

2018년 압축기 분야 연구동향

서정민*

1. 서 론

2018년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집과 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회의 논문 중 압축기 분야를 통해 발표된 연구내용을 요약하여 소개한다. 한국유체기계학회 논문집에 단 1편의 논문만이 발표되었고, 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에서 압축기 분야로 17편의 논문이 발표되었다. 논문집에 6편, 학술대회에 11편, 총 17편의 논문이 발표된 2016년도와 논문집에 2편, 학술대회에 13편, 총 15편의 논문이 발표된 2017년도와 비교할 때 학술대회를 통해 발표되는 논문 수는 예전 수준이나 논문집을 통해 발표되는 논문의 수가 매년 조금씩 감소하고 있다. 특히 용적형 압축기의 경우 2015년도에는 로타리 압축기 1편, 스크롤 압축기 2편으로 총 3편이, 2016년도에는 로타리 압축기 1편이, 2017년도에는 스크류 압축기 1편이 발표되던데 반해 2018년도에는 단 한편의 논문도 발표되지 않았다.

본 연감에서는 2018년도 한국유체기계학회 논문집 과 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에서 발표된 논문 18편을 압축기의 구동형식에 따라 원심압축기, 축류압축기, 기타 압축기로 구분하여 소개한다.

2. 원심압축기

원심압축기는 2016년도에 11편, 2017년도에 13편의 논문이 발표되었고, 2018년도에는 총 11편의 논문이 발표되어 원심압축기 관련 논문이 예년과 유사한 수준의 편수가 발표되었다.

임강수 등⁽¹⁾은 상대적으로 낮은 유량계수를 가지는 임펠러를 베인이 있는 디퓨저와 스크롤과 함께 회전수를 변경해 가며 틱간극에 따른 원심압축기 성능 변화를 시험하였다. 서로 다른 Mu 및 4가지 틱간극으로 시험한 결과 Mu가 높을수록 압력면과 흡입면의 압력차가 커져 틱간극에 따른 손실이 커진다는 결론에 도달하였다.

박치용 등⁽²⁾은 연료전지차용 공기압축기 임펠러 날개 설계 변수에 따른 성능변화 및 제작단가에 관한 연구를 소개하였다. 임펠러의 날개두께와 날개 수를 변수로 하여 CFD 해

석을 통해 성능을 분석하였고, 해석 모델 중 4 종의 임펠러를 제작하여 실험을 통해 성능을 검증하였다.

박근성 등⁽³⁾은 다양한 트리밍 기법을 이용한 천음속 원심형 임펠러 시리즈의 공력설계에 관한 수치해석적 연구를 수행하였다. NASA CC3 천음속 압축기를 대상으로 압축기의 성능 변화와 임펠러 시리즈의 공력설계 연구를 수행하기 위한 트리밍 기법인 Flow Cut, Axial Trim 및 Diameter Trim의 적용에 대해 소개하였다. ANSYS CFX를 사용하여 트리밍 기법에 따른 공력성능 변화를 수치해석적으로 확인하고, 임펠러 시리즈 공력설계 및 개발에 대한 가이드를 제시하였다.

고희환 등⁽⁴⁾은 자기 베어링을 사용한 고온 히트펌프용 무급유 원심압축기의 성능평가를 위한 시험장치 구성에 대한 논문을 발표하였다. 제작된 시험장치는 AHRI 550/590 및 ASME PTC 10을 참고하여 압축기의 정격성능평가와 내구성평가, 그리고 비정상 상태에서의 성능변화를 평가할 수 있도록 제작되었다. 작동 유체는 150℃까지의 고온 냉매가 사용될 수 있고, 고온수 탱크, 응축기, 증발기 대응 열교환기, 냉각탑, 냉매배관 및 계측제어 시스템으로 이루어져 있으며, 압축기 공력성능을 분석할 수 있도록 냉매 질량유량계, 고주파용 전력측정기 등이 설치되었다.

김재호 등⁽⁵⁾은 고고도 무인기 왕복동 엔진을 위한 고고도 모사 환경에서 터보차저 시스템의 지상조건 성능 검증하기 위한 2단 터보차저 시험리그 개발 및 성능 시험에 관한 연구를 수행하였다. 2단 터보차저 시스템에는 LP 터보차저 압축기 출구에 수냉식 인터쿨러가 적용되었다. 유량 측정을 위해 3개의 벤츄리 유량계가 사용되었다. 밸브 조작 및 질량 유량에 따라 HP 터보차저 압축기와 LP 터보차저 압축기의 운전 점에 대한 연구 결과를 소개하였고 인터쿨러의 영향에 대한 결과도 분석하였다.

