

유동분배관에 의한 원통-다관형 열교환기의 성능 특성에 관한 수치해석적 연구(I) : 유동특성

박영민,¹ 정희택,^{*2} 김형범²

¹경상대학교 대학원

²경상대학교 기계공학부 및 항공기부품기술연구소

NUMERICAL STUDY ON THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER BY FLOW DISTRIBUTORS : PART(I) FLOW CHARACTERISTICS

Y.M. Park,¹ H.T. Chung^{*2} and H.B. Kim²

¹Graduate School, Gyeongsang Nat'l Univ.

²School of Mechanical Engineering & Research Center for Aircraft Parts Technology, Gyeongsang Nat'l Univ.

The flow pattern inside the inlet chamber of the tube side is one of the key parameters influencing on the performances of the shell-and-tube type of heat exchangers(STHE). In order to improve the flow distribution, the baffle shaped as the porous plate is installed in the inlet chambers. In the present study, numerical simulation has been performed to investigate the flow features of the tube side of the STHE in sense of the hydraulic performances. The flow fields have been analysed by the three-dimensional Navier-Stokes solvers with the proper turbulent models. Computational domain is ranged in the whole of the tube side of the STHE. The numerical results showed that the presence of the baffles improves the redistribution of the flow injecting to the tube bundles. The good agreements of the numerical results with the experimental results of PIV measurements have been shown for the validation of the numerical methods adopted in the present papers.

Key Words : 수치모사(Numerical Simulation), 유동분배(Flow Distribution), 배플(Baffles), 수력 성능(Hydraulic Performance), 원통-다관형 열교환기(Shell and Tube Heat Exchanger)

1. 서 론

원통-다관형 열교환기는 발전 플랜트, 원유 정제 프로세스 등 산업 설비의 전열 장치로 광범위하게 사용되고 있다. 열교환기 설계에서는 유동의 균일성을 가정하거나 다수의 전열관과 유동이 모이는 헤더의 형상 등에 의한 유동의 불균일성은 열교환기의 유동장 형태와 전열 특성에 영향을 준다[1].

유동 특성에 대한 연구는 원통측과 다관측으로 나눌 수 있다. 전열 성능은 원통측이 관내보다 더 큰 영향을 주어 원통측 유량의 균일 분배와 성능 향상에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔고 설계에 좋은 성과를 나타내고 있다[2-5].

다관측 유동을 균일하게 하기 위해서 입구부에 다공성의 배플(Baffle)을 유동 분배관으로 설치하는 경우가 있다. 판-핀형 열교환기에 대해서는 유량의 분배 성능이 크게 증가한다고 보고되었다[6,7]. Wang et al.[8]은 원통-다관형 열교환기에 설치하여 실험과 수치해석 연구를 비교하였다.

본 연구에서는 원통-다관형 열교환기의 다관측 입구부에 유동 배분관을 설치하여 이에 대한 성능 특성을 수치해석적으로 연구하여 설계에 필요한 자료를 제공하고자 한다. 연구의 첫 단계로 유동장 특성을 분석하여 수력학적 성능을 예측하고자 한다.

2. 적용 모델과 수치 기법

본 연구의 적용 대상은 Wang et al.[8]의 실험장치를 대상으로 하였다. 관은 직경이 10 mm이고 길이가 350 mm이며 총 148개이다. 입·출구부는 직경이 300 mm인 반원형이며 80 mm

Received: June 5, 2014, Revised: September 12, 2014,

Accepted: September 12, 2014.

* Corresponding author, E-mail: htchung@gnu.ac.kr

DOI <http://dx.doi.org/10.6112/ksce.2014.19.3.020>

© KSCFE 2014

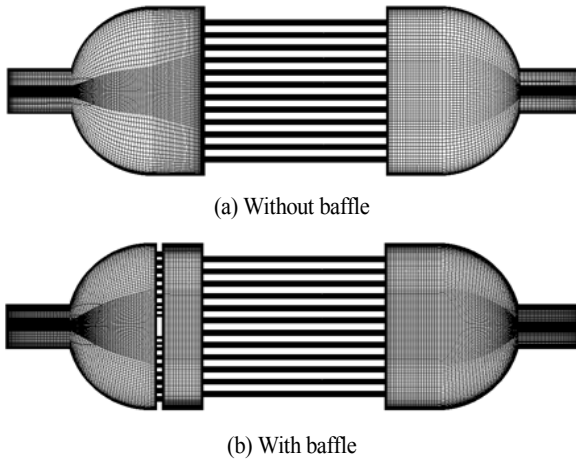


Fig. 1 Computational meshes for two models

의 노즐로 배관과 연결되어 있다. 유동분배판은 반경 방향으로 5, 8, 10 mm의 직경을 가진 다공성 배플 형상으로 다공도는 28.6%이다. Fig. 1은 본 연구의 수치해석에 사용된 계산 격자점으로 적용 모델의 형상을 알 수 있다. 작동 유체는 물이고 유량은 100LPM이다. 노즐을 기준으로 한 Reynolds 수는 8.8×10^4 이다. 배플이 있는 경우와 없는 경우를 비교하여 유동분배판에 의한 수력학적 성능 특성을 분석하고자 한다.

