

CCM 정밀 조립 공정에 사용되는 장비의 청정도 평가 A Clean Level Test for a Precise Devise in CCM Assembly Process

*이문석¹, #박영진²

*K. D. Hong¹, #K. D. Kim(ID@email.com)²

¹ KAIST 기계공학과, ² KAIST 기계공학과

Key words : Clean level test, Stage

1. 서론

현재 반도체 및 LCD, Compact Camera Module(CCM)과 같이 고정밀도를 요하는 제조 공정들이 산업 전반에 걸쳐 증가하고 있다. 이런 정밀 공정은 제조 공정에서의 고정밀도 제어도 중요하지만, 미세 먼지에 의해 제품이 오염되어 제품의 불량률이 발생하는 문제도 매우 중요하다. 이런 미세 먼지에 의한 제품의 오염을 막기 위해, 정밀 제조 공정 외에 작업 환경을 고 청정의 환경으로 유지하는 것도 매우 중요하다. 이런 정밀 공정이 이루어지는 clean room¹은 ISO standard 14544-1 등에서 Table 1 과 같이 제시되는 청정 기준으로 평가되며, ISO standard 14544-1 기준으로 고 정밀 작업들은 Class 4 혹은 5 의 깨끗한 환경에서 작업이 이루어져야 한다. 이를 위해, clean room 에 대한 여러 청정 방법들이 제시되어 왔으며, 이런 방법들은 clean room 의 청정도를 평가하는 방법, 혹은 외부에서 유입되는 먼지를 효과적으로 차단하는 방식에 관한 여러 지침들로 이루어져 있다.

반면 국부적으로는 공정에 필요한 여러 장비들이 clean room 내에서 미세 먼지를 발생시킬 수 있는데, 이 장비들은 실제 작업 공정이 이루어지는 공간에 가장 가까이 위치하고 있어, 미세 먼지에 의한 제품 수율에 큰 영향을 끼칠 수 있다. 하지만, clean room 에 대한 청정 기술들과 기준들은 이런 장비들의 청정도 평가에 직접적으로 적용할 수 없으며, 그에 따른 효과도 매우 미비하다.

본 연구에선 이런 고 청정을 요하는 정밀 공정에서 사용되는 장비들이 작업 환경의 청정도에 미치는 영향을 실험을 통해 살펴보고자 한다. 또한, 특별히, Compact Camera Module 자동화 조립 공정에 사용되는 Zθ stage 에 대해서 평가를 수행하고자 한다. 이를 위해, Zθ stage 에서 발생하는 미세 먼지 량을 측정하는 방식을 제안하고, 이를 실험을 통해 측정을 한다. 또한 측정된 결과를 토대로 Table 1 에서 제시된 clean room 평가 기준에 따라 발생된 미세 먼지가 작업 환경에 미치는 영향을 평가하도록 한다.

Table 1 Maximum concentration limits (Particles/m³) according to

Class	ISO Standard 144644-1Class					
	Particle size(um)					
	>=0.1	>=0.2	>=0.3	>=0.5	>=1	>=5
1	10	2
2	100	24	10	4
3	1000	237	102	35	8	...
4	10000	2370	1020	352	83	29
5	100000	23700	10200	3520	832	293
6	1000000	237000	102000	35200	8320	2930

2. Stage 에서의 미세 먼지 측정

2.1 Stage 에서의 미세 먼지 발생 원인

Fig. 1 은 본 연구에서 사용되는 Zθ stage 의 모습을 보여 준다. 이 stage 는 shaft 가 coil motor 에 연결되어 있으며, shaft 의 축 방향으로 직선운동과 축을 중심으로 θ 방향의 회전운동을 하는데, 이 때 베어링과의 shaft 사이에 마찰이 일어난다. 이런 마찰에 의한 베어링의 수명이 단축되는 것을 막고, shaft 의 원활한 운동을 위해 베어링 내에 윤활유가 존재하는데, shaft 의 운동 시, 베어링과 shaft 사이의 마찰에

의해 베어링 부분에 열이 발생하고, 이 열로 인해 윤활유의 입자들이 활성화되어 외부로 방출된다. 이로 인해, Fig. 1 에서 보이는 것처럼, 작업이 이루어 지는 target 영역으로 미세 먼지들이 분사되어, 작업 환경을 오염시키고, 제품의 불량률을 야기하게 된다.

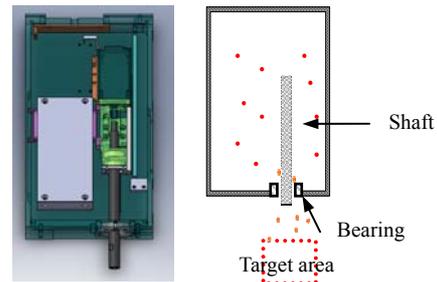


Fig. 1 Zθ stage

2.2 Stage 에서의 미세 먼지량 측정 방법

앞에서 설명한 것처럼 stage 에서 발생한 미세 먼지에 의해 주위의 공기가 얼마나 오염되는지를 파악하기 위해선 먼지 작동 중에 stage 에서 발생하는 미세 먼지량을 측정해야 한다. 본 연구에서는 미세 먼지 크기에 따라 미세 먼지 개수를 측정하기 위해 Hira/Royco (Optical Particle Counter) 를 사용하며, 이 OPC 는 크기 0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5, 20 um 단위로 흡입한 공기 중의 미세 먼지 개수를 측정해 준다.

