

Electrostatic Analysis and Protection of the Industrial Type Inkjet Plotter

崔根洙* · 白壽鉉[†]
(Geun-Soo Choi · Soo-Hyun Baek)

Abstract - According to industrial development, all fields using chemical instrument and material are generated an electrostatics. Electrostatic problems were very important part to all these components, moving system, printer, clothe machines etc. This paper was represented an analysis of electrostatic electrification by FEM (finite element method) of industrial type Inkjet plotter. Here electrostatics distribution analysis is accomplished by Maxwell-2D. We are showed an electrostatics generation source by rubbing and meager profits of electric charge. It know electronic values with each system position by experiment. These are decreased through earth and electricity shielding. Therefore this paper is proved by the simulation and experiment result

Key Words : FEM, Electrostatics, Maxwell-2D, Rubbing, Earth, Electrostatic Shielding, Electrification

1. 서 론

정전기(Electrostatic)의 유래는 B.C 600년경 Miletus의 Thales가 호박을 양털에 문질러서 마찰전기가 발생하면서부터 알게 되었다. 이후 산업의 발달에 따라 화학물질을 이용하는 모든 공업제품에서 정전기에 대한 히스테리현상을 해결하는 것이 중요한 문제가 되었으며 이는 동작시스템의 제어기에 예기치 않은 오류의 원인이 되고 있다.[1,2]

정전기는 두 물체간의 접촉과 마찰 및 분리에 의해 발생되며, 특히 다른 두 물체사이 절연체와 금속체간의 마찰시 물체에 더욱 큰 정전기가 충전된다. 정전기의 양은 여러 변수에 의해 결정되는바, 표면에 누적되는 대전(Electrification)량은 접촉재질종류, 접촉면적, 근접정도, 분리속도, 표면 거칠기, 청결정도, 상대습도, 접촉압력, 문지름 횟수, 분리속도 및 기타 물리적, 화학적 요인에 따라 영향을 받는다.[3~6]

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. 습도가 65%이상 이면 정전기는 다소 억제되지만 정전기를 완전히 제거할 수는 없으므로 시스템에 영향을 주어 오동작의 원인이 된다.[7~10]

특히 본 연구에서는 플로터가 연속적인 인쇄를 계속해야하는 특성상 정전기를 완전히 제거할 수는 없으므로 제어기의

오동작을 차단할 수 있는 정전차폐와 안전한 접지를 제안한다. 잉크젯 플로터의 정전기원은 정전유도, 대전 및 전자기파에 의한 노이즈로 인해 제어기 반도체소자, 통신선로 및 전원 라인 장치 등에 영향을 미친다. 본 연구에서는 정전기 대전에 대한 이론을 정립하며, 이를 해석하기 위하여 유한요소법(FEM)을 적용하여 대상 플로터에 대한 각 위치별 정전기 현상을 해석하며 실험을 통하여 위치별 정전기 분포를 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 연속 출력 시 정전기로부터 플로터를 보호하여 안정된 동작이 가능함을 제시하고자 하며 정전기 해석 및 실험결과로부터 이에 대한 타당성을 제시하고자 한다.

2. 정전기 현상 및 차폐

2.1 잉크젯 플로터의 구조

그림 1(a),(b)는 옥외광고용 현수막의 인쇄를 위한 잉크젯 플로터 구조를 나타낸 것이다. 여기서, 그림 1(a)는 현수막 천을 전면으로 인쇄하는 정면도 플로터 구조를 나타내며 그림 1(b)는 측면도를 나타낸다.

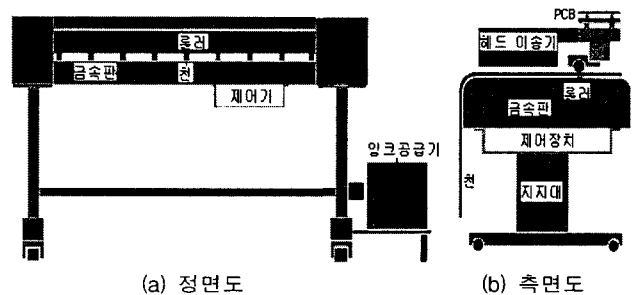


그림 1 잉크젯 플로터의 구조
Fig. 1 Structure of Inkjet plotter

[†] 교신저자, 正會員 : 東國大學 電氣工學科 教授 · 工博
E-mail : baekuniv@dongguk.edu

* 正會員 : 東國大學 電氣工學科 碩士課程
接受日字 : 2005年 12月 27日
最終完了 : 2006年 1月 16日

2.2 박리와 마찰대전

정전기는 두 재질 간의 접촉과 분리(박리)에 의해서 발생하며 이때 재질간의 자유전자 이동이 발생한다. 그림 2(a)~(d)는 마찰과 박리대전에 의해 정전기가 발생하는 부분을 나타낸 것이다. 여기서 그림 2(a)는 절연 천과 금속롤러 사이의 타래에 의한 박리대전이며, 그림 2(b)는 금속판 위를 천이 마찰시 발생하는 마찰대전을 나타낸 것이다.

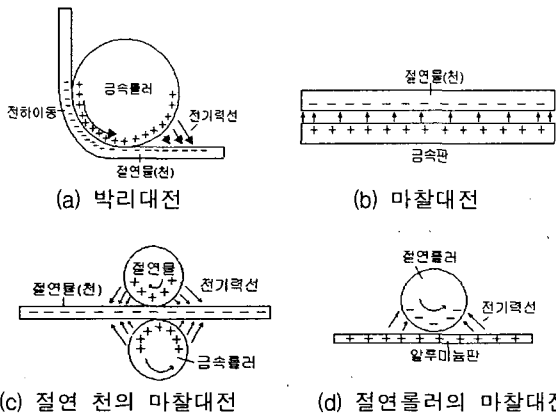


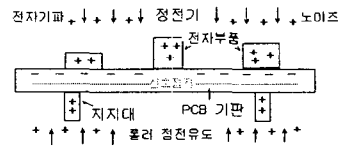
그림 2 박리대전 및 마찰대전에 의한 정전기원
Fig. 2 Electrostatic source by exploitation and friction electrification

그림 2(c),(d)는 대상 플로터에서 발생하는 마찰대전을 나타낸 것이다. 그림 2(c)는 위아래 두 롤러의 마찰에 의해 절연 천을 인쇄 이송하는 구조이며, 그림 2(d)는 알루미늄 판과 절연롤러의 마찰대전을 나타낸 것이다.

