

가호기 건조 시스템에서 수치적 유동해석

(Numerical Analysis of the Flow in the Drying Chamber of a Sizing Machine)

이진호(영남대 대학원), 김수연(영남대), 사종엽(영남대), 배철호(영남대)

J.H. Lee, S.Y. Kim, J.Y. Sah, C.H. Bai (School of Mechanical Engineering, Yeungnam University)

Keywords : drying chamber(건조실), sizing machine(가호기), flow distribution(유동분포)

ABSTRACT : In the present paper, the flow distribution in the hot air drying chamber of a sizing machine was numerically analyzed with respect to the geometries of the intake duct to obtain the more uniform flow distribution in the chamber. The result shows that the velocity distribution in the inlet of the chamber was significantly dependent on the the geometry of the intake duct. The degree of the non-uniformity in the chamber was reduced as the incident angle of the intake duct became to be smaller.

1. 서 론

섬유산업은 생산공정이 세분화되어 있는 산업이며, 또한 공정별로 분리가 되어 있기 때문에 하나의 공정의 낙후가 전체 섬유제품의 품질에 미치는 영향이 큰 특성을 가지고 있다. 직물제조공정은 제직준비공정과 제직공정으로 나누어 볼 수 있는데 제직준비공정은 제직에 적절하도록 실을 가공하는 공정이며, 제직공정은 적절히 가공된 실을 직기에서 제직하여 직물로 만드는 공정이다. 제직준비공정 및 제직공정은 원료생산과 제품생산의 중간단계로서 섬유제품의 품질 및 생산성에 결정적인 영향을 미친다. 제직준비공정으로는 연사, 정경, 비밍, 통경, 연경 그리고 가호(Sizing)공정등이 있다. 이들 제직준비공정은 제직공정에서 제직성과 제직후의 품질에 결정적인 영향을 미치며, 제직공정에서 처럼 제직준비공정 역시 생산성향상 및 고효율화를 달성하기 위하여 고속화, 자동화 그리고 대형패키지(Package)화 추세로 가고 있다. 고속화 및 자동화하기 위한 제직준비공정의 핵심기술은 장력제어 기술과 함께 건조기술이다. 이 건조와 관련한 공정 중 대표적인 것이 가호공정이다.

가호공정은 크게 가호과정과 건조과정으로 구성되어 있으며, 실의 제직성을 높이기 위하여 실의 표면에 풀을 입히고 건조하여 가공처리하는 공정이다. 가호사의 품질은 호제의 부착두께와 건조정도에 크게 의존하여, 건조과정은 열풍(hot air flow)에 의한 비접촉건조와 고온 롤러(hot roller)에 의한 접촉건조로 이루어진다. 특히 열풍에 의한 비접촉건조가 이루어지는 건조실의 설계는 가호사의 품질, 가호기의 성능, 가호기의 생산성 및 가격에 결정적인 영향을 미치는 요인이다. 열풍에 의한 가호사의 건조상태는 건조시스템 내의 공기유동의 속도 및 온도분포, 습도분포, 유출입공기의 유량, 온도, 습도, 그리고 유입되는 실의 속도, 호제 및 호제의 농도 등에 의하여 결정된다.

건조과정에서 핵심기술은 균일 건조기술이며, 직포의 품질을 크게 좌우한다. 가호사의 균일 건조에 직접적인 영향을 미치는 것은 건조실내에서 공기유동의 속도분포 및 온도분포이다. 특히 유동방향에 수직한 유로단면에서 속도 및 온도가 균일한 분포를 가질 때 이상적인 균일 건조상태를 기대할 수 있다. 그러나 실제 건조실의 경우 벽면의 영향으로 임의의 유로단면에서 유동은 속도 및 온도의 분포를 가지게 되고, 그 단면에서 중심부분에 위치한 실과 벽면부분에 위치한 실은 서로 다른 속도 및 온도 조건하에서 건조되게 된다. 하

지만 이러한 속도 및 온도분포의 불균일한 정도는 건조실의 적절한 기하학적 형상 및 입출구 조건 등으로 완화될 수 있다.

그러므로 건조 시스템에서 보다 균일한 건조상태를 얻기 위해서는 실제 건조시스템의 유동분포에 대한 연구가 무엇보다도 선행되어야 한다. 본 연구에서는 건조실의 유동을 수치적으로 해석하여 속도분포 및 유동 특성을 살펴 보고자 한다. 여기서 건조실의 기하학적 형상과 함께 송풍기에서 나온 열풍이 건조실로 들어가는 흡입덕트의 회전부(curved duct)형상과 건조실로 유입되는 공기의 입사각이 속도분포에 크게 영향을 미치는 변수가 된다. 본 연구는 균일건조를 위한 기본적인 설계자료의 확보와 가호기의 최적설계를 위한 자료의 확보를 위해 수행되었으며, 향후 3차원 유동장해석과 함께 다양한 운전조건 및 설계조건에 대한 연구도 수행될 예정이다.

