◎ 특 집

압축기 분야 연구동향

신 유 환*

1. 서 론

2003년 한 해 동안에 국내에서 발표된 압축기 관련 논문을 바탕으로 압축기분야 연구동향을 소개하고자 한다. 압축기 관련 국내 논문은 대한기계학회, 대한설비공학회 및 유체기계공업학회를 중심으로 발표되었으며, 이 밖에도 한국항공우주학회, 한국전산유체공학회 등에서 일부 발표되고 있다.

압축기는 압축방식에 따라 크게 용적형과 터보형으로 나뉘어지며, 용적형에는 로타리 압축기, 사판식 압축기, 스크롤 압축기, 스크루 압축기, 왕복동 압축기 및 선형 압축기 등이 있으며, 터보형에는 원심 압축기와 축류 압축기 등이 있다. 현재 각 분야에서 연구 및 기술개발이 폭 넓게 이루어지고 있으며, 최근의 압축기 관련 국내 연구동향을 파악함으로써 관련 연구 및 산업 상호간의 이해와 협력을 높이는데 도움이 될 것이다.

2. 용적형 압축기

2.1 로타리 압축기

룸 에어컨 및 대형 냉장고에 주로 사용되고 있는 로타리 압축기에 대한 연구에는 오일과 관련한 연구가 큰 비중을 차지하고 있으며[1~3], 압축기 내부의 냉매 거동[4] 및 트윈 로터리형에 대한 연구 등이 있다.[5,6]

공조기의 냉방기간 에너지 소비효율(Cooling Seasonal Performance Factor, CSPF)을 향상시키기 위한 한 방법 중 대형 공조기에 용량가변 압축방식에 유리한 두 대의 압축기를 사용하는 시스템을 적용하고 있으나 실내기 및 실외기가 각각 한 대씩으로 구성된 시스템에서는 오일분배 등의 난점이 있다. 압축기내 오일 유면 가시화 실험을 수행함으로써 오일 균일 분배 문제를 해결하고자 하였으며, 공용 어큐뮬레이터를 적용하여 용량이 다른 두 대의 압축기내 유면을 압축기 용량에 따라 일정하게 유지할 수 있었다[1]. 오일토출량은 펌프부의 형상, 운전조건 및 모터부의 형상 및 주요 틈새 치수 등 압축기 전반에 걸쳐 큰 영향을 받는 인자로 현재 명확한 설계지침 등이 정해져 있지 못하고 경험적 설계를 하는 단계에 있다. 따라서 설계 기초자료를 확보하기 위한 연구로서 압축기 냉매 유속을 결정하는 압축기 모터 상하부의 압력차를 계측하고 주파수별로 오일토출량과 압력차 간의 관계를 분석하였으며[2], 또한 유동 가시화 기법을 이용하여 압축기 내부의 오일 거동에 대한 연구가 수행함으로써 토출구 압력과 압축기 내부의 오일 거동이 일정한 상관관계가 있음을 밝혔다[3].

열펌프를 대상으로 압축기내의 냉매 거동에 대한 연구에서는 냉매와 오일의 혼합물의 점도를 직접 측정하여 오일 막 두께를 계산, 운전조건에 따를 압축기의 신뢰성을 평가하였다. 특히 난방 저온 운전조건에서 오일 과열도(Bottom Shell Super Heat)와 측정되어진 점도를 이용하여 계산된 최소 오일 막 두께와의 상관관계를 밝혔다.[4]

이 밖에 트윈 로터리 압축기에 대해서는 토출가스의 맥동 분석[5] 및 압축기 성능해석에 대한 연구[6]가 수행되었다.

2.2 사판식 압축기

사판식 압축기는 타 압축기에 비해 운전범위가 넓고, 내구성이 우수한 특징으로 인하여 자동차 에어콘용으로 가장 널리 사용되고 있는 압축기로서 성능해석과 오일 충전량에 대한 연구가 각각 수행되었다.[7,8] 전자는[7] 압축기의 냉매가 R134a에서 R744로 대체될 경우 사판식 압축기의 성능변화 특성을 고찰하였다. 특히 피스톤의 수, 압축기 작동 회전수 및 실린더와 피스톤의 틈새 등을 변화시키면서 성능특성을 분석함으로써

* 한국과학기술연구원 열·유동제어연구센터
E-mail : yhshin@kist.re.kr

설계에 이용하도록 하였다. 후자는[8] Hot Gas Syatem을 설계, 제작하여 압축기 성능시험을 수행하였고 이를 통해 오일주입량의 변화가 압축기 성능에 미치는 영향을 고찰하였다.