원심압축기를 대상으로 하는 다양한 설계 최적화 연구가 수행되었다. 김무성 등⁽⁶⁾은 원심압축기의 Blade lean angle 분포에 대한 최적화 연구를 수행하였다. 격자는 ANSYS ICEM-CFD를 사용하여 육면체 형태의 격자를 적용하고, ANSYS CFX를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 형상최적화 상용프로그램인 CAESES를 사용하고, 목적함수를 설계유

* 한국기계연구원 극한기계연구본부
E-mail : jmseo@kimm.re.kr

량에서 전압상승계수를 최대화하는 최적설계를 수행하였다.

오명훈 등⁽⁷⁾은 수치해석적 연구를 통해 원심압축기 원주방향 그루브가 실속마진에 끼치는 특성을 확인하고 최적화를 수행하여 최대 실속마진을 확보하는 연구를 수행하였다. 원주방향 그루브의 너비와 높이에 대한 2인자 완전요인배치법과 반응표면법을 사용하여 최적화를 수행하였다. 최적화로 기존 형상에 비해 7%의 실속마진이 증가하고, 1% 미만의 효율 감소를 가지는 형상을 도출하였다.

KAIST에서는 초임계 이산화탄소 브레이튼 사이클에 적용되는 원심압축기에 관한 다양한 연구를 수행하였다. 조성국 등⁽⁸⁾은 초임계 이산화탄소 브레이튼 사이클용 원심압축기 출구 후향각 민감도 분석을 수행하였다. 이산화탄소 임계점 온도인 304.13K 부근에서 작동하는 압축기 설계에서 후향각 변화와 압축기 운전점이 압축기 효율에 미치는 영향을 분석하였다. 1차원 설 결과로 일반적인 압축기 후향각인 $-50^{\circ} \sim -56^{\circ}$ 보다 큰 후향각에서 더 높은 효율이 나타나는 것으로 나타났고 -70° 에서 가장 높은 효율을 갖게 됨을 확인하였다.

정용주 등⁽⁹⁾은 일차원 설계 방법론을 이용한 준등온압축기 공력 설계 및 해석에 관한 연구를 수행하였다. 초임계 이산화탄소 압축기는 임계점 부근의 압축일이 크게 감소하기 때문에 압축일을 최소화하기 위해 제시된 등온압축기 구현에 관한 연구를 수행하였다. 원심형 준등온 압축기의 공력학적 설계 및 해석을 수행하고 압축일 감소에 대한 검토와 구현을 위한 설계상의 문제점들을 파악하였다.

조성국 등⁽¹⁰⁾은 초임계 이산화탄소 원심형 터보기기 설계를 위한 무차원 수에 대한 분석 연구를 수행하였다. 기존의 터보기기 설계에 활용되었던 Balje의 무차원 수 선도를 초임계 이산화탄소 임계점 근처에서 작동하는 압축기 설계 적용의 타당성에 대한 연구를 수행하였다. NIST의 Refprop Database 물성을 사용하였고, KAIST-TMD 코드를 통해 검토하였다. Balje의 무차원 선도가 원심형 압축기 설계에서 회전 속도, 단수, 크기 등의 설계 변수를 선택하는 방법에서는 유효하지만 효율값 예측에서는 큰 차이가 발생하는 것을 확인하였다.

정용주 등⁽¹¹⁾은 무차원 상사성을 이용한 초임계 이산화탄소 압축기 탈설계 성능평가 방법론 비교에 관한 연구를 수행하였다. 초임계 이산화탄소 브레이튼 사이클에 적용되는 압축기의 경우 급격한 물성치 변화가 일어나는 임계점 부근에서 작동되어, 기존 공기에 적요되었던 압축기 설계 및 성능평가 방법론과 다른 방법론이 필요하다. IG, IGZ, BNI, Glassman, CEA 등 다양한 무차원 상사 모델을 비교하여 압축기의 탈설계점 예측 성능을 비교하였다.

3. 축류압축기

축류압축기에 관해서는 총 4편이 발표된 2016년과 총 1편

이 발표된 2017년도에 비해 다소 늘어난 총 5편의 논문이 발표되었다.

