

고온 챔버의 노즐형상에 따른 섬유가공기 유동 및 열전달 해석

박 선 명, 박 태 선*

경북대학교 기계공학부

FLOW AND HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF TEXTILE MACHINE ACCORDING TO NOZZLE SHAPES OF HIGH TEMPERATURE CHAMBER

Sun Myung Park and Tae Seon Park*

School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

Turbulent flow and heat transfer characteristics of textile machine are numerically investigated. To examine the influence of flow structures on the drying performance of fabrics, the nozzle shape of high temperature chamber is changed. For several nozzles, flow and heat transfer characteristics are discussed. The results show that the drying performance is improved by controlling the angle and arrangement of nozzles corresponding to different drying conditions. This feature is strongly related to the enhancement of turbulent fluctuations and secondary flows.

Key Words : 섬유가공기(Textile Machine), 노즐 형상(Nozzle Shape), 고온 챔버(High Temperature Chamber), 대류열전달(Convective Heat Transfer)

1. 서 론

우리나라의 고부가가치 산업의 하나인 섬유산업은 최근 중국 및 동남아 경쟁국들로부터 저가제품의 물량공세와 선진국들의 차별화된 고급제품 수출 등으로 인해 많은 어려움에 직면해 있는 실정이다. 이러한 어려운 상황을 극복하기 위한 수단으로 섬유제품의 다양화가 제안되고 있으나 개발지연으로 부가가치를 창출하지 못하고 있는 상태이다. 일반적으로 섬유제품 개발에 있어 섬유제품의 후가공 공정은 제품의 요구성을 만족시키기 위한 최종제작과정으로 섬유제품의 고급화에 핵심이 되는 기술 분야이다.

연속식 섬유가공기는 다양한 형태의 직물원단에 방축, 방폭 및 산포라이징 가공, 네트드라이 기능, 기모 사령후 이물질 제거 기능 등의 후가공 공정을 하나의 기계로 가능하게 하여 직물 및 섬유에 대한 범용성 및 특수성으로 제품의 부가가치를 높이는 섬유 가공 장비이다[1]. 이러한 섬유가공기의 핵심을 이루고 있는 고온 챔버(Chamber)영역은 고속고온의

Air를 섬유에 직접 분사하여 섬유를 건조시키는 주요 기능 뿐 아니라, 직물의 구조를 조밀하게 해주는 장치이다.

고온 챔버부는 에어젯 절환 장치로 댐퍼를 구동하여 원단 가공 피치를 넘기는 공정장치로 로드셀을 적용하여 가공원단 중량 체크 후 절환되어 이동하면서 빠르게 건조하는 방식이다. 외부공기는 흡입 덕트를 거쳐 열교환기에 의해 설정온도까지 상승하게 되고 순환 팬에 의해 건조실로 보내지고 노즐을 통해 가공섬유에 열풍으로 분사되어 섬유특성에 따라 요구되는 기능을 만족하도록 가공하게 된다. 이러한 섬유가공기의 유동, 열전달, 물질전달 등에 대한 연구는 다른 물리적인 현상과 같이 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하는 것이 효과적이거나 다양한 형태로 가공되는 섬유가 고유한 유동저항, 열전달 및 물질전달 특성을 가지고 있기 때문에 수치해석 모델을 확립하기 위한 실험데이터의 부족으로 필요성에 비해 전산해석연구는 많이 진행되어 있지 않은 실정이다.

최근에 Wan[2]은 CFD와 실험을 병행하여 건조기에 대한 연구를 수행하였다. 건조대상에 따라 건조기의 설계가 달라져야 하는데 고온의 공기노즐설계가 매우 중요함을 지적하였다. 또한, textile의 경우 over-drying에 의한 섬유강도의 약화가 발생하여 제품의 질저하 문제를 발생할 수 있고, 섬유의 종류가 Cotton, wool, silk, acrylic, linen 등에 따라 건조율(drying rate)이 달라지기 때문에 해석적인 접근이 어려운 실정이다. 그렇

Received: July 24, 2015, Revised: September 22, 2015,

Accepted: September 22, 2015.

* Corresponding author, E-mail: tsparkjp@knu.ac.kr

DOI <http://dx.doi.org/10.6112/kscfe.2015.20.3.70>

© KSCFE 2015

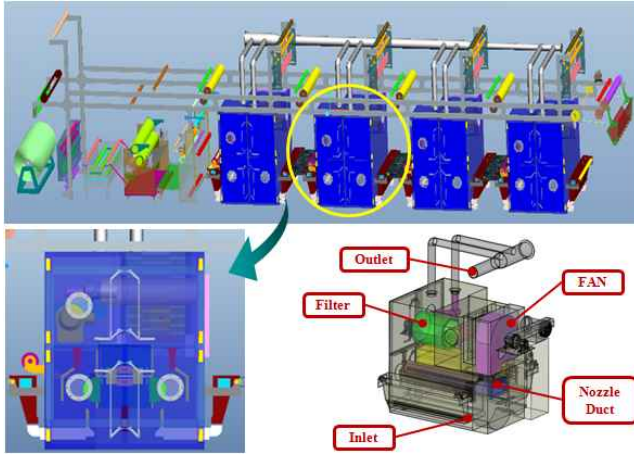


Fig. 1 Computational domain for textile machine of high temperature chamber

지만 섬유가공기 설계에 CFD 활용성은 매우 높기 때문에 다양한 연구가 진행될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 섬유 건조에 대한 전산해석 과정을 확립하기 위한 기초연구를 진행하고자 한다. Wan[2]의 연구에서도 확인할 수 있듯이 섬유가공기의 노즐부분은 고온의 공기가 섬유에 접촉하는 유동구조를 결정하는 구성품으로 형상설계에 따라 가공섬유의 품질이 좌우하게 된다.

