

## 2015년 압축기 분야 연구동향

서정민\*

### 1. 서 론

2015년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회의 논문 중 압축기 분야를 통해 발표된 연구내용을 요약하여 소개한다. 한국유체기계학회 논문집에 총 5편의 논문이 발표되었고, 한국유체기계학회 학술대회에서 압축기 분야로 14편의 논문이 발표되었다. 논문집에 3편, 학술대회에 11편, 총 14편의 논문이 발표된 2014년도에 비해, 2015년도에는 총 19편으로 논문 발표 수가 상당히 증가하였다.

본 연감에서는 2015년도 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에서 발표된 논문 19편을 압축기의 구동형식에 따라 터보형 압축기와 용적형 압축기로 구분하여 소개한다.

### 2. 터보형 압축기

터보형 압축기는 크게 원심압축기와 축류압축기로 구분할 수 있으며, 2015년도에는 원심압축기 12편, 축류압축기 3편, 기타 1편으로 총 16편의 논문이 발표되었고, 원심압축기 7편, 축류압축기 4편으로 총 11편의 터보형 압축기 논문이 발표된 2014년도에 비해 논문 발표 수가 다소 늘었다. 특히 원심압축기의 경우 7편에서 12편으로 크게 증가하였다.

#### 2.1 원심압축기

원심압축기에 대해 총 12편의 논문이 발표되었다. 김영훈 등<sup>(1)</sup>은 머신 마하수가 원심압축기 공력성능 특성에 미치는 영향에 관해 실험적 연구를 수행하였다. 압축기의 회전수를 조절하여 머신 마하수 0.86~1.25의 영역에서 실험을 통해 측정된 데이터를 상사특성을 활용하여 다양한 성능 곡선을 도출하였다. 특히 출구에서의 유량 계수에 대한 일계수는 머신 마하수와 무관하게 하나의 곡선으로 모여지는 결과를 도출하였다. 허원석 등<sup>(2,3)</sup>은 원심 압축기의 임펠러 마하수에 따른 공력성능 특성에 관한 수치해석적 연구를 수행하였다.

임펠러, 디퓨저와 볼루트로 구성된 산업용 원심압축기를 사용하여 3D 수치해석을 수행하였다. 마하수 0.3~1.15의 영역에서 압축기 전체 성능과 임펠러 및 디퓨저 내부 유동 특성을 분석하였다. 이 연구의 결과를 바탕으로 원심압축기의 예비 설계 단계에서 보다 정확한 공력 성능 및 특성을 예측하기 위한 임펠러의 성능 특성 예측 방법론을 제안하였다. 김재효 등<sup>(4)</sup>은 저 레이놀즈 수가 원심압축기 성능에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 동점도를 변화시켜 레이놀즈 수를 설계값으로부터 1/10까지 변화시키면서 성능 곡선을 계산하였다. 저 레이놀즈 수에서 흡입면의 경계층이 두꺼워지면서 박리가 발생하여 흡입면 부근에서 낮은 전압을 가지는 영역이 확대되고 이 후 디퓨저 및 볼루트의 유동에 나쁜 영향을 미쳐 원심압축기의 성능을 급격히 감소시키는 결과를 도출하였다. 김홍원 등<sup>(5)</sup>은 서지성능 향상을 위한 원심압축기의 bleed slot casing의 설계변수에 대한 수치 해석 및 시험에 대한 연구를 수행하였다. 입구 케이싱의 bleed slot 설계변수를 4가지(upstream slot position, inlet pipe slope, downstream slot position and width)로 설정하여 부분적 실험 계획법을 통해 민감도분석과 최적설계 수치해석을 수행하였고, 최적설계에 대해서 시험으로 결과를 비교하였다. 조성휘 등<sup>(6)</sup>은 원심압축기 임펠러의 형상 변화에 따른 저유량 영역에서 발생하는 불안정 유동에 대한 수치해석적 연구를 수행하였다. 다양한 설계 변수에 대한 검토를 통해 저유량 부근에서의 압력비 등의 성능 특성을 검토하였고, 스톨에 대한 특성에 대해서도 분석하였다. 박준영 등<sup>(7)</sup>은 베인 디퓨저를 가진 원심압축기에서 정상상태와 비정상상태 수치해석을 적용하여 수치해석 방법이 원심압축기 성능 예측에 미치는 영향을 분석하였다. 정상상태 수치해석은 비정상상태 해석보다 원심압축기의 성능을 낮게 서지마진은 크게 예측하여 이는 정상상태 수치해석이 임펠러와 디퓨저의 경계면에서 혼합면 기법의 적용에 따른 강제적인 혼합 손실과 이로 인한 디퓨저 통로에서의 손실 증가에 기인함을 확인하였다. Zamiri 등<sup>(8)</sup>은 NASA CC3 원심압축기를 대상으로 정상상태 및 비정상상태 수치해석을 수행하고, 그 결과를 시험 결과와 비교하였다. 최민욱 등<sup>(9)</sup>은 임펠러 형상변경을 통한 원심압

