

## 압축기 분야 연구동향

강정식\*

### 1. 서 론

2011년 한 해 동안에 국내에서 발표된 압축기 관련 논문들을 유체기계공업학회(KFMA), 대한기계학회(KSME) 및 대한설비공학회(SAREF), 한국항공우주학회(KSAS)를 대상으로 살펴보았다. 대한기계학회는 국문논문과 영문논문집인 Journal of Mechanical Science and Technology를 모두 포함하였다. 논문의 수는 2005년도에 43편, 2006년도에 27편, 2007년도에 24편, 2008년도에 25편, 2009년도에 38편, 2010년도에 35편에 이어 2011년도에는 53편으로 논문수가 상당히 증가하였다. 그렇지만 스크롤 압축기, 왕복동 압축기 및 스크류 압축기에 대한 연구결과는 한편도 발표되지 않았다. 이는 2011년도에는 터보압축기 분야에서는 예년에 비하여 훨씬 활발한 연구가 이루어진 반면에 용적형압축기 분야에서는 연구 활동이 위축된 결과라고 할 수 있겠다. Table 1에는 2011년도에 발표된 논문들의 수를 분야별로 분류하여 나타내었다. 본 연감에서는 압축기의 구동형식에 따라 크게 터보형 압축기와 용적형 압축기로 구분하였으며, 터보형은 다시 원심압축기와 축류압축기로 분류하였고, 용적형은 로터리, 사판식 및 스윙 압축기로 분류하여 기술하였다.

### 2. 터보형 압축기

#### 2.1 원심 압축기

원심압축기에 대한 2011년도의 연구실적은 총 25편으로서 2010년도의 15편에 비하여 상당히 증가하였다. 이것은 2009년와 2010년도에 이어 2011년도에도 터보냉동기의 연구개발 사업이 활성화되면서 냉매용 원심압축기의 논문수가 12편으로 증가하였을 뿐 아니라 변화되는 산업환경에 적응하기 위하여 고효율 원심압축기의 설계에 대한 연구가 증가하였기 때문이다.

먼저 냉매용 원심압축기의 연구개발 동향을 정리하였다. 박주훈 등<sup>(1)</sup>은 LNG 플랜트용 4단 프로판 냉매 원심압축기에 대한 설계 및 수치해석적 연구를 수행하였으며 마지막 단인 4단 압축기의 수치해석 효율이 78%로서 원하는 설계목표를 달성할 수 있었다. 최민욱 등<sup>(2)</sup>은 냉매용 원심압축기의 임펠러와 베인 디퓨저의 유동장 상호작용에 대한 수치해석적 연구를 수행하였으며 쉬라우드 임펠러에서는 베인 디퓨저의 존재가 임펠러의 성능에 거의 영향을 미치지 않는다는 결론을 얻었다. 하경구 등<sup>(3)</sup>은 R134a를 사용하는 원심압축기에서 임펠러의 회전수와 직경은 고정된 조건에서 임펠러의 입

Table 1 Domestic number of publications on compressor in 2011

	PUBLICATION								Total
	JOURNAL				CONFERENCE				
	KFMA	KSME	SAREK	KSAS	KFMA	KSME	SAREK	KSAS	
Centrifugal	2	1		3	7	10	2		25
Axial	2	3			10	1		1	17
Rotary	1						2		3
Swash Plate			1			1	2		4
Scroll									
Reciprocate									
Screw									
Swing							1		1
기타						1	2		3
Total	5	4	1	3	17	13	9	1	53