2.3 스크롤 압축기

용적형 압축기 중에서 스크롤 압축기에 관한 연구가 가장 활발히 행해지고 있으며, 설계 최적화, 오일 공급시스템 및 급유량, 누설모델링 등 다양한 분야로 확산되고 있다. 특히 자연냉매를 이용한 CO_2용 압축기에 대한 연구도 이루어지고 있다[9~19].

스크롤 랩의 기하학적 형상에 의해 운전압력비가 설계압력비와 다른 경우 과압축 또는 부족압축에 의한 압축 손실이 발생하게 되므로 에어콘의 성능 향상을 위해서는 운전압력비의 변화에 따른 손실을 최소화하는 것이 필요하다. 따라서 R410A 냉매를 사용하는 스크롤 압축기에 대해 압축 과정 중의 손실 발생 원일을 분석함으로써, 두 운전 조건에서의 최적의 설계비를 얻었다[9].

디지털 스크롤 방식(선형적으로 압축기의 용량을 제어할 수 있는 방식으로서 실린더 압축 및 비압축과정을 제어하는 로딩주기형)의 압축기를 적용한 시스템 에어콘의 냉난방 특성은 에어콘의 고부하 영역뿐만 아니라 일반적인 운전영역에서도 양호한 효율을 보여주었고, 난방저온 성능을 향상시키기 위해 보조히터를 가동할 경우 한랭지 조건에서도 COP를 적정 수준 이상으로 유지하였다[10,11].

스크롤 압축기에서 급유구조는 제품의 신뢰성에 가장 큰 영향을 주는 요인 중 하나이다. 따라서 실제 운전중에 가해지는 압축가스에 의한 하중을 고려한 실험장치를 이용하여 축길이, 오일온도, 오일 수두 높이 및 오일펌프의 종류 등에 따른 급유량의 차이를 비교, 분석함으로써 각각의 특성에 대해 고찰하였다[12].

상용코드를 이용한 CFD 시뮬레이션도 비교적 활발히 행해졌다. 조홍현 등[13]은 가변속 저압식 입형 스크롤 압축기의 오일통로를 통한 오일과 공기혼합물의 유동을 모델링함으로써 운전속도 변화에 따른 오일유량과 유동특성을 고찰하였으며, 강동진 등[14]은 반경방향 및 접선방향 누설에 대한 모델을 이용하여 스크롤 압축기의 성능을 예측하고, 그 결과를 CFD 해석결과와 비교 검토하여 각 모델의 타당성을 고찰하였다.

이 외에도 바이패스방식을 이용한 용량 가변형 스크롤 압축기에 대한 실험[15] 및 스크롤 압축기/팽창기를 이용한 새로운 스터링 사이클에 관한 연구[16,17]가 수행되었으며, 특히 친 환경적 냉매 중에서 자연냉매의 실적용이 현실로 나타남에 따라 CO_2 스크롤 압축기에 대한 연구가 심도 있게 진행되었다. 안기정 등[18]은 CO_2 냉매를 사용하는 스크롤 압축기 성능해석을 통하여 최적설계를 수행함으로써 최고 효율을 제공하는 최적의 랩 두께 및 선회반경을 찾았으며, 각 설계변수에 대한 영향을 파악하였다. 또한 열전달 관련 연구[19]도 수행되었다.

2.4 왕복동 압축기

왕복동 압축기에 대한 연구도 활발히 진행되었으며, 가변속에 의한 급유시스템 설계, 윤활특성, 피스톤의 슬랩현상, 다단 압축기에 대한 열역학적 해석 및 동적거동에 대한 연구 등 비교적 다양한 분야에서 이루어졌다[20~27].

이억수 등[20]은 국내에서 제작된 천연가스 자동차 충전용 고압 4단 왕복동식 압축기를 대상으로 열역학적 성능 계산과 중간 냉각용 열교환기에 대한 해석을 수행함으로써 압축기의 흡입, 토출밸브에 의한 압력손실이 압력손실의 약 80%, 열교환기에서의 압력손실이 약 20%정도 차지하는 것을 밝혔다.

