

균염을 가지는 최적스핀들 형상에 관한 수치해석적 연구

강민성*·최종윤*·김희동*·김용대**·전두환**

A Computational Study for an Optimum Spindle Shape with Uniform Yarn Dyeing

M.S. Kang*, J.Y. Choi*, H.D. Kim*, Y.D. Kim**, and D.H. Jeon**

Key Words : Porosity(다공율), Spindle(스핀들), Yarn Dyeing(사 염색), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학)

Abstract

In the field of yarn dyeing, the most generally employed method is a type of package dyeing which uses a package cheesestacked on a spindle made of a perforated tube. Spindles up to now, have been designed without considering the characteristics of dyeing liquid, focusing only on the geometric configuration which cause many problems such as lack of level dyeing. To improve the level dyeing and find the appropriate spindle configuration for the most effective dyeing process, this study examines the spindle flow-field in detail, using a computational method. Flow characteristics inside the spindle have been investigated with varying in porosity, porous diameter and the velocity of the flow. The results show that the total pressure of the flow through the spindle is used to overcome body force. The characteristics of the flow from the porous spindle could also be observed. Based on the results from this study, an effective spindle configuration for level-dyeing has been proposed.

1. 서론

사염법 중 가장 많이 이용되는 치즈염색법(chese dyeing)은 패키지 염색법의 일종으로, 스핀들 상하방향으로 설치된 치즈에 균일한 염색이 이루어지기 위해서는 필연적으로 스핀들을 통해 방출되는 유동의 균염성이 확보되어야 한다. 그러나 일반적으로 스핀들 내부 염액 유동방향으로의 정수압 분포와 유체역학적 에너지 분포 및 다공과 스핀들 벽면을 통한 에너지의 변화등의 다양한 이유로 인하여, 염액의 균염성이 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 보다 효율적인 치즈 염색법을 개발하기 위하여 최적의 스핀들 형상 설계에 관한 연구가 상당히 중요한 실정이다.

2. 연구방법

수치계산에는 비압축성, 축대칭 Navier-Stokes 방정식에 유한체적법을 적용하였으며, 난류 유동장을 적절하게 모사하기 위하여 표준 k-ε 난류모델을 적

용하였다.

계산영역과 경계조건 및 격자계는 그림 1에 나타내었다. 다공성 튜브의 입구 직경(D)은 53mm, 튜브의 길이는(L)은 780mm, 스핀들의 두께는 2mm이며, 각 구멍의 직경(d)는 3 및 4mm로 변화시켰다. 또 다공율이 스핀들 내부 유동장에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 다공율(porosity)을 10, 14 및 18%로 변화시켰다.

스핀들 입구의 경계조건으로는 velocity inlet조건을 적용하였으며, 입구 유속(ui)은 $-1\sim 3$ m/s까지 변화시켰다.

그림 2에는 본 연구에 적용된 다양한 스핀들형상에 대한 상세를 나타내었다. 그림 2(a)는 기본 형태의 스핀들 형상으로 스핀들 입구에서부터 출구까지 일정 단면적 형상이다. 스핀들 내부 유동 방향으로 단면적 변화를 이용하여 스핀들을 통한 염색조로의 분사 유동의 균일성을 확보하기 위하여, 그림 2(b)와 (c)는 2° 각도로 스핀들의 단면적을 확대시켰다. 여기에서 (b)는 스핀들 벽면을 확대시킨 형태이며, (c)는 스핀들 내부에 콘(cone)과 같은 형태의 삽입물을 통하여 단면적을 변화시킨 형태이다. 마지막으로 (d)의 형태는 스핀들 입구 근처에 유로를 급격히 확대시키기 위하여, 스핀들 내부에 곡률을 가지는 콘을 삽입하였다. 본연구에서는 상기와 같은 4가지 형

* Andong National University, kimhd@andong.ac.kr

** KOTMI, ydkim@kotmi.re.kr

태의 스피들형상에 대하여, 스피들 내부 유동장 및 다공벽을 통한 유입/ 유출 분포 형태를 조사하였다.

