

가스·스팀터빈 분야 연구동향

김 재 환*

1. 서 언

생활수준의 향상과 더불어 최종 에너지 소비형태로서 전기사용의 비중이 급증함에 따라, 새로운 형태의 발전 시스템 개발뿐만 아니라 기존 발전 시스템의 고성능화 및 친환경화는 매우 중요한 이슈가 되고 있다. 한편, 전력수급의 많은 부분을 원자력 및 화력발전에 의존하고 있는 우리나라는 점차 증가하는 전력 수요를 가스터빈을 이용한 복합발전이나 열병합 발전이 담당해 가고 있는 추세를 볼 때 가스 및 스팀터빈 관련 산업발달과 이 분야의 지속적인 연구개발은 매우 중요하다. 최근에는 분산발전에 대한 관심이 고조되면서 이에 적합한 동력원으로 고려되고 있는 마이크로터빈 및 이의 응용시스템에 대한 연구개발이 선진국에서 뿐만 아닌 국내에서도 활발히 수행되고 있다. 마이크로터빈은 중대형 가스터빈에 비해 개발기간이 짧고 비용 규모가 작아 세계시장에서도 경쟁력 있는 상품이 될 수 있으며, 터보기기 공력설계, 공기 베어링, 내열코팅 등의 관련 핵심기술들은 항공기의 보조동력장치 및 ECS 등의 개발에 직접적으로 적용되기 때문에 기술 파급 효과가 매우 크다. 한편 2004년도 하반기에 ‘소형 열병합 발전용 가스터빈 개발사업’이 국가과학기술 위원회에서 9개의 대형국가연구개발 실용화 사업과제 중 하나로 선정되었으며 실용화 타당성이 검증될 경우 2006년도에 사업이 시작될 전망이다. 이 같은 움직임 통해 볼 때, 가스 및 스팀터빈 분야에서의 향후 정부 및 기업의 적극적 개발지원 및 연구의 활성화가 기대된다.

본 연감에서는 2004년도 가스/스팀 터빈 분야의 주요 연구동향을 유관학회의 논문집 및 학술대회에 발표된 논문을 중심으로 살펴본다. 연구동향 분석에 필요한 자료는 유체기계저널, 대한기계학회논문집B, 설

비공학논문집에 게재된 가스/스팀 터빈 관련 논문과, 대한기계학회, 대한설비공학회 및 유체기계공업학회의 학술대회에서 발표된 논문을 토대로 작성하였다. 가스 터빈의 구성부 중 압축기와 웬은 타 분야 연구동향에서 다루기 때문에 여기서는 생략하였고, 본 학회 연구 분야의 특성상 연소기 관련 분야는 다루지 않았다.

2. 유동장 해석

가스/스팀터빈의 유동장 해석과 관련된 연구는 크게 터빈내부(허브와 케이싱 및 3차원 익형으로 형성된 환형 통로내부) 유동과 터빈 익 내부유동에 관련된 연구들로 나누었다. 터빈내부 유동은 벽면 및 익 표면에서 발생하는 점성 경계층, 2차 유동의 발생, 익의 회전에 의한 원심력 및 전향력, 회전의 말단 틈새에서의 누설유동과 이들의 상호 작용으로 복잡한 유동을 이루고 있다. 이러한 복잡한 구조의 유동은 터빈의 성능저하 및 진동과 소음의 원인이 되기 때문에 그 특성의 규명은 매우 중요하다. 한편, 터빈 익 내부유로의 유동현상 규명을 위한 모사시험 및 유사유로 해석 등도 유로설계 및 열전달 현상규명에 중요한 역할을 한다. 터빈의 유동해석 부분은 2003년보다 2편 증가한 9편이 발표되었으며, 터빈 익 주변 유동에 대한 실험 및 해석적 연구, 덕트 내의 유동해석 등이 대부분 이었다.