Haghi[3]의 연구를 토대로 살펴보면, 섬유는 가공과정 중에 수분이 포함되어 있는 다공성(porosity) 매질로 생각하고 전도 및 대류열전달과 물질전달이 발생하게 된다. 따라서 섬유건조에 영향을 줄 수 있는 여러 요소 중 고온공기의 속도와 유량 그리고 고온 챔버의 노즐 형상을 선택하여 유동특성을 살펴보고자 한다. 섬유표면에서 발생하는 대류열전달은 유입속도가 증가할수록 크게 발생되고 일정시간 동안 발생하는 총 열전달량은 공기유량이 많을수록 증가하게 된다. 따라서 건조시간을 짧게 하기 위해서는 공기속도와 유량을 크게 하여야 하지만 섬유가공기의 특성상 다양한 종류의 직물이 가공되고, 그에 따라 요구되는 건조조건도 상이하므로[4,5] 각각 원단에 맞추어서 효율적인 건조가 이루어지기 위해서 유동구조변화와 열전달간의 관계가 고찰되어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 다양한 섬유건조에 활용될 수 있는 노즐형상변화를 설정하였다. 노즐각도와 노즐간의 간격을 변수로 선택하여 유동 구조의 변화를 CFD분석을 통해 살펴보고, 섬유표면에 대한 열전달 특징을 검토하고자 한다.

2. 해석 방법

3차원 대류열전달을 살펴보기 위한 비압축성 유체의 비정상 운동방정식과 온도방정식은 다음과 같다.

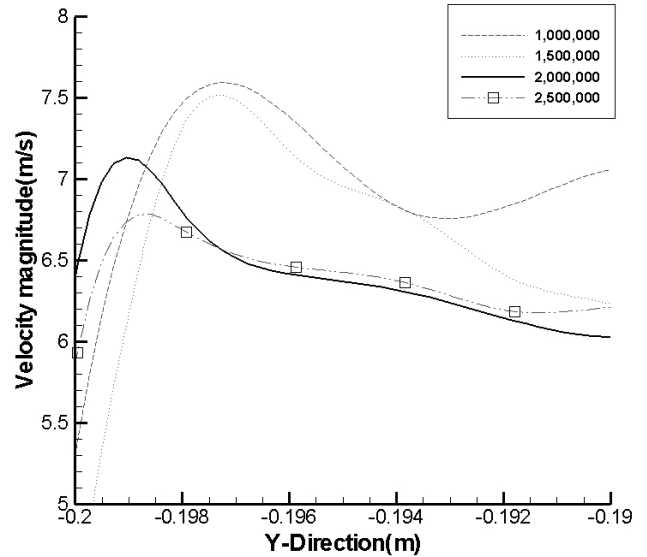


Fig. 2 Grid convergence test

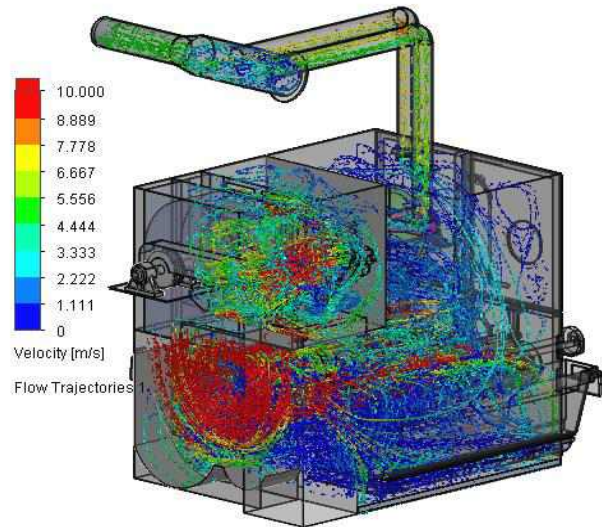
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \nu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial u_j T}{\partial x_j} = \frac{\partial T}{\partial x_j} \left[(\alpha + \alpha_t) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] \quad (2)$$

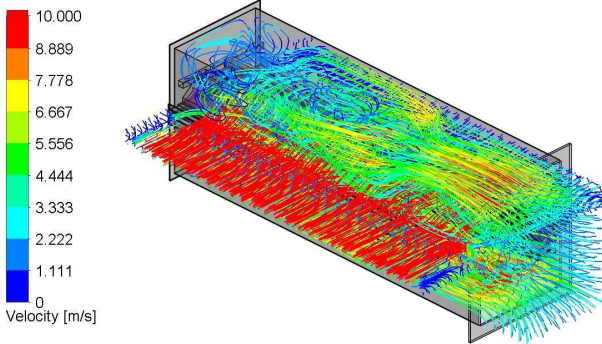
여기서 u_i , p , ρ , α , T 는 각각 속도, 압력, 밀도, 열확산계수, 온도 등을 나타낸다. 난류응력과 난류열유속을 결정하기 위한 난류모델은 realizable $k-\epsilon$ 모델[6]로 선택하였고 난류방정식은 생략하기로 한다.

실제 섬유가공기의 핵심부분인 고온 챔버부의 유동특성을 파악하기 위한 해석모델을 Fig. 1에 나타내었다. 고온 챔버의 내부구조는 원단을 상하로 부딪치게 하면서 실제 가공이 이루어지는 노즐 및 노즐덕트 부분, 공기유량을 제어하는 팬, 공기온도를 제어하는 열 발생장치, 가공 중에 발생하는 먼지 및 이물질을 제거하기 위한 먼지흡입장치, 가공원단의 체류시간을 결정하는 원단중량 측정장치부, 장비전체를 제어하는 제어부로 구성된다. Fig. 1은 섬유가공에 이용되는 고온 챔버 4개가 연속해서 배치된 설계형상을 나타낸 것이다. 이 중 한 개의 고온 챔버에 대한 고온공기 유입구와 출구를 그림에서 확인할 수 있다. 해석모델은 하부에 입구조건 상부에 출구조건이 설정되어 있고 내부 유동은 Fan에 의해 내부 순환하는 방식이기 때문에 Fan의 성능곡선 및 Filter의 특성에 가장 유사한 조건을 부여하였다.

