

압축기 분야 연구동향

이건호* · 신유환**

1. 서 론

2002년 동안에 국내에서 발표된 압축기관련 논문을 바탕으로 압축기분야 연구동향을 소개하고자 한다. 압축기는 압축방식에 따라 왕복동 압축기, 로타리 압축기, 스크롤 압축기, 스크루 압축기, 원심 압축기 및 축류 압축기로 나눌 수 있으며, 각 분야에서 연구 및 기술개발이 폭 넓게 이루어지고 있다. 또한 압축기가 시스템 성능에 미치는 영향에 관한 연구도 계속하여 발표되고 있다.

2. 왕복동 압축기

왕복동 압축기에 대한 최근 연구발표로는 흡입시스템의 영향을 고려한 성능해석 방법과 더불어 자동차에 어컨에 주로 사용되는 사판식 압축기의 성능해석 등이 있다.^{(1)~(3)}

흡입과정 시 흡입계 내부의 공진주파수가 압축기 운전주파수의 2배가 되면, 이론적인 경우보다 더 많은 냉매가 흡입밸브를 통하여 실린더내로 흡입되는데 이를 과흡입충전이라 명명한다. 이러한 과흡입충전에 영향을 주는 흡입계는 흡입머플러 뿐 아니라 실린더 내부도 포함됨으로 흡입과정 동안 어느 시점까지의 체적을 흡입계로 고려하여야 하는지에 대한 문제는 실험을 통하여 분석되어야 한다. 흡입머플러, 실린더 내부, 토출구 등에 압력센서를 설치하여 밸브강성에 따른 실험을 행한 결과로서 흡입밸브 두께가 얇을수록 실린더 내부에는 더 높은 압력이 유지됨을 알 수 있었다. 이는 과흡입충전에 대한 발생여부는 흡입머플러, 흡입파이프, 흡입밸브 및 실린더내부 등 모두 고려되어야 함을 알 수 있었다.⁽¹⁾

또한, 왕복동 압축기의 효율적인 성능 개선을 위해서는 압축기 내부 냉매 유로에서의 정확한 물리량 예측을 통한 원인분석 및 구조개선이 요구되고 있다. 이러한 왕복동 압축기 내부 물리량을 정확하게 해석하기 위해 구조해석 S/W인 ANSYS를 통해 밸브 거동을 파악하고, SYSNOISE를 이용하여 흡입계를 3차원 모델링함으로써 흡입계에서 발생하는 압력맥동과 실린더 내압 및 밸브거동 등을 정확히 예측할 수 있는 압축기 성능예측 기법을 개발하고, 이를 실험결과와 비교함으로써 매우 높은 성능예측 신뢰도를 얻었다고 발표하고 있다.⁽²⁾

그리고 현재 자동차 에어컨에 주로 사용되고 있는 사판식 압축기에 대하여 사판각도 변화에 따른 압축기 성능을 예측할 수 있는 해석방법이 발표되었다. 여기에서 성능해석 모델링은 밸브거동해석, 각 검사체적간의 누설해석 및 구성품 간의 열전달해석과 더불어 구동부위에서의 동적거동해석을 모두 포함하고 있다. 또한, 사판식 압축기의 이론적인 성능예측에서 가장 큰 변수인 피스톤과 실린더 사이의 틈새크기 및 슈와 사판과의 마찰계수 등은 실험결과와 시뮬레이션결과와의 비교를 통하여 압축기 회전수 변화에 따른 관계식을 얻음으로서 보다 정확한 성능예측프로그램을 개발할 수 있었다. 이론적인 시뮬레이션 결과, 사판의 경사각이 커질수록 체적효율 및 기계효율이 증가하는 경향을 보이다가 사판 경사각이 22도 이상에서는 기계효율의 변화 및 압축기 성적계수의 변화가 거의 없음을 알았고 이는 경사각 22도 부근이 사판식 압축기에서 가장 좋은 사판각도임을 밝히고 있다.⁽³⁾

3. 로타리 압축기

룸 에어컨 및 대형 냉장고에 주로 사용되고 있는 로타리 압축기에 관한 연구는 최근에 로타리 압축기의 가스맥동에 관한 연구와 더불어 윤활시스템 및 재질의