압축기의 실린더 벽을 마모시켜 압축기 효율을 감소시키고 진동, 소음의 원인이 되는 피스톤 슬랩현상(piston slap phenomenon)은 왕복동 압축기에서 커넥팅로드의 기울어짐에 의해 발생하는 측력과 피스톤 간극에 의한 피스톤과 실린더의 충돌 현상을 말하는 것이다. 문승주 등[21]은 유한요소법을 적용하여 피스톤의 운동궤적을 구함으로써 이러한 슬랩현상을 해석하고자 하였다.

가정용 냉장고에 사용되는 소형 왕복동 압축기를 대상으로 하는 가변속 시스템에 대한 연구[22]에서는 저속에서 발생하는 급유 불능 상황을 해결할 수 있는 급유 촉진기구에 대한 제안과 함께 그 효과의 이론적 해석 및 실험결과에 대한 비교, 분석이 이루어졌다. 특히 원심펌프로는 1800rpm 이하의 운전속도에서 급유가 불가하였으나, 본 연구에서 제안한 촉진기구를 통해 1200rpm에서도 55g/min의 급유량을 얻을 수 있었다.

왕복동 압축기에 대한 동적거동에 관한 연구로서, 김태종[23~25]은 동수력 모델링을 이용하여 피스톤의 점성마찰력과 실린더 벽면 접촉 길이의 변화를 고려한

왕복동형 압축기구의 동적거동 해석 프로그램을 작성함으로써 압축기구의 고효율 설계에 활용할 수 있게 하였다. 또한 압축기 설계변수가 피스톤과 크랭크축의 연성된 동적특성을 해석함으로써 피스톤과 실린더 사이의 틈새변화 및 유막의 점도값의 영향에 대해 고찰하였다.

이 밖에도 왕복동형 압축기 부품에 대한 압력분포 및 유동해석 관련 연구가 행해졌다[26,27].

3. 터보형 압축기

3.1 원심 압축기

원심압축기에 대한 2003년도의 연구실적을 보면 크게 원심압축기의 익단간극과 간극을 통한 누설 유동이 성능에 미치는 영향에 관한 연구[28,29], 다양한 유량과 입구 불균일 유동에 따른 선회실속 특성 및 스톨 발단에 대한 연구 검토[30~32], 유동해석을 위한 준 삼차원해석기법개발[33], 원심압축기 내부유동해석 및 성능해석을 위한 프로그램 개발[34,35], 케이싱의 형상변화 및 디퓨저의 상대위치가 성능에 미치는 영향에 관한 연구[36] 및 압축기 성능에 대한 실험적, 수치적 연구를 통한 코드의 검증 및 활용방안[37~40] 등 비교적 다양한 분야의 관련 논문들이 발표되었다.

음학진 등[28]은 날개의 높이가 중요한 설계변수가 되는 원심압축기에서 수치해석을 이용하여 간극누설유동이 원심압축기 임펠러 내부 유동특성에 미치는 영향에 대해 살펴보고, 간극변화에 따른 성능변화를 정량적으로 살펴보았고 성능예측을 위한 간단한 모델을 제시하였다. 또한 이경용 등[29]은 익단간극이 없는 R134a 냉매 압축기를 대상으로 익단간극을 고려한 임펠러 및 디퓨저의 유동장 및 성능특성에 대한 수치해석을 수행하여 간극특성에 미치는 영향을 고찰하고, 임펠러 설계 및 냉간 조립 공차에 CFD결과를 활용하는 방법의 가능성을 확인해 보았다.

터보형 압축기 불안정성과 관련하여 김지환 등[30]은 원심압축기의 임펠러 회전수와 유량을 변화시켜 가면서 성능을 측정하고, 고주파수 압력센서를 이용하여 선회실속 수와 전파속도에 대해 측정, 분석함으로써 깃 없는 디퓨저 내부의 세부적인 유동패턴에 대하여 고찰하였다. 또한 실속 발단에 대해서 종합적으로 정리함으로써 앞으로의 연구의 가능성과 방향에 대하여 제시하였다.[31] 원주방향 입구 불균일 유동이 고속으로 회전하는 원심압축기의 성능 특성에 미치는 영향과 저유량 영역에서 발생하는 실속의 특성, 즉 실속 셀의 수나 전파속도, 실속 발단 등에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.[32]

현재 국내에서 가장 많이 알려져 있는 외국의 여러 압축기 설계 프로그램의 부족한 점을 보완하려는 의도에서 독자적인 설계 프로그램을 개발하려는 노력도 활발히 진행되어, 평균유선 설계/성능해석 프로그램과 더불어 3차원 압축성 난류 유동해석 프로그램을 개발하고, 독자적인 압축기 공력설계 시스템을 완성했으며, 여타 프로그램과 비교함으로써 우수한 성능을 확인하였다[33,34]. 또한 저압 압축기로 분류되는 세 가지 형상의 임펠러를 준 삼차원 방법에 의해 유동해석을 수행, 두 가지 방식의 경계 회전속도 계산 방법에 의한 결과를 비교하여, 삼차원 Euler해석 결과와 비교, 분석하였다[35].