일반 공기 중에는 미세 먼지가 1cc 당 수백 개 존재하는데, 1m³ 안에서는 그 수가 헤아릴 수 없을 만큼의 많다. 이 경우, 일반 공기 중에서 stage 를 작동시켜 미세 먼지 개수를 측정하면, 주변의 미세 먼지에 의해 stage 에서 발생한 미세 먼지 양을 구분해 내기 힘들다. 그러므로, stage 에서 발생하는 미세 먼지의 양에 따라 ISO standard 14544-1 기준으로 class 4 혹은 5 의 청정한 조건에서 stage 를 작동시켜 그 때 발생하는 미세 먼지 개수를 측정해야 한다. 이를 위해, 본 연구에서는 Hepa filter 를 통해 외부로부터의 미세 먼지 유입을 차단한 밀폐 공간을 만들고, 이 공간에서 stage 를 작동시켜 stage 에서 발생하는 미세 먼지 개수를 OPC 를 통해 측정하였다. Hepa filter 는 0.3um 이상의 크기를 가지는 미세 먼지를 99.99% 걸러 내주며, 밀폐공간은 OPC 에서 흡입되는 공기에 의해 내부 공기가 빠른 속도로 순환되도록 Fig. 2 처럼 실험 장치를 꾸몄다.

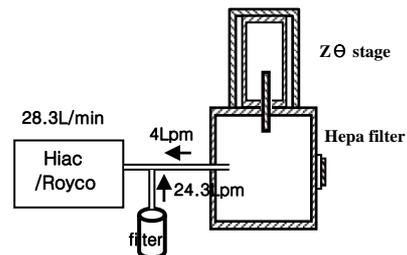


Fig 2. Experimental setup for clean level test

2.3 Stage 에서 발생한 미세 먼지 개수

Fig. 2 와 같은 실험 장치로 미세 먼지 크기에 따라 stage 에서 발생한 미세 먼지 개수를 OPC 를 통해 측정하였다.

Fig. 3 은 stage 작동 하기 전, 작동 중 그리고 작동한 후에 2 분 간격으로 OPC 에서 측정된 0.3um 에서 0.5um 사이의 미세 먼지 개수를 시간에 따라 측정한 결과를 보여주고 있다. 작동 전의 상황을 보면, 8L 당 약 40 개의 미세 먼지가 측정되는데, 이는 ISO 규격으로 Class 4 은 조금 넘고, Class 5 는 만족하는 청정도이다. 이는 Federal Standard 209D 로 Class 10 과 Class 100 사이에 해당한다. 반면, 0.5um 이상의 미세 먼지는 그림에 추가하지 못했지만, 모두 ISO Class 4(Federal Standard Class 10)을 만족하였다. 이를 통해, 청정한 환경에서 실험을 수행하였음을 알 수 있으며, 또한 stage 에서 발생하는 미세 먼지 개수를 주위 환경의 영향을 덜 받으면서 측정해 낼 수 있다.

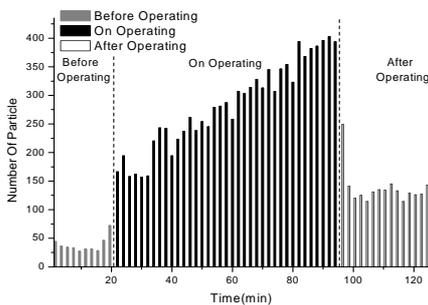


Fig. 3 Number of particles (size 0.3 ~ 0.5 um) measured by OPC for 2 min (stage : 4Hz round motion)

Table 3 Average (max) number of particles generated by a stage

Hz	Average number of particle per min (max)				
	>=0.3	>=0.5	>=1	>=2.5	>=5
4	122(182)	43(71)	13(24)	1.8(4)	0.07(2)
2	131(276)	45(87)	11(22)	0.96(2)	0.00(1)