* 두원공과대학 에너지정보과
E-mail : ghlee@doowon.ac.kr
** 한국과학기술연구원

마찰 마멸 특성에 관한 연구가 진행되고 있다.^{(4)~(6)}

로타리 압축기의 내부 가스맥동은 토출밸브의 거동 및 압축기 성능에 큰 영향을 줌과 동시에 로타리 압축기에서 발생하는 주 소음원이 됨으로 가스맥동에 대한 정확한 예측은 매우 중요하다. 이를 위하여 토출경로를 음향요소들로 구성된 시스템으로 간주하고 이 각 음향요소에 대한 사극이론을 적용하여 토출경로 전체에 대한 음향 임피던스를 구함으로써 토출포트에서의 질량유량 및 가스맥동을 얻을 수 있는 방법을 개발하여 이러한 해석결과가 측정치와 잘 일치함을 발표하였다.⁽⁴⁾

또한, 로타리 압축기의 윤활시스템에 대한 연구로는 횡형로타리 압축기의 배인펌프 방식에 대한 급유 해석 등이 있다. 이를 위해서는 우선 오일펌핑 메카니즘을 해석하고 전기회로망의 상사법칙을 사용하여 각 윤활요소에 대한 급유량을 구했으며, 압축기의 넓은 운전영역에서 실험치와 잘 일치함을 보여주었다.⁽⁵⁾

그리고 로타리압축기는 배인-롤러, 축-베어링, 롤러-플랜지 사이에서 마멸이 많이 발생한다. 이러한 구동부 중에서 배인-롤러 사이의 마모가 가장 큰 문제인데 이는 경계윤활과 혼합윤활 영역이 공존하면서 작동되기 때문이다. 이 부분의 마멸은 곧 압축기의 동력손실을 야기하고 수명단축을 이끌기 때문에 배인-롤러 표면에 대한 마찰 마멸특성에 관한 연구가 진행되고 있다. 이러한 배인-롤러에 대한 미끄럼시험은 재료의 작용하중, 속도 등을 변화시키면서 TiN 코팅된 배인과 비코팅된 배인에 대하여 진행된다. 냉매 R410A와 윤활유 POE를 사용한 혼합환경에서 실험한 결과는 배인 표면의 TiN 코팅을 하면 비코팅 배인보다 내마모성이 향상되고, 속도가 증가될수록 마멸량의 차이가 커짐을 알았다. 또한, 미끄럼 속도가 증가하면 마멸량이 증가하다가 미끄럼속도가 1,000 rpm에서는 마멸량이 감소함을 알았는데 이는 윤활영역이 경계윤활에서 유체윤활로 천이되기 때문이다. 그리고 TiN 코팅된 배인의 표면 조도를 관찰한 결과 최적의 표면조도로 0.15 마이크로 Ra임을 알 수 있었다.⁽⁶⁾

4. 스크롤 압축기

최근에 스크롤압축기에 관한 연구로는 압축기의 동적거동해석과 이에 따른 안정성해석 그리고 CO2 냉매에 관한 성능해석 및 시스템에 대한 운전특성 등이 발

표되고 있다.^{(7)~(10)}

스크롤압축기의 동적거동해석은 누설방지기술 및 자전방지 기구들에 따라 해석모델링이 다르며, 누설방지기술은 반경방향 누설방지기구와 축방향 누설방지기구로 구분된다. 운전조건 및 사용범위에 따른 최적 구성품을 얻기 위하여 서로 다른 접선방향 누설방지기구와 자전방지기구로 조합한 3가지 모델의 스크롤압축기에 대하여 각각 동적거동해석을 위한 모델링이 연구되었다. 이때 조합된 스크롤압축기는 첫 번째가 슬라이딩 부싱과 올댐 링의 조합이고, 두 번째는 고정반경과 볼베어링의 조합이며, 세 번째는 슬라이드 블록과 링 커플링 조합 등이다.⁽⁷⁾

