◎ 총 설

DOI: https://doi.org/10.5293/kfma.2023.26.2.085
ISSN (Print): 2287-9706

2022년 CFD 분야 연구동향

박성군* · 김정현

1. 서 론

많은 연구자들은 다양한 분야에서 발생하는 유동이 시스템 효율에 미치는 영향을 체계적으로 분석하기 위해 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 활용해왔다. 컴퓨터 성능의 향상과 수치해석 기법의 고도화에 의해 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 발전기, 열교환기, 배터리팩, 유체기계 등 다양한 분야에서 설계변수 최적화를 통해 시스템 효율 증가에 크게 기여하였다. 본 특집에서는 2022년도 한국유체기계학회에서 발표된 논문 중 CFD 분야에 속한 논문 10편의 연구내용을 정리하고 최근 연구 동향을 파악하고자 한다.

2. CFD 분야 연구 동향

이준용[1] 등은 230 kW 급 풍력터빈의 발전기 내부 열유동해석을 통한 내부 온도 특성을 분석하였으며 공극 부분에 공기를 공급하고 순환시킬 수 있는 공기 유동 발생 구조물과 공기 공급홀(Air Hole)을 적용하여 기존 발전기의 공극 부분 및 영구자석의 온도 상승을 제한하고자 하였다. 230 kW 급 발전기 내부 열유동해석을 위해 전자기장 해석 소프트웨어 ANSYS Maxwell을 이용하였으며, 난류모델은 k-omega SST를 사용하였다. 공랭식 공기공급홀 적용 위치에 따른 발전기 내부 발열부품들의 온도 특성을 분석하였다. 공기 공급홀의 개수가 0~6개로 증가함에 따라 공기유량이 증가하며 주요 부품들의 온도가 점차적으로 낮아졌다. 반면 공기 공급홀의 개수가 6개 보다 많아지는 경우 공기유량이 높아짐에도 순환 공기가 충분히 냉각되지 못하여 냉각 효율이 상승하지 않았다. 홀의 수가 6개일 때 냉각효과가 가장 좋았으며 영구자석의 최고 온도차가 6.5 ℃로 확인되었다.

이남경[2]등은 가스터빈의 균일한 냉각유동분배를 통한 효율 향상을 위해 터빈 케이싱 벨마우스의 형상 최적화를 수행하였다. 다수의 설계변수를 정의하고 특성별로 분류하는 단계별 최적화 기법을 사용하였으며 최종 최적 형상을 실험결과와 비교 검증하였다. 수치해석을 위해 상용 소프트웨어 ANSYS Fluent 2019 R2를 사용하였으며 k-omega SST 난류모델을 채택하였다. 최종적으로 도출된 최적형상의 압력강하는 기준형상 대비 9 % 개선되었고 유동 균일도의 표준편차는 5.2 % 개선되었다.

윤종웅[3] 등은 송풍기 유동박리 지연과 내부유동 안정화 및 공력 성능의 향상을 위해 익형 임펠러 전단에 슬랫-슬롯 형상을 제안하였으며 특정 식으로 정의되는 유량계수를 이용하여 참고 모델[4]과 비교 분석하였다. 수치해석은 상용 소프트웨어 ANSYS CFX를 사용하였으며 각 경계면에는 회전 기계의 유동해석에 적용되는 Moving Reference Frame(MRF) 기법을 적용하고, 난류모델로는 SST 모델을 채택하였다. 슬랫-슬롯 임펠러 성능에 영향을 미치는 주된 요인은 슬롯 간격임을 밝혔으며, 형상 변수가 최적값일 때 참고 모델보다 입출구에서의 전압 차이가 커짐을 보였다. 또한 특정 유량계수의 값에서 참고 모델은 윤동 분리가 확인된 반면 슬랫-슬롯 모델에서는 선회류가 소멸 혹은 감소되어 유동의 분리를 지연시킴을 확인하였다.

강승환[5] 등은 오픈소스 CFD 코드 중 OpenFOAM이 가스터빈 유체해석을 위한 수치해석 도구로 적절한지 검증하였으며 해석 대상으로 한국항공우주연구연에서 개발한 무냉각 터빈을 선정하였다. foam-extend -4.1 버전 중 *steayUniversalMRFFoam* 솔버를 터빈 1단 스테이터-로터에 적용 시 여러 변수가 접촉면에서 해석이 잘 진행되는지 확인하였으며 k-omega SST 난류모델을 사용하였다. 터보유체기계의 해석을 위해 접촉면에서 로탈피 점프가 고려되어야 하지만 *steayUniversalMRFFoam* 솔버의 기본 코드에서 이와 관련된 변수가 누락되어 있어 코드를 수정하였다. 해석 결과를 상용코드인 CFX 해석 결과와 비교 시 유동 및 압력에 대하여 1 % 이내의 오차를 가지는 반면 벽면 평균 온도에서는 약 10 % 정도의 차이를 보였다. 로탈피를 계산하는 iEgn.H 파일의 점성가열 항과 로탈피 경계조건에 의해 날개 표면에서의 온도가 비교 케이스보다 높게 계산되는 것으로 추정된다.