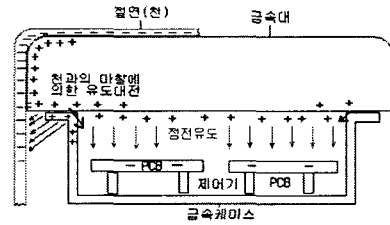
도체는 절연체보다 전자의 이동이 자유롭다. 정상적이고 안정적인 원자는 전하를 배척하는 양상을 보이므로 분리된 전하는 스스로 반발적이며 대전체 표면에만 존재한다. 어떤 절연체질이 완벽한 절연체이거나 완벽하게 절연되었다면 분리된 전하는 무한정 남아있을 것이다. 그러나 완벽한 절연체도 없고 완벽하게 절연시키는 것도 불가능하므로 전하는 인접 환경으로부터 상극의 전하와 결합하여 전기적 균형 상태로 환원한다. 정전기는 절연체 또는 절연된 도체의 표면에 있는 전하와 관련하여 발생하는 현상이다.

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 발생하기 때문에 습도만을 조절하는 것은 비효과적이다.

그림 3(a)는 대전된 정전기에 의해 헤드가 이동시 롤러의 마찰과 뒷면에 케이스가 없어 전자기파에 의한 노이즈 발생 가능성으로 PCB 반도체소자의 정전기 영향을 나타낸 것이다. 그림 3(b)는 베이스 금속판 왼쪽 위를 현수막 천과의 사이에 연속된 마찰력에 의해 큰 정전기가 발생되며 이는 금속대 밑면 제어기 회로에 정전유도 현상을 발생시킬 수 있다.



(a) 잉크분사 이송헤드의 정전기



(b) 제어기의 정전기

그림 3 헤드 및 제어기 주변의 정전기원
Fig. 3 Electrostatic source of printing head and control peripheral

2.3 동역학적 현상

2.3.1 대전입자의 운동방정식 및 이동도

질량 M , 반지름 a 인 구형입자가 전하 q 를 갖고 있다고 하면 전기장 E 내에서 입자의 운동은 다음 식(1)과 같다.

$$M \frac{d^2 r}{dt^2} + 6\pi\eta a \frac{dr}{dt} = qE + F_1 + F_2 \tag{1}$$

여기서, r 은 위치벡터, η 는 매질의 점성계수이다. 좌변 제 1항은 관성력, 제 2항은 점성항력이며, 우변 제 1항은 쿨롱력, 제 2항은 F_1 은 gradient력 등 쿨롱력 이외의 정전기력, 제 3항 F_2 는 중력 등 전기력 이외의 힘이다.

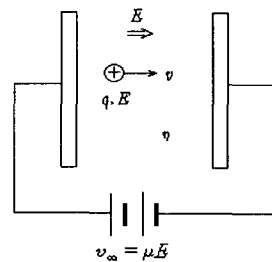


그림 4 대전입자의 운동
Fig. 4 Motion of electrification particle

그림 4와 같이 직류 평등 전기장 중에서 대전입자의 운동은 식 (1)로 표현되며 여기서 F_1, F_2 를 무시하고 $t=0$ 에서 대전된 작은 구의 속도를 $v = \frac{dx}{dt} = 0$ 이라고 하면 다음 식 (2)와 같다.

$$v = \frac{qE}{6\pi\eta a} (1 - e^{-t/\tau}) \tag{2}$$

단지 $\tau = \frac{M}{6\pi\eta a}$: 속도 완화시간, 여기서 $t = \infty$ 에 있어서의 속도를 v_∞ 라 하면 최종속도 $v_\infty = \frac{qE}{6\pi\eta a} = \mu E$ 이며, 이때 μ 는 대전된 작은 구의 이동도이며 식(3)으로 표시된다.

$$v = \frac{q}{6\pi\eta a}, \quad \mu\eta = \frac{q}{6\pi a} \quad (3)$$

위 식은 대전입자의 정전기력에 의한 운동식을 나타낸다.

2.4 전하의 이동

2.4.1 열전자 방출에 따른 이동

금속과 절연물의 두 표면이 접촉하면 그 사이의 포텐셜 장벽 높이가 U 는 그림 5와 같이 각형 포텐셜 장벽 두께 d 의 감소와 더불어 낮아진다. 이것은 전자에 작용하는 영상력 때문이다. 금속으로부터 절연물을 전자가 이동할 때 넘어야만 하는 포텐셜 장벽은 영상력의 포텐셜과 $\Phi_m - x$ 이다. 절대온도가 T 일 때 열전자 방출에 따른 전류 밀도 J 는 식(4)로 주어진다.

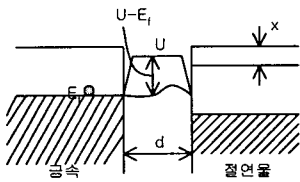


그림 5 전자의 터널 방출
Fig. 5 Tunnel emission of electron

$$J = (1 - R)AT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_m - x}{kT}\right) [A/m^2] \quad (4)$$

$$A = 4\pi me k^2 / h^3 [A/m^2 \cdot \text{deg}^2]$$

- 여기서 R : 포텐셜 장벽에서의 전자파 반사율
- m : 전자 질량
- h : 플랑크 상수
- A : 데슈만 상수
- k : 볼츠만 상수
- Φ_m : 금속 일함수
- x : 전자 친화력

2.4.2 터널 방출에 따른 이동

포텐셜 장벽의 높이가 유한하고 두께가 매우 얇을 때 어떤 에너지로 장벽에 부딪히는 전자는 장벽의 건너편 에너지 및 운동량이 이쪽과 거의 같다. 이때 빈 전자 상태가 있으면 일정 투과율을 갖고 건너편으로 터널효과에 의하여 장벽을 뚫고 이동할 수 있다. 금속-절연물 접촉에서 금속표면으로부터 절연물 표면으로 전자이동은 터널효과라고 하며 터널방출에 따른 전류밀도는 다음 식으로 주어진다.

$$J = (1 - R) \frac{e(U - E_i)}{2\pi\hbar d^2} \exp\left(-\frac{4\pi d}{h} \sqrt{2m(U - E_i)}\right) [A/m^2] \quad (5)$$

2.4.3 확산에 따른 이동

대기에 놓여있는 물체의 표면에는 다수의 이온이 흡착되어 있다. 그림 6과 같이 두 물체를 접촉시켰을 때 이온의 밀도 기울기 dN/dx 에 비례해서 이온의 이동이 생기고 그것에 뒤따르는 확산전류 J_D 가 흐른다.