내부유로 유동해석에 관련되어 임의의 중형비를 갖는 사각 단면 관 내부에서 기 검증된 무차원 변수에 대해 층류 유동 유사성이 존재하는지를 수치해석을 통해 분석한 연구와 180° 곡덕트 내에서의 난류유동을 수치적 방법과 열선 유속계를 이용한 실험적 방법을 통해 규명한 연구가 발표되었다^{(1)~(3)}. 터빈 익 내부 유동 해석은 유사유로에 대한 시험이나 수치해석을 통해 많이 수행되고 있기 때문에 실제 유로형상에 대한 연구도 좋은 연구주제가 될 것으로 생각된다.

* 자료제공 한국항공우주연구원 항공사업기획그룹
E-mail : kjaehwan@kari.re.kr

터빈내부의 국소 유동장 해석과 관련하여 곡면 끝벽을 갖는 터빈 노즐 안내깃 설치를 통한 이차유동 및 전압손실 감소를 캐스케이드내 3차원 유동장을 실험을 통해 규명한 연구와 끝틈새가 선회각이 큰 터빈 동익 익렬 휴류영역에서의 3차원 유동 및 압력손실에 미치는 영향에 관한 연구가 수행되었다^{(4),(5)}.

한편 국내 소형위성발사체 (KSLV-I) 사업이 시작되면서부터 터보펌프에 대한 연구가 본격화 되고, 이에 따라 펌프를 구동하는 부분흡입 방식의 초음속 터빈의 유동특성을 해석한 연구들이 다수 발표되었다. 초음속 터빈 익렬 주변의 유동특성을 소형 초음속 풍동에서의 가시화 실험을 통해 규명하고 같은 조건에서 수치해석을 수행하여 실험과의 비교 및 정성적 특성들을 제시하였다^{(6),(7)}. 앞의 연구가 터빈 익렬에서의 유동특성 해석이라면 실제 설계된 터빈내의 유동현상을 프로즌 로터 기법을 이용한 3차원 수치해석을 통해 설명한 연구도 수행 되었다⁽⁸⁾. 앞서 언급한 터빈의 응용분야와는 달리 고압공기로 구동되는 소형공구의 구동부로 최근 부분 흡입형 터빈이 고려되고 있다. 이에 따라, 소형 축류형 터빈에서의 부분분사 유동특성에 관한 연구도 수행되었다⁽⁹⁾.

3. 열전달 해석

열전달 해석 부분은 터빈 익 냉각기술과 직접적 관련은 없지만 터빈 익 주변, 허브, 케이싱 등에서의 열전달 및 열 해석에 관련된 연구들을 분류하였다. 2004년에는 매년 꾸준히 발표되었던 터빈 익단 주변의 열전달 현상에 관한 연구뿐만 아닌 터빈 익 표면에서의 열전달 특성을 규명하는 연구도 수행되었다. 터빈 익 표면에서의 열전달 현상과 관련하여 2편의 논문이 발표되었는데 익단을 포함한 터빈 동익 표면 전체에 대해 자유유동 난류강도가 열 및 물질전달에 미치는 영향을 실험적으로 분석한 연구와 터빈 동익의 열전달 특성에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 인자 중에서 베인과 터빈 동익의 상대 위치 변화로 인해 발생하는 유입 유동 조건 변화가 동익 표면의 열전달에 미치는 영향에 대하여 고찰한 연구들이다^{(10),(11)}.