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

축기 성능 향상 시험 연구를 수행하였다. 기어 타입 다단 압축기의 경우 각 단별 성능을 극대화뿐만 아니라 각 단의 운전 점을 조정하여 시스템을 최적화하는 것이 중요하다. 본 연구에서 600마력 급 표준형 3단 인테그랄 기어 타입 원심 압축기의 성능시험 결과를 분석하여 시스템 설계 및 단별 1차원 기본설계를 통해 신규 모델 형상을 도출하였고, 이를 바탕으로 CFD 해석 작업을 활용하여 형상 수정된 신규 모델을 평가하였으며, 시험을 통한 비교 분석 연구를 수행하였다. 강현수 등<sup>(10,11)</sup>은 실험계획법과 반응표면법을 3단으로 구성된 다단압축기에서 2단 원심압축기에 적용하여 임펠러 쉬라우드 형상최적설계를 수행하였다. 실험계획법으로는 중심합성계획법을 사용하였고, 크리깅 기법을 사용하여 반응표면 함수를 구성하였고, 다목적 유전 알고리즘을 사용하여 등엔트로피 효율 증가와 전엔탈피 손실계수 감소를 목적함수로 하는 최적화를 수행하였다. 또한 동일한 압축기를 대상으로 유체-구조 연성해석을 이용한 형상 최적설계 연구도 진행하였다. 유체-구조연성해석 결과에 의하면, 최대응력은 임펠러의 trailing edge 부근에서 발생하며, 최대변위는 leading edge 부근에서 발생한다. 등엔트로피 효율 증가와 최대응력 감소를 목적함수로 최적화 연구를 수행하였다. 강영석 등<sup>(12)</sup>은 고고도 장기체공 무인기 엔진용 다단 터보차저 구성 및 성능해석에 대한 연구를 수행하였다. 60,000 ft에서 운용되는 고고도 무인기에 대하여 왕복동 엔진으로 구성된 추진 시스템에 희박한 공기를 충분히 압축하여 왕복동 엔진에 공급할 수 있도록 다단으로 터보차저 시스템을 구성하고 1차원 시스템 해석을 수행하여 각 단의 동력 매칭 결과를 바탕으로 터보차저의 사양을 결정하는 연구를 수행하였다.

## 2.2 축류압축기

축류압축기에 관해서는 총 4편이 발표된 2014년도와 유사한 수준인 총 3편의 논문이 발표되었고, 축류압축기에 대한 논문은 모두 최적설계에 관한 논문이 발표되었다. 송유준 등<sup>(13,14)</sup>은 축류압축기를 대상으로 하는 최적설계에 대한 두 편의 논문을 발표하였다. NASA rotor 37 단단 축류압축기를 기본모델로 하여, 동익형상의 공력 성능 최적화를 진행하였다. 실험계획법으로는 중심합성계획법을 사용하고 반응면 기법으로는 비변수회귀법을 사용하였다. 최적설계 방법으로는 단일효율을 단일 목적함수로 하는 screening 방법을 사용하였다. 최적화를 통해 압력비 증가, 압력손실계수 감소, 단일효율 증가하는 동익 형상을 도출하는 결과를 얻었다. 또한 유체-구조 연성해석 기법을 이용하여 공력 효율과 구조적 안전성을 개선하는 최적화 연구도 진행하였다. 노휘원 등<sup>(15)</sup>도 NASA rotor 67에 대해 유전알고리즘을 이용하여, 2차원 익형 최적화를 수행하였다. 목적함수로 효율과 압력비로 하고 비중을 두는 다목적최적화를 진행하였고, 효율 및 압력비

모두 상승하는 형상을 도출하였다.

## 2.3 기타

송지은 등<sup>(16)</sup>은 터보형 압축기의 필수 요소 중 하나인 실에 관한 논문을 한 편 발표하였다. labyrinth seal은 압축기의 정지부와 회전부 사이의 누설 유동을 최소화하는데 많이 사용되는데, 본 논문에서는 불균일 상류 유동을 고려한 labyrinth seal의 불균일 유동 해석 모델에 대한 연구를 수행하였다. 상류 편심 shroud로 인해 발생하는 불균일 유동을 입구조건으로 가진 eye labyrinth seal에서 발생하는 불균일 유동과 공력탄성계수 모델을 개발하고, 개발된 모델을 shroud와 seal 조합 형상에 적용하여 그 영향을 비교하는 연구를 수행하였다.

## 3. 용적형 압축기

용적형 압축기로는 왕복동 압축기, 로타리 압축기, 사판식 압축기, 스크류 압축기, 스크롤 압축기, 스윙 압축기들이 있는데, 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 학술대회에서 2014년도에는 로타리 압축기 1편, 스크류 압축기 2편으로 총 3편의 용적형 압축기 논문이 발표되는데 반해, 2015년도에는 로타리 압축기 1편, 스크롤 압축기 2편으로 총 3편의 용적형 압축기 논문이 발표되어, 전년과 동일한 수의 논문이 발표되었다.

