

## 레이저 프린터의 소음 및 진동 연구분야

차덕순\*, 박기주, 김경환, 최민호  
(삼성전자(주) 디지털프린팅사업부)

### 1. 머리말

레이저 프린터의 일반적인 성능은 인쇄 속도, 해상도 및 화질, 첫장 인쇄 시간, 인쇄 소음으로 표시될 수 있다. 그 외에 급지 용량과 양면 인쇄 기능, 제품의 크기 및 가격이 제품을 구입할 때에 고려 하는 사항이라고 할 수 있다. 이러한 프린터의 기본 성능 중에서 진동 및 소음과 관련이 깊은 항목은 작동 소음 및 인쇄 화질이라고 할 수 있다. 그런데 레이저 프린터는 전기/전자 및 소프트웨어, 기계, 물리, 재료 등의 복합적인 기술이 적용된 제품으로 인쇄 소음 및 화질과 같은 전체 부품 및 시스템에 의해 영향을 받는 기능을 개선시키고자 하는 경우에는 전체 구조 및 작동 원리에 대한 충분한 이해가 필요하다.

비록 많은 사람들이 사용하고는 있으나 프린터의 작동 구조는 잘 이해하고 있지 못하므로 먼저 프린터의 작

동 구조에 대하여 간략히 소개한 후에 프린터의 소음 저감과 화질 개선과 관련된 기술분야를 소개하고자 한다.

### 2. 레이저 프린터의 작동 구조

일반적인 칼라 레이저 프린터의 구조는 그림 2에 나타난 바와 같이 레이저 스캔 장치(LSU), 감광 드럼(OPC)과 4가지 색깔의 토너 카트리지, 전사 벨트의 주요 화상 형성 장치와 정착기(fuser) 및 급/배지 롤러로 구성되어 있다.

프린터의 작동시에는 주요 부품 및 각종 롤러의 구동을 위한 기어열에서 발생하는 진동과 회전축의 조립 유격에서 발생하는 진동이 소음의 주요 원인이 된다. 일반적으로, 프린터의 부하는 현상기와 정착기에서 많이

