

고압기류 Relaxer의 노즐 유동에 관한 수치 해석적 연구

박시우·조경철·이호준·노석홍·나혜중*·전두환**

(재)한국섬유기계연구소, *영남대학교 대학원, **영남대학교 섬유패션학부

1. 서 론

최근 신합섬 직물의 개발로 이를 처리하기 위한 가공기의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 고압기류 Relaxer는 Rotary washer를 대체하는 신합섬 직물의 가공기로서 고압기류를 이용한 노즐유동을 통해 포를 이송시켜 relaxing 효과를 구현시키는 가공시스템이다. 기류 Relaxer의 핵심부품은 포를 이송시키는 주 노즐이며 전체시스템의 효율향상을 위해서는 노즐유동의 특성파악을 통한 노즐의 최적설계가 선행되어야 한다. 최근, 섬유기계 분야에서 노즐유동은 무복직기의 주노즐 및 서브노즐, 산자용 섬유 제조용 이젝터, 합사노즐, 방사노즐 등에 대하여 활발한 연구가 수행중이다. 본 연구에서는 Relaxer의 노즐시스템(nozzle system)을 상용코드인 Fluent를 이용하여 수치모사를 통해 유동특성을 파악하고자 한다. 노즐 시스템에서 유도관의 기하학적 형상 변화와 운전 조건의 변화에 따른 노즐시스템 내부의 마하수 분포, 전압분포, 질량유량과의 관계를 살펴보고 노즐시스템의 중요한 역할인 포의 이송력과 상관관계를 살펴보기 위하여 축방향 전단력을 계산하여 각각의 기하학적 조건과 운전조건의 변화에 따른 결과를 비교하였다.

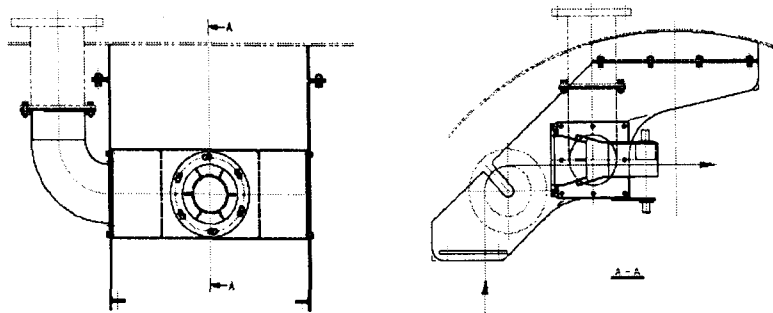


Fig. 1. Schematic diagram of the Nozzle system in Air-Relaxer.

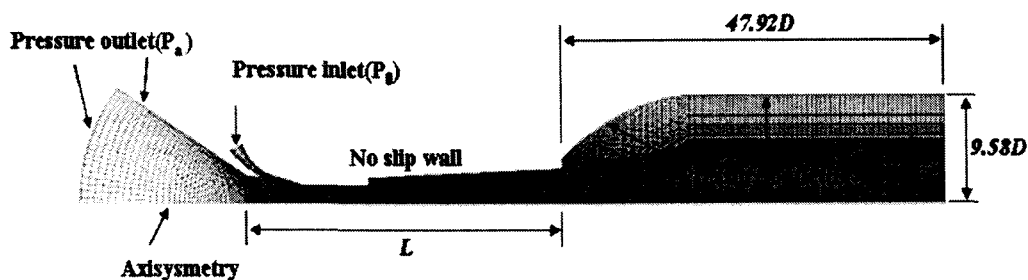


Fig. 2. Computational grid system and boundary conditions

2. 수치 계산

본 연구에서는 유도관을 가지는 기류 Relaxer 에서 유도관을 가지는 노즐 내부 유동을 수치적으로 모사하기 위하여, Standard k-ε 난류 모델을 사용하는 축대칭 압축성 Navier-Stokes 방정식에 유한체적법을 적용하였다. 지배방정식들은 대류항에 대해서는 2차 upwind scheme, 시간항은 multi-stage Runge-Kutta scheme을 적용하여 이산화 하였다.