원심형 압축기 주요 구성 부품인 디퓨저에 대한 연구도 수행되었다. 2열의 베인 디퓨저로 구성된 탠덤 디퓨저는 안정성과 효율면에서 좋은 장점을 가지고 있으나 첫 번째 베인과 두 번째 베인의 상대위치가 효율에 영향을 미친다. 이러한 탠덤 디퓨저의 상대위치가 압축기의 성능에 미치는 영향을 유동해석을 통하여 확인하고 그 결과를 실험치와 비교하여 유동해석의 신뢰성에 대한 검증이 이루어졌다[36].

냉동기용 원심압축기, 즉 냉매 압축기에 관한 연구가 산업체를 중심으로 비교적 활발히 수행되었다. 특히 김길영 등[37]은 성능시험에서 정확한 압축기 성능(효율) 측정을 위해 고려되어야 할 중요한 인자들(유량-양정, 유량-효율 등)에 대해서 살펴보았으며, 이경용 등[38]은 냉매 압축기 임펠러 및 디퓨저의 유동장을 해석하고 그 결과를 기존 설계 결과와 비교·분석하여 기존의 설계 타당성을 유동해석으로 검증해 보고자 하였다. 또한 이를 바탕으로 해석에 사용된 상용 유동해석 프로그램이 압축기의 전체 성능 해석 및 내부 유동을 연구하는데 있어서 그 가능성을 타진하였다.

이 외에도 현재 산업현장에서 쓰이고 있는 다단 고압 블로워나 루츠블로워, 링블로워 등의 낭비되는 에너지를 절약하고 시장을 대체할 수 있는 단단 가변속 제어형 고압 블로워 개발을 위한 연구를 수행하기 위하여 가변속 제어형 고속 전동기를 채용한 원심형 블로워를 설계, 제작하여 성능을 확인하였다[39]. 또한 국내에서 처음으로 MVR 담수화 장비용 고효율 터보 증기 압축기 개발과 함께 해수담수화 및 폐수처리 장비의 국산화 제품 개발을 통하여, 비교적 낮은 비속도로

Table 1 Published Domestic Compressor Papers in 2003

	PUBLICATION								AUTHOR			
	JOURNAL			CONFERENCE					Univ.	Company	Institute	Total
	KFMA	KSME	SAREK	KASA	KFMA	KSCFE	KSME	SAREK				
Rotary			1		1			4	4	2		6
Swash Plate					1			1	2			2
Scroll			3		1		3	4	6	3	2	11
Reciprocate		5	1				2		8			8
Centrifugal	2	1	1		7		1	2	6	4	4	14
Axial		2		1	1	2	1		6	1		7
Total	2	8	6	1	11	2	4	11	32	10	6	48

인해 고효율 달성에 의문이 있었으나 압축기만을 기준으로 한 성적계수가 해외제품 성적계수 15정도에 비해 본 제품에서는 26이상의 고효율을 달성할 정도로 성공적인 설계와 개발을 이루었다[40]. 소형 원심압축기에서 임펠러와 케이싱사이의 상호작용이 성능과 어떠한 연관성이 있는지에 대한 연구도 아울러 수행되었다[41].

3.2 축류 압축기

축류 압축기에 대한 연구는 주로 압축기 익렬에서의 누설유동[42,43] 및 팁 와류[44], 삼차원 최적설계[45,46] 및 성능해석[47]과 관련한 논문들이 주를 이루고 있다.

