

롤투롤 전자인쇄 건조공정의 공기역학적 특성분석

Analysis on Aerodynamic Characteristics of Drying Process in R2R Printed Electronics

서용호¹, 장영배², 김창완^{3,✉}
Yong Ho Seo¹, Young Bae Chang² and Chang Wan Kim^{3,✉}

1 건국대학교 대학원 기계설계학과 (Department of Mechanical Design and Production Engineering, Graduate School of Konkuk Univ.)

2 오클라호마주립대학교 기계항공공학부 (School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State Univ.)

3 건국대학교 기계설계학과 (Department of Mechanical Design and Production Engineering, Konkuk Univ.)

✉ Corresponding author: goodant@konkuk.ac.kr, Tel: 070-7013-4353

Manuscript received: 2009.9.17 / Revised: 2009.12.15 / Accepted: 2010.1.8

Roll to Roll (R2R) is one of the most promising production technologies in the printed electronics such as OLEDs, e-paper, backplanes, RFID because this technology can save production cost and increase production speed. Printed electronics includes various processes such as printing, drying, winding, unwinding, and so on. In printed electronics R2R system, air-flotation oven is employed for drying process. Therefore, it is essential to introduce efficient and fast drying process when printing is finished. This paper considers the analysis of drying process in R2R that involves hot air flow. Air-flotation oven consists of non-contact supports and drying of coated web materials such as plastic films and paper. In this paper, experimental results and numerical analysis of pressure-pad air bar are investigated. The aerodynamic characteristics of pressure-pad air bar are numerically calculated using computational fluid dynamics (CFD) approach. Then the measured values of the aerodynamic forces for air bars are compared with those of CFD analysis.

Key Words: Air-flotation Oven (공기부양 건조기), e-Printing (전자인쇄), Roll to Roll System (롤투롤 시스템), Air Bar (에어 바), Computational Fluid Dynamics (전산유체역학)

기호설명

b = width of air jet; width of slot nozzle
C = nozzle coefficient
h = flotation height; vertical distance between web and the exit of air jet
l = length of air bar
P = pressure
P_c = cushion pressure
P_j = effective total pressure of air jet (P_j = C·P_o)
P_o = supply pressure
s = vertical distance between the top surface of air bar

and the exit of air jet
w = width of air bar; distance between two slot nozzles
θ = angle of ejection of air jet
ρ = density of fluid
μ = viscosity coefficient
u = the fluid velocity component in the x-direction
v = the fluid velocity component in the y-direction
w = the fluid velocity component in the z-direction

1. 서론

오늘날 각광받고 있는 OLEDs, e-Paper 와 같은

디스플레이, RFID, 센서(Sensor), 광전지(Photocell), 컴퓨터 메모리(Computer memory) 등의 산업 분야에서 전자인쇄 기술이 빠르게 적용되고 있다.¹ 인쇄 기술(Printing technology)은 비접촉식 잉크 분사 방법을 이용한 잉크젯 프린팅(Inkjet printing), 스크린(Screen), 플렉소(Flexo), 그라비아(Gravure) 방식의 롤 프린팅(Roll printing)이 대표적이다. 이러한 다양한 기술들 중에서, 고속 생산이 가능한 롤투롤(Roll to Roll, R2R) 연속공정 방식은 인쇄 전자소재 시장의 생산비 절감에 대한 요구를 충족시킬 수 있는 생산기술로 대두되고 있다.^{1,2} Fig. 1 은 본 연구 그룹에서 보유하고 있는 롤투롤 시스템을 이용한 전자인쇄 장비를 나타낸다. 롤투롤 시스템의 전자인쇄는 언와인딩(Unwinding), 인피딩(Infeeding), 다층 인쇄(Multilayer Printing), 건조(Drying), 아웃피딩(Outfeeding), 와인딩(Winding)과 같은 연속된 공정으로 구성된다.^{3,4}

롤투롤 시스템 전자 인쇄 건조공정에서의 공기 부양 건조기(Air-flotation oven)는 일반적으로 웹(Web)이라 불리는 코팅된 종이나 플라스틱 필름의 비접촉 지지대(Noncontact support)와 건조(Drying)에서 광범위하게 사용된다. 전형적인 공기 부양 건조기에서의 주요 부품은 이송하는 웹을 향하여 고온의 공기를 분출하는 구멍(Hole) 또는 슬롯 노즐(Slot nozzle)을 갖는 에어 바(Air bar)이다. 특히 열풍 건조방식 중 슬롯 노즐을 갖는 공기부양 건조기는 열 전달계수와 물질 전달량을 증가시키는 방식으로 인정되어 가장 일반적으로 사용하고 있다. 웹의 사행(Sideward motion)과 웹의 떨림(Flutter) 그리고 웹과 에어 바 사이의 접촉(Contact) 등은 공기부양 건조공정 기술에서의 문제점으로 논의되고 있다.⁵ 이와 같은 문제점으로 인하여 롤투롤 연속 공정에서 가장 핵심이 되는 장력 제어(Tension control)의 어려움뿐만 아니라 최종제품의 품질을 저하시킨다.

