



工學碩士 學位論文

# LCD제조공정에 적합한 부유미립자 포집장치 개발 및 특성에 관한 연구



工學碩士 學位論文

# LCD제조공정에 적합한 부유미립자 포집장치 개발 및 특성에 관한 연구



釜慶大學校 大學院

安全工學科

陳原俊

# 이 論文을 陳原俊의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2010年 2月



## - 목 차 -

제 1 장. 서 론	• 1
1.1 연구의 필요성	• 1
1.2 연구의 목적	• 3

제 2 장. 이론적 배경
2.1 클린룸 청정도 5
2.2 이온의 유동
2.3 부유 미립자 침착
2.4 집진원리 14
제 3 장. 실험 장치 및 방법 16
3.1 실험 장치의 구성
3.2 실험 방법 18
제 4 장. 실험 결과 및 고찰
4.1 방전전극 세선의 굵기와 재질에 따른 집진효율 변화특성

4.2 인가전압에 따른 집진효율 변화특성	 30
4.3 인가고전압의 크기와 오존발생량	 33

i

	4.4 집진판 타공 크기에 따른 집진효율 변화특성	35
	4.5 측정거리에 따른 집진효율 변화특성	37
	4.6 측정거리와 안전판여부에 따른 유도된 전압의 세기	40
저	┃5장.결론	42

참	고	문	헌	 44
Ab	stra	act		 47



#### <u>Table list</u>

Table 1 산업용 클린룸의 분야에 따른 일반적인 청정도 Table 2 부유미립자 표집장치의 특성 Table 3 인가고전압 크기에 따른 오존발생량 Figure list Fig.1 인가전압과 입자직경에 따른 부유 미립자 부착속도 Fig.2 부유미립자 포집장치의 집진원리 Fig.3 부유미립자 포집장치 사진 Fig.4 부유미립자 포집장치 구성도 Fig.5 부유미립자 포집장치 상세도 Fig.6 실험 장치 Fig.7 부유미립자 포집장치(Pulse DC) 테스트 모습 Fig.8 부유미립자 포집장치(Steady-State DC) 테스트 모습 Fig.9 오존발생량 측정 장면 Fig.10 미립자 직경과 방전전극(SUS)의 직경에 따른 집진율 특성 Fig.11 미립자 직경과 방전전극(AL)의 직경에 따른 집진율 특성 Fig.12 미립자 직경과 인자전압의 형태에 따른 집진율 특성 Fig.13 인가전압의 크기에 따른 집진율 특성 Fig.14 집진전극 타공 직경에 따른 미립자 집진율 특성 Fig.15 측정거리의 변화에 따른 집진율 특성(안전판 없는 경우) Fig.16 측정거리에 따른 집진율 특성(안전판 있는 경우) Fig.17 측정거리에 따른 유도전압의 변화 특성

### 제 1 장. 서론

#### 1.1 연구의 필요성

최근 전자공업, 정밀기계공업 등 첨단산업의 발달로 인하여 그 생산제품에는 정밀화, 미소화, 고품질화 및 고신뢰성이 요구되고 있다. 전기·전자제품관련 생산공장에서는 실내 부유 미립자가 제조중인 제품에 부착되면 제품의 불량을 초래하고, 사용 목적에 적합한 제품의 생산성에 저해요소가 되어 제품의 신뢰 성, 생산수율 및 생산원가에 막대한 영향을 미치므로 전체 또는 중요한 작업 이 이루어지는 부분에 대해서는 필요에 대응하여 청정한 환경이 유지되도록 하여야 한다. 이런 목적의 청정 공간을 산업용 클린룸이라고 하며, 매우 높은 청정 상태가 요구되는 경우가 많다. 클린룸이란 분자 입자 크기에 따라 분자 수를 측정하여 청정도를 등급별 규격을 정하여 체계화한 것을 말한다. 따라서 보이지 않는 미립자와 각종 부식성 가스형태의 이물질을 다룬다는 것은 참으 로 중요한 일이 아닐 수 없다. 클린룸의 유지관리에 있어서 클린룸의 청정도 는 참단기술 산업의 발달과 더불어 제품의 성능과 수율 향상을 위한 필수적인 기술로 요구되어 왔다. 특히 반도체 산업에 있어서 반도체 집접도가 1G DRAM시대를 바라보고 이에 따라 패턴도 더욱 미세화되고 있으며, 웨이퍼크 기가 200 mm에서 300 mm로의 변화가 요구됨에 따라 클린룸의 청정도 기준 은 물론 공기오염이 생산 수율에 영향을 미치는 가장 큰 요인으로 대두되고

있다<sup>1~3)</sup>. 그래서 클린룸에서 부유성 미립자 제거의 용도로 사용될 수 있는 전 기 집진장치에 대한 연구가 보다 발전적 형태로 접근한다면 그 유용성은 점차 증대될 수가 있다.



#### 1.2 연구의 목적

현재까지의 전기 집진 장치는 환경공학적 측면에서 흡/배기의 기류적인 부분 과 결합한 형태의 전기 집진 장치가 널리 적용되어 왔다. 일반적으로 전기집 진장치는 공기청정장치 및 화학공정의 유해성 분진을 제거하는 공조시스템이 주류를 이루고 있다. 일반적으로 방전전극과 집진전극으로 구성되는 전기 집 진장치는 인위적으로 방전전극과 집진전극에 상호 다른 극성의 고전압을 인가 하여 방전을 일으켜 부유물 입자를 이온화시키고 이렇게 대전된 입자들을 상 대극성을 띤 방전전극과 집진전극에서 전기적인 힘으로 집진하는 것이 대부분 이다.

