

2017년 압축기 분야 연구동향

서정민*

1. 서 론

2017년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집과 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회의 논문 중 압축기 분야를 통해 발표된 연구내용을 요약하여 소개한다. 한국유체기계학회 논문집에 총 2편의 논문이 발표되었고, 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에서 압축기 분야로 13편의 논문이 발표되었다. 논문집에 5편, 학술대회에 14편, 총 19편의 논문이 발표된 2015년도와 논문집에 6편, 학술대회에 11편, 총 17편의 논문이 발표된 2016년과 비교할 때 해마다 발표되는 논문의 수가 매년 조금씩 감소하고 있다.

본 연감에서는 2017년도 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에서 발표된 논문 15편을 압축기의 구동형식에 따라 터보형 압축기와 용적형 압축기로 구분하여 소개한다.

2. 터보형 압축기

터보형 압축기는 크게 원심압축기와 축류압축기로 구분할 수 있으며, 2017년도에는 원심압축기 13편, 축류압축기 1편으로 총 14편의 논문이 발표되었고, 원심압축기 11편, 축류압축기 4편, 기타 1편으로 총 16편의 터보형 압축기 논문이 발표된 2016년도에 비해 원심압축기 관련 논문은 다소 늘었고, 축류압축기 관련 논문은 다소 줄었다.

2.1 원심압축기

원심압축기에 대해 총 13편의 논문이 발표되었다. 홍상원⁽¹⁾은 원심압축기의 기존 설계에 대한 해석결과나 시험결과를 활용하여 신규 운전조건의 탈설계점에 대한 고객요구조건 만족 여부를 쉽게 판단할 수 있도록 무차원화된 성능계수인 유량계수와 양정계수를 활용한 공력성능 해석 프레임워크를 구축하였다. 예커드 원심압축기 및 서울대학교의 1단 원심압축기의 시험 및 수치해석 결과를 활용하여 구축한 공력성능 해석 프레임워크의 예측 정확성을 확인하였다.

전상욱 등⁽²⁾은 무인기의 고고도 운전을 위한 터보차저에서 스톨 마진을 확보할 수 있는 케이싱 트리트먼트 중 하나인 임펠러 전연 이후에 슬릿을 만들어 공기를 압축기 입구 쪽으로 재순환시키는 포트 슈라우드에 관한 수치해석적 연구를 수행하였다. GTX2867R을 테스트 모델로 선정하였고, 고도 0 km, 18 km 조건에서의 포트 적용 여부에 따른 유량에 대한 압력비 및 효율 특성을 확인하였다. 포트 적용 시에 압력비 및 효율 감소는 2~4% 수준인데 반해, 스톨 발단 유량이 24~30% 가까이 줄어드는 결과를 나타내었다.

임체규 등⁽³⁾은 압축기 임펠러의 제작 공차를 고려한 임펠러의 확률적 고유주파수 해석 방법에 대해 연구하였다. 제작 시 발생할 수 있는 오차를 가정하여 입/출구 위치의 길이, 입구/출구의 허브 및 슈라우드의 블레이드 두께, 블레이드 입구 각도 등 7가지 형상 변수를 선정하고, 형상 변수가 고유주파수에 주는 영향을 분석하였다. 1000개의 임의의 샘플을 생성하여 해석 및 예측 모델을 통해 구한 고유주파수의 확률 분포를 비교하여 예측모델이 타당하다는 결론을 도출하였다.

공동재 등⁽⁴⁾은 원심압축기에서 임펠러와 디퓨저 베인의 래디얼갭과 유량 계수가 임펠러 비정상 하중에 미치는 영향을 비정상 수치해석을 통해 조사하였다. 실속 근처와 설계점 근처의 두 가지 유량 계수에 대해 래디얼갭 1.04, 1.10의 조건에서 비교하였다. 래디얼갭 1.04의 경우 실속 근처 유량 계수에서의 비정상 하중이 설계 유량 계수에서의 비정상 하중보다 크며, 래디얼갭이 증가함에 따라 모든 유량 계수에서 임펠러 비정상 하중의 유량 계수 의존도는 감소하는 결과를 도출하였다.

