열 회수 시스템의 최적 설계를 위한 격자 및 경계 조건 검증에 관한 연구

이 동 균[1], 신 승 원[2*]

VALIDATION OF GRID AND BOUNDARY CONDITIONS FOR OPTIMAL DESIGN OF HEAT RECOVERY SYSTEM

D.G. Lee and S.W. Shin

In this study, we tried to validate FLUENT solver model and domain setting for the problem of convective heat transfer in multiple tube bank under transitional zone. We have paid special attention to verify proper boundary conditions and the grid convergence. Through validation work, it is found that unsteady solution method with two-dimensional simulation domain can produce reasonable accurate results compared with existing experimental data. Simulation results with steady solution generates relatively large error. We found that both steady and unsteady method for three-dimensional domain shows acceptable accuracy. Further parametric study for deriving correlation from transverse and longitudinal pitch is currently underway.

Keywords: 열 전달 계수(Heat Transfer Coefficient), 관 군(Tube Bank), 수치 해석(Numerical Analysis), 천이 유동(Transitional Flow), 주기 조건(Periodic Condition), 횡간(Transverse Pitch), 종간(Longitudinal Pitch)

1. 서 론

본 연구의 최종 목표는 열 회수 보일러의 효율적인 설계를 위해 불균일한 횡간 및 종간간격을 갖는 관군의 열전달 현상을 예측할 수 있는 상관관계를 밝히는 데 있다. 이를 위해 단일 실린더에 대한 검증된 관계식과 FLUENT 해석 모델을 광범위한 레이놀즈 영역에서 비교하였으며 그 중 천이 영역에서는 SST k-ω 모델로 해석한 결과가 가장 작은 오차를 갖는 것으로 확인되었다[1]. 따라서 본 연구에서는 이 해석 모델을 통해, 기존에 제시된 균일한 간격을 갖는 관군 열전달 상관관계식과의 검증을 추가로 수행하고 천이 영역에서 관군 열전달 해석에 효율적이고 정확한 결과를 갖는 격자 수준 및 경계 조건을 찾고자 한다.

1 정회원, 홍익대학교 대학원 기계공학과
2 정회원, 홍익대학교 기계시스템디자인공학과
* TEL : 02) 335-1633
* Corresponding author E-mail: ldg0308@gmail.com

해석 결과 2차원 모델에서는 과도(transient) 상태의 결과가 적정한 오차내의 값을 나타내었고 3차원 모델의 경우 정상상태와 과도 상태의 해석결과가 모두 적정한 오차 내에 존재함을 확인할 수 있었다. 이번 검증 과정에서 확인한 사항은 이후에 열 회수 모델과 같은 불균일한 간격을 갖는 관군 열전달 해석에 보다 정확히 적용되어 효율적인 설계 최적점을 찾는데 활용될 것이다.

2. 본 론

해석모델로는 단일 실린더의 천이 영역에 대해 적합성을 확인한 바 있는 SST 모델을 사용하였고 경계 조건은 Fig. 1과 같이 설정하였다. 실린더의 표면은 실린더 내부로 상변화 중인 물이 들어가는 점을 고려하여 373.15K의 온도를 균일하게 주었다. 입구영역에서 들어오는 공기의 유속과 온도 조건은 균일하게 주었으며 출구 영역의 경계 조건은 open condition으로 설정하였다.

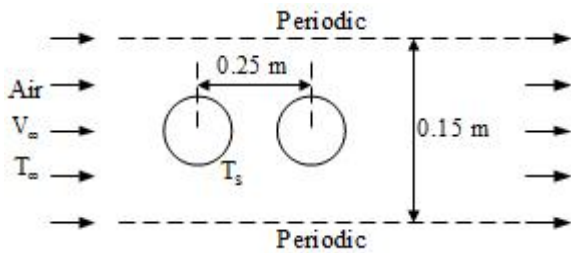

Fig. 1 Simulation geometry

관군 유동에 대한 해석이므로 윗면과 아랫면은 주기 조건으로 설정하였다. 3차원 해석 모델의 경우 좌우 벽면의 간격은 유동에 영향을 받지 않도록 직경의 5배 정도로 설정하였고 윗면과 아랫면은 2차원 모델과 같이 주기조건을 갖도록 하였다. 지배 방정식으로는 비압축성 유체에 대한 연속, 운동량, 에너지 방정식을 사용하였으며 2차원 해석에서는 사각 격자, 3차원 해석에서는 육면체 격자를 사용하여 계산하였다. 또한 2차원 모델과 3차원 모델 모두 정상 상태와 과도 상태에서 계산을 수행하여 결과를 확인하였다.