익단 주변의 열전달 특성에 관련으로는 나프탈렌 승화법을 이용하여 회전각이 큰 터빈 동익의 익단 누설 영역에서의 열 및 물질전달 특성을 설계 및 탈설계 운전영역에서 실험적으로 측정할 열부하 해석과 연소기 출구의 난류강도가 익단 누설 영역의 열전달에 미

치는 영향을 분석한 연구들이 수행되었다^{(12),(14)}. 이 같은 실험 결과들은 공개된 실험 결과가 많지 않은 터빈 익단과 그 주변에서의 열전달 계수 분포를 제공하여 터빈 익단 주변 영역에서의 열전달 현상의 이해를 돕고, 추후 전산 해석의 기본 데이터로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

4. 터빈 익 냉각

높은 터빈입구온도확보를 위한 터빈 익 냉각에 관한 연구는 크게 익 내부에서의 냉각공기 흐름에 의한 대류냉각, 정체 점에서의 강한 열 및 물질전달을 이용한 충돌제트 냉각, 익 내부에서 표면으로 냉각공기를 분사한 후 막을 형성하여 익을 보호하는 막냉각 등에 대한 것이 대부분이며 본 연감에서도 냉각방식에 따라 2004년도에 발표된 논문을 분류 및 분석하였다.

4.1 내부관 냉각

2004년에는 내부관 냉각과 관련되어 전년과 유사한 연구결과 들이 발표되었으며 터빈 익 내부를 모사한 관내에서의 열 및 물질전달 특성을 실험 및 수치해석을 통해 해석한 연구들이 대부분 이었다. 실제와 유사한 조건 하에서 냉각특성을 살펴보기 위해 요철이 있는 회전하는 채널 내에서 요철의 유무, 덕트의 종횡비, 회전수 등이 열 및 물질전달에 미치는 영향에 대한 실험적 연구가 수행 되었다^{(15),(16)}. 실제 터빈 익에서는 내부관 냉각과 막냉각이 동시에 일어나기 때문에 이에 대한 복합적인 열전달 특성을 이해할 필요가 있다. 이를 위해 유출홀이 설치된 정사각 유로에서 회전수 변화에 따른 국소 열 및 물질전달 특성을 파악하는 연구가 수행되어 내부유로 설계에 필요한 자료를 제공하였다⁽¹⁷⁾.

한편 작년과 유사하게 내부유로의 최적설계에 관련된 논문이 2004년도에도 다수 발표되었는데, 이 연구에서는 부착된 리브 나 딴플의 형상변수에 대해 이차원 열 및 유동해석과 수치최적화기법으로 구배법에 비해 최근 그 장점들이 부각되고 있는 반응면기법(Response surface method)을 결합하여 최적설계를 수행하였다^{(18),(20)}. 목적함수는 열전달 계수와 마찰계수의 선형 결합으로 구성하였고, 설계자의 의도를 반영하기 위한 가중계수를 도입하였다.

또한 여러 형상의 요철이 있는 채널 내의 열전달

현상을 수치해석을 통해 규명한 연구도 수행되었는데, 이 연구에서 수치해석 방법으로 큰 에디 모사(LES) 모델이 적용되었으며 시간평균 유동장과 온도장을 실험과의 비교를 통해 수치해석 결과를 검증하고 난류모델에 중요한 자료이면서 열전달에도 깊이 관련되어 있는 난류 운동에너지를 제시 하였다⁽²¹⁾.

4.2 총돌제트 냉각

전년 3편에 그친 총돌제트 냉각 관련 논문이 2004년에는 7편이 발표되었다. 총돌제트의 열전달 향상 및 제어와 관련하여 자기장이 인가된 영역에서 총류 총돌제트의 열전달 특성을 수치적으로 해석한 연구, 노즐 출구에 비틀림 테이프를 설치하여 원형 선회류 제트를 발생시키고 이를 통한 열전달 향상을 실험적으로 검증한 연구, 총돌면에서의 열전달 향상을 위해 노즐 출구에 다중관을 삽입하여 출구에서의 유동을 변화시킴으로써 이에 따른 총돌면에서의 열전달 특성을 고찰한 연구 등이 수행되었다^{(22)~(24)}.

