복합 열전달 해석에서 유한요소 해와 Ansys-Fluent 해의 비교

전병진¹, 최형권^{2*}, 이동현³, 하종백³

COMPARISON OF FINITE ELEMENT SOLUTIONS WITH THOSE OF ANSYS-FLUENT IN A CONJUGATE HEAT TRANSFER PROBLEM

B.J. Jeon, H.G. Choi, D.H. Lee and J.P. Ha

In this paper, a conjugate heat transfer around cylinder with heat generation was investigated. Both forced convection and conduction was considered in the present finite element simulation. A finite element formulation based on SIMPLE type algorithm was adopted for the solution of the incompressible Navier-Stokes equations. We compared the finite element solution with that of Ansys fluent 12.0, in which finite volume method was employed for spatial discretization. It was found that the finite element method gave more accurate solution than Ansys fluent 12.0. Further, it was found that the maximum temperature inside cylinder is positioned at the rear side due to the flow separation.

Keywords: 전산유체역학(CFD), 유한요소법(Finite element method), 복합 열전달(Conjugate heat transfer)

1. 서 론

복합열전달은 고체에 의한 전도와 유체에 의한 대류의 상호작용을 포함하는 열전달을 의미한다. 유체 영역의 대류 방정식과 고체 물체의 전도 방정식이 연계 되어있는 복합 열전달 문제는 수치적인 해석의 복잡성과 어려움으로 인하여 비교적 최근에 몇몇 연구자들에 의해서 수치적인 해석이 시도되었으나, 비교적 단순한 형상을 가지는 문제의 해석에 제한되어 있다. 복합열전달은 자연대류에 의한 열전달과 강제대류에 의한 열전달로 분류할 수 있다. 안영규[1] 등은 유한요소법을 이용하여 열원이 존재하는 공동내의 유동장 및 온도장의 특성에 대해 연구하였다. G. Jilani et al[2]은 열이 발생하는 수직 실린더가 존재할 때, 강제대류에 의한 복합 열전달문제를 연구하였다. 다양한 변수에 대한 수직 실린더와 주위의 온도 및 열전달 특성을 유한차분법을 이용하여 해석하였다.

본 연구에서는 SIMPLE[3] 알고리즘을 기반으로 하여 Choi 와 Yoo[4]에 의해 개발된 분리 유한요소 코드를 확장하여 실린더 내부에 열원이 존재하는 경우의 복합 열전달 문제를 해석하였다.

2. 수치해석 방법

본 연구에서는 Choi와 Yoo[4]에 의해 제안된 분리유한요소 알고리즘을 확장하여 복합 열전달 문제를 해석하는 코드를 개발한다. 지배 방정식은 2차원 비압축성 Navier-Stokes 방정 식, 연속 방정식과 에너지 방정식으로 다음과 같이 표시된다.

연속방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \qquad \text{on } \Omega_f \tag{1}$$

운동량 방정식

x ਖ਼ੀ-ੋਲੋ:
$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x}\frac{1}{\rho} + v\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)$$
y ਖ਼ੀ-ੋਲੋ: $u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y}\frac{1}{\rho} + v\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$
on Ω_f (2)

¹ 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과

² 정회원, 서울과학기술대학교 기계공학과

³ 비회원, 한국지엠(주)

^{*} TEL: 02)970-6312

^{*} Corresponding author E-mail: hgchoi@seoultech.ac.kr

에너지 방정식

$$\begin{split} &\rho c_p \bigg(u \frac{\partial \, T}{\partial x} + v \frac{\partial \, T}{\partial y} \bigg) = k \bigg(\frac{\partial^{\, 2} \, T}{\partial x^{\, 2}} + \frac{\partial^{\, 2} \, T}{\partial y^{\, 2}} \bigg) \quad \text{on} \quad \Omega_f \qquad \text{(3)} \\ &0 = k \bigg(\frac{\partial^{\, 2} \, T}{\partial x^{\, 2}} + \frac{\partial^{\, 2} \, T}{\partial y^{\, 2}} \bigg) + \dot{S} \qquad \qquad \text{on} \quad \Omega_s \end{split}$$

여기서, ρ 는 밀도, c_p 는 비열, k는 전도 열전달 계수를 나타낸다. 그림. 1은 본 연구의 수치해석 개략도를 나타낸다. 본 연구에서는 레이놀즈 수가 40일 때의 유동장에 대해서 수치해석을 수행하였으며, 에너지 방정식의 조건으로 유입되는 유체의 온도는 298K이고, 실린더 내부에는 $1000\,W/m^3$ 의 열원이 주어졌다.

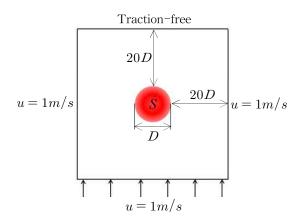


Fig. 1 Schematic of conjugate heat transfer

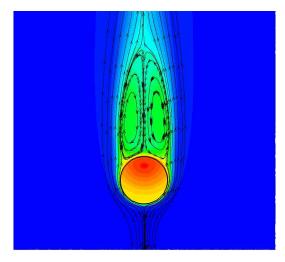


Fig. 2 Temperature field and streamline around a cylinder

3. 수치해석 결과

본 연구에서는 실린더 내부에 열원이 존재하는 경우, 전도와 대류가 결합된 복합 열전달 문제를 유한요소법을 사용하여 직접 해석하고, 실린더 내부 및 외부의 온도 분포에 대해고찰하였다. 그리고 유한요소법에 의한 해는 유한체적법을 기반으로 하는 상용 수치해석 프로그램 Ansys Fluent 12.0의 결과와 비교하였다. Fig. 2는 실린더 내부 및 외부에서의 온도장과 유선을 나타낸 그림이다. 실린더 주변의 유체는 열원을 포함하는 고체의 영향에 의해 온도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 또한 차가운 유체의 강제 대류에 의해 실린더 앞부분은온도가 상대적으로 낮아지고 실린더 뒷부분에서 최고 온도(322.05K)가 나타나는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 Ansys Fluent 12.0에서 계산된 실린더 내부의 최고 온도와 유한요소법에서 계산된 최고 온도를 정량적으로 비교하였다.

후 기

본 연구는 2010년도 한국지엠주식회사의 산학협동연구개발 사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고문헌

- [1] 2009, Ahn, Y.K., Choi, H.G. and Yong, H.T., "A finite element analysis of conjugate heat transfer inside a cavity with a heat generating conducting body," Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol.33, pp.170-177.
- [2] 2002, Jilani, G., Jayaraj, S. and Ahmad, M.A., "Conjugate Forced Convection-conduction heat transfer analysis of a heat generating verical cylinder," Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol.45, pp.331-341.
- [3] 1980, Shuas, V.P., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Numerical Heat Transfer, McGRAW-HILL.
- [4] 1994, Choi, H.G. and Yoo, J.Y., "Streamline Upwind Scheme for the Segregated Formulation of the Navier-Stokes Equation," Int. J. Numerical Heat Transfer, Vol.25, pp.145-161.