여기서, $J_E = eN\mu E$

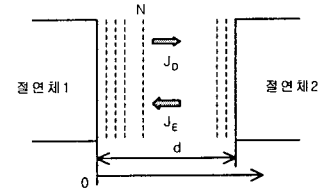


그림 6. 이온의 확산에 따른 이동
Fig. 6 Movement according to ion diffusion

$$J_D = -eD \frac{dN}{dx} \quad (6)$$

이때 이온의 이동에 의해 두 물체 사이에 전기장 (E_s)이 발생하여 이온의 확산을 방해한다. 두 물체에는 영상 전하도 유도되므로 이것에 의한 전기장 (E_i)에 의해 이온의 확산은 방해된다. 이러한 두전기장에 따른 전류 J_E 는 식(7)과 같다.

$$J_E = e\mu N(E_s + E_i) [A/m^2] \quad (7)$$

그리고 $J_D = J_E$ 로 됐을 때 평행상태에 도달한다. 여기서 D , μ 는 이온의 확산계수와 이동도이고, N 이 볼츠만 법칙에 따라 분포하는 경우는 다음의 아인슈타인 관계가 성립한다.

$$eD = \mu kT \quad (8)$$

위의 세 식으로부터 평행 상태에 있어서는 다음식과 같다.

$$E_s = -E_i + \frac{kT}{E} \times \frac{1}{N} \times \frac{dN}{dt} \quad (9)$$

이온의 확산에 따라 물체사이에 생기는 전위차를 V_s 라 하면 이는 식(10)과 같다.

$$V_s = \int E_s dx = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{e} + \frac{kT}{t} \ln \frac{N_2}{N_1} \quad (10)$$

여기서 Φ_1, Φ_2 는 두 물체로부터 이온이 떨어질 때 넘어야 하는 영상 퍼텐셜이고, 전자인 경우의 일함수에 상당한다. N_1, N_2 는 평행 상태에 있어서 접촉면 근방의 이온밀도이다.

2.5 접지

2.5.1 노이즈와 접지

정전기의 전자과인 노이즈가 주변 환경과 전선 및 통신선을 타고 제어기에 침입할 수 있으며 이때 EMC (electro magnetic compatibility)는 EMI와 EMS의 두 가지로부터 결정된다. 여기서 전도성 EMI(electro magnetic interference)는 도선을 통하여 노이즈가 결합된 형태의 전도성 내성과 노이즈 환경에 놓인 선로로 노이즈가 결합되어 다른 회로로 전달되는 형태로 분류된다. 복사성 EMI는 전자장을 통한 시스템 기기 및 회로에 노이즈가 결합된 형태이다.

차폐 접지는 외부로부터 전자파의 유입으로 인한 유도장에
를 차단하여 노이즈 및 통신장애를 억제함을 의미한다. 그림
7은 전원선 2선을 트위스트한 후 실드 선을 사용하고 중단
측 실드선 접지를 하여 차폐효과를 상승시킬 수 있다.

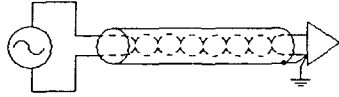


그림 7 전원선 차폐 접지
Fig 7 Shielding earth of power line

2.5.2 플로팅 접지

접지목적은 회전 및 직선 운동체의 대전된 전하 방전경로,
플로터에서 방사되거나 유입되는 불필요한 전자파를 바이패
스 시키는 것이다. 플로터가 전자기적인 에너지에 의해 손상
을 입거나 오동작을 일으키지 않도록 하는 방법에는 차폐
(shielding), 필터링(filtering) 및 접지(grounding)가 있다. 접
지의 경우 시스템 구성과 크기 및 사용주파수에 따라 접지방
식이 달라질 수 있다. 접지의 범주는 매우 넓다.

시스템 접지는 PCB의 DC 공통선(-)과 대지접지 사이의
접지방법, 통신포트와 실드선의 접지방법, 접지루프의 최소화
(크기, 숫자) 방법, 전원선 및 통신선의 연결방법 등 여러 가
지의 경우가 정전기 발생에 영향을 미친다.

플로팅 접지 (floating ground)는 그림 8과 같이 신호접지
(DC common, -)선과 대지접지(빌딩, 설비)선이 전기적으로
연결되지 않는 것을 말한다. 이 방법은 접지선에 흐르는 잡
음전류가 전도적으로 신호선에 유입되는 경로를 차단하기 위
해 분리한다. 필요시 바이패스 콘덴서 C : 0.022[uF], 인덕터
L : 100[uH]를 연결하여 접지시킨다.

그림 8(a)는 금속케이스 박스의 접지와 제어기의 신호접지가
분리된 플로팅 접지방식을 나타낸 것이다. 그림 8(b) 플로터
금속지지대와 절연바퀴 사이의 정전기를 대지 접지에 의해
방전시키는 구조이다.

여기서 접지선은 주변 대지 접지봉(판), 금속, 철골 및 수
도관과 연결할 수 있다. 전원 귀환선과 신호전류의 귀환 선
은 1차 측에서 직접 연결하지 않아야 한다. 접지저항은 최소
10Ω 이하이며 3Ω이면 더욱 좋다. 접지극인 구리봉은 지름
8[mm], 길이 900[mm], 매설깊이 0.5~1[m] 가 깊을수록 온
도, 습도의 영향이 작다. 1점 접지는 저주파 대역 10[MHz]
미만에서 사용된다. 접지망의 접지선은 1차 전원도체와 길게
평행으로 배선되어서는 안 된다. 다중 접지를 할 경우 순환
전류가 흐를 수 있으므로 저주파시는 1점 접지가 적합하다.