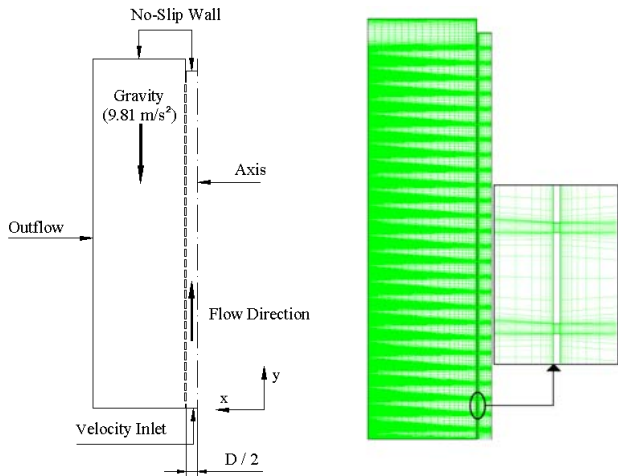


Fig.1 Boundary conditions and grid system

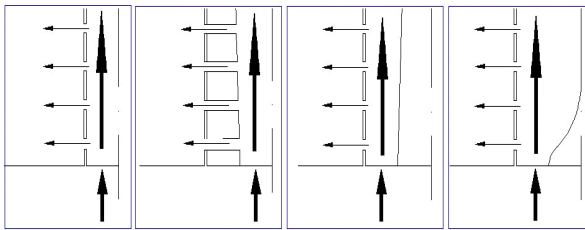


Fig. 2 Shapes of a spindle

3. 결과 및 고찰

그림 3은 구멍의 직경이 3 mm이고, 다공률이 14%인 경우, 스피들 축 방향으로의 θ 값의 변화를 나타낸다. 여기에서 θ 는 다음과 같이 정의 된다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho v^2} \right) \quad (1)$$

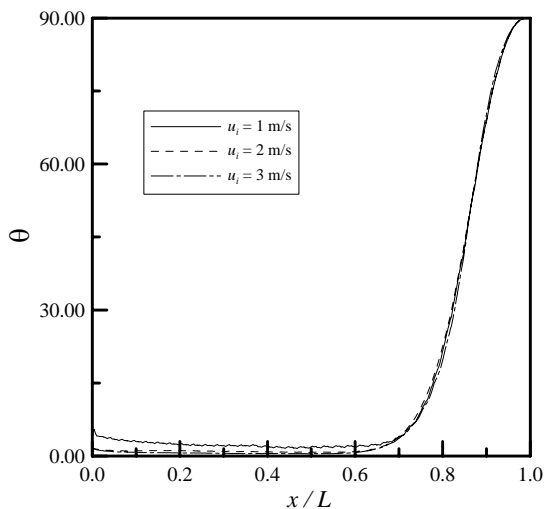


Fig. 3 θ value distributions along the spindle axis (d = 3 mm, porosity = 14 %)

Δp 와 $\frac{1}{2} \rho v^2$ 는 각각 구멍 내/외부의 국소 정압의 차이와 스피들 중심축을 따르는 동압을 의미한다. 즉, 스피들의 구멍을 통한 질량의 유출은 구멍의 입/출구 부분의 국소 정압의 차이에 비례하여 나타날 것이다. 그러나, 유출 유동의 방향과 스피들 내부의 주 유동의 방향은 서로 수직이 되므로, 차압과 동압의 비로 주어지는 속도 벡터의 방향에 의하여 유출 유량의 변화가 발생할 것으로 판단된다. x/L 이 약 0.7 이하에서는 θ 가 거의 0도에 가깝게 나타나지만, $x/L > 0.7$ 이상의 영역에서는 θ 가 급격하게 증가한다.

본 연구에서 제안된 각 스피들 형상이 염색 유동장 분포에 미치는 영향을 그림 4에 나타내었다. 스피들 입구에서의 유속 절대값은 1 m/s로 동일하다. 여기에서 스피들 입구에서 유입된 유동이 염색조로 분출되는 경우와 염색조내의 염색이 스피들을 통해 유입되는 두 경우 모두에 대하여 수치계산을 수행하였다. 유동 방향으로 스피들 내부의 단면적이 일정한 그림 4(a)의 분출유동에서 스피들 입구에서 가장 인접한 구멍에서 유동이 유입되고 있다. 그러나, 스피들 상부에 위치한 구멍을 제외하고는 대부분의 구멍에서 분출유동이 거의 나타나지 않으며, 유량의 불균일성이 매우 심각하게 나타난다. 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. 스피들 내부의 단면적 변화를 이용하여, 분출 유량의 불균일성을 제거하기 위해 제안된 스피들의 형상은 B, C 및 D 형상이다. B형상의 스피들 유동의 경우, 유동 상류 부분에 위치한 구멍을 통하여 다소 많은 양의 유동이 유입되면서 스피들 상부의 구멍을 통해 분출되는 유량이 A형상의 스피들 유동에서보다 더 많이 나타난다. 그러나, 스피들 다공벽을 통한 분출 및 유입 유량 분포 경향은 거의 흡사하다는 것을 알 수 있다. C형상의 스피들은 스피들 내부에 콘을 삽입하여, 유동 하류방향으로 단면적을 확대시킨 것이다. 이 경우, x/L 이 약 0.4 이상이 되면 구멍을 통하여 유량이 분출하게 되며, 스피들 상부쪽 구멍을 통한 유량 분포가 A나 B형상의 스피들에 비하여 균일해진 것을 확인할 수 있다. 그러나, 유입 유동의 경우, 각 구멍을 통해 유입되는 유량의 분포는 A 및 B형상의 스피들과 거의 흡사한 경향을 나타낸다. 마지막으로, 스피들 입구 근처에 단면적을 급 확대한 D형상의 스피들은 곡률을 가지는 콘을 삽입함으로써, 중심축 방향으로의 운동량을 조절하였다. 그 결과 x/L 이 0.2 이상이 되면 구멍을 통하여 유량이 분출하게 되며, 본 연구에서 제안된 4가지 형상의 스피들 중에서 분출 유량의 균일성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 그러나, 유입 유량의 분포 경향은 타 형태의 스피들 유동과 크게 차이가 없으나, 최대 유입 유량 값이 다소 떨어진 것을 확인할 수 있다.