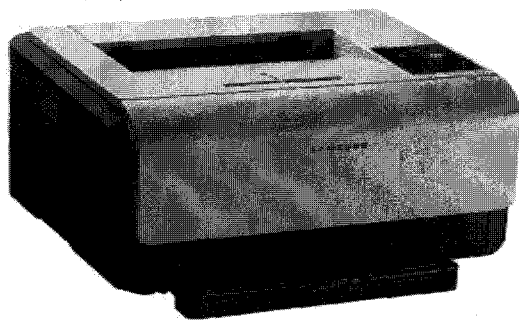


그림 1 칼라 레이저 프린터 CLP-300

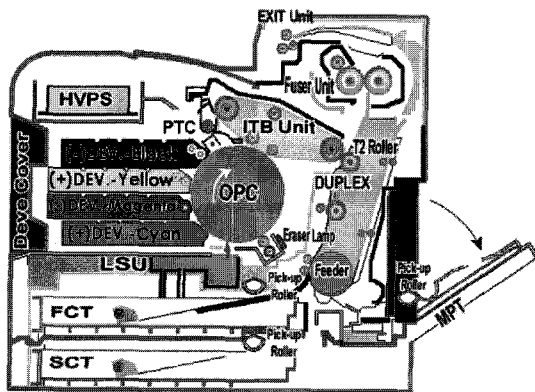


그림 2 칼라 레이저 프린터의 구조

\* E-mail : d.cha@samsung.com / (031) 200-7065

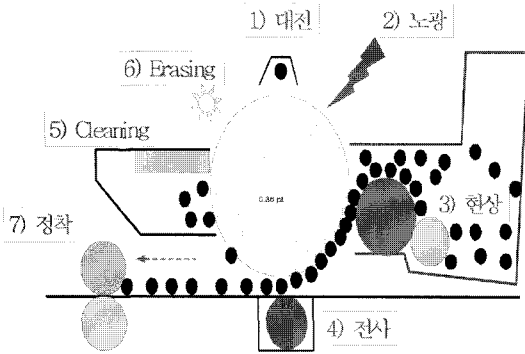


그림 3 레이저 프린터의 인쇄 과정

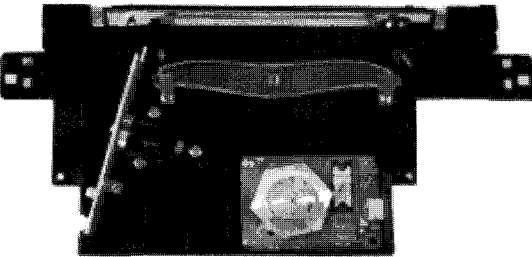


그림 3 레이저 프린터의 인쇄 과정

차지한다. 또한 용지가 이송되면서 주위의 안내면과 마찰이 발생하므로 이로 인한 용지 자체의 진동에 의한 소음도 많은 영향을 미친다. 프린터의 기본 설계 단계에서 결정되는 각종 부품의 배치 및 용지 이송 경로에 의하여 프린터의 소음은 많은 영향을 받는다고 할 수 있다.

용지에 인쇄가 되는 과정을 살펴보면 '대전', '노광', '현상', '전사', '정착'의 순서로 진행된다. '대전'은 감광 드럼을 균일한 전위를 이루도록 하는 과정을 말하고, '노광'은 레이저를 이용하여 인쇄 영역의 전위를 제거하는 과정을 말한다. '현상'은 감광 드럼의 노광된 특정 부위에만 토너가 정전기력에 의해 부착되는 과정이고 '전사'는 감광 드럼에 부착된 토너가 종이로 이동하는 과정을 말한다. '정착'은 종이위에 단순히 정전기력에 의하여 부착된 토너를 온도와 압력을 이용하여 종이 내부로 침투시키는 과정이다. 그외에 감광 드럼에서 전사되지 않고 남아 있는 토너를 제거하고 감광 드럼의 불균일한 전위를 제거하는 'cleaning' 과 'erasing' 과정이 있다.

칼라 레이저 프린터의 경우에는 yellow, magenta, cyan, black의 4가지 색깔의 토너를 1개의 감광 드럼을 이용하여 순차적으로 현상하고 중간 전사 벨트를 이용하여 용지에 일괄적으로 인쇄하는 multi-path 방식과 4개의 감광 드럼으로 4개 색깔의 인쇄를 동시에 진행하는 single-path 방식의 2가지 구조로 나눌 수 있다. 그림 2는 multi-path 방식의 칼라 레이저 프린터의 구조를 나타내고 있다.

대부분의 프린터가 사용하는 LSU는 내부에 고속으로 회전하는 육각형의 반사 미러가 있어서 광원인 레이저 다이오드에서 나오는 빛을 감광 드럼으로 보내어 화상을 형성시키도록 한다. 이때 육각형의 미러가 고속으로 회전할 때 발생하는 유동으로 고주파의 공력 소음이 발생하여 인쇄 소음의 한 원인이 된다.

### 3. 프린터의 인쇄 소음

프린터의 인쇄시에 발생하는 소음을 구분하여 보면, 용지 이송에 의한 용지 마찰음, 모터 및 각종 롤러의 구동으로 프레임 구조에 진동이 유발되어 발생하는 소음이 대부분을 차지한다. 그러나 사용자의 감성적인 측면에서는 프린터의 내부 온도 제어를 위해 사용하는 냉각 팬의 소음과 LSU 내부의 육각형 미러에 의한 공력 소음 및 인쇄 과정에 작동하는 각종 전사 클러치의 소음도 반드시 고려되어야 하는 사항이다.

#### 3.1 구조 진동에 의한 소음

레이저 프린터의 구동은 스텝 모터와 BLDC 모터를 많이 이용한다. 스텝 모터의 경우에는 모터 입력 펄스에 의한 고주파의 소음이 가장 크게 나타나고 BLDC 모터의 경우에는 로터의 편심에 의한 진동과 용지 이송 롤러에 의한 저주파의 소음이 많이 나타난다.

