

## 압축기 분야 연구동향

강정식\*

### 1. 서 론

2010년 한 해 동안에 국내에서 발표된 압축기 관련 논문들을 유체기계공업학회(KFMA), 대한기계학회(KSME) 및 대한설비공학회(SAREF), 한국항공우주학회(KSAS)를 대상으로 살펴보았다. 대한기계회지는 국문논문과 영문논문집인 Journal of Mechanical Science and Technology를 모두 포함하였다. 논문의 수는 2005년도에 43편, 2006년도에 27편, 2007년도에 24편, 2008년도에 25편, 2009년에는 38편에 이어 2010년도에는 35편으로 전년도와 비슷한 수준을 유지하였다. Table 1에는 2010년도에 발표된 논문들의 수를 분야별로 분류하여 나타내었다. 본 연감에서는 압축기의 구동형식에 따라 크게 터보형 압축기와 용적형 압축기로 구분하였으며, 터보형은 다시 원심압축기와 축류압축기로 분류하였고, 용적형은 왕복동, 스크류, 스크롤, 사판식 및 로터리 압축기로 분류하여 기술하였다.

### 2. 터보형 압축기

#### 2.1 원심 압축기

원심압축기에 대한 2010년도의 연구실적은 총 15편으로서 2009년도의 15.5편과 유사하다. 이는 2008년도의 6편에 비하여 상당히 증가된 수가 계속 이어지는 경향이며 이것은 2009년도와 같이 터보냉동기의 개발사업이 활성화되면서 냉매용 원심압축기의 논문수가 9편으로 많이 발표되었기 때문이다.

먼저 냉매용 원심압축기의 연구개발 동향을 정리하였다. 황준현<sup>(1)</sup>은 소형 터보냉매압축기용 2단 원심압축기의 개발에 대한 연구내용을 발표하였다. R134a를 사용하는 압축기로서 고속모터를 적용하여 기어박스가 없는 콤팩트한 압축기를 개발중이다. 조용훈<sup>(2)</sup>은 빙축열 냉동기에 사용되는 2단 원심압축기의 개발과정을 소개하였다. 대체냉매인 R134a를 사용하는 압축기로서 신뢰성 있는 고효율 압축기 및 냉동기를 개발중이다. 박주환 등<sup>(3)</sup>은 앞에 소개한 조용훈<sup>(2)</sup>등의 냉매 압축기에 대하여 전산유동해석을 수행한 결과를 소개하였다.

블레이드의 각도를 조절하여 임펠러 내부의 국부적 압력저하와 와류 문제를 해결한 과정을 소개하였다. 박준영 등<sup>(4)</sup>은 터보냉동기용 원심압축기의 설계에 대한 연구를 수행하였는데 4개의 설계변수를 이용하여 효율을 최대화 하는 블레이드 각 분포의 최적화를 수행하여 효율 향상을 이룰 수 있었고 최적화 과정에 사용된 실험계획법, 인공신경망기법 그리고 유전자 기법들의 사용이 임펠러의 블레이드 각 분포 결정에 효과적임을 보였다. 최민욱 등<sup>(5)</sup>은 R134a를 사용하는 터보냉동기용 원심압축기에 대하여 임펠러, 디퓨저 및 리턴채널을 포함하는 3차원 유동해석을 수행하여 각 구성품들 사이의 유동장 간섭특성을 분석하였다. 김정훈 등<sup>(6)</sup>은 터보냉매압축기의 표준 시험 규격(KS B 6270)의 제정과정을 설명하였다. 최근 산업체에서 활발히 관련 연구 및 제품이 출시되는 상황 이므로 터보냉동기의 성능시험 표준 규격이 필요하게 되었으며 관련 해외 규격과 비교하고 업체의 의견을 수렴하여 작성중인 KS 규격을 소개하였다. 박준영 등<sup>(7)</sup>은 인공신경망 기법과 유전자 기법 등을 응용한 최적설계기법을 원심임펠러의 자오면 최적설계에 적용하여 임펠러의 자오면 형상을 개선하고 효율을 향상시킬 수 있음을 보였다. 이원석 등<sup>(8)</sup>은 R134a를 냉매로 사용하는 원심압축기의 임펠러와 디퓨저 및 리턴채널에 대하여 물성치를 고려한 3차원 수치해석을 수행하였으며 축방향 길이가 다른 3가지의 형상에 대한 연구결과를 발표하였는데, 축방향 길이가 짧을수록 쉬라우드 근처에서의 유동박리로 인한 손실이 증가함을 알 수 있었다. 신정관 등<sup>(9)</sup>은 R134a를 사용하는 터보냉동기용 원심압축기에 대한 설계 및 성능시험을 수행하였다. 설계 압력비와 시험결과가 잘 일치함을 확인하였으며, 디퓨저의 압력회복도 설계값과 실험값이 잘 일치하는 결과를 얻었다.

