

논문 2014-51-8-22

# ESD와 점착 롤 제진을 이용한 LGP 건식 세정 장치 개발

## (Development of LGP Dry Cleaning Equipment using ESD and Adhesive Roll)

구 자 일\*, 전 성 호\*\*

(Ja\_Yl Ku<sup>Ⓢ</sup> and SungHo Jun)

### 요 약

본 논문에서는 도광판(LGP, Light Guide Panel)의 미세먼지 세정을 위해 건식 점착롤 제진과 코로나 대전을 이용한 제진(ESD, electrostatic discharge) 방식을 적용한 건식 세정 장치를 개발한다. 이를 위해 점착롤 제진과 제진 방식을 혼합 적용할 수 있는 세정 메커니즘을 설계하고, LGP를 자동으로 로딩/언로딩 및 이송할 수 있는 장치를 설계하고 구현한다. 그리고 이물질 및 미세먼지 세정 실험을 통해 개발된 시스템이 안정적으로 동작함을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we developed a LGP(Light Guide Panel) dry cleaning system for particle cleaning using corona discharge and dry adhesive roll. Therefore, we design a cleaning mechanism that can be applied dry adhesive dust removal roll and ESD(electrostatic discharge) by using corona discharge. Also, we design and implementation of equipment, which can loading, unloading and transfer LGP automatically. The developed equipment is dust and particle cleaning experimental results to demonstrate its stability.

**Keywords :** corona discharge, particle cleaning, ESD, LGP cleaning system

## I. 서 론

최근 대면적 LCD TV의 수요가 증가하면서 관련 세정 장비들이 요구되고 있다. LGP를 포함 한 각종 LCD 용 필름은 첨단 광학 기능성 필름으로 제품 표면에 이물질 제거뿐만 아니라, 고가의 필름으로 수율 불량에 관심이 많다. 시트화 된 제품이 세정 중 말림, 빠짐, 스크래치, 이물질 불량 등을 완벽하게 제거 되는 장비가 요구

된다. 또한 최근의 전자, 반도체, 디스플레이, 이동 통신, 특수인쇄, 필름 및 식품 산업 분야에 걸쳐 제품의 경박단소(輕薄短小), 고직접화, 고선명화, 정밀화, 고품질화 및 높은 신뢰성을 요구하게 되었다<sup>[1]</sup>.

LGP와 같은 기판을 제조하는 공정에서는 소정의 표면 처리가 완료된 기판으로부터 각종 유기성 또는 무기성 오염 물질을 제거하는 세정 공정이 반드시 요구된다. 세정 장치에 의해 이루어지는 세정 공정은 메인 공정에 투입되기 전이나 메인 공정 중의 기판 표면으로부터 각종 오염물질을 제거함으로써, 제품의 불량이 발생하지 않도록 하는 것을 목적으로 한다.

LGP 세정을 위한 세정 장치는 오존 등의 물질을 이용하여 기판을 세정하는 습식 세정 장치와 고압의 공기를 기판에 분사하거나 자외선을 이용하여 기판을 세정하는 건식 세정 장치로 구분될 수 있다.<sup>[3]</sup> 그러나 LGP

\* 평생회원, 인하공업전문대학 디지털전자과  
(Dept. of Digital Electronics, Inha Technical College)

\*\* 정회원, (주)테크라인  
(Tech-Line Co., LTD)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: drku@inhac.ac.kr)

접수일자: 2014년06월23일, 수정일자: 2014년07월22일  
수정완료: 2014년08월11일

를 습식 세정 장치로 세정할 경우, LGP 패널과 보호지 작은 틈 사이로 물이 들어가 건조되지 않기 때문에 LGP 표면에 얼룩이 발생하고, 침투된 세정액에 의해 LGP가 완전히 건조되지 않을 수 있다. 또한 기존의 건식 세정 장치는 고압의 공기를 기관(LGP 포함)에 분사하여 기관을 세정하는 장치이다. 따라서 플라스틱과 같은 투명한 합성수지로 제작되는 LGP의 경우, 정전기에 의해 이물질이 LGP에 달라붙기 때문에 단순히 고압의 공기를 분사하는 것에 의해서는 LGP 표면의 이물질을 완전히 제거시킬 수 없다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 정전기에 의해 이물질이 오염된 LGP를 건조 상태에서 세정하기 위해 코로나 대전과 점착롤을 이용한 건식 세정 장치를 설계하고 구현한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 기술 개발을 위한 기본 방법과 개발 내용에 관하여 설명 설명하고, III장에서 개발된 장치의 기능과 내용을 설명한다. 그리고 IV장에서 개발된 장치의 성능을 분석하고 V장에서 결론을 기술한다.

