

대형 잉크젯 플로터의 위치별 정전기 해석 및 방지

윤신용\*, 최근수\*, 조영래\*\*, 백수현\*,  
\*디지아이(주) 기술연구소, \*\*동국대학교 전기공학과,

Electrostatics Analysis and Prevention according to each position of a Large Type Inkjet Plotter

S. Y. Yoon\*, G. S. CHOI\*, O. R. Choe\*\*, S. H. Baek\*\*

\*DGI Cop., Technical Research Institute, \*\*Dept. of Electrical Eng., Dongguk University

**Abstract** - According to industrial development, all fields using chemical instrument and material are generated an electrostatics. This paper is represented the electrostatics distribution analysis of industrial type Inkjet plotter. In order to such experiment, an electrostatics for each portions of plotter(OJ-62) are measured by electrostatic measurement. Based on these, the big large position of electrostatics was analyzed by finite element method(Maxwell-2D), Here it is showed an electrostatic inducement and electric charge theory required.

1. 서 론

정전기(electrostatic) 현상의 발견은 고대 그리스의 철학자 탈레스가 호박을 양피에 마찰시켜 정전기를 발생시킨 것이 시초이다. 정전기의 발생원인은 대전이며 대전에는 마찰대전, 유도대전 및 박리대전 등이 있다. 대전현상은 고체, 액체, 기체에 관계없이 접촉, 전하이동, 전하분리의 과정으로 발생된다[1]-[3].

정전기의 응용기술은 도장기술, 정전 복사기, 레이저 정전프린터, 잉크젯 프린터, 빌딩 및 자동차 실내의 공기정화, 공장 배기가스 제거, 그런 룸에서 공기정화 등에서 유용하게 적용되었다. 그러나 2차대전 후 석유화학 및 플라스틱공업의 급속한 발전과 석탄에서 석유로의 에너지 혁신으로 정전기에 의한 산업의 장애, 재해라는 새로운 심각한 문제가 대두되었다. 정전기에 의한 방전으로 화학공장, 정유공장, 대형탱크 및 플라스틱 가공공장 등에서 폭발 및 화염이 발생하였으며, 또한 인체의 전기적 충격, 컴퓨터 오동작, IC 소자 파괴 및 제어기 오동작 등의 새로운 문제로 발생하게 되었다[4][5].

정전기의 발생은 저도전율 액체, 절연된 도체(고체, 액체), 절연물(고체, 분진), 기체의 분유상태에서 발생된다. 본 연구에서는 산업용에 적용되는 잉크젯 플로터의 정전기 해석을 연구대상으로 한다. 연속적으로 인쇄할 경우 시간에 따라 크게 발생된 대전 및 정전유도현상에 따라 발생된 정전기는 제어기에 영향을 주어 오동작을 발생한다. 이를 해석하기 위한 관계이론 정립과 정전기해석을 위해 유한요소법 툴인 Maxwell-2D를 이용하였다. 또한 고 분해능의 정전기 측정 장치를 통하여 각 지점별 정전기 발생지점을 확인하며 정전기 발생크기를 비교, 검토하여 물체의 재질 및 특성에 맞는 정전기 해결방안을 제시하고자 한다.

2. 정전기의 성질 및 대전

2.1 정전기의 성질

정전기는 공간의 모든 장소에 있어서 전하의 이동이 없 는 전기를 말한다. 그러나 실제에 있어서는 다소의 전하 이동 있으며 이것은 자계의 영향이 전계의 영향에 비해

무시할 정도로 적기 때문이다. 정전기는 전기적인 쿨롱력에 의해 대전물체 가까이에 있는 물체를 흡인하거나 반발하게 되는 성질이 있는데 이를 정전기의 역학현상이라 한다. 대전한 물체는 주위로부터 섬유, 먼지, 종이조각 등의 가벼운 물체를 끌어들이며 이것은 호박효과(Bernstein-Effect)라고 한다.

그림 1(a)에서와 같이 대전물체 A에 의한 정전유도에 의해 도체 B 위의 가벼운 물체 C가 A와 다른 부호로 대전하고 쿨롱 인력에 의해 B로부터 A로 흡인되는 결과가 일어나는 현상이다. 그림 1(b)는 같은 부호에 의해 A로부터 B로 C가 반발하는 경우이다. 물체 C가 섬유상 물질인 경우 B에 한쪽을 고정시키면 그림 1(c)와 같이 다른 쪽 끝에 유도전하가 생겨 부풀어 오르는 현상이 일어난다.