고정스크롤 뒷면에 배압실이 구성되어 있는 스크롤압축기는 고정스크롤이 축방향으로 움직임으로서 약간의 흔들림이 일어날 수 있다. 이러한 고정스크롤의 흔들림이 압축기의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 고정스크롤의 불안정성에 대한 동적거동해석이 행해졌다. 해석결과 고정스크롤의 뒤틀림각도가 0.03도인 경우, 스크롤 압축기의 성능은 25 % 이상 감소될 수 있음을 알았으며, 이는 고정스크롤 안정성이 압축기 성능에 매우 큰 영향을 줄 수 있었다.⁽⁸⁾

최근에 전 세계적으로 환경보호 및 에너지 절약차원에서 냉동시스템의 냉매로서 이산화탄소에 대한 연구가 매우 활발히 일어나고 있다. 특히 이산화탄소를 냉매로 사용하는 히트펌프식 온수기용 스크롤압축기는 고정스크롤 뒷면에 배압실이 있는 구조와 함께 선회스크롤 아래에는 스러스트 베어링 면압을 감소시키는 정압어시스트 축수구조를 가지고 있다. 이러한 스크롤압축기에 대한 성능해석 결과, CO2용 압축기는 R410A에 비하여 가스압축 손실과 기계적 손실이 각각 2배 가량 증가함을 알 수 있었다.⁽⁹⁾

시스템에 대한 운전특성에 관한 연구로는 최근에 개발된 디지털 스크롤 압축기를 이용한 에어컨의 냉난방특성에 관한 실험적 연구가 행해졌다. 디지털 스크롤압축기는 PWM(Pulse Width Modulation) 밸브를 이용하여 상부스크롤의 로딩 및 언로딩의 시간을 조절함으로써 압축기의 토출용량을 자유자재로 제어할 수 있다. 이러한 디지털압축기는 로딩 대비 언로딩 시 소비전력은 약 11 % 정도이며, 표준조건에서의 냉 난방운전 시 부하량에 따른 압축기 효율변화가 크지 않기 때문에 부하가 적은 영역과 부하가 큰 영역에서의 운전이 모두 효과적임이 밝혀졌다.⁽¹⁰⁾

5. 스크루 압축기

스크루압축기는 왕복동 압축기에 비해 소음 및 진동이 적고 체적효율이 높아 냉매압축기 뿐 아니라 공기압축기에도 널리 사용되고 있다.^{(11)~(13)}

스크루압축기가 설치된 스크루 압축식 냉동기의 성능을 높이기 위한 방법으로서 스크루 압축기에 이코노마이저를 적용하고 있다. 이코노마이저는 응축기 유출액 냉매 일부를 팽창시킨 저온의 포화냉매를 응축기 유출액 냉매와 열교환 시킨 후, 스크루 압축기 내부로 분사하는 장치로서 응축기 유출냉매의 과냉도를 증가시켜 냉방능력을 높이고, 압축기 출구의 냉매온도를 저하시켜 압축일을 감소시킨다. 이러한 이코노마이저가 적용된 스크루압축기의 성능예측 프로그램이 개발되었으며, 이 프로그램은 스크루 수로다의 회전각에 따른 기하학적 해석값과 가공 및 조립공차 등이 입력값으로 사용되어 질량보존방정식과 에너지보존방정식을 이용하여 압축과정을 계산한다. 이러한 계산결과로서 압축기의 체적효율, 단열효율 및 이코노마이저를 통하여 압축기로 분사되는 냉매유량을 얻을 수 있다. 냉매로는 R22와 R407C를 적용하였으며, 이코노마이저 분사구경이 클수록 성능향상이 증가하나 분사구가 설치되어있는 암로다 한 로브의 길이로 인하여 분사 구경의 한계조건이 존재함을 알았다.⁽¹¹⁾