그러나 반도체 및 디스플레이 산업과 같이 클린룸 환경의 제조 공정에서의 생산되어지는 제품의 수율 저하에 영향을 미치는 부유성 미세 미립자를 제거 하기 위해서 현재 일반산업에서 사용 중인 전기 집진장치를 적용할 수 없 다.<sup>48)</sup>

공정의 규모가 생산제품의 크지에 따라 현저히 커지고 있는 디스플레이산업 의 경우 제조되는 제품평면의 크기는 15년전 대비 36배 이상 커진 반면 그에 따른 클린도 관리의 수준은 계속 초기의 관리수준을 넘지 않고 현재까지 동일 한 수준의 관리를 하고 있다.

이러한 관리수준을 보다 안전하고 완벽한 수준으로 상향 하는 방법에는 클린 도 수준을 보다 올려 생성되는 먼지의 크기자체를 줄이는 방법과 보다 많은

해파필터를 사용하고 관리를 철저하게 하여 문제되는 부분을 줄이는 방안이 있을 수 있다. 그러나 이러한 방안들은 문제를 해결하는 데 비용적 문제를 야 기할 뿐만 아니라 먼지의 발생을 완벽하게 제거 및 관리하는데도 그 한계를 가지고 있다.

공정이 커지면 그에 따라 설치되고 운용되는 설비의 크기도 커지고 설비자체 에서 발생하는 먼지의 양 및 크기도 커진다. 이러한 먼지는 설비의 동작 시 발생하는 와류에 의해 클린룸 내부에 흩어지는 문제를 야기 시킨다. 공정설비 의 운용속도는 제품생산량 및 제조 수율적 문제로 계속 고속화되고 이러한 이 유로 와류의 크기는 보다 커지게 된다. 상기에 언급한 바 대로 이러한 와류에 의한 먼지 발생을 축소시키고 원발생 먼지를 제거하는 방법으로 한 노력은 고 비용 저효율의 방법으로써 제조공정의 주요포인트 관리에는 적합하지 않다. 클린룸 환경에 적합한 전기 접진장치를 개발하기 위해 제조 공정에 영향을 최소화하면서 제품 생산 수율의 저해요소로 작용하는 부유된 형태의 미세먼지 를 포집하는데 그 의의가 있다. 여러 형태의 코로나 방전을 이용한 전기 접진 장치는 있으나, 성능과 유지/보수 등의 실효성이 가장 중점이 되어야 한다. 따 라서 본 연구의 목적은 포집효율에 영향을 주는 인가고전압, 구조적형상, 전극 제질, 오존발생량 등을 고려하여 클린룸 제조 라인에서도 상용화될 수 있는 전기 접진장치를 고안하여 특성을 연구하여 클린룸 관리에 대한 기초자료를 제공하는데 있다.

### 제 2 장. 이론적 배경

#### 2.1 클린룸 청정도

최근 전자공업과 정밀기계공업의 발달로 제품의 정밀화, 미소화, 고품질화 및 고신뢰성이 요구되고 있다. 전자공장, 필름공장 또는 정밀기계공장 등에서는 실내 부유 미립자가 제조중인 제품에 부착되어 제품의 불량을 초래하고 사용 목적에 적합한 제품의 생산에 저해요소가 되어 제품의 신뢰성과 생산원가에 막대한 영향을 미치므로 공장 전체 또는 중요한 공정이 이루어지는 부분에 대 해서는 필요에 대응하는 청정한 상태가 유지되도록 하여야 한다. 이러한 목적 의 청정 공간을 산업용 클린룹이라고 하며, 대단히 높은 청정상태가 요구되는 경우가 많다. Table 1은 각종 산업에 있어서의 응용 예와 일반적인 요구청정 도 기준을 소개한다.<sup>9)</sup>

분야	용도	청정도	분야	용도	청정도
	결정 제조	10~100	시	전자시계, 부품조립	100이하
반	확산	100이하	계	로켓 부품 가공	100이하
Ę	에칭, 표면처리, 증착	10~100		인공위성 제어장치	100이하
 1	조립, 시험	100~100,000	7]	고신뢰도 부품장치	100~1,000
제	포토	10이하	~~	정밀 베어링	100이하
공	연마	100이하	밀	보통베어링	100,000
장	원료 및 제품보관	1,000~10,000	기 계	조립, 검사	100~100,000
	레이저공업	100이하	저고	자기트럼	100이하
	렌즈 연마	100~10,000	신지	자기 테이프	100이하
	눈금 조각	100이하	계산기	가공, 조립, 검사	100~100,000
	의학용 카메라 가공	100이하	전 자	브라운관	100~1,000
광	필름제조, 건조	10,000이 하		고신뢰관	100이하
학	마이크로필름현상, 건조	100~1,000	7] 7]	프린트관	10,000
7]	조립	100~10,0000		소형릴레이	100~1,000
계	도장	10,000~100,000	_1 _1	정밀 전기계기	100~10,000
	검사	10,000~100,000	전 산 계측기	액정판	100~1,000
		N XO		ot in	

Table 1 산업용 클린룸의 분야에 따른 일반적인 청정도

이오나이저에서 방출되는 ⊕ 및 ⊖이온의 경우 방전 영역 이외의 부분에서는 전자의 흐름이 일어나지 않고 전자 밀도는 작기 때문에 이 부분에서의 이온의 유동은 무시되며, 정이온의 유동 확산이 대부분 차지하고 있다. 지배 방정식은 정 이온에 의한 전류 연속의 식 (1)과 전기장을 나타내는 뽀아송 식 (2)이다.