프린터의 진동 특성을 파악하기 위하여 그림 5와 같이 프린터의 뼈대를 구성하는 주요 구조에 대하여 FEM 모델링을 하여 진동 모드를 해석해보면 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있다. 해석 결과를 살펴보면 고유진동수가 매우 밀집하여 분포되어 있다는 것을 알 수 있다. 프린터의 프레임의 실제 형상은 매우 복잡하므로 간략하게 모델링된 해석 결과에는 오차가 포함될 수밖에 없고 고유진동수가 밀집되는 시스템의 특성으로 인하여

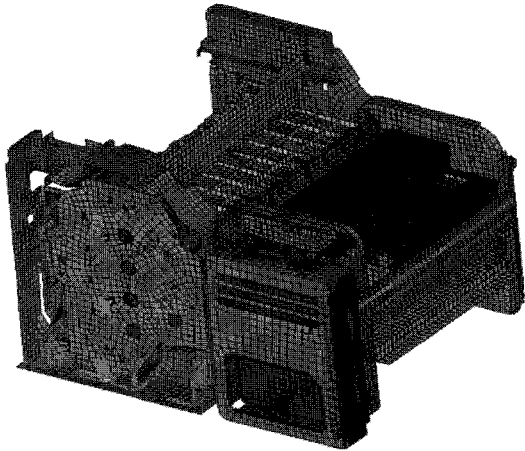


그림 5 기본 구조의 진동 해석 모델링

표1 기본 구조의 진동 해석 결과

No	고유진동수	No	고유진동수
1	24.8 Hz	10	74.3 Hz
2	33.3 Hz	...	...
3	36.2 Hz	18	92.0 Hz
4	36.9 Hz	19	97.7 Hz
5	46.3 Hz	20	99.4 Hz
6	55.2 Hz	...	...
7	59.7 Hz	95	290.3 Hz
8	66.3 Hz	96	291.4 Hz
9	70.8 Hz	...	...

소음 발생의 관심 대역인 700 Hz 이상에서는 100번째 이상의 고차의 고유진동모드가 해당되어 해석의 정밀도가 많이 저하된다.

대부분의 기본 구조물은 재질이 플라스틱으로 구성되어 있다. 따라서 구조물의 동특성을 실험적으로 파악하고자 할 때에 플라스틱 재료의 과도한 뎀핑으로 인하여 정확한 실험 결과를 얻기가 어렵다. 그리고 밀집한 고유진동수가 실험 과정에서는 뚜렷이 분리가 되지 않는 것도 실험적인 접근을 어렵게 하는 이유 중의 하나이다.

플라스틱 부품은 제조 과정의 사출 성형 과정에서 수축으로 인한 치수 변동이 발생하므로 조립 편차가 발생한다. 이러한 조립 편차 및 조립 유격으로 인하여 제품 각각의 작동 소음에 편차가 발생한다. 그리고 프린터의 구동시에는 구동 모터의 진동 뿐만 아니라 기어, 롤러

등의 모든 회전 부품에서 외력을 발생시키므로 각 외력의 주요 주파수와 상호간의 위상 차에 대한 영향도 분석하여야 한다.

이러한 특성은 모두 비선형적인 것으로 이론적인 해석이 쉽지 않고 많은 시간이 소요된다. 그러므로 다양한 실험을 통하여 진동의 전달 경로 및 주요 소음원을 파악하여 구조 변경 및 진동 절연으로 소음을 저감하는 것이 효율적이라고 할 수 있다.

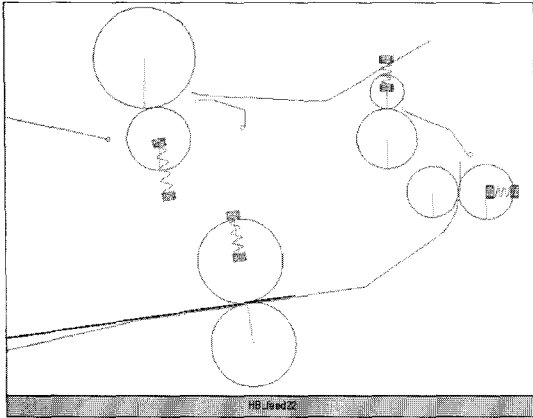
### 3.2 용지 이송에 의한 소음

각종 롤러를 이용하여 용지를 이송하는 과정에서 용지의 선단과 후단, 용지면이 주변의 안내 구조물과 접촉이 발생한다. 이때의 마찰력으로 인하여 용지의 자체 진동이 발생하고 용지면에서 소음을 유발한다.