2. 건조실의 모델링 및 수치해석

Fig.1은 가호기의 열풍 건조실(hot air drying chamber)의 2차원 개략도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 흡입덕트가 건조실에 연결되어 있으며, 송풍기에서 나온 고온의 유입공기는 흡입덕트를 지나 입사각 θ 로 건조실로 흘러들어 간다. 건조실내의 속도분포는 건조실의 형상비(폭과 높이의 비), 흡입덕트의 형상 및 유입공기의 입사각, 그리고 입구조건 등에 의존하는 데, 이들 변수 중에서 특히 영향을 많이 미치는 인자는 흡입덕트를 통하여 건조실로 유입되는 공기의 입사각이다. 실제 건조실 및 회전부에서의 속도는 3차원적 분포를 가지고 있지만, 본 연구에서는 건조실을 2차원 유동장으로 해석하고, 흡입덕트를 지나 건조실로 유입되는 공기로 인하여 발생하는 유동장의 특징 및 경향을 중점적으로 살펴 보고자 한다. 즉, 흡입덕트를 지나 건조실로 유입되는 공기의 입사각은 건조실 내의 높이 방향으로의 유동분포를 지배하는 주된 인자이고, 또한 건조실의 폭이 높이에 비하여 상당히 크므로 2차원 유동장 해석으로도 유동 특성 및 분포의 경향을 살펴볼 수 있을 것이다.

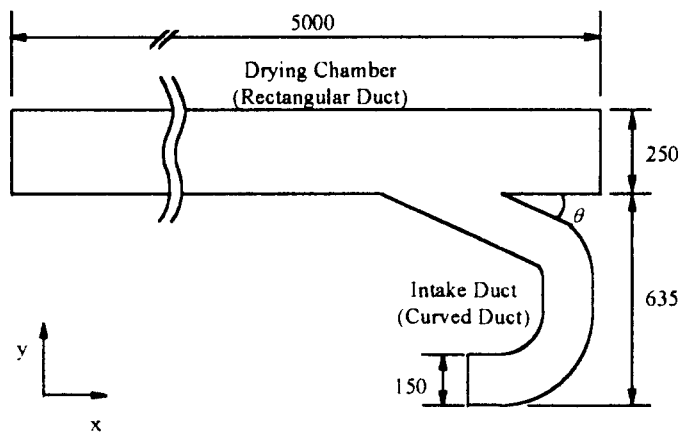


Fig1. Computational geometry of a hot air drying chamber

건조실의 유동을 2차원, 정상상태, 난류로 보면 지배방정식은 다음과 같다.

$$(\rho u_j)_{,j} = 0 \quad (1)$$

$$(\rho u_j u_{i,j}) = -p_{,i} + \rho g_i + \left[\mu_0 (u_{i,j} + u_{j,i}) - \overline{\rho u_i u_j} \right]_{,j} \quad (2)$$

여기서 난류응력항을 구하기 위해 Boussinesq eddy-viscosity concept 을 사용하면 식(2)는 다음과 같이 된다

$$(\rho u_j u_{i,j}) = -p_{,i} + \rho g_i + \left[\mu (u_{i,j} + u_{j,i}) \right]_{,j} \quad (3)$$

여기서 $\mu = \mu_0 + \mu_t$ 이다. 흡입덕트 입구조건은 균일한 속도분포로 가정하였으며, 건조실로 유입되는 공기의 입사각 θ 는 세가지 경우에 대하여 살펴 보았다 Fig 1 과 같은 건조실의 유동장을 수치적으로 해석하기 위한 계산격자는 Fig 2 와 같으며, 수치계산은 FIDAP code(a finite element code by International Fluid Dynamics, Evanston, IL, U.S.A.)를 이용하여 수행하였다. 계산격자는 Fig.2 에서 보듯이 불균일 격자(non-uniform grid)로 배열하였으며, 속도변화가 심한 벽면부와 흡입덕트와 건조실의 연결부에 많은 격자를 배열하였다. 수렴조건으로써 모든 계산점에서 매 iteration 마다 전단계에 대한 속도상대오차와 상대잔류오차 모두가 2%이내일 때 수렴한 것으로 하였다

