전자 인쇄 건조공정의 pressure-pad air bar 의 공기역학적 특성에 대한 수치해석적 연구

A Numerical Analysis on Aerodynamic Characteristics of Pressure-pad Air Bar in Electronic printing Drying

*서용호[1], #김창완[2]
*Y. H. Seo(sirsyh@nate.com)[1], #C. W. Kim(goodant@konkuk.ac.kr)[2]
[1]건국대학교 대학원 기계설계학과, [2]건국대학교 기계설계학과

Key words : Numerical Analysis, Air bar, Air Flotation, Web, Aerodynamic characteristics

1. 서론

Air-flotation oven 은 non-contact support 그리고 일반적으로 web 이라 불리는 코팅된 종이와 plastic film 의 건조에서 광범위하게 사용된다. Fig. 1 은 non-contact dryer 을 적용하는 printing system 의 개략적인 그림이다. 종이와 plastic film 과 같은 web 재료가 코팅될 때, 그것들은 연속적으로 이송하는 동안 접촉 없이 건조되어야 한다. 다양한 공기역학적 방법들은 코팅의 손상 없이 효과적인 건조를 위해 개발되어왔다. 하나의 방법은 air bar 로 구성된 위아래 두 개의 열을 가지는 air-flotation oven 을 사용하는 것이다. Fig. 2 는 Air-flotation oven 에서 air bar 들과 web 의 단면을 나타낸다. 전형적인 Air-flotation oven 에서의 주요 부품은 이송하는 web 을 향하여 고온의 air jet 을 분출하는 holes 또는 slot nozzle 을 갖는 air bar 이다. Air bar 와 web 사이에 형성된 대략적으로 균일한 cushion pressure 때문에 이런 형태의 air bar 를 pressure-pad air bar 라고 부른다. 뜨거운 공기의 jet 은 web 의 non-contact support 와 건조 모두에 사용된다. 전형적으로, flotation oven 에서 web path 는 사인곡선의 형태를 나타내며 air bar 는 web path 와 같이 배열된다. 사인곡선의 깊이는 air bar 의 배열과 너비, 웹의 굽힘 강성, 그리고 웹 장력과 공급된 공기 압력과 같은 작동상태에 의존한다. [1, 2] 이 논문은 Ground-effect theories 를 검토하고 그 이론을 수치해석 결과와 비교한다. 또한 두 개의 슬롯 노즐을 가진 각각의 pressure-pad type air bars 의해 발생하는 공기역학적 힘에 대해 논의한다. web 에 대한 공기역학적 힘을 측정한 실험결과와 floatation height 의 효과에 대한 실험결과에 대하여 수치해석 결과와 비교하여 수치해석을 통해서 web 상에 적용되는 공기역학적 압력분포를 예측할 수 있음을 보여준다.

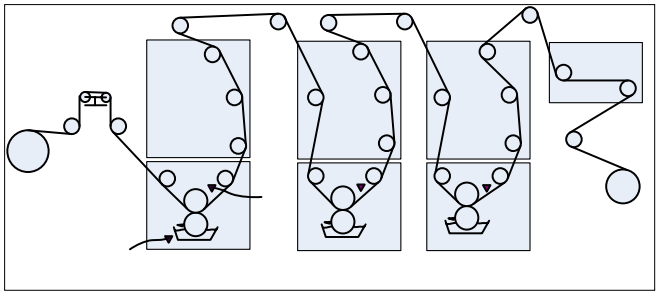

Fig. 1 Schematic of the printing system

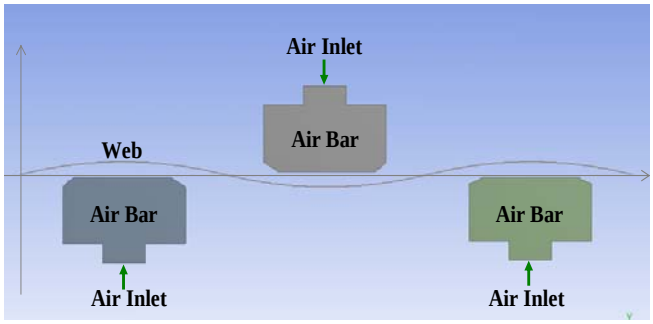

Fig. 2 Cross section of air bars and web in Air-flotation oven

2. Ground effect theories

이 논문에서는 hovercraft 의 설계를 위해 개발된 ground effect theories 를 pressure-pad type air bar 에 적용한 결과만을 인용하여 수치해석 결과와 비교한다. [1] Ground effect theory 에 대한 결과만을 나타내면 다음 (1), (2)와 같다.