본 연구에서 사용된 Z0 stage 는 2.1 장에서 미세 먼지 발생 원인을 설명한 것처럼 작동 시 베어링 부분에서 미세 먼지가 발생한다. 본 연구에서는 stage 에서 발생하는 미세 먼지를 shaft 를 4Hz 와 2Hz 로 왕복 운동시키면서 측정하였다. Fig. 3 에서 Stage 작동 중 측정된 미세 먼지 개수를 보면, 시간이 지남에 따라 발생하는 미세 먼지 개수가 조금씩 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 마찰에 의해 베어링부분의 온도가 증가하면서, 미세 먼지 발생량이 증가한 것으로 추후 이에 대한 원인 분석이 필요하다. Table 3 은 이를 종합하여 작동 중 stage 에서 발생한 미세 먼지 개수를 크기 별로 분류한 것이며, 작동 중 분당 발생한 미세 먼지의 평균 값과 최대 값을 보여준다. 여기서 계산된 평균 값과 최대 값은 작동 전 OPC 에서 측정된 미세 먼지의 평균 값을 뺀 나머지 값으로 작동 중에 발생한 미세 먼지 개수에 해당한다. 이를 보면, 발생한 미세 먼지의 대부분은 1um 이하의 미세 먼지인 것과 2.5um 이상의 미세 먼지는 매우 적은 양이 발생한 것을 알 수 있다.

3. Stage 의 청정도 평가

3.2.1 청정도에 따른 필요 유량

본 연구처럼 clean room 내에 미세 먼지를 발생시키는 장비가 있을 경우, 발생 지점 P 에서의 미세 먼지의 실내 평균 농도 $^2 < C_p(part/m^3) >_n$ 는

$$< C_p >_n \geq \frac{\dot{m}}{Q_{eff}} \quad (1)$$

과 같으며 이 때, $\dot{m}(part/min)$ 은 P 지점에서 발생하는 미세 먼지량이고, $Q_{eff}(m^3/min)$ 은 유효 유량이다. 이 식을 이용하여, 장비가 작동 중인 지점의 실제 유효 유량을 측정하고, 2 장의 실험을 통해 얻은 미세 먼지 발생량으로 국소 지점의 미세 먼지 농도를 예측할 수 있다. 만약 이렇게 예측된 미세 먼지 농도가 Table 1 에서의 원하는 청정도를 만족시키지 못할 경우, 반대로 필요한 청정도에 대한 유효 유량을

$$\bar{Q}_{eff} = \frac{\dot{m}}{< C_p >} \quad (2)$$

으로 계산해서, 이 유량 이상으로 공기가 흐르도록 해야 한다. 본 연구에선 clean room 내에서 실제 장비가 위치할 지점에서의 실제 유효 유량을 알지 못하므로, ISO 의 Class Level 5 을 만족하도록, 필요 유량을 2 장에서 실험을 통해 얻은 Z0 stage 의 미세 먼지량을 이용하여 Table 4 와 같이 구하였다. 이 경우, 2.5um size 이하의 미세 먼지에 대해서는 약 13L/min 의 유효 유동으로 stage 부분의 공기를 환기 시켜야 ISO 의 Class Level 5 을 만족하며, 본 연구의 경우, Z0 stage 가 사용될 CCM 공정에서 제작되는 Chip pitch 기준으로 2.5um 이상의 미세 먼지는 완전히 제거해야 한다.

Table 4 Required flow rate according to clean standard ISO Class 5

Hz	Required flow rate according to ISO Class 5			
	>=0.3	>=0.5	>=1	>=2.5
4	12 (L/min)	12	16	...
2	13	13	13	...

4. 결론

본 논문은 고 청정 환경을 요하는 정밀 공정에 사용되는 장비의 청정도를 평가하는 방법에 관한 내용이다.

이는 기존의 전반적인 clean room 에 대한 청정도 기준과 평가 방법과 달리, 실제 clean room 에 사용되는 장비에 대한 청정도 평가 방법으로 기존의 clean room 기준을 국부적으로 적용할 수 있는 있도록 하였다. 이를 적용하고자, 실험을 통해 clean room 에 사용되는 장비가 발생시키는 미세 먼지량을 측정하는 방법 보여주었으며, 이를 이용하여 원하는 청정도에 따라 장비의 청정도 평가 방법과 이를 해결하기 위한 필요 유량을 계산하였다. 이를 통해, 실제 clean room 에 사용되는 장비가 주위 환경의 청정도에 얼마나 영향을 끼칠 수 있는지 판단 할 수 있다.

후기

본 논문은 (과제명 : CCM (Compact Camera Module) 시스템통합 및 핵심요소기술 개발, 과제 번호 : 10024124-2007-13) 과 BK21 로 수행된 연구임.

참고문헌

1. Chung, M. S., Lee, C. S., Cho, S. J., Lee, C. H., Jung, J. S., Bae, G. N., Shin, H. T., Park, Y. S., Kim, S. H. and Chae, S. K., "Development of Advanced Technology in Extreme Conditions : Development of Clean Rom Technology," Korea Standards Research Institute Reports, KSRI-91-159-IR, 1991.
2. Noh, K. C., Lee, H. C., Park, J. I. and Oh, M. D., "Evaluation and Prediction of Cleanliness Level in the Mini-Environment System Using Local Mean Air-Age," Trans. of the KSME (B), Vol. 31, No. 5, pp. 457-466, 2007.