Fig. 2 는 공기 부양 건조기에서의 에어 바와 웹의 형상을 나타낸다. 에어 바와 웹 사이에 형성된 균일한 쿠션압력(Cushion pressure) 때문에 이런 형태의 에어 바를 압력 패드 에어 바(Pressure-pad air bar)라고 부른다.⁵ 공기부양 건조기에서 웹의 경로는 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 정현 곡선(sine curve)의 형태를 나타내며 에어 바는 웹의 경로와 수직되게 위 아래로 배열된다. 정현 곡선의 크기는 에어 바의 배열과 너비, 웹의 굽힘 강성, 그리고 웹의 장력과 공급된 공기압력과 같은 작동상태에 따

라 결정된다.^{6,7} Fig. 4 는 한 개의 에어 바와 단일스팬 길이를 갖는 웹을 나타낸다.

본 논문은 전자인쇄 공정을 위한 롤투롤 장비의 건조기 설계에 핵심적인 역할을 하는 압력 패드 에어 바의 공기역학적 특성을 실험 및 수치해석 방법으로 분석하고자 한다. 두 개의 슬롯노즐을 가진 압력패드 에어 바에 의해 발생된 공기역학적 힘을 측정하고, 전산유체해석 결과와 비교하여 롤투롤 공정의 웹에 작용하는 공기역학적 압력 분포를 예측할 수 있었다. 이를 통하여 건조기의 설계변수인 에어 바의 형상 치수, 부양높이, 공급

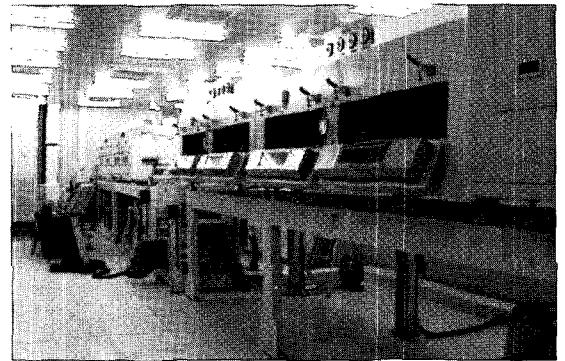


Fig. 1 Electronic printing machine by R2R system

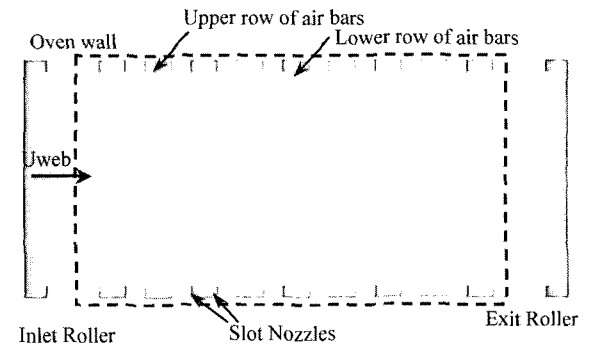


Fig. 2 Top view of air bars and web materials in a typical air-flotation oven

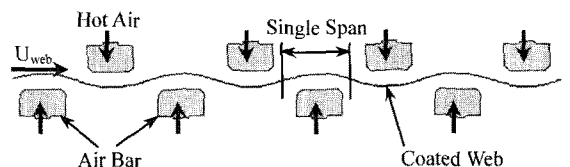


Fig. 3 Cross section view of air bars and web in air-flotation oven

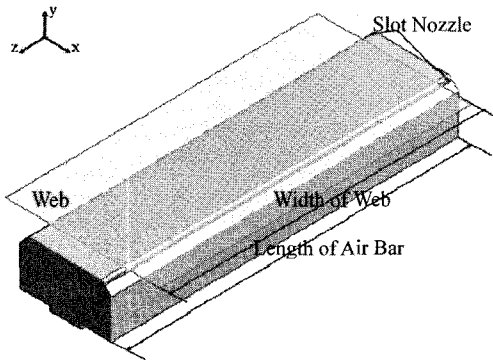


Fig. 4 Isometric view of an air bar and web

압력 사이의 영향력 분석을 하였다. 이를 통하여 웹이 받는 압력분포에 영향을 주는 변수들을 효과적으로 분석하였다.