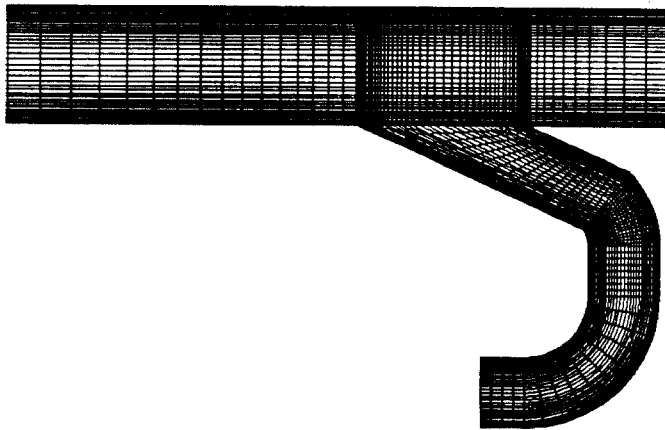


Fig.2 Configuration of the grid arrangement

3. 계산결과 및 해석

흡입덕트 입구조건은 균일한 속도분포로 속도는 1.11 m/sec 이며, 건조실로 유입되는 공기의 입사각 θ 는 $15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$ 인 경우에 대하여 속도분포 및 유동특성을 살펴 보았다.

건조실로 유입되는 공기의 입사각에 따른 속도분포는 Fig.3 에서 보는 바와 같다. 그림에서 보듯이 건조실의 흡입부 부근에서 심한 불균일한 속도분포로 상부쪽으로 치우친 유동을 보여주며, 하류로 이동함에 따라 점점 균일한 속도분포를 이루게 된다. 전체적으로 볼 때 입사각이 작은 경우가 큰 경우에 비하여 보다 빨리 균일한 속도분포에 도달하고 있다. 그러므로 건조시스템의 설계시 건조실로 유입되는 공기의 입사각은 보다 작은 값으로 하되, 제작과 관련된 문제 등을 고려하여 적절한 범위내에서 작은 값으로 하여야 할 것이다. 또한 이러한 속도분포로부터 건조실에서 불균일한 건조를 초래하는 주된 요인은 흡입덕트를

지나서 건조실로 유입되는 공기의 유동이 흡입부 부근에서 심한 불균일한 속도분포를 갖는데 있음을 알 수 있고, 이를 적극적으로 해결하기 위해서는 흡입덕트에서 적절한 입사각의 선택과 함께 건조실의 높이 방향으로의 유동분포를 균일하게 하는 안내깃과 폭 방향으로의 유동분포를 균일하게 하는 안내깃이 요구됨을 알 수 있다.

