

클린룸에서 FFU의 합성소음 예측에 관한 연구 A Study on the Estimation of Composite Noise in Clean room

이현남† · 홍동표 · 조상준** · 문인호***

Lee Hyun-Nam, Hong Dong-Pyo and Cho Sang-Jun and Moon In-Ho

Key Words : Composite Noise(합성소음), Clean Room(클린룸), FFU(Fan Filter Unit), Point Sound Source(점음원)

ABSTRACT

Recently, some semiconductor and LCD manufacturers require equipment suppliers to serve the data of composite noise for clean room. In this study, we evaluate the composite noise of clean room by numerically and experimentally. The value of experimental result is more higher than calculated one as much as 1~2dB(A).

1. 서 론

국내의 클린룸은 반도체와 LCD 생산 증대에 힘입어 최근 몇 년간 급속하게 발전하여 왔다. 특히 LCD 분야에서는 시장 선점을 위한 국내 기업들의 경쟁이 치열해지고 있으며, 중국 및 대만 등의 해외 시장에서도 점점 더 이 분야의 투자가 증대되고 있는 실정이다. 클린룸의 청정도 유지를 위하여 설치되는 장비의 핵심 요소인 FFU는 성능 향상과 원가 절감에 의한 구조의 변경도 짧은 시간에 이루어지고 있으며, 이에 따른 FFU의 소음절감에 대한 대책도 불가피하게 되었다. 특히 산업 현장에서 인간에 대한 근로 복지가 향상되면서, 지금까지 주로 단품의 소음만을 관리하던 상황에서 실내 소음에 대한 규정을 제시하고 있으며, 이의 준수를 요구하고 있어 소음에 대한 중요성이 날로 증대되고 있다. 당사에서 생산되고 있는 FFU의 소음은 암소음이 30dB(A)이하인 차음실에서 필터 직하 1m에서 측정한 소음값으로 평가하고 있으며, 현장에서는 사용자가 단품의 FFU를 설치하였을 때 클린룸 전체에서 각각의 FFU에서 발생되는 소음의 합성값이 환경 소음기준 허용치인 65dB(A)를 만족하는지 평가하고 있다. 클린룸 설계에서 풍량이 많고 소음도가 높은 FFU를 적용하여 확산형 클린룸을 설계하거나, 풍량이 적고 소음도가 낮은 FFU를 밀집하게 설치하여 층류형 클린룸을

설계 시공하는 경우도 있다. 각각의 소음발생 정도와 배치 방법 및 높이에 따라서 클린룸의 전체 소음 분포는 달라지게 되며, 이에 대한 예측이 필요하다. 일반적으로 소음의 합산은 소음원을 점음원, 선음원 또는 면음원으로 가정하여 거리감쇠치를 고려하여 계산하게 된다.

지금까지 발표된 연구들은 주로 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 건물의 기계실 설비소음의 전달을 예측⁽¹⁾하거나 송풍기 단품에 대한 소음의 특성⁽²⁾들을 연구하여 발표한 것은 있으나 실제 클린룸 내부에서의 합성소음에 관한 연구 자료는 발표된 것이 없다.

본 논문에서는 FFU를 점음원으로 가정하여 4가지의 FFU 설치 방식에 따라 클린룸의 소음을 예측하였으며, 모델 클린룸에서 동일한 조건에서 측정하여 비교검토 하였다.

2. 합성 소음의 계산

2.1 소음의 거리 감쇠⁽³⁾

기상조건·반사·지면 및 수목의 흡음 등을 배제한 이상적인 상태에서 소음의 거리감쇠를 살펴보기로 한다.