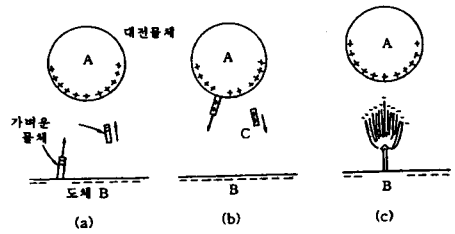


그림 1. 대전물체가 다른 물체에 미치는 정전유도

이 현상은 보통 대전물체의 표면전하에 의해 작용하기 때문에 무게에 비해 표면적이 큰 종이, 필름, 섬유, 분체, 미세입자 등에 많이 발생되기 쉬어 각종 생산 장애의 원인이 된다.

2.1.1 쿨롱력에 의한 부착, 응집 및 반발

대전물체는 그 주위에 존재하고 있는 역극성으로 대전한 가벼운 물체를 쿨롱력에 의해 흡착시킨다. 분체입자는 정전유도에 의해 음전하를 얻은 후 쿨롱력으로 뛰어 올라 대전물체에 부착된다. 그림 2는 쿨롱력에 의한 정전유도의 대전현상을 나타낸 것이다.

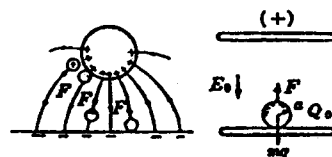


그림 2. 쿨롱력

식 (1)은 쿨롱력을 나타낸다.

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2} [N] \tag{1}$$

정전유도의 크기는 전하에 비례하고 대전체의 거리에 반비례하며 도체의 형상에 의해서도 영향을 받는다. 이 정전유도는 유도대전을 일으켜 각종 장, 재해의 원인이 되기도 하며, 이 원리를 이용하여 대전전위, 전하량 등을 측정도 할 수 있다.

### 2.1.2 정전유도현상

대전물체 부근에 절연된 도체가 있을 경우에는 정전계에 의해 대전물체에 가까운 쪽의 도체표면에는 대전물체와 반대극성의 전하가 반대쪽에는 같은 극성의 전하가 대전되게 되는데 이를 정전유도 현상이라 한다. 그림 3은 정전유도에 의한 대전과 그 방지책을 나타낸 것이다.

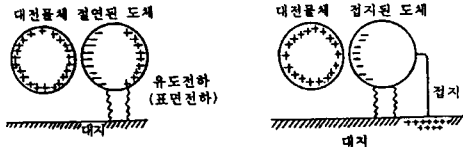


그림 3. 정전유도에 의한 대전과 방지

### 2.2 정전기의 대전

정전기는 서로 다른 물질이 상호운동을 할 때에 그 접촉면에서 발생하게 되며, 이 정전기는 고체 상호간에서만 아니라 고체와 액체, 액체상호간, 액체와 기체 상호간에서도 발생한다. 또한 정전기가 대전하는 물체는 접지되어 있지 않은 도체, 접지가 불완전하고 누설저항이 큰 도체 및 저항물이 큰 부도체이다. 본 연구에서는 본 플로터에 적용되는 섬유타래의 박리와 잉크에 의해 인쇄되는 롤러 접촉면의 마찰대전과 박리대전 및 섬유근처에 접근할 경우 발생하는 유도대전을 대상으로 한다.

#### 2.2.1 마찰대전

두 물질 사이의 마찰에 의한 접촉과 분리과정이 계속되면, 이에 따른 기계적 에너지 차에 의한 자유전자의 방출 및 흡입으로 정전기가 발생하는 현상을 말한다. 정전기는 크기와 극성에 의해 영향을 받는다.

#### 2.2.2 박리대전

상호 밀착되어있는 물질이 떨어질 때의 전하분리에 의한 정전기 발생현상을 말한다. 박리대전은 접촉면의 밀착 면, 박리속도 등에 의해서 대전량이 변화되며, 일반적으로 마찰대전보다는 큰 정전기가 발생하게 된다. 갑자기 박리하게 되면 방전현상이 발생한다. 그림 4(a), (b)는 롤러와 절연섬유의 박리대전을 나타낸 것이다.

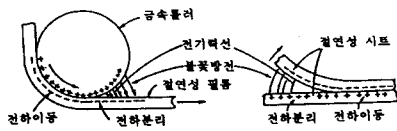


그림 4. 롤러와 면의 박리대전

이때 접촉면의 전압 및 정전용량에 대한 관계는 식(2), (3)과 같다.

