

2021년 CFD 분야 연구동향

박성균* · 임세환

1. 서 론

전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, 이하 CFD)을 이용한 수치 해석 연구는 엔진, 터빈, 압축기 등의 다양한 유체기계 분야에서 수행되고 있으며, 해당 산업의 공학적 문제를 진단하고 해결하는데 크게 기여해왔다. 또한 CFD 해석의 체계적인 설계변수 설정을 통해 설계 최적화를 도출하였다. 본 특집에서는 2021년도 한국유체기계학회에서 발표된 논문 중 CFD 분야에 속한 논문 9편의 연구내용을 정리하고 최근 연구 동향을 파악하고자 한다.

2. CFD 분야 연구 동향

정희윤⁽¹⁾ 등은 300N 급 마이크로 터보제트 엔진의 성능 해석을 수행하였으며, 엔진 구성품 간 매칭점을 찾는 서브루틴(sub-routine)을 개발하여 CFD 코드에 통합하였다. 성능 해석을 위해 ANSYS CFX를 이용하여 Reynolds-averaged Navier-Stokes(RANS) 타입의 난류모델 중 k-omega SST(Shear Stress Transport)모델을 적용해 정상상태(Steady-state)해석을 수행하였다. 발열량 예측을 위해 JetA Air WD1 연소 모델을 사용하였다. 각 구성품 간의 연결은 Stage(Mixing-Plane) Interface를 사용하였다. Stage Interface는 회전하는 도메인과 정지해 있는 도메인을 연결하는 방법으로, 회전하는 방향으로 평균된 값을 상류에서 하류로 전달해준다. 토크와 유량을 매칭하는 서브루틴으로 가스터빈 엔진의 주요 구성품인 압축기, 연소기, 터빈을 함께 계산할 수 있는 모델을 개발하였다.

김일진⁽²⁾ 등은 해양복합온도차발전(C-OTEC) 설비의 효과적인 가동을 위해 설치하는 증기 가이드 베인의 기하구조가 복수기 및 C-OTEC 설비에 미치는 영향에 대해 수치 계산을 수행하였다. Midas NFX를 이용하였으며, 정상 상태에서 SST 난류 모델을 적용하였다. 증기 가이드 베인의 직경이 증가함에 따라 복수기 상단부에서 압력 불균형의 정도가 증가하였으며, 복수기 내부의 유동이 증기 가이드 베인이 설치되지 않은 곳으로 치우치는 현상이 발생하였다. 또한, 복수

기 상단부에서의 압력 상승량은 지수적으로 증가하지만 C-OTEC 증발기에서의 증기 취출 비율은 선형적으로 증가하는 경향을 발견하였다. 가이드 베인의 직경은 C-OTEC 증발기의 설계 용량을 달성할 수 있는 최소 크기로 선정하는 것이 타당하며, 연구 결과 가이드 베인의 최소 직경은 배관의 1.5배 크기임을 밝혔다.

박현수⁽³⁾ 등은 Ansys CFX를 이용한 수치 계산을 통해 Pelton 터빈에 워터 제트로의 공기 주입 방식을 통해 증가하는 출력 및 성능을 일반적인 Pelton 터빈과 비교하였으며, 단일 노즐의 분사와 이중 노즐의 분사 경우에 대해 각각의 출력과 효율을 비교하였다. 2상(액체, 기체)과 2종(물, 공기) 해석을 수행하기 위해 SST 모델을 적용하였다. 공기 주입량을 1%에서 15%까지 증가시키면 출력과 효율은 선형적으로 증가하는 추세를 보이며, 단일 노즐보다 이중 노즐 분사에서 높은 출력과 효율을 보였다.

조수용⁽⁴⁾ 등은 스칼럽의 형상을 유동의 불연속성이 향상 되도록 허브 면에서 조정하였을 경우에 터빈의 효율이 어느 정도 향상될 수 있는지를 수치 해석적으로 연구를 수행하였다. 유동 해석을 위해 Ansys CFX를 사용하였고 터보기계의 유동장에 대해 정확한 결과를 보여주는 SST 난류 모델을 적용하였다. 벽함수는 벽에서부터 격자까지의 거리에 따라 자동으로 전환되어 계산되는 자동 전환방식을 사용하였다. 스칼럽의 각도 0°를 기준으로 15°, 30°, 40°로 변화함에 따라 30°인 C-type 로터에서 효율이 최적화 되었으며, 40°에서는 효율이 감소하는 추세로 변경되었다. 이는 스칼럽 각도의 증가에 따라 로터 내부에서의 유동이 충분히 블레이드에 부하를 주지 못하는 현상에서 기인한다.