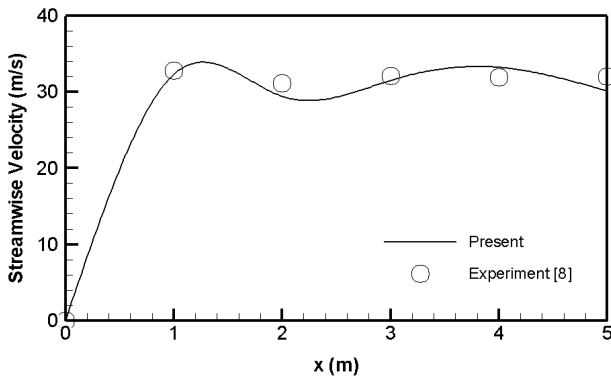
경계조건은 입구는 일정속도조건이고 출구는 일정압력조건을 선택하였다. 기본형 섬유가공기의 입구조건은 실제작동 조건을 토대로 입구속도를 5 m/s(입구의 수력직경 기준 레이놀



(a) Pathlines



(b) Flow structure of nozzle duct

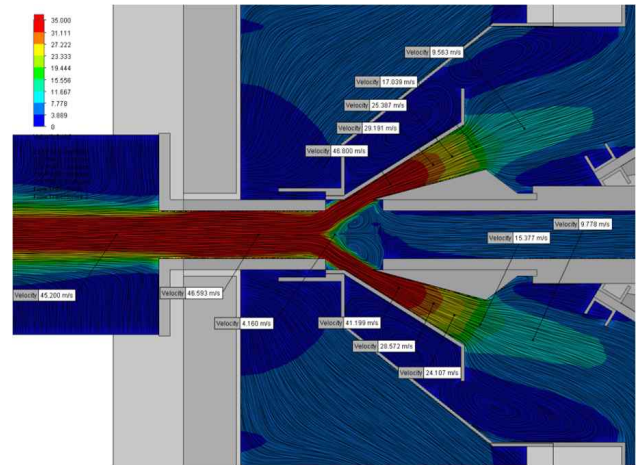


(c) Streamwise velocity at nozzle exit

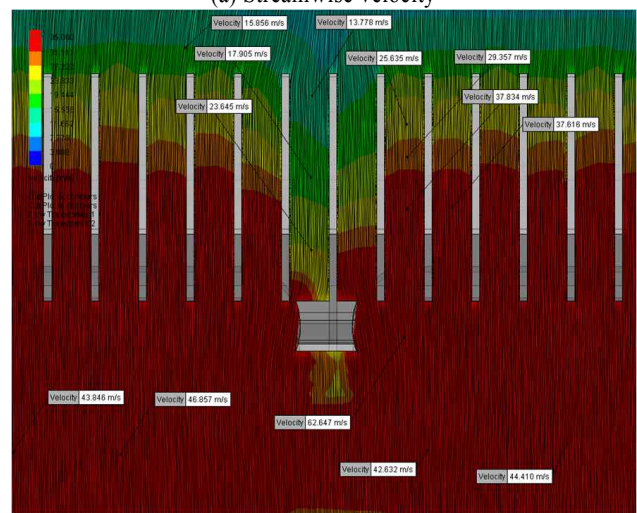
Fig. 3 Predicted pathlines and velocity magnitude for high temperature chamber

스수 50000)로 부여하였다. 난류강도를 5%로 설정하여 난류운동에너지와 소산율의 경계조건을 결정하였다. 해석은 형상의 복잡성으로 인해 상용코드인 Fluent[7]를 이용하여 진행하였다.

수치해석의 일관성을 확보하기 위하여 검사체적(control volume, CV)의 수가 100만, 150만, 200만, 250만 개일 경우 일정한 유동구조가 얻어지는 조건을 살펴보았다. Fig. 2에서 보



(a) Streamwise velocity



(b) Flow structure of nozzle duct

Fig. 4 Velocity distribution of the nozzle part

면 출구면 중앙에서 속도와 압력분포를 보여주고 있다. 격자수가 변함에 따라서 거의 비슷한 유동구조를 가지고 있음을 확인할 수 있고 격자수가 200만 개 이상이면 출구면 중앙에서 일관성 있는 속도분포가 얻어지고 있다. 이러한 결과를 토대로 섬유가공기 해석에서 의미있는 결과를 얻기 위한 격자 해상도는 약300만개로 판단하였고, 형상변화나 노즐부 해석에 필요한 격자계 선택의 기준해상도로 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

섬유가공기 내부의 기본적인 유동구조를 살펴보기 위하여 Fig. 1에서 나타낸 섬유가공기에 대한 유동해석이 수행되었다. 입구에서 1.2 m/s의 일정한 유량이 유입될 때 출구에서 대기압조건으로 유출되는 조건의 섬유가공기에 대해 Fig. 3에서 고온 챔버부에 대한 유적선의 분포를 보여주고 있다. 유동변

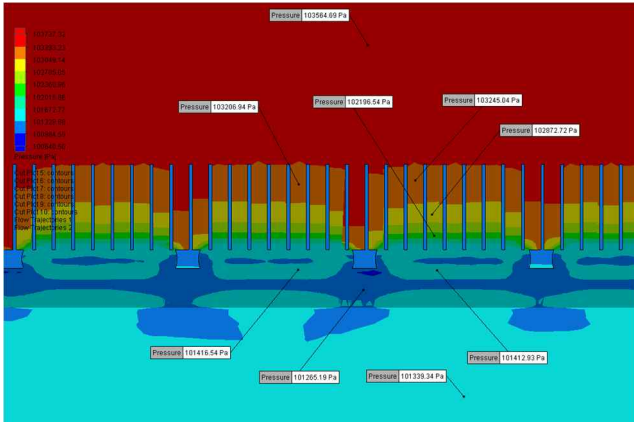


Fig. 5 Pressure distribution of the nozzle part

화를 살펴보기 위하여 유속크기를 같이 나타내었다. 챔버 내부의 평균압력은 102347.63 Pa로서 외부가 대기압일 때 유동이 챔버 내부로 유입되는 조건임을 확인할 수 있다. 챔버 내의 평균 유속은 약 2.5 m/s이며 Fan 토출부 속도는 약 10 m/s이다. 노즐 출구면의 평균유속은 28.549 m/s로 예측되고 있다. 전체적으로 Fan의 아래부분에 3차원 재순환 유동이 발생되지만 노즐부에서 가속이 되어 섬유가공에 필요한 대류열전달이 발생하는 구조이다. 노즐부의 유동은 노즐로 유입되면서 가속되는 유동이 노즐부를 통과하면서 존재하였던 큰스케일의 와 유동을 사라지게 하고 균일한 유동이 얻어지는 특징을 나타내고 있다. 섬유가공기 내부에 대한 자세한 난류속도분포를 검증하기 위한 실험데이터는 구하기 어렵기 때문에 노즐출구의 평균유속을 비교하였다. 그림을 보면 실험[8]과 잘 일치하고 있다. 따라서 섬유가공기 해석을 위한 해석과정이 타당하다고 생각할 수 있다.