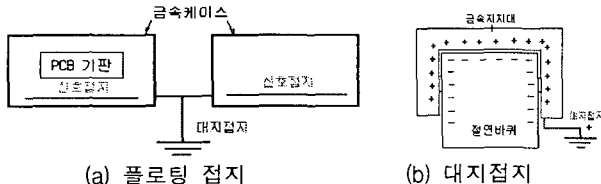


그림 8 플로팅 접지와 대지 접지
Fig. 8 Floating grounding and earth grounding

접지선의 경우 고주파에서는 고 임피던스를 지니므로 약
1.5[m] 이상은 부적합하며 차폐용 접지선은 짧을수록 좋다.
임펄스 서지는 접지를 통해 귀환함으로써 신호 접지선과는 분

리한다. 접지저항은 작을 수록 좋으며 이때 정전기를 잘 방
전할 수 있다. 차폐 접지는 절연 트랜스의 접지처리와 실드
케이블의 접지로 가능하다.

2.6 정전차폐

2.6.1 유도성 대전

대전된 전기장에 의한 전기력선은 대전체에서 시작하여 대
전체에서 끝난다. 대전되지 않은 물체가 대전체의 전기장에
노출되면 분극 되어 가까운 쪽에는 반대극성의 전하가 가장
먼 쪽에는 같은 극성의 전하가 모이게 된다. 이때 한쪽에서
전하를 끌어내면 그 물체는 대전체가 되는바 유도성 대전이
된다. 유도성 대전은 접지되지 않은 물체가 분극 될 때 발생
하는 것으로 분극 시 발생하는 전류로 인하여 전자부품을 오
동작 시킬 수 있다.

특히 중요한 것은 접촉에 의하지 않고도 피해가 발생한다
는 사실이며 플라스틱 용기 등은 유도성 대전을 유기하므로
주의하여야 하며 따라서 금속용기를 사용하여야 한다. 정전
기장과 정전기력선이 대전체 주위에 나타나고 전도체를 이
전기장 가까이 가져가면 유도에 의해 분극화 될 것이다. 측
정된 정전기가 2[KV] 이상이면 부품은 정전기에 민감함으로
최소 12 [inch] 이상 거리를 두어야 한다.

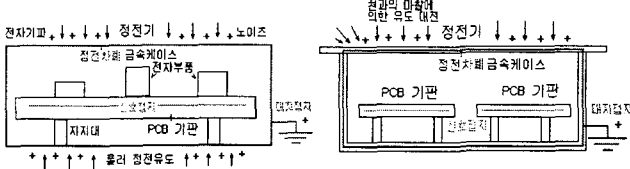
2.6.2 정전기 방전에 의한 잠재적 디바이스 피해

정전기에 의한 방전은 넓은 주파수 대역에서 간섭하는 전
자파의 방해 펄스를 발생시켜 디지털 시스템의 교란 (컴퓨터
정지, 프로세서 에러, 프로그램 오류)을 일으킨다. 이러한 피
해는 하드웨어적인 피해가 아니므로 억제가 가능하다. 소프
트웨어 오차는 EMI 펄스 외에도 인덕턴스나 커패시턴스 결
합에 의해서도 발생한다. 정전기방전 (ESD : electrostatics
discharge)에 의한 혼란은 부품레벨 뿐만 아니라 시스템 레벨
의 문제도 야기 시킨다. 고 임피던스 저 전압으로 동작되는
논리소자들은 모두 ESD에 민감하며 고 임피던스, 고 이득
입력을 갖는 선형회로도 아주 민감하다. 따라서 소자가 작을
수록 감당할 수 있는 면적은 아주 작아져 정전기 방전에 의
하여 피해를 입을 가능성이 커진다. 소프트웨어는 인덕턴스
나 커패시턴스의 결합에 의해서도 발생된다.

정전기 방전에 의한 디바이스 피해의 원인은 다음과 같이
분류한다. 인체모델 (HBM : human body model) 작업자의
이동에 의한, 대전자 모델 (CDM : charged device model) 운반 선적시,
유도모델 (FIM : field inducted model) 등이
있지만 본 시스템에서는 인쇄 중 직접적인 영향을 미치는 유
도모델을 대상으로 한다. 유도모델은 소자 외부의 전자기장
으로 소자에 두 가지 영향을 미친다. 첫 번째 MOS 트
랜지스터와 같이 산화막 게이트구조를 가진 소자의 경우 외
부 전기장에 의하여 유전체 파괴가 발생할 수 있다. 두 번째
전기장에 노출된 소자내의 모빌충전이 이동하여 분극이 되고
어떤 경로로 접지된 후 소자가 대전 상태로 되어 대전자 모
델에 피해를 발생 시킨다.

본 플로터에서는 인쇄 천을 금속면 위에서 마찰대전에 의
해 프린팅 해야 하므로 정전기는 계속 축적되며, 이러한 정전
기가 포화되어 제어기에 일시 방전할 경우 오동작을 발생 할
수 있다. 따라서 정전차폐와 차폐 접지에 의해서 이것이 전

원 및 제어장치로 유입되는 정전기를 차단하여 방전시켜야 한다. 이러한 해결 방안은 그림 9(a),(b)와 같다. 그림 9(a),(b)는 그림 3(a),(b)의 모델에 금속 케이스로 차폐하고 이를 대지 접지하여 정전 차폐하는 방법을 제시하였다.



(a) 헤드제어기의 금속케이스 (b) 주제어기의 금속케이스
 그림 9 제어장치의 정전차폐용 금속케이스
 Fig. 9 Electrostatic shielding metal case of control system

그림 10은 정전차폐 금속케이스와 이송 분사제어기 금속케이스가 접지선을 통하여 대지접지로 연결된 플로터의 접지방향을 나타낸 것이다. 따라서 현수막 천이 연속적으로 베이스 금속 체와 마찰하여 인쇄 시 정전기가 발생하지만 정전기 차폐 접지는 접지선을 통하여 대지로 안전하게 바이패스 할 수 있다.