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

구 날개각과 출구 날개각을 변화시키면서 압축기의 성능 변화에 대한 수치해석적 연구를 수행하였다. 그 결과 입구 유동각은 공기 압축기가 60° 근처에서 최적의 유동각을 보이는 반면 냉매 압축기의 경우에는 55° 근처가 최적임을 보였으며 디퓨저 베인에서의 영각이 -1° 근처에서 최적의 성능을 가지는 결과를 확인하였다. 또한 하경구 등<sup>(4)</sup>은 R134a를 사용하는 원심압축기의 캐스케이드 디퓨저에 대한 수치해석적 연구를 수행하였다. 디퓨저 베인의 솔리디티와 설치 반경에 따른 성능을 주제로 연구할 결과 고유량에서는 베인의 설치반경이 클수록 효율이 높고 솔리디티가 작을수록 효율이 높았으며 저유량에서는 설치반경이 작을수록 그리고 솔리디티가 클수록 더 높은 효율을 보였다. 김한영 등<sup>(5)</sup>은 1750kW 급 대형 터보냉동기용 원심압축기에 대하여 냉방부하에 따라 최적의 성능을 얻기 위하여 3가지의 유동각을 가진 임펠러에 대하여 IGV 각도를 변화시키며 성능시험을 수행하였으며 연구결과 냉방부하에 따라 가장 적절한 조합의 압축기를 개발할 수 있었다. 조용훈 등<sup>(6,7)</sup>은 R134a를 사용하는 빙축열용 고효율 냉매압축기의 개발을 위하여 설계 및 시험을 수행한 결과를 발표하였다. 황준현 등<sup>(8,9)</sup>은 무급유 직결구동 소형 터보냉매압축기의 개발을 위하여 압축기 임펠러, 디퓨저, 볼류트 등 공력부품들과 고효율 모터, 자기 베어링 등 핵심 부품들을 설계 및 개발한 결과를 기술하였다. 윤의수 등<sup>(10)</sup>은 국책과제로 진행하고 있는 냉동기용 고효율 터보냉매 압축기의 연구개발 과제에 대하여 3차년도까지 진행된 결과와 향후 계획을 소개하였다. 이와 관련하여 최상규 등<sup>(11)</sup>은 145 RT급의 터보냉매압축기를 구성하는 핵심 구성품들인 공력부품과 자기베어링의 연구개발 결과를 발표하였고, 박준영 등<sup>(12)</sup>은 145RT급 터보냉매압축기의 핵심 구성품들인 임펠러, 디퓨저, 리턴채널, 볼류트, 베어링 등에 대한 설계 및 연구개발 결과를 제시하는 등 터보냉동기의 고효율화를 위한 고효율 압축기를 위한 다각도의 연구 결과가 발표되었다.

공기용 원심압축기 또는 일반적인 원심압축기에 대한 연구도 12편이 발표되었다. 박치용 등<sup>(13)</sup>은 원심압축기의 작동범위 개선의 한 방법인 링그루브의 유무에 따른 성능변화에 대한 수치해석적 연구를 수행하였는데 개선된 링 그루브 적용시에는 임펠러 팁 근처의 유동을 안정화시켜서 저유량 영역에서 압력비와 효율을 향상시켰으며 링 그루브가 없을 경우와 비교하여 실속마진을 약 5.5% 개선하는 결과를 얻었다. 강경준 등<sup>(14)</sup>은 2차원 원심압축기의 베인리스 디퓨저에서의 유동을 PIV를 통하여 측정하는 연구를 수행하였으며 저유량 영역에서는 임펠러 출구유동각이 커지고 불안정 영역에서는 임펠러 회전속도에 비하여 20~22% 속도의 느린 비정상 유동을 관찰하였다.

김현엽 등<sup>(15)</sup>은 원심압축기의 임펠러 후면에서 발생하는 원판손실에 대하여 수치해석적 연구를 수행하였다. 임펠러 디스크와 케이싱 사이의 축 간격이 경계층 두께보다 짧을 경

우 축간격이 증가함에 따라 원판 마찰 손실은 감소하지만 경계층 두께보다 축 간격이 증가하게 되면 원판 마찰손실도 증가함을 확인하였다. 최형준 등<sup>(16)</sup>은 원심압축기 임펠러의 최적화를 위한 연구를 수행하였다. 잘 알려진 Eckardt 임펠러를 기준으로 설계변수를 선택하여 8개의 설계변수로 임펠러 최적화가 가능함을 보였다. 또한 최형준 등<sup>(17)</sup>은 계속된 연구를 통하여 인공지능망과 유전자 알고리즘을 임펠러 최적설계에 적용하여 인공지능망에 의한 최적설계 예측값과 CFD의 예측값과의 차이가 1% 미만에 도달하는 연구결과를 얻었다. 박준영<sup>(18)</sup>은 수치해석적인 방법으로 고효율 원심압축기를 설계하기 위한 연구를 수행하여 설계상의 몇 가지 지침들을 제안하였다.

