
인쇄 속도 향상과 화질 개선을 위한 잉크젯 프린터 헤드의 액적 분사 신호 타이밍 제어

조영완*

A Jet Strobe Signal Timing Control of Ink Jet Printer Head for Enhancement of Printing Speed and Quality

Youngwan Cho*

요 약

본 논문에서는 잉크젯 프린터의 고품질 인쇄 및 인쇄 속도 향상을 위하여 헤드 노즐로부터 분사된 잉크 액적의 위치 제어 정밀도를 향상할 수 있는 방법을 제안한다. 샤프트를 따라 이동하고 있는 캐리지에 탑재된 잉크젯 프린터 헤드의 노즐로부터 분사 신호에 동기되어 분사된 액적의 운동 방정식을 수립하고 이로부터 액적이 용지에 도달하는 궤적을 모델링하여 탄착지점을 예측함으로써 분사 액적을 원하는 지점에 정확하게 탄착시키도록 액적 분사 신호의 타이밍을 제어하는 방법을 제안한다. 캐리지의 위치 신호와의 단순 동기에 기반을 둔 기존의 분사 제어 방법에 비해 본 논문에서 제안하는 방법은 이동하는 캐리지의 속도를 고려하여 분사 타이밍을 보상하므로 캐리지의 속도 변동에 대해서도 보다 정확한 위치 제어가 가능하여 고품질 인쇄를 구현할 수 있을 뿐만 아니라 방향 전환을 위한 가감속 구간에서도 프린팅을 가능하게 하므로 동일한 인쇄 영역에 대해서 캐리지의 이동 경로가 짧아져 인쇄 속도를 향상시킬 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, a position control scheme of the ink droplet is presented for the high image quality and print speed ink jet printer. The proposed scheme estimates the impact position and compensates it by control of the jet strobe time based on the dynamic equations describing the moving trajectory of the ejected ink droplet. Compared to the conventional jet strobe control which is based on the simple synchronization with the position signal of the ink jet nozzle, the proposed control scheme provides more accurate impact position control while the carrier is moving with accelerated or decelerated speed as well as steady state speed with fluctuations. The availability of printing during the acceleration and deceleration states of the carrier moving enables the print speed up and the frame size down which means the cost down.

키워드

잉크젯 프린터, 분사신호 타이밍 제어, 탄착 위치 제어, 액적 궤적

Key word

Ink jet printer, Jet strobe time control, Impact position control, Droplet trajectory

I. 서 론

잉크젯 프린터는 프린터 헤드의 잉크 액적이 용지 표면에 분사되어 화상을 형성하는 시스템으로 최근의 상업용 제품은 포장지 직접 인쇄기부터 저속 고해상도 프린터, 고해상도 그래픽 컬러 플로터에 이르기까지 다양하게 출시되어 있다. 그동안 잉크젯 프린팅 기술은 다양한 성능 범위의 제품들에 적용할 수 있도록 기술적으로 여러 변화를 거쳐 왔는데 이러한 기술들은 가격, 인쇄 속도, 인쇄 품질, 신뢰성 측면에서 상호 장단점을 가지고 있다[1].

잉크젯 프린팅은 압력의 형성을 통한 잉크 액적의 생성, 노즐 출구에서의 잉크 분사, 균일한 액적 크기의 제어, 액적의 용지 표면에서의 탄착 과정을 통해 구현되고 이러한 프린팅 기능들은 노즐 크기, 액적 분사 속도, 액적 편향 방법, 잉크 점도 등의 설계변수를 통하여 조절된다. 인쇄 품질은 액적의 분사 속도, 액적의 형상 변동과 같은 요소에 의해서도 영향을 받지만 인쇄 품질에 가장 직접적이고 큰 영향을 미치는 요소는 액적의 용지 표면에서의 탄착 지점으로[2][3][4] 본 논문에서는 잉크 액적의 탄착 위치를 보다 정밀하게 제어하기 위한 방법을 제안한다.