Fig. 4는 섬유가공의 성능을 좌우하는 노즐부 단면에서 속도분포를 나타낸 것이다. 노즐부는 섬유의 양면을 동시에 건조시키기 위해 상부/하부 이중노즐의 구조를 가지고 있는데 상부와 하부 노즐에서 분사되는 공기유동이 중앙부분에서 충돌하면서 유속이 증가되는 특징이 보여지고 있다. 유속의 크기는 덕트 입구 초기 유속이 1.2 m/s로 노즐 입구에서는 약 7.0 ~ 9.0 m/s로 점차 높아졌다가 노즐 출구에서는 약 35 ~ 40 m/s로 높게 나타나고 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 노즐부 근처의 유동변화를 살펴보면 노즐부의 유출유동이 불균일한 구조를 가지고 있다. 속도와 압력이 중앙부분에서 유속이 크게 저하되고 있고 압력이 양쪽 끝의 노즐부에서 크게 감소하고 있는 특징을 보여주고 있다. 또한, Fig. 5에서 압력분포를 살펴보면 덕트 내부의 압력은 대기압 보다 약 2.0 kPa 정도로 높게 분포하며, 노즐부에서 토출되면서 위치별로 압력 단차를 가지고 감소하는 경향을 보인다. 노즐부의 압력불균일은 대략 약 5 ~ 10 Pa 정도 차이를 나타내고 있다.

이러한 불균일한 압력분포와 공기속도분포는 섬유건조성능을 일정하게 제어할 수 없기 때문에 설계개선이 필요한 부분으로 판단된다. 따라서 노즐형상의 변화에 따른 유동구조의 특성을 파악하여 섬유가공기 설계에 활용되어질 필요가 있다.

노즐 형상에 따른 유동구조 특징을 살펴보기 위하여 섬유가공기의 노즐부분만 해석영역으로 선택하였다. 노즐각도와 노즐간격을 변수로 14가지 해석조건을 Table 1과 같이 설정하였다. 노즐의 특성을 파악하기 위해 노즐이 없는 경우를 해석하여 비교하였다.

노즐의 형상과 원단의 투과율에 따른 유동 특성을 확인하

Table 1 Test cases

cases	nozzle angle	model
Case01 (40%)	no nozzle	
Case02 (20%)		
Case03 (10 mm, 40%)	0° (수직형)	
Case04 (10 mm, 20%)		
Case05 (40 mm, 40%)		
Case06 (40 mm, 20%)		
Case07 (10 mm, 40%)	15° (중앙집중형)	
Case08 (10 mm, 20%)		
Case09 (40 mm, 40%)		
Case10 (40 mm, 20%)		
Case11 (10 mm, 40%)	-15° (방사형)	
Case12 (10 mm, 20%)		
Case13 (40 mm, 40%)		
Case14 (40 mm, 20%)		

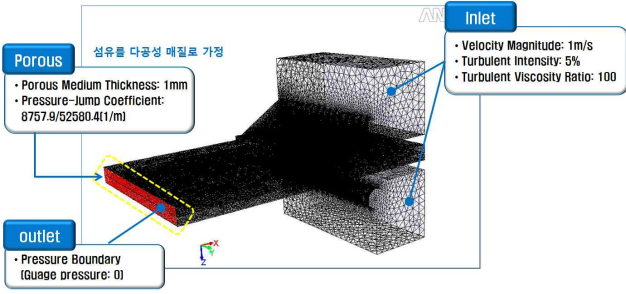
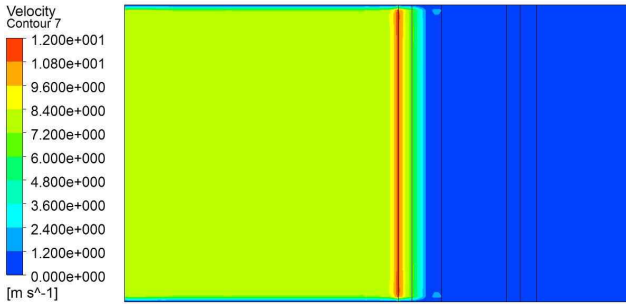
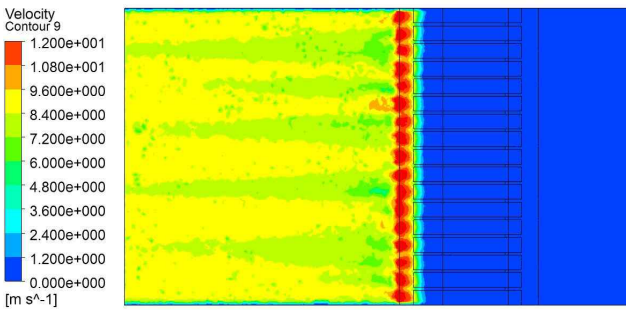


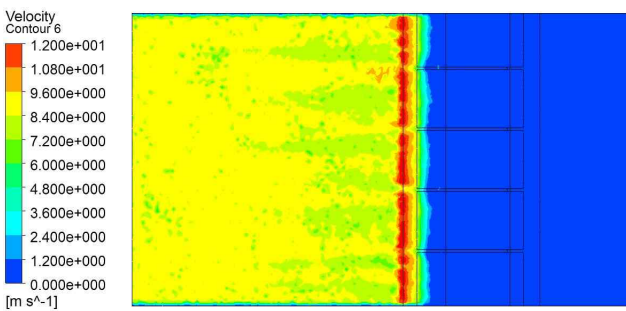
Fig. 6 Computational domain and boundary condition