김형욱⁽⁵⁾ 등은 대형 공기청정기 내부에 배치되는 시로코팬의 최적 위치에 대한 영향성을 확인하기 위해 팬과 모터 사이의 상대적인 위치와 모터 직경에 따른 유동장과 공력 성능을 분석하였다. 공기청정기 내부 유동 현상을 분석하기 위해 Ansys CFX 2019 R3를 사용하였으며, 작동 유체는 비압축성으로 가정하였다. RANS 방정식을 적용하여 RNG k-ε 난류 모델을 사용하였다. 팬과 모터 사이의 간격이 좁아질수록 효율이 급감하는 것을 확인하였다. 모터의 직경은 팬과의

* 서울과학기술대학교 기계자동차공학과
E-mail : psg@seoultech.ac.kr

간격이 가까울수록 모터가 흡입구를 봉쇄하는 장애물로서 영향이 증가하였으며, 직경이 증가할수록 정압과 효율이 감소함을 보였다. 모터의 한쪽 측면으로부터 공기청정기의 벽까지의 거리 대비 흡입구와 모터 사이의 거리가 0.63, 흡입구와 모터의 직경 비율이 0.72인 경우 기존 형상의 성능 대비 정압 약 35 Pa, 효율이 약 3.4% 증가한 결과를 얻었다.

곽명⁽⁶⁾ 등은 미스트 분사 위치가 내부 유동 패턴과 사이클론 집진기 성능에 미치는 영향에 대해 $k-\epsilon$ 난류 모델을 이용한 수치 계산을 이용해 연구하였다. 사용된 수치 모델과 경계 조건은 선행 연구의 실험 작업을 통해 검증하였으며, 공기와 주입된 입자는 Euler-Lagrange와 Lagrange 방법으로 묘사하였다. 상단의 분사 위치에 따라 두 개의 입구 분사 방향의 변화로 내부 와류 흐름의 소용돌이 강도를 감소시켰다. Inversed weight sum 성능을 이용해 다양한 미스트 분사 위치와 설계 성능을 상대적으로 비교하였다.

이현균⁽⁷⁾ 등은 격자볼츠만법을 구현한 코드를 검증하기 위해 3차원 공동유동 (lid-driven cavity flows) 문제와 3차원 와류고리-평면의 상호작용에 대한 문제에 적용하였다. 검증된 코드를 이용하여 와류고리-90° 모서리와 상호작용에 대해 조사하였으며, 모서리 근처에서 발생하는 와류구조에 대한 형상을 가시화하였다. 코드 검증에서 레이놀즈수 100, 400, 1000에 대해 계산을 수행하였으며, 속도 결과를 기존 연구자들과 비교 하여 근접함을 확인하였다. 레이놀즈수 2100에서 와류고리의 중심축과 모서리 사이 거리(d)에 따른 90° 모서리와 충돌하는 와류고리의 거동을 확인하였다.

윤민식⁽⁸⁾ 등은 분산입자상 모델(DPM)의 여러 분열모델 중 높은 We 수를 갖는 분무 해석에 적합한 wave 분열 모델을 사용하여 적용된 띠 형태의 액적, 액막, 분열 시간, 액적 직경 상수를 설계변수로 선정하였다. 실험과 수치해석을 통해 얻은 액적의 Sauter 평균 직경(SMD) 값의 차이가 최소화되는 것을 목적 함수로 설정하였다. 액적의 경로를 예측하기 위해 Eulerian-Lagrangian 접근법을 따르는 DPM을 사용하였으며, 노즐에서 유동 특성과 충격파 및 박리점을 예측하는 Realizable $k-\epsilon$ 난류 모델을 적용하였다. 분열 모델 상수 최적 설계를 위해 다목적 유전알고리즘을 사용해 최적 설계한 변수로 노즐에 주입되는 질소가스와 세정액의 유량비(ALR)를 다르게 적용하여 분무 해석을 수행하였다. 실험값과의 오차가 평균 6.87%로 최적 설계 결과에 대한 신뢰성을 확보하였다. 최종 선정된 설계변수를 토대로 이류체 세정 노즐의 ALR과 같은 공정 조건 최적화를 진행하는데 적용되어 보다 정확한 수치해석기법을 확인하는데 기여할 것으로 기대된다.