잉크젯 프린터는 샤프트를 따라 이동하는 캐리지에 장착된 프린터 헤드의 노즐을 통해 잉크 액적을 분사하여 인쇄 매체에 화상을 형성한다. 기존의 잉크 액적 분사 방식은 캐리지의 이동 위치에 따라 발생하는 엔코더 펄스에 단순 동기화된 신호를 액적 분사 신호로 이용하는 것이었다. 이 방식은 캐리지가 정속 구간에서 일정한 속도를 유지하는 경우에는 원하는 화상 품질을 얻을 수 있으나 속도에 변동이 있는 경우 속도 변동이 화상의 왜곡에 직접적인 영향을 미치게 된다. 더욱이 캐리지가 방향을 전환하기 위해 가·감속을 하는 경우 정속 구간과의 속도차가 커져 이 구간에서는 품질이 나빠지므로 인쇄가 불가능하다.

한편, 프린터 시장은 점점 더 고속, 고해상도, 고품질 프린팅 기술을 요구하고 있는데 이러한 기술을 만족하기 위해서는 더욱 정밀한 액적 탄착 위치 제어와 캐리지의 가·감속 이동 구간에서의 프린팅 기술들이 필요하게 된다[5][6]. 따라서 캐리지의 정속 이동 구간에서의 속도 변동과 가·감속 이동 구간에서의 정속 속도와의

속도 차에 의해 발생하는 탄착 위치 에러를 보정할 수 있는 적절한 액적 분사 제어 방식이 요구된다. 본 논문에서는 잉크 액적 분사 신호의 트리거 순간의 캐리지 속도 추정과 분사된 잉크 액적의 운동 궤적을 기술하는 운동 방정식을 통해 분사 신호의 트리거 타이밍을 제어하는 방법을 통하여 액적의 탄착 지점을 제어한다.

분사된 잉크 액적의 운동 궤적을 모델링하기 위하여 본 논문에서는 잉크 액적이 집중체(lumped body)라는 가정 하에 운동 방정식을 유도하였는데 본 논문에서 액적 내부의 변동은 고려 대상이 아니므로 액적의 운동 궤적을 예측하기에 충분한 모델을 제공할 수 있다 [7][8]. 잉크 액적이 노즐로부터 분사된 이후 인쇄용지에 탄착될 때까지의 비행거리는 캐리지 속도, 분사 속도, 액적 크기, 노즐 평면과 인쇄용지 평면과의 거리와 같은 요소에 의해 결정된다. 본 논문에서는 캐리지 속도 이외의 물리적 요소는 고정된 것으로 하였으며 분사 순간에서의 캐리지 속도 추정을 통하여 탄착 위치 오차를 예측하고 이를 통하여 추정 위치 오차를 보정할 수 있도록 분사 신호의 트리거 지연 시간을 제어함으로써 액적 탄착 지점의 정확한 위치 제어를 수행하는 방법을 제안하였다.

II. 분사 잉크 액적의 운동 궤적 모델링

잉크젯 프린터는 속건성 잉크를 용지에 분사함으로써 인쇄하는데 분사 방식에 따라 연속 분사 잉크젯 방식(CIJ: Continuous Ink Jet)과 드랍온디맨드 방식(DOD: Drop On Demand)으로 구분된다. 연속 분사 방식은 대전된 액적을 연속적으로 분사하고 이에 전기장을 가하여 편향시킴으로서 분사된 액적 스트림의 탄착 위치를 제어한다. 이에 반해 DOD 방식은 액적 분사를 위한 펄스 신호가 가해질 때만 잉크 액적이 분사 되게 함으로써 연속 분사 방식에서 필요로 하는 하드웨어의 복잡성을 해소할 수 있다.

잉크젯 프린터에는 샤프트를 따라 인쇄용지의 가로 방향으로 고속으로 이동하는 캐리지 어셈블리에 프린터 헤드가 장착되어 있고 헤드 표면은 잉크를 분사하기 위한 많은 수의 미세한 고정밀 노즐이 배치되어 있다.