 $\frac{dq}{dt} + divJ = 0 \qquad (1)$ 

위의 식에서 J=J<sub>ion</sub> 이다.

여기서 q=en<sub>ion</sub> 이다. 폐곡면을 지나는 총 전기력선은 그 표면안의 전체전하 를 유전율로 나눈 것이다. 여기서 J[A/m<sup>2</sup>] : 전전류 밀도; J<sub>ion</sub>[A/m<sup>2</sup>] : 정이온 전류밀도; q[C/m<sup>3</sup>] 전하밀 도; E[V/m] : 전계강도; n<sub>ion</sub>[number/m<sup>3</sup>] : 정이온 밀도; e[C] : 전하; ε<sub>0</sub>[F/m] : 진공의 유전율이다.

정이온의 운동은 전기장 E[V/m]에 따른 연속으로 간주할 수 있어 유동 속도 는 식(3)에서 주어진다. 또, 유동에 비해 확산을 무시할 수 있으므로 이온 전 류 밀도는 식 (4)과 같이 나타낼 수 있다.  $J_{ion} = q\nu = q\mu_{ion}E \qquad (4)$ 

여기서  $\mu_{ion}[m^2/Vs]$ 은 정이온 이동의 이동도이다.

정이온 이동도µion[m<sup>2</sup>/Vs]은 이온전하, 마찰 지연인자 등에 비례한다. 이온에 대한 마찰 지연력은 이온의 크기와 모양 그리고 이온이 이동하는 매질 의 점도에 의해 결정되고, 크기가 같을 경우, 전하가 클수록 더욱 빨라진다. 전하가 같을 경우, 이온이 작을수록, 마찰력이 작아지고 더 빨라진다. 식(1)~(4)에 있어 이온 유동의 지배 방정식은 식(5)~식(7)과 같다.<sup>10)</sup>



#### 2.3 부유 미립자 침착

1987년에 미네소타 대학의 Liu<sup>11)</sup> 교수와 많은 연구자<sup>12~14)</sup>에 의해, 웨이퍼의 미립자 오염에의 정전기력의 영향력이 이론적으로 그리고 정량적으로 파악되 었다. 이에 따라 정전기가 반도체 디바이스의 품질에 중대한 영향을 주는 것 으로 재인식하게 되었다. 이하에 Liu 등이 제안한 미립자 침착 모델에 대해 설명한다.

다음에서 식 (8)은 브라운 확산에 의한 입자의 평균 침착속도를, 식 (9)는 정 전기력에 의한 입자의 평균 이동 속도 m/s 를 그리고 식 (10)은 중력에 의한 입자의 종말 침강 속도 m/s를 나타낸다. 미립자의 웨이퍼 상에의 침착은 일반 적으로 식 (11)에서 나타내어지는 평균 침착속도 V<sub>d</sub>에 의해서 평가된다. 이 침착속도는 단위시간 및 단위면적 당 부착하는 미립자 수에 비례한다.

$$V_{D} = 1.08(D/D_{w})S_{c}^{1/3}Re^{1/2}$$

$$V_{e} = C_{c}n_{p}eE/3\pi\mu d_{p}$$

$$V_{g} = C_{c}\rho_{p}d_{p}^{2}g/(18\mu)$$

$$V_{d} = J/N = V_{D} + V_{e} + V_{g}$$
(8)
(10)
(11)

여기서, J : 웨이퍼 상에 침착된 부유 입자 수 [개/m<sup>2</sup>・s] N : 웨이퍼 주위의 부유입자의 평균농도 [개/m<sup>3</sup>] V<sub>D</sub>: 브라운 확산에 의한 입자의 평균 침착 속도[m/s]

Ve: 정전기력에 의한 입자의 평균 이동 속도[m/s] Vg: 중력에 의한 입자의 종말 침강 속도[m/s] D : 확산 계수[m<sup>2</sup>/s], D<sub>w</sub>: 웨이퍼 직경[m] S<sub>c</sub>: 슈미트 수[-] Re: 웨이퍼 직경 Dw 기준의 레이놀드 수[-] n : 입자 농도[개/m<sup>2</sup>] n<sub>n</sub>: 전하 개수[개] e : 전하 소량 1.6 X 10<sup>-19</sup>[A·s] NIVE E: 평균 전해 강도[V/m] Pp: 입자 밀도[kg/m<sup>3</sup>] μ: 공기의 점도[kg/m·s] d<sub>p</sub>: 입자 직경[m] Cc: 카닌감의 보정계수[-] ot n g : 중력가속도 9.8[m/s<sup>2</sup>] 이다.

