

가스 · 스팀터빈 분야 연구동향

김재환*

1. 서 론

전 세계의 선진 산업화 및 정보 사회화로 인해 전기형태의 에너지 소비가 급속하게 늘고 있는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러나 화석연료를 이용한 전기생산은 온실가스 등의 환경문제를 안고 있으며, 기존 형태의 발전 방식을 고수하는 한 인류가 반드시 해결하고 넘어가야 할 숙제이다. 따라서 기존 발전 시스템의 고성능화 및 친환경화 뿐만 아니라 새로운 형태의 발전 시스템 개발은 매우 중요한 이슈가 되고 있다. 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.

한편, 1940년대를 전후로 가스터빈이 항공기 엔진으로 적용되면서 이와 관련된 기술이 급속한 발전 하였으며, 현재까지도 몇 개의 선진국만이 핵심기술을 독점하고 있다. 가스터빈 관련 기술은 항공우주 분야의 핵심기술 중 하나라는 것은 주지의 사실이며, 설계, 제작, 시험과 관련된 파생기술 들은 타 산업의 파급효과 매우 크기 때문에 국내에서도 관련분야 연구가 활발히 진행되고 있다.

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 개발비 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 기술파급 효과가 매우 크다.

현재 국내에서는 5MW급 소형열병합발전용 가스터빈 개발사업의 본격적 진행 및 2006년도부터 착수된 한국형헬기개발사업 등에 힘입어 가스터빈엔진, 보조동력장치(마이크로터빈)의 개발과 관련된 산·학·연 공동연구가 활발히 진행되고 있

다. 이 같은 움직임은 그 동안 시장성 및 독자모델 개발 당위성을 이유로 주춤했던 중대형 발전용 가스터빈 및 항공용 가스터빈 관련 연구의 활성화를 가져 왔으며, 마침내 2009년 초반에는 대형 가스터빈 개발 기획 사업이 착수되어 현재 타당성을 검토 중에 있다.

본 연감에서는 2009년도 가스/스팀 터빈 분야의 주요 연구동향을 유관학회의 논문집 및 학술대회에 발표된 논문을 중심으로 살펴본다. 연구동향 분석에 필요한 자료는 유체기계저널, 대한기계학회논문집B, 설비공학논문집에 게재된 가스/스팀 터빈 관련 논문과, 대한기계학회, 대한설비공학회, 유체기계공업학회의 학술대회에서 발표된 논문을 토대로 작성하였다. 가스터빈의 구성부 중 압축기와 팬은 타 분야 연구동향에서 다루기 때문에 여기서는 생략하였고, 본 학회 연구 분야의 특성상 연소기 관련 분야는 다루지 않았다.

2. 유동장 해석

터빈내부(허브와 케이싱 및 3차원 익형으로 형성된 환형 통로내부) 유동은 벽면 및 익 주변에서 발생하는 점성 경계층, 2차 유동의 발생, 익의 회전에 의한 원심력 및 전향력, 회전익 말단 틈새에서의 누설유동과 이들의 상호 작용으로 복잡한 특성을 보인다. 또한 터빈 익 내부에도 열전달 향상(터빈 익 냉각)을 위해 설치된 다양한 요철들의 영향으로 복잡한 유동이 존재한다. 2009년도에는 터빈 내 유동과 관련하여 6건의 연구가 수행되었다.

윤덕규 등⁽¹⁾은 1단 축류 가스터빈 내 동익의 허브면에 경계층 팬스를 설치하여 공력손실에 미치는 영향을 수치해석 하였다. 김대현 등⁽²⁾은 터빈 동익의 선단부의 형상이 공력특성에 미치는 영향에 대해 비정상 해석을 통해 검토하였으며, 기준형상을 포함한 4가지 경우 중 가장 공력성능이 우수한 형상을 제시 하였다. 블레이드 팁 형상이 터빈 캐스케이드 전압 손실에 미치는 영향에 대한 연구⁽³⁾도 수행되었는데, 흡입면 스칼러 팁의 경우가 가장 낮은 질량평균 전압손실 계수를 나타내었고, 압력면과 흡입면 모두에 램을 설치한 경우는 평면팁에 비해 높

* 한국항공우주연구원 회전익기사업단 항공엔진팀
E-mail : kjaehwan@kari.re.kr

은 질량평균 전압 손실을 나타내었다. 이은석과 정용현⁽⁴⁾은 병렬 유전알고리즘 및 3차원 터빈계산 최적화 기법을 이용하여 터빈 공력 형상설계에 관한 수치연구를 수행하였다.

한편, 라비린스 실의 형상(straight and stepped)에 따른 누설유동 특성을 수치해석을 통해 규명하고 이를 시험 값과 비교한 연구가 수행⁽⁵⁾되었는데 이는 엔진 제작사들이 공개를 꺼려하는 터빈 내부 이차유로 설계기준 확립에 도움이 될 것으로 판단된다. 시험을 통한 보다 정확한 유동장 해석을 위해 5공과 7공 프로브를 이용한 터빈 캐스케이드 내의 이차유동 측정 결과를 비교하여 각 측정방법의 장단점을 제시한 연구⁽⁶⁾도 수행되었다.