Fig. 1은 본 수치계산에 사용된 Relaxer의 노즐시스템의 개략도를 나타내었다. Relaxer 노즐시스템은 유입부, 주유동을 분출시키는 노즐부, 유도관으로 구성되며, 유동은 유입부로 유입되어 주유동과 혼합하여 유도관 출구로 흘러간다. 노즐시스템의 기하학적 형상은 노즐시스템의 총길이 L, 입구직경 D, 그리고 출구직경 De로 각각 정의하였으며, L=943mm, D=164mm, Le=114mm이다. Fig. 2는 본 수치계산에 적용된 격자계와 경계조건을 나타내었다. 격자는 사각정렬격자로 격자수는 대략 5만개 정도이며, 해의 정확도를 높이기 위해 노즐 목 출구 근처 부분, 유도관 벽면부분에 격자를 집중시켰다. 계산영역은 노즐시스템 내부영역과 외부영역으로 구성되며, 외부 영역은 가로 47.92D이고 세로는 9.58D이다. 노즐시스템 벽면은 단열 no-slip 조건으로 하였다. 주유동 유입조건은 전압(P₀)과 전온도(T₀)를 적용하였으며, 주유동의 전압(P₀)을 배압(P_b)으로 무차원화한 값을 노즐압력비(NPR)라 정의하고 1.222에서 1.666까지 변화시켰다. 전온도(T₀)는 393.2K로 가정하였다. 수렴해의 판정을 위해서 질량, 운동량, 에너지, k, ε 과 ω의 잔차(residual)가 1×10⁻⁵이하이고, 주유동과 유입부로 유입되는 질량유량을 유도관의 출구 질량유량과 비교하여 질량유량의 차가 0.1%이하로 되는 조건을 수치 해가 수렴하였다고 판정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 확대각 5°, NPR=1.666 인 경우 Relaxer 노즐 시스템의 속도 분포를 나타낸 그림이다. 노즐목에서 나온 주유동은 일정단면유로 시작 지점에서 가속과 감속을 통해 유도관 벽면을 따라 흐르며, 흡입된 유동과 확대관 하류부근에서 혼합되어 확대관 출구에서 분출된다.

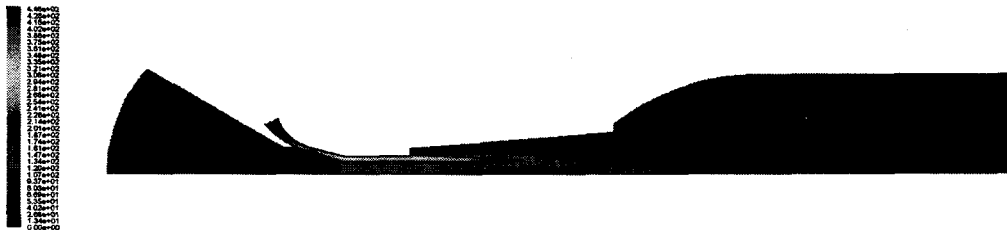


Fig. 3. Diagram of velocity contour in nozzle system at diffuser angle 5°, NPR=1.666.

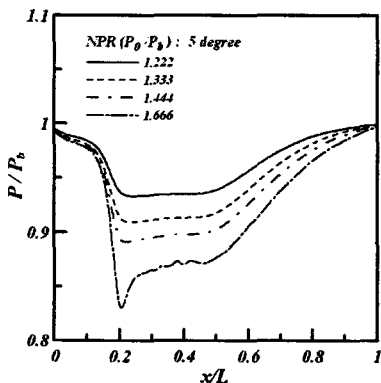


Fig. 4. Static pressure distributions along x axis.

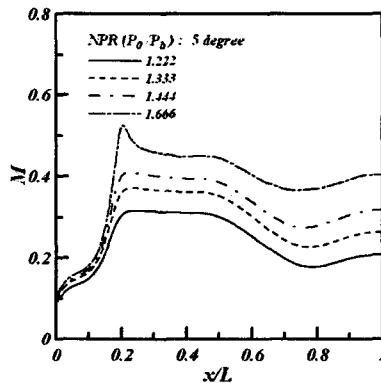


Fig. 5. Mach number distributions along x axis.

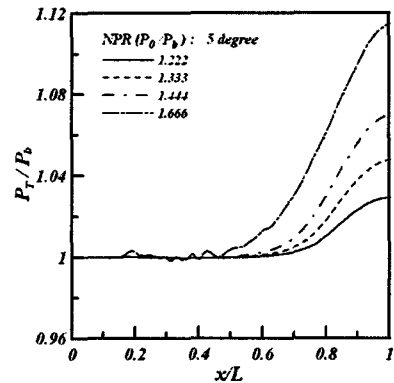


Fig. 6. Total pressure distributions along x axis.

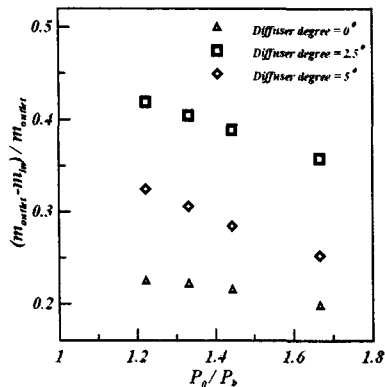


Fig. 7. Mass flow rate entrained through needle inlet.