다음으로 공기용 원심압축기의 연구결과를 정리하였다. 박태규 등<sup>(10)</sup>은 열유체-구조 연계성(FSI) 기법을 원심임펠러의 해석에 적용하여 구조안전성과 공력성능에 대하여 연구하였으며, 임펠러 팁의 최대 변위가 팁간격보다는 적다는 것을 수치해석을 통하여 확인하였다. 박치용 등<sup>(11)</sup>은 원심압축기 임펠러의 입구부분에 가이드베인이 있는 링 그루브를 설치하여 이것이 압축기의 성능과 작동역역에 미치는 영향을 수치해석 방법으로 연구하였다. 가이드 베인이 설치된 링그루브를 적용할 경우 설계점에서는 효율이 감소하지만 저유량에서는 재순환 유동을 안정화시켜서 압력비와 효율을 개선시키며 서진

\* 한국항공우주연구원 항공엔진팀  
E-mail : jskang@kari.re.kr

마진을 향상시킬 수도 있다는 가능성을 보였다. 김홍원 등<sup>(12)</sup>은 최근 적용되는 선박용 엔진의  $\text{No}_x$  저감 요구도에 따라 선박용 과급기(turbocharger)에 사용되는 원심압축기의 압력비를 4.7로 증가시키는 설계를 성공적으로 수행한 결과를 보고하였다. 특히 다양한 형상의 캐스케이드 디퓨저가 성능에 미치는 영향을 보고하였다. 박준영 등<sup>(13)</sup>은 임펠러의 블레이드 두께가 성능에 미치는 영향을 성능해석과 수치해석을 통하여 연구하였으며 두께가 약 25% 감소할 때 수치해석상으로는 각각 전압비는 0.2%, 효율은 0.8% 상승하는 현상을 보고하였다. 서정민 등<sup>(14)</sup>은 500W급의 초소형 가스터빈용 원심압축기의 설계를 위한 기초연구를 수행하였다. 400,000rpm으로 회전하는 압력비 3의 원심압축기에 대하여 1차원 및 3차원 설계를 수행하였다. 박치용 등<sup>(15)</sup>은 원심압축기 임펠러의 입구에 링 그루브를 설치하여 작동범위를 개선하기 위한 연구를 수행하였으며 링 그루브가 팁 근처의 유동을 안정화 시켜서 저유량 영역에서 압력비와 효율을 향상시키고 서지마진을 약 5% 개선하는 결과를 얻었다.

## 2.2 축류 압축기

2008년도에 7편이던 축류압축기 분야 연구 논문이 2009년도에는 14.5편으로 100%이상 논문수가 증가할 정도로 연구가 활발하였으나, 2010년에는 총 10편의 연구결과가 발표되었다