그리고 오일분사식 스크루 공기압축기에 대한 성능 해석 시뮬레이션 프로그램이 개발되었으며, 이를 바탕으로 여러 가지 변수연구를 수행되었다. 수행된 성능 해석 모델링은 공기를 이상기체로, 오일을 비압축성으로, 공기와 오일의 상변화는 없으며, 공기와 오일의 열교환은 대류열전달로 가정하였다. 변수연구로는 로브 조합(4+6, 5+6, 5+7), 권선각(250, 300, 350), 로더길이와 로더지름간의 비 (1.3, 1.6, 1.9) 등을 변화시켰으며, 시뮬레이션 결과로서 5+6 치형이 가장 우수하고, 권선각이 클수록 단열효율이 좋으며, 저속영역에서는 길이비가 클수록, 고속영역에서는 길이비가 적을수록 단열효율이 우수함을 알았다.⁽¹²⁾

또한, 공기 스크루압축기에 대한 성능해석 뿐 아니라 스크루 로다의 가공 시뮬레이션에 대한 연구가 진행되고 있다. 개발된 가공 시뮬레이션 프로그램은 로다의 권선각 변화에 따른 커터설계 기능과 로다의 3차원 형상 자동생성 기능이 포함되어 있다. 이 프로그램을 이용하여 권선각 변화에 따라 3종류의 로다를 가공하였으며, 가공된 로다의 형상정밀도는 최대 0.4 mm의

가공오차로서 스크루 로다의 가공용 커터설계에 활용이 가능하다고 보고하고 있다.⁽¹³⁾

6. 원심 압축기

원심압축기에 대한 연구는 크게 압축기내 유동해석을 통한 실속발생에 대한 부분과 성능해석을 통한 효율향상에 관한 것으로 나눌 수 있다.^{(14)~(22)}

특히 최근 실속(stall)에 대한 연구는 대부분 실속의 발달에 대한 연구에 초점이 맞추어졌는데, 그 주된 이유는 압축기가 실속 한계점에서 더욱 가까이 작동될수록 일반적으로 압축기의 압력비와 효율이 증가하는 반면, 실속 한계선 가까이에서 작동할 경우 압축기가 실속이나 서지 영역으로 들어가 압축기의 안전에 큰 문제를 일으킬 수 있기 때문이다. 그래서 실속 한계점 근처에서 안전하게 작동시키려면 실속이 발생하기 전에 실속의 발생을 미리 감지해서 실속의 발생을 방지할 필요가 있다.

원심압축기의 베인없는 디퓨저에서 실속 발달에 관한 실험을 통해 흥미로운 결과를 얻을 수 있었다. 2개의 작은 셀 구조와 3개의 작은 셀 구조가 서로 교차하며 성장과 소멸을 반복하는데, 이때 두 작은 셀 구조가 서로 에너지 교환을 통해 서로의 성장과 소멸에 상호작용한다는 것이다. 이렇게 작은 셀이 성장과 소멸을 반복하다가 완전 발달된 실속으로 발달하는 현상은 축류압축기의 연구에서 보고된 실속 발달과는 다른, 베인없는 디퓨저를 가진 원심압축기의 고유한 실속 발달형태로 보인다.⁽¹⁴⁾

또한 원심압축기 디퓨저에서 압력 회복 능력과 유동의 안정성은 압축기 성능과 직결된다고 볼 수 있으므로 디퓨저 내의 유동현상 및 성능을 이해하는 것이 매우 중요하다. 베인 디퓨저는 일반적으로 베인리스 디퓨저에 비해 압력회복과 압축기 효율 향상이 가능하다는 장점이 있지만 안정작동 유량범위가 좁다는 단점도 있다. 그래서 안정영역 확보를 위해 베인 디퓨저를 장착한 원심압축기에서의 선회실속 특성에 대한 실험적 연구가 수행되었다.⁽¹⁵⁾

공역학적 불안정성은 주기적인 유동 및 압력 변동으로 나타나며 기계적인 진동, 소음을 동반한다. 이러한 요동은 압축기 성능저하뿐만 아니라 시스템에 악영향을 주게 되므로 운전에 따른 성능의 안정영역 확보와 불안정영역 특성을 이해할 필요가 있다. 그래서 범프 베어링으로 지지되는 모터 구동 고속 원심압축기의

회전수와 유량에 따른 공력 성능 측정 및 공력학적 불안정성에 대한 연구가 진행되었다. 특히 불안정 특성과 관련하여 abrupt type 및 progressive type의 실측에 대해 고찰하였다.⁽¹⁶⁾