박준영 등[42]은 고속 천음속 회전익에 대한 3차원 압축성 점성 유동 해석을 통해 계산결과와 실험결과를 비교하여 코드의 정확성을 검증하고 팁 간극의 처리를 위한 모델링을 사용하지 않고, 블레이드의 두께를 고려한 천음속 압축기 회전익(NACA rotor 67)에서의 누설유동 및 누설 와류를 해석하였다. 또한 임지현 등[43]은 6개의 NACA65계열 날개로 구성된 익렬 실험장치를 이용하여 1%에 해당하는 익 말단 틈새가 존재하는 경우, 후류가 유입되지 않는 경우 그리고 주기적 후류가 유입되는 경우에 대해 각각 실험을 수행하고, 모든 경우에 스팬 방향으로는 바닥에서 스팬 중앙까지, 피치 방향으로는 부압면에서 압력면까지 전체 영역에 대해서 3차원 유동장을 측정하여 분석하였다. 또한 팁 와류(tip vortex)에 대한 블레이드 설치각, 팁 간극 및 유량계수의 효과에 대한 연구도 심도 있게 이루어졌다[44].

3차원 N-S방정식과 반응면 기법(response surface method)을 이용하여 천음속 압축기 로터(NACA rotor 37)의 형상을 최적화 하였으며, 설계변수로는 익형의 stacking line이 블레이드의 회전방향으로 skew되도록 하는 요소를 선택하여 블레이드의 3차원적 형상을 최적화 하였다[45]. 그리고 형상설계변수와 마찬가지로 질량유량을 설계변수로 하여 최고의 효율을 가져오는 최적의 운전유량을 결정하고자 노력하였다[46]. 또한, 동익과 정익으로 이루어진 천음속 축류 압축기를 삼차원 점성 효과를 고려하여 수치해석하고, 설계 회전속도에서 성능 및 손실을 비교·평가하였다. 최고 효율점과 스톨 및 서지점에서의 유동구조와 충격파에 따른 손실에 관하여 비교 · 고찰하였다[47].

이 외에도 현장에서 활용되고 있는 산업용 축류 압축기를 대상으로 압축기 성능에 대한 환경적 영향을 파악하고자 하는 연구가 수행되었다. 압축기내의 가스와 미세입자와의 상호 관계가 축류압축기에 어떤 영향을 미치는 지를 알아보기 위해 3차원 압축성 N-S방정식을 계산하여 정확한 결과를 얻었고, 팁 간극을 지나는 입자에 의해 블레이드 팁과 쉬라우드에서 발생되는 충격량과 부식을 정량적으로 예측하였다[48].

4. 결 론

2003년 한 해 국내에서 발표된 압축기 관련 논문에 대 살펴보았으며, 발표된 학술지와 관련분야 및 주저자의 소속은 Table 1에서 보여주고 있다. 본 조사는 한국항공우주학회지(KASA), 유체기계저널(KFMA), 대한기계학회논문집(KSME), 대한설비공학회논문집(SAREK) 및 한국전산유체공학회논문집(KSCFE) 등 총 5개의 학술지 및 학술대회논문집을 중심으로 이루어졌다. 용적형 압축기 27편으로서 약 56%, 터보형 압축기 21편(44%)

등 총 48편의 논문이 발표되었다.

이중에서 용적형 압축기의 대부분(14편, 52%)은 설비공학회를 통해 발표되었고, 특히 용적형 중에서 스크롤 압축기 관련 연구가 11편(41%)으로서 가장 활발히 진행되었음을 알 수 있다. 또한 발표논문의 2/3 정도가 대학을 중심으로 이루어졌음을 알 수 있다. 물론 이 중에서 상당량이 산업체와의 공동연구에 의해 이루어지고 있다는 것도 눈여겨봐 야할 것이다. 논문의 주제로 볼 때 대체냉매, 가변용량형 및 오일관련 논문이 주를 이루고 있으며 향후에도 당분간은 이러한 분야에서 많은 연구가 진행 될 것으로 사료된다.

터보형 압축기 관련 연구는 주로 유체기계공업학회를 중심으로 발표가 이루어지고 있으며, 이 중 원심형 압축기는 14편으로 2/3를 차지하고 있다 연구 주제로는 압축기 불안전성, 성능해석, 공력설계 및 익단간극의 영향 등을 중심으로 진행되었다. 특히 원심형 압축기의 경우 용적형 압축기 관련 연구와 비교해 볼 때 상대적으로 산·학·연에서 골고루 이루어졌음을 알 수 있다. 이는 산업체와 대학 및 연구소간의 공동연구가 비교적 활발했음을 뜻하는 것으로 생각되며, 향후 이러한 분위기의 지속적인 증가세가 기대된다.