이영균[6] 등은 선행연구[7]를 통해 제안된 유인드론용 동축

* 서울과학기술대학교 기계자동차공학과(Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology)
E-mail : psg@seoultech.ac.kr

반전 생체모방 프로펠러 모델을 바탕으로 실제 추력 실험을 통해 측정된 데이터와 CFD 정상해석결과를 비교하여 수치해석 정밀도를 검증하였다. 유동해석을 위해 상용 소프트웨어 ANSYS CFX 19.0을 활용하였다. 정상상태 유동해석을 위해 난류모델로 k-omega SST 모델을 선정하였으며 비정상 유동계산 난류모델은 Smagorinsky LES 모델을 채용했다. 소음 해석을 수행하기 위해 공학용 소프트웨어 Matlab R2021a를 기반으로 Ffowcs Williams-Hawkings 방정식을 구현하여 실시간 음압을 관찰하였다. 동축반전 프로펠러가 서로 반대 방향으로 회전함에 따라 하류에서의 높은 음압 레벨 지역은 하류 프로펠러와 동일한 방향으로 회전하는 것을 확인하여 하류 프로펠러 날개 위의 양력이 하류 주 음압 레벨 분포 변화의 주요 요인임을 보였으며, 상류 프로펠러의 회전으로 생선된 익단 와동과 후류 와동이 하류 프로펠러의 날개 전단으로 유입시 비정상 하중 소음원으로 작용함을 보였다. 두 프로펠러가 회전할 때 발생하는 최고 음압 레벨과 간섭 없이 상류 프로펠러만 회전할 때 발생하는 최고 음압 레벨에서 약 9.8 dB의 차이가 발생하였으며 프로펠러간 상호작용을 통해 6.8 dB의 추가 소음이 있음을 확인했다.

송지훈[8] 등은 수치해석을 이용해 라디에이터 방열성능과 소음을 동시에 고려한 덕트 형상을 반응 표면을 통해 분석하고 최적화하였다. 소프트웨어 ANSYS FLUENT를 사용하여 수치해석을 수행하였으며 난류모델로 k-omega SST 모델을 채택하였다. 정상상태 기반 유동해석을 활용하여 음압 변동을 계산 후 목적함수로 사용하였으며 라디에이터 방열 성능을 비교하기 위해 *Nu* 수를 사용하였다. 수치해석을 통해 휀의 최적설계가 도출되었으며 기존 모델과 비교하여 *Nu* 수가 약 2.54 % 향상되었고 소음 또한 청취자 위치에 따라 최소 약 0.023 dB에서 최대 약 2.148 dB 감소됨을 보였다.

오영택[9] 등은 수치해석을 통해 곡면 델타 윙렛 와류방생기가 핀 휜 냉각유로의 전열 특성에 미치는 영향을 확인하였다. 상용 소프트웨어 ANSYS Fluent 18.0을 이용하였으며 난류모델로 k-omega SST 모델을 채택하였다. 와류발생기가 한쪽 끝벽에 설치된 경우와 양쪽 끝벽에 설치된 경우를 각각 Case1, 2로 정의하였으며 레이놀즈 수 10000, 20000, 30000에 대해 해석을 수행하였다. 와류발생기가 핀의 상류에 부착될 경우 핀과 와류발생기에서 생성된 와류들이 뒤섞여 혼합 와류를 형성함을 확인하였다. 혼합 와류의 영향으로 핀의 후류 박리영역의 크기가 감소하고 시스템 전반의 압력 손실이 감소하였으며 압력 손실 감소 효과는 레이놀즈수가 클수록 강함을 보였다. 와류발생기가 있는 시스템의 경우 유로 전반의 전열이 소폭 상승하였으며 특히 핀의 전열 성능이 크게 향상되었다. Case1과 Case2의 전체 평균 *Nu* 수와 마찰인자는 정량적으로 크게 차이나지 않았으며 공통적으로 레이놀즈 수가 높을수록 높은 열 성능 팩터를 보였다.

서진혁[10] 등은 기존의 많은 시간이 소요되는 히트파이프의 작동유체 탈기 및 주입 과정을 대체할 수 있는 유도가열 방법을 제시하여 작동유체 주입 시간을 단축하고자 하였으며 이를 검토하기 위해 수치해석 및 실험을 실시하였다. 수치해석을 위해 다중물리 유한요소해석이 가능하고 유도가열 해석 툴을 내재한 COMSOL® Multiphysics를 사용하였다. 수치해석과 실험에서 도출된 데이터는 유사한 경향을 보였으며 7%의 오차를 보였다. 수치해석을 기반으로 선정된 최적설계를 바탕으로 유도가열을 이용하여 히트파이프를 제작하였으며 제작 시간을 최대 81배 단축하면서 기존과 동등한 수준의 열저항을 갖는 히트파이프를 제작할 수 있었다.

