

고효율 사 염색을 위한 유동균일화에 관한 연구

김용대, 노석홍, 김희동*, 전두환
 (재)한국섬유기계연구소, *안동대학교 기계공학과

The Study of Improving Flow Uniformity for Highly Efficient Yarn Dyeing

Yong-Dae Kim, Seok-Hong Noh, Heuy-Dong Kim* and Du-Hwan Chun

Korean Textile Machinery Research Institute

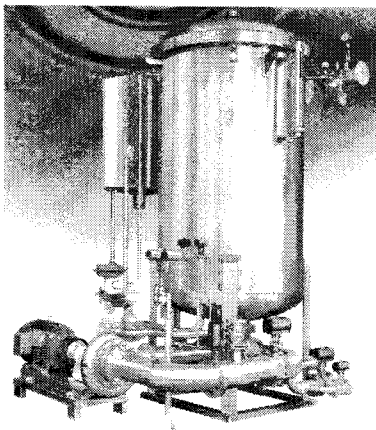
**School of Mechanical Engineering, Andong National University*

1. 서 론

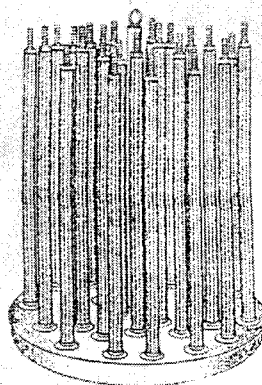
일반적으로 사염색에서 패키지 염색으로 많이 이용되는 치즈 염색법은, 실을 스펀들이라는 다공성 튜브에 치즈상태로 비교적 딱딱하게 감아 사층의 내부로 염액을 순환시켜 염색하는 방법이며, 기존에 주로 쓰이고 있는 형태는 Fig. 1과 같다. Fig. 1(a)는 일반적인 치즈 염색기, (b)와 (c)는 각각 염색조 내부의 스펀들과 캐리어 형태 및 내부 유동을 나타낸 것이다. (c)의 내부 유동형태에서 보는 바와 같이 스펀들의 입구에서 수직방향으로 멀어질수록 유동의 속도와 압력이 변화하기 때문에 수직 위치에 따라 스펀들 구멍에서 분출되는 유속이 균일하지 않다. 그로 인하여 모든 스펀들 위치에서 균일한 염색을 이루기 어렵다는 단점이 있다.

균염을 얻기 위해서는 일반적으로 염료의 분산성 및 확산성이 우수할 것, 초기 염착속도가 적을 것, 염액의 유량이 클 것, 치즈의 사층이 적을 것, 염색시간이 길 것 등과 같은 조건들이 요구된다. 이러한 문제점들은 대부분 염색액의 불균일 분사 및 압력의 불균일 분포에 의해 발생하는 것으로 유동의 균일성을 향상시킴으로써 많은 문제를 개선할 수 있다. 특히 캐리어로부터 다중 스펀들로 공급되는 유량 및 스펀들에서 치즈로 공급되는 유량들을 균일하게 만드는 것은 사 염색기의 개발에 핵심적인 기술이다. 그러나 아직 이러한 문제에 대한 체계적인 연구가 거의 이루어져 있지 않은 실정이다.

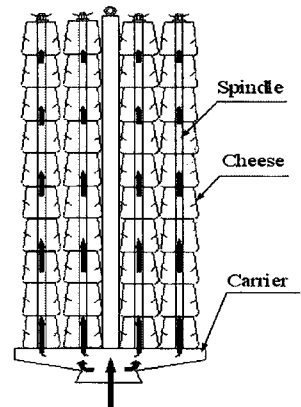
본 연구에서는 치즈 염색기의 균염성을 향상시키기 위하여 스펀들 형상, 입구 압력, 타공 구멍의 크기, 다공도 등의 인자들과 유동과의 관계를 규명하고, 유동을 균일하게 분출 / 흡입 할 수 있는 스펀들 형상을 개발하고자한다. 유동 해석을 통하여 기존 스펀들 유동을 분석하고 유량의 불균일화를 야



(a) Cheese dyeing machine



(b) Spindle and carrier



(c) Flow in spindle & carrier

Fig. 1 Traditional cheese package yarn dyeing machine

기하는 인자들을 파악하였고, 불균일성을 개선할 수 있는 새로운 스피들 형상을 제안하여 그 성능을 분석하였다. 유동 해석을 통해 예측된 결과는 염액가시화를 위해 개발/제작된 가시화 장치를 통하여 검증하였다. 가시화 장치에 설치된 잉크 가시화 장치와 전자식 유속계를 이용하여 각 스피들 형상에 대한 정성적, 정량적 결과를 통하여 스피들 유동의 해석 방법과 제안된 스피들의 성능을 검증하였다.

