

유한요소법을 이용한 산업용 잉크젯 플로터의 정전기 해석과 대책

윤신용*, 최근수*, 김 용*, 백수현*,
‘디지아이(주) 기술연구소, “동국대학교 전기공학과,

Protection and Electrostatic Analysis of the Industrial Type Inkjet Plotter using FEM

S. Y. Yoon[†], G. S. Choi[†], Y. Kim[‡], S. H. Baek[‡]

[†]DGI Corp., Technical Research Institute, [‡]Dept. of Electrical Eng. , Dongguk University

Abstract- This paper was represented an electrostatics distribution analysis using FEM (finite element method) with industrial type Inkjet plotter. Here, we know electronic value with each system position by experiment. these were decreased by discharge through earth and electricity shielding. According to industrial development, all fields using chemical instrument and material are generated an electrostatics. Based on these, the big large position of electrostatics was obtained metal base of controller, nonconductor fiber between two rubber roller, head controller by moving roller etc.. Therefore these were showed an electrostatics generation source and by rubbing and meager profits electric charge.

그림 1은 적용대상 잉크젯 플로터 구조를 나타낸 것이다. 여기서, 그림 1(a)는 정면도에서 본 모델이며 그림 1(b)는 측면에서 본 모델을 나타낸다.

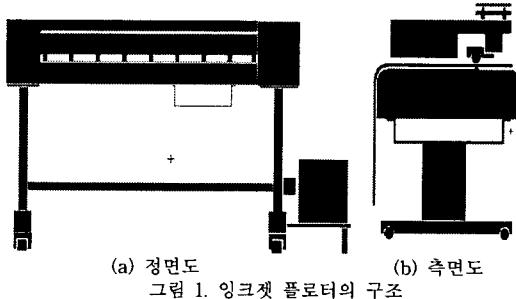


그림 1. 잉크젯 플로터의 구조

1. 서 론

정전기의 유래는 B.C 600년경 Miletetus의 Thales가 호박을 양털에 문질러서 마찰전기가 발생하면서부터 알게 되었다. 이후 산업의 발달에 따라 화학물질을 이용하는 모든 공업제품에서 정전기에 대한 히스테리현상을 해결하는 것이 중요시 되었으며 이는 동작시스템에 예기치 않은 오류를 발생시키는 원인이 되고 있다. 정전기는 두 물체간의 접촉과 마찰 및 분리에 의해 발생되며 특히 절연체와 금속체간의 마찰시 물체에 더욱 큰 정전기가 발생된다. 정전기의 양은 여러 변수에 의해 결정되는바, 표면상에 누적하는 대전량은 접촉·재질종류, 접촉면적, 근접정도, 분리속도, 표면의 거칠기, 청결정도, 상대습도, 접촉압력, 문지름이나 분리속도 및 기타 물리적, 화학적 요인에 따라 다르므로 모든 접촉영향 및 환경 등의 충분히 규명되어야 한다.[1]-[3]

정전기가 대전되는 물체는 접지되어 있지 않은 도체, 접지가 불완전하고 누설저항이 큰 도체 및 저항률이 큰 부도체이다. 모든 물체는 정전기를 발생하며 이를 완전히 제거할 수는 없다. 일반적으로 이를 해결하기 위하여 도체는 접지, 절연체는 전도성 물질의 첨가나 제전기의 이온화 방법 등을 통하여 억제하고 있다. 또한 습도가 60% 이상 이면 정전기는 다소 억제되지만 정전기를 완전히 제거할 수는 없으며 시스템에 영향을 주어 오동작이 발생한다.[4]-[6]

본 연구에서는 인쇄를 계속해야하는 특성상 위 방법 보다는 제어기의 오동작을 제거할 수 있는 정전차폐와 안전한 접지를 달구고자 한다. 잉크젯 플로터의 정전기원은 정전유도, 대전 및 전자기파에 의한 노이즈로 인해 제어기 반도체소자, 통신선로 및 전원장치 등에 영향을 미칠 수 있다. 이를 해결하기 위하여 해석 대상 플로터를 유한요소법(FEM)에 의해 정전기 분포를 해석하였으며 실험을 통하여 이에 대한 크기를 확인할 수 있었다. 정전기에 대한 대책으로서 제어기를 보호하기 위하여 정전차폐 금속케이스에 대지 접지를 통하여 대지로 방전시켰으며 이때 장비 접지는 신호접지와는 분리하여 제어기로 유입이 차단되도록 대책을 강구한다. 이로부터 정전기의 영향을 제거 하며 해석과 실험을 통하여 입증한다.