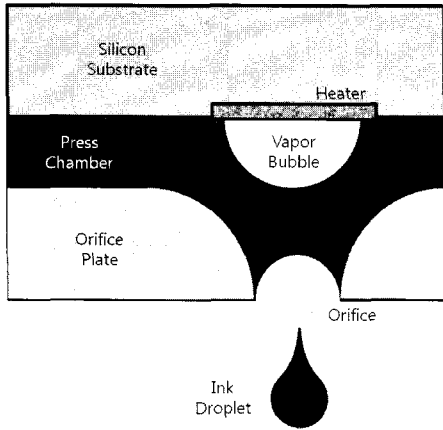


그림 1. 가열 방식에 의한 잉크 분사 과정
Fig. 1 Process of ink ejection with thermal heating

잉크 액적의 분사는 프린터 헤드 내의 서플라이 튜브에 있는 액체 잉크에 펄스 압력을 가하여 액적을 생성하여 노즐로부터 분사되는데 펄스 압력을 생성하는 방법에 따라 열전사(thermal bubble) 타입과 압전(piezoelectric) 타입의 두 가지 방법이 대표적 방식이다. 그림1은 열전사 타입의 액적 분사 과정을 나타내고 있는데 박막의 저항체가 가열되면 잉크 챔버에 있는 잉크의 일부가 기화되어 버블을 형성하고 버블이 큰 타원형 모양으로 성장하면 출구를 통하여 잉크 액적이 분사하게 되는 과정을 보여주고 있다.

드롭온디맨드(DOD) 타입 잉크젯 프린터는 용지에 프린터를 할 필요가 있을 때 여기 펄스에 의해 분사 과정을 시작하고 분사된 잉크 액적은 그림 2와 같이 캐리지와 용지 사이의 공기층을 비행한 후 용지에 탄착됨으로써 화상을 형성하게 된다.

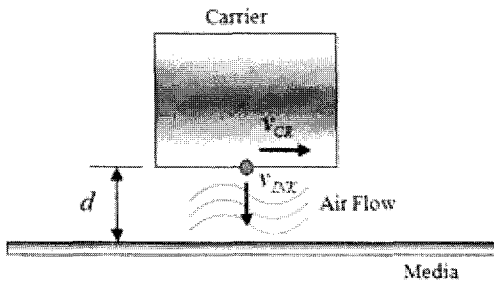


그림 2. 액적 운동 환경의 기구적 모델
Fig. 2 The environment model of drop flight

이와 같이 잉크젯 프린터에서 화상은 분사 액적이 용지에 탄착되는 위치에 따라 결정되므로 분사 액적의 정밀 위치 제어가 고품질의 화상을 얻기 위한 중요한 기술 중의 하나이다. 본 논문에서는 분사 액적이 용지 위의 원하는 지점에 탄착될 수 있도록 액적 분사를 여기하는 신호의 타이밍을 제어하는 방법을 제안한다.

액적의 탄착 위치는 캐리지 속도, 캐리지와 용지 사이의 거리, 액적의 분사 속도, 액적 크기와 같은 기구적, 물리적 요소들에 의해 결정된다. 분사 액적의 탄착 위치 제어를 위해서는 그림 2와 같이 용지와와의 거리 d 인 평면에서 v_{CR} 로 직선 운동하는 캐리지에서 초속 v_{INK} 로 지면에 수직인 용지 방향으로 분사된 잉크 액적이 분사 후 용지에 도달할 때까지의 운동 궤적에 대한 이해가 필요하다.

분사 액적 운동의 경우 액적 직경이 작고 속도가 크지 않아서 Reynolds 수도 그리 크지 않기 때문에 Stokes flow 가정이 잘 성립하므로[7] 본 논문에서는 액적 내부의 분포를 무시하고 구형의 액적이 형상 변화 없이 강체 운동을 한다는 가정 하에서 인접한 액적에 의한 간섭은 무시할 수 있는 것으로 간주하고 힘의 평형을 이용하여 운동 방정식을 수립한다.

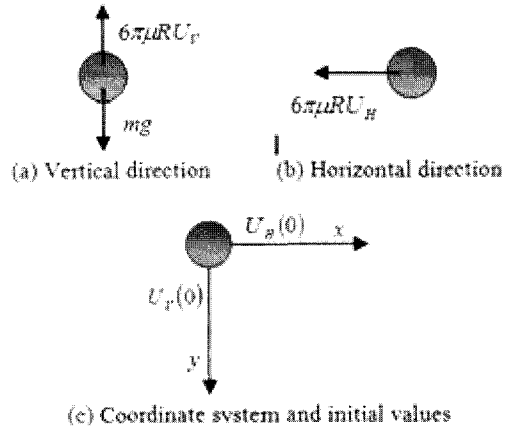


그림 3. 좌표계와 액적에 작용하는 힘
Fig. 3 Coordinate system and forces acting on droplet

그림 3은 액적에 수직 방향(a)으로 작용하는 힘과 수평 방향(b)으로 작용하는 힘을 나타낸다. 수직 방향의 경우 액적에는 중력과 항력이 반대 방향으로 작용하므로

수직 방향의 동역학 방정식은 다음 식 (1)과 같다.

$$m\dot{U}_V = -6\pi\mu R U_V + mg, U_V(0) = v_{eject} \quad (1)$$

여기서, m 은 질량, μ 는 공기의 점성, R 은 액적의 반경, U_V 는 액적의 수직 방향 속도, $U_V(0)$ 는 초기 분사 속도를 나타낸다.

