

컬러 레이저 빔 프린터의 구동단 속도 제어를 통한 인쇄 품질 향상

김명호*, 임정식*, 설승기*, 김종태**

*서울대학교, **㈜삼성전자

Printing Quality Enhancement of Laser Beam Printer through Speed Regulation of Rotating Components

Myoungho Kim*, Jung-Sik Yim*, Seung-Ki Sul*, Jongtae Kim**

*Seoul National University, **Samsung Electronics, Inc.

ABSTRACT

레이저 빔 프린터의 인쇄 품질은 화상 인쇄 과정에 직접적으로 관계되는 OPC 드럼(Organic Photoconductive Drum) 및 PTB(Paper Transfer Belt)의 운전 속도 특성과 관계 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 그 관계가 정량적으로 연구된 바는 없었다. 본 논문에서는 인쇄 동작중인 OPC 드럼 및 PTB의 실제 속도를 측정하고, 속도 측정 결과에 나타나는 특성이 실제 인쇄 결과에 미치는 영향을 정량적으로 분석한다. 또한 위의 속도 측정 및 분석 결과를 바탕으로 하여 레이저 빔 프린터의 인쇄 품질을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하고, 실험을 통해 그 타당성을 검토한다. 제안된 방법의 의해 인쇄 품질의 정도(Accuracy)가 5배이상 개선됨을 확인하였다.

1. 서론

레이저 빔 프린터는 대전, 노광, 현상, 전사, 정착의 5단계로 이루어진 전자 사진 과정을 거쳐 용지에 화상을 인쇄한다^[1]. 이러한 과정들 중 현상·전사 과정에서는 OPC 드럼과 PTB의 운전 특성, 특히 속도 맥동(ripple)의 크기가 인쇄 품질에 영향을 주는 것으로 알려져 있다^{[2]-[3]}. 그러나 OPC 드럼이나 PTB의 실제 회전 속도를 측정하여 그 관계를 정량적으로 분석한 연구는 없었다.

본 논문에서는 OPC 및 PTB의 실제 운전 속도를 계속하여 속도 맥동의 크기 및 형태를 확인하고, 속도 맥동이 발생하는 원인을 추정하였다. 또한 측정된 속도 정보를 실제 인쇄 결과와 비교하여 속도 맥동이 인쇄 품질에 끼치는 영향을 분석하였다. 그 결과 하나의 전동기가 4개의 OPC와 1개의 PTB를 구동하는 구동축 일체 구동 시스템에서는 전동기의 속도와 OPC, PTB의 구동축 속도 사이에 차이가 있음을 확인하였다. 이것은 전동기와 각각의 구동축 사이에 존재하는 기계적인 부품들로 인해 발생하는 것으로 추정된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 각각의 구동축을 독립적으로 제어할 수 있는 구조를 가진 구동축 개별 제어 시스템을 제작하고, 각 회전축의 운전 속도를 계속하여 이를 실제 인쇄 결과와 비교해 보았다. 그 결과 구동축 속도를 직접 제어하는 경우 레이저 빔 프린터의 인쇄 품질을 향상시킬 수 있는 수 있음을 확인하였다.

2. 프린터 시스템의 속도 측정

본 장에서는 OPC와 PTB에 각각 광학식 엔코더가 설치된 레이저 빔 프린터에 대해 기술하고 인쇄 동작중의 속도 측정 결과를 분석하였다.

그림 1은 실험에 사용된 프린터 시스템의 구조를 나타낸다. 시스템의 구동축은 OPC 4개, PTB 1개 등 총 5개이며, 기어 트레인(train)으로 서로 연결되어 있어 하나의 전동기를 이용해 모든 구동축들을 구동시킬 수 있다. 본 논문에서는 이러한 구조를 ‘구동축 일체 구동 시스템’이라 부르기로 한다. 구동축 일체 구동 시스템은 전동기 및 구동 장치의 숫자를 줄일 수 있다는 장점이 있지만, 연결된 구동축들이 기계적인 상호 간섭을 일으킬 수 있으며, 각각의 구동축을 독립적으로 제어할 수 없다는 단점을 가진다. 구동축 일체 구동 시스템의 속도 특성을 확인하기 위하여 OPC 구동축, PTB 구동축과 회전형 엔코더를 설치하여 인쇄를 수행하면서 OPC 드럼 및 PTB의 속도를 측정하였다.