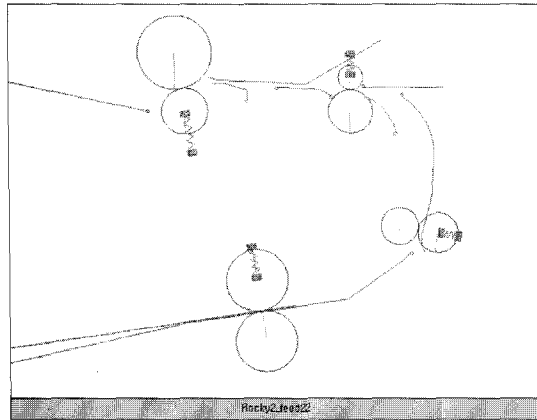
이러한 용지 마찰음을 저감하기 위하여는 용지 이송 및 변형과 용지 가이드의 최적 형상 설계에 대한 연구가 필요한데 이를 실험적으로 분석하기에는 한계가 있으므로 해석적인 방법을 주로 사용한다. 용지 거동의 해석에는 용지 물성치의 자료가 기본적으로 필요한데 용지의 특성은 주변 온도 및 습도에 따라 달라진다는 사실을 유념하여야 한다. 그리고 용지는 길이에 비하여 두께가 매우 얇은 특성으로 인장에는 강하지만 굽힘에는 변형이 매우 쉽게 발생하므로 'large deformation'의 비선형 특성을 가진다. 그리고 용지 이송 시에는 용지 가이드와의 '접촉 및 충돌', '마찰' 등의 특성을 고려하여야 한다.

이러한 비선형적인 특성을 모두 고려하여 해석할 수 있는 상용 프로그램으로는 RecurDyn과 같은 동역학 해석을 기본으로 한 프로그램이 LS-Dyna와 같은 finite difference method를 기본으로 한 프로그램보다 많이 사용되고 있다. 그림 6에 RecurDyn을 이용한 2차원의 용지 이송 해석이 나타나 있다. 초기의 급격한 각도 변화를 가지는 용지 가이드의 형상이 완만하게 변동되었고 롤러의 위치도 수정되어 가이드와의 충격력이 저감되도록 설계가 변경되었다. 그러나 RecurDyn의 해석 결과는 용지의 이송 및 변형, 속도와 가이드와의 접촉시의 힘에 대한 결과만 나타나고 발생 소음과의 직접적인 관계는 얻을 수 없다는 것을 주의하여야 한다.

그리고 이송 롤러의 영향으로 용지 이송 속도는 축 방향으로 미세한 차이가 발생하여 용지에 curl이 발생하



(a)



(b)

그림 6 (a) 용지 가이드 설계: 초기 형상, (b) 용지 가이드 설계: 개선 형상

여 용지의 강성에 변동이 발생한다. 이러한 다양한 원인으로 인하여 해석 결과는 실제 상황과 차이가 발생하므로 실험에 의한 보완 및 검증이 반드시 필요하다.

### 3.3 냉각 팬 및 클러치 작동 소음

프린터의 인쇄 소음의 절대적인 크기 외에 사용자가 느끼는 감성적인 면을 강조하는 추세를 고려하면, 냉각 팬에 의한 공력 소음, LSU 작동 소음, 각종 클러치의 동작음을 무시할 수는 없다.

냉각용 팬의 경우에는 프린터에서의 장착 구조에 따라 소음이 증폭될 수 있고, 기내의 특정 부위의 냉각을 위해 같이 조립되는 에어-덕트 영향으로 공력 소음이 증가될 수 있다. LSU의 설계에서는 육각형 미러의 회전으로 인한 내부 유동에서 과도한 소음이 발생하지 않

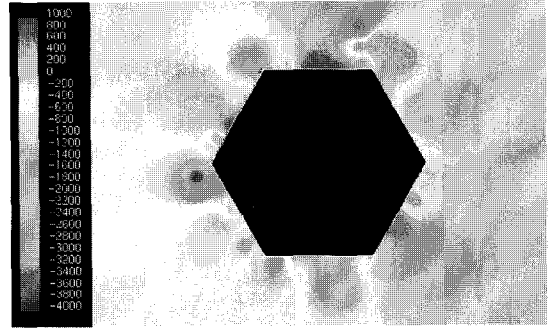


그림 7 LSU 내부의 육각 미러 주변의 압력 분포

도록 구조 및 형상설계에 주의하여야 한다. 그림 7에 미러의 모서리에서 발생하는 와류에 의한 압력 변동이 나타나 있다.