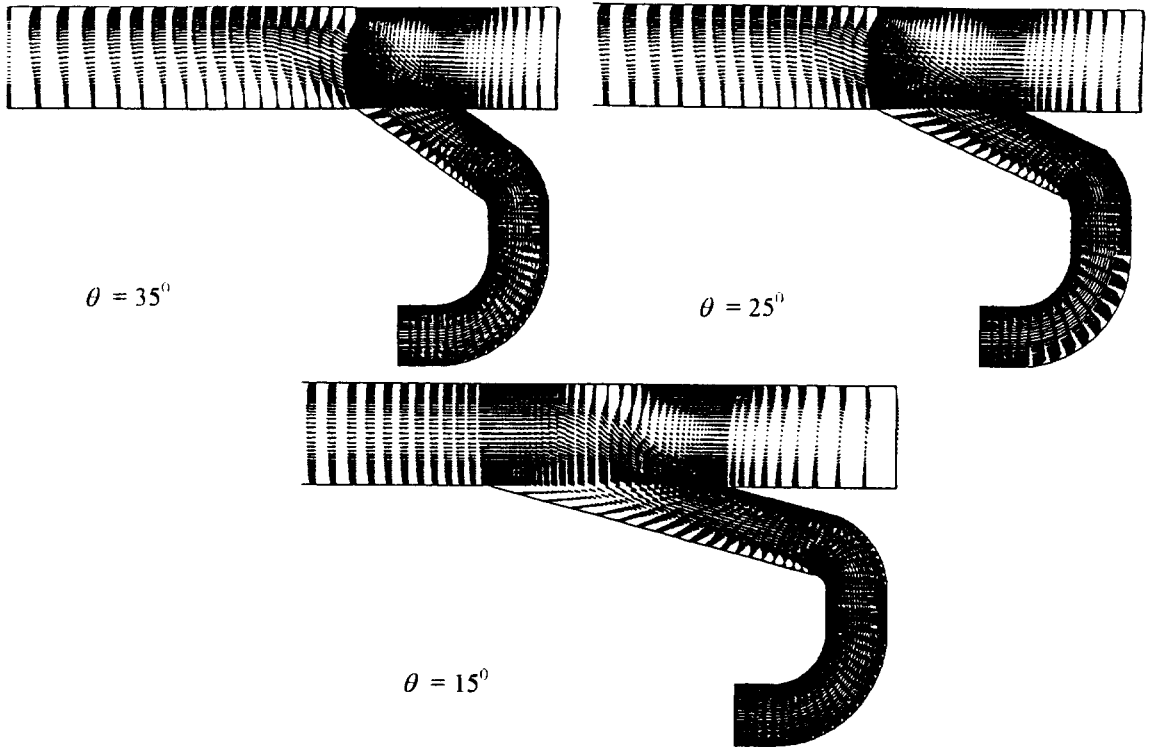


Fig.3 Velocity profile in the drying chamber

그리고 세가지의 입사각에 대한 속도분포의 불균일한 정도를 보다 구체적으로 살펴보기 위하여 건조실의 오른쪽 끝으로 부터 일정한 거리에 위치한 단면에서 속도분포를 살펴 보면 Fig.4 와 같으며, 그림에서 보듯이 입사각이 큰 경우가 보다 불균일한 속도분포를 보여주고 있다.

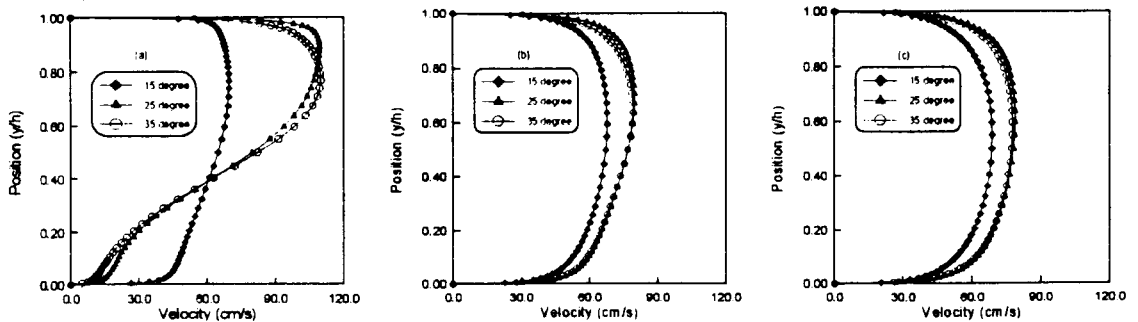


Fig.4 Velocity distributions at (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m from the right end of the drying chamber.

한편 Fig.3 에서 보듯이 건조실의 흡입부의 상부에서 박리점(separation point)이 존재하고, 박리점의 오른 쪽 영역에 circulation 이 존재함을 알 수 있으며, 이는 유선(streamline)을 보여주는 Fig.5 에서 확인할 수 있다. 건조실 상부벽에 존재하는 박리점은 입사각이 클수록 하류 쪽에 위치하고 있음을 알 수 있고, 이로 부터 박리점을 건조실의 오른 쪽 끝으로 보다 이동시키기 위해서는 작은 입사각이 유리함을 알 수 있다.