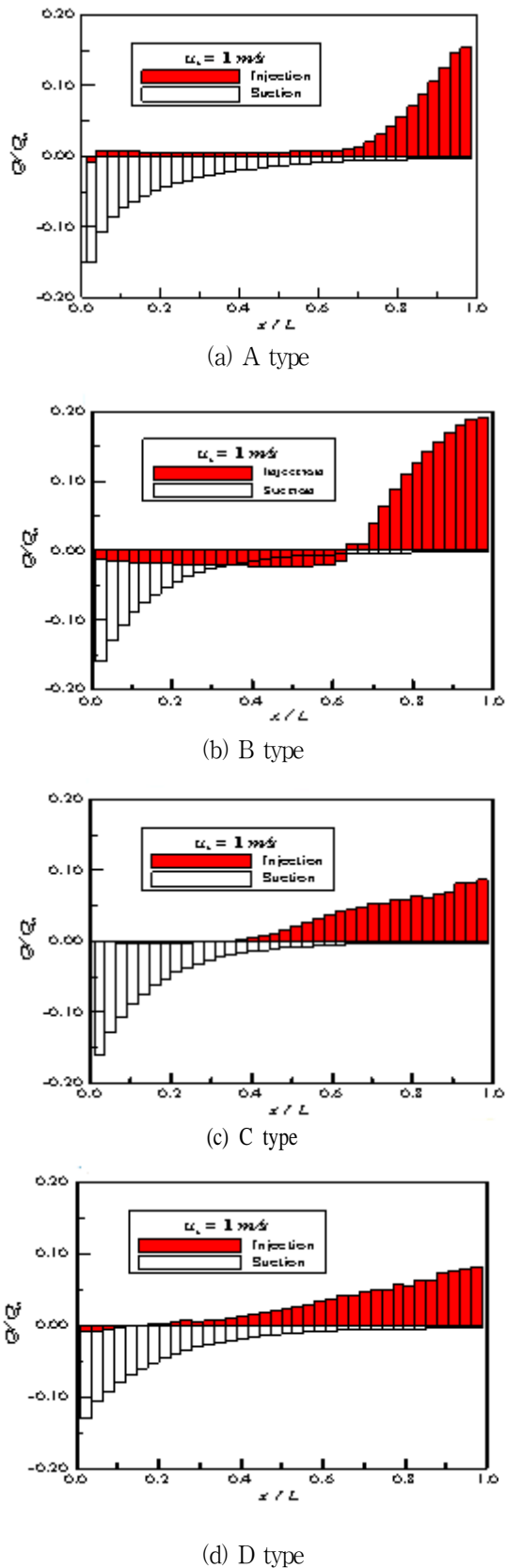


Fig. 4 Effect on the flow field of spindle shapes

이상과 같은 결과를 토대로 D형상의 스피들 유동에 미치는 스피들 입구 유속의 영향을 그림 5에 나타내었다. 입구 유속의 절대값이 2 m/s인 그림 5(a)의 경우, 스피들 입구 근처의 일부 구멍에서는

유입 유동의 전단력에 의하여, 유량이 스피들 내부로 유입하며, x/L 이 0.2 이후부터는 분출 유량이 점차 증가하는 경향을 나타낸다. 이때 최대 분출 유량은 유입유량의 약 10% 미만으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 유입 유동의 경우, 최대 유입 유량은 전체 유입 유량의 약 13%정도가 되며, 스피들 상부쪽으로 갈수록 점차적으로 유입유량이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 입구 유속이 3 m/s인 경우에도 분출 및 유입 유량의 분포는 2 m/s인 경우와 거의 동일하다는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에 적용된 입구 유속값의 변화 범위내에서는 유속의 스피들 내부유동에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