박태춘 등<sup>(16)</sup>은 중소형 항공기에 적용 가능한 6,000lb급 가스터빈 엔진의 3단 고압압축기에 대한 연구를 전년도에 설계에 이어 올해에는 제작 및 시험연구를 수행하였다. 3단 모두 천음속 압축기로서 시험을 통하여 설계값과 근접한 결과를 얻어 다단 천음속 압축기 개발기술을 확보할 수 있었다. 고성호 등<sup>(17)</sup>은 축류압축기의 내부유동을 CFD로 해석할 때 적용하는 경계면 설정이 내부유동에 미치는 영향을 연구하였다. 이세일 등<sup>(18)</sup>은 저압 축류압축기의 로터 블레이드 설계에 최적화 기법을 적용하는 연구를 수행하였으며 다양한 설계 변수들에 대한 민감도 해석을 수행하여 고효율 3차원 블레이드 설계를 시도하였다. 이성룡 등<sup>(19)</sup>은 5MW급 가스터빈의 11단 압축기(축류압축기 10단 + 원심압축기 1단)에 대한 성능 시험을 수행한 결과를 보고하였다. 11단 압축기는 국내에서 개발한 압축기 중에서는 가장 단수가 많으며 소요동력도 가장 큰 압축기라는 점에서도 의의가 있다. 다만 대형 압축기 시험 설비가 국내에는 없어서 국외에서 시험을 수행하였으나, 성공적으로 시험을 수행하였다는 점도 아주 큰 의의가 있다. 임형수 등<sup>(20)</sup>은 4단 저속 축류압축기의 저유량 운전영역을 넓히기 위한 연구의 일환으로 1단에 펠레이션 인젝션을 설치하여 스톨 능동제어를 수행하였으며 시험결과 운전영역을 약 5~6% 정도 확장시킬 수 있었다. 그리고 펠레이션 인젝션의 크기를 변화시켜서 인젝션의 크기가 운전영역 개선에 어떤 영향이 있는지도 연구하였다. 최광진 등<sup>(21)</sup>은 유동해석 방법을

통하여 축류압축기에 케이싱 그루브를 설치하여 저유량 영역에서 유동이 안정화되어 서지마진이 6% 이상 증가하는 현상을 관찰하였으며, 유동이 안정화 되는 이유가 블레이드 앞전에서 발생한 팁 누설 와류의 이동과 관련이 있음을 밝혔다. 홍상원 등<sup>(22)</sup>은 한국항공우주연구원에서 개발한 3단 축류압축기에 인공신경망 이론을 이용한 다분야 통합 최적설계 기법을 적용하여 초기 기본형상과 반응면을 이용한 최적설계 결과에 비하여 개선된 목적함수를 얻었으며 기존의 반응면보다 압축기의 비선형적 특성을 잘 반영한 결과를 도출하였다. 신주현 등<sup>(23)</sup>은 압축기 오염에 따른 성능 변화 예측 및 진단 기술 개발의 일환으로 축류압축기 블레이드의 표면 거칠기가 압축기의 성능에 미치는 영향을 연구하였다. 최광진 등<sup>(24)</sup>은 신경회로망기법을 이용하는 3차원 RANS 해석을 기반으로 하는 수치최적설계를 축류압축기의 케이싱 그루브 설계에 적용하여 최적화된 그루브 형상을 가진 압축기의 스톨마진이 그루브가 없는 경우에 비하여 약 7.3% 증가하는 것을 보였다. 백승철 등<sup>(25)</sup>은 축류압축기 캐스케이드에서 압축기 블레이드의 표면거칠기가 성능에 미치는 영향을 시험적으로 연구하였다. 연구결과 압축기 날개의 표면거칠기가 압력손실과 편차각을 증가시키는 현상을 발견하였으며 이것은 압력면보다 흡입면에서 더 민감하게 작용하는 것을 관찰하였다.

## 3. 용적형 압축기

용적형 압축기로는 로터리 압축기, 사판식 압축기, 스크롤 압축기, 왕복동 압축기들이 있는데, 지난 2010년도에 발표된 논문들은 로터리 압축기 2편, 왕복동 압축기 3편, 스크롤 압축기 3편, 스크류 압축기 1편, 사판식 압축기 1편으로서 총 10편이 발표되었다. 이 들 대부분은 냉매를 압축하는 압축기에 대한 연구결과라는 특징이 있다.