(a) Case01



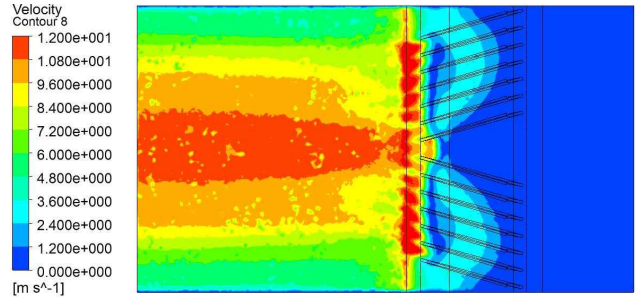
(b) Case03



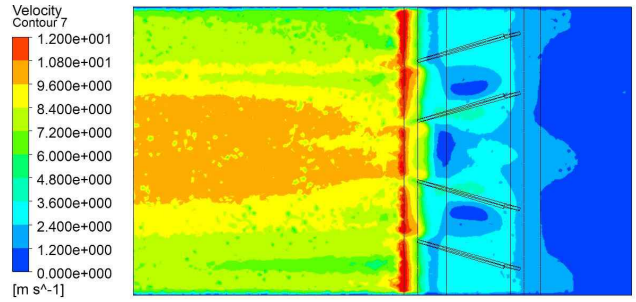
(c) Case05

Fig. 7 Velocity distribution of normal type nozzle

기 위해 입구속도 조건을 1 m/s로 동일하게 가정하고, 출구는 대기압 조건하에 그에 따른 변화를 살펴보았다. 노즐의 각도는 수직형, 중앙집중형, 방사형의 형태로 노즐의 경사각도는 15°로 변화하는 것으로 설정하였다. 노즐부의 유동특성을 결정하는 또 다른 중요요소인 노즐간격은 10 mm, 40 mm로 선



(a) Case07



(b) Case09

Fig. 8 Velocity distribution of converging type nozzle

택하였다. 상하의 노즐에서 분사되어 섬유원단이 건조되는 영역을 Fluent[7]의 Porous zone으로 설정하였다. 따라서 섬유에 대한 수치해석 모델은 다공성 물질로 가정하여 porous open ratio를 20%, 40% 일 때 결과를 비교하였다. 이때 섬유두께는 1 mm로 가정하였다. 그렇지만 수치모델이 확립되었을 경우 섬유두께는 다양하게 해석될 수 있을 것으로 생각된다. Porous영역은 실제 내부영역을 모두 계산영역으로 선택하는 경우 내부 유동구조를 얻어내야 하기 때문에 매우 많은 격자수가 필요로 하게 된다. 그렇지만 본 연구에서는 섬유표면에서 유동 및 열전달이 가장 중요한 물리적인 현상이기 때문에 다공성 매질의 특성을 나타내는 저항계수[7]에 의해서 유동이 묘사되었다. 입구의 Turbulent Viscosity Ratio는 100으로 가정하고, 압력-속도 연결은 Coupled 알고리즘, 대류항은 2차 정확도의 상류차분법이 사용되었다. Fig. 6에 해석영역과 경계조건을 나타내었다.

노즐형상의 변화에 따른 유동구조의 특징을 살펴보기 위하여 Fig. 7-9에 섬유면 근처의 속도분포를 나타내었다. Fig. 7은 수직형 노즐형상에 대한 노즐간격의 영향을 나타낸 결과이다. 노즐이 없는 Case01의 경우 상부와 하부의 유동이 충돌하는 영역에서 평균 11.6 m/s의 속도가 나타나고 있다. 양쪽의 노즐부 공기가 충돌하면서 좁아진 공간을 지나면서 질량보존에 의해서 가속되는 특징을 보여주고 있다. 이러한 가속유동은 Case03과 Case05와 같이 노즐이 존재하는 경우도 비슷하게 나타나고 있다. 그렇지만 노즐이 없는 경우 가속된 유동이 급

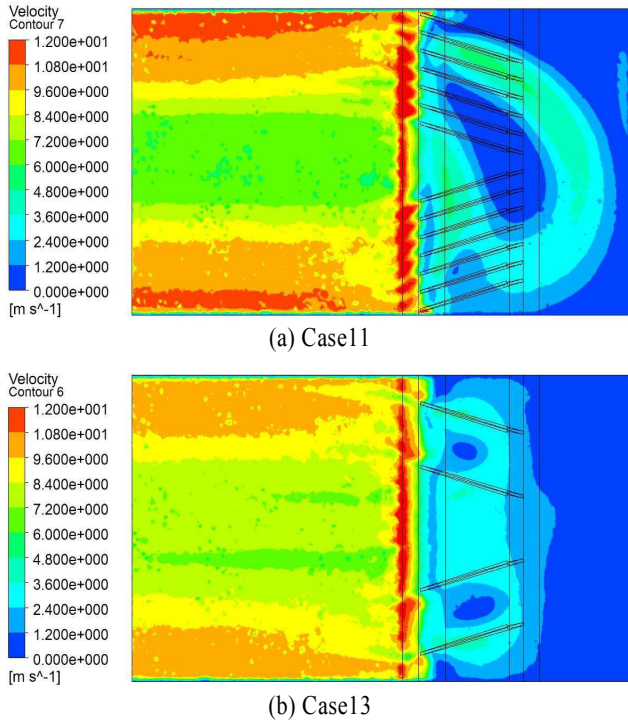


Fig. 9 Velocity distribution of diverging type nozzle

격하게 감소하고 있지만 노즐이 있는 경우 유속의 감소가 작게 발생하는 특징을 보여주고 있다. 노즐 간격이 작을 경우 넓은 경우보다 저속부가 하류로 길게 존재하고 있는데 이것은 노즐간격이 좁을 경우 횡방향 속도성분의 크기가 작게 발생되기 때문이다.