참고문헌

(1) 김철민, 황윤제, 정백영, 2003, "두 대의 압축기를 적용한 에어컨의 오일분배 특성에 관한 실험적 연구", 설비공학논문집, 제 15권 제 2호, pp. 103~108.

(2) 이정배, 이승갑, 2003, "압축기 상하부 압차와 오일토출 상관 분석", 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 700~704.

(3) 김용재, 이승갑, 윤영, 고한서, 2003, "유동가시화 기법을 이용한 로터리 압축기 내부의 오일 거동 분석", 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, pp. 429~434.

(4) 이재효, 김병균, 이건우, 2003, "열펌프의 난방운전시 압축기내의 냉매 거동에 대한 고찰", 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 694~699.

(5) 김현진, 안종민, 조광명, 2003, "트윈 로타리 압축기의 토출 가스 맥동 해석", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 697~703.

(6) 안종민, 조광명, 김현진, 2003, "트윈로터리 압축기의 성능해석", 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 705~711.

(7) 이태진, 이건호, 2003, "R744용 시판식 압축기의 성능해석에 관한 연구", 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 688~693.

(8) 김민준, 박익서, 이건호, 2003, "오일 충전량 변화에 따른 사판식 압축기 성능의 실험적 고찰", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 704~709.

(9) 최세헌, 김명균, 조양희, 이병철, 2003, R410A용 스크롤 압축기의 설계 체적비 최적화", 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, pp. 435~440.

(10) 전용호, 김대훈, 권영철 장근선, 이윤수, 문제명, 윤백, 홍주태, 2003, "디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 냉난방특성에 대한 실험적 연구", 설비공학논문집, 제 15권 제 6호, pp. 454~460.

(11) 전용호, 김대훈, 권영철, 이윤수, 문제명, 홍주태, 2003, "디지털 스크롤 압축기를 이용한 시스템에어컨의 냉난방특성", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1536~1541.

(12) 유동원, 이병철, 유병길, 최세헌, 2003, "스크롤 압축기의 급유량 계측", 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 423~428.

(13) 조홍현, 김용찬, 유병길, 2003, "스윙펌프를 내장한 가변속 스크롤 압축기의 오일공급시스템에 관한 CFD시뮬레이션", 설비공학논문집, 제 15권 제 1호, pp. 50~58.

(14) 강동진, 홍석준, 전현주, 2003, "스크롤 압축기 누설모델의 CFD해와의 비교연구", 설비공학논문집, 제 15권 제 10호, pp. 843~851.

(15) 김철환, 신동구, 박홍희, 2003, "바이패스방식을 이용한 용량가변형 스크롤 압축기에 관한 연구", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 693~696.

(16) 김영민, 신동길, 이장희, 2003, "스크롤 압축기/팽창기를 이용한 새로운 스터링 사이클", 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 911~918.

(17) 김영민, 신동길, 이장희, 2003, "스크롤 기구를 적용한 스털링 엔진", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1709~1716.

(18) 안기정, 김현진, 김철우, 2003, "급탕기용 열펌프를 위한 CO_2 스크롤 압축기 최적설계에 관한 연구," 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 682~687.

(19) 장기태, 정상권, 2003, "스크롤 압축기 내부에서의 열전달에 대한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 199~204.

(20) 이억수, 이승홍, 김명훈, 2003, "중간 냉각기가 있

는 고압 다단 왕복동식 압축기에 관한 열역학적 해석", 대한기계학회논문집 B, Vol. 27, No. 9, pp. 1238~1247.

(21) 문승주, 조진래, 김현옥, 2003, "냉매순환을 고려한 왕복동형 압축기의 피스톤 슬랩현상에 대한 유한요소 해석", 대한기계학회논문집 A, Vol. 27, No. 7, pp. 1087~1094.

(22) 김현진, 이태진, 2003, "가변속 왕복동 압축기의 급유 촉진기구 설계", 설비공학논문집, 제 15권 제 1호, pp. 25~31.

(23) 김태종, 2003, "소형 왕복동 압축기의 동적 거동 및 윤활특성 해석", 대한기계학회논문집 A, Vol. 27, No. 7, pp. 1138~1145.

(24) Kim, T.-J, 2003, "Numerical Analysis of the Piston Secondary Dynamics in Reciprocating Compressors", KSME International Journal, Vol. 17, No. 3, pp. 350~356.

(25) Kim, T.-J., 2003, "Dynamic Analysis of a Reciprocating Compression Mechanism Considering Hydrodynamic Forces", KSME International Journal, Vol 17, No. 6, pp. 844~853.