2. 정전기의 발생

2.1 잉크젯 플로터의 구조

2.2 박리대전과 마찰대전

정전기는 두 재질 간의 접촉과 분리에 의해서 발생하며 이때 재질간의 자유전자 이동한다. 그림 2는 마찰과 박리대전에 의해 정전기가 발생하는 부분을 나타낸 것이다. 그림 2(a),(b)는 절연체와 금속롤러사이의 박리대전과 금속판 위를 절연물이 이동하는 마찰대전이다.

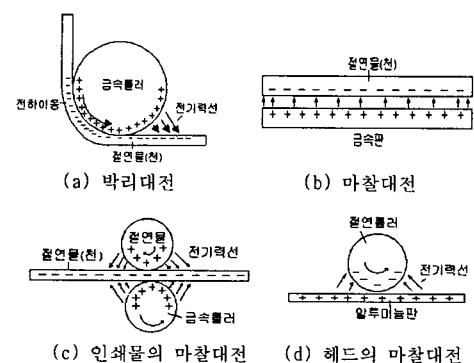


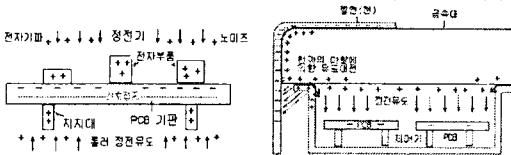
그림 2. 박리대전과 마찰대전에 의한 정전기원

그림 2(c),(d)는 대상 플로터에서 발생되는 마찰대전을 나타낸 것이다. 여기서 그림 2(c)는 위아래 양쪽 롤러의 마찰에 의해 인쇄물 천을 전송하는 구조이며, 그림 2(d)는 인쇄 헤드의 이동을 위한 롤러와의 마찰대전이다.

도체는 절연체보다 전자의 이동이 자유롭다. 정상적이고 안정적인 원자는 전하를 배척하는 양상을 보이므로 분리된 전하는 스스로 반발적이고 대전체 표면상에만 존재한다. 어떤 절연재질이 완벽한 절연체이거나 완벽하게 절연되었다면 분리된 전하는 무한정 남아있을 것이나 완벽한 절연체는 없고 완벽하게 절연시키는 것도 불가능하므로 전하는 인접환경으로부터 상극의 전하와 결합하여 전기적 균형 상태로 환원한다. 정전기는 절연체 또는 절연된 도체의 표면에 있는 전하와 관련한 일련의 현상이다. 정전기는 서로 다른 재질일 때 더 높은 전하가 발생한다.

표면상에 누적하는 대전량은 접촉재질, 접촉면적, 인접정도, 분리속도, 표면의 청결정도, 상대습도, 기타 물리적, 화학적 요인에 따라 다르므로 모든 접촉형태 및 환경 등의 충분히 규명되어야 한다. 정전기 전하는 재질간의 접촉과 분리에 의한 마찰로 전기적으로 자유로운 상태가 된다. 실제로 물과 공기 중의 먼지를 포함하는 모든 물체는 마찰전기로 대전될 수 있으며, 얼마나 많은 전하가 자유롭게 되느냐 그 전하는 어디로 얼마나 빨리 흐르는가 하는 것은 그 물체의 전기적인 특성에 달려 있다. 90% 이상의 상대습도에서도 정전기는 발전하기 때문에 습도만을 조절하는 것은 비실용적이다.

그림 3(a)는 대전된 정전기에 의해 헤드의 이동식 롤러의 마찰과 윗면에 금속 덮개 케이스가 없어 전자기파에 의한 노이즈 입력 발생 가능성에 의해 윗면 PCB 반도체소자의 정전기 영향 가능성을 나타낸 것이다. 그림 3(b)는 절연 천과 금속판 사이에 연속된 마찰에 의해 큰 정전기가 발생되어 이는 금속판 밑면 세이버박스의 전원 및 제어장치에 정전유도 가능성을 나타낸다.