## II. 본 론

### 2.1 LGP 세정 장치

LGP는 그림 1과 같이 LCD 패널의 BLU(Back Light Unit)에 포함되는 부품으로, 광의 경로가 전면으로 향하게 하는 BLU에서 가장 핵심이 되는 부품이다. LGP 제조 방법은 크게 캐스팅(Casting), 압출, 사출이 있으며, 일반적인 생산 방식은 압출을 통한 생산 방식이다. 이물 관리를 통해 압출기로 이송된 원료는 압출기에 투입되어, 용융되고 연마롤(Polishing Roll)과 냉각 부(Cooling Zone)을 거쳐, 원판 크기로 절단 후 가공 업체로 이송된다. 가공업체에서는 원판을 모델 크기에 맞게 절단, 경면 가공, 모서리 가공을 통해 완성된다.

LGP 세정 장치는 오존 등의 물질을 이용하여 기관을 세정하는 습식 세정 장치와, 고압의 공기를 기관에 분사하거나 자외선을 이용하여 기관을 세정하는 건식 세

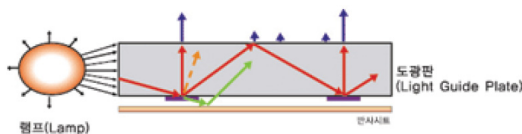


그림 1. BLU에서 LGP의 역할  
Fig. 1. Function of LGP in BLU.

정 장치로 구분될 수 있다.

보호지가 LGP 패널의 표면에 압출식으로 부착되어 있는 압출식 LGP는 일반적으로 습식 세정 방식으로 세정되고 있다. 이러한 습식 세정 장치는 분사 노즐을 통하여 LGP 전면에 오존액을 분사시켜 LGP의 이물질을 제거하는 샤워(Shower)부와 샤워부에서 1차적으로 이물질이 제거된 LGP를 롤 브러쉬(Roll Brush)로 세정하여 LGP의 이물질을 2차로 제거하는 롤 브러쉬 세정부 그리고 롤 브러쉬 세정부에서 세정을 거친 LGP를 파이널 린스(Final Rinse)에서 분사 노즐을 통하여 최종 세정을 하는 린스부 및 세정 작업이 끝난 LGP를 건조하는 건조부로 구성된다.

습식 세정 장치는 샤워부에서 LGP의 전면에 오존액 또는 초순수(DI(Deionized) water) 물을 분사하여 LGP의 이물질을 제거한다. 그러나 습식 세정 장치는 현재 이용되고 있는 모든 LGP를 세정하지는 못한다. 만일 LGP의 보호지가 LGP 패널의 표면에 압출식으로 부착되어 있는 경우, 보호지와 LGP 패널 사이에 작은 틈이 존재하게 된다. 만일 이러한 압출식 LGP를 습식 세정 장치로 세정할 경우, 작은 틈 사이로 물이 들어가 건조되지 않고, LGP 표면에 얼룩이 발생하며, 침투된 세정액에 의해 LGP가 완전히 건조되지 않는다.

건식 세정 장치는 크게 4~5 기능 부분으로 구성된다. 먼저 LGP를 세정 장치에 투입하기 위한 장치와 LGP가 정전기로 대전되는 것을 방지하고, LGP 상하단 표면에 오염된 이물질을 물리적으로 세척하며 LGP로부터 분리된 이물질을 흡입하여 외부로 배출하기 위한 장치, 그리고 이온화된 공기를 고압으로 분사하여 LGP로부터 이탈된 이물질을 제거 위한 장치, 세정된 LGP를 배출하고 각 장치로 연속적으로 이동시키기 위한 장치이다.

### 2.2 코로나 전을 이용한 ESD

코로나 방전은 뾰족한 침 전극(Needle Electrode)의 주위에 불균일한 전계가 생김에 따라 일어나는 지속적

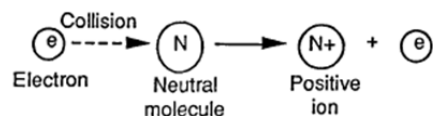


그림 2. 코로나 방전  
Fig. 2. Corona discharge.