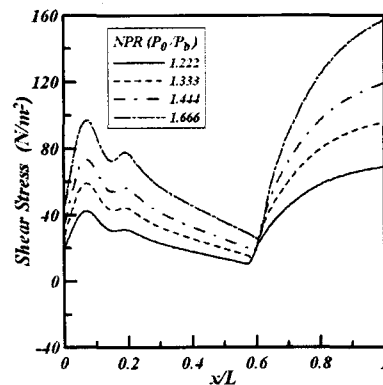


Fig. 8. Shear stress distributions along x axis.

Fig. 4는 NPR 변화에 따른 중심축을 따르는 정압분포를 나타내었다. 그림에서 황축은 축방향 거리를 노즐 시스템의 총길이로 무차원한 값을 나타내었다. NPR 변화에 따른 정압분포는 정성적으로 유사하며 유입부로 흡입된 유동은 유효단면적의 축소로 인해 유동이 가속하여 $x/L=0.2$ 에서 정압이 최소가 되며 $x/L=0.6$ 이후부터 주유동과 운동량 교환이 시작되어 배압으로 압력이 회복됨을 볼 수 있다. 보다 상세하게 유동구조를 살펴 보기 위하여 Fig. 5는 축방향의 마하수 분포를 나타내었다. NPR=1.666인 경우 유입부로 유입된 유동이 가속되어 $x/L=0.2$ 지점에서 최대 마하수 0.5가 되며, $x/L=0.75$ 부분에서 주유동과의 혼합으로 마하수가 증가됨을 알 수 있다. Fig. 6은 전압손실을 살펴보기 위하여 축방향 전압분포를 나타내었다. NPR가 증가할수록 유입유동과 주유동의 운동량교환이 출구로부터 상류지점으로 이동함을 볼 수 있으며, 압력비가 증가할수록 주유동에 대한 유동손실이 커짐을 볼 수 있다. Fig. 7은 NPR 변화에 대한 주유동에 의해 유입부로 혼입되는 질량유량을 나타 내고 있다. 압력비가 증가 됨에 따라 흡입유량비가 감소함을 알 수 있으며, 유도관의 확대각이 0°일때는 압력 비 변화에 따른 흡입유량비의 변화가 적으며, NPR가 일정할 경우 확대각이 2.5°에서 최대 흡입유량이 발생한다. Fig. 8은 포의 이동력과의 상관관계를 살펴보기 위하여 축방향 전단력을 모사하기 위하여 2차원 유동으로 해석하였다. NPR가 증가함에 따라 전단력은 증가하며, 주유동과 혼합되는 $x/L=0.6$ 이상에서 급격히 커짐을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 유도관을 가지는 Relaxer Nozzle 시스템에서 확대되는 유도관의 각도와 노즐 압력비의 변화가 관 내부 유동에 미치는 영향을 모사하기 위하여 수치계산을 수행하였으며, 이에 따른 결과는 다음과 같다.

1. 확대각이 5° 경우 $x/L=0.2$ 영역에서 마하수가 최대가 되며, $x/L=0.6$ 이후부터 주유동과의 운동량교환으로 인해 마하수가 증가하였다.
2. 유도관의 확대각이 0°일때는 압력비 변화에 따른 흡입유량비의 변화가 적으며, NPR가 일정할 경우 확대각이 2.5°에서 최대 흡입유량이 발생하였다.
3. NPR가 증가함에 따라 전단력은 증가하며, 주유동과 혼합되는 $x/L=0.6$ 이상에서 급격히 증가하였다.

감사의 글

이 연구는 지역산업기술개발사업 중 공통기술개발사업비의 지원(과제번호 10027579)으로 행해진 연구입니다.

참고문헌

1. KOTMI, 2003, "High Performance Shuttleless Loom System Development"
2. Kim, K. H., Kim, Y. S. and Kim, S. J., 1998, "A Study on the Analysis and Design of Air Flow Behavior in the Nozzle of Air Jet Loom(III)- Natural Suction of the Double Coaxial Jets," Jour. of the Korean Fiber Society, Vol. 35, No. 4, pp. 249-256.
3. Oho, C. S., Song, D. J., Kim, S. J., Kim, K. H. and Park, I. D., 1996, "A Study on the Analysis and Design of Air Flow Behaviors in the Nozzle of Air Jet Loom(II)-Numerical Analysis of Transonic Flow in a Main a Nozzle," Journal of the Korean Fiber Society, Vol. 33, No. 11, pp. 929-938.
4. Lim, C. M., Lee, K. H. and Kim, H. D., 2005, "The Study of The Gas Flow through a Texturing Nozzle", Proceedings of KSME Fall Meeting, pp.2163-2168.