

2024년 압축기 분야 연구동향

서정민*†

Research Trends of Compressor in 2024

JeongMin Seo*†

Key Words : Compressor(압축기), Radial(원심), Axial(축류), Positive displacement(용적형)

ABSTRACT

Research trends in the compressor field in 2024 are briefly summarized, focusing on papers presented at the 2023 Proceedings of the KSFM 2024 Summer Annual Meeting, Winter Annual Meeting, and the KSFM Journal of Fluid Machinery. The 27 papers presented were introduced by dividing them into centrifugal compressors, axial compressors, and positive displacement compressors according to the drive type of the compressor.

1. 서 론

2024년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집과 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회의 논문 중 압축기 분야를 통해 발표된 논문의 연구 내용을 요약하여 소개한다. 한국유체기계학회 논문집에는 압축기 분야에 관한 논문이 4편 발표되었고, 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에서 압축기 관련하여 23편의 논문이 발표되었다. 2017년도에 15편, 2018년도에 18편으로 발표되던 논문 수가 2019년도 및 2020년도에 각각 6편으로 크게 급감한 이후 2021년도에 16편, 2022년도에 9편, 2023년도에 12편이 발표되었고, 2024년도에는 27편으로 크게 늘었다.

본 연감에서는 2024년도 한국유체기계학회 논문집 논문 4편과 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에서 발표된 논문 23편을 압축기의 구동 형식에 따라 원심압축기와 축류압축기, 용적형 압축기로 구분하여 소개한다.

2. 원심압축기

원심압축기는 2017년도에 13편, 2018년도에 11편의 논문이 발표되었고, 2019년도에 3편, 2020년도에 5편의 논문이 발표되어 많이 감소한 이후 2021년도에 10편, 2022년도에 7

편, 2023년도에 6편이 발표되었고, 2024년에는 23편의 논문이 발표되어 그 수가 많이 증가하였다.

김도영⁽¹⁾은 원심압축기 임펠러 TE 유동 박리 현상의 원인을 설명하였고, 하중 인자를 통한 분석에서는 유동 박리 예측의 한계를 코리올리 가속도의 영향으로 설명하였다. 또한 블레이드 하중에 설계 변수들이 미치는 영향을 분석하였고, 여러 설계 변수 중 후퇴각을 증가시킴으로써 TE 하중을 감소시키는 방안을 제시하였다.

이의덕 등^(2, 3)은 기후 위기 극복 및 규제변화 대응을 위해 R134a 냉매 냉동기에 사용되던 원심압축기를 대상으로 낮은 GWP 냉매인 R1234ze(E) 및 R1233zd(E) 적용 시 압축기의 성능 특성에 대해 3D 전산유체해석을 이용하여 비교하였다. R1233zd(E)와 R1234ze(E)는 R134a 대비 낮은 밀도와 높은 분자량을 가지기에 낮은 유량 범위에서 운전하고 높은 압력비를 나타내는 결과를 보였다. 문희수 등⁽⁴⁾은 R134a 냉매 냉동기를 기반으로 R1234ze(E) 냉매로 대체 시 원심압축기의 압력비와 축정비를 최대화하는 최적화를 수행하였다. 임펠러 블레이드의 유입각과 출구각을 변수로 선택하여 3D 전산유체해석을 통해 구한 데이터 샘플을 Kriging surrogate model을 사용하여 최적화된 결과를 도출하였다.

김보경 등⁽⁵⁾은 전산유체해석을 활용하여 냉매 원심 압축기에서 회전 속도 증가에 따른 성능 특성의 변화를 분석하

* 한국기계연구원 탄소중립기계연구소(KIMM Institute of Carbon Neutral Energy Machinery, Korea Institute of Machinery & Materials)

† 교신저자, E-mail : jmseo@kimm.re.kr

고, 요소별 손실 크기를 분석하는 연구를 수행하였다. 슈라우트릿 형의 임펠러와 베인리스디퓨저를 가진 귀환유로로 연결된 2단 압축기를 대상으로 100% 및 110% 회전수에서 요소별 손실 크기를 비교하는 연구를 수행하였고, 고유량 구간에서는 회전부의 손실이 증가하고, 저유량 구간에서는 정지부(귀환유로, 디퓨저)의 손실이 증가하는 경향을 나타냈다.