인 방전의 총칭이다. 이 때, 침 전극 주변에 보이는 발광부위를 코로나라고 부른다.

코로나 방전은 기체의 이온화이며, 기체에 일정 이상의 전계를 가하면 이온화(ionization)가 된다. 그림 2에서와 같이 코로나 방전이 발생하기 전에는 기체들이 아주 미소한 양의 전기를 전도하게 된다<sup>[3]</sup>. 코로나 방전을 일으키는 전압  $V_s$ 는 진공인 경우, 식 1과 같이 나타낸다.

$$V_s = 126pl / (\log_{10}(pl) + 0.22) \quad (1)$$

여기서  $V_s$ 는 방전 전압( $V_{DC}$ ),  $p$ 는 기압(mmHg) 그리고  $l$ 은 거리(cm)를 나타낸다.  $V_s$ 는 공기가 이온화되는 전계(electric field)를 가하는 전압이며, 이온화된 공기의 방전 형태는 전극간의 형상에 따라 달라진다. 따라서  $V_s$ 는 코로나 방전 개시 전압과 같다. 그림 3은 식

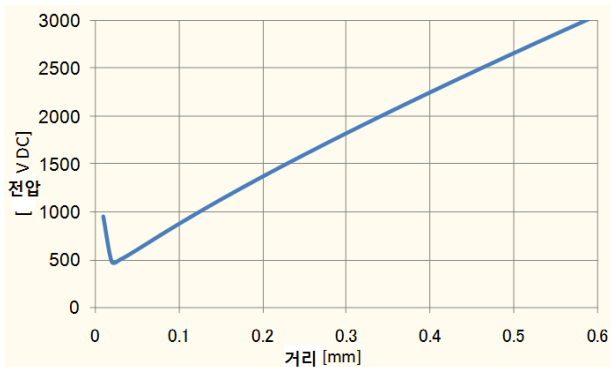


그림 3. 1 기압 공기에서의 방전 전압  
Fig. 3. Discharge voltage at atmospheric pressure.

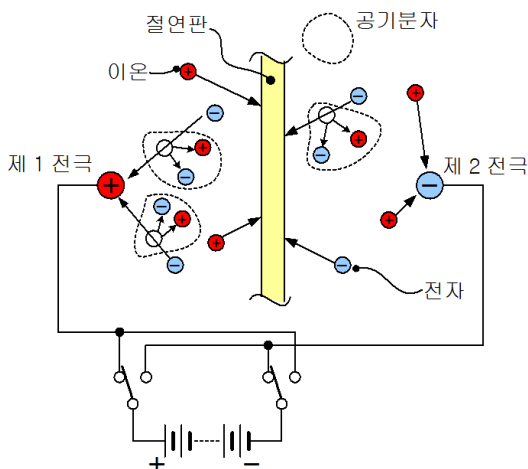


그림 4. 코로나 방전의 발생  
Fig. 4. The occurrence of a corona discharge.

1을 1기압의 공기에 대하여 그래프로 나타낸 것이다.

그림 4와 같이 방전 전극과 접지 전극 사이에 높은 전압이 걸리면, 방전 전극 주위의 기체내의 전자들이 주위의 중성 기체분자들과 충돌하여 한 개의 중성자로부터 전자 하나를 떼어내고 양이온으로 만든다. 각각의 자유전자가 수천 개의 자유 전자들을 만들 때까지 매우 급속하게 과정이 진행되고 결국에는 전자 사태에 이르게 된다<sup>[4]</sup>.

코로나 방전에 의해 흐르는 전류는 매우 작고 수  $\mu A$  정도이며, 코로나 방전이 일어나면 방전한 전자는 부근의 공기 분자와 충돌하여 침 끝 부근에 공기 이온을 생성하여 정전기를 제전 할 수 있다.

### III. LGP 건식 세정 장치 개발

#### 3.1 ESD 장치(Ionizer)

그림 5와 같은 Blower 제전 방식의 Ionizer는 내장된 송풍기의 공기를 이용하여 방전 침과 접지 전극 사이에서 발생하는 이온을 대전물에 전달시켜 주고 대전물에 부착된 먼지를 제거한다. 보통 복잡 형상 대전물의 제전에 이용되며 제전 범위 및 제전 능력은 Ion Current 량과 Blower에 따라 달라진다.

