◎ 총 설

DOI: https://doi.org/10.5293/kfma.2024.27.2.106
ISSN (Print): 2287-9706

2023년 CFD 분야 연구동향

박성군* · 김도리

1. 서 론

전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, 이하 CFD)을 이용한 수치 해석 연구는 제품 개발 및 설계 최적화 등 다양한 영역에서 중요한 역할을 하고 있다. 높은 정확도를 갖는 상세 해석 모델 개발을 통해 추가적인 실험 과정 없이도 공학적 문제 진단 및 설계 최적화에 활용할 수 있어, 다양한 산업 분야에서 기술 개선을 위해 요구되는 시간 및 비용을 줄일 수 있는 기회를 제공한다. 본 특집에서는 2023년도 한국유체기계학회에서 발표된 논문 중 CFD 분야에 속한 논문 6편의 연구내용을 정리하고 최근 연구 동향을 파악하고자 한다.

2. CFD 분야 연구 동향

빈상은[1] 등은 Selective Catalytic Layer (SCR) 장치 내부 유동 균일성에 영향을 주는 Straightener의 형상 인자에 대해 분석하였다. Straightener의 두께와 Rib 사이의 거리에 대한 체계적인 매개변수 연구를 수행하였으며, 이러한 형상인자가 유동 균일성에 미치는 영향과 상관관계를 분석하였다. 해석을 위해 ANSYS CFX를 사용하였으며, 기존 SCR 선행 연구에서 보편적으로 사용된 Reynolds-averaged Navier-Stokes(RANS) 방정식을 풀었다. 난류 모델은 k-epsilon 모델을 채택하였다. 한편 SCR의 촉매층을 모사하기 위해 다공성 매질 모델을 사용하였으며, 유동이 촉매층과 같은 다공성 매질을 지날 때 발생하는 압력강하를 해당 영역에서의 속도와의 실험식으로 표현하였다. 해석 결과, 두께뿐만 아니라, Rib 사이의 거리도 중요한 형상 인자임을 확인하였으며, 상호작용을 통해 유동 균일성에 영향을 주는 것을 정성적으로 보였다.

박세현[2] 등은 수영장 여과 시스템의 스트레이너 형상 변화에 따른 여과/역세척 시의 유동 성능에 대한 평가를 진행하였다. 유동 해석을 위해 ANSYS CFX를 사용하였으며, 실험데이터를 기반으로 경계조건을 설정하였다. 여과 시와 역세척 과정에 대해 입구와 출구에 유량-압력 또는 압력-압력 경계조건을 각각 부여해 여과과정 Ergun 방정식의 이론적인 압력강하 값과 비교하였다. 결론적으로, 역세척 과정에서 동일한 압력강하가 발생하는 경우, 사선형 스트레이너가 더 많은 유량을 필요로 하는 것을 확인하였으며, 스트레이너 형상 변화에 따라 세척 성능이 크게 영향을 받는 것을 확인하였다.

임기성[3] 등은 넓은 범위의 전류밀도에 걸쳐 3차원 PEMFC 시뮬레이션을 수행하였으며, 협로형 채널과 직사각형, 사다리꼴형 채널의 장단점을 분석하였다. 전기화학 및 열유동 해석을 위해 ANSYS FLUENT를 사용하였으며, 질량, 화학종, 전하, 열에너지, 운동량 보존 방정식을 고려하였다. PEMFC 3차원 유동장에 협로 형상이 적용되면서 관성 효과가 증가하여 유속이 높아지고 이로 인해 비선형적인 압력 변화를 초래하는 효과를 반영하기 위해 Darcy-Forchheimer 모델을 적용하였다. 협로형 유동분리판 형상에서 가장 원활한 산소농도 분포를 보였으며, 고전류로 갈수록 성능이 다소 증가하였다. 하지만 협로형 유동분리판은 추가적인 압력강하 증가를 초래하였으며, 이로 인해 기생전력을 증가하였다. 산소농도 분포의 관점에서는 협로 형상의 영향에 의해 랜드부에도 산소의 확산이 용이함을 확인하였으며, 이를 통해 농도과전압적 손실을 감소시켜 전체적인 성능을 향상시킬 수 있었다. 본 연구는 협로의 배열 조정을 통해 최적의 성능을 가지는 유동분리판 형상을 선정하기 위한 가이드라인을 제시할 것으로 기대된다.

최진혁[4] 등은 CFD 방법을 이용하여 다양한 조건에서 해수이차전지 주변의 유동장을 해석하고 비교하였다. 해석은 STAR-CCM+을 사용하여 진행되었으며, 난류 모델은 k-omega SST 모델을 활용하였다. 해수이차전지 내부의 유속 분포 및 후류는 유속보다 셀 간격에 의해 더 큰 영향을 받음을 확인하였다. 해수이차전지의 중심에서 후류 방향으로 셀 길이만큼 떨어진 지점에서 비교한 후류의 유속은 셀 간격에 따라 차이를 보였으며, 셀 간격이 큰 경우 그 차이가 더 커짐을 확인하였다. 일정한 유속에서 해수이차전지의 항력은 셀 사이의 간격이 증가할수록 감소한다는 결과를 얻었다.