그림 3(b)는 액적에 수평 방향으로 작용하는 항력을 나타내며 수평 방향으로의 동역학 방정식은 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$m\dot{U}_H = -6\pi\mu R U_H, U_H(0) = v_{CR} \quad (2)$$

여기서, U_H 는 수평 방향의 액적 속도를 나타낸다. 식 (1)과 (2)의 동역학 방정식의 해는 다음 식 (3)과 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$U_H(t) = U_H(0) \cdot e^{-\frac{t}{T_c}} \quad (3)$$

$$U_V(t) = g \cdot T_c + (U_V(0) - g \cdot T_c) \cdot e^{-\frac{t}{T_c}} \quad (4)$$

여기서, $T_c \equiv \frac{m}{6\pi\mu R}$

III. 액적 탄착 위치 제어를 위한 분사 신호의 타이밍 제어

3.1. 액적 분사 신호의 타이밍 제어

인쇄 화점은 캐리지의 1/150 인치 이동 간격으로 생성되는 엔코더 펄스에 동기화된 신호에 의해 분사된 잉크 액적에 의해 형성되고 액적의 용지에서의 탄착 위치는 액적 분사 시간과 분사 시점의 캐리지 속도에 의해 결정된다. 기존의 분사 신호는 엔코더 신호와 단순 동기화하여 엔코더 펄스 에지로부터 정해진 지연 시간 경과 후 발생되므로 액적의 탄착 위치는 분사 시점의 캐리지 속도에 결정적 영향을 받게 된다. 따라서 캐리지 속도에 변동이 있는 경우 속도 변동이 화상의 왜곡에 직접적인 영향을 미치게 된다. 더욱이 캐리지가 방향을 전환하기 위해

가 · 감속을 하는 경우 정속 구간과의 속도차가 커져 이 구간에서는 화상 왜곡이 심해 인쇄가 불가능하므로 인쇄 시간 및 기구적 공간의 낭비를 초래한다.

본 논문에서는 캐리지 속도 변동에 의해 야기되는 탄착 지점 에러를 보상할 수 있도록 분사 시간을 제어하는 방법을 제안한다. 제안하는 방식은 분사 액적의 비행 거리에 대한 추정을 바탕으로 탄착 지점을 예측하여 탄착 위치 오차를 보상할 수 있도록 분사 시간을 조절하는 것이다. 식 (3)과 (4)에서 유도된 액적 운동 식을 적분하면 수평 방향의 위치 $x(t)$ 와 수직 방향의 위치 $y(t)$ 를 다음 식 (5)와 (6)으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x(t) &= \int_0^t U_H(\tau) d\tau \\ &= U_H(0) \cdot T_c \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_c}}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} y(t) &= \int_0^t U_V(\tau) d\tau \\ &= g \cdot T_c \cdot t + (U_V(0) - g \cdot T_c) \cdot T_c \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_c}}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

노즐로부터 분사된 잉크 액적이 분사 순간부터 용지에 도달할 때까지 캐리지 이동 방향으로의 이동거리는 수평, 수직 방향으로의 액적 궤적 (5)와 (6) 및 노즐 평면과 용지 사이의 거리 H_g 로부터 다음 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$x(t_p) = U_H(0) \cdot T_c \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_p}{T_c}}\right) = H_g \cdot \frac{U_H(0)}{U_V(0) - g T_c} \quad (7)$$

따라서 액적 탄착 위치 에러는 캐리지 속도와 액적의 예측 이동 거리로부터 다음 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$d_e = \frac{H_g}{v_{drop} - g \cdot T_c} (V_{ss} - v(k)) \quad (8)$$

여기서, V_{ss} 는 캐리지가 정속 구간에서 이동하고자 하는 기준 속도를 나타내고 $v(k)$ 는 엔코더 에지에서의 캐리지의 실제 속도를 나타낸다.