김성연⁽⁹⁾ 등은 RANS 방정식을 이용해 원심압축기 입구 영역에 액적을 분사하여 압축기 내부에서 증발하는 습식 압축 기술이 공력 성능에 미치는 영향에 대해 Ansys CFX 2020 R2를 사용하여 분석하였다. 연구에서 수치해석 정확성

을 높이기 위해 NASA CC3 공기압축기 모델을 사용하였다. 연속된 상인 유체는 Eulerian 방법, 분사되는 액적은 Lagrangian 방법을 사용하여 유동과 함께 액적 온도 및 궤적에 대한 계산을 수행하였다. 공기 유량(4.54 kg/s)의 0.2%를 압축기 입구 영역에서 분사한 결과 기존 공기 압축과 비교하여 100% 회전속도 영역에서 압력비와 등엔트로피 효율이 상승하는 모습을 보였다. 습식 압축 기술을 적용하였을 때 기존 공기 압축보다 0.12%의 압력비 상승, 1.14%의 등엔트로피 효율 상승이 나타남을 확인하였으며, 액적 직경을 1~10 μm 변화시켰을 때 압력비는 큰 변화가 없지만 등엔트로피 효율은 2 μm 에서 최고값을, 6 μm 일 때 최소값을 나타냈다.

3. 결 론

2021년도 한국유체기계학회에서 발표된 CFD 분야에 발간된 논문을 바탕으로 연구동향을 살펴보았다. 펌프, 원심압축기, 터빈, 사이클론 집진기 등 다양한 분야에서 CFD 해석이 수행되었으며, 각 분야의 최적 설계를 도출하는데 기여하였다.

References

- (1) Heeyoon Chung, Dong-Ho Rhee, Young-Seok Kang, 2021, "Simulation of Aero-propulsion Micro Gas Turbine Engine Using CFD", The KSFJ Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 1, pp. 5-12.
- (2) Iljin Kim, Dahui Kwack, Eojin Jeon, Gyunyoung Heo, Hyungdae Kim, Hoon Jung, 2021, "Flow Analysis of Steam Extraction From Condenser for C-OTEC", The KSFJ Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 2, pp. 46-57.
- (3) Hyeon Soo Park, Ho Seong Yang, Batbeleg Tuvshintugs, In Cheol Kim, Young Ho Lee, 2021, "Micro Pelton Turbine Design and Performance Analysis for Air Injected Operation". The KSFJ Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 2, pp. 5-12.
- (4) Soo-Yong Cho, Bum-Seog Choi, Hyung-Soo Lim, 2021, "Effect of Scallop Shape on the Efficiency of Radial-Type Turbine", The KSFJ Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 3, pp. 53-60.
- (5) Hyunguk Kim, Jungsoo Lee, Seongmin Kim, Jongwoong Lim, Jinsoo Cho, 2021, "Analysis of Flow Field and Aerodynamic Performance for the Relative Position between Two Sirocco Fans and Motor", The KSFJ Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 3, pp. 15-23.
- (6) Ming Guo, Hyungjoon Son, Dang Khoi Le, Soonchang Baek, Hochan Jun, Joon Yong Yoon, 2021, "Numerical

- Investigation on the Performance and Flow Characteristics of A Cyclone Separator with External Mist Injection”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24 No. 4, pp. 33-44.
- (7) Hyeonkyun Lee, Sangwoo Shin, Sanghwan Lee, 2021, “Lattice Boltzmann Simulations of Vortex Ring Impinging on 90 Degrees Edge”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 5, pp. 58-67.
- (8) Min-Sik Youn, Youn-Jea Kim, 2021, “Optimization of Breakup Model Constants for Numerical Analyses of a Dual-fluid Nozzle”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 5, pp. 37-43.
- (9) Sung-Yeon Kim, Hyun-Su Kang, Youn-Jea Kim, 2021, “Effect of Wet Compression Technology on the Aerodynamic Performance of a Centrifugal Compressor”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 6, pp. 22-29.