Fig. 8은 중앙집중형 노즐에 대한 해석결과이다. 수직형과 다르게 경사진 노즐형태에 의해서 중앙부분의 유속이 크게 증가하고 있다. 중앙부분과 양쪽 끝부분의 속도차이는 노즐간격이 10 mm일 때 약 2배정도 차이가 나고 있다. 이러한 차이는 노즐간격이 40 mm로 넓어지면서 작아지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 9은 방사형 노즐에 대한 해석결과를 보여주고 있다. 방사형의 경우 유동을 양끝으로 유도하는 형상특징에 의해서 양끝 쪽의 속도가 크게 증가되는 속도분포를 나타내고 있다. 10 mm일 때 중앙부분과의 속도크기는 중앙집중형과 비슷하게 약 2배정도 차이가 나고 있다. 결국 섬유종류에 따라 섬유면의 특정부분에서 속도를 높여주기 위해서 노즐의 형상을 중앙집중형과 방사형이나 조합된 형태로 적절히 선택하여 섬유가공기를 설계할 수 있고, 이러한 결과로부터 다양한 섬유종류에 따라 유속조절이 가능한 섬유가공기 설계가 가능함을 알 수 있다. 즉 국부적인 유속의 변화는 노즐의 각도에 의해서 조절하고 유속변화의 크기는 노즐간격에 의해서 조절하면 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 10에서 노즐 도출부($x = 160 \text{ mm}$)의 압력, 속도크기,

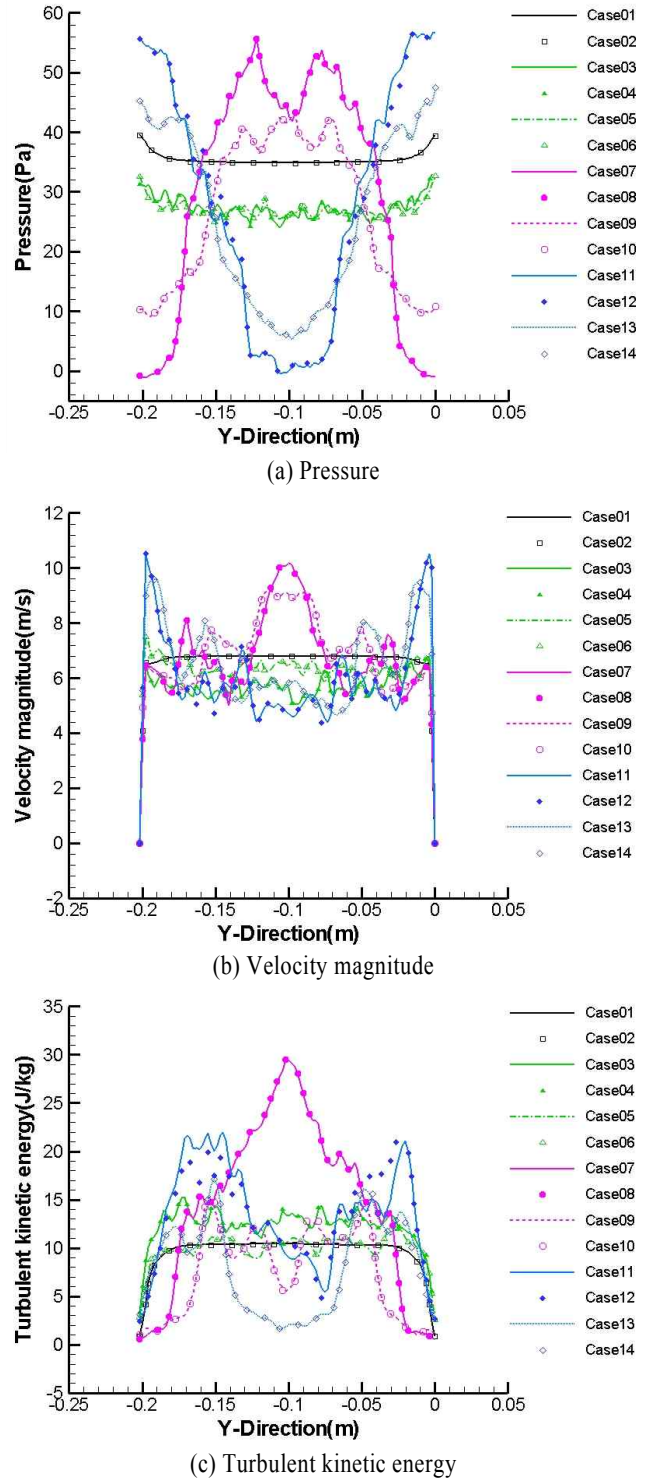


Fig. 10 Pressure, velocity magnitude and turbulent kinetic energy distribution for different nozzle types

난류운동에너지 분포를 보여주고 있다. 노즐형태에 따라서 압력분포와 속도분포가 연계되어 나타나고 있다. 수직형의 경우 속도와 압력이 노즐의 중앙이나 끝부분에서 차이가 크게 나