식 (8)로 나타나는 예측 위치 오차로부터 이 오차를 보상하기 위한 분사 신호 지연 시간은 다음 식 (9)와 같이 계산할 수 있다.

$$t_d = \frac{H_g}{v_{drip} - g \cdot T_c} \cdot \left(\frac{t_p(k)}{t_{ref}} - 1 \right) \quad (9)$$

여기서, t_{ref} 와 $t_p(k)$ 는 각각 캐리지가 V_{ss} 와 $v(k)$ 의 속도로 이동할 때 엔코더 펄스 사이의 시간 간격을 나타낸다.

3.2. 분사 시간 지연과 예측 탄착 위치

잉크젯 프린터에는 캐리지의 위치와 속도를 측정하기 위해 캐리지의 운동 방향으로 미세한 줄무늬 마킹을 한 얇고 투명한 플라스틱 바를 설치하여 캐리지에 설치된 엔코더가 캐리지의 운동에 따라 펄스 형태의 신호를 생성하여 사용한다. 이 엔코더 펄스 신호는 일정 간격(본 논문의 시뮬레이션에서는 1/150 인치 간격)으로 캐리지의 위치에 따라 생성되므로 액적 분사의 기준 신호로 사용할 수 있다. 일반적으로 인쇄 화상의 해상도는 엔코더 신호의 해상도보다 높으므로 액적 분사의 기준 신호 생성을 위해 각각의 펄스 주기를 균등하게 분할하여 사용한다. 엔코더 에지가 감지되는 시간 $t = k$ 에서 다음의 에지와 예측 시간 간격 $t_p(k)$ 는 이전 펄스 주기 $t_i(k), t_i(k-1), \dots$ 를 통하여 추정할 수 있고, 추정된 주기는 높은 해상도를 구현하기 위한 액적 분사를 기준 신호 생성을 위해 그림 4와 같이 일정한 간격으로 분할

하여 사용한다.

이 신호를 기준으로 계산된 지연시간 $t_d(k)$ 이후의 시점에 잉크 액적 분사를 위한 신호를 발생시킨다. 그림 5는 엔코더 신호, 균등 분할된 분사 기준 신호 및 지연된 분사 신호의 관계를 보여준다. 이와 같은 방법으로 액적의 분사 시간은 다음 식 (10)와 같이 계산할 수 있다.

$$t_f(k, j) = t(k) + t_\Delta(k) \cdot (j-1) + t_d(k) \quad (10)$$

여기서, $k = 1, 2, \dots, N$ 이고 $j = 1, 2, \dots, M$ 이며, N 은 인쇄 화상 하나의 라인에 인쇄할 화점 수를 나타내고 M 은 고해상도 인쇄를 위해 하나의 엔코더 주기를 분할할 개수를 의미한다.

캐리지가 엔코더 에지 사이에서 운동하고 있을 때 다음 주기 $t(k+1)$ 의 엔코더 신호가 입력되기 전에는 정확한 위치와 속도를 알 수 없으나 분사 액적의 탄착 위치를 예측하기 위해서는 이에 대한 정보가 필요하므로 다음 식 (11)과 같은 추정을 통하여 예측한다.

$$P_j(k, j) = \begin{cases} p(k) + t_d(k)v(k, j) & \text{for } k = 1 \\ p(k) + \sum_{i=1}^{j-1} v(k, j-1)t_\Delta(k) + t_d(k)v(k, j) & \text{for } k \geq 2 \end{cases} \quad (11)$$

여기서, 속도 $v(k, j-1)$ 는 인접한 엔코더 에지에서의 속도의 내삽을 나타낸다.

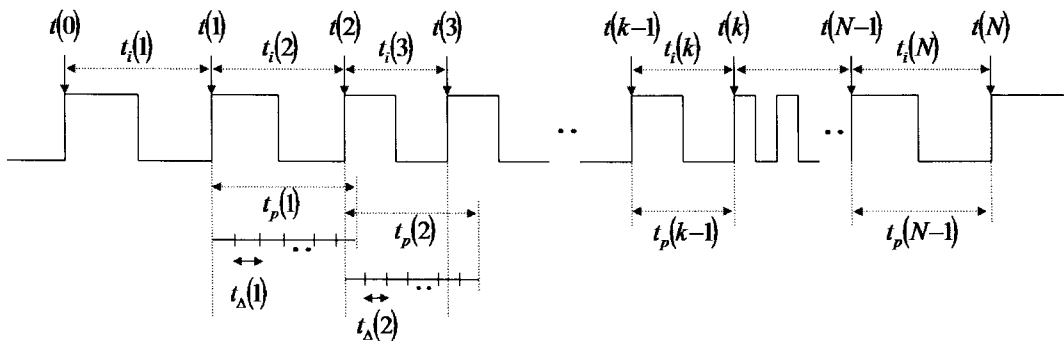


그림 4. 엔코더 펄스 신호와 시간 간격 및 기준 분사 시간
Fig. 4 Encoder pulse, Interval time and reference jet time