### 3.1 왕복동 압축기

왕복동 압축기에 대하여는 세 편의 논문이 발표되었다. 김성준 등<sup>(26)</sup>은 왕복동 압축기 2대가 병렬로 연결되어 운전될 경우의 가스맥동 현상을 연구하였다. 음향 전달 매트릭스를 구성하여 가스맥동을 해석하였으며 토출 라인을 따라가면서 모든 지점의 가스 맥동치가 API 규정의 한계값보다 낮음을 확인하였다. 주우진 등<sup>(27)</sup>은 냉장고용 왕복동 압축기의 신뢰성 보증 기간 단축을 위한 연구를 수행하였다. 가속인자를 고온으로 하여 동작한계와 최대 가속조건을 산출하여 시험기간을 계산하였다. 박정훈 등<sup>(28)</sup> 등은 3종의 고체 윤활제와 나노 오일을 압축기에 적용하여 마찰계수, 표면 온도, 마찰 표면형상을 분석함으로써 압축기 습동부의 윤활특성을 평가하였으며, 고체 윤활제보다 나노 오일의 윤활성이 더 우수함을 보였다.

### 3.2 로터리 압축기

로터리 압축기에 대하여는 두 편의 논문이 발표되었다. 신현석 등<sup>(29)</sup>은 로터리 압축기의 출구에서 냉매와 함께 토출되는 오일의 측정방법에 대하여 연구하였다. 냉매와 함께 토출된 오일은 열교환기 성능의 저하와 압축기 손상을 유발할 수 있으므로 이를 방지하기 위한 연구의 일환으로 오일 측정장치를 개발하여 다양한 운전 조건에서 오일 토출량을 측정하였다. 이의윤 등<sup>(30)</sup>은 R22를 냉매로 사용하는 공조용 로터리 압축기의 소음을 저감하기 위한 연구를 수행하였다. 실험계 획법을 통해 어류몰레이터의 설계변수를 도출하고 최적화 기법을 도입한 결과 약 7.8 dB의 소음을 낮출 수 있었다.

### 3.3 사판식 압축기

이태진 등<sup>(31)</sup>은 가변 사판식 압축기의 성능을 이론적으로 해석하기 위한 상관식을 제시하였으며, 이론식의 검증을 위해 압축기의 PV 선도를 측정하였다. 이와 같은 시뮬레이션과 시험을 통하여 압축기 성능에 대한 정확한 분석을 할 수 있었으며 성능 개선 방안의 토대를 마련하였다.

### 3.4 스크류 압축기

김태운 등<sup>(32)</sup>은 스크류 압축기의 성능에 큰 영향을 미치는 에어엔드를 설계, 제작, 실험하는 연구를 수행하였으며 저속 영역에서는 기존 제품과 큰 차이가 없었으나 고속 영역에서는 동력소비량 및 소음과 맥동이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.5 스크롤 압축기

스크롤 압축기에 대하여는 세 편의 논문이 발표되었다. 김철환 등<sup>(33)</sup>은 빌딩 멀티 에어컨에 사용되는 고압축 오일 회수 기술을 적용한 스크롤 압축기의 개발 성공사례를 소개하였으며 이를 통하여 부분부하 효율과 정격부하 효율을 모두 높여서 연간 소비전력을 크게 낮출 수 있었다. 김철환 등<sup>(34)</sup>은 고압축 오일 회수 구조를 통하여 압축기 정격 효율은 6%, 실사용 조건인 부분 부하 효율은 15% 개선하여 연간 소비전력을 크게 낮출 수 있게 되었다. 또한 축방향 누설 방지 및 압축부 최적 급유량을 확보하게 되어 압축기 성능을 10% 개선하였다. 김우영 등<sup>(35)</sup>은 철도차량 공조용으로 사용되는 전기식 스크롤 압축기의 성능해석에 대하여 연구하였다. R407C를 냉매로 하는 이 압축기는 몇 가지 운전조건에서 시험결과와 성능해석 결과가 잘 일치함을 확인하여 이 소프트웨어는 향후 스크롤 압축기 성능향상을 위한 설계에도 유용한 도구로 활용될 수 있을 것이다.

