

2016년 압축기 분야 연구동향

서정민*

1. 서 론

2016년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회의 논문 중 압축기 분야를 통해 발표된 연구내용을 요약하여 소개한다. 한국유체기계학회 논문집에 총 6편의 논문이 발표되었고, 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에서 압축기 분야로 11편의 논문이 발표되었다. 논문집에 5편, 학술대회에 14편, 총 19편의 논문이 발표된 2015년도와 비슷한 수의 논문이 발표되었다.

본 연감에서는 2016년도 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에서 발표된 논문 17편을 압축기의 구동형식에 따라 터보형 압축기와 용적형 압축기로 구분하여 소개한다.

2. 터보형 압축기

터보형 압축기는 크게 원심압축기와 축류압축기로 구분할 수 있으며, 2016년도에는 원심압축기 11편, 축류압축기 4편, 기타 1편으로 총 16편의 논문이 발표되었고, 원심압축기 12편, 축류압축기 3편, 기타 1편으로 총 16편의 터보형 압축기 논문이 발표된 2015년도와 발표된 논문 수가 동일하다. 또한 원심압축기와 축류압축기의 비율도 2015년도와 거의 유사하다.

2.1 원심압축기

원심압축기에 대해 총 11편의 논문이 발표되었다. 마상범 등⁽¹⁾은 터보차저에 사용되는 원심기의 효율을 향상시키고, 작동 영역을 개선하기 위한 능동형 캐비티 트리트먼트 적용에 관한 연구를 수행하였다. 이 연구에서 캐비티를 이용한 능동형 캐이싱 트리트먼트가 적용된 원심압축기에 대해 초킹 및 서지 조건에서의 공력성능을 3D 수치해석적으로 분석하고, 캐비티의 길이, 입구 및 출구부의 폭, 출구부(분사구)의 각도 등의 캐비티 형상 변화가 원심압축기의 공

력성능에 미치는 영향을 분석하였고, 그 결과를 실험치와 비교하였다. 능동형 캐이싱 트리트먼트 방식을 적용할 경우 원심압축기는 설계점에서의 단열효율 및 전압력비의 손실 없이 초킹 조건에서는 향상된 효율과 압력비를 확보함과 동시에 서지영역에서 운전영역을 확장할 수 있다는 결론을 도출하였다. 이병주 등⁽²⁾은 스플리터의 코드길이와 피치방향 위치가 천음속 원심압축기의 유동 특성에 미치는 영향에 관한 전산해석적 연구를 수행하였다. 본 연구에서 기존의 메인블레이드의 형상변수가 아닌 스플리터의 코드길이와 피치방향 위치를 설계변수로 하여 원심압축기의 유동 및 성능에 미치는 영향을 분석하였고, 이를 위해 기준이 되는 천음속 원심압축기를 설계하고, 스플리터 코드길이가 다른 4종의 파생모델 및 피치방향 위치가 다른 2종의 파생모델을 추가로 설계하여 비교하였다. 스플리터의 코드길이가 짧아질수록 충격파의 위치가 하류로 이동하여, 압력비는 감소하지만 효율은 증가하고, 스플리터의 피치방향 위치가 메인 블레이드의 압력면에 인접한 것이 흡입면에 인접한 것보다 압력비와 효율이 높게 나타났으나, 중앙에 위치한 모델에 비해 성능이 모두 낮게 나타났다는 결론을 도출하였다. 서태완 등⁽³⁾은 운전안정성 향상을 위한 원심압축기의 유입부 형상변경에 관한 연구를 수행하였다. 입구부에 원주 방향으로 여러 개의 홀을 설치하는 입구덕트 트리트먼트 기법이 적용된 원심압축기에 대해 3D 전산수치해석을 수행하여 그 성능을 평가하였다. 매개변수 분석을 통해 원심압축기의 입구부에 원주방향으로 설치한 홀들의 직경, 길이, 기울기 각도, 그리고 홀과 임펠러 사이 거리 등의 형상변수들의 변화가 원심압축기의 효율 및 운전안정성에 미치는 영향을 분석하였다. 곽우경 등⁽⁴⁾은 터보 차저에 사용되는 원심압축기의 성능을 향상시키기 위해 그루브 캐이싱을 적용하고 그루브 형상 및 슬롯 위치가 성능에 미치는 영향을 수치해석적 연구를 수행하였다. 기하학적 구조에 따른 엔트로피 효율 및 압력 손실 계수 간의 관계를 분석하여 각 경우의 압력비와 효율을 평가하였다. 마상범 등⁽⁵⁾은 원심압축기의 작동 범위를 증가시키면서 공력손실을 최소화할 수 있는 분리된 캐비티를 제안하였고, 이를 사용한 원심압축기의 공력