(1) 점음원

전파거리에 비해 크기가 아주 작은 음원은 점음원으로 볼 수 있으며 자유공간 내의 모든 방향으로 일정한 음을 방사하는 점음원이 있을 경우, 음원으로부터 거리 $r(m)$ 떨어진 점의 음의 세기는 반경 R 는 반경 r 의 구면 전체를 1초 동

† 이현남, (주)신성이엔지
E-mail : snlee@shinsung.co.kr
Tel : (031) 788-9315, Fax : (031) 788-9440

* 전북대학교
** (주) 신성이엔지
*** (주) 신성이엔지

안 통과한 음에너지와 음원의 음향파워 W가 서로 같으므로
음의 세기는 다음과 같다.

$$I = \frac{QW}{4\pi r^2} \text{ w/m}^2 \quad (1)$$

여기서, $Q=1$ 이므로

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2)$$

위 식을 레벨로 나타내면

$$\begin{aligned} SPL &= PWL + 10 + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right) \\ &= PWL - 20 \log r - 11 + 10 \log Q \\ &= PWL - 20 \log r - 11 + DI \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $DI=0dB$ 이므로

$$SPL = PWL - 20 \log r - 11 \quad (4)$$

한편, 반사가 큰 지면위에 점음원이 있는 경우

$$\begin{aligned} SPL &= PWL - 10 \log r^2 - 11 + 10 \log 2 \\ &= PWL - 20 \log r - 8 \end{aligned} \quad (5)$$

음원으로부터 $r_1(m)$ 떨어진 지점의 음압레벨을

SPL_1 , $r_2(r_2 > r_1)$ 지점의 음압레벨을 SPL_2 라 하면 두 지점 사이의 거리에 따른 거리 감쇠치 L_a 는

$$\begin{aligned} L_a &= SPL_1 - SPL_2 \\ &= (PWL - 10 \log S_1) - (PWL - 10 \log S_2) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, S_1 및 S_2 는 거리 r_1 및 r_2 를 반경으로 한 음선에 수직하는 구의 표면적으로 $4\pi r_1^2$ (혹은 $2\pi r_1^2$) 및 $4\pi r_2^2$ (혹은 $2\pi r_2^2$) 이므로

$$L_a = 10 \log \left(\frac{S_2}{S_1} \right) = 10 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right) dB \quad (7)$$

즉, 점음원으로부터 거리가 2개 멀어질 때마다 음압레벨이 $6dB(=20 \log 2)$ 씩 감쇠되는데 이를 역2승 법칙이라 한다.

(2) 선음원

선음원의 거리 감쇠는 다음과 같다.

$$L_a = 10 \log \left(\frac{S_2}{S_1} \right) dB \quad (8)$$

여기서, S_1 및 S_2 는 거리 r_1 및 r_2 를 반경으로 한 음선에 수직하는 원통의 표면적으로 $2\pi r_1$ (혹은 πr_1) 및 $2\pi r_2$ (혹은

πr_2) 이므로

$$L_a = 10 \log \left(\frac{2\pi r_2}{2\pi r_1} \right) = 10 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right) dB \quad (9)$$

선음원에서는 $3dB(=10 \log 2)$ 씩 감쇠한다.

(3) 면음원

실용적으로 짧은 변의 길이를 a , 긴 변의 길이를 b 라 할 때, $r < \frac{a}{3}$ 인 경우

$$La = SPL_1 - SPL_2 = 0 \quad (10)$$

$\frac{a}{3} < r < \frac{b}{3}$ 인 경우

$$La = SPL_1 - SPL_2 = 10 \log \left(\frac{3r}{a} \right) dB \quad (11)$$

$r > \frac{b}{3}$ 인 경우

$$La = SPL_1 - SPL_2 = 0 \quad (12)$$

$$= 20 \log \left(\frac{3r}{b} \right) dB + 10 \log \left(\frac{b}{a} \right) dB \quad (13)$$

I 는 음의 세기 (w/m^2), C 는 음속 (m/s)