## 4. 결 론

2010년 한 해 국내에서 발표된 압축기 관련 논문을 유체

Table 1 Domestic number of publications on compressor in 2010

	PUBLICATION						Total
	JOURNAL			CONFERENCE			
	KFMA	KSME	SAREK	KFMA	KSME	SAREK	
Centrifugal	1		1	9	3	1	15
Axial	2			5	3		10
Rotary				1	1		2
Swash Plate						1	1
Scroll				1		2	3
Reciprocate			1			2	3
Screw				1			1
Total	3	0	2	17	7	6	35

기계저널(KFMA), 대한기계학회 논문집(KSME) 및 대한설비공학회 논문집(SAREK)과 각각의 학술대회 논문집을 중심으로 간단히 정리해 보았다. 분야별 게재논문과 발표논문들을 Table 1에 학회별로 구분하여 표시하였다. 2010년에는 총 35편의 논문이 발표되었는데, 터보형 압축기 약 71%(25편)이고 용적형 압축기가 약 29%(10편)인 분포를 보였다.

올해의 압축기 분야에서의 연구의 특징을 서술한다면 원심압축기 분야에서는 터보냉동기용 원심압축기에 대한 연구 결과가 많았고, 압축기 전반적으로 인공신경망기법등을 적용한 최적설계와 관련한 연구가 많았다. 용적형 압축기에서는 대부분 친환경적인 냉매를 매질로 하는 압축기에 대한 연구결과가 발표되었다. 향후에도 지속적으로 우수한 연구 결과들이 발표되기를 희망한다.

## 참고문헌

- (1) 황준현, 2010, “무급유 직결구동 소형 터보 냉매압축기 기술개발,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-069.
- (2) 조용훈, 2010, “빙축열용 중형 터보 압축기 및 냉동기 기술개발,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-070.
- (3) 박주환, 신유환, 김광호, 이윤표, 2010, “빙축열용 R134a 냉매 압축기의 전산해석적 연구,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-071.
- (4) 박준영, 박무룡, 최상규, 윤의수, 2010, “터보냉매압축기용 임펠러 고효율 공력설계,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-089.
- (5) 최민욱, 주원구, 박준영, 최상규, 윤의수, 2010, “터보 냉매 압축기 유동장 간섭특성 해석,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-090.
- (6) 김정훈, 고승현, 이상배, 2010, “터보 냉매 압축기의 성능시험 방법 표준안 개발,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-091.
- (7) 박준영, 박무룡, 최상규, 윤의수, 2010, “냉매압축기의 임펠러 자오면 형상 최적화,” 대한기계학회 2010 춘계학술대회 논문집, pp. 353~354.

