. 3 The zoomed view around target process

할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 3.2 유해물질의 대류/확산에 의한 전파

일반적으로 전자부품 생산공정은 수십 단계의 세부공정을 거치면서 수많은 화학반응을 경험하게 된다. 이러한 과정에서 유해물질이 발생하기도 하여 공정작업자의 건강에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 사회적으로도 큰 이슈로서 환경규제의 대상이다. 당사의 공정에서도 미량의 유해물질이 발생하지만, 생산설비 자체에 공정 부산물을 배기할 수 있는 덕트가 마련되어 있어 환경관련부서에서 전문적으로 처리하고 있다. 따라서 비록 그 가능성은 낮지만, 생산설비 외부로 유해물질이 유출될 경우를 가정하고 이 유해물질이 어떻게 전파되는지를 시뮬레이션 하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

발생하는 유해물질은 톨루엔으로 가정하였으며, 톨루엔의 확산계수는 상온/대기압 조건의 값을 이용하였다. 실제로 확산보다는 대류에 의한 톨루엔 전파가 훨씬 크기 때문에 온도/압력의 함수형태로 확산계수를 적용하는 것과 정확도에서 차이가 없을 것으로 예상된다. 또한 발생하는 톨루엔은 설비 단위표면적당 발생하는 것으로 가정하였으며, 정성적인 해석을 위해서 무차원화한 농도를 가정하였다.

Fig. 4는 1.4m의 높이에서의 톨루엔 상대농도를 나타낸 것으로, 이는 일반적인 작업자의 신장

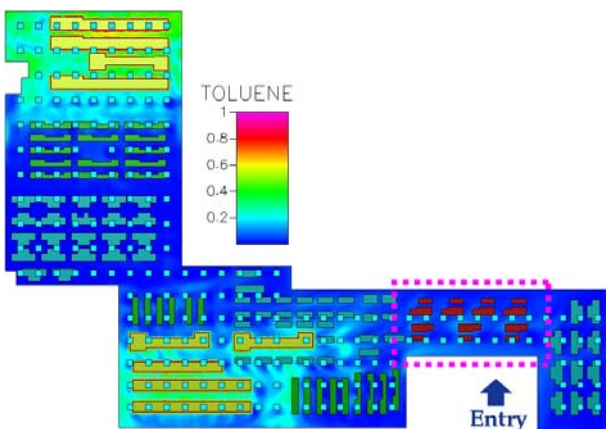


Fig. 4 Toluene concentration at steady state

을 1.6m로 가정할 때 톨루엔을 흡입하는 경로인 입 또는 코가 존재하는 높이로 판단하였다. 톨루엔이 발생하는 공정설비 부근에서는 기류를 타고 톨루엔이 전파되면서 농도가 커지고 있는 현상을 관찰할 수 있으며, 특히 발생공정설비 부근에는 상대적으로 높은 농도가 유지되고 있어, 작업자에게 영향을 지속적으로 줄 것으로 예상된다.

또한 점선으로 표시된 주요 공정에도 톨루엔 전파가 미량 발생하는 것으로 판단되지만, 그 농도가 낮을 뿐만 아니라 톨루엔 농도가 제품의 품질에 미치는 영향이 아직 보고된 바가 없어 고려할 사항은 아닌 것으로 판단된다.

### 3.3 실제 측정치와 비교

Fig. 5는 전체 클린룸을 여러 구역으로 구분하고, 0.5 $\mu$ m 크기의 입자를 실제 측정된 결과를 나타낸 것이다. 주요공정에서의 입자개수가 가장 많은 것으로 측정되었으며, 이는 다른 공정에서 입자가 전이되어 올 수 있다는 기류 시뮬레이션의 결과와 정성적으로 일치하는 현상이다.

따라서, 많은 노력과 시간이 요구되는 실제 측정 작업을 하지 않고도 간편하게 기류 시뮬레이션을 통해 전체 클린룸에 대한 평가를 비교적 정확하게 할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

## 4. 결론

본 연구는 전자부품 생산을 위한 대형 클린룸을 평가하기 위해 기류해석 시뮬레이션을 이용하

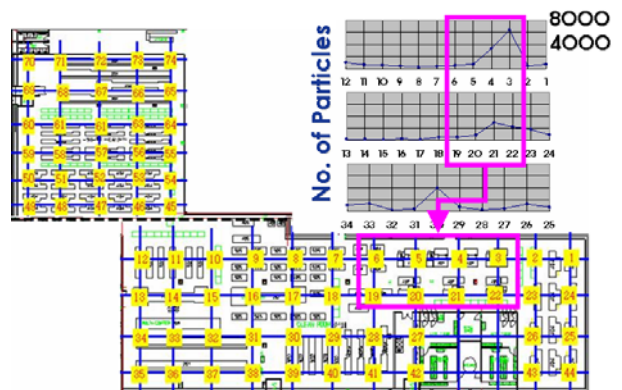


Fig. 5 The measured number of 0.5 $\mu$ m particles

여 전체적인 클린룸을 평가하고, 공정설비에서 발생한 유해물질이 진파되는 정도를 예측하여 작업환경의 정성적인 평가를 수행하였다.

본 연구의 결과를 이용하여 전체 클린룸 기류에 대한 정성적인 평가가 가능하였으며, 차후 오염물질의 확산에 기인한 여러 불량개선작업에 가이드 라인으로 적용할 수 있음을 확인하였고, 또한 실제 생산현장에 적용중이다.

### 참고문헌

1. Hu, S. C. and Chuah, Y. K., 2003, Deterministic simulation and assessment of air recirculation performance of unidirectional flow cleanrooms that incorporate age of air concept, Building and Environment, Vol. 38, pp. 563-570.