이종훈 등<sup>(19)</sup>은 압축기의 용량제어에 널리 사용되는 IGV에 대한 시험적 연구를 수행하였다. 풍동실험을 통하여 IGV 후단 유동의 난류 특성을 측정하였으며 이를 통하여 개방각도가 작아짐에 따라 난류특성이 증가하고 개방각도가 40도 내외의 경우 손실이 급격하게 증가하는 등의 결과를 얻었다. 이규원 등<sup>(20)</sup>은 압축기 입구에서 직관과 곡관에 설치될 경우의 성능 변화에 대한 시험적 연구를 수행하였다. 그 결과 직관에 비하여 곡관일 경우 곡관에서 추가적으로 발생하는 이차유동에 의하여 압축기의 압력비가 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며 설계점에서 효율은 8.5%까지 떨어지는 결과를 얻었다. 강경준<sup>(21)</sup>은 PIV를 이용하여 원심압축기의 볼류트 내부의 유동을 측정하는 연구를 수행하였다. 볼류트 내부의 유동을 측정한 결과 유량이 클수록 와류의 세기가 증가하고 압축기 출구쪽으로 나가면서 스크롤 와류의 중심이 디퓨저 끝단 쪽으로 이동하는 것을 알 수 있었다.

박준영 등<sup>(22)</sup>은 500 W급의 초소형 가스터빈용 원심압축기에 대한 설계 및 시험 연구를 수행하였으며 설계 회전수의 60% 속도에서 시험과 해석의 압력비 결과가 잘 일치하는 결과를 얻었다. 이 연구는 초소형 원심압축기는 미래의 휴대용 동력원으로서 활용용도가 높으며 이에 대한 초기 연구라는 점에서 의미가 있다. 김홍원 등<sup>(23)</sup>은 최근 국제해사기구의 환경규제에 대한 대응의 일환으로 엔진 NOx를 줄이기 위하여 선박용 원심압축기에서 압력비를 증가시키기 위한 임펠러 및 디퓨저의 설계 및 성능시험 연구를 수행하였으며 시험결과 설계 압력비 및 14.6%의 서지마진을 확보하는 연구결과를 얻었다. 최민욱 등<sup>(24)</sup>은 원심임펠러의 팁누설 유동에 대한 수치해석적 연구를 수행하였으며 누설유동으로 인해 손실이 발생하고 압축기 효율이 떨어지는 것을 확인하였다. 그리고 이러한 낮은 모멘텀 누설유동이 임펠러 내부 유로로 유입되어 임펠러의 와류구조에 의한 손실을 증폭시키는 현상을 관찰하였다.

마지막으로 증기 압축용 원심압축기에 대한 한 편의 연구 결과가 발표되었다. 정한식 등<sup>(25)</sup>은 증기를 압축하는 원심압축기의 베인디퓨저 내부유동에 대하여 수치해석적 연구를

수행하였으며 베인의 각이 40도 인 경우에 압축기의 효율이 가장 높은 것을 확인하였으며 기존 압축기의 설계 수정 방향을 찾는 결과를 얻었다.

## 2.2 축류 압축기

축류압축기에 대한 논문은 2008년에 7편, 2009년에는 14.5편, 2010년에는 10편이 발표되었으며, 2011년에는 17편으로 증가하였다. 이는 스톨 및 서지 관련한 비정상현상에 대한 연구가 8편으로 증가하였고 최적설계, 유동해석, 성능시험 등 다양한 주제에 대한 연구들이 계속 발표되었기 때문이다.

먼저 스톨 및 서지와 관련한 주제부터 살펴보자. 김진혁 등<sup>(26)</sup>은 케이싱 그루브와 천음속 축류압축기 블레이드의 상호작용에 대한 수치해석적 연구를 수행하였으며 블레이드 팁간격이 크고, 케이싱 그루브의 깊이가 깊을수록 블레이드의 압력면과 흡입면에서 발생하는 압력구배가 줄어들면서 팁누설 와류가 블레이드 사이 통로의 중앙 부근으로 이동하게 되면서 블레이드 팁 스톨이 사라지고 그로 인해 약간의 효율 감소와 함께 스톨 마진이 증가하게 되는 메커니즘을 파악하였다. 또한 김진혁 등<sup>(27)</sup>은 케이싱 트리트먼트가 적용된 천음속 축류압축기의 작동안정성을 향상시키기 위하여 3차원 정상상태의 RANS해석과 최적화기법을 결합한 수치해석 연구를 수행하여 스톨 마진을 기준형상 대비 5.13% 향상된 결과를 얻었다. 김대웅 등<sup>(28)</sup>은 축류압축기의 스톨 마진을 향상시키기 위하여 천음속 축류압축기의 케이싱에 그루브와 인젝션을 동시에 적용하는 조건으로 수치해석 연구를 수행하였으며 그루브 길이 변화에 따른 스톨 마진의 특성에 대한 정량적인 결과를 발표하였다. S.W.Hong 등<sup>(29)</sup>은 천음속 축류압축기의 최적 설계과정에서 Reliability 기반의 설계 최적화 방법을 적용하여 스톨 마진이 높은 압축기 최적설계 방법을 연구하였으며 이 방법을 통하여 기존의 Deterministic 최적화 방법보다 더 넓은 스톨 마진을 가진 축류압축기를 설계할 수 있었다.