- (8) 이원석, 박주훈, 신유환, 정진택, 2010, “전산해석을 통한 방축열용 원심압축기의 공력 손실 개선,” 대한기계학회 2010년도 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 104~105.
- (9) 신정관, 김경훈, 강신형, 2010, “HFC-134a용 원심압축기의 성능시험 및 설계방안,” 설비공학논문집, 제22권, 제3호, pp. 139~148.
- (10) 박태규, 정희택, 박준영, 성병일, 2010, “터보블로워의 기본설계에서의 열유체 구조 연계성 기법 적용,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010- 014.
- (11) 박치용, 최영석, 이경동, 윤준용, 2010, “원심압축기 링 그루브 내 안내 기 효과에 대한 수치해석적 연구,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-032.
- (12) 김홍원, 최성욱, 이근식, 2010, “고압 원심압축기의 기본설계 및 디퓨저 최적 설계에 따른 성능비교,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-041.
- (13) 박준영, 박무룡, 황순찬, 안국영, 2010, “임펠러 블레이드 두께가 터보블로워 성능에 미치는 영향,” 유체기계저널, 제13권, 제4호, pp. 5~10.
- (14) 서정민, 박준영, 최범석, 윤의수, 2010, “초소형 가스터빈용 원심압축기 개발,” 대한기계학회 2010 춘계학술대회 논문집, pp. 349~350.
- (15) 박치용, 최영석, 이경용, 윤준용, 2010, “원심압축기의 링 그루브 효과에 관한 수치해석적 연구,” 대한설비공학회 2010 하계학술발표대회 논문집, 10-S-240.
- (16) 박태춘, 강영석, 황오식, 양수석, 2010, “6,000lbf급 가스터빈 엔진의 고압압축기 성능에 관한 실험적 연구,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-049.
- (17) 고성호, 한승열, 양수석, 강영석, 2010, “경계면 설정에 따른 축류압축기 내부 유동장 특성 연구,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-050.
- (18) 이세일, 홍상원, 전상욱, 이동호, 강영석, 양수석, 2010, “3차원 설계변수를 이용한 저압 축류압축기 최적화 결과 분석,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-051.
- (19) 이성룡, 홍동민, 이창용, 송재욱, 김수용, 2010, “5MW급 발전용 가스터빈 축류압축기 성능 평가,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-052.
- (20) 임형수, 배효조, 송성진, 강신형, 양수석, 2010, “축류압축기 비정상 인젝션시 성능 특성에 대한 연구,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-053.
- (21) 최광진, 김진혁, 김광용, 2010, “케이싱 그루브가 존재하는 축류압축기의 성능특성 연구,” 유체기계저널, 제13권, 제2호, pp. 24~29.
- (22) 홍상원, 이세일, 강형민, 이동호, 강영석, 양수석, 2010, “인공신경망 이론을 적용한 3단 축류압축기의 다분야 통합 최적설계,” 유체기계저널, 제13권, 제6호, pp. 19~24.
- (23) 신주현, 백승철, 김진권, 김동관, 송성진, “가스터빈 압축기 블레이드의 표면 거칠기 측정에 관한 연구,” 대한기계학회 2010년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 49~50.
- (24) 최광진, 김진혁, 김광용, 2010, “스톨마진 향상을 위한 천음속 축류 압축기의 케이싱 그루브 최적설계,” 대한기계학회 2010년도 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 86~87.
- (25) 백승철, Garth V. Hobson, 송성진, Knox T. Millsaps, 2010, “가스터빈 압축기 캐스캐이드에서의 표면 거칠기 위치와 레이놀즈 수의 효과,” 대한기계학회 2010년도 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 124~126.
- (26) 김성준, 김현재, 김현진, 2010, “병렬 운전되는 대형 왕복동 압축기의 가스맥동 분석,” 설비공학논문집, 제22권, 제2호, pp. 97~103.
- (27) 주우진, 변종영, 2010, “냉장고용 압축기의 고온 신뢰성 시험 기간 단축,” 대한설비공학회 2010 하계학술대회 논문집, 10-S-15.
- (28) 박정훈, 구분철, 이재근, 2010, “고체 윤활제와 나노 오일 적용을 통한 압축기 습동부 윤활특성 평가,” 대한설비공학회 2010 하계학술대회 논문집, 10-S-16.
- (29) 신현석, 변순석, 대상진, 문제명, 김윤제, 2010, “인버터 압축기 오일 토출량 산정의 실험적 고찰,” 유체기계 연구개발 발표회, KFMA 2010-016.
- (30) 이의운, 김봉준, 이종수, 2010, “공조용 로터리 압축기 소음 저감을 위한 어큐뮬레이터 최적설계,” 대한기계학회 2010년도 춘계학술대회 강연 및 논문집, pp. 858-863.
- (31) 이태진, 김기범, 이승원, 이건호, 2010, “가변 사판식 압축기의 이론적 해석과 실험적 고찰을 통한 비교,” 대한설비공학회 2010 동계학술발표대회 논문집, 10-W-050.
- (32) 김태운, 이재영, 김윤제, 2010, “스크류 에어엔드 성능에 관한 실험적 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA 2010-033.
- (33) 김철환, 최세현, 조양희, 이병철, 2010, “고압축 오일 회수 기술을 적용한 고압식 스크롤 압축기 개발,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA 2010-013.
- (34) 김철환, 최세현, 조양희, 이병철, 2010, “고압축 오일 회수 기술을 적용한 고압식 Scroll 압축기 개발,” 대한설비공학회 2010 하계학술발표대회 논문집, 10-S-013.
- (35) 김우영, 유태욱, 김현진, 이상근, 윤석현, 2010, “철도차량용 전기식 스크롤 압축기 성능해석,” 대한설비공학회 2010 하계학술발표대회 논문집, 10-S-014.