$$\frac{p_c}{p_j} = \frac{2(1+\cos\theta)}{h/b+1+\cos\theta} \quad (1)$$

식. (1)은 Thin jet model의 경우에서, air jet의 total pressure와 cushion pressure의 비를 나타낸다. 여기서 P_j는 효과적인 total pressure, P_c는 cushion pressure, h는 flotation height(air jet 출구와 web 사이의 거리), Θ는 분출각도, 그리고 b는 air jet의 두께이다.

$$\frac{p_c}{p_j} = 1 - e^{-2(b/h)(1+\cos\theta)} \quad (2)$$

식. (2)는 Thick jet model 의 경우에서, air jet 의 total pressure 와 cushion pressure 의 비를 나타낸다.

3. 유한요소 모델

Fig. 3 은 전형적인 pressure-pad air bar 의 단면이다. Fig. 4 는 pressure-pad air bar 의 공기역학적 특성에 대한 유한 요소 모델을 나타낸다. 수치해석을 위해서 Fig. 3 을 Fig. 4 에서 볼 수 있듯이 모델을 단순화하였다.

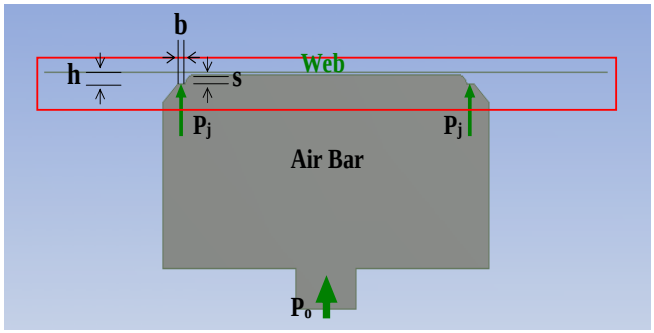

Fig. 3 Cross sectional view of a typical air bar

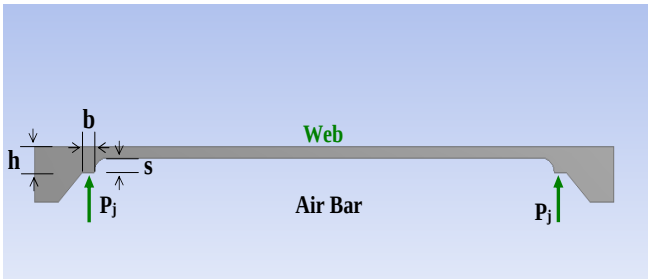

Fig. 4 The simple model for numerical analysis simulation

Air jet의 분출 각도는 90° 이며, 두 개의 slot nozzle사이

의 거리(w)는 127mm, air jet의 두께(b)는 3.3mm, 그리고 air bar의 top surface와 air jet 출구 사이의 수직거리(s)는 3.3mm 이다. 전체 domain type은 열 전달을 고려하지 않는 가정하에 25℃ fluid domain으로 설정하였다. Fig. 5 는 fluid domain을 mesh한 모습이다. Air bar의 inlet 경계조건으로 total pressure(P_j)가 slot nozzle의 출구에 적용된다. air bar의 표면과 web은 rigid stationary body로 가정한다. 나머지 경계조건은 대기압과 같은 조건으로 한다.