식 (8)은 Liu 등이 Sparrow<sup>15)</sup>가 얻은 나프탈린을 원판상으로부터 승화시켰을 때의 물질 이동의 실험식을 수평에 놓여진 웨이퍼상에의 브라운 확산에 의한 침착으로 적용하여 얻을 수 있는 식이다. 수직에 놓여진 웨이퍼의 경우 식 (8) 의 계수 1.08을 0.739로 두면 좋다. 식 (9)는 np 개의 전하를 가지는 하전 입자가 전계강도 E에서 받는 쿨롱력 npeE와 거기에 따른 이동시 하전 입자가 받는 공기의 항력 3mµdpVe/Cc와의 균형의 식에 의해 얻을 수 있다. 다만, 웨이퍼 표면에서는 전기장 강도 E에 분포가 있으므로, 식 (9)에서 E는 평균 전해 강도를 나타내고 있다. 따라서 정 전기에 의한 침착속도 Ve도 평균치를 나타낸다.

또, 식 (10)은 입자에 일하는 중력 πρ<sub>p</sub>d<sub>p</sub><sup>3</sup>g/6과 중력 침강 때 받는 공기의 항 력 3πμd<sub>p</sub>V<sub>g</sub>/C<sub>c</sub>와의 균형을 나타내는 식을 나타낸다.

Fig.1 은 Liu 등이 제안한 상기의 웨이퍼상에의 미립자 침착 모델을 에미<sup>15)</sup> 가 실험적으로 검증한 것이다. 2 inch 웨이퍼를 10 cm/s 의 하강 기류 직하 위치에 두고 입자와 웨이퍼가 모두 대전하고 있지 않은 경우와 입자와 웨이퍼 가 서로 대전하고 있는 경우에 대해 실험하고 있다.

여기에서는, 정전기력이 지배적인 쿨롱릭만을 고려하고 있으며, 입자상의 전 하수는 전하가 1개씩 입자를 타고 있는 경우와 그렇지 않은 경우의 조건으로 검증을 시도하고 있다. 실제의 공정에서 입자에 포함되는 전하수를 추정하는 것은 곤란하지만, 일반적으로 대기 중에는 정부의 양국 이온이 수천 개/cm<sup>3</sup> 로 포함되는 것으로 알려져 있다. Fig.1에 나타나고 있듯이, 실험 데이터에 불 균형은 있지만, 계산 결과와 비교적 일치하는 것으로 나타난다. 즉, 입자 지름 d<sub>p</sub>가 1 µm 이상에서는 중력이 지배적으로 작용하고 0.5 µm 이하의 입자에 대 해서는 브라운 확산 또는 정전기력이 지배적으로 작용하게 된다. 입자상의 가

산에 의한 미립자 침착 속도를 나타내고, n<sub>p</sub>=-1 개 (1개의 부극성 전하 가 e=-1.602×10<sup>-19</sup> C 를 의미할 때) V=100~1000V 일 때의 좌측 상단 곡선은 브 라운 확산과 정전기력에 의한 침착 속도를 나타내고 있다. 0.5 µm 이하의 영 역에서는 브라운 확산만에 의한 침착속도에 비해 정전기력에 의한 침착속도가 비약적으로 증대하는 것을 알 수 있다. 그리고 입자 직경이 작아질수록 정전 기력에 의한 미립자 오염은 중대한 문제로 작용한다고 할 수 있다.





Fig.1 인가전압과 입자직경에 따른 부유 미립자 부착속도

#### 2.4 집진 원리

부유미립자 포집장치는 집진전극에 + 5 kV, 방전전극에 - 5 kV 전원을 인가 한다. 방전전극은 0.15 mmΦ의 스테인레스 세선으로 그 두께가 미세하여 전계 를 집중 시키는데 용이하다. 이에 방전전극은 집진전극과의 전위차 10 kV에 의하여 코로나 방전을 하여, 주위의 먼지를 대전시켜 집진전극은 (-)성질의 먼 지를, 방전전극은 (+)성질의 먼지를 끌어당겨 먼지를 부착 시키는 원리 이다. 이 원리는 기본적으로 쿨롱의 법칙이라 말 할 수 있다. 앞에서 설명한 집진 원리를 기본으로 아래의 Fig.2와 같이 방전전극의 방전은 대부분이 P(전계 집 중 Point)에서 방전을 하며, 집진전극의 타공 첨두 부분으로 전하(Ion)의 이동 이 이루어진다. 이때 집진전극의 수많은 타공의 첨두 부분에서 집진이 이루어 지며 그 타공으로 공기의 흐름을 유도한다. 타공의 첨두 부분 이외의 면적에 서는 잔여 먼지를 대전시켜, 대전된 먼지를 부착 시키는 원리로 최적의 집진 능력을 구현한다.<sup>16°20</sup>

집진율 산정방식은 식 (12)와 같다.

집진율(%) = <u>초기미립자의수 - 잔여미립자의수</u> 초기미립자의수 (12)

or



## 제 3 장. 실험 장치 및 방법

#### 3.1 실험 장치의 구성

1) 부유 미립자 포집장치

- 방전전극부 : 세선의 형상을 가진 금속 도전선으로 직경은 0.15mmΦ,

0.5 mmΦ, 1 mmΦ의 3 종류 이며, 전체의 크기는 300 x 500 mm 로 구성하였다.