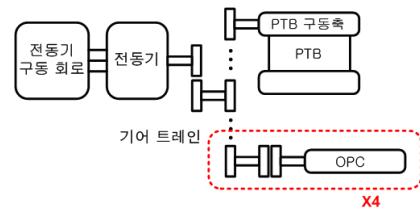


그림 1. 구동축 일체 구동 시스템의 구동 구조

그림 2는 구동축 일체 구동 시스템의 전동기 속도 측정 결과를 나타낸다. 그림 2 (a)는 측정된 전동기 회전 속도와 그 주파수 분석 결과를 나타낸 것이고, 그림 2 (b)는 측정된 전동기의 속도를 OPC 구동축 및 PTB의 속도로 환산한 뒤 적분 하여 위치 맥동을 구한 결과이다. 인쇄 시 전동기는 속도 맥동을 지닌 채 운전되며, 주파수 분석을 통해 살펴보면 가장 큰 속도 맥동은 전동기 회전 주파수 (32Hz)에서 나타난다. 그런데 실제 인쇄 품질에 영향을 주는 것은 각 구동축 간의 인쇄 시 상대 거리이므로, 측정된 속도를 위치로 환산하여 성능을 판단하는 것이 타당하다. 전동기 속도와 기어비(gear ratio), 반지름 등을 이용해 계산된 구동축의 위치 맥동은 OPC와 벨트에서 각각 약 $\pm 3 \mu m$, $\pm 5 \mu m$ 이다. 그런데 위치 맥동의 경우 속도 맥동의 경우와는 달리 PTB 구동축 회전 주파수인 2.3Hz

부근에서 가장 큰 값을 가진다. 이러한 현상은 속도 맥동을 적분하여 얻은 위치 맥동이 저주파수 대역에서 상대적으로 큰 값을 가지게 된 것으로 설명될 수 있다.

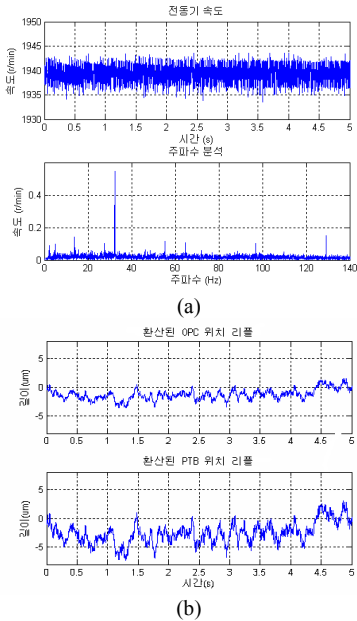


그림 2. 구동축 일체 구동 시스템의 전동기 속도
(a) 전동기 속도 및 주파수 분석
(b) 전동기 속도를 기준으로 환산한 OPC, PTB의 위치 맥동

그림 3은 회전형 엔코더를 통해 실제로 측정된 OPC 구동축 4개의 속도를 위치 맥동으로 환산한 결과를 나타낸다. 각각의 OPC 구동축은 $\pm 100 \mu m$ 정도의 위치 맥동을 가지고 있으며, 위치 맥동의 주요 주파수는 OPC 구동축의 회전 주파수인 $1.6 Hz$ 와 PTB 구동축의 회전 주파수인 $2.3 Hz$ 이다. $1.6 Hz$ 의 위치 맥동은 OPC 구동축이나 기어의 편심(eccentricity)으로 인해 발생한다고 생각할 수 있다. 그러나 $2.3 Hz$ 의 위치 맥동은 시스템의 기계적인 연결 구조로 인해 OPC 구동축과 PTB 구동축 간에 상호 간섭 현상이 실제로 벌어지고 있다는 사실을 의미한다.

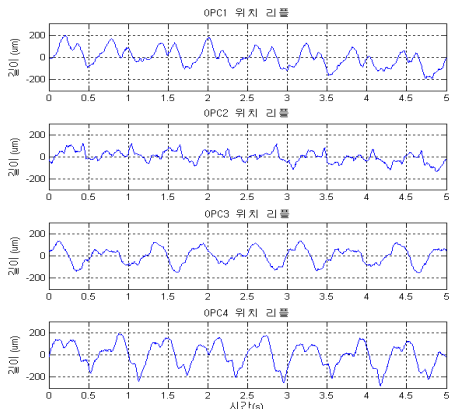


그림 3. 구동축 일체 구동 시스템의 OPC 위치 맥동

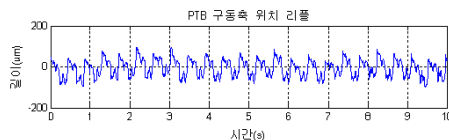


그림 4. 구동축 일체 구동 시스템의 PTB 위치 맥동

그림 4는 회전형 엔코더를 이용하여 PTB 구동축의 회전 속도를 측정하고 분석한 결과이다. 앞의 경우와 같이 측정된 속도를 이용하여 위치 맥동을 계산하여 나타냈다. 그림 4에서 위치 맥동의 크기는 약 $\pm 30 \mu m$ 정도로 나타나는데, 이것은 그림 2에서 전동기 회전속도를 토대로 환산한 위치 맥동의 크기와의 차이가 있다. 또한 위치 맥동 성분이 PTB 구동축의 회전 주파수($2.3 Hz$)에서 크게 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 OPC 구동축의 경우와 마찬가지로 PTB 구동축에 연결된 기어의 편심이 위치 맥동의 주된 요인이기 때문인 것으로 생각할 수 있다.