총돌냉각과 막냉각의 두 가지 효과를 갖는 총돌제트/유출냉각 기법에서 횡방향 유동이 열/물질전달에 미치는 영향에 관한 연구를 통해 횡방향 유동이 낮은 열전달 영역을 형성시킴을 보였다⁽²⁵⁾. 이 결과를 토대로 보다 균일하며 구조적으로 안정된 냉각성능을 얻기 위해 횡방향 유동이 있는 총돌제트/유출냉각 기법에서 사각관을 설치하는 경우에 대해 실험적인 연구가 수행되었다⁽²⁶⁾. 한편, 위에서 언급한 단일총돌제트의 경우보다 넓은 영역에서 균일한 열전달 효과를 얻을 수 있는 배열총돌제트의 열전달 특성을 실험을 통해 고찰한 연구들도 수행되었다^{(27),(28)}.

4.3 막냉각

전년과 마찬가지로 막냉각 분야는 2004년도에도 단 2편만이 발표되었으며 이중 한편은 전년도 학술대회를 통해 발표된 논문이 게재된 것이다⁽²⁹⁾. 2003년 이후의 논문발표 편수를 볼 때 막냉각 분야의 연구가 예전에 비해 수치적으로 줄고 있음을 알 수 있다. 한편 이전까지의 막냉각 홀 형상이 원형인 연구가 대부분이었던 것에 착안하여 막냉각홀 형상이 사각형상인 홀에 대한 열전달 특성을 수치해석과 실험을 통해 분석한 연구가 수행되었다⁽³⁰⁾.

5. 가스터빈 개발 및 성능평가

가스터빈 및 관련 응용시스템의 개발 및 성능평가에 관련된 연구는 2004년도에 수치적으로도 매우 증가했을 뿐만 아니라 주제의 다양성 측면에서도 주목할 만한 성과를 보였다. 이 분야의 연구는 최근 꾸준히 주목받고 있는 마이크로터빈과 이를 응용한 하이브리드 시스템 및 터빈 관련 성능시험 등으로 분류할 수 있다.

먼저 마이크로터빈과 관련된 연구로 마이크로터빈의 다양한 설계방법과 운전방법에 따른 부분부하성능 변화 및 운전특성을 비교분석한 탈설계 성능해석 관련 연구와 상용화된 마이크로터빈의 실제운전을 통해 성능해석에 필요한 엔진 내부 중요 파라미터들을 도출하고 부분부하 운전특성을 파악한 연구가 수행되었다^{(31)~(33)}. 한편 이 같은 마이크로터빈의 국내 설치사례 및 향후 응용분야 및 전망에 대한 소개도 발표되었다⁽³⁴⁾.

마이크로터빈과 고온형 연료전지를 결합한 하이브리드 시스템 관련 연구는 가장 활발히 진행되었다. 먼저 고체산화물 연료전지와 마이크로터빈의 하이브리드 시스템과 관련하여 설계성능 해석에 필요한 수학적 모델링, 설계변수 해석, 성능특성 해석 등의 연구가 수행되었다^{(35)~(39)}. 특히 시스템 모델링 관련 연구에서는 연료전지를 유동방향의 여러 검사체적으로 나눠 좀더 정확한 연료전지 운전특성을 모사할 수 있게끔 기존의 모델을 향상시켰다. 또 하나의 고온형 연료전지인 용융탄산염 연료전지와와의 하이브리드 시스템에 대한 해석 모델을 HYSYS 프로그램을 기본으로 구성하고 이를 이용해 설계변수 해석을 수행하였다^{(40),(41)}. 한편 위에 언급한 시스템과는 조금 다른 원리로 PEMFC와 하이브리드화 될 10 kW급 마이크로터빈 개발에 관한 연구도 수행되었다⁽⁴²⁾.