소형 터보압축기에 사용되는 케이싱의 형상변화가 회전차와의 상호작용에 의해 성능 및 반경 방향 추력에 미치는 영향을 살펴보았다. 동심형과 불류트형 케이싱 구조로 실험한 결과, 불류트형이 동심형보다 높은 효율을 나타내었고 손실도 작았다.⁽¹⁷⁾

낮은 비속도를 갖는 작은 크기의 압축기에서 날개 높이에 비해 간극이 차지하는 비율은 자연히 커지기 때문에 다른 손실요소보다 간극누설유동이 압축기의 성능 및 효율에 큰 영향을 미친다. 간극변화가 원심압축기의 성능변화에 미치는 영향을 정량적으로 살펴보았다. 그 결과, 간극의 증가에 따른 전압비 감소와 효율의 감소는 임펠러 출구 간극비에 비례한다는 것을 알 수 있었다. 또한 간극변화에 따른 전압비의 변화는 비점성에 의한 영향과 점성에 의한 영향을 받지만 효율변화량은 점성에 의한 영향만 받는다는 것도 알 수 있다.⁽¹⁸⁾

최근 입구 안내익을 이용하여 원심압축기의 작동영역을 넓히기 위한 방법으로 서지 제어 또는 지연에 대한 연구들이 수행되고 있다. 입구 안내익의 설정각 변화가 원심압축기 성능과 불안정성 발달과정에 미치는 영향을 알아본 결과, 입구 안내익 각도에 의한 입사각의 변화는 단순한 작동점의 이동뿐만 아니라 선회실속이나 서지 같은 비정상 성능 특성에도 영향을 미친다는 사실을 확인하였다. 이러한 결과는 입구 안내익을 사용하는 원심압축기 시스템을 구성하는데 실증적 결과로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.⁽¹⁹⁾

기존 냉동기용 원심압축기는 CFC-11, HCFC-123을 냉매로 사용하였으나 오존층파괴와 온난화 현상으로 인해 환경친화성 냉매인 HCFC-134a로 대체되고 있다. 냉매가 대체되면 압축기의 경우 임펠러 효율의 감소, 냉각능력의 감소, 성적계수의 감소 등과 같은 현상이 일어나므로 원심압축기를 재설계해야 하는데 국내에서는 최근에 조금씩 이에 대한 연구가 이루어지고 있다. HFC-134a용 원심압축기의 설계이론, 유동해석, 해석결과를 알아보고 HFC-134a용 원심압축기의 이론 및 유동해석을 기초로 설계한 시작품을 제작, 성능시험을 수행하여 성능시험결과와 이론해석결과를 비교분석하였다.⁽²⁰⁾

원심압축기의 운용영역을 넓히기 위한 방법으로 가

변 디퓨저의 각도변화에 의한 압축기 시스템의 성능특성 변화와 압축기의 불안정성 발생 및 발달과정을 알아보는 실험도 있었다. 이 실험에서 가변 디퓨저를 장착한 압축기는 적절한 디퓨저 배인의 각도를 조절함으로써 넓은 범위의 작동영역을 확보할 수 있지만 디퓨저 배인 각도에 따라 불안정성의 발생과정이 다르므로 불안정성 발생의 경고나 제어기법 개발에는 이러한 요인들이 고려되어야 된다는 것을 알 수 있었다.⁽²¹⁾

최근에는 성능예측방법에 대한 연구도 수행되고 있다. 복합 채널 디퓨저 성능 예측 방법은 4가지 손실 모델을 이용하는데, 계산에 의해 얻어지는 마찰 손실과 출구 운동 에너지 손실이 있고, 실험적 자료에 의해 얻어지는 발생 손실과 방해 유동 손실이 그것이다. 이렇게 이론적인 결과와 실험 자료를 함께 이용해서 성능을 예측하기 때문에 복합 방식이라고 한다. 이러한 방법으로 예측되어진 값은 설계조건에서나 탈설계 조건에서 측정된 채널 디퓨저의 성능과 잘 맞는 것으로 나타났다.⁽²²⁾