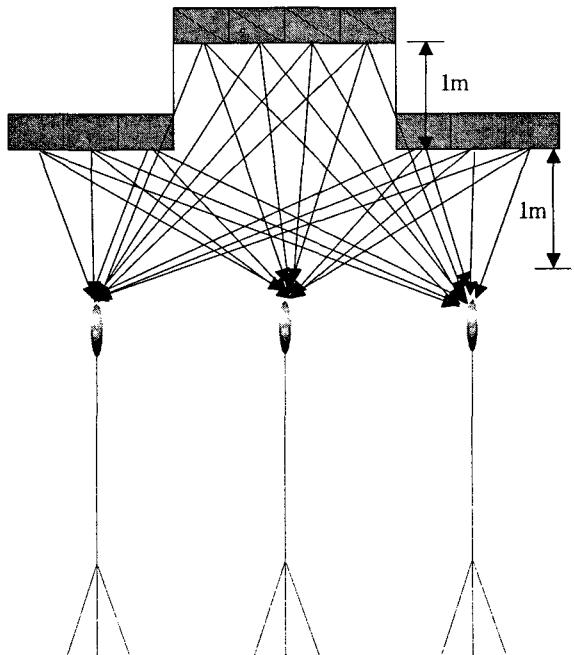


Fig.1 Composite Noise

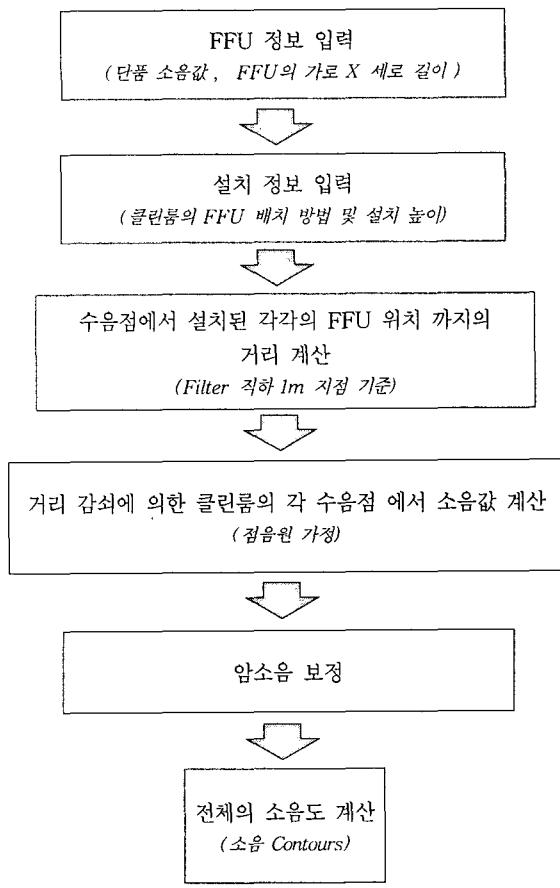


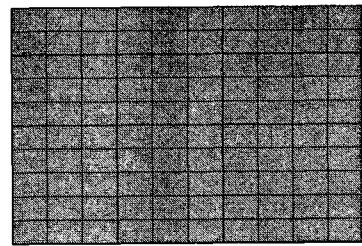
Fig.2 Flow Chart For Composite Noise Estimation

3. 합성 소음 예측 모델 설정 및 Simulation

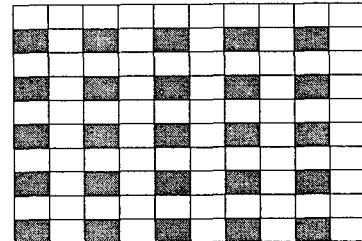
FFU의 현장 설치 시 FFU 갯수, 설치 위치 및 높이 따라서 합성소음 예측치를 계산하기 위해 현장에서 주로 사용하는 배치 형태인 Type 1,2,3,4의 시뮬레이션 배치 모델을 선정 하였으며, 암소음 30dB(A)인 클린룸에 설치된 단품소음 51.5dB(A)인 FFU를 점음원으로 가정하여, 거리 감쇠에 따른 합성 소음을 계산 하였다. Fig. 1은 합성소음 계산을 위해 사용된 모델링을 나타내고 있으며, Fig. 2는 합성소음 계산과정을 나타낸 흐름도이다.