Blower를 제전 시간을 고려하여 설치 해야 할 경우, 제전 시간과 관계가 있는 변수(대전물과의 거리, 대전물과의 거리에 따른 Ion Current, 대전물의 정전용량)를 조정해야 하며 대전물의 정전용량은 변하지 않으므로 대전물과의 거리 조정과 Ion Current가 높은 제전기를 사용하여야 한다. 그리고 Ionizer의 구비 사항으로는 Ion Balance, Noise 발생 유무, Ozone 농도 등이 고려되어야 한다. +와 -의 Ion 밸런스가 맞지 않는다면 Ionizer로 인한 대전의 염려가 있으며, Noise 발생은 기계의 오동작을 초래한다. 또한 높은 Ozone 농도(PPM)

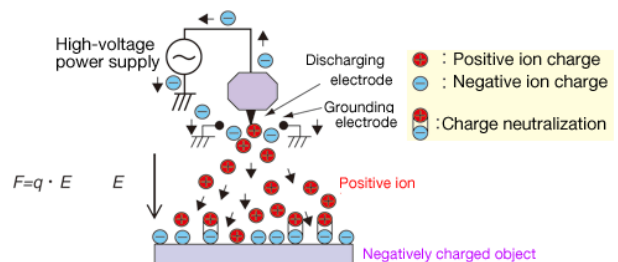


그림 5. Ionizer 동작 및 제전 원리  
Fig. 5. Ionizer operation and ESD principles.

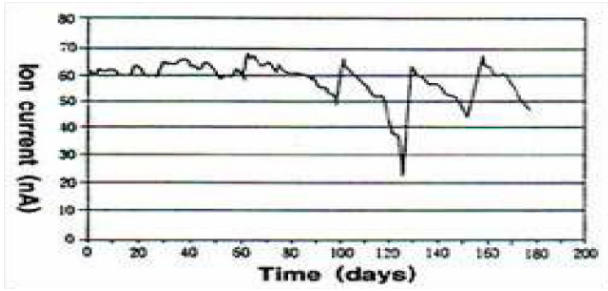


그림 6. 방전 침 Cleaning과 Ion current 변화  
 Fig. 6. Electrode needle cleaning and change Ion current.

는 인체에 악영향을 미치므로 주의하여야 하며, Ionizer의 접지 상태와 방전 침의 Cleaning 상태도 중요하다. 방전이 일어나게 되면 방전 침이 오염되어지고, 그 오염된 방전침은 정상적인 방전을 하지 못하게 되어 자연스럽게 Ion Current는 낮아져 제전 성능이 떨어진다.

그림 6은 실제로 Ionizer를 200일 동안 연속 가동 시켜 제전 전류의 변화를 측정 한 것이다. 처음 작동 이후 90일 경과된 후 Ion Current가 현저하게 낮아지게 되고, 이때 방전 침을 Cleaning하면 Ion Current는 정상적으로 높아지지만 이때부터는 30일 간격으로 현저하게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그림 6에서 Ion Current가 정상적으로 되는 요인으로는 방전 침 Cleaning의 결과이므로 방전침의 정기적인 Cleaning의 필요성을 알 수 있다.

코로나 방전식 ESD는 방전 전극에 고전압의 인가되는 형식에 따라서 AC type, DC type 및 Pulsed DC type으로 구분된다.

AC type은 50/60Hz의 주기로 양, 음 이온을 발생 시키고, 이온은 기류 중에 혼재하면서 대전체에 도달하기 때문에 대전체에 도달하기 전에 일정한 비율로 이온 재결합률이 높아지게 된다. 따라서 대전체가 50mm이하에서 균형된 정전기 제거 기능이 우수하다.

DC type은 양 또는 음의 전극에 직류 전압을 인가하므로 이온풍이 생겨 이온을 강하게 날려 보낼 수 있다. 그러나 AC type 보다 이온의 재결합률이 높지 않으며, 전극간의 간격이 가까우면 전극 간에 스파크가 발생하게 되고, 너무 멀어지면 양, 음이온이 독립적으로 존재하는 영역 즉, 스팟(spot)이 생긴다.