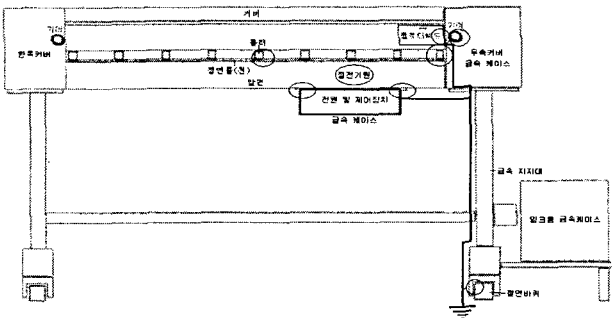


그림 10 플로터 장치의 정전차폐 접지
 Fig. 10 Electrostatic shielding earth of plotter system

2.7 관계 수식

정전기 특성의 해석에 필요한 관계 수식은 다음과 같다. 이때 접촉면의 전압 및 정전용량에 대한 관계는 식(11)~(20)과 같다.

$$V = \frac{Q}{C} \tag{11}$$

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \tag{12}$$

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \tag{13}$$

$$\epsilon_s = 1/2CV^2 \tag{14}$$

$$\tau = RC \tag{15}$$

여기서 V : 전압, Q : 전하량, C : 정전용량, A : 면적, d : 두께, ϵ : 유전율, r : 반경, F : 정전력, τ : 전기적인 시정수.

유한요소법에 의한 정전기해석의 지배방정식은 다음 식과 같으며 여기서 스칼라 포텐셜 V 로부터 라플라시안 식은 다음과 같다.

$$E = -\nabla V \tag{16}$$

$$\nabla \cdot D = \rho \tag{17}$$

$$\nabla \cdot J = 0 \tag{18}$$

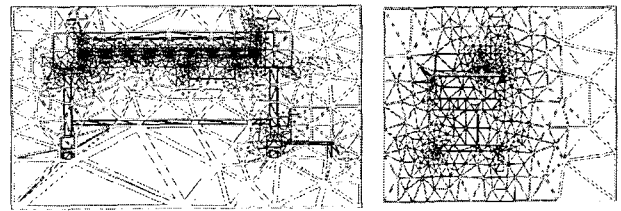
$$\nabla \cdot E = \rho/\epsilon_0 \tag{19}$$

$$-\nabla \cdot \epsilon \nabla V = \rho \tag{20}$$

여기서 E : 전기장, V : 전압, D : 전속밀도, J : 전류밀도, ρ : 도전율, ϵ_0 : 진공유전율

3. 시뮬레이션 및 실험결과

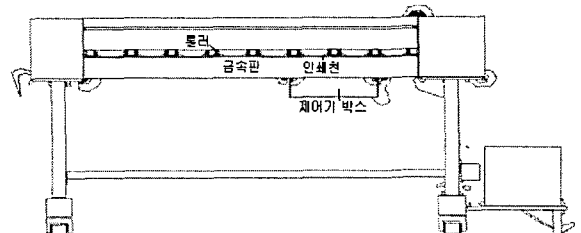
본 3장에서는 2장에서 이론을 바탕으로 산업용 플로터를 유한요소법(FEM)을 이용하여 해석하였다. 그림 11(a), (b)는 그림 1(a), (b)의 대상모델에 대해 정전기 해석을 위한 정면도와 측면도의 요소분할 삼각 mesh(5111)를 나타낸 것이며 이때 해석 오차는 0.18 %이다.



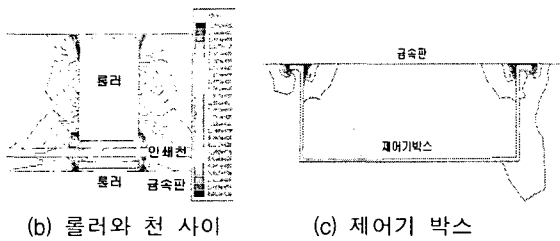
(a) 정면도 (b) 측면도
 그림 11 해석 모델의 요소분할 매쉬
 Fig. 11 Element division mesh of analysis model

그림 12(a)는 FEM에 의해 해석된 롤러와 인쇄 천 사이에 마찰대전에 따라 정전기 분포가 발생됨을 확인 할 수 있다. 여기서 비접지시 이송 천의 마찰부분인 롤러 사이와 제어기 박스 부분에서 특히 정전기 분포가 발생됨을 알 수 있다. 그림 12(b)는 마찰에 의해 정전기가 발생하는 두 절연롤러와 인쇄천사이의 확대된 모습에서 마찰대전에 의해 정전기 분포가 크게 발생됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 절연 천 재질, 롤러 재질, 절연면적, 절연거리 및 마찰 회수에 의해 영향을 미친다. 그림 12(c)는 플로터 본체의 밑면과 제어기 박스의 모서리 부분에서 발생하는 정전기 분포의 확대된 모습이다. 이는 두 접촉면 면사이의 거리와 면적에 의해 결정됨 알 수 있다.

그림 12(a)는 FEM에 의해 해석된 롤러와 인쇄 천 사이에 마찰대전에 따라 정전기 분포가 발생됨을 알 수 있다. 여기서 비접지시 이송 천의 마찰부분인 롤러 사이와 제어기 박스 부분에서 특히 정전기 분포가 발생됨을 알 수 있다. 그림 12(b)는 마찰에 의해 정전기가 발생하는 두 절연롤러와 인쇄 천사이의 확대된 모습에서 마찰대전에 의해 정전기 분포가 크게 발생됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 절연 천 재질, 롤러 재질, 절연면적, 절연거리 및 마찰 회수에 의해 영향을 미친다. 그림 12(c)는 플로터 본체의 밑면과 제어기 박스의 모서리 부분에서 발생하는 정전기 분포의 확대된 모습이다. 이는 두 접촉면 사이의 거리와 면적에 의해 결정됨을 알았다.



(a) 전체 정면도



(b) 롤러와 천 사이 (c) 제어기 박스

그림 12 정면도와 확대된 롤러와 제어박스의 정전기 분포
Fig. 12 Electrostatic of front drawing and zoomed part

그림 13은 플로터의 측면도에 대한 정전기 분포이며, 여기서 롤러와 천 사이에서 정전기 분포가 가장 밀(집중)하며, 금속판 바닥 면과 천 사이의 마찰력, 이송 헤드의 롤러, 인쇄선과 제어기 박스 사이 및 천에 의한 지지대와 바퀴사이 순으로 정전기가 유도됨을 알 수 있다.