(26) 윤정, 박종호, 김태민, 김경천, 2003, "왕복동형 압축기의 경사진 원판형 밸브리드에 대한 압력분포 측정 및 유동해석", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1942~1947.

(27) 박종호, 윤정, 김태민, 김경천, 2003, "왕복동형 압축기의 경사진 원판형 밸브리드와 밸브시터의 기하학적 파라미터에 대한 압력분포 측정 및 유동해석", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 828~833.

(28) 음학진, 강신형, 2003, "익단간극이 원심압축기 성능에 미치는 영향에 관한 수치해석적 연구", 대한기계학회논문집 B, Vol. 27, No.3, pp. 389~397.

(29) 이경용, 최영석, 박운진, 2003, "R134a 터보냉동기용 원심압축기의 익단간극이 성능특성에 미치는 영향에 관한 수치해석적 연구", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 451~456.

(30) 김지환, 김광호, 신유환, 2003, "원심압축기의 선회실속 분석", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 834~839.

(31) 강정식, 강신형, "터보압축기의 스톨 발단에 관한 연구 리뷰", 유체기계저널 제6권 제 4호, pp. 58~65.

(32) 박재형, 강신형, "입구 불균일 유동에 의한 원심압축기 스톨에 관한 실험적 연구", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 476~481.

(33) 오종식, 2003, "원심/사류압축기의 공력설계 프로그램 개발 제1부:평균유선 설계/성능해석", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 457~463.

(34) 오종식, 2003, "원심/사류압축기의 공력설계 프로그램 개발 제2부:임펠러의 3차원 형상설계", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 464~468.

(35) 안상준, 김광용, 2003, "원심압축기의 유동해석을 위한 준삼차원 해석기법", 유체기계저널 제 6권 제 1호, pp. 30~36.

(36) 노준구, 김진한, 2003, "텐덤 디퓨저의 상대 위치에 따른 원심압축기 성능 예측", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 469~475.

(37) 김길영, 이창중, 이현구, 2003, "터보냉동기용 압축기의 성능에 대한 실험적 연구 Part 1 : 압축기 측정 시 고려할 인자들", 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 718~723.

(38) 이경용, 최영석, 이현구, 김길영, 2003, "R134a 터보냉동기용 원심 압축기의 성능 특성에 관한 수치해석적 연구", 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 724~729.

(39) 최범석, 박무룡, 황순찬, 박준영, 2003, "가변속 터보블로워의 성능특성에 관한 연구", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 379~384.

(40) 오종식, 성병일, 현용익, 2003, "MVR 담수화장비용 터보 증기압축기의 개발", 유체기계 연구개발 발표회, pp. 482~486.

(41) Kim, D. W., Kim, H. S., and Kim, Y. J., 2003, Effects of Casing Shape on the Performance of a Small-Sized Centrifugal Compressors", International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 11, No. 3, pp. 132~139.

(42) 박준영, 정희택, 백제현, 2003, "천음속 회전익에서의 누설유동", 대한기계학회논문집 B, Vol. 27, No. 1, pp. 84~94.

(43) 임지현, 김동현, 주원구, 2003, "주기적 후류가 누설유동이 존재하는 익렬유동에 미치는 영향에 대한 실험적 연구", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1986~1991.

(44) Yoon, Y.-S., and Song, S.-J., 2003, "Effects of Flow Coefficient, Tip Clearance and Stagger Angle on Tip Vortex in Axial Compressor", KSAS Fall

Conference (Interna- tional Session).
(45) 안찬솔, 김광용, 2003, "반응면 기법을 이용한 천음속 축류압축기의 삼차원 형상 최적설계", 대한기계학회논문집 B, Vol. 27, No. 2, pp. 155~162.
(46) 고우식, 김광용, 고성호, 2003, "설계유량을 고려한 천음속 축류압축기 동익의 삼차원 형상 최적설계, 유체기계 연구개발 발표회, pp. 639~645.
(47) 한용진, 김광용, 고성호, 2003, "삼차원 점성 효과를 고려한 축류 압축기의 성능에 대한 수치해석", 한국전산유체공학회 춘계학술발표대회.
(48) Yoon, J. S., and Chang, K.-S., 2003, "CFD Study on Particle Effect and Erosion in the Axial Compressor Blades and Shroud of Turbomachinery", The 5th ACFD Proceedings, pp. 611~617.