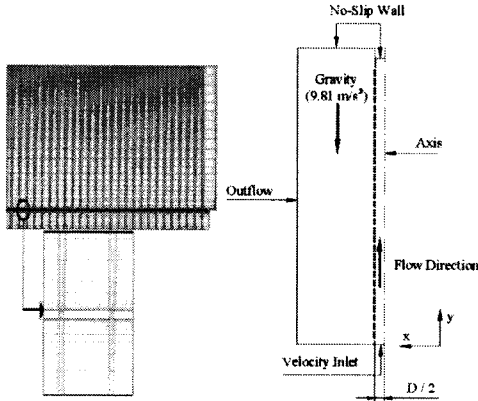


Fig. 2 Boundary conditions & grid system

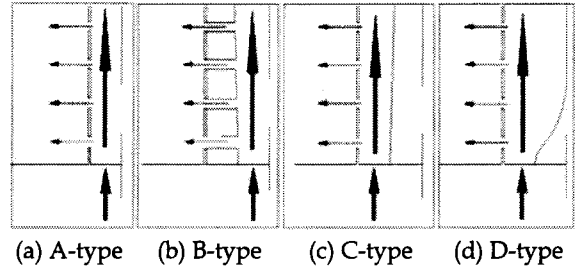


Fig. 3 Geometry of proposed spindles

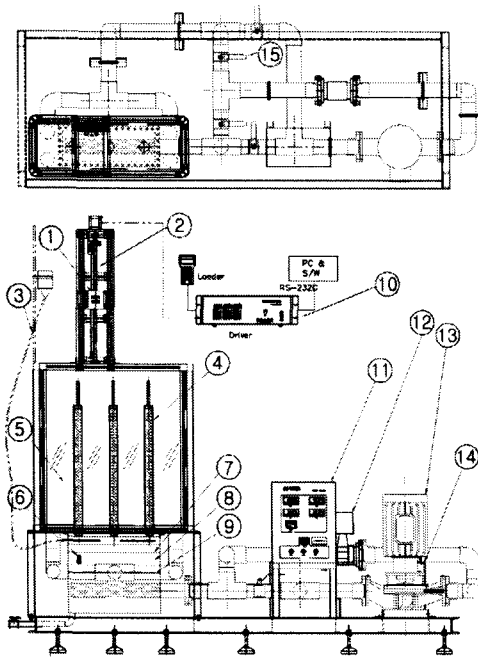
2. 연구 방법

2.1. 수치해석 방법

본 연구에서는 사염색 기술 중 하나인 치즈염색법에서 효율적인 염색 기술 개발을 위하여, 스피들을 통한 염액의 유동장을 수치적으로 모사하였다. 수치계산에는 비압축성, Navier-Stokes 방정식에 유한체적법을 적용하였으며, 난류 유동장을 적절하게 모사하기 위하여 표준 k-ε 난류모델을 적용하였으며, 모델의 단순화를 위하여 2차원 축대칭 모델을 해석하였다. 본 연구에 적용된 계산영역과 경계조건 및 격자계는 Fig. 2 에 나타내었다. 스피들 벽면 및 스피들 외부 상/하부의 경계조건으로는 no-slip 벽조건을 적용하였으며, 나머지 외부 영역에는 outflow 조건을 적용하였다. Fig. 3은 기본 형태의 스피들 형상 및 유동 균일화를 위해 제안한 스피들 모델들이다. (a)는 기본 형상, (b)는 스피들 벽면을 확대시킨 형태이며, (c)는 스피들 내부에 콘(cone) 과 같은 형태의 삽입물을 통하여 단면적을 변화시킨 형태이다. 마지막으로 (d)의 형태는 스피들 입구 근처에 유로를 급격히 확대시키기 위하여, 스피들 내부에 곡률을 가지는 콘을 삽입한 것이다. 본 연구에서는 상기와 같은 4 가지 형태의 스피들 형상에 대하여, 스피들 내부 유동장 및 다공벽을 통한 유입/유출 유량 분포 형태를 조사하였다.