(a) 헤드의 전자기파와 정전기 (b) 제어기의 정전기원
그림 3. 헤드 및 제어기 주변의 정전기원

2.3 안전한 접지

2.3.1 노이즈와 접지

정전기의 전자파인 노이즈는 주변 물질과 전선 및 통신선을 타고 제어기에 침입할 수 있으며 이때 EMC (Electromagnetic Compatibility)는 EMI와 EMS의 두 가지로부터 발생된다. 여기서 전도성 EMI는 도선을 통하여 노이즈가 결합된 형태의 전도성 내성과 노이즈 환경에 놓인 선으로 노이즈가 결합되어 다른 회로로 전달되는 형태의 전도성 방출로 분류된다. 복사성 EMI는 전자장을 통하여 시스템, 기기, 회로에 노이즈가 결합된 형태의 복사성 내성과 전기장, 자기장 분리측정, 복사전자장 축정의 복사성 방출로 분류된다. 여기서 전원 및 통신선 차폐 접지는 외부로부터의 전자파의 유입으로 인한 유도장애를 차단하여 노이즈, 고조파에 의한 제어기 오동작과 통신장애를 억제하고자 한다. 그림 4는 전원선 2선 트위스트 후 실드 선을 사용하고 종단 혹은 실드선 접지를 하여 차폐효과를 상승시킬 수 있으며 통신케이블도 마찬가지이다.

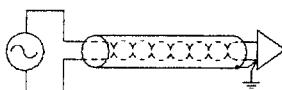


그림 4. 전원선 차폐접지

2.3.2 플로팅 접지

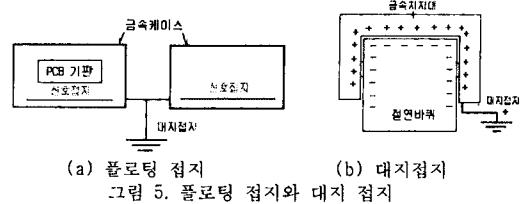
접지의 목적은 회전 및 직선 운동체의 대전된 전하의 방전경로와 풀로터에서 방사되거나 유입되는 불필요한 전자파를 바이패스 시키기 위한 경로이다. 풀로터가 전자기적인 에너지에 의해 손상을 입거나 오동작을 일으키지 않도록 하는 방법에는 차폐(shielding), 필터링(Filtering), 접지(Grounding system)가 있다. 접지의 경우 시스템 구성과 코기 및 사용주파수에 따라 접지방식이 달라질 수 있다. 접지는 범주가 매우 넓다.

시스템 접지는 PCB의 DC Common과 대지(함체)접지와 접지처리방법, 통신포트와 실드선의 접지처리방법, 접지루프의 최소화(크기, 숫자) 방법, 전원선 및 통신선의 배관방법 등 위와 같이 많은 경우가 있으며 다양하다. 프로세서에서 제어기의 오동작은 대부분 접지루프에 의한 결합에 의해 발생되는데 이는 2개 이상의 투파가 존재할 때 상호인더턴스나 접지선의 면적과 길이에 따른 용량성 결합을 의미한다.

플로팅 접지(floating ground)는 그림 5와 같이 신호접지(DC Common, -)선과 대지접지(빌딩, 설비)선이 전기적으로 연결되지 않는 것을 말한다. 이 방법은 접지선에 흐르는 잡음전류가 전도적으로 신호선에 유입되는 경로를 차단하기 위해 분리 성계한 형태이다. 보통 PCB 상의 DC 공통선(-선)과 함체 접지와는 분리가 원칙이며, 필요시 바이пас스 콘덴서(0.022uF)이나 인더터(100uH)를 연결하여 접지시킨다.

그림 5(a)는 금속체 박스의 장비접지와 제어기의 신호접지가 분리된 풀로팅 접지방식을 나타낸다. 이러한 접지는 순환전류에

의한 제어기의 오동작을 예방할 수 있다. 그럼 5(b) 풀로터 금속지지대와 절연바퀴 사이의 유도 정전기를 대지 접지를 통하여 방전시키는 것을 나타낸다. 이것을 마지막에 접지하지 않으면 아무의미가 없으며 여기서 접지저항은 가장 작을 수록 좋다.



(a) 풀로팅 접지 (b) 대지 접지
그림 5. 풀로팅 접지와 대지 접지

이때 접지선은 대지 접지봉(동판), 금속, 철골 및 수도관과 연결하며 접지선의 길이는 짧을수록 유리하다. 1점 접지는 저주파 대역 10[MHz] 미만에서 사용되며 접지망의 접지선은 1차 전원도체와 함께 평행으로 배선되어서는 안 된다. 다중 접지를 할 경우 순환전류가 흐를 수 있으며 저주파에서는 1점 접지가 적합하다. 접지선의 경우 고주파에서는 높은 임피던스를 지니므로 대략 1.5[m] 이상은 부적하며, 기타 실드 접지는 절연 트랜스의 접지처리와 실드 케이블의 접지처리로 가능하다.