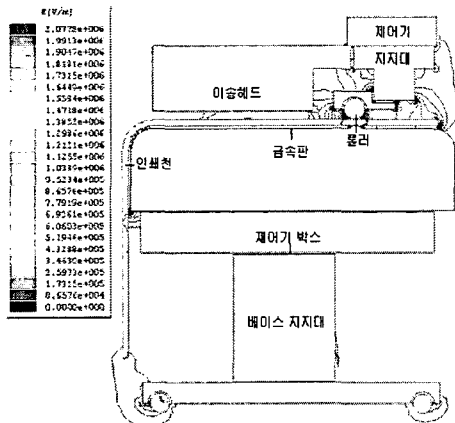
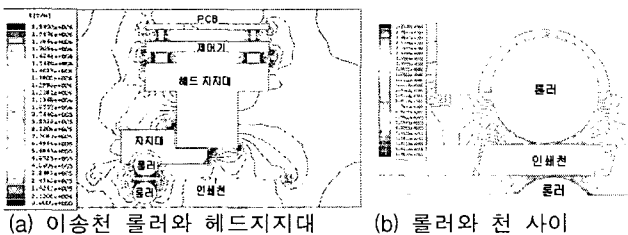


그림 13 측면도의 정전기 분포
Fig. 13 Electrostatic distribution of side drawing

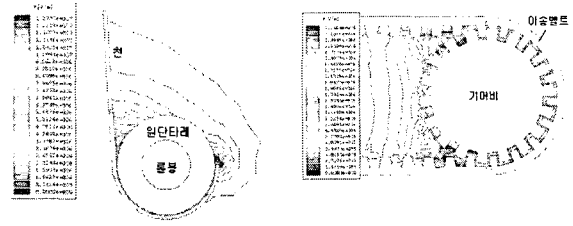
그림 14(a)는 확대된 두 롤러와 천사이의 정전기 및 헤드의 롤러에 대한 정전기 분포이며, 그림 14(b)는 두 롤러 사이의 인쇄선에 대한 정전기 분포를 나타낸 것이다.



(a) 이송천 롤러와 헤드지지대 (b) 롤러와 천 사이

그림 14 두 롤러와 헤드 지지대 사이의 정전기 분포
Fig. 14 Electrostatic distribution between up/down two roller and head base

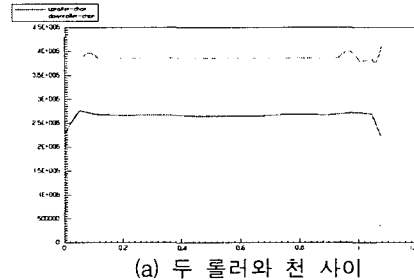
그림 15(a)는 후면미디어에서 앞면 미디어로 이동되는 현수막 천이 롤 봉 타래에 의해서 천을 박리 시 발생하는 정전기 분포를 나타낸다. 그림 15(b)는 그림 인쇄를 위해 헤드를 위치제어에 의해 이송 시 서보모터 부하축의 벨트와 기어 풀리 사이에서 마찰 및 박리대전에 의해 발생하는 정전기 분포를 나타낸 것이다.



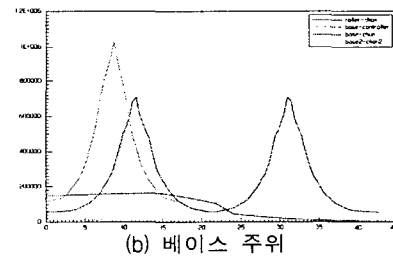
(a) 롤 봉과 천 사이 (b) 기어 풀리와 벨트 사이

그림 15. 타래 천과 기어 벨트 사이의 정전기 분포
Fig. 15 Electrostatic between banner bunch and gear belt

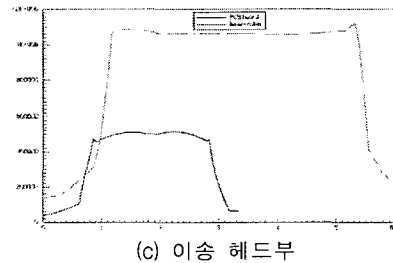
그림 16(a),(b),(c)는 유한요소법의 해석에 의해 얻은 각 부분의 정전기 크기를 나타낸 것이다. 그림 16(a)는 정전기가 가장 크게 발생하는 그림 12(b)의 정면도인 두 롤러와 인쇄선 사이에서 발생하는 정전기 크기를 나타낸 것이다. 여기서 금속판 베이스와 천 사이의 정전기 크기는 녹색선이며 천과 위 롤러와의 값은 적색 선으로 나타낸다. 그림 16 (b)에서 녹색 선은 금속베이스와 제어기 박스 사이의 크기를 나타내며 적색 선은 두 롤러와 제어기 박스 사이 값을 나타내는 그림 13의 측면도를 나타낸다. 그림 16(c)에서 녹색 선은 이송헤드의 롤러부에서 발생된 크기이며 적색 선은 PCB 회로부에서의 정전기 크기를 나타낸 것이다



(a) 두 롤러와 천 사이



(b) 베이스 주위



(c) 이송 헤드부

그림 16 롤러와 천사이의 정전기 크기
Fig. 16 Electrostatic voltage of roller and bunch

그림 17은 정전차폐 및 차폐접지에 의해 정전기가 바이패스된 플로터의 정전기 분포를 나타낸 것이다. 여기서 롤러와 인쇄면 사이에 마찰력에 의해 발생된 정전기는 완전히 제거할 수는 없다. 그러나 이러한 정전기가 제어기를 타고 들

어오는 것을 금속케이스로 정전차폐하며 잔류하는 정전기는 접지선을 통하여 대지로 접지하였다.