2. 건조공정 실험

본 논문에서 전산유체해석 결과와 비교를 위해 두 개의 슬롯 노즐을 갖는 압력 패드 에어 바에 의해 발생하는 공기역학적 힘을 실험적으로 측정하였다. Fig. 5는 강체 평판(Rigid plate), 에어 바 그리고 압력 측정장치로 구성된 실험장비를 개략적으로 나타낸다. 강체 평판을 x 축으로 이동시키면서 평판 상의 압력을 측정하였다. 강체 평판 상의 압력 분포를 측정하기 위하여 사용된 에어 바의 종류는 두 가지 형태이며 형상에 대한 치수는 Table 1에 작성하였다. 에어 바의 길이(400 mm)가 일정한 상태에서, 두 가지 종류의 에어 바의 형상 차이는 두 개의 슬롯노즐 사이의 거리(w), 슬롯노즐 출구의 너비(b), 그리고 에어 바의 윗면과 슬롯노즐 출구 사이의 수직거리(s)이다. 에어 바에 대한 주요 실험변수는 에어 바의 슬롯노즐 출구와 강체 평판 사이의 높이(h)와 공급압력(P₀)이다. 실험변수는 Table 2에 나타났다. 각각의 에어 바에 대하여 슬롯 노즐 출구와 평판 사이의 높이, 공급압력의 서로 다른 조합에 따른 평판이 받는 압력 분포를 측정하였다.

3. 건조공정 수치해석

3.1 전산유체해석

공기부양 건조기 내부의 유체는 정상상태이며 비압축성으로 가정하였다. 또한 온도의 영향을 고

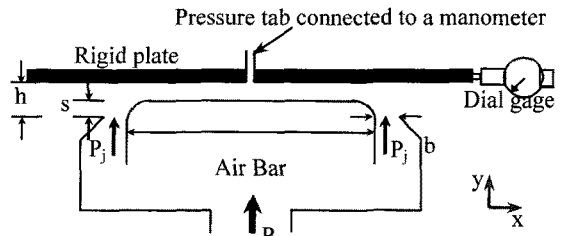


Fig. 5 Schematic of experimental setup

Table 1 The geometric data of two air bars

	Air bar type 1	Air bar type 2
b (mm)	1.65	3.30
s (mm)	3.81	3.30
w (mm)	89	127

Table 2 The experimental variables for each air bar

	h (mm)	P ₀ (Pa)
Air bar type 1	4.57	1320
	6.35	1300
	8.89	1270
Air bar type 2	4.06	725
	5.84	697
	8.38	649

려하지 않으므로 등은 유체로 가정하여 나비에-스톡스(Navier-Stokes' equations) 방정식을 기본으로 하여 유체의 운동방정식을 정식화하였다. 정상상태 실험결과에서 얻은 유체의 레이놀즈 수(Reynolds Number)가 약 4000~6000 이므로 난류로 고려하였고,^{5,8} 일반적으로 사용되는 난류 모델인 표준 k-ε 모델을 사용하였다. 체적력(Body force)의 영향은 무시하고, 슬롯노즐 출구 압력만이 작용한다고 가정하였다. 열 문제를 동반하지 않는 등은 유체의 지배방정식은 연속방정식(Continuity equation)과 나비에-스톡스 방정식의 두 식으로 표현할 수 있다. 연속방정식과 나비에-스톡스 방정식은 속도와 압력 향으로 다음과 같이 표현된다. 이 방정식을 유한체적법(FVM: Finite Volume Method)을 사용하여 이산화하여 변환된 대수 방정식을 수치 기법의 알고리즘을 사용하여 유체 유동 문제를 풀고 해석하였다.⁹

연속방정식:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

나비에-스톡스 방정식:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

여기서, ρ는 유체의 밀도, μ는 점성계수, P는 유체의 압력, u, v, w는 각각 유체의 x, y, z 방향 속도를 나타낸다.

에어 바의 공기역학적 특성을 해석하기 위하여 Fig. 6(a)에서 나타낸 것과 같이 단일 에어 바와 웹으로 둘러 쌓인 영역을 해석범위로 설정하였다. 이는 근접한 에어 바 사이의 유동 간섭에 의해 웹이 받는 압력의 영향이 미소하다고 판단하였기 때문이다. 해석범위에서 유동영역은 XY 평면과 YZ 평면에 대하여 대칭이므로 Fig. 6(b)에서 나타낸 것과 같이 4분의 1 모델로 단순화하였다. 에어 바의 형상 치수와 해석 변수는 실험에서 사용한 에어 바 형상(Table 1)과 실험변수(Table 2)를 사용하였다. 웹의 폭은 360 mm 이고, 에어 바의 길이(400 mm) 보다 작게 하여 웹의 중심에서부터 끝단까지 압력 입력 조건을 가하였다.