또한 실험적인 방법으로 연구를 수행한 논문들도 있었다. 강영석 등<sup>(30)</sup>은 3단 천음속 축류압축기의 스톨 현상에 대한 시험연구를 수행하였는데 스톨 선구신호는 3단에서 먼저 발견되었으나 실제 스톨로의 천이는 상대마하수가 가장 큰 1단 동의 상단에서 먼저 발생하여 3단으로 전파되는 현상을 관찰하는 등 다단 압축기에서의 스톨에 관하여 많은 실험 결과를 남겼다. 배효조 등<sup>(31)</sup>은 IGV를 가진 1단 저속 축류압축기에서 IGV의 각도를 변화시키며 스톨선구신호에 대한 연구를 수행하였다. 이 연구를 통하여 기존에 알려진 모드와 스파이크 형식의 선구신호 외에 밀티셀이라는 새로운 형태의 스톨 선구신호를 발견하는 등 다양한 연구결과를 발표하였다. H. S. Lim 등<sup>(32)</sup>은 4단 저속 축류압축기에서 인젝션 방법을 적용하여 스톨 마진을 향상시키는 연구를 수행하였다. 시험을 통하여 인젝션으로 스톨의 발생을 억제할 수 있음을 보였을

뿐 아니라 인젝션 유량을 줄이기 위한 다양한 방법을 적용하여 인젝션 유량을 18.6%가량 줄일 수 있는 방법도 제안하였다. 또한 H. S. Lim 등<sup>(33)</sup>은 4단 저속 축류압축기 시험설비에서 스톨의 선구신호와 회전주파수와와의 상관관계에 대한 연구결과를 발표하였다. 스톨 선구신호의 증가는 회전주파수와 상관관계가 있음을 보였으며 이것은 압축기 시험리그의 비균일성과도 관련이 있음을 설명하였다.

작년에 이어 축류압축기의 최적설계에 대한 연구결과도 계속 발표되었다. 이세일 등<sup>(34)</sup>은 3단 축류압축기의 단별 설계 최적화 방법에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과 설계 변수의 선정은 전체 최적화의 경우가 보다 합리적 이지만 계산 효율을 고려하면 단별 최적화가 월등히 뛰어나고 최적 설계의 결과도 큰 차이가 없음을 보였다. 최선 등<sup>(35)</sup>은 축류압축기의 최적 설계에서 계산 시간 단축을 위한 근사기법의 연구를 수행한 결과 축류압축기의 공력 근사모델은 비선형성이 강한 결과를 얻었고 이런 특성을 반영할 수 있는 인공신경망 또는 크리깅 모델을 사용해야 함을 제안하였다. 고성호 등<sup>(36)</sup>은 저압 한국항공우주연구원에서 설계한 1단의 축류압축기에 유체-구조 연성해석(FSI)을 수행하여 압축기 유로에서의 플러터 발생 여부에 대한 수치해석 연구를 수행하였다.

이창용 등<sup>(37)</sup>은 국내에서 개발중인 5 MW급 발전용 가스터빈의 10단 축류압축기에 대한 유동해석을 수행하였으며 BSL 난류모델을 사용할 때 압축기의 성능이 실험결과와 가장 잘 일치함을 확인하였다. 황유준 등<sup>(38)</sup>은 1/8 원주길이의 저속 축류압축기에서 팁 누설을 포함한 비정상 유동해석을 수행하여 팁 누설유동과 블레이드의 상호 영향성이 유량이 감소할수록 증가하며 저유량 운전점에서는 스톨 발달과 관계가 있음을 밝혔다.