터빈의 시험평가와 관련하여 1단 축류터빈의 성능평가를 위해 측정된 변수들의 불확실성이 성능지수에 미치는 영향을 서술하고 시험계획 및 측정 장치 준비를 언급한 연구, 부분흡입형 초음속 터빈에 대한 성능평가에 관한 연구 및 현재 서 인천 화력발전소에서 운전되고 있는 GE 7F엔진에 대한 성능개선 결과를 제시한 연구들이 발표되었다^{(43)~(45)}. 한편 새로운 형태의 발전시스템으로 스크롤 팽창기를 이용한 발전 시스템 개발에 관한 연구도 소개 되었다⁽⁴⁶⁾.

6. 스팀터빈 및 복합발전

스팀터빈 및 복합발전에 관련된 논문편수는 전년과 비슷한 수준인 8편이었으나, 전년에 수행된 연구가 복합발전 및 화력발전 관련 성능해석 연구가 주를 이룬 반면, 2004년에는 스팀 터빈 익을 포함한 구성부의 시험, 성능해석 및 설계에 관련된 연구들이 다양하게 수행되었다.

복합발전 시스템의 성능해석과 관련하여 가스터빈 복합 열병합 발전 시스템의 연료 소모량을 최소화 하는 최적 운전 조건들을 해석적으로 분석한 결과와 마이크로터빈과 유기매체 램킨 사이클을 결합한 복합 시스템의 설계 성능해석에 관련된 연구가 발표되었다^{(47),(48)}. 마이크로터빈의 경우 재생 사이클인 경우가 많기 때문에 상대적으로 시스템 배기온도가 낮다. 따라서 복합 사이클을 구성할 경우 하부 사이클의 작동 유체는 물 보다 작동온도가 낮은 유기매체, 특히 냉매가 유망하다.

최근 증기터빈의 효율을 향상시키기 위해 증기조건 개선에 관심이 증가하게 되었고, 일본 및 유럽의 경우 발전설비 제작사와 정부의 주도하에 연구개발을 통하여 증기조건은 점진적으로 고온, 고압화 되고 있다. 이러한 추세에 따라 스팀터빈의 성능향상 및 성능평가에 관련된 연구는 매우 중요하다. 전년에 발표된 스팀터빈의 성능평가 관련 연구는 2004년 게재되었으며 터빈 익 및 저압 Exhaust hood 등의 최적설계를 위한 수치해석 연구가 수행되었다⁽⁴⁹⁾⁻⁽⁵¹⁾.

이 밖에도 원자력 발전소내의 데이터 취득 시스템으로 얻어진 운전 자료를 바탕으로 열소비율의 신뢰도를 분석한 연구, 증기터빈에 가변패킹을 도입하여 터빈성능 향상을 실험을 통해 검증한 연구 및 증기터빈 운전중 축 거동을 고려한 내부단 패킹실의 틈새 관리에 관한 연구가 증기터빈과 관련되어 수행되었다⁽⁵²⁾⁻⁽⁵⁴⁾.

7. 결론

2004년 가스/스팀터빈 분야의 연구는 양적으로 전년에 비해 많이 증가되었으며 연구의 다양성 측면에서도 성과가 있었다고 평가된다. 이러한 현상이 위의 연구 분야 중 어느 한 곳에 편중되어 있지 않다는 것은 가스/스팀터빈 관련 연구가 바람직한 방향으로 진행되고 있음을 나타낸다. 또한 2004년도 24편의 게재건

수도 전년의 10편 게재 및 적은 발표수에 비하면 매우 성공적이라고 할 수 있다. 특히 올해는 유체기계저널의 가스/스팀 터빈분야 논문투고가 비약적으로 증가되어 유체기계공업학회에서의 가스/스팀터빈 연구분야의 기여도 및 위상이 점점 높아지고 있음을 알 수 있다.