2.4 정전차폐

2.4.1 유도성 대전

대전된 전기장에 의한 전기력선은 대전체에서 시작하여 대전체에서 끝난다. 대전되지 않은 물체가 대전체의 전기장에 노출되면 분극되어 가까운 쪽에는 반대극성의 전하가 가장 먼 쪽에는 같은 국성의 전하가 모이게 된다. 이 때 한쪽에서 전하를 끌어내면 그 물체는 대전체가 되는바 유도성 대전이 된다. 유도성 대전은 접지되지 않은 물체가 분극될 때 발생하는 것으로 분극시 발생하는 전류로 인하여 전자부품을 파괴할 수 있다. 특히 중요한 것은 접촉에 의하지 않고도 피해가 발생한다는 사실이며 플라스틱 용기 등은 유도성 대전을 유기하므로 주의하여야 하며 따라서 금속용기를 사용해야 한다.

정전기장과 정전기력선이 대전체 주위에 나타나고 전도체를 이전기장 가까이 가져가면 유도에 의해 분극화 한 것이다. 부도체는 유도에 의해 대전될 수 없다. 측정된 정전기가 2[KV] 이상이면 정전기에 민감한 부품으로서 최소 12[inch] 이상 거리를 두어야 한다.

2.4.2 정전기에 의한 잠재적 디바이스 피해

정전기에 의한 스파크 형태의 방전은 넓은 주파수 대역에서 간접하는 전자파의 장해 필스를 발생시켜 디지털 시스템의 교란(컴퓨터정지, 프로세서 애러, 프로그램오류)을 일으킨다. 이러한 피해는 하드웨어적인 피해는 아니므로 재회복이 가능하다.

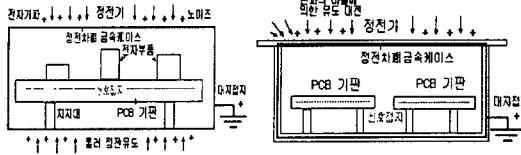
이러한 소프트웨어에 머리는 EMI 필스 외에도 인더턴스나 커페시턴스 결합에 의해서도 발생한다. ESD (Electrostatics discharge)에 의한 혼란은 부품레벨 뿐만 아니라 시스템 레벨의 문제도 야기 시킨다. 고 임피던스 저 전압 변화로 동작되는 논리소자를 모두 ESD에 민감하며 고 임피던스, 고 이득 입력을 갖는 신형 회로도 아주 민감하다.

정전기 방전에 의한 디바이스 피해의 원인은 다음과 같이 분류한다. HBM (인체모델 : Human body model) 작업자의 이동에 의한, CDM (대전자 모델 : Charged Device Model) 운반 선적 시, FIM (유도모델 : Field induced model) 등이 있지만 본 시스템에서는 인체 중 직접적인 영향을 미치는 유도모델을 대상으로 한다. 유도모델은 소자외부의 전자기장으로 소자에 두 가지 양향성을 미친다. 첫 번째 트랜지스터와 같이 산화막 게이트구조를 가진 소자의 경우 외부 전기장에 의하여 유전체 파괴가 일어날 수 있다. 두 번째 전기장에 노출된 소자내의 모발 충전이 이동하여 분극이 되고 어떤 경로로 접지된 후 소자가 대전 상태로 되어 CDM 모델에 피해를 발생한다.

이것은 PCB 기판 위의 조립품이 넓은 영역에서 주로 발생된다. 이에 따른 대책으로서 보관, 운반, 설치 시에 전자기파 차폐가 중요하며 ESD/EMI/RFI 실드 등의 포장재를 적절히 선택하는 것이 중요하다. ESD 디바이스가 정전기장에 놓여지면 디바이스 상에 전압이 유도되고 그 디바이스가 순간적으로 접지된다면 디바이스로부터 전하의 이동이 CDM 발생률을 일으키고 그 디바이스가 정전기장으로부터 벗어나 다시 접지 될 때 그 디바이스로부터 전달된 1차 발생과 상극의 전하가 2차 CDM 발생을 일으킨다.