소음측정 규격도 음압의 절대값만을 측정하던 방식에서 tone noise, level vs time, loudness, sharpness와 roughness 등의 음질을 같이 고려하는 것으로 변화되고 있다. 음질을 종합적으로 평가하는 방법은 아직 국제 규격으로 공인된 것은 없으나 'ECMA-74'에 tone noise 및 impulse noise에 대한 측정 방법이 제시되어 있다.

## 4. 프린터의 인쇄 화질 : Banding

프린터 인쇄시의 기계적인 진동이나 각종 기어의 회전 오차로 인하여 발생하는 화질 저하에서 가장 일반적인 사항이 화상 banding이다. 즉 다양한 기계적인 원인으로 인하여 감광 드럼(OPC)의 회전속도에 변동이 발생할 때 화상에 농도 차이가 발생하는데 이러한 현상을 banding이라고 한다.

그런데 화상의 banding을 유발하는 원인은 감광 드럼의 속도 변동, 각종 기어의 치형 오차, 각종 롤러의 형상 오차, 기본 구조의 진동과 같은 기계적인 원인 외에 현상 nip/gap의 변동, 화상 형성을 위한 현상 제어 전압의 변동, 토너 흐름의 불균일 등 매우 다양하고 복합적이다.

따라서 화상 banding의 정확한 원인 분석을 위하여 그림 9와 같은 banding 분석용 패턴을 이용한다. 'Scan line mark'를 이용하여 LSU에서 감광 드럼에 주사하는 노광 간격을 측정하고 그 간격에 따라 'vertical line pattern'을 나눈 후에 구분된 부분의 농도를 각각 측정하여 변

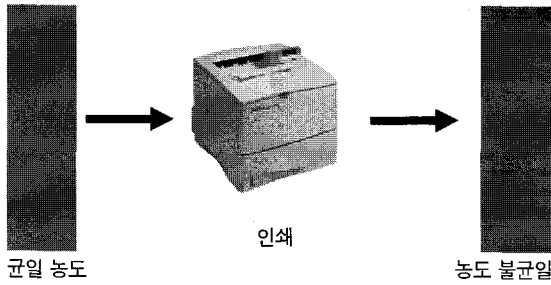


그림 8 인쇄 화상의 Banding 현상

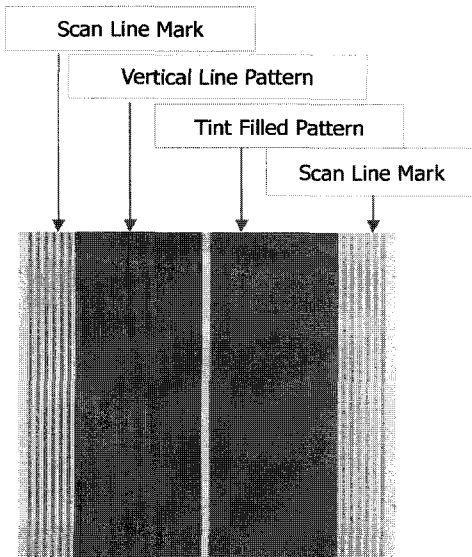


그림 9 Banding 측정용 패턴

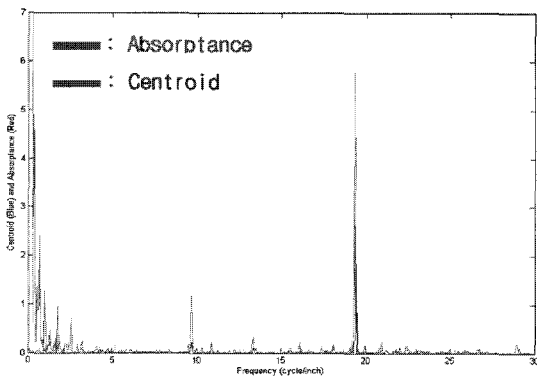


그림 10 Banding 측정 결과

동 값의 주파수를 분석하면 banding의 주요 주파수를 파악할 수 있다.