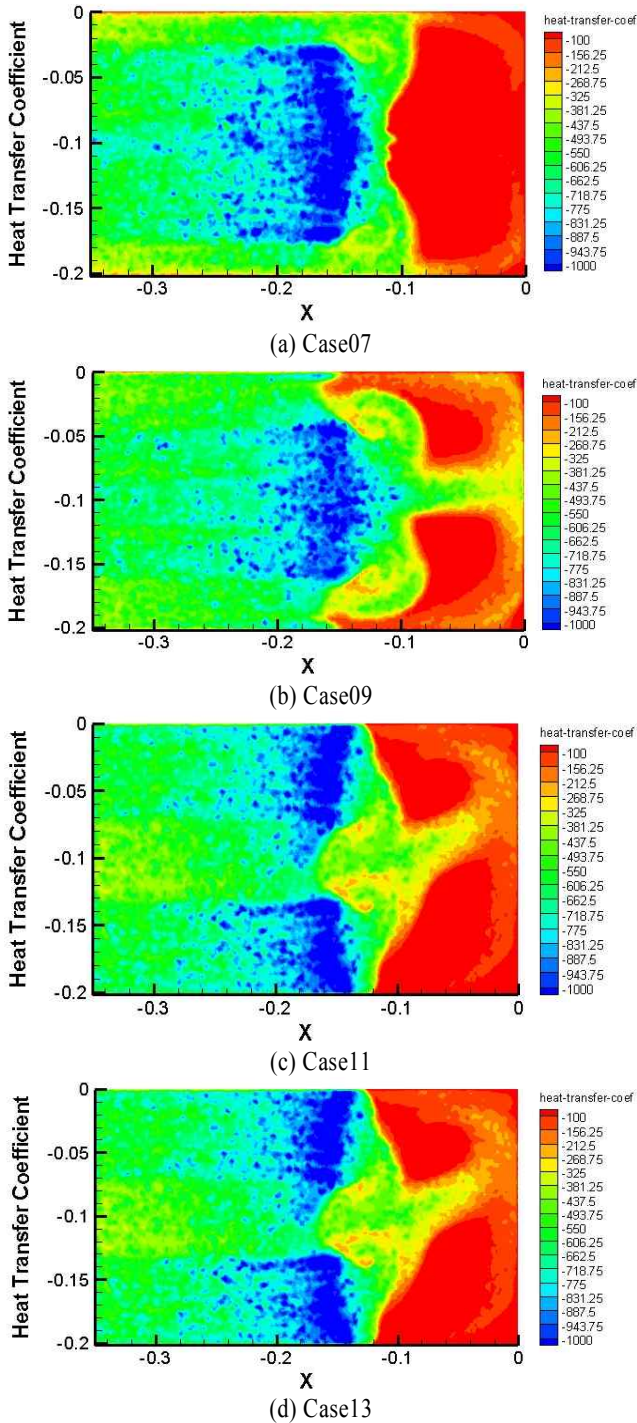


Fig. 11 Temperature and Heat transfer coefficient of cases

타나지 않고 중앙집중형은 중앙부분에서 압력이 증가하고 방사형은 노즐의 양끝부분에서 압력이 증가하고 있다. 이러한 압력차이는 노즐의 중앙부분과 끝부분사이의 유동을 발생시켜 혼합을 증가시킬 수 있는 형태이다. 또한 난류운동에너지는 유속이 증가된 부분에서 크게 나타나고 있는데 중앙집중

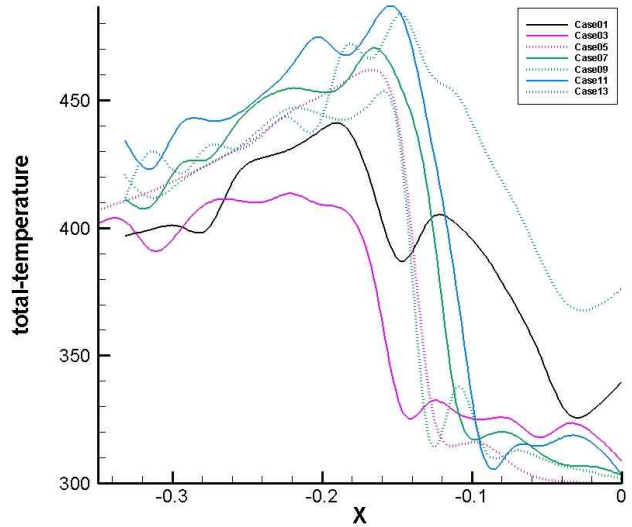
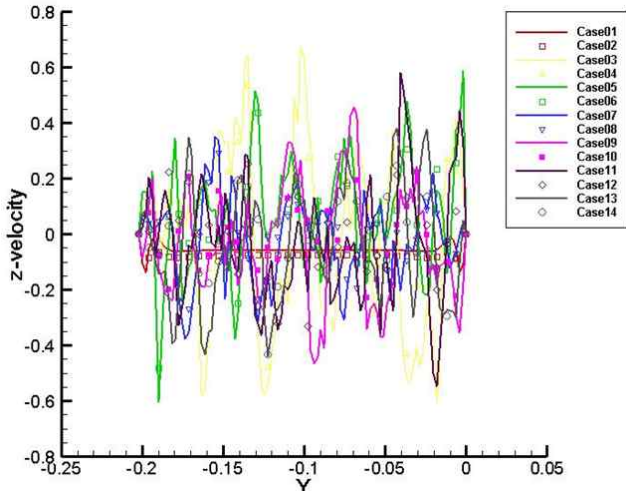


Fig. 12 Wall temperature

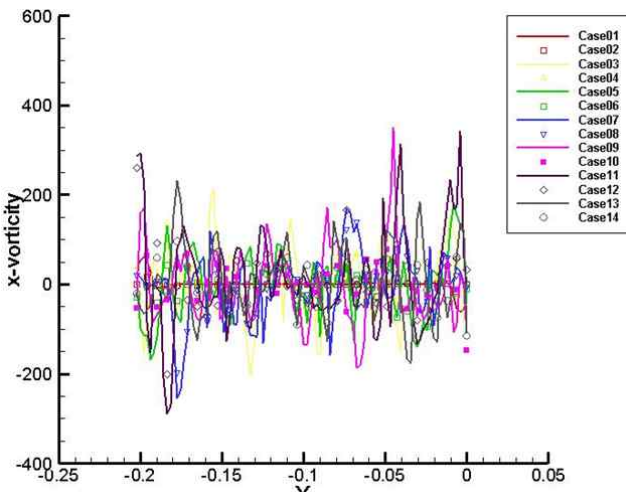
형의 Case07이 중앙에서 가장 큰 값을 보이고 있다. 노즐이 없는 경우와 비교할 때 중앙집중형과 방사형의 경우 난류운동에너지가 약 2배 정도 증가하고 있는데 이것은 섬유구조를 위한 열전달을 증가시킬 수 있는 난류운동 특징으로 판단된다.

섬유표면에서 난류열전달을 확인하기 위하여 선택된 노즐형상들에 대하여 대류열전달 해석이 수행되었고 Fig. 11에 열전달계수 분포를 나타내었고 Fig. 12에 벽면온도를 나타내었다. 노즐형태에 따른 열전달계수 변화는 섬유구조 측면에서 매우 의미가 있을 것으로 생각된다. 노즐출구 근처에서 열전달계수가 크게 증가하고 있고, 수직형에 비해서 중앙집중형과 방사형에서 열전달 계수가 큰 영역이 넓게 발생되고 있다. 또한 노즐간격이 넓은 Case09과 Case13보다 노즐간격이 좁은 Case07과 Case11에서 열전달계수가 크게 나타나고 있다. 이러한 경향은 Fig. 12에서 보는 바와 같이 섬유면근처의 온도분포가 고온으로 형성되어 섬유면에서 온도구배가 크게 발생하였고 노즐형태에 따라 섬유면에 평행한 속도의 크기가 변하는 특성에 의존하는 결과이다. 또한 Fig. 7-9에서 살펴보았던 속도분포에서 노즐간격이 40 mm일 때 섬유면에 평행한 속도성분의 분포가 균일하게 얻어졌지만 열전달 측면에서 10 mm인 경우가 열전달을 크게 하여 섬유구조에 유리함을 할 수 있다.