7. 기 타

압축기를 사용하는 에어컨 및 열펌프 시스템에서 압축기에 의한 시스템의 성능향상에 대한 연구 등이 발표되었다.^{(23)~(25)}

열펌프에 관한 연구로는 난방용 온수를 얻을 경우 높은 승온폭으로 인해 압축기 토출가스온도가 상승함으로 이를 막기위하여 압축기에 냉매액을 분사시킴으로서 해수를 열원으로하는 대형열공급시스템의 성능을 향상시키는 연구가 발표되었다.⁽²³⁾

또한, 이와 유사한 연구로서 실내기가 2대인 인버터 열펌프 시스템의 최적성능 및 신뢰성이 확보되는 제어 알고리즘을 개발하기 위하여 압축기 토출온도를 이용하는 연구가 진행되었다.⁽²⁴⁾

그리고 변화하는 공조부하에 대응하여 전력을 절약하기위한 조절전 에어컨은 주요 요소부품인 압축기와 열교환기의 고효율화 뿐 아니라 가변용량형 압축기와 전자식 팽창밸브를 이용한 시스템 용량제어 알고리즘의 개발을 통하여 추진되고 있다.⁽²⁵⁾

8. 결 론

2002년 동안 발표된 압축기 관련 논문에 대하여 살펴보고, 발표된 학술지 이름과 발표자의 소속은

Table 1 Published domestic compressor papers in 2002

	PUBLICATION						AUTHOR		
	JOURNAL			CONFERENCE			University	Company	Institute
	KFMA	SAREK	KSME	KFMA	SAREK	KSME			
Reciprocating				1		2	1	2	
Rotary		1		1	1		31		
Scroll		1			3		4		
Screw			3				1		2
Centrifugal	2	1	2	1	2	1	3		6
etc.					3		1	2	

Table 1에서 보여주고 있다. Table 1에서 보는 바와 같이 본 조사에 사용된 학술지는 유체기계저널, 설비공학논문집, 대한기계학회논문집, 유체기계연구개발발표회논문집, 대한설비공학술발표회, 대한기계학회 학술대회논문집 등 총 6개 학술지이며, 용적형 압축기 13편, 터보 압축기 9편, 시스템 관련 압축기 3편으로 총 25편이 발표되었다. 이는 2001년에 발표된 47편(용적형 22편, 터보형 21편, 시스템관련 4편)의 절반수준으로 2002년에는 압축기 관련 논문 발표가 국내에서는 저조하였으나 이는 2002년에 Purdue에서 국제 압축기 학술대회가 열렸기 때문으로 사료된다. 또한 2002년에는 CO2 관련 논문이 1개 발표되었으나 국외에서의 활발한 연구에 힘입어 올해에는 CO2 압축기에 관한 많은 연구가 발표될 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) 안광협, 이정호, 이인원, 이인섭, 2002, “왕복동식 압축기 성능에 관한 흡입시스템의 영향”, 대한기계학회 춘계학술대회논문집, pp. 1815~1819.
- (2) 안광협, 이정호, 이인원, 이인섭, 2002, “왕복동식 압축기 성능예측”, 대한기계학회 춘계학술대회논문집, pp. 1506~1511.
- (3) 이건호, 2002, “사판의 경사각도 변화에 따른 사판식 압축기의 성능해석”, 유체기계연구개발발표회 논문집, pp. 215~220.
- (4) 김현진, 2002, “로타리 압축기의 가스맥동에 관한 연구”, 설비공학논문집, Vol. 14, No. 8, pp. 648~655.
- (5) 김현진, 안종민, 박신규, 황인수, 2002, “횡형 로타리 압축기 급유해석”, 대한설비공학 하계학술발표회, pp. 643~650.
- (6) 이영제, 오세두, 김종우, 김철우, 최진규, 조성욱, 2002, “여러 미끄럼 조건에 따른 로터리 압축기 베인/롤러 표면의 마찰 마멸 특성”, 유체기계연구개발발표회 논문집, pp. 221~226.
- (7) 이태진, 이건호, 2002, “스크롤 압축기의 자전방지 기구들에 따른 동적거동 해석”, 대한설비공학 하계학술발표회, pp. 269~276.
- (8) Hyun Jin Kim, 2002, “On the Stability of the Axially Compliant Fixed Scroll Member in Scroll Compressors”, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 10, No. 1, pp. 40~49.
- (9) 김현진, 안기정, 박익서, 김철우, 2002, “CO2 스크롤 압축기 성능해석”, 대한설비공학 하계학술발표회, pp. 624~629.
- (10) 이윤수, 전용호, 김대훈, 장근선, 윤백, 문계명, 홍부태, 오명도, 2002, “디지털 스크롤 압축기를 이용한 시스템 에어컨의 냉난방 특성에 대한 실험적 연구”, 대한설비공학 하계학술발표회, pp. 575~580.
- (11) 박상현, 장영수, 김영일, 김용찬, 남임우, 2002, “R22와 R407C를 적용한 스크루 압축기의 이코노마이저 성능 시뮬레이션”, 대한기계학회논문집 B권, Vol. 26, No. 3, pp. 465~473.
- (12) 박동규, 이관수, 2002, “스크루 공기압축기의 성능해석”, 대한기계학회논문집 B권, Vol. 26, No. 2, pp. 184~193.
- (13) 김연수, 최부희, 박재민, 최상훈, 2002, “권선각 변화에 따른 스크루 압축기의 대칭형 로터용 가공 시뮬레이션 프로그램”, 대한기계학회논문집 A권, Vol. 26, No. 6, pp. 1026~1034.
- (14) 강정식, 강신형, 2002, “원심압축기의 베인없는 디퓨저에서의 스톨 발단”, 대한기계학회 춘계학술대