Pulsed DC type에서는 근래의 정전기 제거 장치들이 채택하고 있는 형태로서 마이크로 컨트롤러와 같은 제어부가 전압, 주파수, 듀티비를 제어하여 고전압부의 출

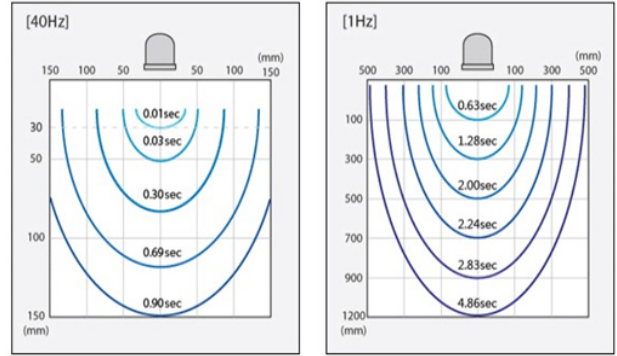


그림 7. 주파수 가변을 이용한 제전 거리 제어  
 Fig. 7. ESD distance control by using adjustable frequency.

력을 제어한다. 따라서 주위 환경에 맞는 이온 방출을 할 수 있다.

코로나 방전식 ESD 장치는 사용 중에 세선형 방전 전극에 흡착된 미세 먼지와 이로 인해 초기의 균형된 이온 방출 기능이 현저히 떨어지게 되어, 정전기 제거 장치의 기능이 떨어지게 된다. 따라서 관리자는 주기적으로 세선형 방전 전극을 세정하고, 균형된 이온 상태를 확인 하여야 한다.

이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 Pulsed DC type 정전기 제거 장치의 방전 전극으로부터 이온 방출 상태를 센싱하여 전처리 및 신호처리 한다. 이 처리된 신호에 따라 이온 방출 상태를 표시 한다. 마이크로 컨트롤러에서는 제어된 고전압을 조정하여 균형된 이온 방출을 유지하며, 적절한 Duty 비 제어로 정밀 Ion Balance Setting이 가능하다. PLC와 같은 외부 장치와의 통신을 위한 인터페이스 기능을 가지도록 설계했고, 안전과 주변장치로의 영향을 최소화하기 위한 내부의 저전압 배선 설계를 하였다. 그리고 그림 7과 같이 주파수 가변을 통해 근거리에서 장거리까지 제전 거리 제어가 가능하도록 구현하였다.

### 3.2 Cleaning Machine Mechanism

본 논문에서 구현한 LGP 건식 세정 설비의 Cleaning 방식은 건식 점착 롤을 이용한 제진 방식과 코로나 방전을 이용한 ESD 방식을 혼합하여 아래 그림 8과 같이 4개의 Cleaning Roller, 2개의 점착 롤( Adhesive Roll), 투입 전, 후 상단의 Ionizer로 구성되어 있다.

LGP 표면의 분진이나 미세 먼지는 대부분 정전기에 의해 LGP에 부착되는데, 먼저 LGP 표면의 정전기를

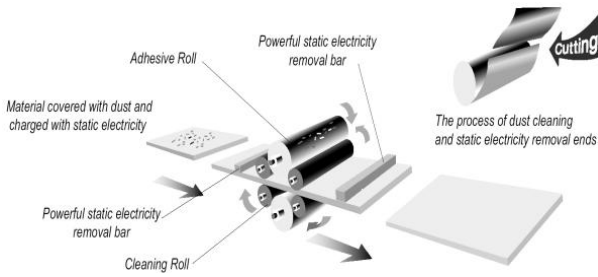


그림 8. Cleaning Machine Mechanism  
Fig. 8. Cleaning Machine Mechanism.

Ionizer로 중화시켜 LGP와 이물을 분리한 후, 4개의 짐착성을 가진 Cleaning Roller로 LGP 양면의 이물을 제거하고, 이를 다시 짐착 롤을 이용하여 Cleaning Roller에 묻어진 분진이나 미세 먼지를 포집한다. Cleaning시 LGP에 발생된 정전기로 인해 이물이 재 부착되는 것을 방지하기 위해 다시 한 번 Ionizer로 중화시킨다.

### 3.3 LGP 건식 세정 설비 구성도

본 논문에서 구현한 LGP 건식 세정 설비는 그림 8과 같이 LGP를 적재하여 세정 장비로 진입(loading)시키기 위한 컨베이어, 2열 ANTI-STATIC BRUSH/SUCTION 세정장치, ION AIR KNIFE/SUCTION 세정장치, Cleaning Machine 장치, LGP 진출(unloading) 컨베이어 장치로 구성된다.

먼저 LGP 투입을 위해 구성된 진입 컨베이어는 LGP를 1차 세정 장치로 이송시키기 위한 것으로서, 롤러로 구성될 수 있다. 즉, LGP는 진입부의 컨베이어 롤러를 따라 각 세정 장비 이동해 가면서 세정되다가 최종적으로 진출부를 통해 배출된다.