- 집진전극부 : 스테인레스(SUS304) 평판에 타공의 직경은 10 mmΦ,

25 mmΦ로 2 가지이고, 타공 중심과 직각방향에 인접한

타공 중심과의 거리는 가로와 세로 모두 30 mm이며, 전

2t 1

체 크기는 300 x 500 mm로 구성하였다.

- 고전압 발생부 : Pulse DC H/V Power supply, Steady-State DC H/V Power supply

2) 측정 장치

- 오실로스코프 (Tektronix, TDS2014B)

- 먼지측정기 (0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 µm, Fluke 983, USA)

- 오존 측정기 (0.01 ppm, Cosmos, AET-030P, Korea)

Table 2는 본 실험에 사용된 부유미립자 포집장치의 주요특성을 나타낸다.

Table 2 부유미립자 포집장치의 특성



#### 3.2 실험 방법

본 연구는 공기청정실 내의 부유미립자를 포집하는 장치 개발하는 목적으로 집진성능특성에 영향을 주는 요인과 실용성여부에 대한 평가를 하기 위해 다 음과 같이 연구방법을 설정하였다.

- 집진성능의 특성을 알 수 있는 변수인 부유미립자는 1 μm 이하의 크기를
   가진 것을 기준으로 비교분석한다.
- 2) 방전전극부의 재질, 굵기의 변화에 대한 집진특성을 비교분석한다.
- 3) 인가고전압의 형태와 크기의 변화에 대한 집진특성 및 오존발생량을 비교 분석한다.
- 4) 집진전극부의 재질, 면적의 변화에 대한 집진특성을 비교분석한다.
- 5) 부유미립자 포집장치의 집진성능범위를 알고자 이격거리에 따른 집진율을 비교분석한다.

방전전극과 집진전극으로 구성되는 부유물 포집장치는 방전전극에 고전압 전 원장치로부터 (-)고전압을 공급하여 코로나 방전에 의하여 입자를 (-)하전하 여 하전된 입자들을 (+)고전압을 가한 집진전극과의 쿨롱력으로 집진하는 것 이다. 본 연구에서 사용된 부유미립자 포집장치의 외형사진은 Fig.3에 나타나 있다.

부유미립자 포집장치는 Fig.4의 구성도와 같이 집진전극과 방전전극으로 이

루어져 있다. 먼저 집진전극은 타공된 금속판 전극으로 (+)고전압을 인가하고, 방전전극은 집진전극의 타공부분의 중심을 가로지르는 금속세선전극으로 (-) 고전압을 인가한다. 그리고 집진전극과 방전전극 사이에서 불꽃방전이 일어나 지 않도록 일정간격 23 mm으로 유지한 결합된 구조이다.

Fig.5는 부유미립자 포집장치의 집진전극과 방전전극의 상세 구조를 나타내 고 있다. 타공된 집진전극은 Fig.5에서 보는 바와 같이 타공의 직경은 10 mm Φ, 25 mmΦ이고, 타공 중심과 직각방향에 인접한 타공 중심과의 거리는 가로 와 세로 모두 30 mm이다. 그리고 방전전극은 세선 형상으로 직경은 0.15 mm Φ, 0.5 mmΦ, 1 mmΦ의 3 종류로 구성했으며, 재질은 알루미늄재질과 스테인 레스 재질의 2 가지를 비교 구성했다. 그리고 방전전극 세선간의 간격은 29.7 mm, 29 mm, 28 mm로 정하였다.

Fig.6은 실험에 사용된 필요한 계측장치로 오실로스코프, 고압프로브, 오존측 정기, 먼지측정기와 고압발생장치는 Pulse DC, Steady-State DC를 보여주고 있다. 고전압은 Pulse DC, Steady-State DC 2 가지 형태로 실험을 하였다. Fig.7에서는 Pulse DC 고전압발생장치를 사용한 부유미립자 포집장치의 집진 성능 테스트를 하는 장면이다. Fig.8은 Steady-State DC 고전압발생장치를 사 용한 부유미립자 포집장치의 집진성능 테스트를 하는 장면이다. 그리고 집진 전극의 형태는 타공의 형태이고 재질은 SUS 304, 방전전극 세선의 직경은 0.15 mmΦ이고 재질은 SUS 316이다. 먼지측정기와 방전전극, 집진전극과의 거리는 20 mm이다. Fig.8은 오존발생량을 측정하는 모습이다.



Fig.3 부유미립자 포집장치 사진



Fig.4 부유미립자 포집장치 구성도



Fig.5 부유미립자 포집장치 상세도



Fig.6 실험장치



Fig.7 부유미립자 포집장치(Pulse DC) 테스트 모습



Fig.8 부유미립자 포집장치(Steady-State DC) 테스트 모습



Fig.9 오존발생량 측정 장면

## 제 4 장. 실험 결과 및 고찰

#### 4.1 방전전극 세선의 굵기와 재질에 따른 집진효율 변화특성

Fig.10은 스테인레스 재질의 방전전국 세선의 직경을 0.15 mmΦ, 0.5 mmΦ, 1 mmΦ로 했을 때, 공기청정실내의 부유미립자의 크기에 따른 집진율을 나타 낸 것이다. 방전전국에 고전압을 동일한 조건으로 인가를 하였을 때, 집진율은 방전전국의 직경이 가늘수록 높은 것을 알 수 있다. 그리고 1 μm 이하의 입 경을 가진 부유미립자의 경우에는 입경의 크기가 커질수록 집진율이 높음을 알 수 있다.