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

이로써 여러 단의 해수이차전지가 설치되는 경우 적절한 배치 위치를 결정하는 데 본 결과가 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 간격이 없는 육면체 블록의 항력은 같은 길이의 간격이 존재하는 블록의 항력보다 약 40% 큰 것을 확인하였다. 이로부터 해수이차전지의 설계 진행 시 셀 간의 간격도 중요한 설계 변수임을 확인하였다.

엄정현[5] 등은 상용 CFD 코드인 SSTAR-CCM+에 포함된 Discrete Element Method(DEM) 기법을 사용하여 DEFCON-S 실험을 모사하였다. DEM 입자 간의 상호작용을 반영하기 위해 Hertz-Mindin 접촉 모델을 적용하였으며, 유체와의 양방향 상호작용을 고려하였다. 해석영역에는 물과 공기 두 가지 유체 상이 존재하며, 물과 증기의 경계면 해석을 위해 Volume of Fluid(VOF) 모델을 사용하였다. 각 유체 상의 경계 추적을 보완하기 위해 Slip 속도 모델을 추가하였다. 난류 모델로는 RANS 난류 모델인 Realizable k-epsilon Two-Layer 모델을 채택하였다. 격자 수렴성을 판단해 최적의 격자 크기 50mm를 선정하였고, 실험 모사를 통해 CFD 모델을 검증하였다. 노심용융물의 완전한 파편화를 가정한 CFD 모델은 노심용융물 파편층 형성 과정과 파편층의 형상 등의 불확실성을 줄이는 데 기여할 것으로 보인다.

유호준[6] 등은 공력성능의 개선을 위해 에어포일의 DNN을 활용하여 필수 설계변수들인 양력, 항력, 날개 2차원 좌표, 레이놀즈 수, 설치 각을 학습한 익형 예측모델을 설계, 제작 후 검증하였다. 해석을 위해 ANSYS FLUENT를 활용하였으며 거대와류모사(LES) 해석을 수행하였다. 모델 계수 Cs (Smagorinsky 상수)는 0.1로 설정하였다. 입구 경계에서 균일한 입구 속도 조건을 부여하였으며, 출구에는 유량 경계조건을 설정하였다. 회전도메인은 모두 사면체 격자로 구성하였고 프로펠러 표면 격자의 y+를 1.0 이하가 되도록 격자를 생성하였다. 또한 해석의 정확성을 위해 Courant 수는 최대 1.0보다 작도록 시간과 격자 간격을 설정하였다. 수치해석을 통해 개발된 프로펠러를 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic) 소재를 적용하여 제작하였으며 구성된 추력 시험 장치를 통해 성능을 검증하였다. 그 결과 학습을 통해 얻은 인공지능설계 프로펠러는 선행 연구인 생체 모방형 익형에 비해 최대 전진비에서 전체 효율이 7.5% 개선됨을 확인하였다. 생체모방형 프로펠러는 유동박리가 최소화되도록 설계되어 상대적으로 날개 끝단 보텍스의 트크 및 추격변동에 유리함을 밝혔다. 수치해석과 실험결과와의 오차는 10% 이내에서 형성되었으며. 인공지능기반 설계 프로펠러는 날개 무게 당 추력과 동력대비 추력계수비가 생체 모방형 익형보다 모든 회전수 구간에서 약 10～20% 높음을 확인하였다. 이는 같은 날개 무게 및 소비전력에서 높은 추력을 나타내는 것을 의미하므로 유인드론의 배터리 무게 결정에서 유리한 특성을 가짐을 보인다.

3. 결 론

2023년도 한국유체기계학회에서 발표된 CFD 분야에 발간된 논문들을 바탕으로 연구동향을 분석하였다. SCR 시스템, 여과 시스템, 이차전지, 드론 프로펠러, 기계학습을 통한 익형 형상 최적화 등 다양한 시스템에 대해 전산 해석이 수행되었다. 컴퓨터 하드웨어 및 해석 기법의 점진적인 발달로 인해 전산 해석 연구들은 보다 정밀한 결과를 도출하고, 복잡한 시스템의 해석이 가능해졌다. 이는 CFD 연구의 범위를 확장시키고, 다양한 산업 분야에서 연구 개발의 방향성에 중요한 영향을 미칠 것으로 기대된다.

References

(1) Bin, S., Park, H., Seong, J., Choi, W., Hwang, W., 2023, “Numerical Analysis of a Straightener for Improving Flow Uniformity in a Selective Catalytic Reduction (SCR) Facility”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 26, No. 3, pp.32-40.

(2) Park, S., Lee, J., Kim, H., 2023, “Performance study according to the shape change of strainer in a horizontal pressurized type swimming pool filtration system using flow simulation”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 26, No. 3, pp.41-50.

(3) Lim, K., Kim, C., Park, R., Moon, S., Ju, H., 2023, “Enhancing PEMFC performance through orifice-shaped cathode flow field designs”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 26, No. 5, pp.105-110.

(4) Choi, J., Song, G., Lee, S., 2023, “Study on the flowfield around seawater secondary battery module using numerical simulation”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 26, No. 6, pp.57-68.

(5) Eom, J., Ra, I., Tak, G., Jeong, H., 2023, “STAR-CCM+ Simulation of Debris Bed Formation in the DEFCON-S Experiment”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 26, No. 6, pp.110-114.

(6) Yu, H., Jeon, J., Lee, K., Park, S., Lee, S., 2023, “Aerodynamic Characteristics Analysis of AI-design Propreller for PAV”, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 26, No. 6, pp.129-136.