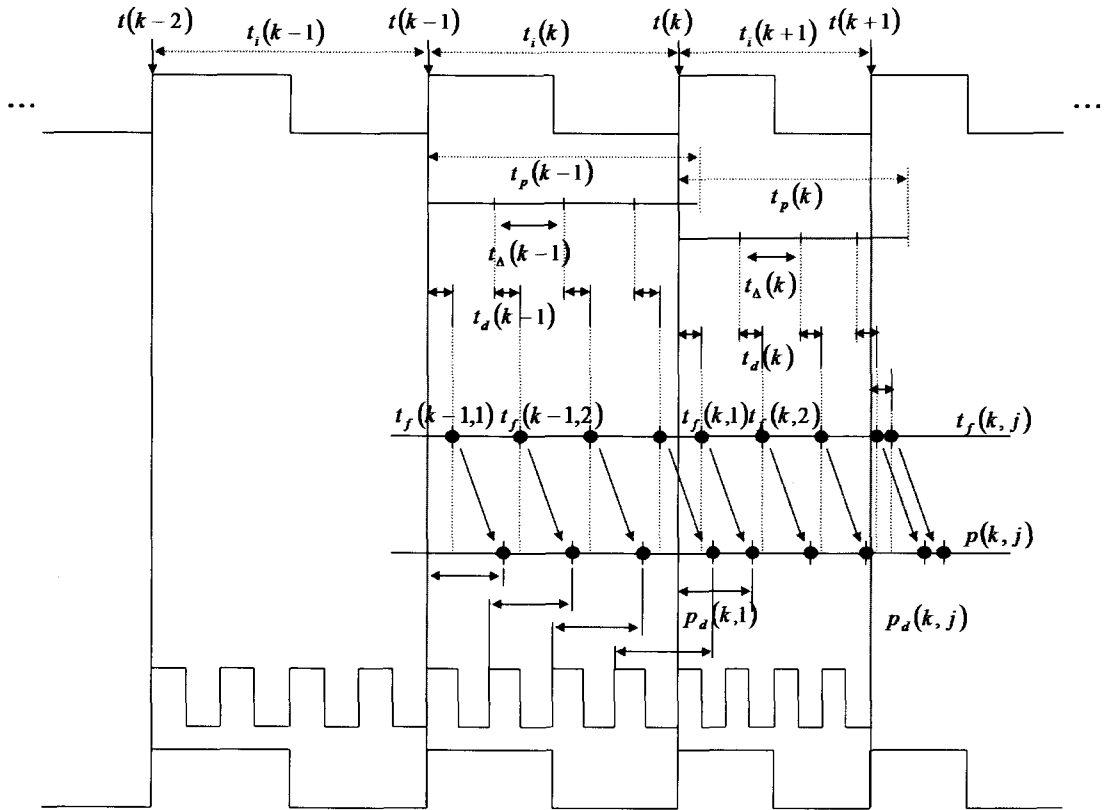


그림 5. 엔코더 펄스와 지연 분사 시간 및 예측 탄착 지점과의 관계
 Fig. 5 Relation between Encoder Pulse, the instants of delayed jet time and impact position

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문의 시뮬레이션에서 액적의 운동은 Stokes flow 라고 가정하였다. 노즐과 근접한 지역을 제외한 대부분의 궤적에서 Reynolds 수는 1보다 작으므로 이러한 가정은 액적 궤적의 추정에 유효하게 적용할 수 있다.