1500HP급 다단 공기압축기를 대상으로 개보수와 관련된 일련의 연구들이 수행되었다. 이동인 등⁽⁶⁾은 노후화된 기존의 3단 공기압축기의 임펠러를 효율이 개선된 임펠러로 교체 적용을 위해 개선된 블레이드 형상에 대해 구조안정성을 확인하는 구조해석 연구 내용을 소개하였다. 박준영 등⁽⁷⁾은 교체 적용될 3단의 임펠러가 기존 임펠러에 비해 공력 성능이 개선될 수 있도록 하는 최적화 공력 설계를 수행하고, 3D 전산유체해석을 통해 설계점 및 탈설계점 공력 성능을 확인하여, 효율 및 운전 범위를 확인하는 연구를 수행하였다. 손승현 등⁽⁸⁾은 최적 설계를 통해 도출된 개선 임펠러를 대상으로 베인 디퓨저 구간에서 손실 분석을 수행하였고, 최적화 설계가 효율 향상에 미치는 요인을 분석하는 연구를 수행하였다.

산업공정열 탈탄소화를 위해 공기를 작동유체로 하는 300°C 온도의 열에너지를 생산하는 300 kW급 역브레이튼 사이클 방식의 고온 히트펌프 시스템을 개발하는 연구가 수행되었다. 정용 등⁽⁹⁾은 역브레이튼 기반 히트펌프 시스템을 개발하기 위해 시스템 구성 요소들의 효율을 고려한 사이클 시뮬레이션 모델을 개발하였고, 시스템 COP를 최적화하기 위한 운전 조건을 제시하였다. 또한 재가열(reheat) 방식의 사이클에 관한 성능 해석을 수행하여 기본 사이클 대비 시스템 COP의 향상 정도를 비교하고 경제성 평가를 수행하였다. 김진섭 등⁽¹⁰⁾은 히트펌프 시스템에 적용되는 고온부 열교환기에 관한 연구를 수행하였다. 고온부에 적용되는 열교환기를 대상으로 air-to-air 기반 상관식을 도출하였고, 이 상관식을 활용하여 판형 열교환기 시제품을 설계 및 제작하여, 성능시험을 수행하여 성능을 확인하는 연구를 수행하였다. 김정철 등⁽¹¹⁾은 300°C의 고온부 열을 저장하는 열저장에 관한 연구를 수행하였다. 열저장 방법으로 현열 저장 방법을 채택하고 thermocline 측면에서 이점이 있는 packed bed 타입의 열저장 장치에 대해 1D 지배방정식을 도출하고, 입자 크기, 밀도, 비열 등의 고체 물성과 유속, 밀도, 비열, 점도 등의 유동 물성에 대해 무차원화된 상관식을 도출하는 연구를 수행하였다. 서정민 등⁽¹²⁾은 고온 히트펌프에 적용되는 컴펜더 개발에 관한 연구 내용을 소개하였다. 고온 히트펌프에 적용되는 3단 압축기는 전동기가 없는 터빈으로 구동되는 컴펜더 형식으로 개발된다. 유량 및 배관 손실을 고려한 팽창비, 컴펜더의 풍손 등을 고려하여 터빈 축동력을 산정하고, 비속도 분석을 통해 압축기 설계를 수행한다. 자기베어링 적용을 위해 컴펜더 내부를 냉각하기 위한 냉각원 설계에 관한

연구 내용도 소개하였다.