윤남준 등⁽¹²⁾은 슈라우드 축류압축기를 대상으로 공동을 포함한 상류 정익과 하류 동익의 비정상 시뮬레이션을 통해 유동의 하류 동익에 미치는 영향을 분석하는 연구를 수행하였다. 하류 공동 부근의 압력장은 하류 동익의 앞전으로 인한 효과가 지배적이고 하류 공동 부근의 속도장은 압력장 변동과 정익의 흡입면의 박리의 효과가 작용한다는 결론을 도출하였다.

Ali Zamiri 등⁽¹³⁾은 NASA Rotor-67 천음속 축류압축기의 비정상유동을 분석하기 위해 비정상 RANS 해석을 수행하였다. ANSYS CFX 해석 프로그램을 사용하였고, $k-\omega$ SST 난류 모델을 적용하였다. 수행한 해석 결과를 기존 시험 결과와 비교 분석하였다.

서준혁 등⁽¹⁴⁾은 초음속 캐스케이드 시험을 통한 2차원 천음속 압축기 익형 설계를 검증하였다. 두산중공업에서 설계한 산업용 가스터빈 축류압축기의 천음속 익형을 실험적으로 측정하고, 이를 설계와 비교하여 설계 검증을 수행하였다. 상용 프로그램인 MISES를 이용하여 2차원 익형 설계 및 유동해석을 수행하였다. 초음속 풍동 시설을 활용하여 캐스케이드 시험을 수행하고 MISES를 통해 계산한 결과를 검증하는 연구를 수행하였다.

서울대학교에 설치된 저속 4단 축류압축기를 이용한 비정상 유동에 관한 다양한 연구가 소개되었다. 임성경 등⁽¹⁵⁾은 4단 축류압축기 슈라우드 내부 캐비티에서 발생하는 비정상 누설 유동의 특성을 측정하는 연구를 수행하였다. 캐비티 내부 누설의 비정상 속도 분포를 파악하기 위해 hot-wire를 각 점에서 Yaw 방향으로 2번 회전하여 측정하였고, 누설량을 계산하기 위해 슈라우드 내부 레버린스 실을 지나는 유동의 압력강하를 슈라우드 표면에 탭을 내어 측정하였다.

이재형 등⁽¹⁶⁾은 4단 축류압축기 슈라우드형 정익의 비정상 유동에 대한 연구를 수행하였다. 슈라우드형 정익 상/하단의 비정상 속도분포를 측정하여 허브 비정상 유동의 kinematics를 분석하고, 모서리 박리가 wake stretching에 미치는 영향을 파악하였다. 동익과 정익 후류의 상호작용으로 인해 후류의 세기 및 폭이 증감하고, 모서리 유동 박리가 슈라우드형 정익 허브의 유로 폭을 줄여, wake stretching 현상을 감소시켜 동익 후류의 감소를 줄인다는 결론을 도출하였다.

4. 기타 압축기

최재호⁽¹⁷⁾는 항공용 가스터빈에 적용되는 천음속 압축기의 특징에 대해서 살펴보고, 응용분야를 고려한 원심형, 사류형 및 축류형 압축기의 설계 전략과 각 압축기의 설계 방향에 대해 소개하였다. 단당 압력비 약 5:1의 원심 및 사류형 압축기와 가변 베인이 적용된 다단 축류형 압축기의 개발 사례를 설

계, 해석 및 시험의 관점에서 분석하였다.

정기진 등⁽¹⁸⁾은 종래의 록호퍼 시스템을 대체하기 위하여 저장호퍼에 있는 상압의 분체를 기계적 작동에 의해 압축하여 압력반응기로 분체를 연속적으로 주입함과 동시에 가스의 역류를 방지하는 고압 주입장치를 이용한 시험에 대해 실험 장치, 실험 방법 및 실험 결과를 소개하였다. 실험은 하부 고압호퍼의 압력 변화와 압착롤러 모터의 속도 변화에 따라 주입량 변화를 측정하였고, 분체의 주입량은 주입속도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하고, 반응기의 압력 증가에 따라 감소하는 결과를 도출하였다.

