

Equipment Fan Filter Unit (EFFU)의 Particle 제거 성능평가 방법

이양우 · 안강호[†]

[†]한양대학교 기계공학과

Test Method for Particle Removal Characteristic of Equipment Fan Filter Unit (EFFU)

Yang-woo Lee and Kang-Ho Ahn[†]

[†]Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang University

ABSTRACT

This test method covers a procedure for measuring particle removal characteristic of equipment fan filter unit(EFFU) installed inside of semiconductor process equipments, FPD manufacturing equipments and so on. Since EFFU is a combination of air filter and the assembly of fan, motor and frame, the integrity of these parts is very important for the performance of EFFU. So a conventional particle removal test method for air filters is not suitable for EFFU particle removal performance. This test method defines an evaluation method for EFFU which is installed inside an enclosed space to remove particles that are generated inside process equipment. The particle removal performance of EFFUs is usually depending on the performance of filter media and air flow rate. To understand a performance of an EFFU, the filter media characteristic, air flow rate and the integrity of EFFU parts should be considered simultaneously. This test method is intended to demonstrate the system performance of an EFFU and successfully evaluated EFFU performance characteristics.

Key Words : Equipment Fan Filter Unit (EFFU), Particle removal characteristics, Enclosed space, Test method

1. 서 론

반도체 제조장비, FPD 제조장비 등은 클린룸에서 생산하는 제품의 수율을 높이기 위하여 particle이 없는 상태에서 작동하도록 되어있다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여 clean room을 사용하고 있다. 최근에 particle 제거 기술은 비약적으로 발전하여 ISO Class 1 또는 이 이하의 클린룸들을 잘 만들고 있다. 그러나 클린룸 자체의 청정도는 매우 잘 유지할 수 있으나 제품을 생산하는 제조장비의 내부는 아직 particle 제어에 많은 어려움을 겪고 있다. 이의 해결책으로 최근 들어 제조장비 내부에 fan 과 filter가 부착된 장치를 설치하는 경우가 늘어나고 있다. 이러한 fan과 filter가 일체가 되어 제조장비 내부에 설치되어 particle을 제거하는 장치

를 equipment fan filter unit (EFFU)라 부른다.

그러나 EFFU를 장비에 장착하고자 할 때 EFFU의 particle 제거 특성을 알지 못해 장비 설계 시 많은 어려운 문제점을 현장에서 갖고 있다. 특히, EFFU의 particle 제거특성에 대한 시험방법이 없어 이를 표시할 수 있는 방법도 없다. 기존에 필터나 FFU의 성능평가에 대한 방법은 제시되고 있으나 EFFU의 particle제거 성능평가에 대한 표준시험방법은 아직 없다[1, 2]. 일반적으로 EFFU에 장착된 filter의 성능을 EFFU의 particle제거 성능으로 보고 현장에서 사용하고 있으나, 이는 fan 과 filter 혹은 frame 사이에 간극 없이 밀착이 잘 되어 particle이 빠져나가지 않는다는 가정하에서는 성립한다고 볼 수 있다. 그러나 EFFU의 제조 특성상 풍량과 fan, filter, frame 들의 system integrity 등이 EFFU의 particle 제거 특성에 영향을 미칠 것이다. 따라서 본 논문에서는 EFFU의 particle 제거 특성을 평

[†]E-mail : khahn@hanyang.ac.kr

가하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험장치

Fig. 1은 EFFU의 particle제거 성능평가를 위한 실험 개략도이다. 이 시험챔버는 1.7 m × 1.7 m × 1.7 m의 약 4.9 m³의 체적을 가지며 챔버 주위의 온도와 습도는 23°C, RH 50%로 유지하는 클린룸내에 설치하였다. 챔버의 내면은 입자의 발생을 최소화하고, 정전기에 의한 입자의 벽면 부착을 최소화하기 위해 경면 처리된 스테인리스 스틸 재질을 사용하였다. 시험체 (EFFU)는 챔버의 중앙에 위치시켰으며, condensation particle counter (CPC, HCT, Korea)의 입자샘플링 프로브는 EFFU의 상단 위 10 cm에 위치시켰다. 입자 샘플링 프로브는 입자의 손실을 최소화하기 위해 도전성 물질인 스테인리스 스틸 튜브를 사용하였다. CPC가 샘플링한 유량 만큼 보충하기 위한 make-up 공기는 챔버 외부에서 HEPA filter를 통과시켜 챔버 내부로 유입시켰다. 실험은 EFFU를 작동시키기 전에 챔버 내부로 대기중 입자나 시험 입자로 충전시킨다. CPC로 챔버 내부에 충전된 입자의 농도를 모니터링하면서 EFFU를 작동시킨다. EFFU가 작동되면서 챔버 내부의 입자 농도는 떨어지게 된다.