Fig. 13은 섬유면으로부터 출구높이의 1/4인 지점에서 횡방향 속도성분과 주유동방향 와도의 변화를 노즐형상변화에 따라 살펴본 결과이다. Case07 ~ Case14의 중앙집중형과 방사형 노즐에서 건조성능에 기여할 수 있는 2차 유동 성분이 크게 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 유동구조는 섬유에 충돌하는 섭동속도 성분과 주유동방향의 와유동 발달에 기여하는 것으로 생각된다. 따라서 수직형보다 중앙집중형과



(a) z-velocity



(b) Streamwise vorticity

Fig. 13 Spanwise velocity and streamwise vorticity

방사형 노즐에서 섬유건조에 유리한 난류유동이 발생하는 것으로 판단할 수 있다. 그렇지만 적절한 섬유건조 성능을 얻어내기 위해서는 평균유동의 균일성 또한 중요한 변수이기 때문에 노즐간격과 각도는 추후 상세한 연구를 통하여 결정되어질 필요가 있다.

Fig. 14은 노즐형상에 따른 혼합도를 나타낸 결과이다. Park and Chung[9]의 연구결과를 이용하여 얻어진 결과로서 혼합도가 1이 될 때 혼합이 잘 이루어진 것으로 생각할 수 있다. 수직형, 중앙집중형, 방사형 등 모든 형태의 노즐에서 노즐간격이 40 mm일 때 빠른 혼합을 유도되고 있다. 그렇지만 $x = 4$ 이후의 혼합도는 노즐형태에 큰 영향을 받지 않고 있다. 따라서 섬유건조기 설계에서 유동의 균일도가 일정수준 이상일 경우 속도균일도 보다 열전달계수의 차이를 기준으로 설계하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

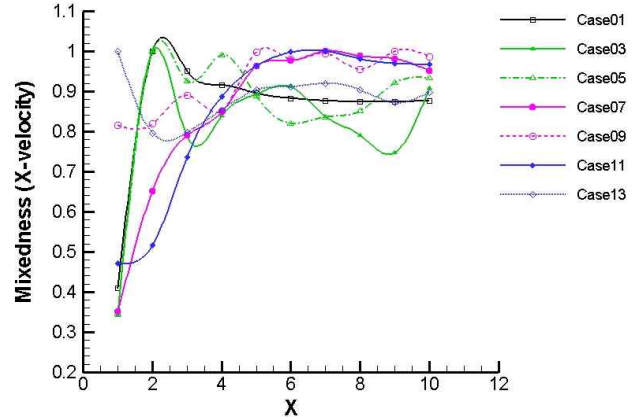


Fig. 14 Predicted mixedness

4. 결 론

섬유가공기의 노즐 각도 및 간격, 원단 투과율 조건을 변화하여 노즐의 유동특성을 살펴본 결과 노즐에서 토출되는 유체의 속도를 높게 하기 위해서는 노즐의 형상을 중앙집중형과 방사형의 조합된 형태로 선택하여 적용하는 것을 섬유가공기의 설계안으로 제시 할 수 있다.

건조기는 유체가 지나면서 상변화를 시키는 메커니즘이며, 유체의 진동이 더해져 건조 성능을 향상시킬 수 있다. 난류운동에너지 증가 및 2차 유동 크게 발생하는 중앙집중형과 방사형 노즐의 경우 섬유 건조를 위한 열전달을 증가시켜 건조 성능의 개선 효과가 있을 것으로 생각된다.

노즐의 형태에 따라 섬유면에 평행한 속도성분의 분포와 그에 따른 열전달 특성을 살펴보면 수직형보다 중앙집중형과 방사형에서 열전달계수가 큰 영역이 넓게 발생되고, 노즐의 간격이 좁은 경우에서 열전달계수가 크게 나타나고 있다.

혼합도를 통해 살펴본 균일성 측면에서는 노즐의 간격이 넓은 경우에서 빠른 혼합이 유도되고 있지만 일정 길이 방향이 지난 이후에는 노즐 형태에 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다.

이러한 결과를 토대로 다양한 섬유의 종류에 따라 노즐의 각도에 의해 국부적인 유속의 조절이 가능하고, 유속변화의 크기는 노즐의 간격을 조절하여 가능함을 알 수 있다. 또한, 균일한 유동분포가 일정 수준 이상일 경우 속도균일도 보다 열전달계수의 차이를 기준으로 사용하는 것이 건조기의 좋은 노즐 설계로 판단된다.

후 기

본 연구는 한전원자력연료주식회사의 지원을 받아 수행되

었습니다.

Note

This paper is a revised version of the paper "Flow Characteristics of Textile Machine According to Nozzle Angles of High Temperature Chamber" presented at the KSCFE 2015 Spring Annual meeting, Jeju, May 13-15, 2015.

References

- [1] 2012, Kim, Y.K. and Choi, H.J., "Structural design of the continuous tumbler textile machines," *Proc. of KSPE*, 12A, p.425.
- [2] 2011, Wan, L.C., "Investigate the dry and moist heat process for the design of industrial drying machinery for dye-houses," University of Hong Kong.
- [3] 2006, Hagh, A.K., "Transport phenomena in porous media: A review," *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, Vol.40(1), pp.14-26.
- [4] 2014, Ateeque, Md., Udayraj, R.K., Mishra, V.P. and Chandramohan, P.T., "Numerical modeling of convective drying of food with spatially dependent transfer coefficient in a turbulent flow field," *International Journal of Thermal Science*, Vol.78, pp.145-157.
- [5] 2002, Scharf, S., Cleve, E., Bach, E. and Schollmeyer, E., "Three-dimensional flow calculation in a textile dyeing process," *Textile Research Journal*, Vol.72(9), pp.783-788.
- [6] 1993, Yang, Z. and Shih, T.H., "New time scale based $k-\epsilon$ model for near-wall turbulence," *AIAA Journal*, Vol.31, pp.1191-1198.
- [7] Ansys Inc.(www.ansys.com)
- [8] 2014, Park, S.M. and Choi, H.J., "Flow analysis and experimental study on the dryer performance improvement of tumbler machine for manufacturing fiber," *Proc. of KSMPE*, p.8.
- [9] 2011, Park, T.S. and Chung, Y.M., "Turbulent flow and scalar mixing of a coaxial injector having two fluid jets," *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol.60, pp.197-211.