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2)$$

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (3)$$

#### 2.2.3 유도대전

도체가 전계내 있게 되면 도체에는 전하의 분극이 일어나 가까운 쪽에는 반대극성의 전하가 먼 쪽에는 같은 극성의 전하로 대전되게 되는 현상을 말한다. 유도대전은 접지되지 않은 도체가 대전물체 가까이 있을 경우 주로 발생된다. 여기서 그림 5(a)는 유도대전이며, 그림 5(b)는 이를 해결하기 위한 정전차폐를 나타낸다.

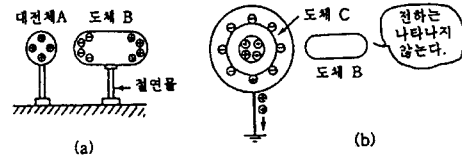


그림 5. 유도대전 및 정전차폐

### 2.3 정전기를 위한 유한요소해석

유한요소법에 의한 정전기 해석의 지배방정식은 다음과 같다 여기서 스칼라 포텐셜  $V$ 로부터 라플라스안 식은 다음과 같다

$$E = -\nabla V \quad (4)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (5)$$

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (6)$$

$$\nabla \cdot E = \rho/\epsilon_0 \quad (7)$$

$$-\nabla \cdot \epsilon \nabla V = \rho \quad (8)$$

### 3. 시뮬레이션 및 실험결과

본 논문에서는 산업용 플로터(OJ-62)를 유한요소법 전용 S/W 패키지인 Maxwell-2D에 의해 해석하였으며 이로부터 우측 롤러와 인쇄면 사이에 정전기분포를 알 수 있었으며 이는 그림 6과 같다. 이때 정전기는 그림 6부분에서 많이 발생됨을 알 수 있었으며 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

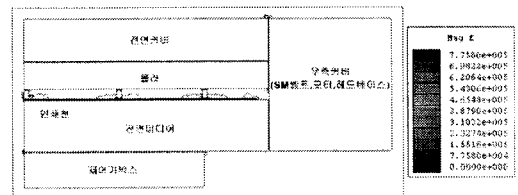


그림 6. 플로터 우측모델

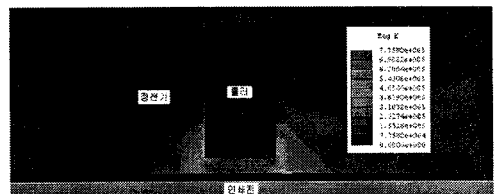
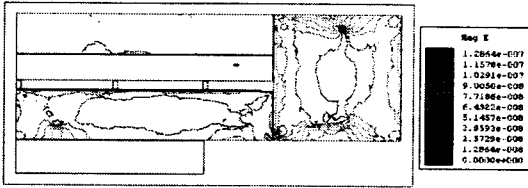


그림 7. 롤러와 천 사이의 정전기 밀도

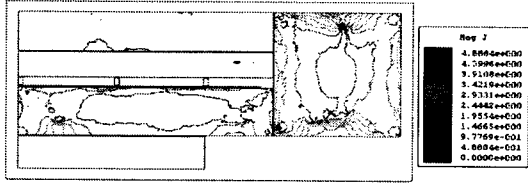
표 1. 시뮬레이션 전압[V]

	Control	Base	Cover	Bar	SMPS	Poly	Roller	Band
Electro	1000	850	600	-200	-200	1.5k	50	0
DC V	1000	850	600	-200	-200	EXC.	EXC.	EXC.
AC V	1000	850	600	-200	-200	1.5k	0	0

그림 8(a),(b)는 표 1에서 정전기 직류전압을 인가한 경우의 전계분포와 전류밀도를 나타낸 것이다. 유전율은 물질의 재질을 넣고 해석하였다. 여기서 우측커버와 전면 미디어에서 전계분포가 많음을 알 수 있다. 이는 직류전압이 때문에 주파수에 무관하기 때문이며 접지에 의해 방지가 가능하다.