격자 수렴성은 2차원 모델에 대해 과도 상태에서 확인하였으며 Table. 1에 나타난 것과 같이 500,000 개 정도의 격자 개수부터 일정한 값에 수렴함을 알 수 있었고 정상 상태에서의 격자 수렴성은 확인할 수 없었다. 또한 관 사이에 격자를 집중시켜야 정확한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 Zhukauskas가 제시한, 레이놀즈 수에 따른 Nu 수의 관계식(식 (1))을 검증 대상으로 사용하였다[2].

$$\overline{N_D} = C Re_{D,\max}^{m} \Pr^{0.36} \left(\frac{\Pr}{\Pr_s}\right)^{1/4} \quad (1)$$
$$\begin{bmatrix} 0.7 < \Pr < 500 \\ 1000 < Re_{D,\max} < 2\times 10^6 \end{bmatrix}$$

수렴시킨 격자에 대해 진행한 계산 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 2차원 모델의 경우 정상 상태 계산에서는 경향을 찾을 수 없었으나 과도 상태에서는 Zhukauskas의 관계식과 10% 이내의 차이를 보이며 비슷한 경향을 갖는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 3차원 모델의 정상 및 과도 상태 계산 결과와 매우 유사함을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 불균일한 간격을 갖는 관군 열전달에 대한 정확한 해석을 위해 이전의 연구에서 검증한 FLUENT 해석 모델로 천이 영역에서 적절한 오차를 갖는 격자 및 경계 조건에 대한 검증 작업을 수행하였다. 검증 과정은 격자 수렴성과 경계 조건, 유동의 상태에 따라 2차원과 3차원 모델에 대해 수행하였고 그 결과 적정한 수준의 오차를 갖는 조건을 찾을 수 있었다. 본 연구의 목적인, 열 회수 시스템에서 횡간 및 종간이 열전달에 미치는 영향을 확인하기 위해서는 여러 간격을 갖는 경우에 대한 수치 해석 과정이 추가적으로 필요하며 현재 이러한 검증 과정이 진행 중이다.

Table. 1 Test for grid convergence (2D unsteady)

Grid resolution	Nusselt number
117,000	256.97
291,000	250.73
368,000	244.57
469,000	222.39
628,000	221.53
808,000	220.16

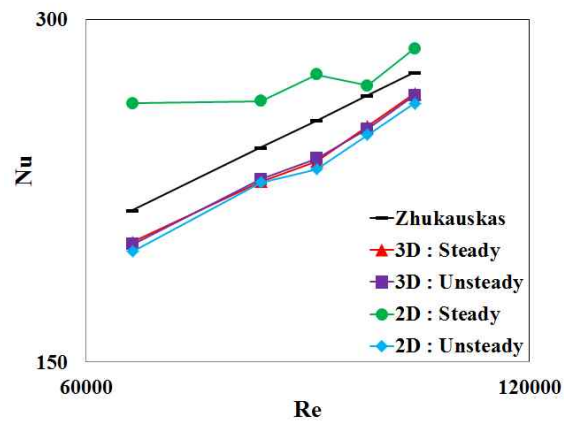

Fig. 2 Comparison of numerical results with experimental correlation

참고문헌

[1] 2010, 이동균, 신승원, “열 회수 시스템의 최적 설계를 위한 수치 해석 모델 검증에 관한 연구”, *한국전산유체공학회 추계학술대회*

[2] 1987, Zhukauskas. A., "Heat Transfer from Tubes in Cross Flow", *Advances in Heat Transfer*, Vol.18, pp.87-159