이성룡 등<sup>(39)</sup>은 5 MW급 소형 발전용 가스터빈의 압축기와 대형 가스터빈용 압축기에 대한 공력 설계 비교 연구를 수행하였다. 비교 결과 두 압축기는 주요 설계 변수가 일치하지 않아서 서로 다른 개념의 압축기임을 알 수 있었으며 각 단의 압력부 분포가 후단으로 갈수록 단 당 압력비가 낮아지는 경향과 중간 단에서 확산계수가 일정한 수준을 유지하는 공통점을 확인하였다. 김준성 등<sup>(40)</sup>은 150 MW급 가스터빈의 압축기 케이스에 변위센서와 온도센서를 장착하여 가스터빈의 운전조건에 따른 압축기 케이싱의 변형 특성에 대하여 연구하였으며 연구결과 압축기 케이싱은 운전조건에 따라 다양한 열변형 특성을 보이는데 1~2시간 이내 정지 후 재가동 시에는 케이싱과 압축기 블레이드의 접촉에 의한 손상 가능성이 있음을 밝혔다.

황오식 등<sup>(41)</sup>은 MDO 방법을 통해 설계된 1단 천음속 축류압축기를 제작 및 시험하여 설계결과와 비교하는 연구를 수행하였으며 설계점에서의 공력성능이 설계결과와 시험결과가 1% 이내로 일치하는 결과를 얻었다. 강영석 등<sup>(42)</sup>은 3단 천음속 축류압축기에 대한 공력성능시험을 수행하여 압력비

및 효율의 결과가 설계값과 잘 일치하는 결과를 얻었다. 본 시험설비를 통하여 향후 상세유동측정 및 비정상 특성 연구 등 다양한 시험연구를 수행할 것으로 기대된다.

### 3. 용적형 압축기

용적형 압축기로는 로터리 압축기, 사판식 압축기, 스크롤 압축기, 왕복동, 스윙 압축기들이 있는데, 지난 2011년도에는 사판식 압축기 4편, 로터리 압축기 3편, 스윙 압축기 1편 등 총 8편의 논문이 발표되었고 스크롤, 왕복동 및 스크류 압축기 분야에서는 한편의 논문도 발표되지 않았다. 이 들 대부분은 냉매를 압축하는 압축기에 대한 연구결과라는 특징이 있다.

#### 3.1 로터리 압축기

로터리 압축기에 대하여는 세 편의 논문이 발표되었다. 신현석 등<sup>(43)</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. 이익수 등<sup>(44)</sup>은 자연냉매인 이산화탄소를 사용하는 로터리 압축기를 이용하여 압축기의 흡입온도와 운전주파수에 따른 오일/냉매 혼합물의 밀도 변화와 오일 순환량을 측정하고 이를 토대로 압축기의 오일 토출량의 변화를 예측할 수 있는 상관관계식에 대한 연구를 수행하였다. 김우영 등<sup>(45)</sup>은 CO<sub>2</sub>를 냉매로 사용하는 트윈 로터리 압축기에 대한 성능해석 프로그램을 개발하기 위한 연구를 수행하였으며 흡입과 정에서 발생하는 압력맥동 현상을 모사해 낼 수 있는 모델링을 적용하여 시뮬레이션의 정확도를 높이고 향후 흡입 포트 형상설계에도 활용할 수 있도록 하는 연구를 수행하였다.

#### 3.2 사판식 압축기

사판식 압축기는 자동차 에어컨용 압축기로의 적용을 목적으로 4편의 논문이 발표되었다. 유성연 등<sup>(46)</sup>은 실린더 기통수별로 다양한 환경조건에서 압축기 열량계에서 단품 성능시험을 수행하였으며 각 시기별로 개발된 압축기들의 특징과 경향을 재분석하고 그 결과를 데이터베이스화 하여 향후의 개발방향에 도움이 될 연구를 수행하였다. 이태진 등<sup>(47,48)</sup>은 가변 사판식 압축기 성능 해석 및 시험을 통하여 에어컨의 냉매가 현재 사용되고 있는 R134a에서 냉매 R123yf 로 변경됨에 따른 압축기 성능을 예측하여 대체 냉매용 압축기의 사양을 제시하였다. 김현성 등<sup>(49)</sup>은 가변 사판식 압축기의 변형 및 내구성을 향상시키기 위하여 근사모델을 기반으로 한 구조최적화 연구를 수행하였으며 초기모델보다 최대 응력이 56% 감소한 최적 모델을 설계하였다.

### 3.3 스윙 압축기

문석환 등<sup>(50)</sup>은 스윙 압축기 성능해석 프로그램을 통해 일체화된 스윙 압축기의 롤러와 베인의 거동 및 성능을 분석하였으며 동일한 조건에서 롤링 피스톤형 로터리 압축기 성능해석 결과와의 비교를 통해 성능이 향상되는 정도 및 그 원인 분석 연구를 수행하였다.