일반적으로 유동에 의한 유연한 웹의 거동을 고려해야 하나, 본 연구에서는 웹의 특성 분석보다는 건조기 내부에서 웹 주위의 공기압력 분포 분석을 위하여 웹을 강체로 가정하여 전산유체해석을 수행하였다. 열 전달을 고려하지 않는 가정하에 25℃ 등온유체로 설정하였다. 전산유체해석을 위한 격자 모델(Mesh model)을 Fig. 7에 나타내었으며, 요소 수는 약 200,000 여 개이다. 에어제트의 분출 각도는 90°로 고정하고, 공급압력에 대한 슬롯 노즐 출구 압력에 대한 비인 노즐계수(Nozzle coefficient)는 0.65 로 적용하였다. 전산유체 해석에서의 경계조건은 Fig. 8에 나타내었다. 입구 경계조건은 슬롯노즐의 출구에 압력으로 적용하였고, 강체로 가정된 웹과 에어 바의 표면은 벽면 조건으로 하였다. 근접한 에어 바 사이의 유동은 대기압과 같은 조건으로 하였다. XY 평면과 YZ 평면에는 대칭 경계조건을 부여하였다.

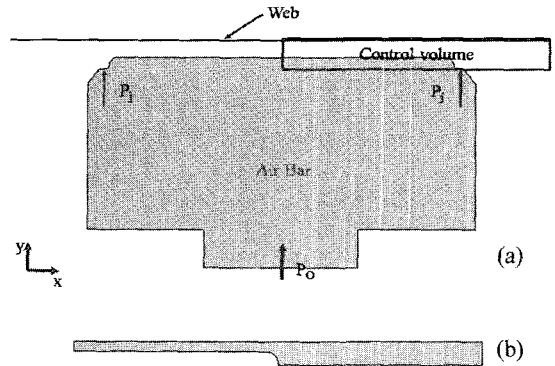


Fig. 6 (a) Cross section view of an air bar, (b) A model for a numerical analysis

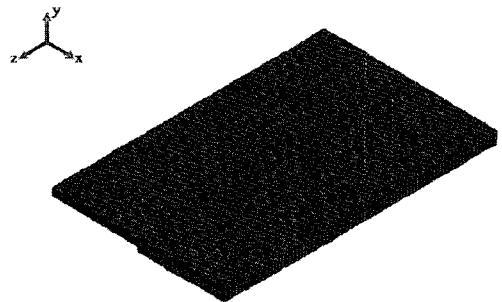


Fig. 7 Mesh model for CFD analysis

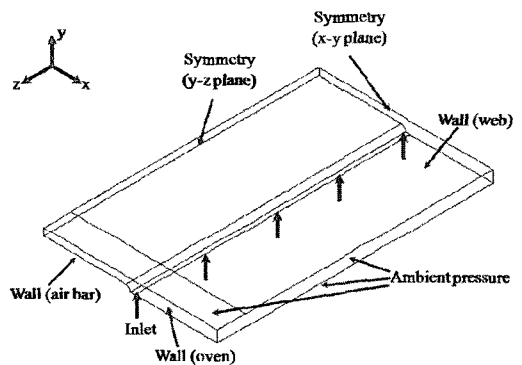


Fig. 8 Boundary conditions for CFD model

3.2 건조 성능분석을 위한 변수 설정

에어 바의 형상을 결정짓는 주요 변수들과 부양높이 그리고 공급압력 등의 공기역학적 특성을 결정짓는 매개 변수를 선정하여 분석을 하였다. 매개변수 분석에 사용한 주요 변수들은 두 개의 슬롯노즐 사이의 거리인 에어 바의 폭(w), 슬롯노

줄의 폭(b), 에어 바의 윗면과 슬롯노즐 출구 사이의 거리(s), 웹과 슬롯노즐 출구 사이의 거리(h), 그리고 공급압력(P_o)이다. Fig. 9 는 매개변수 분석을 위해 사용된 변수들을 나타내며, 각각의 파라미터에 해당되는 변수들 값과 고정된 변수 값을 Table 3 에 작성하였다.