유동장 및 열전달 해석에 관한 연구는 예년과 비슷한 경향을 보였고, 다만 부분흡입 형 터빈의 유동장 해석 및 실험에 관한 다수의 연구가 새롭게 대두된 것이 특징적이라고 할 수 있다. 전체적으로는 실험 및 해석이 실제상황을 모사하는 환경에서 수행되는 경향을 볼 수 있었다. 가스터빈 엔진에 관련된 연구는 주로 개발 쪽 보다는 운전 및 성능평가에 관한 연구들이 수행되었으나, 현재 국내에서 수행되고 있는 마이크로터빈 개발관련 국책과제나 소형 열병합 발전용 가스터빈 사업 가능성 등을 고려할 때 엔진개발 관련 연구가 활발히 진행될 것으로 기대된다. 스팀터빈에 관한 연구도 매년 조금씩 증가하고 있으며, 전년과 마찬가지로 출연기관 및 산업체를 중심으로 성능시험 및 평가에 관련된 연구가 다수 발표되어 이 분야의 지속적인 연구가 수행되고 있음을 알 수 있었다. 2004년은 연구 동향 분석 결과 매우 활발한 연구 활동이 있었다고 판단되며, 향후 이런 추세가 계속되기를 기대해 본다.

참고문헌

유동장 해석

- (1) 이공희, 백제현, 2004, “사각 단면 관 내부의 발달하는 층류 유동 유사성에 중첩비가 미치는 영향,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 4, pp. 441~448.
- (2) 김원갑, 김철수, 최영돈, 2004, “단면의 폭이 증가하는 180° 곡덕트 내 난류유동의 수치해석적 연구,” 설비공학논문집, Vol. 16, No. 9, pp. 804~810.
- (3) 김원갑, 한성호, 최영돈, 2004, “열선유속계를 이용한 단면수축 180도 곡덕트내에서의 난류에 관한 실험적 연구,” 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp. 69~74.
- (4) 윤원남, 정진택, 2004, “곡면 끝벽을 갖는 터빈 노즐 안내기 캐스케이드내 3차원 유동장에 관한 실험적 연구,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04S329.

- (5) 권현구, 박진재, 이상우, 2004, “끝틈새가 선 회각이 큰 터빈 동익 익렬 후류영역에서의 3차 원유동 및 압력손실에 미치는 영향,” 유체기계 저널, Vol. 7, No. 5, pp. 36~42.
- (6) 조종재, 정수인, 김귀순, 박창규, 2004, “초음속 터빈 익렬의 유동특성에 대한 실험적 연구,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04S287.
- (7) 신봉근, 조종재, 정수인, 김귀순, 이은석, 2004, “부분입사형 초음속 터빈 익렬내 유동특성에 관한 수치적 연구,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04S288.
- (8) 노준구, 정은환, 이은석, 김진한, 2004, “프로즌 로터 기법을 이용한 부분흡입형 터빈 수치해석,” 유체기계저널, Vol. 7, No. 6, pp. 15~20.
- (9) 조중현, 조수용, 최상규, 2004, “소형축류형 터빈에서의 부분분사 유동특성에 관한 연구,” 유체기계저널, Vol. 7, No. 6, pp. 28~37.

열전달 해석

- (10) 이상우, 박진재, 권현구, 박병규, 2004, “자유유동 난류강도가 터빈 동익 표면에서의 열(물질) 전달 특성에 미치는 영향,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04S237.
- (11) 이동호, 조형희, 2004, “베인과 블레이드 사이의 상대위치 변화에 따른 터빈 블레이드 표면에서의 열/물질전달 특성,” 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 140~150.
- (12) 이상우, 권현구, 2004, “회전각이 큰 터빈 동익 누설유동 영역에서의 열(물질) 전달 특성,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 5, pp. 535~544.
- (13) 이상우, 박진재, 2004, “탈설계점에서의 선형 터빈 익렬 끝벽 열(물질) 전달 특성,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04F190.
- (14) Sang Woo Lee, Sang Bae Jun, Byung-Kyu Park and Joon Sik Lee, 2004, “Effect of Combustor-Level High Inlet Turbulence on the Endwall Flow and Heat/Mass Transfer of a High-Turning Rotor Cascade,” KSME International Journal, Vol. 18, No. 8, pp. 1435~1450.