3.1 합성 소음 계산 시뮬레이션 모델

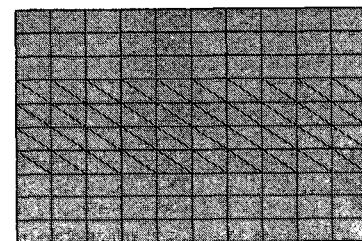
소음 측정 모델로 (a) Type 1(전체 설치), (b) Type 2(부분설치), Type 3(설치 및 중심부 설치 높이 변경), (d) Type 4(부분설치 및 중심부 설치 높이 변경)으로 Fig. 3에 서와 같이 4가지로 가정 하였다.



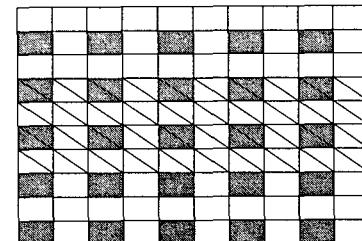
(a) Type 1



(b) Type 2



(c) Type 3



Type 4

Fig.3 Simulation Model
: FFU, : 설치 높이 2m)

4. 실험

4.1 합성 소음의 측정

합성 소음의 측정을 위해 당사에서 보유하고 있는 모델 클린룸에서 FFU의 배치 형태에 따른 실제 측정을 수행 하였다. 시뮬레이션 조건과 동일한 상태로 FFU를 작동 시킨 후 소음 측정을 수행 하였다. 측정에 사용된 장비로 B&K

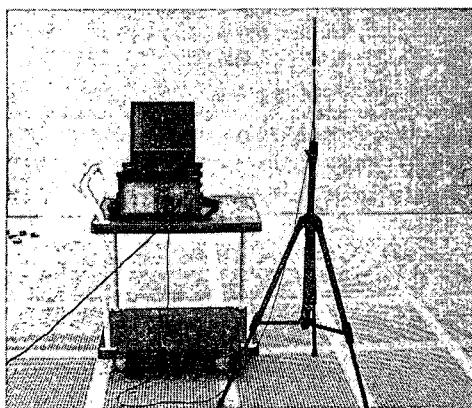


Fig.4 Experimental Setup for Measurement

1		6		11	
				16	
					21
2		7		12	
				17	
					22
3		8		13	
				18	
					23
4		9		14	
				19	
					24
5		10		15	
				20	
					25

Fig.5 Noise Measurement point

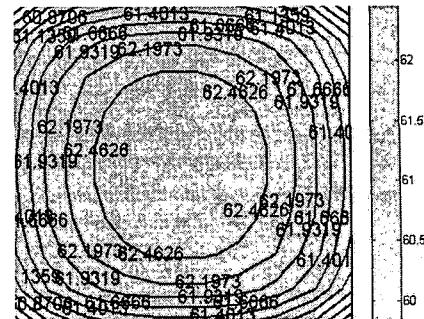
3560D FFT와, 4190 Condensor Microphone을 사용 하였다. Fig 4는 측정에 사용된 소음측정 장치이며, 소음 측정 위치는 Fig 5에서와 같이 총 20point로 1/1 옥타브 63~8K㎐ 범위에서 각 30초간 측정 하였다.

5. 시뮬레이션 및 측정 결과 비교 검토

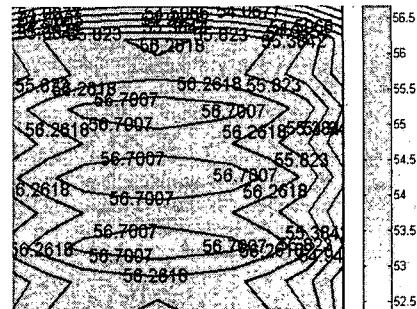
5.1 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과 클린룸에서 FFU 높이와 배치에 따라서 각각의 공간 위치에서 시뮬레이션 모델 차이에 의한 소음 분포를 가시적으로 쉽게 확인 할 수 있다.