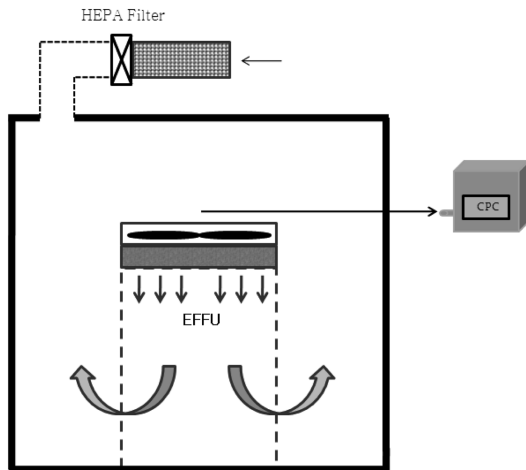


Fig. 1. Schematic of test chamber and equipment set-up.

3. 입자농도변화에 대한 이론적 배경

EFFU가 작동하면서 챔버내의 particle농도 변화 특성은 Fig. 2를 참조하여 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다 [3].

$$\begin{aligned} V \frac{dC_i}{dt} &= S - C - Q_e \cdot C_i - \eta \cdot Q_r \cdot C_i \\ &= (S - R + Q_i \cdot C_0) - (Q_e + \eta \cdot Q_r) \cdot C_i \\ &= \beta - \alpha \cdot C_i \end{aligned} \quad (1)$$

이 식에서 V 는 시험챔버의 내부 용적, C_i 는 시험챔버 내부의 입자농도, C_0 는 make-up air내의 입자 농도이다. 일반적으로 make-up air 주입구에 HEPA filter를 설치하여 운전하므로 C_0 값은 0이다. Q_e 는 샘플링 공기의 유량, Q_i 는 make-up air의 유량, Q_r 은 EFFU의 처리 유량, S 는 챔버 내부에서의 입자발생량, R 은 챔버 내부 표면에 입자의 확산, 중력에 의한 침착 등에 의한 입자 제거량, h 는 EFFU의 입자 제거효율을 나타낸다. 또한 식 (1)에서 $b = S - R + Q_i \cdot C_0$, $\alpha = Q_e + h \cdot Q_r$ 이다.

초기조건 $C_i = C_{i,0}$ @ $t=0$ 을 사용하여 식 (1)을 적분하면,

$$C_i = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{\beta - C_{i,0} \cdot \alpha}{\alpha} \right) \cdot \exp\left(-\frac{\alpha \cdot t}{V}\right) \quad (2)$$

가 된다. 이 식에서 $C_0 = 0$, $S = 0$, $R = 0$ 이 만족되면 $b = 0$ 이 된다. 따라서 식 (2)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_i &= C_{i,0} \cdot \exp\left(-\frac{\alpha \cdot t}{V}\right) \\ &= C_{i,0} \cdot \exp(-\gamma \cdot t) \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 $\gamma = \frac{\alpha}{V}$ 는 시험체 (EFFU)의 입자제거특성을 나타낸다. 따라서 γ 값을 실험에 의해 구하면 EFFU의 입자제거 특성을 알 수 있다.

4. 실험결과 및 해석

시험체 EFFU model 1과 EFFU model 2를 4.9 m³ 챔버내에서 대기중입자를 사용하여 particle제거 성능을 평가한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 챔버 내부에 시험체를 넣지 않은 상태에서 입자를 샘플링 하였을 경우 입자들의 벽면 침착에 의한 농도 감소는 거의 미미한 것을 볼 수 있다 (Natural decay).

그러나 EFFU를 시험 챔버에 장착한 후 시험을 하면 입자농도 변화가 급격히 발생하는 것을 볼 수 있다. 입자농도의 감소가 급격하게 줄어들 수록 EFFU의 입자 제거 성능이 더 좋다는 것을 의미한다. Fig. 3에서 약 600초까지 입자의 농도가 변하지 않고 있다가 농도가

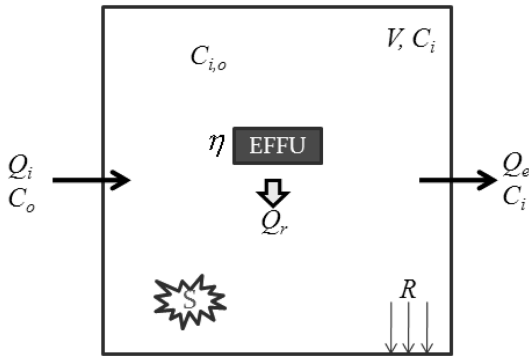


Fig. 2. Schematic of particle concentration changes in a test chamber.