Zamiri 등⁽⁵⁾은 원심압축기 디퓨저 베인 전연의 경사가 스톨 마진에 미치는 영향에 관한 전산해석적 연구를 수행하였다. 디퓨저 베인 원형과 경사 $\pm 30^\circ$ 에 관해 전압비 및 압축기 효율을 비교하여, 디퓨저 베인의 전연 경사가 압축기 공력 효율 향상과 운전 영역을 넓히는 효과가 있음을 확인하였다.

전한욱 등⁽⁶⁾은 증속 기어형 원심 압축기의 커플링 부 비틀림 진동 측정을 위해 레이저 바이브로미터, 레이저 타코미터, 롤러 엔코더, 스트레인-게이지 등을 사용하였고, 진동 결과를 비교하여 스트레인-게이지가 가장 적합한 측정법임

* 에너지기계연구본부, 한국기계연구원(Energy Systems Research Division, Korea Institute of Machinery and Materials) 교신저자, E-mail : jmseo@kimm.re.kr

을 확인하였다. 또한 스트레인-게이지로 측정된 1차 비틀림 진동 모드와 고유진동수를 수치 해석값과 비교하여 수치해석의 정밀도를 검증하는 연구를 수행하였다.

강영석 등⁽⁷⁾은 초임계 이산화탄소로 구동되는 발전 사이클에 사용되는 압축기 공력설계에 관한 연구를 수행하였다. 사이클을 통해 압축기의 질량유량 3.7kg/s, 압력비 1.75를 가지는 원심압축기를 설계하였고, 설계회전수를 70,000 rpm으로 설정하였다. 설계 프로세스를 통해 형상을 도출하고, CFD를 통해 설계 성능을 예측하였다. 이 후 원심압축기 전용 시험리그를 이용하여 성능시험을 진행할 예정이다.

Low GWP 냉매 대응 고효율 터보냉동기 개발 과제와 관련하여 다수의 논문이 발표되었다. 김종성⁽⁸⁾은 지구온난화 지수가 낮은 R-1234zd 냉매를 사용하는 500RT급 압축기 시제품 시험용 냉동기 제작에 관한 연구 내용을 소개하였다. 이호균⁽⁹⁾은 이 과제를 통해 500RT급 고효율 터보냉동기 컨트롤러 개발에 관한 연구를 수행하였다. 김태현⁽¹⁰⁾은 500RT용 터보냉동기용 전동기 개발에 관한 연구를 수행하였다. 전기설계 프로그램을 이용하여 고효율 전동기의 전기 설계 및 구조 설계를 수행하였다.

박주훈 등⁽¹¹⁻¹²⁾은 R-1234zd를 냉매로 사용하는 터보냉동기용 원심형 2단 압축기 공력설계를 수행하였다. 사이클 설계로부터 운전점에 대한 정보가 제시된다. 1D 설계 및 성능 분석, 3D 형상도출, 2D 디퓨저 설계, 통합 설계 및 3D CFD 분석의 순으로 압축기 설계를 수행하였다. 또한 R-134a 2단 터보냉동기용 원심압축기에 Low-GWP 대체냉매 2종을 적용하고, drop-in 시험을 위해 필요한 원심압축기의 각 단별 성능을 예측하였다. ASME performance Test Code-10의 Type 2를 이용하여, 대체 냉매를 적용한 원심압축기의 예상 운전영역 및 예상 성능을 계산하였다. R-1234zd (E) 및 R-1234ze (E)를 적용한 1단과 2단의 예측 결과와 drop-in 시험 결과를 비교하여 예측 성능을 분석하였다.

아리한트 등⁽¹³⁾은 냉매압축기의 공력성능 향상을 위한 최적화를 위한 전산해석적 연구를 진행하였다. 전연에서 후연까지의 tangential beta 각 분포에 관해 형상 최적화를 수행하였다. beta 각 분포는 4개의 제어점이 있는 3차 Bezier 곡선으로 표현하였다. 전등엔트로피 효율을 목적함수로 하여 Latin Hypercube Sampling (LHS) 기법으로 12개의 시험군을 도출한 후 CFD를 통해 최적화를 수행하였다.