본 연구의 관심 대상은 다관측 유동으로, 입구 노즐에서 출구 노즐 까지를 해석 영역으로 선정하였다. 정상상태의 3차원 비압축성 유동장(RANS-3D) 해석을 위해서 상용 소프트웨어인 ANSYS-CFX를 사용하였다[9]. 난류 특성은 표준 $k-\epsilon$ 모델을 채택하였다. 계산 영역을 줄이고 유동 특성을 잘 반영하는 정구 격자형을 채택하였다. 배플이 없는 경우는 약 4백만개, 있는 경우는 약 5백만개의 격자점이 소요되었다. 약 1000번의 반복 계산 후 0.01%의 오차범위 내에서 총질량보존성이 유지되었다.

3. 해석 결과

본 연구에서 채택한 수치기법의 타당성을 검증하기 위해서 Wang et al.[8]의 PIV에 의한 실험결과와 비교하였다. 입구에서의 유동형태를 Fig. 2의 배플이 없는 경우, Fig. 3의 배플이 있는 경우에 대하여 각각 도시 하였다. 입구부와 관 입구의 상부에 형성되는 와류가 배플에 의해 크기가 감소됨을 발견할 수 있다.

Fig. 4는 입구부에서 반경방향의 유량 분포를 도시한 것이다. 축 방향 위치는 배플과 다관 입구의 중간 지점이다. 유동분배판에 의해 유량은 이론값에 보다 더 접근함을 알 수 있

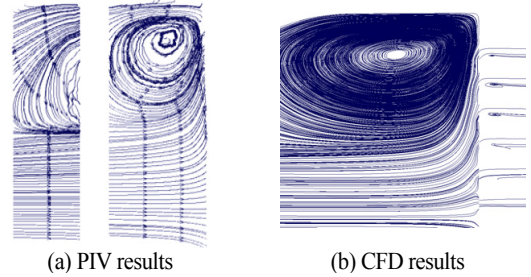


Fig. 2 Streamlines on perpendicular planes without baffles

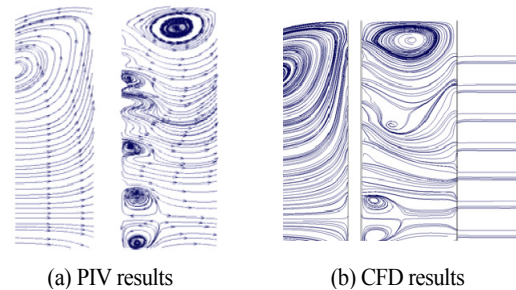


Fig. 3 Streamlines on perpendicular planes with baffles

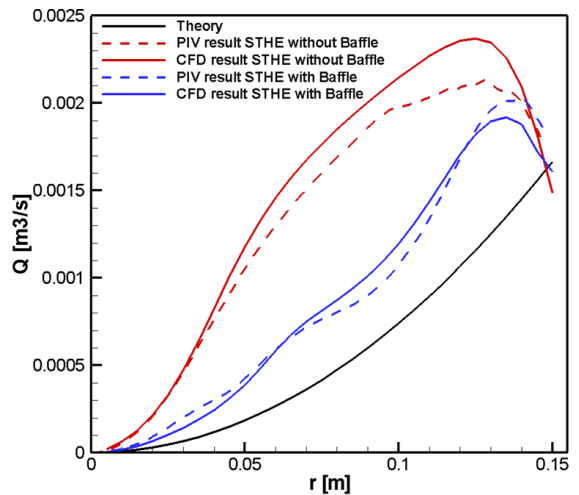
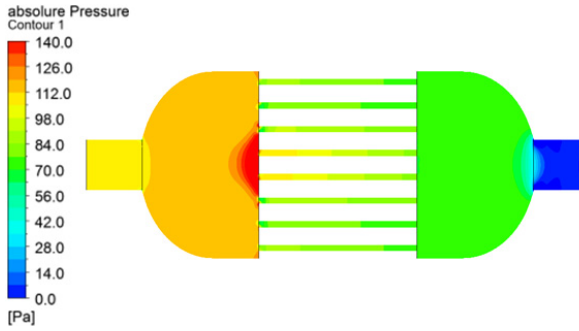
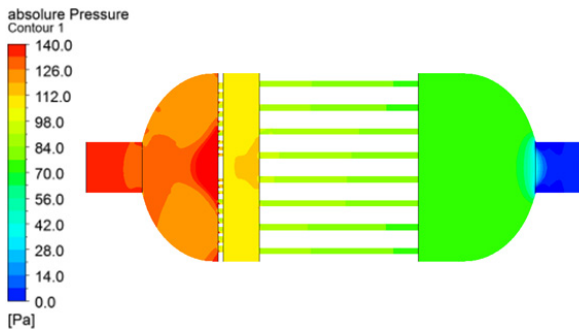