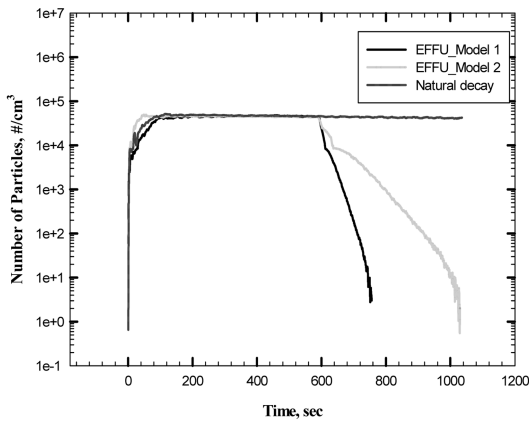


Fig. 3. Particle concentration changes for 3 different cases.

급격히 떨어지는 것은 EFFU가 가동을 시작한 시간과 일치하여 챔버내부의 입자가 제거되기 시작하였기 때문이다.

따라서 Fig. 3의 실험결과에서 입자농도의 감소 정도에 대한 regression line을 입자농도 감소구간에서만 적용하여 기울기를 구하면 된다. 이 기울기가 식 (3)의 γ 값이 된다.

Fig. 4는 2가지 모델 (시험체)의 EFFU에 대한 실험 결과에 대해 기울기를 구한 것이다.

Test Model 1의 γ 값은 0.0465, Test Model 2의 γ 값은 0.0185가 된다. 따라서 본 실험은 챔버의 내부 용적이 4.91 m³가 되는 곳에서 이러한 성능을 보여주었다. 만약 똑 같은 Test Model 1을 사용하여 10 m³ 공간내에 발생된 오염입자를 99.9% 제거하는데 걸리는 시간을 알고 싶으면 다음과 같은 과정을 통하여 예측할 수 있다.

실험에서 기울기와 시험 챔버의 용적을 알고 있으므로

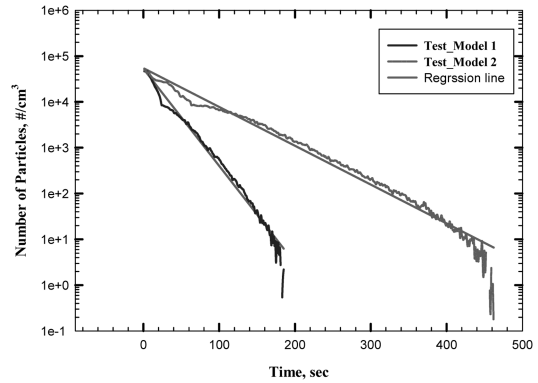


Fig. 4. Regression of EFFU test results.

로 α 는

$$\alpha = \gamma \cdot V = (0.0465) \cdot (4.91) = 0.228 \text{ 이 된다. 따라서}$$

식 (1)에서 $\alpha = Q_e + \eta \cdot Q_r$ 이므로

$$0.228 = 0.001 \text{ m}^3/60 \text{ s} + \eta \cdot Q_r,$$

$$\eta \cdot Q_r = 0.228 \text{ 이 된다.}$$

이 결과에서 보면 CPC의 샘플링 유량, Q_e , 이 작으면 $\alpha \approx \eta \cdot Q_r$ 이 된다. 여기서 Test Model 1을 10 m³ 공간에 설치하게 되면

$$\gamma' = \frac{\alpha}{V'} = \frac{0.228}{10} = 0.0228 \text{ 이 된다.}$$

따라서 식 (3)에 앞에서 구한 값들을 대입하면 오염입자를 99.9% 제거하는데 걸리는 시간은 다음과 같다.

$$C/C_{i,0} = \exp(-\gamma' \cdot t)$$

$$0.001 = \exp(-0.0228 \cdot t)$$

$$\therefore t = 303 \text{ s}$$

이상과 같은 방법으로 EFFU를 시험 평가하여 γ 값을 구하면, 오염 공간의 적정 청정도를 유지하기 위한 적절한 EFFU를 선정하는데 많은 도움이 될 수 있다. 즉, 반도체 및 FPD 장비 내부의 청정도 유지 및 설계에 필요한 적절한 EFFU 선정을 합리적으로 할 수 있다.

5. 결 론

반도체 및 FPD 장비 내부에 사용되는 Equipment Fan Filter Unit (EFFU)의 성능평가 방법 및 표시 방법을 개발하였으며, 이를 이용하여 공정장비 설계시 적절한 EFFU의 선정방법을 제시하였다.

참고문헌

1. 한국산업규격, SPS-KACA010-0140(2002.12.31) 팬필터 유닛.
2. SEMI F38-0699-Test method for efficiency qualification of point-of-use gas filters.
3. 최석호, 안강호, “동적특성방법을 이용한 실내용 공기

청정기의 효율 평가,” 공기조화 냉동공학회, ‘97하계 학술발표회 논문집, pp273-278, 1997.

접수일: 2012년 5월 28일, 심사일: 2012년 6월 5일,
2차심사일: 2012년 6월 12일, 게재확정일: 2012년 6월 15일