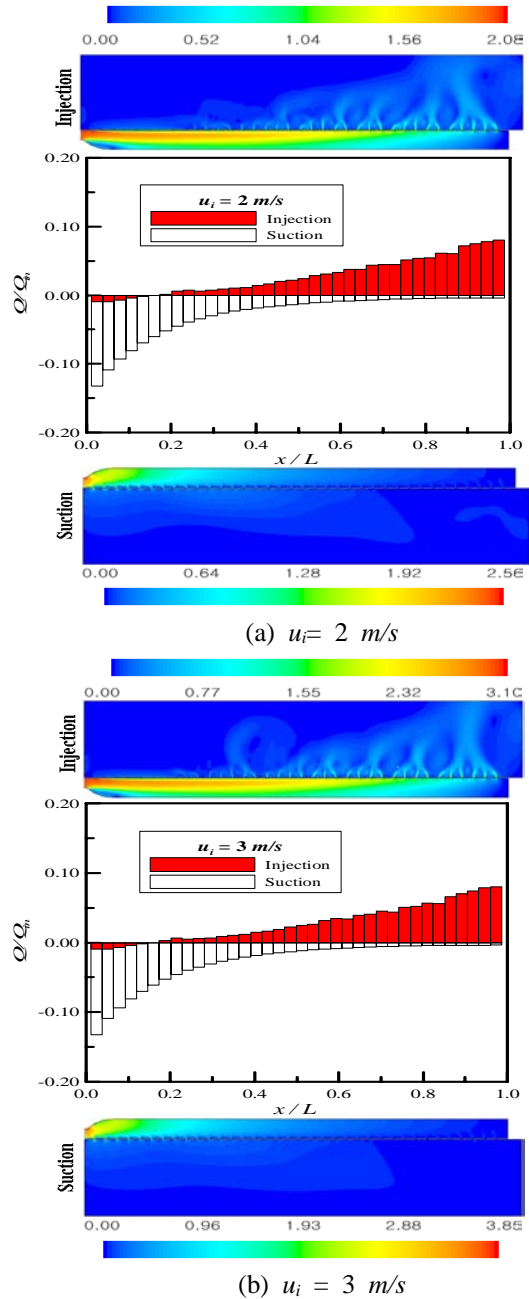


Fig. 5 Velocity contours and mass flow distributions of a D type spindle ($u_i = 2, 3$ m/s)

4. 결론

기존의 직관 형태의 스피들을 통한 유량의 분포는 스피들 입구의 유입 유속에 상관없이 거의 동일한 분포를 나타내었다. 또, 다공률 및 구멍의 직경에 따라 스피들을 통해 외부로 방출되는 유량분포는 다소 다르게 나타났으나, 대부분의 유량은 스피들의 상부를 통해 방출되는 동일한 결과를 얻었다. 이때 스피들 중심축을 따른 전압의 손실은 다공률 및 구멍의 직경에는 무관하며, 중력에 의한 체적력의 극복하는데 대부분 발생하였다. 그리고, 각 구멍에서의 유출계수는 스피들 유입 유속과는 무관하게 나타났다. 따라서, 직관 형태의 스피들 형상에서는 균염성을 확보하기에는 다소 무리가 있는 것으로 보이며, 스피들의 단면적을 축방향으로 변화시켜 각 구멍의 내외부의 정압 차와 축방향 동압의 비율을 적절하게 조절하여야만이 균염성을 확보할 수 있으리라 판단되었다. 이와 같은 결과에 의하여, 스피들 유동 방향으로 단면적을 변화시킨 세가지 형상의 스피들 모델에 대한 유동장을 살펴본 결과, 스피들 입구에 곡률을 가지는 콘을 삽입한 형상의 스피들이 균일 사염색에 가장 효과적인 것으로 판단된다

참고문헌

- [1] Nobutaka, One., Ashiya, 1993, "Method of Dyeing Yarn Cheeses," United states Patent, Patent No. 5,351,351.
- [2] Shannon, B., Hendrix, W. Smith, B. and Montero, G., 2000, "Modeling of supercritical fluid flow through a yarn package," J. Supercritical fluids, Vol. 19, pp. 87-99.
- [3] Lee, H. J., Lee, Y. K., Noh, S.H., Chun, D. H., and Kim, H. D., 2006, "A Numerical Study of Spindle Design to Enhance the Uniformity of Yarn Dyeing," Proceedings of KSME 2006 Autumn Meeting, pp. 2174-2179
- [4] Kang, M. S., Lee, H. J., Noh, S. H., Chen, D. H., and Kim, H. D., 2007, " A Fundamental Study on the Spindle Flow of the Yarn Dyeing," Proceedings of KSME 2007 Spring Meeting, pp. 3156-3161
- [5] Gwak, J. H., and Kim, H. D., 2003, " A Study of the Gasdynamics of Perforated Wall," Proceedings of KSME 2003 Autumn Meeting, pp. 538-543