Fig. 4 Comparison of the accumulative flow rates with two models

다. 또한, 수치 해석 결과는 실험값과 전반적으로 일치하였다. 정압 분포는 수력 성능을 예측하는 주요한 물성치 이다. 배플에 의한 정압 분포의 변화를 Fig. 5에서 알 수 있다. 유동분배판이 없는 경우에는 입구 노즐에서 형성된 체트류가 다관측 입구 중앙에 충돌하여 강한 정체류가 형성되어 이 부근에서 최대의 정압을 나타낸다. 따라서 관 입출구의 압력차이



(a) Without baffle



(b) With baffle

Fig. 5 Distribution of static pressures on perpendicular planes

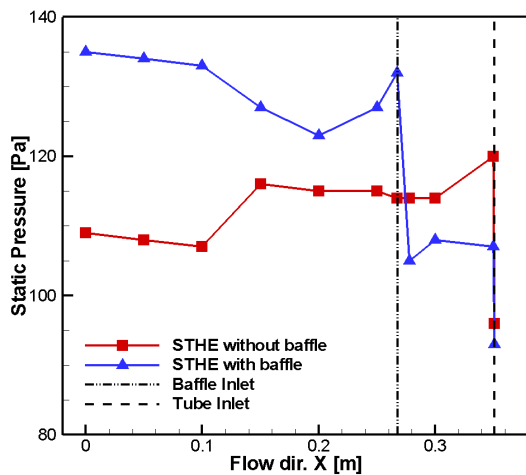


Fig. 6 Variation of averaged static pressures along the axial direction in the inlet chamber

도 최대이므로 중앙부의 관에 상대적으로 많은 양의 유량이 배분된다. 배플을 설치하면 배플 후반부에는 압력이 균일화하여 관 속으로 흐르는 유량의 불균일은 개선된다. 이는 Fig. 6

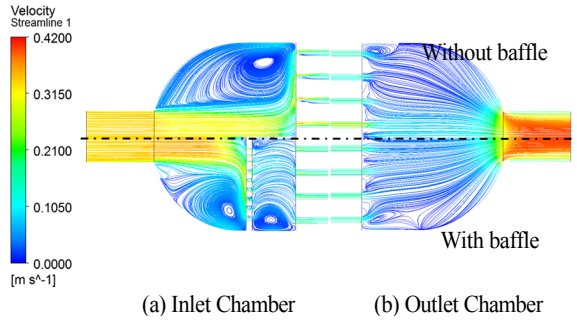


Fig. 7 Comparison of flow patterns on perpendicular planes

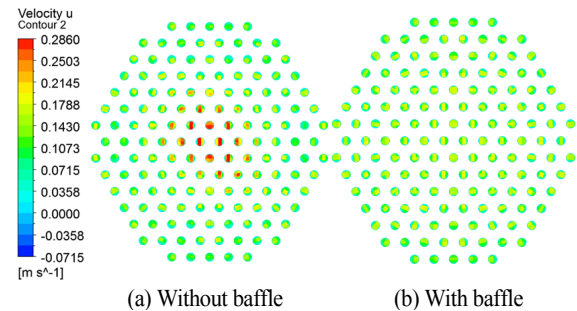


Fig. 8 Axial velocity at the entrance of tube holes

의 입구부에서 축 방향으로 정압의 변화에서도 알 수 있다.

Table 1은 압력 강하를 요약한 것이다. 배플에 의한 압력 강하는 약 29Pa이나 유동의 균일화로 관내의 압력강하는 배플이 있는 경우가 없는 경우보다 3Pa 적어 총 압력강하는 26Pa로 예측되었다. 이는 전체 압력강하 135Pa의 약 20%를 차지한다.

Fig. 7은 유동분배판에 의한 유동 형태의 변화를 도시한 것이다. 배플이 없는 경우에는 입구부에서 하나의 큰 와류가 형성되고 관 중앙부에서 유속이 빠르다. 배플의 설치로 이 와류는 2개로 나누어지고 관 입구에도 비교적 균일한 유속이 형성됨을 알 수 있다. Fig. 8은 관 입구에서의 축 방향 유속을 도시한 것이다. 균일 분포인 경우 이론적 평균 유속은 0.14 m/s이다. 유동분배판이 없는 경우 중앙부의 관에서는 평균 유속의 2배 이상인 경우가 많이 발견되나 유동분배판이 있는 경우에는 유속의 변화가 비교적 적다.