본 풀로터는 인쇄천을 마찰대전에 의해 프린팅 해야 하므로 정전기를 완전히 제거 할 수는 없다. 따라서 정전차폐와 안전한

접지에 의해서 이것이 전원 및 제어장치로 유입되는 정전기를 차단하여 방전시키면 된다. 그럼 6(a)는 헤드제어기가 룰러에 의해 직선운동을 하며 헤드 윗면에 금속케이스가 없이 절연덮개로 되어 있어 전자기파 및 정전기에 노출되어 있다. 따라서 정전차단용 금속케이스가 필요하다. 그럼 6(b)는 외부의 정전유도에 의한 제어기 케이스의 정전차폐를 나타낸 것이다. 여기서 제어기의 윗면 금속 케이스 덮개가 없어 유도된 정전기가 유입될 수 있으므로 정전 차폐용 금속덮개가 요구된다.



(a) 헤드의 정전차폐 (b) 제어기의 정전차폐
그림 6. 제어기의 정전차폐 및 대지접지 방법

정전기 분산은 다른 금속물체로 안전하게 방전하도록 본딩하여 대지접지로 방전한다. 이는 물질의 전도성을 높여 전하의 방출을 용이하게 하는 방법이며 강한 전기장도 정전기원이 된다. 반도체 소자의 경우 소자가 작을 수록 감당할 수 있는 전력은 아주 작아져 정전기의 방전에 의하여 피해를 입을 가능성이 크다.

그림 7은 정전차폐 금속케이스와 신호선이 분리된 안전한 접지를 통하여 대지 금속체로 접지된 플로터의 접지방법을 나타낸 것이다.

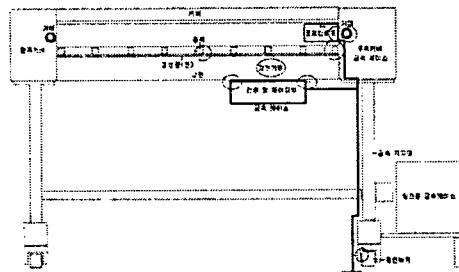


그림 7. 플로터 시스템의 정전차폐와 접지방법

2.5 관계 수식

정전기 특성의 해석시 필요한 관계 수식은 다음과 같다. 이때 접촉면의 전압 및 정전용량에 대한 관계는 식(1)~(5)과 같다.

$$V = \frac{Q}{C} \quad (1)$$

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2)$$

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (3)$$

$$\epsilon_s = 1/2 CV^2 \quad (4)$$

$$\tau = RC \quad (5)$$

유한요소법에 의한 정전기 해석의 지배방정식은 다음과 같다. 여기서 스칼라 포텐셜 V로부터 라플라시안 식은 다음과 같다.

$$E = -\nabla V \quad (6)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (7)$$

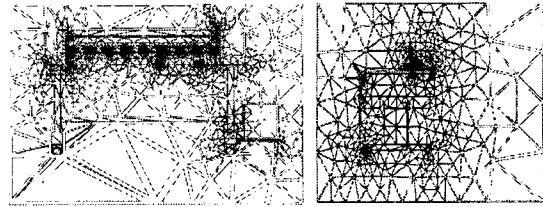
$$\nabla \cdot J = 0 \quad (8)$$

$$\nabla \cdot E = \rho/\epsilon_0 \quad (9)$$

$$-\nabla \cdot \epsilon \nabla V = \rho \quad (10)$$

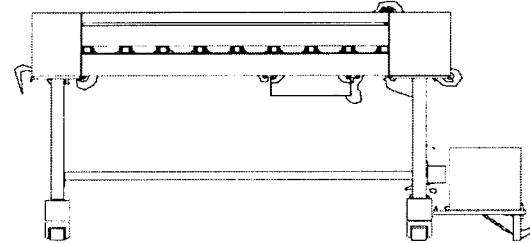
3. 시뮬레이션 및 실험결과

본 장에서는 산업용 플로터를 유한요소법 전용 패키지인 Maxwell-2D에 의해 해석을 통하여 각 부분의 정전기 분포를 정확히 알 수 있으며 실험을 통하여 이에 대한 크기와 방향을 알 수 있었다. 그림 8(a),(b)는 정전기 해석을 위한 대상 모델(OJ-62)의 정면도와 측면도에 대한 요소분할 매쉬 분포를 나타낸 것이다.