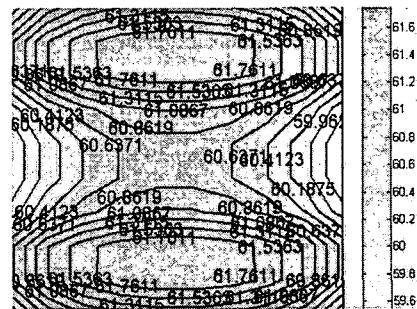
배치 형태와 중심부의 높이 변화에 따른 영향을 배치 모델 Type에서 확인할 수 있으며, 전체 설치한 Type 1 모델에 비하여 최고 소음도의 변화가 Type 2에서 4~5dB(A), Type 3에서 2~3dB(A), Type 3에서 4~5dB(A) 감소 하였다.



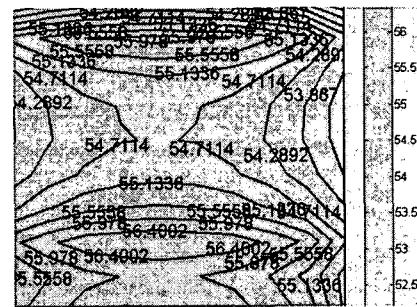
(a) Type 1



(b) Type 2



(c) Type 3



(d) Type 4

Fig.6 Simulation Result

63.1	62	62.9	62.2	62.9
63.3	63.4	64.1	63.1	62.3
63.1	63.9	63.7	63.1	62.4
63.1	64.2	65.8	63.4	62.6
62.9	63.1	63	63	63.2

(a) Type 1

57.1	57.3	57.4	57.2	57.2
57.3	58	59	58.3	57
57	58.2	58	58	56.3
57.1	58.4	59.3	58.9	58.2
57.8	57.4	57.2	57	57.2

(b) Type 2

62.1	62	61.9	62.2	61.9
62.3	62.4	61.1	62.1	61.3
62.2	61.9	61.7	62.1	61
62.1	61.2	61.8	62.4	62.4
61.9	62.1	62	62	61.2

(c) Type 3

55.3	54.2	56.9	56.3	56.9
55.6	55.4	55.5	55.4	54.3
54.4	55.9	55.7	55.1	56.3
55.1	55.2	55.8	55.4	54.6
56	56.1	55.9	56	55.7

(d) Type 4

Fig.7 Measurement Result

5.2 실험 결과

소음 측정 결과 Fig 7에서 시뮬레이션 값에 비해 1~2dB(A) 정도 증가되는 결과를 보였다. 계산 결과와 실험 결과의 차이는 크게 음원을 점음원으로 가정한 것에 의한 오차 및 클린룸내의 흡음율에 따른 내부 반사음의 영향이라고 볼 수 있다.

소음원 가정에 대한 검토가 필요하며, 실제 현장 조건에 대한 고려가 필요 할 것으로 판단된다.

6. 결론

반도체 공장의 클린룸 내에서의 FFU에 의한 합성소음을 예측하기 위하여 4가지의 배치 모델을 가정하여 시뮬레이션과 실험을 통한 검증을 수행 하였다. 실제 측정 소음값이 시뮬레이션 값보다 1~2dB(A)정도 증가 하여 예측 결과와의 차이를 보였으나, FFU의 배치에 따른 전체 현장의 합성소음을 예측하거나, 요구되는 단품의 소음 사양을 결정해야 할 때 상대적인 비교 자료로 유용하게 사용 될 수 있으리라 판단된다. 본 논문에서 소음원을 점음원으로 가정하여 계산 한 결과 측정 소음값과의 차이가 발생 하였다. 측정값과 근접한 결과를 얻기 위해서는 실험을 통하여 FFU 단품의 소음 거리 감쇠를 측정하고 획득된 감쇠율을 시뮬레이션 모델에 적용하고, 실제 현장의 바닥, 벽면, 천장의 흡음을 및 반사율을 등을 고려하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) 서정석 외, 2004, “컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 병원 기계실의 설비소음 전달예측”, 대한설비공학회 학계학술발표대회논문집, pp. 626~631.
- (2) 박상규, 1993, “송풍기 소음의 원인과 대책”, 냉동공조기술, Vol.10, No.10, pp. 626~631.
- (3) 정일록외, “최신 소음 진동 이론과 실무”, 신풍문화사