2.2 축류압축기

축류압축기에 관해서는 총 4편이 발표된 2016년도에 비해 2017년에는 1편의 논문만이 발표되었다. 이재형 등⁽¹⁴⁾은 서울대학교가 보유한 저속 실험용 축류 압축기에 대해 소개하였다. IGV와 4개의 단으로 구성되어 있는 수직으로 정렬된 open-type의 압축기는 55 kW의 모터에 의해 구동되며, 기어박스

에 의해 1,000 rpm으로 회전한다. 레이놀즈수 261,800이며, 반경이 500 mm이다. 정상 및 비정상 유동을 측정하기 위한 다양한 센서들을 적용하였다. IGV, 동익 및 정익은 stagger angle을 변경할 수 있도록 설계되었으며, 동익의 solidity 또한 변경할 수 있다. 압축기 내부 유동장 측정을 위해 센서 및 프로브가 원주방향 및 반경방향으로 이송할 수 있도록 되어 있다.

3. 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 발표된데 반해, 2016년도에는 로타리 압축기 1편이, 2017년도에는 스크류 압축기 1편으로, 예년에 비해 최근 들어 관련 논문의 수가 크게 줄었다.

3.1 스크롤 압축기

변순석 등⁽¹⁵⁾은 공압제어용 스크류 압축기 로터 형상 설계 프로그램 개발에 관한 연구를 수행하였다. 스크류 압축기는 로터 로브 사이 및 로터와 하우징 간극에서 형성되는 밀폐체적 변화에 따라 매우 복잡하고 로터 회전에 따른 동적 물체 문제 특성으로 인해 수치적 접근이 어렵다. 본 연구에서 압축기 성능에 미치는 중요 인자인 치형 형상을 생성시키는 MATLAB 기반의 치형 설계 프로그램을 개발하였다.

4. 결론

2017년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회의 논문을 중심으로 압축기 분야의 연구동향을 간단히 정리하였다. 압축기 분야에서 연구의 특징을 서술한다면 17편의 논문이 발표된 2015년에 비해 다소 감소한 15편의 논문이 발표되었다. 특히 축류압축기 1편, 용적형 압축기 1편에 비해 원심압축기의 논문이 13편으로 그 비중이 매우 높아졌다. 향후에는 지속적으로 우수한 연구 결과들이 발표되고, 특히 축류압축기 및 용적형 압축기에 대한 논문이 증가하여, 압축기 분야의 다양성이 향상되기를 기대한다.

References

- (1) 홍상원, 2017, "원심압축기 공력성능 해석 프레임워크 구축," 한국유체기계학회 논문집, 제20권 제3호, pp. 36~41.

- (2) 전상욱, 임병준, 강영석, 2017, “Ported Shroud 원심압축기 성능에 미치는 운용고도의 영향,” 한국유체기계학회 논문집, 제20권 제4호, pp. 31~36.
- (3) 임제규, 김영주, 황성현, 임찬선, 2017, “압축기 임펠러의 제작 공차를 고려한 확률적 해석 방법 연구,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (4) 공동재, 송성진, 2017, “유량 계수와 래디얼갭이 원심압축기 임펠러 비정상 하중에 미치는 영향,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (5) Ali Zamiri, Byung Ju Lee, and Jin Taek Chung, 2017, “Effects of Inclined Leading Edge in Diffuser Vane on Stall Margin in a Centrifugal Compressor,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (6) 전한욱, 이태욱, 2017, “증속 기어형 원심 압축기의 커플링부 비틀림 진동에 대한 계측기 별 측정 결과 비교,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (7) 강영석, 허재성, 신형기, 조준현, 조종재, 백영진, 2017, “초임계 이산화탄소 사이클 적용을 위한 원심압축기 공력설계,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (8) 김종성, 2017, “지구 온난화 대응 500RT급 터보냉동기 개발,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (9) 이호균, 2017, “500RT급 고효율 터보냉동기 컨트롤러 개발,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (10) 김태현, 2017, “지구 온난화 대응 터보냉동기 500RT용 전동기 개발,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (11) 박주훈, 신유환, 곽승용, 하현우, 김종성, 2017, “지구 온난화 대응 터보냉동기용 원심형 압축기 공력설계,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (12) 박주훈, 신유환, 정진택, 2017, “성능시험코드와 대체냉매를 이용한 냉동기용 원심압축기의 성능예측,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (13) 소나왓 아리한트, 최영석, 김진혁, 이경용, 2017, “최적화를 통한 냉매압축기의 공력성능 향상 분석,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (14) 이재형, 이계병, 송성진, 2017, “서울대학교 실험용 축류 압축기,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (15) 변순석, 김윤제, 2017, “공압제어용 스크류 압축기 로터형상 설계 프로그램 개발,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.