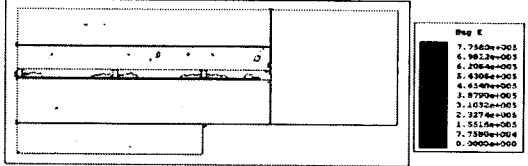
(a) 전계분포



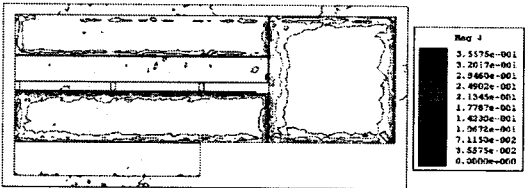
(b) 전류밀도

그림 8. 전계분포와 전류밀도

그림 9(a), (b) 표 1의 교류전압을 인가한 경우이다. 여기서 전계분포는 그림 6과 같이 작으나 전류밀도 높음을 알 수 있다. 이는 표피효과 때문으로 사료된다.



(a) 전계분포



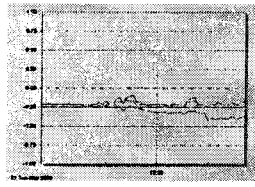
(b) 전류밀도

그림 9. 전계분포와 전류밀도

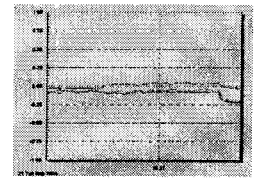
표 2는 플로터의 정전기전압을 측정한 각 지점별로 위치를 나타낸 것이다.

표 2. 정전기의 측정위치

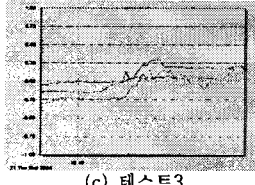
테스트 1	후면 미디어	캐리지 DC 모터 벨트	박스 빔
테스트 2	그릿 롤러	제어기박스 (SMPS)	후면 TAKE-UP 모터
테스트 3	제어기박스 (표면상단부)	PURGE쪽 SM 벨트	전면 TAKE-UP 모터
테스트 4	전면 미디어	제어기박스 (MAIN BOARD)	우측 커버
테스트 5	헤드베이스 (HEAD BOARD)	전면 커버	좌측 커버
테스트 6	플래튼	우측 스탠드	후면 커버
테스트 7	전면 미디어와 헤드베이스 사이	전면 미디어와 헤드베이스 사이	전면 미디어와 헤드베이스 사이
테스트 8	헤드베이스	전면 미디어	제어기박스
테스트 9	SM 벨트 HOME부	SM 벨트 중간	SM 벨트 PURGE부
테스트 10	제어기 박스 (표면상단)	제어기 박스 (BOARD, SMPS)	제어기 박스 (표면 하단)
테스트 11	전면 미디어	후면 미디어	전면 미디어