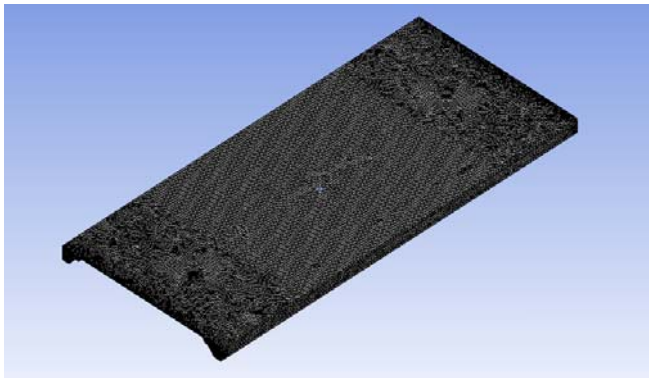

Fig. 5 The mesh of finite element model for pressure-pad air bar

4. 수치해석 결과

Fig. 6 은 세가지 경우의 flotation height과 total pressure에 대한 실험결과와 수치해석결과를 비교한 것이다. 또한 이 결과를 통해서 Ground effect theories와 수치해석 결과가 매우 유사함을 확인할 수 있다. 그리고 이 논문에서 수행한 수치해석 결과는 rigid stationary web상에 적용되는 공기역학적 압력분포를 예측할 수 있음을 보여준다. 그러나 실험적 결과가 수치해석 결과와 유사한 경향을 보이지만, cushion pressure에 대한 실험적 결과는 수치해석 결과와는 차이가 있음을 확인 할 수 있다. 주요 수치해석의 변수는 air jet 출구와 web 사이의 거리인 flotation height(h)과 slot nozzle 출구의 효과적인 total pressure(P_j)이다. Rigid web과 air bar의 top surface 사이에서, air jet 두 개의 stream에 의해 둘러 쌓인 영역에서의 air pressure는 거의 균일하다. 그리고 high peak pressure는 slot nozzle 근처에서 나타난다. Air bar와 web 사이의 air gap이 클 때 cushion pressure의 하강은 high peak pressure에 인접한 위치에서 관찰된다. 이 압력강하는 jet flow의 주요 흐름이 가압된 영역에서 강한 vortex를 일으킨다는 것을 암시한다. Flotation height이 클수록 high peak pressure가 명확히 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

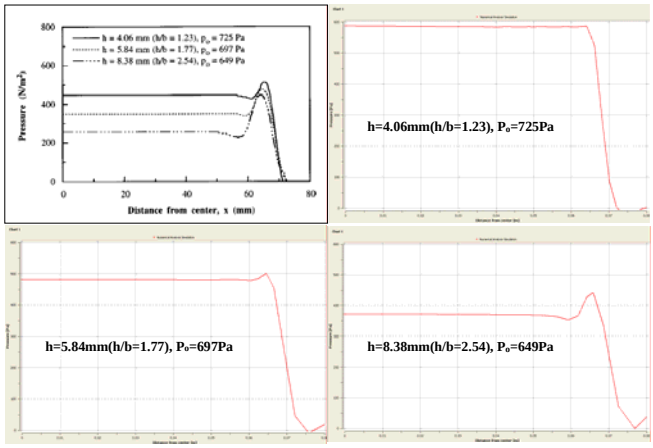

Fig. 6 Comparison of experiments and numerical analysis for effects of flotation height on pressure distribution for air bar

5. 결론

이 논문에서는 Air jet 의 분출 각도를 90° 로 고정하였을 때, Pressure-pad air bar 의 공기역학적 특성은 air jet 의 두께, Flotation height, air jet 의 효과적인 total pressure 에 의해 결정된다. 이들 변수들을 적절하게 정의함으로써 air bar 에 의해서 뜨는 web 상의 공기역학적 힘을 예상할 수 있다. 제안된 유한요소 모델은 실험과 수치해석 결과와 유사한 경향을 나타내며, cushion pressure 의 결과에 있어서는 실험 결과보다 수치해석 결과가 ground effect theories 와 더 정확하게 일치하고 있음을 발견할 수 있다. 비록 이 수치해석이 rigid 이고 stationary web 으로 제한적이라 할 지라도, 그 결과는 air bars 의 공기역학적 특성과 air-floated web 의 거동을 이해하는데 도움을 준다.

후기

본 논문은 “서울시 산학연 협력사업”과 “BK21 ST-IT 융합공학인력 양성사업단”의 지원하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. Chang, Y. B. and Moretti, P. M., “Aerodynamic characteristic of Pressure-Pad Air Bars.” ASME AD-Vol. 53-2, The fourth international symposium on fluid-structure interaction, Aero-elasticity, Flow-Induced Vibration & Noise, ASME, New York, AD-Vol. pp.3-9, 1997
2. 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, ASME, New York, NCA-Vol. 26, pp. 435-443, 1999