### 4. 기타 압축기

이권재 등<sup>(51,52)</sup>은 산소발생기용 공기압축기에 대한 연구를 수행하였다. 냉동사이클을 산소발생기용 공기압축기에 적용하여 공기압축기의 온도특성을 조사하고 수냉식 냉각방법과 공랭식 냉각방법을 비교하여 냉동사이클의 산소발생기 적용성에 대한 연구를 수행하였다. 서옥환<sup>(53)</sup>은 상업용 코드인 Mathcad 및 Pro/ENGINEER의 연동모듈을 이용하여 대화식 프로그램을 개발하여 구조해석을 하는 연구를 수행한 결과 이런 대화식 프로그램으로 계속적인 압축기 제품 개량 및 개발기간 단축 등의 효과를 얻을 수 있음을 제안하였다.

### 5. 결 론

2011년 한 해 국내에서 발표된 압축기 관련 논문을 유체기계저널(KFMA), 대한기계학회 논문집(KSME) 및 대한설비공학회 논문집(SAREK)과 각각의 학술대회 논문집을 중심으로 간단히 정리해 보았다. 분야별 게재논문과 발표논문들을 Table 1에 학회별로 구분하여 표시하였다. 2011년에는 총 53편의 논문이 발표되었는데, 터보형 압축기 약 79%(42편)이고 용적형 압축기가 약 15%(8편), 기타 6%(3편)인 분포를 보였다.

올해의 압축기 분야에서의 연구의 특징을 서술한다면 원심압축기 분야에서는 터보냉동기용 원심압축기에 대한 연구 결과뿐만 아니라 공기압축기 분야에서도 많은 연구결과가 발표되었고 축류압축기에서도 최적설계 관련 연구 및 비정상 연구 등 많은 연구 결과가 발표되었다. 향후에도 지속적으로 우수한 연구결과들이 발표되기를 희망한다.

### 참고문헌

- (1) 박주훈, 이원석, 신유환, 김광호, 이운표, 정진택, 2011, "LNG 플랜트용 프로판 냉매 원심압축기의 공력설계 및 전산해석적 연구," 대한기계학회논문집 B권, 제35권, 제8호, pp. 781~787.
- (2) 최민욱, 주원구, 박준영, 최상규, 윤의수, 2011, "터보 냉매 압축기 유동장 간섭특성에 대한 수치해석적 연구," 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 360~361.
- (3) 하경구, 정봉철, 강신형, 2011, "임펠러 특성에 따른 R134a 터보 냉동기용 원심압축기의 성능 평가," 2011년도 대한