Fig.11은 알루미늄 재질의 방전전극 세선의 직경을 0.15 mmΦ, 0.5 mmΦ, 1 mmΦ로 했을 때, 공기청정실내의 부유미립자의 크기에 따라 집전율을 나타낸 것이다. Fig.10과 마찬가지로 방전전극에 고전압을 동일한 조건으로 인가를 했 을 때, 집진율은 방전전극의 직경이 가늘수록 높은 것을 알 수 있다. 그리고 1 µm 이하의 입경을 가진 부유미립자의 경우에는 입경의 크기가 커질수록 집진 율이 높음을 알 수 있다. 2 가지의 방전전극의 재절을 비교한 결과 방전전극 이 스테인레스 재질인 경우보다 알루미늄 재절인 경우가 집진율이 다소 높음 을 알 수 있다.





#### 4.2 인가전압에 따른 집진효율 변화특성

Fig.12는 인가고전압의 형태에 따른 부유미립자 크기와 집진율의 관계를 나 타내는 그림이다. Pulse DC와 Steady-State DC의 인가고전압 모두 부유미립 자 크기에 비례함을 알 수 있다. 그러나 Pulse DC고전압이 Steady-State DC 고전압보다 집진율이 떨어짐을 알 수 있다. 그리고 Steady-State DC고전압이 Pulse DC고전압에 비해 부유미립자 크기에 따른 집진율이 2배 정도 높음을 알 수 있다. Fig.13은 인가고전압의 크기를 변화하였을 때, 부유미립자 크기에 따라 집진율 관계를 나타낸 그림이다. 부유미립자 크기에 따라 3 kV에서 10 ~ 20 %, 4 kV전압에서 30 ~ 40 %, 5 kV에서 50 ~ 80 %의 집진율이 높아짐을 알 수 있다. 인가고전압의 크기에 따라 집진율이 향상됨을 알 수 있고, 부유미 립자 크기에 따라 비례함을 알 수 있다.

ot u





#### 4.3 인가고전압의 크기와 오존발생량

Table 3은 인가고전압의 크기에 따른 오존발생량을 나타낸 것이다. Table 3 에서알 수 있듯이 부유미립자 포집장치의 방전전극과 집진전극의 인가고전압 의 크기를 3 kV, 4 kV, 5 kV로 점차적으로 늘리면서 오존발생량을 측정한 결 과 초기 10 분 경과 시에는 3 가지 경우 모두 오존발생량이 0 ppm이었고 20 분 경과 시에는 5 kV의 인가고압만이 0.006 ppm이 발생하였다. 마찬가지로 30 분 경과 시에도 5 kV의 인가고압만이 0.01 ppm으로 오존이 발생하였다.



No	인가 고압의 크기	오존 발생량 [ppm]			
		10분	20분	30분	
1	3.0kV	ONAL	Ca	0	
2	4.0kV	0	0	0	
3	5.0kV	0	0.006	0.01	
	La th M	대의	JIL F		

Table 3 인가고전압 크기에 따른 오존발생량

#### 4.4 집진판 타공 크기에 따른 집진효율 변화특성

Fig.14는 집진전극의 타공의 직경을 각각 10mm와 25mm로 했을 때, 안전판유 무에 따른 집진율을 나타낸 그림이다. Fig.14에서 알 수 있듯이 타공의 직경이 10mm인 경우가 타공의 직경이 25mm일 때 보다 집진율이 2~3 배 정도 높 음을 알 수 있다. 이는 타공의 직경이 작아질 경우 집진할 수 있는 영역이 넓 어지고 타공의 직경이 작아짐에 따라 동일한 인가고전압을 제공 받음으로 방 전전극과 집전전극 사이의 쿨롱력과 전계가 강해진다는 것을 알 수가 있었다. 그리고 안전판 유무에 따라서도 성능차이를 보이고 있는 것을 확인 할 수 있 다. 타공의 직경 25mm에서는 안전판 유무에 따른 미립자 집진율 차이는 작으 나 타공의 직경 10mm에서는 안전판 유무에 따른 미립자 집진율 차이가 미립



#### 4.5 측정거리에 따른 집진효율 변화특성

Fig.15는 부유먼지측정기와 부유미립자 포집장치와의 측정거리변화에 따른 집진율을 나타낸 그림이다. 측정거리를 30 mm, 50 mm, 70 mm로 이격을 했 을 때, 이격거리가 클수록 집진율이 저하함을 알 수 있다.

Fig.16은 Fig.15와 동일하게 먼지측정기와 부유미립자 포집장치와의 측정거리 변화에 따른 집진율을 나타낸 그림이다. 측정거리를 30 mm, 50 mm, 70 mm 로 이격을 했을 때, 이격거리가 클수록 집진율이 저하함을 알 수 있다. 그러나 Fig.15와 Fig.16을 비교하면 안전판을 분리/제거하였을 때 미립자 포집의 방해 를 받지 않아 집진율이 더 좋음을 알 수 있다.