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

성능을 분석하는 연구를 수행하였다. 이 논문에서 원심압축기의 공력성능을 분석하기 위하여 설계 유량에서의 단열효율과 스톨 마진을 성능함수로 선정한 최적설계를 수행하였다. 압축기 운전의 안정성은 캐비티의 입구폭과 축방향 위치가 증가하고 입구각도가 감소할수록 향상되는 결과를 도출하였다. 강태옥 등⁽⁶⁾은 썬기형 디퓨저 베인이 설치된 천연속 압축기에서 디퓨저 베인의 수가 성능 특성에 미치는 영향에 관한 수치해석적 연구를 수행하였다. 3가지의 베인수에 대해서 설계점과 초킹 유량 부근의 탈설계점에 대해 성능해석을 수행하여 효율 및 압력비를 비교하였다. 황성현 등⁽⁷⁾은 mistuning 블레이드가 압축기 임펠러 공진모드에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 원심압축기의 안정적인 임펠러 설계를 위하여 수치해석 및 시험을 통한 공진마진을 비교하였다. 이 때 각 공진 모드의 최대 피크 주파수를 분석하고, 임펠러의 각 블레이드 내에 존재하는 블레이드 mistuning을 모드 별로 분리하여, 블레이드 개수 및 모드별로 mistuning 원인을 분석하여 공진 주파수 범위를 설정하여 보다 안전한 임펠러 설계를 수행하였다. 송은지 등⁽⁸⁾은 원심압축기에서 슈라우드에 작용하는 유체 가진력 해석 모델에 관한 연구를 수행하였다. Rotordynamic instability 분석을 위한 rotordynamic force 예측에서, 압축성 효과를 고려한 슈라우드 rotordynamic force 해석 모델을 개발하고, 비압축성 모델과 그 결과를 비교하였다. 개발된 압축성 모델의 해석 결과는 비압축성모델의 해석결과와는 예측에서 차이가 발생함을 확인하였다. 조성휘 등⁽⁹⁾은 원심압축기에서 임펠러의 형상 변화에 따른 저유량 영역에서 발생하는 불안정 유동 평가에 대한 수치해석적 연구를 수행하였다. 이 연구에서 CFD를 이용해 임펠러 블레이드 입구 각도 변화가 저유량 영역에서의 불안정한 유동에 어떠한 영향을 미치는지를 확인하였고, 스톨 및 서지마진의 변화가 어떤 경향으로 나타나는지를 정량적으로 비교 및 분석하였다. 임펠러 블레이드 입구 각도를 변경한 수정된 임펠러와 기본형 임펠러에 대한 성능해석을 수행하였고, 수정된 임펠러가 서지마진이 약 5% 가량 증가한 결과를 나타내었고, 이는 압력비 변화에 의한 영향보다 유량 변화에 의한 영향이 더 크다는 결론을 도출하였다. 소나왓 아리한트 등⁽¹⁰⁾은 터보냉동기 시스템용 원심압축기의 성능 분석에 관한 연구를 수행하였다. R134a를 냉매로 사용하는 2단 원심압축기는 3D 전산수치해석과 실험에 의한 성능값을 비교하였다. 또한 R134a와 R1233zd 냉매에 대한 성능 비교를 수치해석을 통해 수행하였다. 박준영 등⁽¹¹⁾은 자기베어링을 이용한 산업용 2단 원심압축기 개발에 대한 연구를 수행하였다. 무급유 베어링 시스템인 자기베어링을 적용하여 출력 300 kW, 압력비 8을 가진 2단 원심압축기 개발을 위해 수치해석을 이용한 설계 및 베어링 회전체 안정성 실험에 대한 연구 내용을 소개하였다.