신용한[11] 등은 직방형 공동 외부 연구자석 배열이 공동 내 자성나노유체 자연대류 열유동 특성에 미치는 영향에 대해 수치적 실험을 수행하였다. 영구자석이 없는 기준 모델과 영구자석이 있는 6개 경우를 비교하기위해 유한요소법 기반 수치해석 툴 COMSOL Multiphysics를 이용해 수치해석을 수행하였으며 Boussinesq 근사를 통해 자연대류를 모사하였다. 수치해석결과 자석의 배열에 의해 시스템의 열전달이 향상됨을 확인하였으며 기준 모델과 비교하여 평균 *Nu* 수가 9.6 % 증가하였다.

현승봉[12] 등은 3차원 수치해석을 이용해 배터리팩 상부 커버의 유출홀과 직사각형 핀의 치수 및 배열이 배터리팩 내부의 유동과 자연 대류 열전달에 주는 영향을 확인하였다. 3차원 수치해석을 위해 상용 소프트웨어 ANSYS Fluent 20.1을 사용하였으며 SIMPLEC 해석기법을 사용해 지배방정식을 이산화 하였다. 또한 압력은 Second-oder를, 운동량 및 에너지는 Second-order upwind를 사용하여 계산하였다. 유출홀을 설치한 배터리팩 상부 커버 형상에서 배터리 모듈과 배터리팩 상부커버 사이의 유동 속도가 증가되어 평균 열전달계수가 단순 배터리팩 상부 커버보다 8.6 % 향상되었다. 직사각형 핀의 경우 역시 배터리 모듈과 배터리 상부 커버 사이의 유속을 증가시켰으며 단순 배터리팩 상부 커버에 비해 4.4 % 높은 평균 열전달 계수를 보였다. 유출홀과 직사각형 핀이 모두 설치된 경우 단순 배터리팩 상부 커버와 비교해 열전달계수가 7.6 % 향상되었다.

3. 결 론

2022년도 한국유체기계학회에서 발표된 논문 중 CFD 분야의 논문 10편을 분석하여 연구동향을 살펴보았다. CFD 해석을 이용하여 발전기, 가스터빈, 프로펠러, 휀 덕트, 배터리팩 등 다양한 시스템에 대한 수치해석 연구가 수행되었으며, 각 분야의 최적설계를 도출하는데 기여하였다.

References

(1) Lee, J., Kim, M., Ahn, T., Choi, M., 2022, “Generator

Internal Thermal Flow Analysis of 230 kW-class Wind Turbine for Island-area Application", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 1, pp. 43-49

(2) Lee, N., Lee, J. S., Yang, J. S., Heo, J. H., Min, J. K., 2022, "Shape Optimization of the Bellmouth to Improve Flow Uniformity under High Reynolds Number with Non-aligned Inflow", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 1, pp. 26-35.

(3) Yoon, J. W., Kang, H. S., Kim, Y. J., 2022, "Effect of Impeller Configuration with Slat-Slot in the Flow Characteristics of a Fan", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 2, pp. 14-20.

(4) Kang, S. H., Hu, S., 1998, "Performance of NACA 65-810 Radial Airfoil Impellers", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 1, No. 1, pp. 24-31.

(5) Kang S. H., Chung, H., Kang, Y. S., Jun, S., Yoon, T. H., 2022, "Use of OpenFOAM for Numerical Simulation of Gas Turbine", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 2, pp. 29-37.

(6) Lee, Y. K., Yeom, T. Y., Lee, S., 2022, "A Study on Noise Analysis of Counter-Rotating Propellers for a Manned Drone", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 2, pp. 38-44.

(7) Kim, S. J., Yeom, T. Y., Lee, S., 2021, "A Study on Thrust Performance of Counter-Rotating Biomimetic Propeller System for a Manned Drone", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 1, pp. 41-46.

(8) Song, J. H., Kim, Y. J., 2022, "An Optimization Study on Radiator Fan Duct Considering Thermal-Acoustic Interaction", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 3, pp. 5-12.

(9) Oh, Y., Kim, H., Kim, K., 2022, "Improvement of Heat Transfer and Flow Characteristics of Pin Fin Arrays using Curved Delta Winglet Vortex Generators", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 3, pp. 28-37.

(10) Seo, J., H., Shin, D. H., Lee, J., 2022, "Study on Working Fluid Filling into Heat Pipe by Induction Heating", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 4, pp. 39-49.

(11) Shin, Y. H., Choi, Y. S., Kim, Y. J., 2022, "Effect of Permanent Magnet Arrangement on the Thermal-Flow Characteristics of Ferrofluid in a Rectangular Cavity", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 5, pp. 22-30.

(12) Hyun, S. B., Kim, S. M., 2022, "Numerical Study on Natural Convection Heat Transfer Characteristics inside Battery Pack of Electric Vehicle", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 6, pp. 19-27.