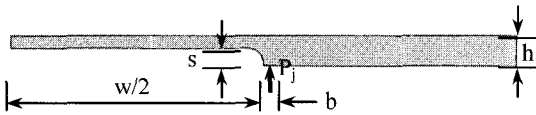


Fig. 9 Variables of air bar for parametric study

Table 3 Variables of air bar for parametric study

Variables	Value	Fixed Variables
w (mm)	89	$P_o = 925, h = 6, b = 3.3, s = 3.3$
	108	
	127	
b (mm)	1.650	$P_o = 925, h = 6, s = 3.3, w = 127$
	2.475	
	3.300	
s (mm)	2.3	$P_o = 925, h = 6, w = 127, b = 3.3$
	3.3	
	4.3	
h (mm)	4.5	$P_o = 925, b = 3.3, s = 3.3, w = 127$
	6.0	
	7.5	
P_o (Pa)	725	$h = 6, w = 127, b = 3.3, s = 3.3$
	825	
	925	

4. 실험 및 수치해석 결과

4.1 실험과 수치해석 결과 비교 분석

Fig. 10 과 Fig. 11 은 에어 바 타입 1 과 2 의 경우에 대해, 웹과 에어 바 사이의 거리인 부양높이 (h)와 공급압력(P_o)에 따라 웹이 받는 압력분포를 전산유체해석으로 얻은 결과이다. 각각의 결과는 웹의 폭 방향 중심($z=0$)과 웹의 진행 방향 중심($x=0$)을 기준으로 웹의 진행 방향(x 축)에 대하여 표현하였다. 웹 진행 방향으로 웹이 받는 압력 분포는 에어제트에 둘러 쌓인 영역에서 거의 균일한 압력을 보이고 있으며 이 압력 값을 쿠션압력으로 표현하였다. 부양높이가 작을수록 가장 큰 압력을

보이는 슬롯노즐이 위치한 영역을 제외하고는 에어 바 너비에 걸쳐서 전반적으로 균일한 분포를 보이고 있다. 에어 바의 슬롯노즐과 웹 사이의 높이가 클수록 쿠션압력의 하강은 피크압력에 인접한 위치에서 보다 뚜렷하게 관찰된다. 이 압력강하는 유동의 주요 흐름이 가압된 영역에서 강한 와류(Vortex)를 일으킨다는 것을 나타낸다. 와류 현상에 대한 결과를 Fig. 12 에서 속도 벡터를 사용하여 나타내었다.

Fig. 13 과 Fig. 14 는 웹의 폭 방향 중심($z=0$)과 웹의 진행 방향 중심($x=0$)을 기준으로 웹의 폭 방향에 대한 압력분포를 나타낸다. 일정한 범위에서는 균일한 압력분포를 보이고 있으나 유동장의 출구인 웹의 끝단으로 갈수록 압력이 줄어들고 있다. 웹과 에어 바 사이의 높이가 작을수록 웹의 끝단에서의 압력에 대한 기울기가 커지는 것을 확인할 수 있다. 4 분의 1 모델에 대한 웹이 받는 압력 분포를 2 차원 등고선으로 Fig. 15 에 표현하였다.

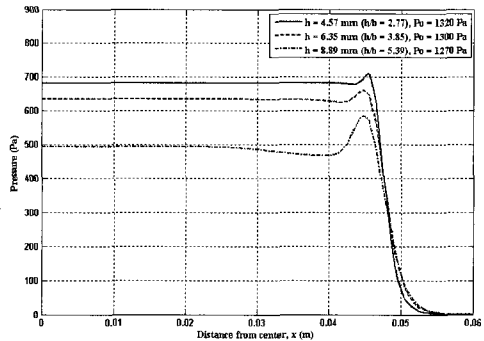


Fig. 10 Results for effect of flotation height on pressure distribution for air bar type 1(x-direction)

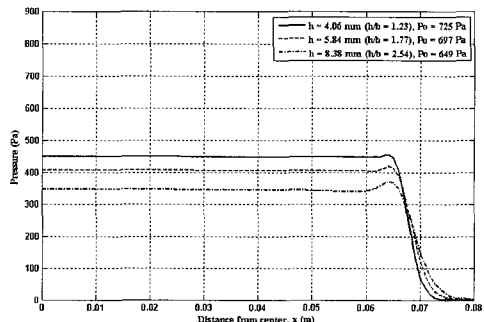


Fig. 11 Results for effect of flotation height on pressure distribution for air bar type 2(x-direction)

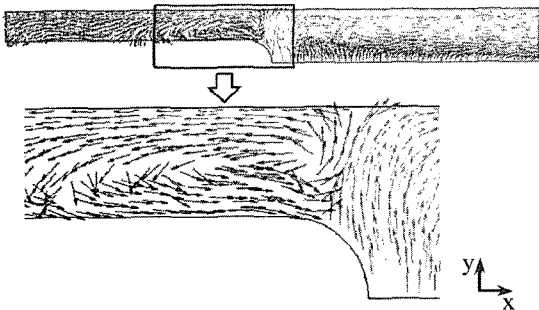


Fig. 12 Velocity vector for vortex flow phenomenon

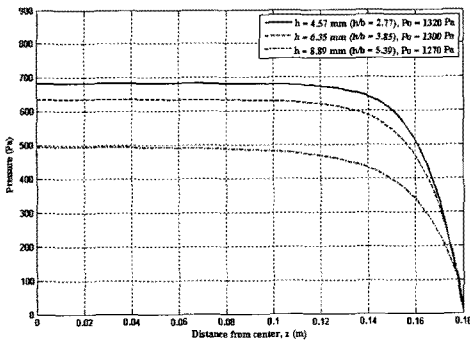


Fig. 13 Results for effect of flotation height on pressure distribution for air bar type 1 (z-direction)