이상의 결과로부터, OPC나 PTB 구동축 모두 회전축이나 기어의 편심이 회전축의 회전 운동에 영향을 주고 있으며, 특히 OPC 구동축은 PTB 구동축의 운전에 의해 간섭을 받고 있다는 사실을 확인할 수 있다. 축간 간섭에 의한 속도 및 위치 맥동을 줄이기 위해서는 프린터 시스템의 각 회전축을 독립적으로 구동할 수 있는 기계적인 구조를 갖추어야 한다.

3. 개선된 프린터 시스템

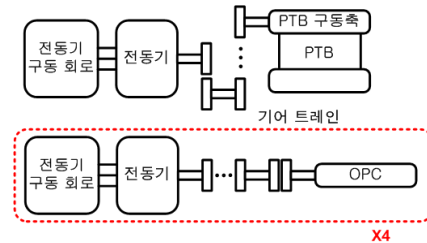


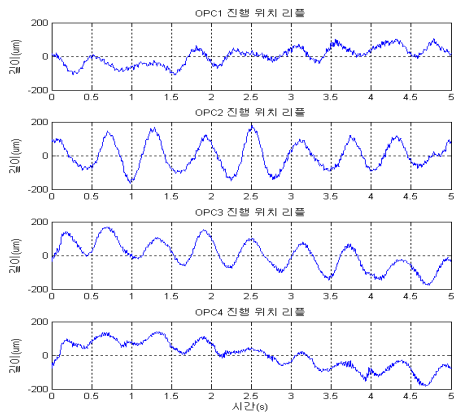
그림 5. 구동축 개별 제어 시스템의 구동 구조

앞에서 살펴본 바와 같이, 구동축 일체 구동 시스템은 기어를 통해 연결된 구동축들이 상호 간섭을 일으키는 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 그림 5에 도시된 바와 같이 각 구동축들을 독립적인 전동기들로 구동시키는 구동축 개별 제어 시스템을 제작하였다. 구동축 개별 구동 시스템에서는 4개의 OPC와 PTB의 구동축이 기계적으로 분리되어 있으며, 5개의 전동기로 각각의 구동축을 독립적으로 제어한다. 각각의 구동축에는 회전형 엔코더를 설치하여 속도를 측정하였다.

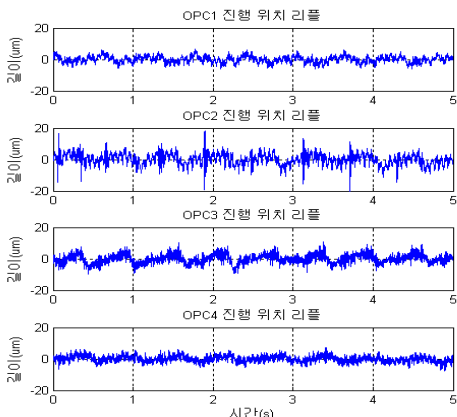
그림 6 (a)와 (b)는 OPC 구동 전동기들의 회전 속도를 전동기 회전자 속도를 기준으로 제어했을 때와 구동축 속도를 기준으로 제어했을 때, 두 경우의 OPC 구동축 위치 맥동 성분을 비교한 것이다. 그림 6 (a), (b)에 나타난 위치 맥동은 속도 맥동을 적분하여 얻어진 것이다. 그림 6 (a), (b)에서 확인할 수 있듯이, 두 경우 모두 위치 맥동의 주요 주파수는 OPC 구동축의 회전 주파수($1.6 Hz$)이다. 맥동의 크기는 구동축 속도를 기준으로 구동축을 제어했을 때 현저히 줄어든 모습을 볼 수 있다. 이를 통해 OPC 구동축 속도를 속도 제어에 반영함으로써 OPC 구동축의 속도 맥동을 줄일 수 있다는 사실을 확인할 수 있다.