180°C급 3 MWth 고온 스팀을 생산하기 위한 무급유 히트펌프 시스템 연구가 진행되었다. 조용훈 등⁽¹³⁾은 180°C 스팀 생성 히트펌프 시스템 개발을 위한 선행 연구로 R1336mzz(Z)를 적용한 초임계 사이클 해석을 수행하였다. Shehryar Ishaque 등⁽¹⁴⁾은 고온 히트펌프용 Low-GWP 냉매 개발과 증발기 및 ORC 설계 기술에 관한 연구 내용을 소개하였다. R1336mzz(Z)를 대체할 수 있는 Low-GWP 냉매 선정과 대체 냉매의 열역학적 특성 및 사이클 성능 특성 평가를 수행하였고, 유하액막식 증발기의 성능 특성에 관한 전산해석을 수행하였다. 또한 ORC 사이클의 작동유체 및 layout에 따른 성능 특성을 해석하고, 폐열원 및 운전 조건에 따른 성능 특성 해석 및 실증 연구에 관해 소개하였다. 설성훈 등⁽¹⁵⁾은 히트펌프 시스템을 대상으로 R1336mzz(Z)를 작동유체로 한 스팀 히트펌프 사이클 해석을 수행하였다. 95°C 폐열을 열원으로 수행한 사이클 해석에서 고온수의 온도가 낮을수록 사이클의 효율이 높아지는 경향을 확인하였다. 180°C 스팀을 생성하기 위해서는 R1336mzz(Z)의 냉매가 고온부에서는 초임계상태로 운전되어야 하며, 가스쿨러 출구의 상태가 시스템의 효율을 결정하는 주요한 인자임을 확인하는 결과를 도출하였다. 임병직 등⁽¹⁶⁾은 산업용 히트펌프 기술 및 표준화 동향에 관해 조사하였다. 특히 해외의 고온히트펌프 시스템에 대해 공급사, 압축기 타입, 작동유체, 용량 및 공급온도, 기술 수준 등에 대해 자료와 ISO/TC 86/SC의 구성 및 표준 현황에 대해 정리하여 소개하였다. 정영록 등⁽¹⁷⁾은 180°C급 고온 히트펌프 시스템에 적용한 냉매를 개발하는 연구를 수행하였다. 최적화 냉매 선정을 위해 히트펌프 시스템에 적용할 수 있는 냉매들을 조사하고 그 특성들을 비교 분석하는 연구를 수행하였다.

수소 액화 플랜트용 압축기 개발에 관한 일련의 연구가 수행되었다. 김민수 등⁽¹⁸⁾은 수소 액화 플랜트용 원심 냉매 압축기 개발을 위한 공력 설계 프로세스에 관한 연구 내용을 소개하였다. 압축기 사이클은 수소 액화 공정 분석을 통해 도출한 압축기 입구 및 출구 요구 사양을 기반으로 결정되며, 공력 설계를 통해 3개의 마스터 임펠러를 설계하고, 나머지 단의 임펠러는 F/C 및 T/C으로 스케일링으로 설계된다. 성능 지표에 관한 무차원화 식과 ASME PTC-10 및 TYPE 2 조건에 의해 수행한 시험으로 공기 조건에서의 시험 결과로부터 헬륨 가스 조건의 성능을 검증할 수 있음을 알려주었다. 이정민 등⁽¹⁹⁾은 수소 액화 플랜트용 원심 냉매 압축기의 성능을 검증하기 위해 공기 역학적 구성 요소 성능 테스트에 관한 연구 내용을 소개하였다. 공력 부품의 성능 테스트는 ASME PTC-10 표준에 따라 수행하고, 테스트는 Real Gas 방정식을 사용하여 유사성 테스트를 수행한다. 헬륨을 사용하여 단별 테스트를 수행하고, 이를 사용하여 통합 성능을 도출한다. 성능시험 장치는 ASME PTC-10에 명시된

기준에 따라 구축되었다. 현재 정격 및 가변 속도에서 단별 성능 테스트를 진행하고 있음을 소개하였다. 노기태 등⁽²⁰⁾은 액체수소 플랜트용으로 개발 중인 압축기의 구조적 안전성을 확인하는 분석 내용 및 검증 시험의 결과를 제시하였다. 다단의 압축이 필요하므로, 속도 기어형과 베럴형을 혼합한 구조로 설계하여, 작동유체인 헬륨 가스를 8단에 걸쳐 목표 압력까지 압축하도록 구조를 설계하였다. 강성 회전체 구조를 가정하여 회전체 동역학 해석을 진행하였다. 별도의 구조적 안전성 시험을 위한 시험 모델을 제작하고 시험을 통해 해석 결과를 검증할 계획을 소개하였다.

하윤석 등⁽²¹⁾은 산업용 블로워나 압축기의 베어링 시스템에서 오일리스와 경계성을 고려한 공기포일 저널 베어링 및 자기+공기포일 스러스트 베어링 조합인 하이브리드 베어링 시스템을 대상을 임계속도 구간에서 하이브리드 스러스트 베어링 제어만으로 진동 저감 및 스러스트칼러의 기울임 현상을 저감하고 공기포일 저널 베어링의 불안정성을 개선하는 연구를 수행하였다. 실험을 통해 하이브리드 스러스트 베어링 제어만으로도 저널의 불안정성을 줄일 수 있었으며 스러스트칼러의 기울임 현상도 줄어드는 결과를 확인하였다.