2.2. 실험 장치 및 방법

Fig. 4는 본 연구를 위해 개발된 평가 장치의 개략도, 구성품, 장비 내역을 나타낸 것이다. 평가 장치는 염액을 순환시키는 펌프, 순환되는 염액의 전체 유량을 측정하기 위한 전자식 유량계, 염액의 순환 방향을 스피들 토출식(In-to-out)과 스피들 흡입식(Out-to-in)으로 변환해 주는 순환 밸브 및 판로들로 이루어진 순환 장치와 캐리어 탱크, 유동의 맥동을 제어하여 유량을 안정시켜 주는 정류용 메쉬, 타공판, 그리고 캐리어 탱크 내부 스피들 입구 압력을 측정하는 압력계, 캐리어 탱크, 가시화 수조와 스피들로 이루어진 염액 가시화부, 가시화 잉크를 공급하는 공급 탱크, 스피들 입구부에 가시화 잉크를 분출하는 노즐, 노즐과 잉크 공급 탱크를 연결하는 연결관으로 이루어진 가시화 장치, 스피들의 분출 및 흡입 유속을 측정하기 위한 전자식 / 프로펠러식 유속계, 유속계를 스피들의 축 방향으로 이송하는 센서 이송장치, PC를 통해 센서 이송장치를 제어하고 센서에서 측정된 데이터를 PC로 저장하도록 하기 위한 DAQ 장치로 구성된 유속 측정부, 그리고 펌프의 운전속도를 제어, 가시화 장치를 조작하고 전체 유량, 캐리어 탱크에 설치된 스피들의 압력, 입력전압 및 전류량 등을 모니터링 할 수 있는



【 구성 】

① 유속측정센서	⑨ 타공판
② 센서 이송장치	⑩ DAQ
③ 가시화 장치	⑪ 조작반
④ 스피들	⑫ 유량계
⑤ 가시화 수조	⑬ 펌프
⑥ 압력계	⑭ 지지대
⑦ 정류용 메쉬	⑮ 순환 밸브
⑧ 디퓨저	

【 주요 장비 내역 】

수조 크기	0.9[m] × 0.31[m] × 1.2[m]
작동 유량	0 ~ 1.5 [m ³ /min]
센서 측정범위	0 ~ ± 2.5 [m/sec]
센서 정밀도	± 0.005 [m/sec]
센서 시간분해능	0.05 [sec]

Fig. 4 Schematic view of flow visualization system for yarn dyeing machine

조작반으로 이루어져 있으며 센서 계측, 이송장치, 펌프 작동 등은 PC를 통하여 자동으로 제어 및 저장할 수 있도록 구성되어 있다. 수조는 투명 flexy-glass로 제작되어 염액 가시화를 통해 염액의 분출 현상을 관찰할 수 있으며, 고 정밀도의 유속계 및 압력계는 스피들 입구 압력과 분출 / 흡입 유동을 정밀하게 측정하여 스피들의 유동 균일화를 평가 할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 해석을 통한 형상 최적화

본 연구에서 제안된 각 스피들 형상이 염액 유동장 분포에 미치는 영향을 Fig. 5 에 나타내었다. 스피들 입구 평균 유속은 1 m/s 로 동일하다. 스피들 입구에서 유입된 유동이 염색조로 분출되는 경우(In-out)와 염색조내의 염액이 스피들을 통해 유입(Out-in)되는 운전형태에 대하여 수치계산을 수행 하였다. 유동방향으로 스피들 내부의 단면적이 일정한 Fig. 5(a)의 A형 스피들은 분출시 상부를 제외한 대부분의 구멍에서 분출유동이 거의 나타나지 않으며, 입구에서 가장 인접한 구멍에서는 오히려 유동이 유입되고 있어, 유량의 불균일성이 매우 심각하다. 유입 유동의 경우, 분출 유동과는 반대로 스피들 입구 주변의 구멍을 통해서 대부분의 유량이 유입되고 있는 것을 확인할 수 있으며, 최대 유입 유량은 전체 유입 유량의 약 15%정도에 달한다. B형 스피들(Fig. 5(b)) 유동의 경우, 분출시 스피들 하부에 위치한 구멍을 통하여 더욱 많은 양의 유동이 스피들 내부로 유입되면서 스피들 상부의 구멍을 통해 분출되는 유량이 A형상보다 더 많아졌다. 이는 스피들 외벽의 두께를 변화하여 내부 유로 단면적을 변화하였기 때문에 하부의 구멍의 분출 유로가 길어지고, 그로 인해 스피들 구멍의 점성효과가 급격히 증가함에 따라 오히려 유동이 역으로 발생한 것으로 생각된다. 그렇지만 스피들 다공벽을 통한 분출 및 유입 유량분포 경향은 A형 스피들과 거의 흡사하다. C형 스피들(Fig. 5(c))은 스피들 내부에 콘을 삽입하여, 유동 하류방향으로 단면적을 확대시킨 것이다. 이 경우, x/L이 약 0.4 이상 되는 지점부터 구멍을 통하여 유량이 분출하고 있으며, 스피들 상부쪽 구멍을 통한 유량 분포가 A 나 B 형상의 스피들에 비하여 균일해진 것을 확인할 수 있다. 그러나, 분출 유동과는 달리 유입 유동의 경우는 각