표 1은 액적 궤적의 시뮬레이션에 사용된 물리적 수치를 나타낸 것이다. 잉크 액적의 질량과 반경은 액적 부피와 밀도로부터 유도하여 사용하였고 공기의 점성은 다음 식 (12)와 같이 계산하였다.

$$\mu = \rho \cdot \nu \tag{12}$$

여기서, $\rho = 1.29 \text{ Kg/m}^3$ and $\nu = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

표 1 시뮬레이션에 사용된 액적의 물리적 값
 Table 1 Physical values of the simulated ink droplet

	V[pl]	m[Kg]	R[um]
Color ink	4.5	4.68e-12	10.24
	8	8.32e-12	12.41
Mono ink	30	31.2e-12	19.28

본 논문에서 제안한 분사 타이밍 제어의 성능을 확인하기 위하여 여러 가지 지연 방법을 적용하여 분사된 액적에 의해 형성되는 화점 위치를 시뮬레이션을 통하여 비교하였다.

화점이 형성되는 절대 위치의 정확도를 검증하기 위하여 엔코더의 절대 위치를 바탕으로 균일하게 시분할된 분사 기준 시점의 위치에서 분사 지연 시간 동안의 이동을 포함하여 분사 이후의 액적이 용지에 탄착될 때까지의 액적의 총 비행 거리를 지연 방법별로 시뮬레이션 하였다. 또한, 인쇄 화상의 균일도 성능을 확인하기 위하여 균일하게 배치된 인쇄 화상을 대상으로 탄착 위치를 시뮬레이션 하여 인접하는 화점 중심 사이의 거리를 비교하였다.

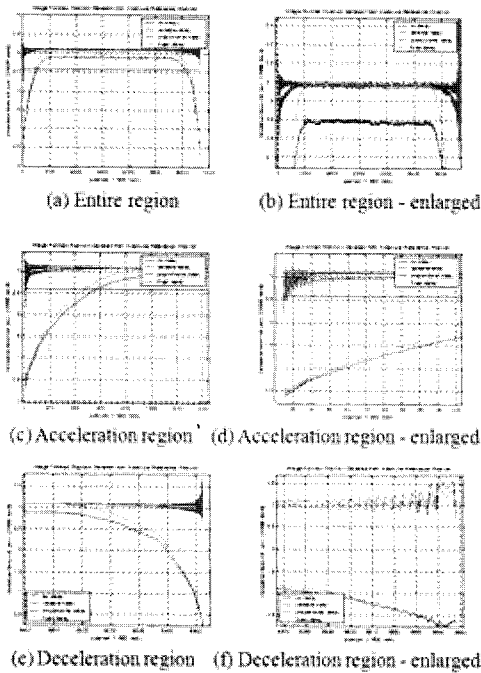


그림 6. 액적의 비행 거리
Fig. 6 Droplet flight distances

그림 6은 캐리지가 30 ips (inch/sec)의 속도로 이동할 때 액적의 비행 거리 시뮬레이션 결과이다. 액적 비행 거리의 기준 위치가 기준 엔코더 에지에서의 위치이므로 비행 거리에는 지연 시간 동안의 운동이 포함된다.

실험 결과로부터 캐리지의 가·감속 이동 구간에서 발생하는 속도 변동에 의해 야기되는 인쇄 화점의 위치 변동이 본 논문에서 제안하는 지연 시간 제어에 의해 확연히 개선되고 있음을 알 수 있다. 액적의 탄착 위치가 지연 시간 제어가 없는 분사 방식의 경우 캐리지 속도에 비례하여 변동하는 반면 지연 제어를 통한 액적의 탄착

지점은 캐리지 가·감속 구간에서도 균등하게 형성되어 있다.