이종민 등⁽²²⁾은 기어박스 진동 신호의 LSTM(Long short term Memory) 모델을 이용한 오일 부족 시 평가어의 잔존 유효수명 예측에 관한 연구를 수행하였다. 오일 부족 기어박스의 failure는 진동 신호가 점점 커지며 일정 시간 경과 후 화재 발생으로 나타나며, 기어박스 진동 신호 특징과 LSTM 모델의 구조에 따른 잔존유효수명 예측 성능을 비교하였다.

김종영 등⁽²³⁾은 터보 압축기/블로워 성능 예측을 기반으로 한 단일 및 그룹 운전 최적화 알고리즘에 관한 연구를 수행하였다. 압축기 및 블로워 흡입 공기의 온도 및 습도는 압력 비 및 동력에 크게 영향을 미친다. 이런 다양한 외부 조건의 변화에 대응하여 최적의 조건으로 운전이 되도록 운전 최적화 알고리즘을 개발하는 연구에 관해 소개하였다.

3. 축류압축기

축류압축기에 관해서는 2017년도에 1편, 2018년도에 5편, 2019년도에 2편, 2020년도에 1편, 2021년도에 5편, 2022년도에 1편, 2023년도에 3편의 논문이 발표되는 등 매년 1편~5편 정도의 논문이 발표되었고, 2024년도에는 예년의 평균 수준인 3편의 논문이 발표되었다.

배성환 등⁽²⁴⁾은 축류압축기인 NASA Rotor 67을 대상으로 항공기 터보 팬 엔진의 나셀(nacelle)에 측풍이 부는 상황을 가정하여 엔진 입구의 전압력 분포를 모사하고, 입구 압력 왜곡 현상이 축류압축기의 공력 성능에 미치는 영향을 3D 전산유체해석을 이용하여 분석하였다. 압력 왜곡 구간 영역 대비 단열 효율, 서지 마진, 작동 유량 범위를 확인하고, 입

구 압력 왜곡 영역의 각도가 증가함에 따라 모든 성능 지표가 선형으로 감소하는 결과를 도출하였다. 또한 압축기 내부 유동장을 고찰하여 입구 압력 왜곡이 공력 성능 변화에 미치는 현상과 원인을 분석하였다.

김수빈 등⁽²⁵⁾은 압축기 블레이드 형상에 대해 설계 작동 조건에서 공력, 열부하, 원심력 등에 의한 외부 하중에 의해 변형된 hot 블레이드 형상과 무부하 조건에서 설계를 위한 cold 블레이드 형상이 있다. cold 블레이드와 hot 블레이드 간의 차이로 공력 성능 및 구조 건전성에 영향이 발생할 수 있다. 공력 목표 성능을 달성할 수 있는 hot 블레이드를 도출하고, 변위 기반 역해석을 사용하여 hot 블레이드를 cold 블레이드로 변환하는 과정인 H2C(hot-to-cold) 기법을 적용하여 cold 블레이드 형상을 도출하였다. 도출된 cold 블레이드를 이용하여 다양한 작동 조건에 따라 변형된 hot 블레이드의 공력 성능을 비교하고, cold 블레이드의 구조 건전성을 평가하는 연구를 수행하였다.

고영언 등⁽²⁶⁾은 적층 제조 압축기 블레이드에서 발생하는 표면 거칠기가 압축기 블레이드의 공력 성능에 미치는 영향을 선형 캐스케이드를 대상으로 실험과 두 가지 표면 거칠기 모델을 사용한 수치해석 결과를 비교 분석했다. 실험에서 표면 거칠기는 흡입면의 후류 두께를 증가시키고, 이로 인한 최대 전압 손실계수도 증가한다. 하지만 수치해석에서는 압력면과 흡입면의 경계층 두께가 비대칭적으로 증가하는 결과를 나타냈다. 수치해석에서 표면 거칠기에 White 모델과 Aupoix 모델을 비교하였고, White 모델이 전압 손실 예측에서 실험 결과에 더 유사한 예측 결과를 나타내었다.