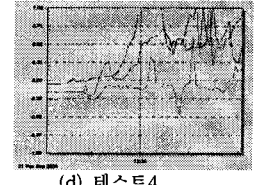
(a) 테스트1



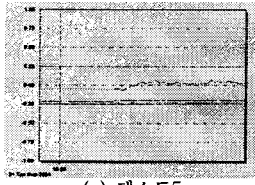
(b) 테스트2



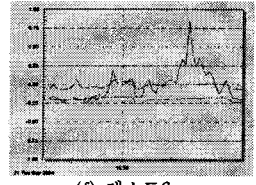
(c) 테스트3



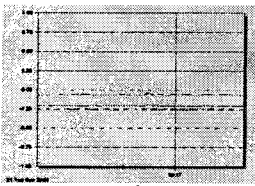
(d) 테스트4



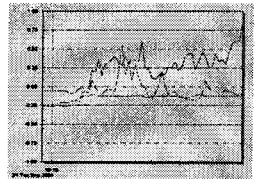
(e) 테스트5



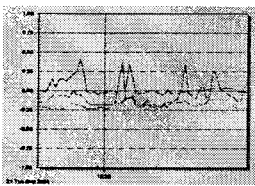
(f) 테스트6



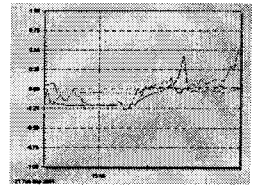
(g) 테스트7



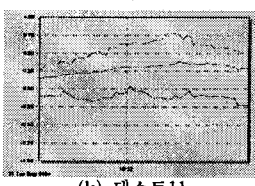
(h) 테스트8



(i) 테스트9



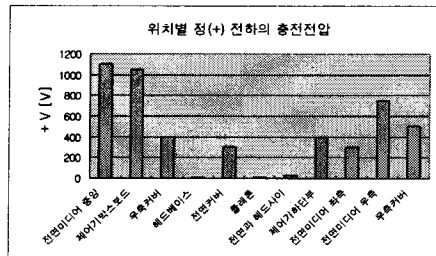
(j) 테스트10



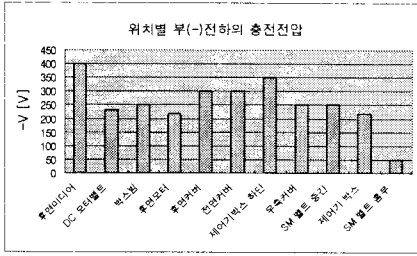
(k) 테스트11

그림 10. 플로터 위치별 측정전압

여기서 3종류 (보라색, 남색, 주황색)는 표 2의 순서와 같다. 그림 11(a), (b)는 표 2의 위치별 측정전압 크기를 나타낸 것이다.



(a) 측정 전압 (+)



(b) 측정 전압 [-]  
 그림 11. 위치별 측정된 전압 크기

측정결과 플로터의 전면미디어(테스트4)와 제이박스 표면(테스트4), 전면미디어 우측커버(테스트8) 및 후면미디어(테스트11)의 크기 순으로 정전기가 발생됨을 알 수 있었다.

### 3.1 정전기방지대책

#### 3.1.1 제전기

제전은 물체에 대전된 정전기를 이온화를 이용하여 중화시키는 것으로서 대전체 가까이 설치된 제전기에서 발생하는 이온 중 대전물체와 반대극성인 이온이 대전물체로 이동하여 이 이온과 대전물체 사이의 전하가 재결합 또는 중화됨으로서 대전물체의 정전기가 제전 되는 것이다.

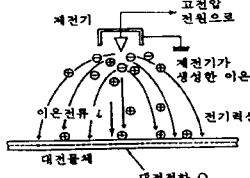


그림 11. 제전기 원리

#### 3.1.2 마찰 및 박리대전에 대한 대책

정전기로 인한 장해방지는 설비와 물체 또는 물체상호간의 접촉면적, 접촉압력을 적게 한다. 접촉회수를 줄이고 접촉 분리 속도를 작게 한다. 접촉상태에 있는 것은 급격히 박리시키지 말고 서서히 분리시킨다. 표면상태는 청정, 윤활하게 유지하고, 불순물 등의 이물의 흡입을 피한다. 정전기 발생이 적은 도전성 재료를 선정한다. 인쇄물의 이동속도나 양을 제한한다.

#### 3.1.3 도체의 대전방지

도체의 대전방지는 정전기의 발생 및 대전 우려가 있는 도체(금속체)와 대지사이를 전기적으로 접속해서 대지와 등전위화를 함으로써 정전기 축적 및 대전물체의 전위상승을 방지하는 방법이다. 이를 위해서는 접지에 의해 가능하며 이때 접지 저항이 적게 하여야 한다. 정전유도에 의해 대전 우려가 있는 도체가 부도체로 지지되어 대지로부터 절연되어 있는 경우 각 도체 마다 접지 또는 본당하여 접지시킨다.

#### 3.1.4 부도체의 대전방지

부도체 사용금지 : 많은 양의 대전이 우려되는 다음개소는 가능한 금속재료를 사용하고 접지 또는 본당을 실시한다. 마찰에 등에 의해 지속적으로 정전기가 발생하는 부분, 정전기가 대전되어 있는 물질을 다량 취급하는 용기, 이동식 장치 등에서 발생된다.

도전성재료 사용 : 금속도체의 사용이 불가능한 경우는 도전성재료 및 대전방지 처리된 물질을 사용한다. 대전 방지를 위한 도전성 재료는 도전율이  $10^{-12}[S/m]$  이상 또는 표면 고유저항이  $10^{12}[\Omega]$ 이하인 것이 바람직하다. 도전성고무(금속, 카본 등 혼합), 도전성 합성수지, 도전성 섬유 등으로 가능하다.

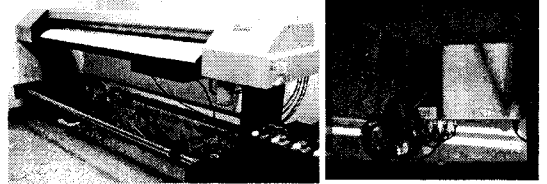
보통 접지저항이  $10^6 \sim 10^8 [\Omega]$  이상 고 저항 물질로 만들어진 물체는 전하가 축적될 수 있으며, 또한 저항이 낮은 물질이라도 좁고 긴 물체 일 경우에는 정전기가 축적된다. 대표적인 절연물로는 PVC, 폴리에틸렌, 나이론 등이다. 그러나 나무, 종이, 대마로프 등과 같이 천연섬유로 된 물질은 화학물체가 아니므로 정전기가 축적되지 않는다. 천연섬유도 건조한 상태에서는 정전기 절연물이 될 수 있지만, 절연물이 습한 조건에서는 표면습기에 의해 도전체로 될 수 있다. 이때 습한 습도는 65%. 건조한 상태 습도는 50% 이하이다.