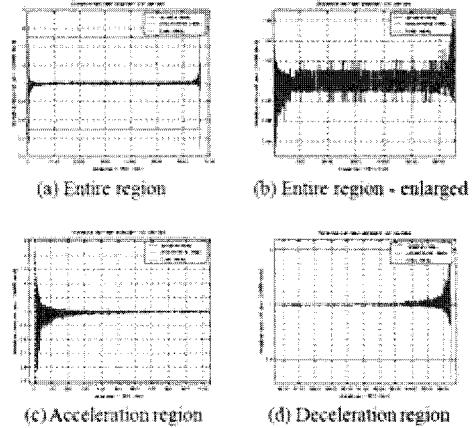


그림 7. 인접 화점 사이의 거리
Fig. 7 Distances between adjacent dot positions

인쇄하고자 하는 원영상이 캐리지 이동 방향으로 균등하게 분포되어 있는 경우 인쇄 화상의 품질은 인접하는 화점의 상대적 위치에 의해 주로 결정된다. 그림 7은 이러한 경우 성능비교를 위한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있는데 이 경우 역시 제안한 분사 지연 시간 제어 방식이 우수한 결과를 보여주고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 잉크젯 프린터의 고속, 고품질 인쇄를 위하여 잉크 액적의 탄착 위치를 제어하는 방법을 제안하였다. 잉크젯 프린터 시장에서 요구되는 인쇄 화질과 속도의 개선을 충족하기 위해서는 캐리지가 방향전환을 위해 가·감속을 하며 이동하는 구간에서도 인쇄 품질을 유지하며 인쇄를 할 필요가 있다. 이를 위해 가·감속 구간에서의 속도와 정속 구간에서의 속도 차이에 의해 야기되는 화점 형성 위치 에러를 보상할 수 있는 적절한 제어 기법이 필요하다.

본 논문에서는 액적 분사 시점에서의 캐리지 속도 추정과 분사된 액적의 경로를 기술하는 동역학 방정식을 통하여 잉크 액적의 분사를 위한 신호의 지연 시간을 적절히 제어함으로써 화점의 위치를 제어할 수 있는 방법

을 제안하였다. 제안한 액적 분사 타이밍 제어 기법의 성능은 여러 가지 지연 기법에 대해 화점의 형성 위치를 시뮬레이션 하여 비교하였다. 분사 이후의 액적 이동 거리뿐만 아니라 지연 시간 동안의 캐리지 이동을 고려하여 절대 기준 위치 대비 화점의 형성 위치를 비교하여 화점 위치 제어 성능을 비교하였고 인접 화점 사이의 거리 변동을 비교하여 인쇄 화상의 균일성을 비교하였다.

기존의 고정 지연 방식에 비해 본 논문에서 제안하는 방법은 정속 구간에서 발생하는 상대적으로 작은 속도 변동뿐만 아니라 가·감속 구간에서 발생하는 큰 속도 편차에 대해서도 정확한 탄착 위치 제어가 이루어 질 수 있음을 확인하였다. 캐리지 가·감속 구간에서의 정확한 화점 제어는 캐리지 이동 구간을 줄일 수 있으므로 인쇄 속도를 향상시킬 수 있음은 물론이고 프린터의 기구적 크기를 줄이는데도 기여할 수 있어 비용 절감의 효과를 얻을 수 있다.

참고문헌

[1] Naomi. L. Cameron, Chapter. 26 Ink-Jet Printing, Coating Technology Fundamentals, Testing, and Processing Techniques, Edited by Arthur A. Tracton, CRC Press, 2007

[2] K. Yoshimura, M. Kishimoto, and T. Suemune, "Inkjet printing technology," Review Literature And Arts of the Americas, vol. 64, pp. 41-44, Aug., 1988

[3] Herman Wijshoff, "Drop formation mechanisms in piezo-acoustic inkjet," Proc. Nanotech2007 3, 448, 2007

[4] Mohammad M. Mohebi, Julian R. G. Evans, "The trajectory of ink-jet droplets: Modeling and experiment," Chemical Engineering Science, vol. 60, pp. 3469-3476, 2005

[5] Hue P. Le, "Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology", Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 42, No. 1, pp.49-62, 1998

[6] Ross N. Mills, "Ink Jet Printing: Past, Present and Future," IS&T: Recent Progress in Ink Jet Technologies, Ed. Rezanka and Eschbach, Sringfield, VA:IS&T, 1996, pp.12-15

[7] F.G. Tseng, C.J. Kim and C.M. Ho, "A microinjector free of satellite drops and characterization of the ejected droplets," Symposium on Applications of Micro-Fabrication to Fluid Mechanics, 1998 ASME Int. Mechanical Engineering Congress and Expositions, pp. 89-95, 1998

[8] R. L. Panton, "Incompressible Flow", John Wiley & Sons, Inc., NewYork,pp.649-652,1984

[9] Peter Roberts, "A Mathematical Model for Inkjet Printer Characterization," Eighth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering Systems, Technologies, Applications, pp. 134-139, Nov., 2000

저자소개

조영완(Youngwan Cho)



1991년 연세대학교 전자공학과
공학사
1993년 연세대학교 전자공학과
공학석사

1999년 연세대학교 전자공학과 공학박사
2000년~2003년 삼성전자(주) 책임연구원
2003년~현재 서경대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야: 퍼지 및 신경망 시스템, 적응 및 강인 제어, 무인 이동체 시스템, 영상 인식 및 추적