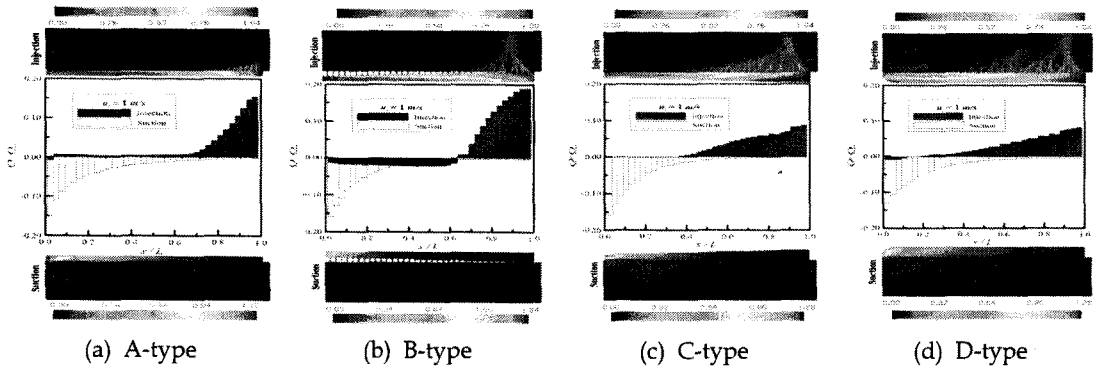


Fig. 5 The variations of injection and suction flowrate along the spindle axis

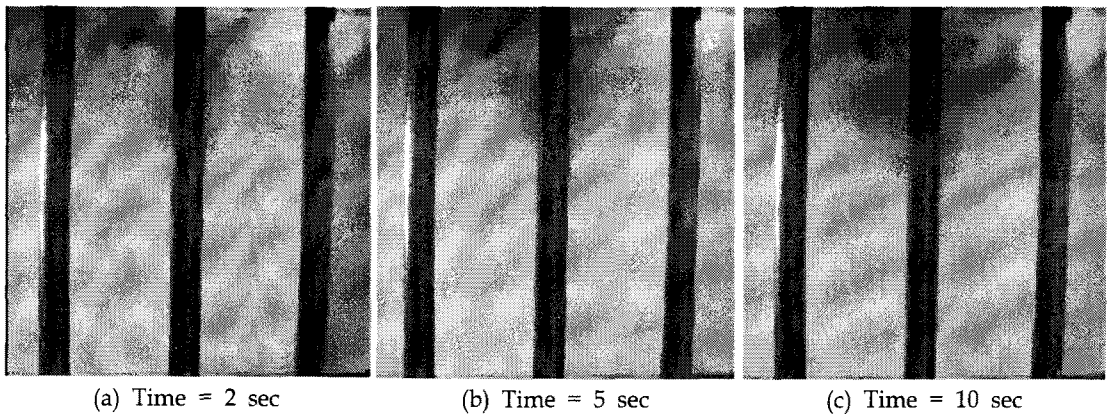


Fig. 6 Dye visualization of A-type spindle (inlet velocity = 2 m/s, in-out mode)

구멍을 통해 유입되는 유량의 분포는 A 및 B 형상의 스피들과 거의 흡사한 경향을 나타낸다. 마지막으로, 스피들 입구 근처에 단면적을 급확대한 D 형상(Fig. 5(d))의 스피들은 입구부에 특정 형상의 구조물을 삽입함으로써, 중심축 방향으로의 운동량을 조절하였다. 그 결과 x/L 이 0.2 이상이 되면 구멍을 통하여 유량 분출이 시작되며, 본 연구에서 제안된 4 가지 형상의 스피들 중에서 분출 유량의 균일성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 유입 유량의 분포 경향은 타 형태의 스피들 유동과 크게 차이가 없으나, 최대 유입 유량 값이 다소 떨어진 것을 확인 할 수 있다.

3.2. 가시화 실험

가시화 실험 장치에 설치된 염료 가시화 장치를 이용하여 스피들 분출 유동을 가시화 하였다. Fig. 6은 A형 스피들 입구 평균 유속이 1 m/s일 때의 염색 유동을 나타낸 것이다. 가시화 염료를 투입하는 시점을 기준으로 시간에 따른 염색 유동 결과이다. 스피들 상부에서는 매우 빠르게 많은 유량이 분출되고 있으나, 하부에서는 거의 염색이 분출되지 않고 있으며, 이것은 앞선 해석의 결과와 매우 유사하다. 이러한 양상은 입구 유속이 변하여도 거의 동일하며, 유속이 빨라짐에 따라 상부의 유속이 더욱 빠르게 형성됨을 확인할 수 있었다.

4. 향후계획

다양한 유동 조건에서 A, C, D-type 스피들에 대한 정량적인 분출/흡입 유속 측정을 수행하고 있으며, 개발된 스피들을 적용해 생산된 염색품의 염색 성능을 평가할 예정이다.

후 기

이 연구는 지역산업기술개발 중 기초기술개발사업의 지원(과제번호7000426)으로 행해진 연구임.