1차 세정 및 이물 흡입 부분에서는 1차적으로 LGP를 세정하기 위한 것으로서, LGP가 정전기로 대전되는 것을 방지하기 위해 전단부 상단 ionizer를 이용하여 이온

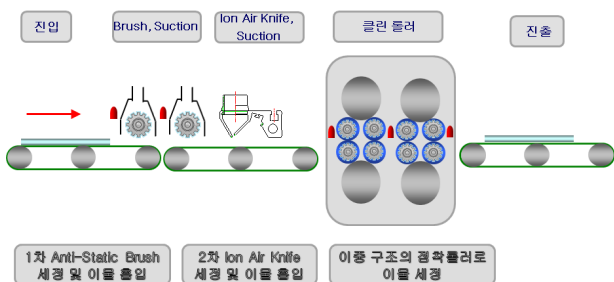
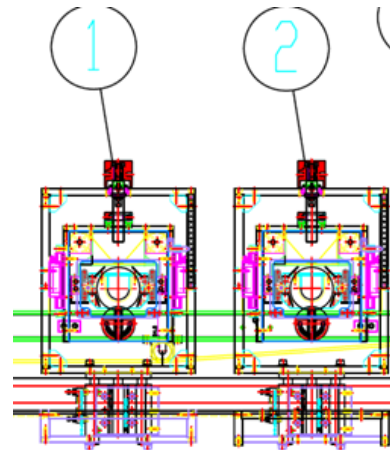
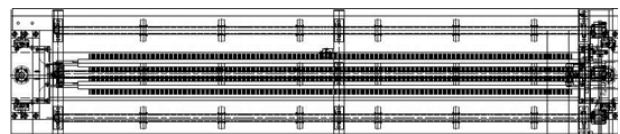


그림 9. LGP 건식 세정 설비 구성도  
Fig. 9. LGP dry cleaning equipment block diagram.



(a) 측면도



(b) 정면도

그림 10. 1차 세정 장치  
Fig. 10. 1차 cleaning equipment.

화된 에어를 LGP의 상단면으로 분사하고, 상단 anti-static 브러쉬를 이용하여 이온화된 에어가 분사된 LGP 상단면의 큰 이물질을 물리적으로 세정한다. 여기서 분리된 이물질은 석션(Suction) 장치를 이용하여 외부로 배출한다. 그림 10은 1차 세정 설비의 측면도와 정면도를 나타내고 있다.

2차 세정에서는 LGP로부터 상단 anti-static 브러쉬로 옮겨간 이물질을 상단 ion 나이프를 이용하여 털어준 후, 상단 ion 나이프에 의해 상단 anti-static 브러쉬로부터 이탈된 이물질을 상단 석션을 통해 흡입하여 외부로 배출하는 기능을 수행한다. 2차 세정에서는 비접촉 방식으로 압축된 Air를 이용하여 스크래치에 민감한 LGP의 이물을 제거하는 것이며, 제거 가능한 이물 크기는 10 - 100um 이상의 이물질을 제거할 수 있다.

3차 roll cleaning 장치에서는 이중 구조의 짐착 롤을 이용하여 미세 Cleaning을 수행한다. 상하 2조의 Clean Roller 사용하고, 2개의 짐착 롤을 사용하여 미세 먼지를 제거하는 작업을 수행한다. 그리고 세정된 LGP를 카운터 할 수 있는 카운터 기능 내장시켰으며, Gap 조절장치 장착하여 최대 4T까지 작업이 가능하도록 설계하였다. 그림 11은 3차 roll cleaning 설비의 측면도와 정면도를 나타내고 있다.