- 기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 169~175.
- (4) 하경구, 허옥설, 강신형, 2011, “캐스케이드 디퓨저 베인의 솔리디티와 설치반경에 따른 R134a 터보 냉동기용 원심 압축기의 성능 분석,” 2011년도 대한기계학회 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 165~168.
  - (5) 김한영, 정봉철, 장시혁, 김도영, 2011, “부하영역에 따른 터보냉동기용 압축기 개발,” 대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집, pp. 244~249.
  - (6) 조용훈, 하현우, 광승용, 정대환, 이윤표, 신유환, 2011, “빙축열용 증형 터보 냉매 압축기 및 냉동기 기술개발,” 2011년도 대한기계학회 생산 및 설계부문 춘계학술대회 논문집, pp. 9~10.
  - (7) 조용훈, 2011, “빙축열용 증형 터보냉매 압축기 및 냉동기 기술 개발,” 2011 유체기계연구개발 발표회 논문집, pp. 341~357.
  - (8) 황준현, 박주홍, 양손준, 2011, “무급유 직결구동 소형 터보 냉매압축기 개발,” 2011년도 대한기계학회 생산 및 설계부문 춘계학술대회 논문집, pp. 7~8.
  - (9) 황준현, 2011, “무급유 직결구동 소형 터보 냉매압축기 기술개발,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 312~340.
  - (10) 윤의수, 박준영, 2011, “냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발,” 2011년도 대한기계학회 생산 및 설계부문 춘계학술대회 논문집, pp. 5~6.
  - (11) 최상규, 박준영, 박철훈, 윤의수, 황준현, 조용훈, 2011, “터보 냉매압축기 고효율화 설계 원천기술 개발,” 2011년도 대한기계학회 생산 및 설계부문 춘계학술대회 논문집, pp. 11~12.
  - (12) 박준영, 박철훈, 최상규, 윤의수, 2011, “터보냉매압축기 핵심구성품 설계기술 개발,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 358~359.
  - (13) 박치용, 최영석, 이경용, 윤준용, 2011, “원심압축기의 링 그루브 효과에 관한 수치해석적 연구,” 유체기계저널, 제14권, 제2호, pp. 11~16.
  - (14) 강경준, 신유환, 김광호, 이윤표, 2011, “2차원 및 3차원 디퓨저에서의 불안정 유동,” 유체기계저널, 제14권, 제4호, pp. 5~11.
  - (15) 김현업, 조이상, 조진수, 2011, “원심 압축기의 임펠러 원판 마찰 손실에 대한 CFD 해석,” 한국항공우주학회지, 제39권, 제7호, pp. 596~604.
  - (16) 최형준, 박영하, 안국영, 조수용, 2011, “원심압축기 최적화를 위한 연구(I): 형상변수 및 설계변수에 관한 연구,” 한국항공우주학회지, 제39권, 제5호, pp. 424~432.
  - (17) 최형준, 박영하, 김재실, 조수용, 2011, “원심압축기 최적화를 위한 연구(II): 인공지능망과 유전자 알고리즘,” 한국항공우주학회지, 제39권, 제5호, pp. 433~441.
  - (18) 박준영, 2011, “원심압축기 고효율 공력설계기술,” 2011년도 대한기계학회 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 142.
  - (19) 이종훈, 김창기, 정해영, 김희동, 2011, “Inlet Guide Vane을 통과하는 기계유동에 관한 실험적 연구,” 2011년도 대한기계학회 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 129~134.
  - (20) 이규원, 이원석, 신유환, 정진택, 2011, “흡입 덕트 형상에 따른 원심압축기 성능변화에 대한 실험적 연구,” 2011년도 대한기계학회 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 119~120.
  - (21) 강경준, 2011, “원심압축기의 운전점에 따른 벌류트 내부 유동장,” 2011년도 대한기계학회 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 280~285.
  - (22) 박준영, 임영철, 김병욱, 서정민, 황순찬, 박무룡, 최범석, 윤의수, 최상규, 2011, “500W급 초소형 가스터빈용 압축기 설계 및 성능시험,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 473~474.
  - (23) 김홍원, 류승협, 정경남, 이근식, 2011, “선박용 과급기의 고압력비 원심압축기 설계 및 시험평가,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 475~476.
  - (24) 최민욱, 주원구, 박준영, 윤의수, 2011, “슈라우드 임펠러에서 누설유동이 압축기 성능에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 526~531.
  - (25) 정한식, 우주식, 라법, 스위노, 정효민, 2011, “기계식 증기 압축기에서 디퓨저 효과에 대한 수치해석적 연구,” 대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집, pp. 573~576.
  - (26) 김진혁, 최광진, 김광용, 2011, “케이싱 그루브가 장착된 천음속 축류압축기의 작동 안정성 향상을 위한 수치최적화,” 유체기계저널, 제14권, 제5호, pp. 31~38.
  - (27) 김진혁, 진청휘, 김광용, 2011, “케이싱 트리트먼트가 적용된 천음속 축류압축기의 비정상 스톨 발단 연구,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 218~219.
  - (28) 김대웅, 김진혁, 김광용, 2011, “팁 인젝션과 그루브가 결합된 천음속 축류압축기의 스톨 특성 연구,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 605~606.
  - (29) Hong, S. W., Lee, S. I., Jun, S., Lee, D. H., Kang, H. M., Kang, Y. S. & Yang, S. S., 2011, “Reliability-based design optimization of axial compressor using uncertainty model for stall margin,” Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 25, No. 3, pp. 731~740.
  - (30) 강영석, 박태춘, 황오식, 양수석, 2011, “다단 천음속 압축기의 유동 불안정성에 관한 실험적 연구,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 618~624.
  - (31) 배효조, 임형수, 송성진, 강신형, 양수석, 2011, “축류압축기의 입구안내각 각도에 따른 스톨선구신호 특성 연구,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 607~611.
  - (32) Lim, H. S., Bae, H. J., Lim, Y. C., Song, S. J., Kang, S. H. & Yang, S. S., 2011, “Injection profile effects on low speed axial compressor stability enhancement,” Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 25, No. 6, pp. 1501~1507.
  - (33) Lim, H. S., Lim, Y. C., Kang, S. H., Song, S. J. & Yang, S. S., 2011, “Experimental analysis about the magnitude of the shaft frequency growth near stall in the axial compressor,” Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 25, No. 6, pp. 1501~1507.