내부관 냉각

- (15) 김경민, 김상인, 김윤영, 이동호, 조형희, 2004, “이차 냉각 유로를 가진 회전덕트에서 열/물질전달 특성 (I),” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 8, pp. 910~920.
- (16) 김경민, 김윤영, 이동호, 조형희, 2004, “이차 냉각 유로를 가진 회전덕트에서 열/물질전달 특성 (II),” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 8, pp. 921~928.
- (17) 김상인, 김경민, 이동호, 이동호, 조형희, 2004, “유출홀이 설치된 회전하는 정사각 유로에서의 열/물질전달 특성,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04F192.
- (18) 김홍민, 김광용, 2004, “반응면 기법을 이용한 경사진 리브가 부착된 삼차원 열전달유로의 최적설계,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 7, pp. 879~886.
- (19) 김홍민, 김광용, 2004, “경사진 사각리브가 부착된 열전달면의 수치최적화기법을 이용한 형상설계,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 9, pp. 1051~1057.
- (20) 최지용, 김광용, 2004, “열전달 증진을 위한 덤플형상의 최적설계,” 유체기계연구개발발표회 논문집, pp. 285~288.
- (21) 안준, 최해천, 이준식, 2004, “사각 또는 반원형상의 요철이 설치된 채널 내부의 유동 및 열전달 큰 에디모사,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04S236.

충돌제트 냉각

- (22) 이현구, 하만영, 윤현식, 전호환, 2004, “자기장이 인가된 영역에서의 층류 충돌제트의 열전달특성 변화에 대한 수치적 연구,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04S238.
- (23) 장종철, 전영우, 박사우, 정인기, 2004, “원형 선회류제트 충돌면에서의 유동 및 열전달 특성,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 1, pp. 118~125.
- (24) 황상동, 조형희, 2004, “노즐출구에 삽입된 다중관에 의한 충돌제트의 유동 및 열전달 특성,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 2, pp.

135~145.

(25) 이동호, 남용우, 조형희, 2004, “초기 횡방향 유동이 존재하는 충돌제트/유출냉각에서 요철이 설치된 유출면에서의 열/물질전달 특성,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 3, pp. 338~348.

(26) 홍성국, 이동호, 조형희, 2004, “가스터빈 연소실 냉각을 위한 충돌제트/유출냉각기법에서 사각핀 설치에 따른 열/물질전달 특성,” 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 289~296.

(27) 이원희, 황상동, 조형희, 2004, “채널유동성분이 존재하는 오복 충돌면에서 배열충돌제트에 의한 국소 열전달 특성 고찰,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 04F191.

(28) 박재현, 서용권, 김동균, 김시범, 2004, “충돌제트 노즐의 배열방법에 따른 열전달 특성에 관한 연구,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 04F256.

막냉각

(29) 김영봉, 이동호, 이윤석, 조형희, 2004, “엇갈린 배열의 사각홀이 막냉각에 미치는 영향,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 3, pp. 304~314.

(30) 홍성국, 이동호, 강승구, 조형희, 2004, “수직 분사각도를 갖는 직사각 막냉각홀 내부에서의 유동 및 열/물질전달 특성,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 4, pp. 456~466.

가스터빈 개발 및 성능평가

(31) 김동섭, 황성훈, 2004, “마이크로 가스터빈의 탈설계 운전 성능특성,” 유체기계저널, Vol. 7, No. 3, pp. 39~47.

(32) 이종준, 김동섭, 2004, “마이크로 가스터빈 발전시스템의 운전성능 분석,” 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 132~139.

(33) 손화승, 최경식, 김형식, 한정옥, 2004, “27kW 마이크로가스터빈의 성능 및 배출물 특성에 관한 연구,” 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 993~998.

(34) 길준석, 2004, “마이크로터빈 국내 적용 검

토,” 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 240~245.