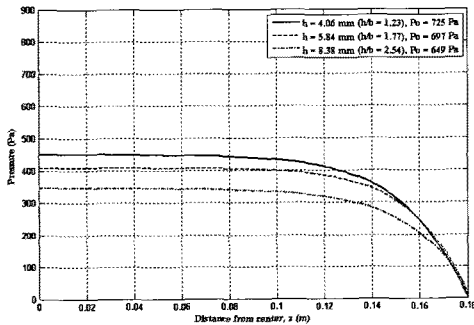


Fig. 14 Results for effect of flotation height on pressure distribution for air bar type 2 (z-direction)

Table 4 와 Table 5 는 에어 바 타입 1 과 2 에 대한 실험과 전산유체해석 결과를 비교한 것이다. 전산유체해석을 통한 부상높이와 공급압력에 따른 쿠션압력의 크기는 부상높이가 작을수록 실험과 유사한 결과를 보인다. 그러나 실험과 해석에서 쿠션압력의 평균 값은 공급압력(P_o)과 효과적인 전압(P_j)사이의 상관계수인 노즐계수의 선정에 따라

Table 4 Comparison of experiments and numerical analysis for air bar type 1

	Experiment (Pa)	Numerical (Pa)
$h = 4.57 \text{ mm}, P_o = 1320 \text{ Pa}$	631.5	681.8
$h = 6.35 \text{ mm}, P_o = 1300 \text{ Pa}$	465.9	634.5
$h = 8.89 \text{ mm}, P_o = 1270 \text{ Pa}$	320.6	494.5

Table 5 Comparison of experiments and numerical analysis for air bar type 2

	Experiment (Pa)	Numerical (Pa)
$h = 4.57 \text{ mm}, P_o = 725 \text{ Pa}$	448.6	449.8
$h = 6.35 \text{ mm}, P_o = 697 \text{ Pa}$	356.5	406.8
$h = 8.89 \text{ mm}, P_o = 649 \text{ Pa}$	268.3	345.1

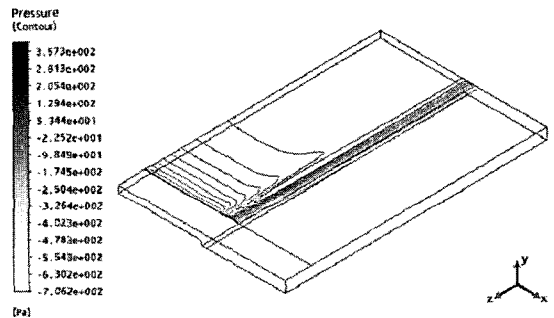


Fig. 15 Pressure distribution on the web for pressure-pad air bar type 2 ($h = 8.38 \text{ mm}, P_o = 649 \text{ Pa}$)

차이가 발생하므로 적절한 노즐계수의 선정에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

4.2 매개변수 상호 연관성 분석

공기부양 건조기의 설계변수인 에어 바의 형상 치수, 부상높이, 공급압력 사이의 영향력 분석을 하였다. 이를 통하여 웹이 받는 압력분포에 영향을 주는 변수들을 효과적으로 분석하였다.

Fig. 16 은 에어 바의 폭(w) 변화에 따른 웹이 받는 압력분포 변화를 나타낸다. 여기서 $x=0$ 인 지점은 에어 바의 중심을 의미한다. 에어제트를 분출하는 두 개의 슬롯노즐 사이의 거리인 에어 바의 폭이 증가할수록 웹과 에어 바 사이의 쿠션압력이 감소하는 경향을 보인다. 이는 에어 바의 폭이 증가할수록 두 개의 슬롯노즐로 둘러 쌓인 영역이 커지고, 늘어난 영역만큼 유동이 빠져나가는

출구 면적이 증가하였기 때문이다.

Fig. 17 은 슬롯노즐의 폭(b) 변화에 따른 웹이 받는 압력 변화를 나타낸다. 동일한 압력 값의 입구 경계조건에서 유동장의 입구 영역인 에어제트의 두께가 증가할수록 웹과 에어 바 사이의 쿠션 압력이 높아진다. 이는 동일한 입구 조건으로 적용하였지만 슬롯 노즐의 폭의 증가는 유동장 입구 면적의 증가를 나타내므로 유량이 증가되고 웹이 받는 압력이 커진 것으로 판단된다.