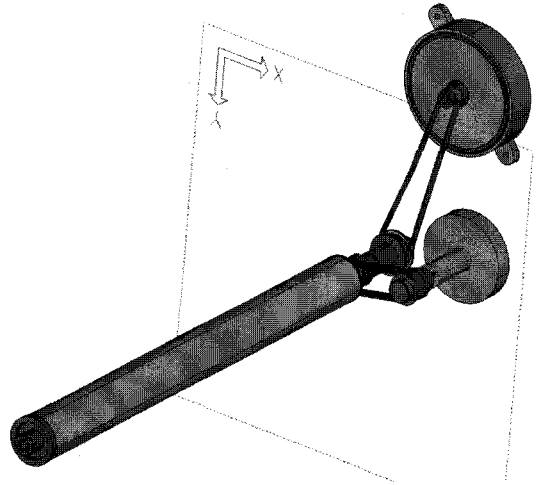


그림 11 감광 드럼의 구동 장치

예를 들면, 그림 10과 같이 주요 주파수를 측정 한 후 에 감광 드럼의 회전 속도에 영향을 미치는 동일한 물 리 주파수의 기어를 찾아내면 banding의 원인을 분석할 수 있다. 그러나 보다 복잡한 원인에 의하여 banding 이 발생하는 경우에는 'vertical line pattern'에서의 농도 에 의한 주파수와 'scan line mark'에서의 dot 위치 차이 에 의한 주파수를 모두 검토하여 기계적인 원인과 현상 제어 전압에 의한 영향을 모두 검토하여야 한다.

만약 과도한 부하와 기어 백래쉬의 유격으로 기어 물 림에서 진동이 발생하여 감광 드럼의 회전 속도에 변동 을 초래한다면 타이밍 벨트를 이용하여 감광 드럼을 구 동하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 또한 그림 11과 같이 플라이 휠과 같은 부가적인 장치를 이용하면 더욱 안정된 감광 드럼의 회전과 개선된 인쇄 화질을 얻을 수 있다.

### 5. Color Registration

칼라 레이저 프린터의 경우에는 yellow(Y), magenta (M), cyan(C), black(K)의 4가지 색상의 토너를 사용한다. 따라서 4개의 감광 드럼이 순차적으로 배열되어 요구 되는 형상과 색상에 따라 정해진 위치에 인쇄를 하여야 한다. 그런데 감광 드럼의 회전 속도가 변동이 발생하 는 경우에는 각 색상의 위치가 어긋나는 현상이 발생하 고 이때 예정된 위치에서 벗어나는 오차를 color