그림 7 (a)와 (b)는 PTB 구동 전동기의 회전 속도를 전동기 회전자 속도 기준으로 제어했을 때와 PTB 구동축 속도 기준으로 제어했을 때, 두 경우의 PTB 구동축 위치 맥동 성분을 비교한 것이다. 그림 7 (a), (b)의 위치 맥동 역시 속도 맥동을 적분하여 얻은 것이다. 그림 7 (a), (b)에서 확인할 수 있는 것처럼, 두 경우 모두 위치 맥동 성분은 PTB 구동축의 회전주파수($2.3 Hz$)에서 주로 나타나지만, 구동축 속도를 기준으로 제어하는 경우 위치 맥동의

크기가 현저히 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

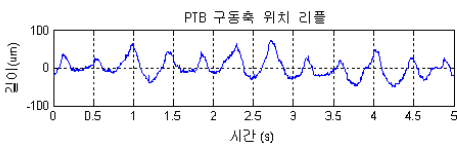


(a)

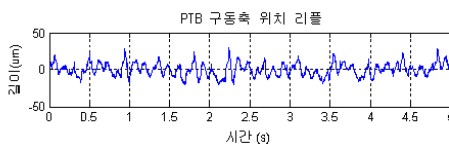


(b)

그림 6. 구동축 개별 구동 시스템의 OPC 위치 맥동
(a) 전동기 속도 기준 제어시
(b) OPC 구동축 속도 기준 제어시



(a)



(b)

그림 7. 구동축 개별 구동 시스템의 PTB 속도 측정 결과
(a) 전동기 속도 기준 제어시
(b) 구동축 속도 기준 제어시

앞서 OPC/PTB 구동축의 속도를 기준으로 제어할 경우 제어 기준이 되는 구동축의 위치 맥동이 줄어드는 것을 확인하였다. 이러한 속도 제어의 결과에 따라 실제 인쇄 품질이 향상되는지를 확인하기 위해 각각의 제어 상황에서 각 색상 사이의 상대 거리를 분석하였다. 이는 실제 인

쇄물의 각 색상이 인쇄 지령에서 얼마나 벗어나 있는가를 정량적으로 분석할 수 있게 해준다.

표 1. 각 색상간 상대 거리

	최대 오차 [μm]
전동기 속도 기준 제어시	232
구동축 속도 기준 제어시	45

표 1은 구동축 개별 구동 시스템의 각 색상별 인쇄 오차의 최대치를 나타낸다. 전동기 속도 기준 제어시보다 구동축 속도 기준 제어시 인쇄 오차의 크기가 현저하게 줄어든 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 OPC, PTB 구동축의 회전속도, PTB의 선속도를 측정하는 속도 측정 시스템을 구성하여 레이저 빔 프린터 구동부의 운전 특성을 분석하였다. 그리고 5개의 전동기로 4개의 OPC와 1개의 PTB 구동축을 독립적으로 구동하는 프린터 시스템을 제작, 제어하여 레이저 빔 프린터의 인쇄 품질을 높일 수 있는 방법을 모색하였다.

1개의 전동기로 모든 구동축을 구동시키는 구동축 일체 구동 시스템의 경우 전동기 회전 속도의 맥동 크기는 작으나, 실제 구동축에서의 회전 속도 맥동 크기가 커지는 양상이 나타났다. 이것은 회전축이나 기어의 편심이 구동축의 회전에 미치는 영향과 각 구동축들간의 기계적인 간섭으로 인해 발생한다고 판단할 수 있다.

각 구동축을 독립된 전동기로 제어하는 구동축 개별 구동 시스템의 경우 각 구동단의 회전 속도를 기준으로 제어하면 기계적인 구조로 인해 발생하는 구동축의 속도 변동을 능동적으로 억제할 수 있어 전동기 속도를 기준으로 제어할 때보다 구동축의 위치 맥동이 줄어드는 결과를 볼 수 있었다. 또한 이를 바탕으로 실제 인쇄 품질에 결정적 영향을 미치는 색상간 오차가 1/5이하로 줄어드는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Eric S. Hamby and Eric M. Gross, "A Control-Oriented Survey of Xerographics Systems: Basic Concept to New Frontiers," in Proc. of the American Control Conference, pp.2615-2629, June 30-July 2, 2004.
- [2] Satoshi Okano, Osamu Takehira and Yuko Hatama, "A Numerical Method Predicting Paper Velocity at the Roller Transfer Unit in an Electrophotographic System," IEEE Preceding of Eco Design 2003: 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, pp. 754-765, December 8-11, 2003.
- [3] Cheng-Lun Chen and George T.-C. Chiu, "Banding Reduction in Electrophotographic Process," in IEEE/ASME International Conference on Advanced intelligent Mechatronics Proceeding, pp. 81-86, July 8-12, 2001.