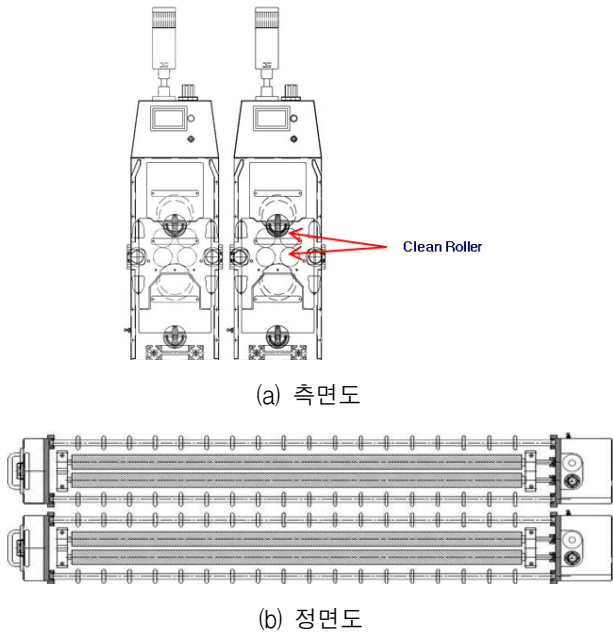


그림 11. Roll cleaning 장치  
 Fig. 11. Roll cleaning equipment.

### III. 실험

본 논문에서 구현한 LGP 건식 세정 장치의 실험을 위해 크린룸 환경에서 세정 성능을 실험하였다. LGP 건식 세정 설비의 전체 레이아웃은 그림 12와 같다.

그림에서와 같이 크린룸에서 왼쪽의 컨베이어를 통해 작업자에 의한 LGP 낱장 공급을 수행한다. 그리고 1차 Anti-Static Brush를 통해 이물질질을 제거하고, 분리된 이물질은 Suction을 통해 외부로 배출된다. 2차 Ion Air Knife를 이용하여 이물질질을 제거하고, 점착 롤

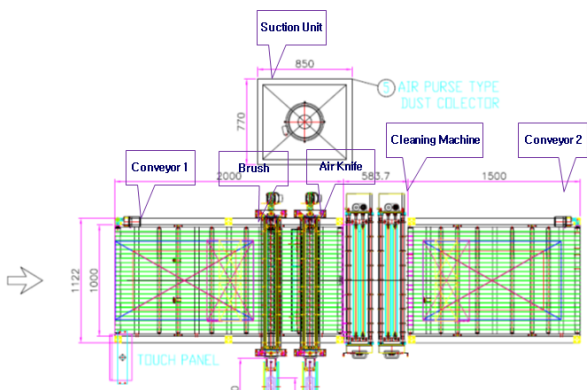


그림 12. 세정 설비의 전체 레이아웃  
 Fig. 12. The whole layout of cleaning equipment.

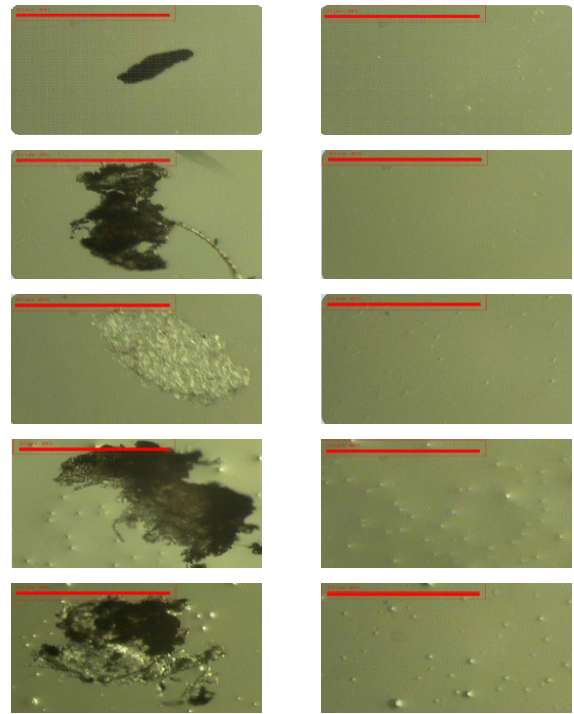
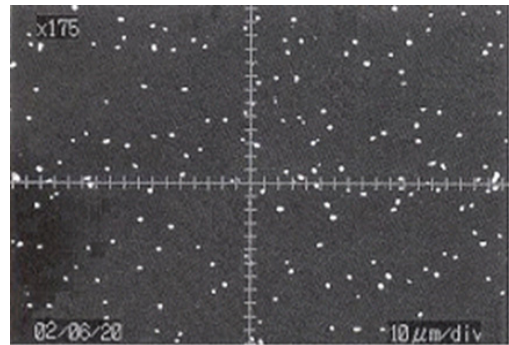
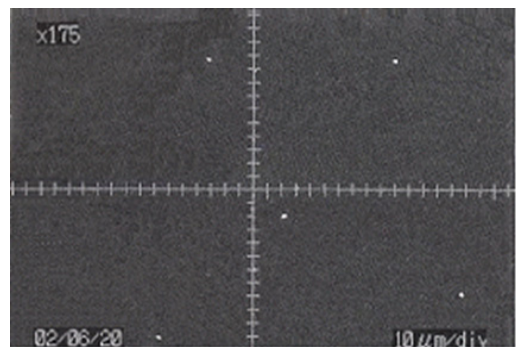


그림 13. 이물질 세정 실험 결과  
 Fig. 13. Dust cleaning experimental result.