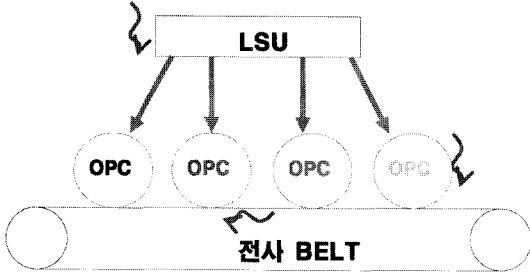


그림 12 Color registration(CR) 오차의 발생

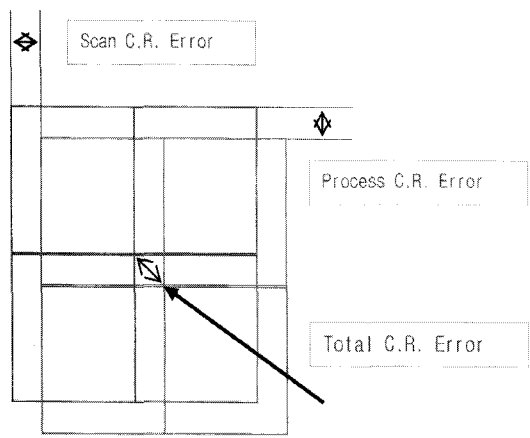


그림 13 Color registration(CR) 오차의 분류

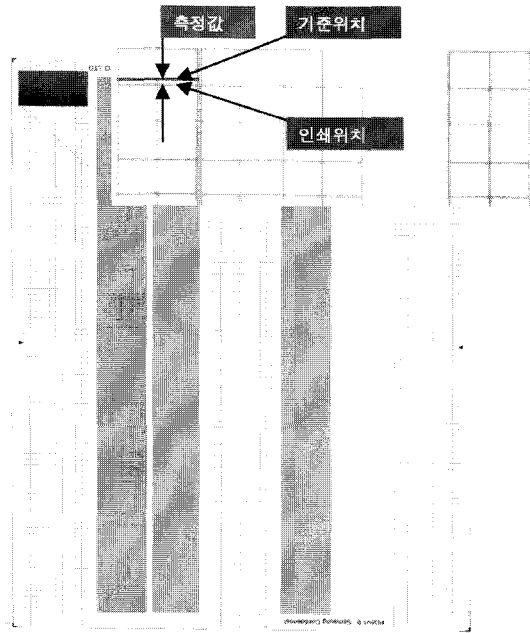
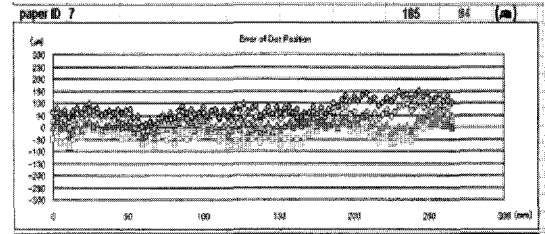
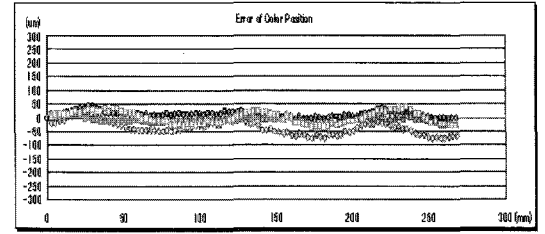


그림 14 Color registration(CR) 측정용 패턴



(a)



(b)

그림 15 (a) CR 측정 결과: 공통 모터, (b) CR 측정 결과: 개별 구동

registration(CR) 오차라고 한다. 이러한 CR 오차를 발생시키는 가장 주요한 원인으로는 감광 드럼의 가공 및 조립 편심, 전사 벨트의 사행 및 회전 속도 변동, LSU 노광 위치의 변동, 급지 및 배지의 용지 이송 속도의 변동등 매우 다양하다. 따라서 CR 오차를 줄이기 위하여는 감광 드럼과 구동 기어, 용지 이송 벨트, LSU, 정착기 등의 각종 부품에 의한 영향과 조립되는 부품과 프레임의 조립 유격 및 위치 정밀도에 대한 검토가 필요하다. 또한 작동 수명 내에서는 품질의 저하가 발생하지 않아야 하므로 각 부품의 온도 및 환경에 대한 경시 변화도 충분히 검토되어야 한다.

그림 14와 같은 CR 측정용 패턴을 이용하여 전체 위치에서 CR 오차의 정도를 파악할 수 있다. 특히 감광 드럼의 회전 속도 및 편심의 위상 각도를 정렬하여 인쇄시점의 위치 오차를 최소화 하는 것이 가장 중요한 설계 요인이다. 그런데 감광 드럼의 구동 모터를 공통으로 사용하고 감속 기어 등의 동력 전달 장치를 이용하는 경우에는 부품의 가공 정밀도의 한계로 인하여 그림 15(a)와 같이 CR의 오차가 상대적으로 많이 발생하고 각각의 감광 드럼을 독립적으로 구동하는 경우에는 위상 각도의 편차로 인한 위치를 보상할 수 있으므로 그

특정 장비/기어 조립공

림 15(b)와 같이 양호한 화상을 얻을 수 있다.

## 6. 맺음말

현재까지 기계적인 진동 및 소음과 관련된 프린터의 연구 분야를 살펴보았다. 이 외에도 프린터의 내부 온도 제어와 같은 열 유동 분야와 용지 이송 과정에서 발생하는 paper jam, skew 등의 paper handling 분야에도 많은 연구가 이루어지고 있다. 그런데 프린터의 개발 과정에서 발생하는 문제들은 대부분의 경우 전체 프린터의 작동과 관련이 깊어서 해결 방안을 검토할 때에 전체 기능에 미치는 영향을 같이 고려하여야 한다. 각 부

품이 전체 기능에 미치는 영향과 동작 조건 및 한계에 대하여 분명하게 인지하고 연관 되는 부분의 설계 및 제어 조건의 변경도 충분히 검토하는 것이 필수적인 사항이므로 특정 모델의 설계 특성에 따라 적절한 해답을 강구하여야 한다. 이를 위하여는 해당 분야의 깊이 있는 지식 외에 많은 실험 자료의 축적과 경험이 동시에 요구된다. 왜냐하면 대부분의 문제들에서 비선형의 특성이 강하게 포함되어 있어서 일반적으로 정형화된 해답을 찾기가 어려운 상황이기 때문이다. 또한 대량생산을 위한 제품 생산을 고려하여 가공 및 조립의 생산성과 가격에 대한 고려도 하여야 연구 결과가 실제의 제품에 적용되는 기회를 만들 수 있다. 