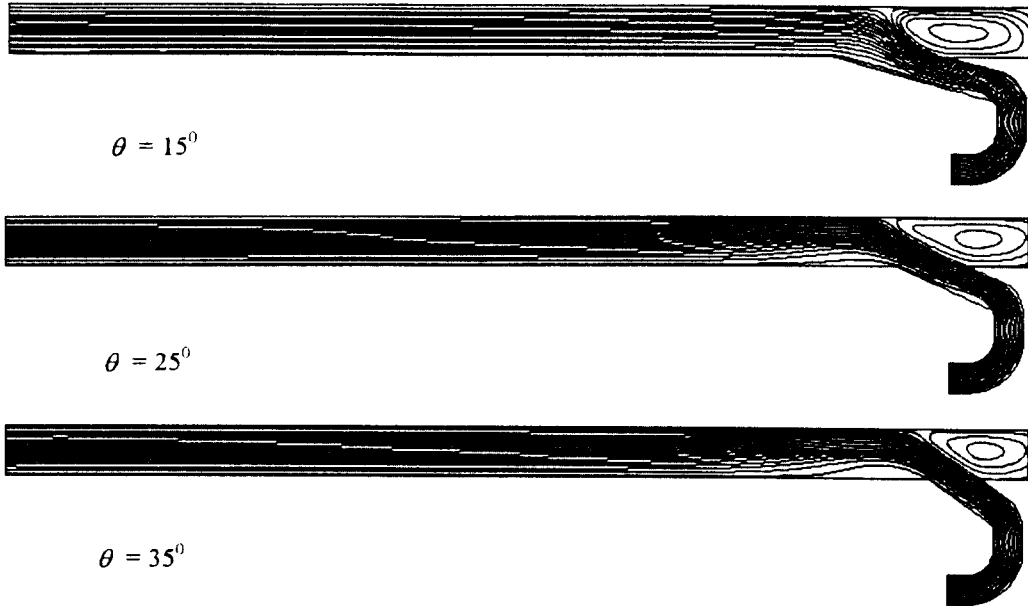


Fig.5 Streamlines in the drying chamber

4. 결 론

본 연구에서는 가호기 건조실의 유동을 건조실로 유입되는 공기의 입사각을 변수로 하여 수치적으로 해석하여 유동 특성을 살펴 보았다. 건조실에서 불균일한 건조를 초래하는 주된요인은 흡입덕트를 지나서 건조실로 유입되는 공기의 유동이 흡입부 부근에서 심한 불균일한 속도분포를 갖는데 있음을 알 수 있고, 이를 해결하기 위해서는 적절한 입사각의 선택과 함께 유동분포를 균일하게 하는 안내깃(air guide)의 채용과 같은 적극적인 방안이 필요한 것으로 보인다.

본 연구는 균일건조를 위한 기본적인 설계자료의 확보와 가호기의 최적설계를 위한 자료의 확보를 위한 3 차원 유동장 해석과 함께 다양한 운전조건 및 설계조건에 대한 연구의 수행이 필요하다.

감사의 글

본 논문은 1996 년 한국학술진흥재단의 대학부설 연구소(우수 연구소) 연구비 지원에 의

하여 연구되었으며, 이에 저자는 감사드립니다.

참고문헌

1. P.K. Hari and A. Tewary. 1985, "Role of Moisture in the Performance of the Sized Yarn," Text. Res. J., 55, 567-571
2. P.K. Hari, B.K. Behera, J. Prakash and K. Dhawan, 1991, "High Pressure Squeezing in Sizing : Performance of the Cotton Yarn," Text. Res. J., 59, 597-600
3. H.L. Friedman, B. Miller, S. Kepka and J.P. Morcau, 1989, "Abrasion Studies of Sized Cotton Yarns Before and After Weaving," Text. Res. J., 59, 622-629
4. "가호기술", 한국섬유기술연구소
5. "사가공 공정기술", 영남대학교 지역협력연구센터(1996)
6. "사이징 공정기술", 영남대학교 지역협력연구센터(1996)
7. 김승진, 장용현, 1995, "국내 섬유기계산업의 현황 및 전망," 대한기계학회지, 35 권, 1 호, pp.4-25
8. 김주석, 한지석, 1995, "사이징의 건조시스템," 대한기계학회지, 35 권, 1 호, pp.26-35.
9. P.M. Gerhart, R.J. Gross and J.I. Hochstein, 1992, "Fundamentals of Fluid Mechanics," 2nd edition, Addison-Wesley
10. C. Arakawa, 1994, "Computational Fluid Dynamics for Engineering," Hanmi
11. M.M. Seltsam, 1995, " Experimental and Theoretical Study of Wide-Angle Diffuser Flow with Screens," AIAA J., Vol. 33, No. 11, pp.2092-2100
12. B.R. Shin, S.Y. Yoo, 1995, "Numerical Investigation of Laminar Flow in Curved Duct of Square Cross-Section with 90⁰ Bend," First Asian CFD Conference. Paper 5B3. pp.647-652
13. D. Kwak, J.L. Chang, S.P. Shanks and S.R. Chakravarthy, 1986, "A Three-Dimensional Incompressible Navier-Stokes Flow Solver Using Primitive Variables," AIAA J., Vol. 24, pp.390-396
14. K.A. Hoffmann and S.T. Chiang, 1989, "Computational Fluid Dynamics for Engineers," Vol. I,II, ISBN
15. 김영목, 오승협, 1996, "경사각을 갖는 분사오리피스류의 층류 유동특성 예측에 관한 연구," 대한기계학회 춘계학술대회논문집, Vol. B, pp.574-579
16. Engelman, M.s., 1987, "FIDAP Manual," Fluid Dynamics International, Evanston, IL