### 3.1.5 대전물체의 정전차폐

정전차폐효과는 정전우려가 있는 대상물(제어기)을 차폐제에 의해 보호하는 방법이며 가능한 접지시키면 더욱 좋다. 이에 따라 전기적 작용 억제에 의한 대전방지, 대전물체의 전위상승 억제, 대전된 정전기에 의한 역확현상 억제 및 방전억제 효과 등이 가능하다. 차폐제는 금속재, 도전성 동 테이프, 알루미늄 및 도전성 섬유제품 등에 의해 가능하다.

### 3.2 측정 장치

그림 12는 정전기 측정 장치를 나타낸 것으로서 그림 12(a)는 플로터 장비(OJ-62), 그림 12(b)는 정전 계측기에 의한 측정지점을 나타낸 것이다.



(a) 플로터 장비 (b) 측정계측기  
 그림 12. 정전기 측정시스템

## 4. 결 론

본 연구에서는 산업용에 적용되는 잉크젯 플로터를 대상으로 하여 정전기분포를 해석하였다. 이를 위하여 정전기에 관계되는 정전기 및 대전의 이론정립과 정전기해석용 유한요소법 톨인 Maxwell-2D를 이용하여 각 부분별 정전기분포 밀도를 알았다. 또한 정전기 계측장비를 통하여 각 부분별 정전기를 측정하였으며 이로부터 정전기 분포가 가장 크게 발생하는 지점을 확인하였다. 이러한 데이터로 시뮬레이션 하였다.

해석결과 전면미디어와 제이박스 부분에서 인쇄물과의 접촉마찰에 의해 정전기가 가장 큼을 알 수 있었으며, 이것이 연속적으로 장시간 반복될 경우 제어기에 오동작을 발생할 우려가 있다. 또한 우측커버 속 벨트주변에서, 그 다음 후면 인쇄물의 타래를 박리할 경우 정전기가 크게 발생함을 알 수 있었다. 그러나 제어기 내부는 전계를 차폐할 수 있는 필터회로가 내장되어 있어 거의 발생하지 않았다. 이를 해결하기 위해서 금속체는 접지에 의해 접지저항을 낮출 경우 정전기를 방지할 수 있으며 본 제품에서 정지시 금속체 정전기는 미약하였다.

그러나 절연체인 섬유질은 많은 정전기를 포함하고 있으므로 도전성재료를 첨가하면 억제 할 수 있다. 그 외에 적합한 습도와 작업자의 도전성 작업복 및 주변 정전기발생 대전물체의 접근억제가 필요하며, 최종적으로 인쇄물의 전면에 제전기를 사용하면 정전기를 더욱 크게 방지할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 플로터 자체에 의한 정전기보다는 인쇄물과의 사이에서 대전에 의해 발생하는 정전기가 가장 큼을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] A. A. Varonos, J. S. Anag., G. C. Bergeles, "Prediction of the cleaning efficiency of an electrostatic precipitator," Journal of Electrostatics, Vol. 55, pp.111-133, 2002.
- [2] M. C. Zaretsky, S. A. Billow, R. A. Whitney, "Electrostatic assist for coating: the of surface resistivity," Journal of Electrostatics, Vol.61, pp.31-42, 2004.
- [3] J. L. Davidson, T. J. Williamms, A. G. Bailey, "Electrostatic discharges between charged insulators and grounded spheres," Journal of Electrostatics, Vol.56, pp.29-42, 2002.
- [4] D. Rodger, P. J. Leonard and H. C. Lai, "Finite Elements for Electrostatics," Conference of The Institution of Electrical Engineers, pp.1-4, 1995.
- [5] D. Rafiroiu, R. Morar, P. Atten, L. Dascalescu, "Premises for the Mathematical Modeling of the Combined Corona Electrostatic Field of Roll-Type Separators," IEEE Trans. on Industry applications, Vol.36, No.5, 2000. 9.

본 연구는 산업자원부의 우수제조기술연구센터(ATC)사업의 개발자금지원으로 수행 되었습니니다