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. 2009년에도 매년 꾸준히 발표되었던 터빈 익단 주변의 열전달 현상과 관련된 연구가 주로 소개되었다.

최근 들어 고압터빈 동익에는 평면팁 보다는 스킨러팁이 많이 적용되고 있는데 고선회 터빈 동익 스킨러팁 표면에서의 유동 및 열전달 특성을 실험적으로 규명하고 평면팁의 결과와 비교 분석한 결과⁽⁷⁾ 스킨러팁 표면에서의 열부하 및 국소적 열부하 집중도가 현저히 낮음이 확인 되었다.

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 2009년도에 발표된 논문을 분류 및 분석하였다.

4.1 내부관 냉각

터빈 익 내부의 열전달 향상을 위해 내부유로 표면에 요철(rib), 핀(pin) 및 딴플(dimple) 등의 형상변화를 주는 열전달 향상기법들이 많이 사용되고 있다. 이러한 구조물들은 이차유동, 박리유동의 재 부착 등을 야기 시키고 궁극적으로 열전달 성능을 증대시킨다. 특히 딴플형상은 높은 열전달 특성과 함께 상대적으로 낮은 압력 손실 특성을 가지고 있어, 2009년에도 딴플형상을 가진 면에서의 열전달 특성을 실험적/해석적

으로 분석한 연구가 주로 수행되었다.

신소민 등⁽⁸⁾은 딴플이 설치된 정지된 유로에서 유로의 높이 및 딴플의 배열형상이 열전달에 미치는 영향을 실험적으로 관찰하여 두 가지 파라미터가 열전달 성능의 최적화에 중요한 인자임을 규명하였다. 박승덕 등⁽⁹⁾은 딴플이 설치된 회전 유로에서의 열전달 특성 관련 연구를 통하여 회전 유무가 딴플이 설치된 뒷면에서의 열전달 계수와 열성능에 큰 영향이 있음을 확인하였으며, 김석범 등⁽¹⁰⁾은 동일 시험 장치를 이용해 회전 유로의 높이가 열전달 계수에 미치는 영향에 대한 실험적 연구를 수행 하였다. 딴플 형상이 열전달 면의 다른 구조물들에 비해 압력손실 량이 적음에도 불구하고 이를 더 감소시키기 위한 연구도 수행되었는데, 두정훈 등⁽¹¹⁾은 딴플 안에 리브렛 형상을 가진 열전달 면에 대해 직접수치해석을 이용하여 열/공력적 평가를 수행하였으며 열공력학적 성능향상의 가능성을 확인하였다. 최용덕 등⁽¹²⁾은 리브가 설치된 면과 리브와 딴플이 함께 설치된 복합면의 열전달 계수 분포를 측정하여 복합면의 증가된 열전달 성능을 실험적으로 규명하였다.

이동현 등⁽¹³⁾은 터빈 익 선단부 내부유로를 모사한 정삼각 유로 내에서 경사요철에 의한 국소 열/물질전달 분포를 측정하였다. 터빈 익 선단부 내부유로 열전달 특성과 관련하여 문호규 등⁽¹⁴⁾은 선단부 내부유로를 모사한 2단 사각유로에 핀형 환 및 유동가이드를 설치하고 열전달 특성을 수치적으로 해석하여, 기존 유로의 채널 끝단에서보다 최소 11%에서 최대 39% 열전달이 증가하는 것을 확인 하였다. 문미애 등⁽¹⁵⁾은 핀이 부착된 회전하는 냉각유로에 대해 삼차원 RNS 해석을 바탕으로 대리모델을 사용하는 최적화 기법인 KRG 모델을 사용하여 최적설계를 수행하였다.

4.2 충돌제트/유출 냉각

2009년에는 충돌제트/유출냉각에 관련된 논문이 발표되지 않아 이 분야 연구동향 파악은 금회 연감에서 제외 하였다.

4.3 막냉각

기존의 막 냉각 관련 연구가 주로 터빈의 정의 및 동익에 한정되어 수행된 것과 달리 2009년도에는 연소기와 터빈 1단 노즐을 연결해 주는 Transition Piece의 막냉각 관련 연구결과가 발표되었다. 윤남건 등⁽¹⁶⁾은 Combustion Basket 출구 유동 조건을 이용하여 Transition Piece 내부의 유동을 해석을 통해 내부 압력분포를 확인하고, Dump Diffuser 내부의 유동 해석을 통해 Transition Piece 외부의 압력분포와 열전달분포를 해석하였다. 이기돈 등⁽¹⁷⁾은 환 형상의 막냉각 홀에 대해 삼차원 RANS 해석을 바탕으로 대리모델인 RBNN을 사용한 최

적화기법을 사용하여 막냉각 효율을 향상시키기 위한 수치적 적설계를 수행하였다.