- and Technology, Vol. 25, No. 5, pp. 1317~1324.
- (34) 이세일, 최선, 전상욱, 정지훈, 홍상원, 강영석, 양수석, 이동호, 2011, “항공기용 3단 축류압축기의 단별 공력 최적화 기법 연구,” 한국항공우주학회 2011년 춘계학술대회, pp. 22~26.
  - (35) 최선, 이세일, 정지훈, 강영석, 양수석, 이동호, 2011, “축류 압축기 최적설계를 위한 공력 근사모델 특성 연구,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 686~687.
  - (36) 고성호, 조영철, 양수석, 강영석, 2011, “저압 축류압축기에 대한 FSI 수치해석 연구,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 690~692.
  - (37) 이창용, 송재욱, 이성룡, 홍동민, 2011, “5MW급 발전용 가스터빈 축류압축기 유동해석,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 532~533.
  - (38) 황유준, 강신형, 2011, “축류압축기 팁 누설 유동의 비정상 특성에 관한 연구,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 612~617.
  - (39) 이성룡, 송재욱, 홍동민, 김수용, 2011, “발전용 대형 가스터빈 축류압축기 설계 특성 분석,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 681~685.
  - (40) 김준성, 윤완노, 2011, “운전조건변화에 따른 가스터빈 압축기 케이싱의 변형 특성,” 2011년도 대한기계학회 에너지 및 동력공학부 춘계학술대회 논문집, pp.17~18.
  - (41) 황오식, 강영석, 송지한, 양수석, 2011, “1단 천음속 축류 압축기 성능에 대한 실험적 연구,” 2011 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 688~689.
  - (42) 강영석, 박태춘, 황오식, 양수석, 2011, “다단 천음속 축류형 압축기 성능에 관한 실험적 연구,” 유체기계저널, 제14권, 제6호, pp. 96~101.
  - (43) 신현석, 변순석, 태상진, 문제명, 김운제, 2011, “인버터 로터리 압축기 오일 토출량 산정의 실험적 고찰,” 유체기계저널, 제14권, 제3호, pp. 28~32.
  - (44) 이익수, 장병하, 2011, “CO<sub>2</sub> 압축기의 운전조건과 오일 토출의 상관분석에 관한 실험적 연구,” 설비공학논문집, 제23권, 제1호, pp. 73~79.
  - (45) 김우영, 안종민, 김현진, 조성욱, 2011, “CO<sub>2</sub> 트윈 로터리 압축기의 흡입관로에서의 가스맥동 해석,” 설비공학논문집, 제23권, 제8호, pp. 549~555.
  - (46) 유성연, 김영신, 2011, “자동차용 사판식 압축기의 성능특성에 관한 실험적 연구,” 대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집, pp. 581~585.
  - (47) 이태진, 김기범, 이승원, 이건호, 2011, “자동차용 냉매 압축기의 성능해석 프로그램 개발 및 대체냉매 R123yf에 관한 연구,” 설비공학논문집, 제23권, 제11호, pp. 699~704.
  - (48) 이태진, 김기범, 이승원, 이건호, 2011, “자동차 에어컨 시스템용 압축기의 성능 해석 프로그램 개발 및 대체 냉매 1234yf에 관한 연구,” 대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집, pp. 577~580.
  - (49) 김현성, 백석흠, 한동섭, 2011, “자동차 압축기용 가변사판의 구조 최적 설계,” 2011년도 대한기계학회 CAE 및 응용역학부 춘계학술대회 논문집, pp. 165~171.
  - (50) 문석환, 노기율, 채명, 사범동, 양장식, 최경민, 김덕줄, 2011, “베인-롤러 일체형 스윙 압축기에 대한 성능해석,” 대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집, pp. 563~566.
  - (51) 이권재, 이기원, 김정석, 권영철, 홍승훈, 2011, “냉동사이클을 적용한 산소발생기용 공기압축기에 대한 실험 연구,” 대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집, pp. 1097~1099.
  - (52) 이권재, 김정석, 이기원, 권영철, 홍승훈, 2011, “냉각방법에 따른 산소발생기용 공기압축기 실험 연구,” 대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집, pp. 1321~1324.
  - (53) 서육환, 2011, “Mathcad 및 Pro/ENGINEER의 연동모듈을 이용한 압축기의 축 및 평치차 최적화 설계 연구,” 대한기계학회 2011년도 춘계학술대회 논문집, pp. 403~409.