4. 용적형 압축기

용적형 압축기로는 왕복동 압축기, 로타리 압축기, 사판식 압축기, 스크류 압축기, 스크롤 압축기, 스윙 압축기 등이 있는데, 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 학술대회에서 2015년도에는 로타리 압축기 1편, 스크롤 압축기 2편으로 총 3편의 용적형 압축기 논문이 발표된 이후, 2016년도에는 로타리 압축기 1편이, 2017년도에는 스크류 압축기 1편이 발표된 후 한동안 용적형 압축기에 관한 발표 논문이 없었다. 이 후 다시 2022년도와 2023년도에 각각 1편의 스크롤 압축기에 관한 논문이 발표되었다. 2024년도에는 다이어프램 압축기에 관한 논문이 1편 발표되었다.

김재훈 등⁽²⁷⁾은 수소연료전지차 충전소에 사용되는 다이어프램 압축기를 대상으로 2방향 유체-구조 상호작용 해석(FSI)을 이용하여 금속 다이어프램에 작용하는 응력 분포를 구하였다. 해석은 흡입 및 배기 밸브가 있는 단일 사이클에 대해 수행되었고, 유체 해석 결과에서 오일 피스톤 벽의 피스톤 운동으로 인한 오일과 수소의 압력 변화와 금속 다이어프램의 변형을 확인하였다. 또한 이러한 결과를 바탕으로 흡

기 및 배기 밸브의 질량 유량을 계산하고 최대 응력 지점을 확인하였다.

5. 결 론

2024년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집과 하계 및 동계 학술대회를 통해 발표된 논문을 중심으로 압축기 분야의 연구동향을 간단히 정리하였다.

압축기 분야에서 연구 동향에 관해 서술한다면 2021년도에는 16편, 2022년도에는 9편, 2023년도에 12편의 발표된 논문 수에 비해 많이 증가한 27편의 논문이 발표되었다. 이러한 증가는 압축기 분야에 대한 연구가 증가한 측면도 있지만 하계학술대회 및 동계학술대회에서 특별세션의 활성화와 특별세션의 관련 기술 분야 분류에 따른 영향도 큰 것으로 판단된다.

압축기 연구 내용의 특징을 살펴보면 원심압축기에 관한 연구가 집중되어 있는데 이는 수백 kW급에서 수 MW급의 히트펌프용 압축기, 다단 공기압축기, 액체수소 플랜트용 압축기에 관한 연구 논문이 다수 발표되었기 때문이다.

References

- (1) Kim, D., 2024, "Impeller Trailing Edge Flow Separation Improvement by Back Sweep," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Summer Annual Meeting, KSFM2024-10301.
- (2) Lee, U., Vo, D.-T., Jeong, Y., and Ryu, J., 2024, "Numerical Analysis on the Effects of Environmentally Friendly Refrigerant on Aerodynamic Characteristics of Centrifugal Compressor," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Summer Annual Meeting, KSFM2024-10305.
- (3) Lee, U., Vo, D.-T., Moon, H., and Ryu, J., 2024, "Numerical Investigation on the Aerodynamic Characteristics of a Centrifugal Compressor Using Alternative Refrigerants," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20314.
- (4) Moon, H., Lee, U., Vo, D.-T., and Ryu, J., 2024, "Numerical Analysis and Optimization Study of Centrifugal Compressor Using R1234ze(E) Refrigerant," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20316.
- (5) Kim, B.K., and Joo, W.G., 2024, "Numerical Analysis of Performance and Loss Characteristics in a Centrifugal Refrigerant Compressor at Different Rotational Speeds," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20315.
- (6) Lee, D.-I., and Lee, J.-M., 2024, "Structural safety study of improved blade impeller of commercial 1,500HP multi-stage turbo compressor," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20305.
- (7) Park, J. Y., Jeong, H., Lim, H.-S., Lim, Y. C., Seo, J.M., Choi, B. S., and Park, M. R., 2024, "Aerodynamic Design for the Renovation of a 1500 HP multi-stage Air Compressor," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20306.
- (8) Son, S. H., Kim, M. S., Joo, W.G., Jeong, H., Seo, J.M., Park, J. Y., Lee, J.-M., and Lee, D.-I., 2024, "Diffuser Performance and Loss Analysis for High-Efficiency Vane Diffuser Design," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20307.
- (9) Chung, Y., Jung, Y., Kim, H. S., Kim, J. S., and Song, C. H., 2024, "System Design of the High Temperature Heat Pump Based on Reversed Brayton Cycle," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20301.
- (10) Kim, J. S., Shin, D. H., Shim, J., Sohn, S., Lee, K. H., Kim, W., and Song, C. H., 2024, "Development of Compact Heat Exchangers for a High Temperature Heat Pump," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20302.
- (11) Kim, J., Moon, S., Yoo, J., Park, S. J., and Song, C. H., 2024, "Design of high temperature energy storage system," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20303.
- (12) Seo, J.M., Choi, B.-S., Bang, J.-S., Choi, W. C., Park, S., Jeong, H., and Song, C. H., 2024, "Development of Compressor and Turbine for High Temperature Heat Pump System," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20304.
- (13) Cho, Y.-H., Shin, Y.-H., Ha, H.-W., and Chung, N.-G., 2024, "Development of High Temperature Steam Heat Pumps Technology," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20309.
- (14) Ishaque, S., Hwang, M., Oh, Y., and Kim, M.-H., 2024, "Selection of Low-GWP Refrigerants for High Temperature Heat Pumps and Design Technology of Evaporator and ORC with them," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20310.
- (15) Seol, S.-H., Park, S.-C., Yoon, J.-I., and Son, C.-H., 2024, "A Simulation Study on Industrial High Temperature Heat Pump Using R-1336mzz(Z)," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20311.
- (16) Lim, B.-J., and Kim, S.-M., 2024, "Industrial Heat Pump Technology and Standardization Trends," Korean Society for

- Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20312.
- (17) Jung, Y.-R., Jeong, G.-J., and Jeong, W. G., 2024, "Development of Optimal Refrigerant with Heat Pump System," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20313.
- (18) Kim, M. S., Lee, J. M., Bae, J. Y., Lee, H. J., Baik, K. Y., Yum, G. U., Lee, M. H., Kim, S. T., Joo, N. H., and Kim, C. E., 2024, "A study on the Aerodynamic Design of Compressor for Liquid Hydrogen Plants," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Summer Annual Meeting, KSFM2024-10306.
- (19) Lee, J. M., Bae, J. Y., Lee, H. J., Baik, K. Y., Yum, G. U., Lee, M. H., Kim, S. T., Joo, N. H., and Kim, C. E., 2024, "A study on the Component Performance Test of Compressor for Liquid Hydrogen Plants," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Summer Annual Meeting, KSFM2024-10303.
- (20) Noh, G. T., Lee, J. M., Joo, N. H., Lee, J. M., Baik, K. Y., Lee, M. H., Kim, P. S., Yun, H. J., and Kim, C. E., 2024, "A study on the Structural Safety Verification of Compressor for Liquid Hydrogen Plants," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Summer Annual Meeting, KSFM2024-10304.
- (21) Ha, Y., and Lee, Y., 2024, "Research on Hybrid(Magnetic + Air Foil) Bearing Applied to Turbo Compressor with Pressure Ratio 1.6," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Summer Annual Meeting, KSFM2024-10302.
- (22) Lee, J., Ha, Y., Kim, J., and Lee, Y., 2024, "Predicting Remaining Useful Life of Spur Gears during Oil Starvation using LSTM Model of Gearbox Vibration Signals," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20308.
- (23) Kim, J., Ha, Y., Lee, S., and Lee, Y., 2024, "Research on Turbo Compressor and Blower Single/Group Operation Optimization Algorithm based on Performance Prediction," Korean Society for Fluid Machinery, 2024, Proceedings of the KSFM 2024 Winter Annual Meeting, KSFM2024-20209.
- (24) Bae, S.-H., Kim, S., and Kim, Y.-J., 2024, "A Study of the Variation in Axial Compressor Performance with Inlet Pressure Distortion Profile," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 27, No. 6, pp. 5~13.
- (25) Kim, S., Kang, H.-S., and Kim, Y.-J., 2024, "Effect of Blade H2C Deformation on Aerodynamic Performance and Structural Integrity of Transonic Axial Compressor," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 27, No. 6, pp. 62~71.
- (26) Ko, Y., Lim, S., Hong, D., and Song, S. J., 2024, "The Influence of High Surface Roughness on the Aerodynamic Performance of Additive Manufactured Compressor Blade," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 27, No. 1, pp. 7~15.
- (27) Kim, J. H., Yoon, Y., Shin, B. G., and Song, S. J., 2024, "Development of a Numerical Method for Fluid-Structure Interaction Analysis in Hydrogen Diaphragm Compressor," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 27, No. 1, pp. 70~76.