#### 4.6 측정거리와 안전판여부에 따른 유도된 전압의 세기

Fig.17은 부유미립자 포집장치와의 측정거리 및 안전판 유무에 따른 유도된 전압의 세기를 나타낸 그림이다. 부유미립자 포집장치의 방전전극과 집진전극 으로 나누어 유도된 전압의 세기를 측정한 결과 측정거리가 멀어짐에 따라 유 도된 전압의 세기는 약해지고 안전판여부에 따라 안전판이 있을 때, 유도된 전압의 세기가 약함을 알 수 있다. 특히 측정거리가 10 mm인 경우, 방전전극 의 전면부 안전판여부에 따라 유도된 전압의 세기가 가장 큰 변화폭이 있음을 알 수 있다. 그리고 집진전극의 전면부 안전판이 없음이 유도된 전압의 세기 가 가장 크다. 그러나 측정거리가 멀어짐에 따라 집진전극의 전면부 안전판이 없음이 유도된 전압의 세기의 감소폭이 많아져 측정거리가 90 mm에서는 근 소한 차이로 방전전극의 전면부 안전판 없음이 유도된 전압의 세기가 가장 크 게 나타남을 알 수 있다.

ot



### 제 5 장. 결론

본 연구에서는 LCD제조공정용 부유미립자 포집장치를 개발하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

방전전극 세선의 재질에 따른 집진율을 관찰한 결과 큰 차이는 보이지 않
 으나 장기적으로 사용하면 알루미늄 재질보다는 스테인레스 재질을 선정함이
 실용성과 내구성이 우수함을 알 수 있었다.

2) 방전전극 세선의 직경에 따른 집진율의 변화를 관찰한 결과 방전전극 세선
 의 직경이 가늘수록 집진율이 좋아짐을 알 수 있었다. 이는 동일한 인가고전
 압을 주었을 때, 쿨롱릭이 강해지며, 전계의 밀도가 높아짐을 알 수 있었다.
 3) 집진전극의 면적이 넓을수록 이물 집진율은 높아짐을 알 수 있다. 그러나
 타공의 직경을 너무 작게 할 경우 클린룸의 공조시스템 및 기류에 대한 장애
 가 발생될 수 있으므로 클린룸 환경의 장애가 되지 않는 범위에서 설계하여야
 한다. 집진성능은 향상되나 클린룸의 공조시스템 및 기류를 방해하여 그에 대
 한 장애가 발생될 수 있으므로 집진전극의 면적은 사용장소의 환경에 맞는 구
 조의 면적을 가져야 한다.

4) 인가고전압 형태와 크기의 변화를 관찰한 결과 Pulse DC고전압보다는
Steady-State DC고전압의 집진율이 좋음을 알 수 있었고, 고전압의 크기가
커질수록 전계의 밀도와 쿨롱력이 증가하여 집진율이 향상됨을 알 수 있었다.

그러나 인가고전압의 크기를 크게 할수록 집진율은 좋아지나 오존발생량도 많 아진다. 따라서 오존발생량을 최소화하는 방안을 더욱 더 강구해야 한다. 5) 부유미립자 포집장치의 집진성능범위를 알고자 이격거리에 따른 집진율을 비교분석한 결과, 거리가 멀어짐에 따라 집진율도 저하하므로 안전판여부에 따른 집진율의 차이를 고려하여 사용조건에 맞추어야 한다. 따라서 사용하고 자 하는 장소에 맞게 수정보완이 필요하다.



#### 참고문헌

- 1) 원영재, 김규생 공저, "클린룸 설비", 기문당, pp. 10~20, pp. 265~282, 2008.
- Whyte, W., "Cleanroom Technology Fundamentals of Design, Testing and Operation", John Willy & Sons, Chichester, England. 2001.
- Tollower, D.L., "Contamination Control : New Dimensions in VLSI Manufacturing", Solid State Technology, pp. 129 ~ 137, 1984.
- 4) 정용철, "코로나 방전형 정전기 제거장치에서의 이온생성 최적화 조건에 관한 연구", 부경대학교 박사학위논문, 2008.
- 5) 이재일, "코로나 방전을 이용한 이온풍의 특성분석 및 대류 열전달 향상 에 관한 연구", 부산대학교 석사학위논문, 2005.
- 6) 안영철, 황필재, 이재근, "와이어 전극과 평행판에서 발생되는 이온풍 특 성연구", 설비공학논문집, 16권 4호, pp. 318~323, 2004.
- 7) 안영철, "핀이 부착된 와이어형 방전극의 형상에 따른 코로나 방전특성에 대한 연구", 부산대학교, 대한기계학회논문집B권, 제30권, 제2호, pp. 95~200, 2006.
- 8) 박형근, 김봉환, 문차석, 강동구, "전기집진기의 방전극형상에 따른 코로
   나 방전 특성에 관한 연구", 96년 추계학술연구발표회, pp. 27~29, 1996.
- 9) 오명도, "수퍼크린룸의 공조환경설비", 대한기계학회지, 제32권, 제3호,

1992.