(35) T. W. Song, J. L. Sohn, J. H. Kim, T. S. Kim, S. T. Ro and K. Suzuki, 2004, “Modeling for the Performance Analysis of a Tubular SOFC/MGT Hybrid Power System,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04S345.

(36) 양원준, 김동섭, 김재환, 2004, “가스터빈-가압형 SOFC 하이브리드 시스템의 성능특성 해석,” 설비공학논문집, Vol. 16, No. 7, pp. 615~622.

(37) 양원준, 김동섭, 김재환, 2004, “셀 입구 예열 방법에 따른 고체산화물 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템의 성능해석,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 04F288.

(38) 양원준, 김동섭, 김재환, 2004, “제한 요소를 고려한 가스터빈-가압형 SOFC 하이브리드 시스템의 성능특성 해석,” 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 980~986.

(39) 양원준, 김동섭, 김재환, 2004, “제한요소를 고려한 가스터빈-가압형 SOFC 하이브리드 시스템의 성능특성 해석,” 설비공학논문집, Vol. 16, No. 11, pp. 1013~1020.

(40) 오경석, 김동섭, 2004, “상압형 MCFC/가스터빈 하이브리드 시스템의 구성 방법에 따른 설계 성능 분석,” 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 987~992.

(41) 오경석, 김동섭, 2004, “상압형 MCFC/가스터빈 하이브리드 시스템의 구성방법에 따른 설계 성능 분석,” 설비공학논문집, Vol. 16, No. 11, pp. 1021~1027.

(42) 전승배, 2004, “Turbo Air Supply and Power Generation System for Fuel Cell,” 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 232~239.

(43) Soo-Yong Cho and Chanwoo Park, 2004, “A Study on the Propagation of Measurement Uncertainties into the Result on a Turbine Performance Test,” KSME International Journal, Vol. 18, No. 4, pp. 689~698.

(44) 정은환, 이은석, 김진한, 2004, “초음속 충동

형 터빈에 대한 시험적 연구,” 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 125~131.

- (45) 정재모, 심재용, 박정규, 2004, “GE 7F 가스 터빈의 성능개선 결과 분석,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04S352.
- (46) 김영민, 신동길, 이장희, 2004, “가열구조를 갖는 스크롤 팽창기와 이를 이용한 분산발전 시스템,” 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 225~231.

스팀터빈 및 복합발전

- (47) 조영빈, 손정락, 노승탁, 2004, “가스터빈 복합 열병합 발전의 최적 운전조건에 관한 연구,” 대한기계학회논문집B, Vol. 28, No. 12, pp. 1582~1590.
- (48) 이준희, 김동섭, 2004, “마이크로 가스터빈과 유기매체 램킨사이클을 결합한 복합시스템의 설계 성능해석,” 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp. 133~140.
- (49) 임병준, 이은석, 양수석, 이익형, 김영상, 권기

범, 2004, “스팀터빈의 공력성능 평가를 위한 공기 상사실험,” 유체기계저널, Vol. 7, Vol. 5, pp. 29~35.

- (50) 정경남, 김양익, 성주현, 정인호, 2004, “증기 터빈 날개의 성능해석에 대한 연구,” 유체기계연구개발발표회 논문집, pp. 119~124.
- (51) 이병은, 김진환, 박구하, 나운학, 이수언, 2004, “USC 증기터빈용 LP Exhaust Hood 유동특성,” 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 297~302.
- (52) 최기상, 김성근, 최광희, 2004, “터빈 사이클 열소비율 정확도 추정 모델,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04F298.
- (53) 권영수, 서정세, 2004, “증기터빈의 가변패킹 형태에 따른 터빈성능 평가에 관한 연구,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04F290.
- (54) 백민석, 이시연, 양보석, 최성철, 이재근, 2004, “증기터빈 운전중 축 거동을 고려한 내부단 패킹설의 틈새 관리,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 04F297.