Fig. 18 은 에어 바의 윗면과 에어 제트의 출구 사이의 거리(s) 변화에 따른 웹이 받는 압력 변화를 나타낸다. 웹과 슬롯노즐 출구 사이의 높이(h)가 고정된 조건에서 에어 바의 윗면과 슬롯노즐의 출구 사이의 거리(s)가 증가할수록 웹과 에어 바 사이의 쿠션압력이 높아진다. 이는 웹과 에어 제트의 높이(h)가 고정된 조건에서 거리(s)가 증가할수록 웹과 에어 바 사이의 거리가 감소하므로, 유동이 빠져나가는 출구 면적이 감소하였기 때문이다.

Fig. 19 는 동일한 형상을 갖는 에어 바에서 슬롯노즐의 출구와 웹 사이의 높이(h) 변화에 따른 압력변화를 나타낸다. 부양높이가 작을수록 가장 큰 압력을 보이는 슬롯노즐이 위치한 영역을 제외하고는 에어 바 너비(X 축)에 걸쳐서 더욱더 균일한 분포를 보이고 있다. 이는 부양높이가 작을수록 와류에 의한 압력강하 현상이 작아진다는 것을 의미한다. 에어 바의 슬롯노즐과 웹 사이의 높이가 클수록 쿠션압력의 하강은 피크압력에 인접한 위치에서 보다 뚜렷이 관찰된다. 앞서 비교했던 실험과 동일한 모델의 수치해석 결과와 유사한 경향을 보인다. 부양높이가 작을수록 노즐 출구와의 거리가 근접하므로 압력 값이 커짐을 알 수 있다. 부양높이 변화에 따른 해석은 웹에 적용된 일정한 장력에서 에어 바의 형상과 공급압력에 결정된다.

Fig. 20 은 동일한 형상과 부양높이를 갖는 에어 바에서의 공급압력(P_0)의 변화에 따른 웹이 받는 압력 변화를 나타낸다. 동일한 조건에서 공급압력이 증가할수록 쿠션압력이 높아진다. 입구 경계조건이 커지므로 웹이 받는 압력 또한 커진다. 에어 바 형상의 변화에 따른 압력분포에 비하여 공급 압력에 따른 압력 변화는 공급 압력에 비례하여 증가하는 것을 확인할 수 있다.

이와 같은 매개변수 상호 연관성 분석을 통하여 슬롯노즐 사이의 거리인 에어 바의 폭(w)이 작고, 슬롯노즐 출구의 폭(b)이 크고, 에어 바의 윗면

과 슬롯노즐의 출구 사이의 거리(s)가 큰 것이 전달되는 압력이 증가하는 것을 고찰할 수 있었다. 이 결과를 활용하여 사용자가 바라는 노즐설계에 방향성을 제시할 수 있다.

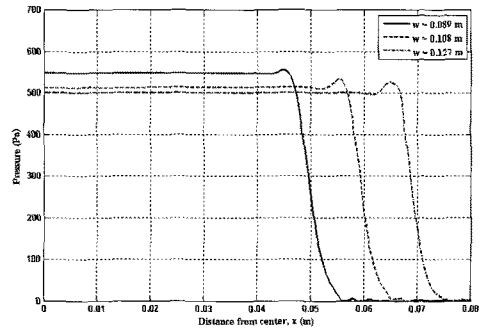


Fig. 16 The pressure distribution on web according to the width of air bar (w)

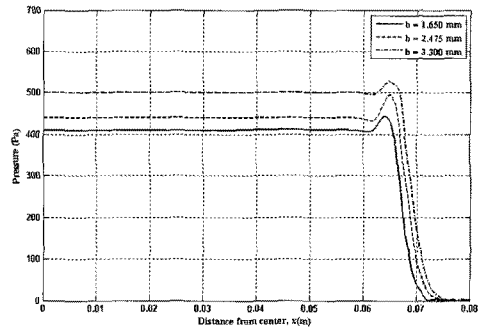


Fig. 17 The pressure distribution on web according to the width of slot nozzle (b)

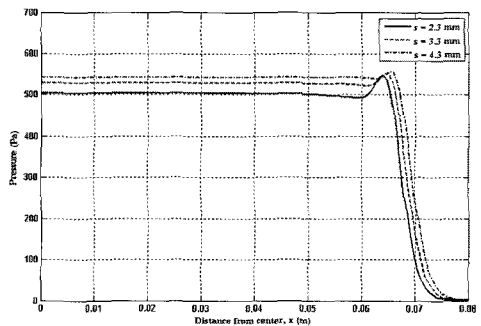


Fig. 18 The pressure distribution on web according to the vertical distance between the top surface of air bar and the exit of air jet (s)