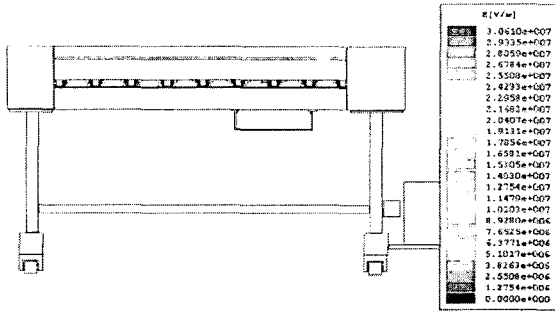


그림 17 정전차폐 및 접지에 의한 정전기 분포

Fig. 17 Electrostatic by electrostatic shielding and earth

표 1은 정전기 측정 장비를 이용하여 각 부분별 정전기 발생 가능지역을 3 부분으로 나누어 테스트한 정전기의 측정 위치를 나타낸다.

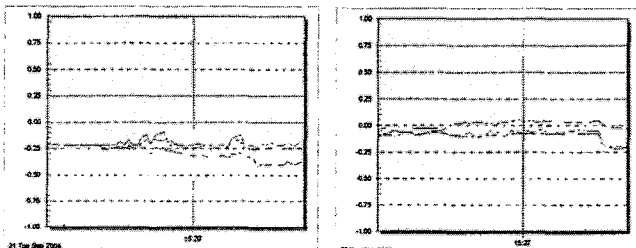
표 1 정전기의 측정위치

Table 1 Measurement position of electrostatic

테스트수	좌측측정 주황색	중앙측정 보라색	우측측정 남색색
테스트 1	후면 미디어	캐리지 DC모터 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	베이스 금속판	우측 스탠드	후면 커버
테스트 7	전면 미디어와 헤드베이스	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

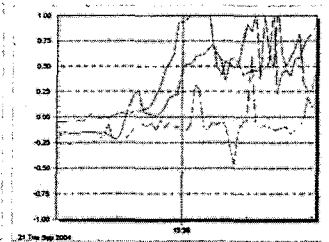
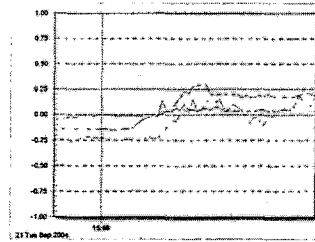
그림 18은 실험에 의해 측정된 각 부분의 정전기 크기를 나타내며, 이때 플로터의 각 부분에서 정전기는 발생되지만 특히 마찰 및 박리부분에서 많이 발생됨을 알 수 있었다. 여기서 측정값은 3종류의 색으로 나타내었다.

(보라색, 남색, 주황색)



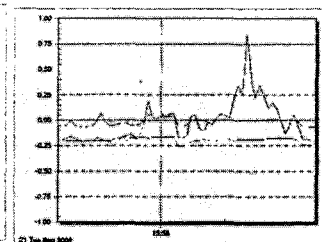
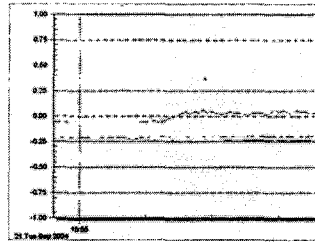
(a) 테스트 1

(b) 테스트 2



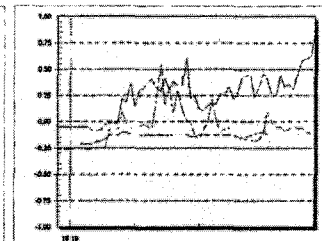
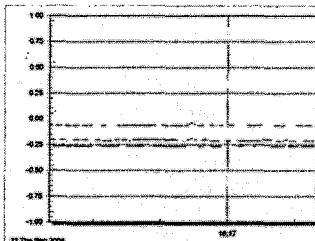
(c) 테스트 3

(d) 테스트 4



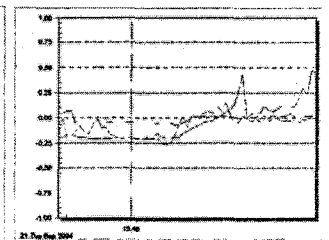
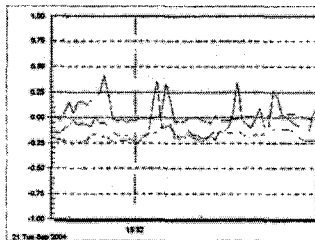
(e) 테스트 5

(f) 테스트 6



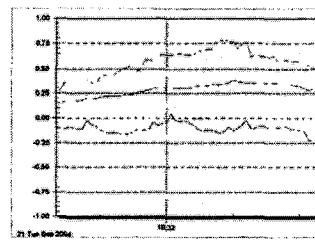
(g) 테스트 7

(h) 테스트 8



(i) 테스트 9

(j) 테스트 10

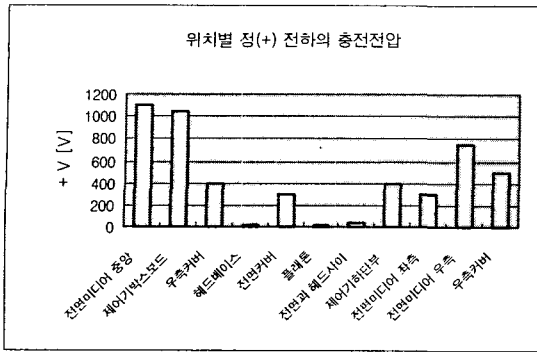


(k) 테스트 11

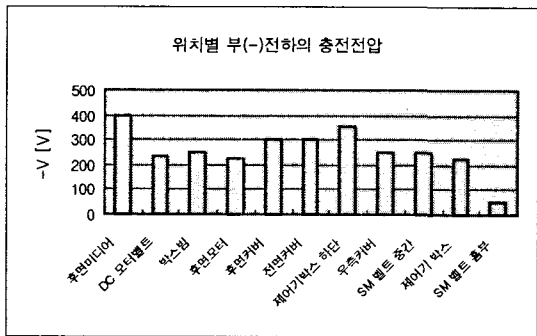
그림 18 플로터의 위치별 정전기 측정전압

Fig. 18 Electrostatic measurement voltage of each position plotter

그림 19(a), (b)는 표 1의 위치별 정전기의 측정전압을 나타낸 것이다.