5. 결 론

2018년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회를 통해 발표된 논문을 중심으로 압축기 분야의 연구동향을 간단히 정리하였다. 압축기 분야에서 연구의 특징을 서술한다면 17편의 논문이 발표된 2016년과 15편의 논문이 발표된 2017년과 유사한 18편의 논문이 발표되었다. 원심압축기의 경우 성능 향상을 위한 설계 및 최적화에 대한 연구가 주류를 이루고 있으며, KAIST에서는 초임계 CO₂ 사이클용 압축기와 관련된 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 축류압축기의 경우 전산수치해석을 통한 비정상유동 연구와 서울대학교 4단 축류압축기를 이용한 비정상 유동 측정에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다. 다만 적은 편수이기는 하나 매년 발표된 용적형 압축기에 대한 논문이 2018년도에는 단 한편도 발표되지 않았다. 향후에는 용적형 압축기에 대한 논문도 증가하기를 기대한다.

References

- (1) 임강수, 노진현, 임창우, 2018, “팁간극에 따른 원심압축기 성능 변화,” 한국유체기계학회 하계학술대회 논문집.
- (2) 박치용, 양현섭, 조경석, 이창하, 하경구, 김치명, 2018, “연료전지차용 공기압축기 임펠러 날개변수에 따른 성능 및 제작에 관한 연구,” 한국유체기계학회 하계학술대회 논문집.
- (3) 박근성, 정진택, 2018, “다양한 트리밍 기법을 이용한 천음속 원심형 임펠러 시리즈의 공력설계에 관한 수치해석적 연구,” 한국유체기계학회 동계학술대회 논문집.
- (4) 고희환, 정동진, 김경엽, 2018, “자기 베어링을 사용한 고온 히트펌프용 무급유 원심 압축기의 성능평가를 위한 실험장

- 치 구성,” 한국유체기계학회 하계학술대회 논문집
- (5) 김재호, 강영석, 전상욱, 임병준, 2018, “2단 터보차저 시험 리그 개발 및 성능 시험,” 한국유체기계학회 논문집, 21권 3호, pp. 29~34.
- (6) 김무성, 최민석, 2018, “원심 압축기의 Blade Lean Angle 분포에 대한 최적화 연구,” 한국유체기계학회 동계학술대회 논문집.
- (7) 오명훈, 박수현, 고재익, 최민석, 2018, “원심 압축기 원주방향 그루브의 최적화 연구,” 한국유체기계학회 동계학술대회 논문집.
- (8) 조성국, 배성준, 정용주, 이정익, 2018, “초임계 이산화탄소 원심 압축기 출구 후향각 민감도 분석,” 한국유체기계학회 하계학술대회 논문집.
- (9) 정용주, 조성국, 허진영, 이정익, 2018, “일차원 설계 방법론을 이용한 준등온압축기 공력 설계 및 해석에 관한 연구,” 한국유체기계학회 하계학술대회 논문집.
- (10) 조성국, 정용주, 김성구, 이정익, 2018, “초임계 이산화탄소 원심형 터보기기 설계를 위한 무차원 수 분석,” 한국유체기계학회 동계학술대회 논문집.
- (11) 정용주, 손성민, 조성국, 백승준, 이정익, 2018, “무차원 상사성을 이용한 초임계 이산화탄소 압축기 탈설계 성능평가 방법론 비교에 관한 연구,” 한국유체기계학회 동계학술대회 논문집.
- (12) 윤남준, 송성진, 2018, “슈라우드 축류 압축기 내의 공동부근 유동장 해석,” 한국유체기계학회 동계학술대회 논문집.
- (13) Ali Zamiri, 정진택, 2018, “Full-Annulus Unsteady Simulations of a Transonic Axial Compressor,” 한국유체기계학회 하계학술대회 논문집.
- (14) 서준혁, 최재우, 이성룡, 송재욱, 2018, “초음속 캐스케이드 시험을 통한 2차원 천음속 압축기 익형 설계 검증,” 한국유체기계학회 동계학술대회 논문집.
- (15) 임성경, 이재형, 송성진, 2018, “다단 축류압축기 슈라우드 내부 비정상 유동 측정,” 한국유체기계학회 하계학술대회 논문집.
- (16) 이재형, 임성경, 문홍성, 송성진, 이성룡, 2018, “축류 압축기 슈라우드형 정익의 비정상 유동,” 한국유체기계학회 동계학술대회 논문집.
- (17) 최재호, 2018, “천음속 압축기의 설계 전략과 개발 사례,” 한국유체기계학회 하계학술대회 논문집.
- (18) 정기진, 변용수, 윤성필, 권인구, 정석우, 2018, “압력반응기로의 연속적 분체주입을 위한 고압 주입장치 실험적 연구,” 한국유체기계학회 하계학술대회 논문집.