다관부는 직경이 10 mm인 원형관 148개가 직경이 300 mm

Table 1 Summaries of pressure drop

[unit:Pa]

Location Case	Inlet Chamber	Tube side	Outlet Chamber	Total
Without Baffle	13	19	77	109
With Baffle	42	16	77	135

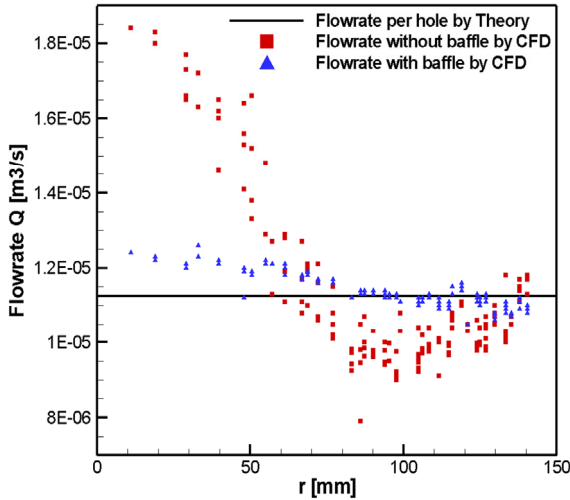


Fig. 9 Variation of flow rates along the radial direction

인 원관에 배열되었다. 각 관에 들어가는 유량을 원관 직경에 따라 나타내어 Fig. 9의 결과를 얻었다. Fig. 8의 결과에서 예측할 수 있듯이 배플의 설치로 관 입구의 압력이 균일하게 되어 관 내부로 들어가는 유량의 차이는 매우 감소됨을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수치해석적 기법을 통해 원통-다관형 열교환기의 다관측 입구부에 설치된 유동배분관의 영향을 유동 특성의 관점에서 해석하였다

배플의 설치로 배플 후반부에 중앙부의 정체 압력을 반경 방향으로 재분배시켜 관측 입구부의 압력을 균일화 시키는 결과를 주었다. 이에 의해 다관의 입출구의 압력차의 편차를 줄여 주어서 유량의 균일 분배가 개선되었다.

본 연구의 결과에 관의 직경이나 길이 등 주요 변수에 대한 연구를 보완하면 원통-다관형 열교환기의 성능 향상을 위한 정량적인 자료로 활용할 수 있으리라 기대된다.

후 기

본 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한

국연구재단의 대학중점연구소 지원 사업 (2012-048078)과 기초연구사업 (2013-008918), 부산특구연구개발사업의 LNG선용 2 stage MSF형 증발식 담수장치 상용화 과제의 지원을 받았 습니다. 박영민 군은 BK21플러스 차세대 기계항공사업단의 참여 대학원생입니다.

References

- [1] 1988, Mueller, A.C. and Chiou, J.P., "Review of Various Types of Flow Maldistribution in heat Exchangers," *Heat Transfer Engineering*, Vol.9, No.2, pp.36-50.
- [2] 1995, Saffar Avval, M. and Damangir, E., "A general correlation for determining optimum baffle spacing for all types of shell and tube exchangers," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.38, pp2501-2506.
- [3] 1997, Gaddis, Edward S. and Gnielinski, Volker., "Pressure drop on the shell side of shell-and-tube heat exchangers with segmental baffle," *Chemical Engineering and Processing*, Vol.36, pp149-159.
- [4] 1997, Gaddis, E.S. and Gnielinski, V., "Pressure Drop on The Shell Side of Shell-and-Tube Heat Exchangers with Segmental Baffle," *Chem. Eng. and Proc.*, Vol.36, pp149-159.
- [5] 1999, Li, H. and Kottke, V., "Analysis of Local Shell side Heat and Mass Transfer in the Shell-and-Tube Heat Exchanger with Disc-and-Doughnut Baffles," *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol.42, pp3509-3521.
- [6] 2006, Wen, J., Li, Y., Zhou, A. and Zhang, K., "An Experimental and Numerical Investigation of Flow Patterns in the Entrance of Plate-Fin Heat Exchanger," *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol.49, pp1667-1678.
- [7] 2004, Wen, J. and Li, Y., "Study of Flow Distribution and Its Improvement on The Header of Plate-Fin Heat Exchanger," *Cryogenics*, Vol.44, pp823-841.
- [8] 2013, Wang, Kai., Tu, Xinchun. and Kim, H., "CFD Simulaion and PIV measurement of a shell and tube heat exchanger," *PFVIP-9*, Busan, Korea, pp398-401.
- [9] 2007, "CFX User's Guide," ANSYS Inc.,