- 회논문집, pp. 1486~1493.
- (15) 이두열, 강창식, 신유환, 김광호, 2002, “원심압축기 베인 디퓨저에서의 선회실속 특성”, 유체기계저널, Vol. 5, No. 1, pp. 42~48.
- (16) 신유환, 김광호, 이두열, 2002, “모터 구동 고속 원심압축기의 성능과 공역학적 불안정성에 대한 실험적 연구”, 대한설비공학 하계학술발표회, pp. 618~623.
- (17) 김동원, 김윤제, 2002, “케이싱 형상 변화가 소형 터보압축기 성능에 미치는 영향”, 설비공학논문집, Vol. 14, No. 12, pp. 1031~1038.
- (18) 음학진, 강신형, 2002, “익단간극이 원심압축기 성능에 미치는 영향에 관한 수치해석적 연구”, 대한설비공학 하계학술발표회, pp. 636~642.
- (19) 차봉준, 박종호, 2002, “입구 안내익 영향으로 인한 원심 압축기 성능특성 시험연구”, 유체기계저널, Vol. 5, No. 3, pp. 46~53.
- (20) 신정관, 김경훈, 2002, “대체냉매용 원심압축기의 설계 및 성능시험”, 유체기계연구개발발표회 논문집, pp. 250~257.
- (21) 차봉준, 임병준, 양수석, 2002, “가변 디퓨저를 장착한 원심 압축기 불안정성 연구”, 대한기계학회 논문집 B권, Vol. 26, No. 8, pp. 1123~1131.
- (22) 강정식, 조성국, 강신형, 2002, “Development of a Performance Prediction Method for Centrifugal Compressor Channel Diffusers”, KSME International Journal, Vol. 16, No. 8, pp. 1144~1153.
- (23) 김선식, 방광현, 2002, “열펌프 압축기 액분사 효과에 대한 실험적 연구”, 대한설비공학 하계학술발표회, pp. 606~611.
- (24) 정규하, 최학동, 김만희, 오상경, 2002, “멀티형 인버터 열펌프의 압축기 토출온도를 이용한 최적제어”, 대한설비공학 하계학술발표회, pp. 1241~1246.
- (25) 임병국, 김성기, 김용진, 성기준, 남임우, 2002, “용량가변형 압축기를 사용한 초절전형 에어컨의 설계”, 대한설비공학 동계학술발표회, pp. 101~106.