(a) 정면도 (b) 측면도
그림 8. 해석 모델의 요소분할 매쉬

그림 9(a)는 룰러와 인쇄 천 사이에 마찰대전에 따라 정전기 분포가 발생됨을 나타내며, 또한 제어기 케이스 사이에서 정전기가 발생됨을 알 수 있었다. 그림 9(b)는 확대된 절연룰러와 인쇄천 사이의 마찰대전에 의한 정전기 분포이며, 그림 9(c)는 확대된 제어기의 금속 케이스 끝부분의 유도된 정전기 분포이다.



(a) 정면도의 정전기 분포
(b) 룰러와 천 사이
(c) 제어기 박스와 금속면
그림 9. 플로터 정면도와 확대된 룰러와 박스의 정전기원

그림 10은 플로터의 측면도에 대한 정전기 분포이며, 여기서 룰러와 천 사이에서 정전기 분포가 밀(집중)하며 금속 바닥 면과 천사이, 이동헤드 사이, 인쇄 천과 제어기 박스 상이 및 천에 의한 지지대와 바퀴사이에도 정전기가 유도됨을 알 수 있다.

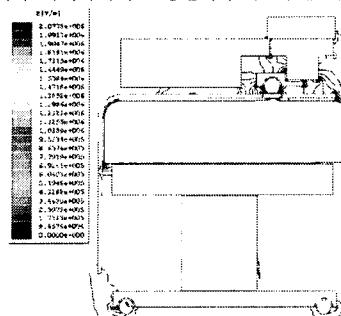
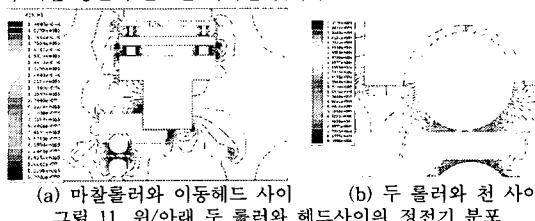


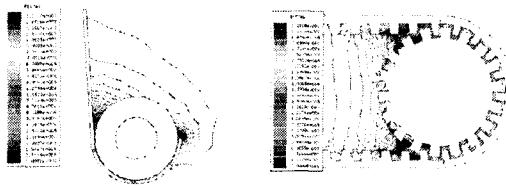
그림 10. 플로터 측면도의 각 부분에 대한 정전기분포

그림 11(a)는 확대된 두 룰러와 천사이의 정전기 및 헤드룰러에 대한 정전기 분포이며, 그림 11(b)는 두 룰러 사이의 인쇄 천에 대한 정전기 분포를 나타낸 것이다.



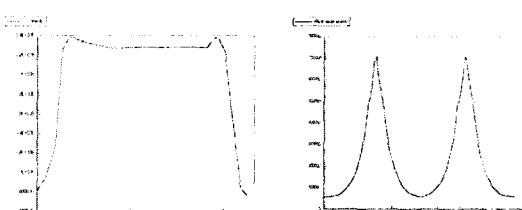
(a) 마찰룰러와 이동헤드 사이 (b) 두 룰러와 천 사이
그림 11. 위/아래 두 룰러와 헤드사이의 정전기 분포

그림 12(a)는 후면 미디어에서 앞면 미디어로 이동되는 절연 천의 철봉 면과 천 타래에서 천을 박리 시 대전 되는 정전기 분포를 나타내며 그림 12(b)는 헤드와 인쇄 천을 이동시키는 서보모터 부하축의 벨트와 기어 풀리 사이에서 마찰 및 박리대전에 의해 발생되는 정전기 분포를 나타낸 것이다.



(a) 철봉 면과 천 타래 (b) 모터축의 풀리 기어와 벨트
그림 12. 천 타래와 기어벨트 사이의 정전기 현상

그림 13은 풀리와 천사이의 정면도와 측면도에 대한 정전기 크기를 유한요소법 해석에 의해 구한 결과 가장 큼을 알 수 있다.



(a) 정면도 정전기 (b) 측면도 정전기
그림 13. 풀리와 천사이의 정전기 크기

그림 14. 정전차폐 및 안전한 접지에 의해 정전기가 방전된 플로터의 정전기 분포를 나타낸 것이다.