2.2 축류압축기

축류압축기에 관해서는 총 4편이 발표된 2015년도와 같은 수의 논문이 2016년에 발표되었다. 이재형 등⁽¹²⁾은 서울대학교가 보유한 저속 실험용 축류 압축기에 대해 소개하였다. IGV와 4개의 단으로 구성되어 있는 수직으로 정렬된 open-type의 압축기는 55 kW의 모터에 의해 구동되며, 기어박스에 의해 1,000 rpm으로 회전한다. 레이놀즈수 250,000이며, 반경이 500 mm이다. 정상 및 비정상 유동을 측정하기 위한 다양한 센서들이 적용되어 있다. 덩꽁쯔영 등⁽¹³⁾은 공기흡입이 단단 축류압축기의 공력성능에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. NASA Stage 37 축류압축기를 대상으로 하여 동익 슈라우드에 공기흡입이 성능에 미치는 영향을 수치해석적으로 분석하였다. 공기흡입 위치 및 흡입공기의 양이 운전영역 및 효율에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 김호진 등⁽¹⁴⁾은 현재 두산중공업에서 수행 중인 대형가스터빈 발전기용 축류압축기 시험 리그 및 시험에 대해 소개하였다. 압축기 시험을 위해 scaled 한 압축기 리그를 설계 및 제작하고 시험 계획을 수립하였다. IGV 및 VGV 제어를 통한 압축기 운전 특성 및 운전 조건 확보와 성능 시험 수행을 할 계획이며, 압축기 리그 성능 평가를 위한 시험 항목과 시험 프로그램을 준비 중에 있다. 송유준 등⁽¹⁵⁾은 실험계획법과 반응표면법을 이용하여 천연속 축류 압축기인 NASA rotor 37을 기본모델로 동익 형상에 대해서 최적설계를 수행하였다. 전연(leading edge, LE)에서의 각도와 두께를 설계변수로 하고 단열효율을 목적 함수로 하여 기본모델보다 높은 성능을 갖는 블레이드에 대한 3차원적 최적형상을 도출하였다.

2.3 기타

임병준 등⁽¹⁶⁾은 가솔린을 연료로 사용하는 SI (Spark ignition) 엔진에 2단 터보차저를 장착한 무인기 엔진 시스템에 대하여 비행고도 40,000 ft까지 1차원 성능해석을 수행하였다. 1차원 시스템 해석을 통해 각 단별 터보차저 요구조건을 도출하고 요구 조건을 만족하는 터보차저들을 선정하였다. Ricardo사의 WAVE를 사용하여 대상엔진과 시스템의 모델링 및 시뮬레이션을 수행하고 목표 고도에서 비연료소모율이 최소인 작동점을 설계점으로 결정하여, 다양한 설계 사양을 도출하였다.

3. 용적형 압축기

용적형 압축기로는 왕복동 압축기, 로타리 압축기, 사판식 압축기, 스크류 압축기, 스크롤 압축기, 스윙 압축기 등이 있는데, 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 학술

대회에서 2015년도에는 로타리 압축기 1편, 스크롤 압축기 2편으로 총 3편의 용적형 압축기 논문이 발표되는데 반해, 2016년도에는 로타리 압축기 1편이 발표되어, 전년에 비해 그 수가 크게 줄었다.

3.1 스크롤 압축기

정승빈 등⁽¹⁷⁾은 차량용 전동식 압축기내 유분리기 성능향상을 위한 연구를 수행하였다. 유분리기는 외부와 내부 크기 및 나선형 흐름 패턴에 따라 정해지며, 내부 형상은 유체의 흐름을 형성하는데 중요한 역할을 한다. 이 연구에서 유분리기의 Tap 가공 나선형상이 유체의 거동과 불일치할 경우, 유로저항이 발생하고 분리 효율이 감소할 것으로 예상하고 이를 개선하기 위한 실린더형 유분리기를 제작하는 연구를 수행하였다.