- 10) 靜電氣學會誌 vol. 20, No.6, pp. 352, 1996.
- 11) B.Y.H.Liu, B.Fardi and K.H.Ahn, "Proceeding of 33rd Annual Technical Meeting of the IES", May, pp. 461, 1987.
- 12) 藤井修二, 謝國平, 金光映, "第7回空氣淸淨とコンタミネーションコントロ ール研究大會予稿集", pp. 17, 1988.
- 13) 阪田總一朗, 岡田孝夫, "第7回空氣淸淨とコンタミネーションコントロール 研究大會予稿集", pp.21, 1988.
- 14) 江見 準: "88クリーンテクノロジーシンポジウム予稿集", pp. 3-1-1, 1988.
- 15) E.M.Sparrow and G.T.Geiger; J. Heat Transfer, pp. 107~321, 1985.
- 16) 안국찬, "전기 집진기의 집진 효율 향상에 관한 연구", 진주산업대학교,
   산업안전학회지, 제17권 제4호, 2002.
- 17) 김길신, "선대 평판 전기 집진기의 V-1특성 계산", 한양대학교, 대한전 기학회 50주년 하계학술대회 논문집, DHO13, 1997.
- 18) 박석주, "타공판 전기집진기와 유전필터를 조합한 공기청정용 필터의 집 진성능 실험", 한국에너지기술연구원, 한국대기환경학회 추계학술대회 논 문집, 2001.
- 19) 윤중섭, "전기집진기의 집진면적 및 인가전압에 따른 집진효율 변화에
   관한 연구", 서울시립대학교, 1995.

20) 고명삼, "전기집진기술의 현황과 장래전망(1)", 한국코트렐, 전기집진학 회집, 1997.



## A Study for Development and Characteristics of Dust collector suitable in the LCD Manufacturing Process

Won-Jun Jin

Department of Safety Engineering, Graduate School, Pukyong National University

#### Abstract

It is a well known fact that LCD is a central part of the IT industry which is important in the present and the future. But the biggest problem of LCD manufacturing is maintaining a cleaning room environment and administration. Therefore the purpose of this study is to prevent the damage of products. The dust collector is a type of particle reducer device. It protects against electrostatic attraction in the cleaning room environment and is a necessary environmental factor during LCD production.

The dust collector includes a dust charging section and a dust collecting section. The dust charging section includes discharge electrode which is made up of a plurality of paralleled discharge wires, and a counter-electrode which is made up of a plurality of <u>punched</u> holes with a metal plate. The dust collecting section includes positive metal electrode and negative metal electrodes disposed alternately, and insulating spacers disposed between each of positive electrode and negative electrode.

The results are as follows;

1) In case of practicality and durability, the stainless steel electrode has a good at it's function than an aluminum electrode for a long-term period.

2) In case of observation about the change of the dust absorptivity, the more narrow wire, the better it's function. Coulomb force & density of electric field are higher at the same high voltage.

3) The more dimension of counter-electrode, the better the dust absorptivity. but in case of small size of it's hole, it would be disturbed <u>to</u> the air flow of the clean room. That's why it will be made as suitable hole size.

4) For the dust absorptivity steady-State DC high voltage is good compared with Pulse DC high voltage. According to the level of high voltage, Coulomb force & density of electric field are higher. That's why the dust absorptivity is improved by Coulomb force & density of electric field. But ozone generated quantity comes to be much. Consequently must consider the plan which minimizes an ozone occurrence quantity.

5) To confirm about the range of the dust collector we did the test according to the distance. Normally the dust absorptivity is relative to the distance. The more close, the better its function. As results, we should think about installation of safety panel which is concern with the dust absorptivity. The dust collector has to suitable installation according to each manufacture environment.



## 감사의 글

석사학위과정을 하면서 수많은 난관과 시련에 부딪혀 왔지만 목표를 위해 끝까지 전진할 수 있도록 지도하여 주신 이동훈 교수님께 가장 먼저 감사를 드립니다. 항상 저에게 부족한 부분을 정확하게 지적하여 주시고 참된 인성과 깊고 넓은 학문적 소양을 쌓게 하여 주신 제 인생의 롤모델이신 스승님께 진 심으로 감사드립니다.

바쁜 일정에도 학위논문의 주심을 맡아주신 권오헌 교수님, 좋은 학위논문이 될 수 있도록 꼼꼼하게 검토해주신 최재욱 교수님께 감사를 드립니다. 그리고 1999년도 부경대학교를 입학하여 지금의 석사과정까지 많은 가르침을 주신 목 연수 교수님, 이내우 교수님, 박외철 교수님, 장성록 교수님, 이의주 교수님, 오창보 교수님, 신성우 교수님께 감사드립니다.

학위논문을 힘들게 준비하던 저에게 많은 힘이 되어 주신 정용철, 이연구, 김 해진 선배님과 서민석 후배님에게 정말 감사한 마음을 전합니다. 그리고 본 과정이 하루 빨리 마치기를 기원하던 (주)선재하이테크 모든 분들에게 감사드 리며 특히 김상효 소장님, 김한주 전임님께도 감사드립니다.

마지막으로 지금의 저를 존재할 수 있도록 낳아주시고 키워주시며, 항상 끝없 는 애정과 관심으로 지켜봐 주신 부모님과 항상 든든하게 저를 지켜주던 형님 들께 평생 동안 감사한 마음을 전하고 간직하며 살아가겠습니다. 그리고 자랑 스런 아들이 되어 세상의 빛이 될 수 있는 그날까지 끝까지 달려가겠습니다.