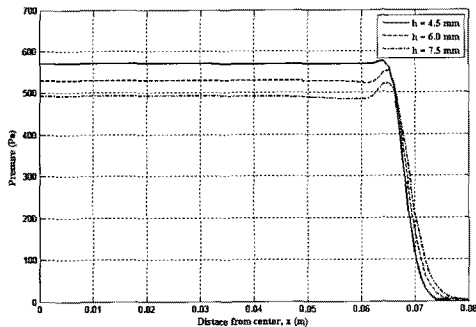


Fig. 19 The pressure distribution on web according to the effective flotation height (h)

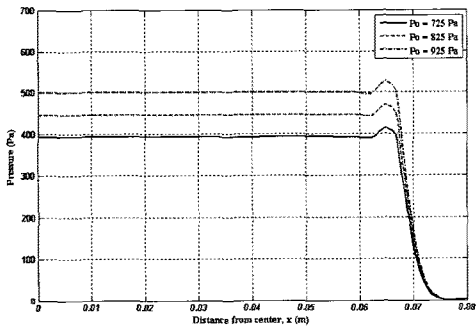


Fig. 20 The pressure distribution on web according to the supply pressure (P_0)

5. 결론

본 논문에서는 롤투롤 전자인쇄기의 건조기 내부의 압력패드 에어 바를 통해 웹에 작용하는 압력 특성을 실험과 전산유체해석 방법을 이용하여 분석하였다.

에어제트의 분출 각도를 고정된 경우에 대해서 압력패드 에어 바의 공기역학적 특성은 에어 바의 폭(w), 슬롯노즐의 두께(b), 에어 바의 윗면과 슬롯노즐 출구 사이의 거리(s)와 같은 기하학적 형상을 결정짓는 변수들과 공급압력(P_0), 부양높이(h)에 의해 결정됨을 알 수 있었다. 에어 바의 형상과 관련된 변수인 두 개의 슬롯노즐 사이의 거리인 에어 바 폭의 감소, 유동장의 입구 영역인 슬롯노즐 폭의 증가, 에어 바의 윗면과 슬롯노즐 입구 사이의 거리가 증가할수록 웹이 받는 압력은 높아짐을 고찰할 수 있었다. 또한 공급압력이 증가할수록 웹이 받는 압력은 증가하며, 웹과 슬롯노즐 출구 사이의 거리인 부양높이가 증가할수록 웹이 받는

압력은 감소하고 쿠션압력이 매우 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 건조기 내부 압력 계산을 위해 제안된 전산유체해석 모델을 이용한 수치해석 결과가 실험결과와 유사한 경향을 보였다. 따라서 추후에 롤투롤 전자인쇄기의 건조기 설계 시에는 제안된 전산유체해석 모델을 사용할 수 있음을 검증하였다.

후 기

본 연구는 2009 년도 서울시 산학연 협력사업 (10848)과 교육과학기술부 국제과학기술협력재단 (No. K20701040597-09A0404-05110) 및 교육과학기술부 한국연구재단(2009-0067895)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. Chin, B. D. and Shin, K. H., "Device Technology of Flexible Organic Devices and Continuous Printing Process," Polymer Science and Technology, Vol. 18, No. 3, pp. 246-252, 2007.
2. You, I. K., Koo, J. B. and Lee, Y. K., "Printed RFID Technology," ETRI, Analysis of Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 22, No. 5, pp. 1-11, 2007.
3. Roisum, D. R., "The Mechanics of Winding," Tappi Press, 1996.
4. Roisum, D. R., "The Mechanics of Rollers," Tappi Press, 1996.
5. Chang, Y. B. and Moretti, P. M., "Aerodynamic characteristic of Pressure-Pad Air Bars," The Fourth International Symposium on Fluid-structure Interaction, Aero-elasticity, Flow-Induced Vibration & Noise, Vol. 53-2, pp. 3-9, 1997.
6. Chang, Y. B., Swanson, R. P. and Moretti, P. M., "Longitudinal and Out-of plane Stiffness of a Web in an Air-flotation oven," Proc. ASME, Noise Control and Acoustics Division, Vol. 26, pp. 435-443, 1999.
7. Moretti, P. M., "Lateral Deflection of webs in Air-Flotation Ovens," ASME Journal of Applied Mechanics, Vol. 71, No. 3, pp. 314-320, 2004.
8. Pinnamaraju, R., "Measurements on Air Bar / Web Interaction for the Determination of Lateral Stability of a Web in flotation oven," M. S. Report, MAE

Dept., Oklahoma State University, 1992.

9. ANSYS Inc., "ANSYS-CFX User's Theory Guide," 2009.