4. 결 론

2016년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회의 논문을 중심으로 압축기 분야의 연구동향을 간단히 정리하였다. 압축기 분야에서 연구의 특징을 서술한다면 19편의 논문이 발표된 2015년과 유사한 수준인 17편의 논문이 발표되었다. 터보형 압축기의 경우 동일한 수인 16편의 논문이 발표된 데에 반해 용적형의 경우 3편에서 1편으로 그 수가 줄어들어 원심압축기 및 축류 압축기와 같이 터보형 압축기의 비중이 더욱 커졌다. 향후에는 지속적으로 우수한 연구 결과들이 발표되고, 특히 용적형 압축기에 대한 논문이 증가하여, 압축기 분야의 다양성이 향상되기를 기대한다.

References

- (1) 마상범, 김광용, 2016, “능동형 케이싱 트리트먼트의 형상 변화가 원심압축기의 공력성능에 미치는 영향,” 한국유체기계학회 논문집, 제19권 제4호, pp. 5~12.
- (2) 이병주, 김대현, 정진택, 2016, “스플리터의 코드길이와 피치방향 위치가 천음속 원심압축기의 유동 특성에 미치는 영향에 대한 전산해석적 연구,” 한국유체기계학회 논문집, 제19권 제5호, pp.5~11.
- (3) 서태완, 허만웅, 김광용, 2016, “운전안정성 향상을 위한

- 원심 압축기의 유입부 형상변화에 관한 연구,” 한국유체기계학회 논문집, 제19권 제5호, pp. 12~19.
- (4) 광우경, 김윤제, 2016, “그루브 케이싱 형상변화가 터보차저 성능에 미치는 영향,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (5) 마상범, 김광용, 2016, “원심압축기 공력안정성 향상을 위한 분리된 캐비티의 적용 및 매개변수 연구,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (6) 강태욱, 정진택, 2016, “천음속 압축기의 디퓨저 베인의 수가 성능 특성에 미치는 영향에 관한 수치해석적 연구,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (7) 황성현, 임체규, 임찬선, 2016, “Mistuning 블레이드가 압축기 임펠러 공진모드에 미치는 영향,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (8) 송지은, 송성진, 2016, “원심압축기 슈라우드에 작용하는 유체 가진력 해석 모델,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (9) 조성희, 김홍집, 이명희, 2016, “원심압축기 임펠러의 형상 변화에 따른 저유량 영역에서 발생하는 불안정 유동 평가,” 한국유체기계학회 논문집, 제19권 제2호, pp. 21~26.
- (10) 소나왓 아리한트, 최영석, 양현모, 이경용, 김진혁, 2016, “터보냉동기 시스템용 원심압축기의 성능 분석,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (11) 박준영, 박철훈, 서정민, 박무룡, 황순찬, 2016, “자기베어링을 이용한 산업용 2단 원심압축기 개발,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (12) 이재형, 이계병, 송성진, 2016, “서울대학교 실험용 축류 압축기 소개,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (13) 덩공쯔영, 김광용, 2016, “공기흡입이 단단 축류압축기의 공력성능에 미치는 영향,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (14) 김호진, 정영진, 최재우, 송재욱, 2016, “가스터빈 축류 압축기 시험 리그 및 시험,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (15) 송유준, 이정민, 김윤제, 2016, “반응표면법을 이용한 축류 압축기의 동익형상 최적설계,” 한국유체기계학회 논문집, 제19권 제2호, pp. 16~20.
- (16) 임병준, 강영석, 강승우, 2016, “무인기용 터보차저 장착 SI 엔진 시스템 성능해석,” 한국유체기계학회 논문집, 제19권 제6호, pp. 43~49.
- (17) 정승빈, 이포영, 남동립, 이건호, 2016, “차량용 전동식 압축기내 유분리기 성능향상을 위한 연구,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.