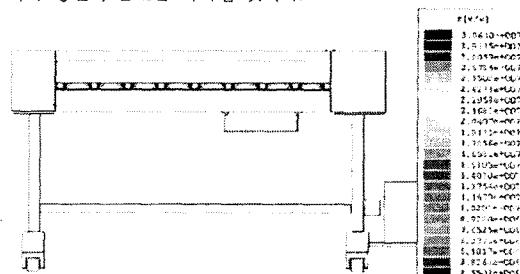


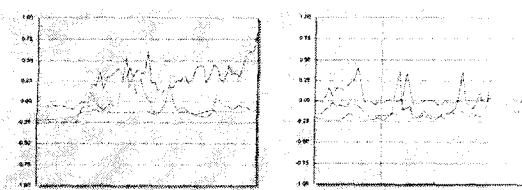
그림 14. 정전차폐와 접지에 의해 억제된 정전기

표 1은 실험에 의한 정전기의 측정 위치를 나타낸다.

표 1 정전기의 측정 위치

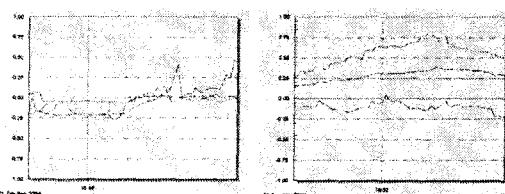
측정	주황선	보라선	갈색
1	헤드베이스	전면 미디어	제어기박스
2	SM 벨트 HOME부	SM 벨트 중간부	SM 벨트 PURGE부
3	제어기박스 (표면상단부)	제어기박스 (BOARD, SMPS)	제어기박스 (표면하단부)
4	전면미디어	후면미디어	전면미디어

그림 15는 실험에 의해 측정된 각 부분의 정전기 분포를 나타내며, 이때 플로터의 각 부분에서 정전기는 발생되지만 특히 마찰 및 박리부분에서 많이 발생됨을 알 수 있었다.



(a) 측정 1

(b) 측정 2



(c) 측정 3 (d) 측정 4
그림 15. 플로터의 위치별 정전기 측정전압

4. 결 론

본 연구에서는 산업용 잉크젯 플로터를 대상으로 장시간 인쇄시 축적되는 정전기 발생을 해결하고자 하였다. 이를 해석하기 위하여 유한요소법을 적용하였으며 이에 필요한 정전기 전압파라미터는 정전기 측정장비를 통하여 각 부분별 정전기를 측정하였으며 이로부터 정전기 분포가 가장 크게 발생되는 각각의 위치를 확인하였다.

해석결과 마찰대전이 발생되는 면은 전면미디어와 제어기박스 부분, 두 인쇄롤러와 천 사이, 헤드이동 풀리에서 정전기가 가장 크며 후면 천과 타래 사이의 박리, 서보모터 축 기어벨트의 마찰 및 박리에서도 정전기가 발생됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 장시간 연속 인쇄될 경우 정전기는 더욱 커지며 제어기에 오동작을 발생함을 알 수 있었다. 보통 정전기 억제는 습도와 세척기의 이온화에 의해 어느 정도 정전기를 할 수 있지만 이러한 방법으로 본 시스템의 근본적인 정전기 문제를 해결하기는 어려우므로 본 연구에서는 정전기를 해결하기 위해서 정전차폐와 안전한 접지방식을 선정하였다. 장시간 연속 인쇄시 마찰대전은 완전히 제거 할 수 없으므로 정전기는 계속 발생된다. 따라서 제어기로 침입하는 정전기는 금속케이스에 의해 정전차폐하였으며 이것은 대지로의 접지에 의해 최소 저항으로 방전되어 농구성하였다. 이때 PCB의 신호접지와 제어기 금속체 케이스의 대지접지와는 완전히 플로팅 되도록 하여 정전기의 침입을 차단하였다. 기타 제어기로 인출려되는 전원선과 통신선도 정전기 및 노이즈에 의해 오동작이 없도록 차폐 접지하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 윤신용, 최근수, 백수현, "대형 잉크젯 플로터의 위치별 정전기 해석 및 방지", 대한전기학회 추계학술대회, 2004
- [2] M. C. Zaretsky, S. A. Billow, R. A. Whitney, "Electrostatic assist for coating : the effect of surface resistivity," Journal of Electrostatics, Vol.61, pp.31-42, 2004.
- [3] J. L. Davidson, T. J. Willianms, 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. Raftiroiu, 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.
- [6] 윤신용, "정전기현장설무기술 및 현장트러블 실전대책", 한국 산업기술협회, 2003

본 연구는 산업자원부의 우수재조기술연구센터(ATC)
사업의 개발자금지원으로 수행되었습니다.