### 3.1 로터리 압축기

로터리 압축기에 관해서는 1편의 논문이 발표되었다. 김현진 등<sup>(17)</sup>은 R410A 에어컨 시스템 성능 향상을 위해 롤링 피스톤 로터리 압축기와 베인 로타리 팽창기가 결합된 일체형 구조의 시스템을 도입하였다. 수치해석을 통해 제시된 시스템의 COP(성적계수)가 8.2% 향상되었음을 확인하였고, 응축기와 증발기 사이의 압력차가 커짐에 따라 동일한 질량유량에서 COP 개선도가 증가하는 결과를 얻었다.

### 3.2 스크롤 압축기

두 편의 스크롤 압축기에 관한 논문은 모두 스크롤 압축기를 운전방향을 반대로 하여 스크롤 팽창기로 활용하는 논문이다. 2편의 논문이 발표되었다. 광철우 등<sup>(18)</sup>과 박은채 등<sup>(19)</sup>은 스크롤 팽창기에서 입구 및 출구 압력 조절, 회전속도 조절, 스크롤 랩 형상 변경에 따른 성능향상에 대한 연구를 수행하였다. 출구압력보다 입구압력 조절이 효율과 출력향상에 기여하고, 회전수 증가는 체적효율 증가시키는 결과를 도출하였다. 유입구 면적과 겹치는 스크롤 랩을 제거할

시에 유량 증가로 출력은 높아지나 효율은 감소하는 특성을 나타낸다.

#### 4. 결 론

2015년 한 해 동안 한국유체기계학회 논문집 및 한국유체기계학회 학술대회의 논문을 중심으로 압축기 분야의 연구 동향을 간단히 정리하였다. 압축기 분야에서 연구의 특징을 서술한다면 전 해인 2014년에 비해 그 논문 수에 있어서 상당히 증가하였고, 특히 원심압축기 분야에서 논문이 대폭 증가하였다. 그리고 발표된 논문이 원심압축기 및 축류압축기와 같이 터보형 압축기 분야에 집중적으로 발표되었다. 향후에도 지속적으로 우수한 연구 결과들이 발표되고, 특히 용적형 압축기에 대한 논문이 증가하여, 압축기 분야의 다양성이 향상되기를 기대한다.

#### References

- (1) 김영훈, 김홍원, 2015, “머신 마하수가 원심압축기 공력성능 특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (2) 허원석, 강신형, 2015, “원심 압축기의 임펠러 마하수에 따른 공력성능 특성에 관한 수치해석적 연구,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제4호, pp. 56~61.
- (3) 허원석, 강신형, 2015, “원심 압축기의 임펠러 성능특성 예측 방법에 관한 연구,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (4) 김재효, 정영진, 최민석, 2015, “저 레이놀즈 수가 원심압축기 성능에 미치는 영향,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (5) 김홍원, 정재훈, 류승협, 이근식, 2015, “서지성능 향상을 위한 원심압축기의 Bleed Slot Casing의 설계변수에 대한 해석 및 시험,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제2호, pp. 22~28.
- (6) 조성휘, 김홍집, 이명희, 2015, “원심압축기 임펠러의 형상 변화에 따른 저유량 영역에서 발생하는 불안정 유동 평가,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (7) 박준영, 서정민, 임형수, 최범석, 2015, “원심압축기에서의 비정상 유동해석,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (8) Zamiri, A., Lee, B. J., and Chung, J. T., 2015, “Computational Investigation of the Transient Flow Characteristics in a High Speed Centrifugal Compressor,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (9) 최민욱, 김진영, 김영훈, 2015, “임펠러 형상변경을 통한 원심압축기 성능 향상 시험,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (10) 강현수, 황인주, 김윤제, 2015, “반응표면법을 이용한 원심압축기 임펠러 쉬라우드 형상 최적설계,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제4호, pp. 44~48.
- (11) 강현수, 송유준, 이종철, 김윤제, 2015, “유체-구조 연성 해석을 이용한 원심압축기 임펠러 블레이드 형상 최적설계,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (12) 강영석, 임병준, 김종국, 2015, “고고도 장기체공 무인기 엔진용 다단 터보차저 구성 및 성능해석,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제6호, pp. 31~36.
- (13) 송유준, 이정민, 김윤제, 2015, “반응표면법을 이용한 축류 압축기의 동익형상 최적설계,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (14) 송유준, 홍창기, 김윤제, 2015, “유체-구조 연성해석 기법을 이용한 단단 축류압축기 최적설계,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.
- (15) 노휘원, 백제현, 2015, “유전알고리즘을 이용한 축류압축기 2차원 익형 최적화,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (16) 송지은, 송성진, 2015, “불균일 상류 유동을 고려한 labyrinth seal 불균일 유동 해석 모델,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (17) 김현진, 노영재, 김용희, 2015, “일체형 로타리 압축기-베인 팽창기,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제3호, pp. 12~19.
- (18) 광철우, 송원빈, 김태균, 김주영, 김광호, 2015, “압력비 변화에 따른 스크롤팽창기 성능특성 실험,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집.
- (19) 박은채, 위형중, 이민주, 김광호, 2015, “스크롤 팽창기 운전특성 및 성능향상에 관한 연구,” 한국유체기계학회 동계 학술대회 논문집.