(a) 측정전압 [+]

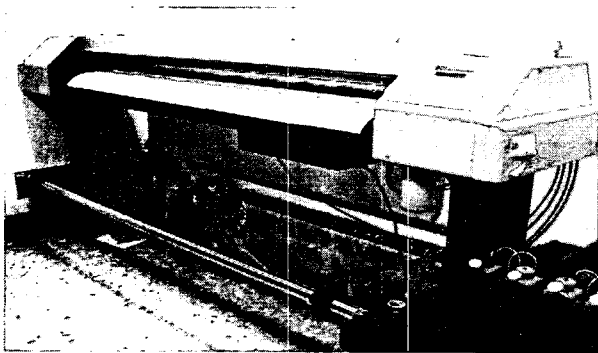


(b) 측정전압 [-]

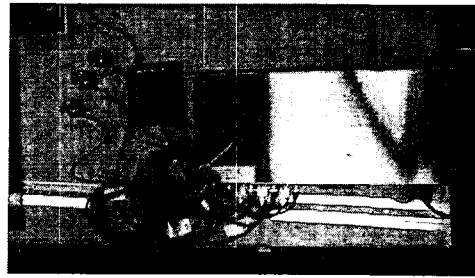
그림 19 위치별 정전기의 측정된 전압크기
Fig. 19 Measurement voltage value of each position electrostatic

측정결과 플로터의 전면미디어 (테스트 4)와 제어기박스 표면 (테스트 4), 후면미디어 (테스트 11), 인쇄 천 미디어 우측커버 (테스트 8), 후면커버 (테스트 6) 및 전면미디어와 헤드베이스(테스트 7)의 크기 순으로 정전기가 크게 발생 됨을 알 수 있었다. 실험 중 롤러와 천 사이는 구조상 측정기로 정확한 측정이 곤란하여 측정을 할 수 없었다.

그림 20은 대상 플로터의 실제 모델과 정전기 측정 장치를 나타낸 것이다. 그림 20(a)는 실제 플로터 장비의 정면도이며, 그림 20(b)는 정전기 계측을 위한 측정 시스템과 측정 지점을 나타낸 것이다. 측정기는 원하는 위치에 부착시키면 리얼 타임으로 측정이 가능하다.



(a) 플로터 장비



(b) 측정 계측기

그림 20 정전기 측정시스템
Fig. 20 Measurement system of electrostatic

4. 결 론

본 연구에서는 산업용 잉크젯 플로터를 대상으로 광고용 현수막 출력물 인쇄 시 발생하는 정전기를 해석하고 차폐시켰다. 이를 해석하기 위하여 정전기와 접지에 대한 이론 정립과 유한요소법을 적용하였다. 대상 플로터의 정전기는 계측장비를 통하여 각 부분별 정전기를 측정하였으며 이로부터 정전기가 발생하는 각 부분의 위치에 대한 크기를 알 수 있었다. 해석결과 마찰대전이 발생하는 면은 1) 두 인쇄롤러의 인쇄 천 사이, 2) 전면미디어와 제어기박스 부분, 3) 헤드이동 롤러에서 정전기가 가장 크게 발생되었다.

후면 미디어 천과 타래 사이의 박리, 헤드 이송서보모터 축기어벨트의 마찰 및 박리에서도 정전기가 발생됨을 확인하였다. 해석 결과 플로터 자체에 의한 정전기보다는 인쇄물과 플로터 롤러 및 급속면과의 마찰 대전 의해 발생하는 정전기가 가장 큼을 알 수 있었다.

이러한 결과는 장시간 연속 인쇄될 경우 정전기 발생은 더욱 커지며 제어기 오동작에 원인임을 알 수 있었다. 보통 정전기 저감은 습도와 제전기의 이온화에 의해 가능하지만 이러한 방법으로 본 시스템의 인쇄 특성상 근본적인 정전기 문제를 해결하기는 어렵다. 특히 장시간 연속 인쇄시 정전기는 계속 발생되며 마찰대전은 완전히 제거 할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 정전기를 저감하기 위해서 정전차폐와 안전한 접지방식을 적용하였다. 제어기로 침입하는 정전기를 급속케이스에 의해 정전 차폐하였으며 여기에 대지접지에 의해 바이패스 되도록 구성하였다. 또한 접지방식은 PCB 기판의 신호접지와 제어기 급속체 케이스의 대지접지와는 완전히 플로팅 되도록 하여 정전기의 침입을 차단하였다. 그 밖의 제어기로 입출력되는 전원선과 통신선도 정전기 및 노이즈에 의해 오동작이 없도록 차폐 접지하였다.

참 고 문 헌

[1] 백수현외 2인, "대형 잉크젯 플로터의 위치별 정전기 해석 및 방지", 대한 전기 학회 추계 학술대회, 2004.
[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. Williams, 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.
- [6] 한국 산업기술협회, "정전기현장 실무기술 및 현장트러블 실전 대책". 2004.
- [7] Noboru Otaki, "Colour Image Evaluation Systems," OKI Technical Review, Vol.70, N0.2, pp.68-73, 2003. 4.
- [8] Kotaro Yoshmura, Mitsura Kishimoto, Toshiro Suemune, "Inkjet Printing Technology," OKI Technical Review, Vol.64, pp.41-44, 9998. 8.
- [9] Patrick Mmmel, Roger David Hersch, " Modeling Ink Spreading for Color Prediction," Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 46, pp.237-246, No.3, 2002. 5
- [10] Marguerite Doyle, " Measuring the Imperfect Dot," IS&Ts NIP16 International Conference on Digital Printing Technologies, pp.640-642, 2002.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산업자원부 우수제조기술연구센터(ATC) 기술개발사업 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

저 자 소 개



최근수 (崔根洙)

1957년 9월 3일생. 1983년 원광대학교 전기공학과 졸업. 1995년 동국대학교 전기공학과 졸업(석사). 2002년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1985년 1월~현재 (주)디지아이 부사장(연구소장).

E-mail : geunsoo@dgi-net.com



백수현 (白壽鉉)

1949년 5월 2일생. 1972년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1977년~현재 동국대학교 전기공학과 교수. 1999년~2004년 동국대 산업기술연구원 원장 및 창업 지원단장. 2001년~2003년 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환 시스템 변환부문(B) 회장. 현재 대한전기학회 부회장, 평의원.

E-mail : baekuniv@dongguk.edu