(a) 세정 전



(b) 세정 후

그림 14. 미세 먼지 세정 결과  
 Fig. 14. Particle cleaning experimental result.

을 이용하여 LGP 양면의 미세 이물질질을 세정한 후, 컨베이어를 통해 LGP를 배출한다.

실험에 사용된 공기의 압력은 5Kg/cm<sup>2</sup>이며, LGP 적용 모델은 55인치(최대 1240mm), 컨베이어 이송 속도는 최대 16.7m/min이다. 그림 13의 왼쪽 (a)는 실험에 사용된 LGP 표면의 이물질 및 미세 먼지를 11배 확대한 그림이며, 오른쪽 (b)는 세정 설비를 통해 세정한 결과를 보여준다.

실험 결과와 같이 일반적으로 눈으로 확인 가능한 큰 이물질은 깨끗하게 제거된다는 것을 확인 할 수 있다. 그림 14는 미세 먼지 제거 실험을 위해 LGP의 일부분을 표면 검사 장비(Hitachi GI-4600 Surface Inspection Device)을 이용하여 175배로 확대 촬영한 영상이다.

그림 14의 실험 결과는 clean roll 점착력이 17±5 g/25mm(메이커 품질관리 기준 점착력 세기), 점착 물의 점착력이 500±50(g/25mm)일 때의 실험 결과로서 그림 14에서 보는 바와 같이 세정 전의 미세 먼지가 세정 후 95% 이상 제거되었음을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

세정 장치에 의해 이루어지는 세정 공정은 메인 공정에 투입되기 전이나 메인 공정 중의 기관 표면으로부터 각종 오염물질을 제거함으로써, 제품의 불량 발생을 막아주는 것을 목적으로 한다. 본 논문에서는 LGP와 같은 기관을 제조하는 공정에서는 소정의 표면 처리가 완료된 기관으로부터 각종 무기성 오염 물질을 제거하는 건식 세정 장비를 설계하고 구현하였다.

플라스틱과 같은 투명한 합성수지로 제작되는 LGP의 경우, 정전기에 의해 이물질이 LGP에 달라붙기 때문에 단순히 고압의 공기를 분사하는 것에 의해서는 LGP 표면의 이물질을 완전히 제거시킬 수 없다는 문제점을 코로나 대전과 점착물을 이용한 건식 세정 장치를 이용하여 해결하였다.

본 논문에서 개발한 장비는 기구 배치를 통해 다양하게 응용이 가능하며, LGP 이외의 필름, 원단 등의 세정 작업에 활용될 수 있다.

#### REFERENCES

- [1] Ja\_Yl Ku, JongHo Lee, SungHun Eun, "Development of blower-ventilated machine to eliminate electrostatic particle", IEEK Summer Conference, Vol. 30, No.1, pp.447-448, 2007.
- [2] 권현호, "LED 백라이트용 도광판 건식 세정장비 개발", 산업자원부 산업집적지경쟁력강화사업 결과보고서,, 2012.
- [3] Leonard Loeb, "Electrical Coronas Their Basic Physical Mechanisms", University of California Press, 1965.
- [4] 成澤 鴻, "ショート破壊の原因となるコロナ放電を知る", トラブル対策, 2012.

#### 저 자 소 개



구 자 일(평생회원)

1991년 인하대학교 전자공학과 (학사)

1993년 인하대학교 전자공학과 (석사)

1999년 인하대학교 전자공학과 (박사)

2006년~현재 인하공업전문대학 디지털전자과 교수

<주관심 분야 : USN, 화상신호처리, 네트워크>



전 성 호(정회원)

2001년 중앙대학교 국제경영대학원 최고 경영자 과정 이수.

1982년 송암전자 개발 담당

1986년 한울정공 공장장

1991년 청산 ENG 대표

1994년~현재 (주)테크라인 대표

<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호처리, 반도체>