5. 가스터빈 성능해석 및 시험평가

2009년도에는 매년 발표되었던 가스터빈에 관련된 성능해석 및 시험에 관련된 연구가 주로 수행되었으나, 터빈 구성부 자체의 시험적 성능평가 및 각 기관별 가스터빈 개발 현황 등이 개괄적으로 발표되어 최근 가스터빈 개발 관련 국내동향을 살펴볼 수 있었다.

전무성 등⁽¹⁸⁾은 선행 연구로부터 얻은 시험자료를 바탕으로 온수의 일부를 마이크로터빈의 연소기 또는 압축기 출구(재생기 입구)에 분사하여 시스템 전체의 성능을 높이는 해석적 연구를 수행하였는데, 높은 마이크로터빈 출력과 온수발생량을 위해서는 연소기 입구분사, 높은 마이크로터빈 출력과 효율을 위해서는 압축기 출구분사가 적절한 방법임을 확인하였다. 한편 강수영 등⁽¹⁹⁾은 마이크로터빈 보다 다소 출력이 큰 수 MW급 소형가스터빈을 응용한 재생 사이클, 증기 분사 사이클, 증기 분사가 적용된 재생 사이클을 설계, 모델링하여 각 사이클의 성능을 분석, 비교하였고, 재생기가 증기생성량에 미치는 영향과, 증기생성량의 변화에 따른 성능 변화, 터빈 배기가스의 우회 등의 연구를 함께 수행하였다. 김경훈 등^{(20), (21)}은 압축기 출구에서의 물분사가 재생가스터빈의 성능에 미치는 영향을 해석적 방법으로 고찰하였다.

김봉민 등⁽²²⁾은 실제 운전되고 있는 재열 사이클 가스터빈의 시험 자료를 참조하여 성능해석을 수행하였으며, 이종준 등⁽²³⁾은 위의 여러 가지 사이클의 설계점과 탈설계점 성능분석을 위한 성능해석 프로그램을 개발 하였다. 마이크로터빈이나 소형 APU에 사용되는 구심터빈에 대한 시험적 연구도 수행되었는데, 강정식 등^{(24), (25)}은 APU용 구심터빈의 공력리그 시험을 통해 상세한 내부유동을 관찰하였다.

한편, 현재 국내의 각 기관에서 수행되고 있는 가스터빈 개발 사업에 대한 개괄적 발표가 수행 되었는데 김수용⁽²⁶⁾은 5MW급 발전용 가스터빈을 포함한 두산중공업의 가스터빈개발 현황을 및 저공해 연소기 개발 동향을 소개하였으며, 이성호⁽²⁷⁾는 한국전력연구원이 주관이 되어 수행하고 있는 발전용 가스터빈의 핵심부품은 1단 버켓/노즐의 국산화 개발 사업을 소개 하였다. 한국형헬기 사업의 일환으로 수행 중인 항공용 터보사프트 가스터빈 엔진 개발사업⁽²⁸⁾ 및 항공용 APU 개발 현황⁽²⁹⁾도 소개 되었다.

박정극 등⁽³⁰⁾은 상용 마이크로터빈에 바이오가스 압축 정제

시스템을 적용 축산폐수로부터 얻은 바이오가스를 연료로 한 발전시스템을 구성하여 실증 시험을 수행하는 한편 바이오가스 전처리 공정에 필요한 동력을 감안한 소내 소비율을 측정하여 가스터빈 출력과 바이오 가스 내 CH₄ 농도가 소내 소비율에 큰 영향을 주고 있음을 보였다. 이호재와 송성진⁽³¹⁾은 MEMS Technology를 이용한 1kW급 마이크로터빈을 설계/제작하여 실제 전기 생산 여부를 시험을 통해 입증을 예정이다.

6. 가스터빈 응용 시스템

2009년도에 수행된 가스터빈 응용 시스템에 관한 연구는 순산소 연소 발전시스템과 연료전지와 하이브리드 시스템의 성능해석에 관한 것들이 대부분이었다. 이산화탄소 배출 감소를 위해 GRAZ Cycle, CES Cycle등과 같은 순산소 연소를 이용한 사이클을 이용한 발전시스템에 대한 연구가 이미 선진국에도 많이 수행되고 있으며, 국내에서도 이와 관련된 해석적 연구⁽³²⁾가 수행되었다. 탁상현 등⁽³³⁾은 고온형 연료전지인 용융탄산염 연료전지(MCFC)의 배열조건을 사용하여 H₂O 재순환 형식의 배열회수형 순산소 연소 발전시스템을 구성하고 성능 특성을 해석하였다. 순산소 연소는 산화제로 순수한 산소만을 사용하기 때문에 연소 시 고온이 문제가 될 수 있으며, 이의 해결을 위하여 작동유체를 재순환시켜 연소기로 공급하는 방법이 사용된다. 탁상현 등⁽³⁴⁾은 H₂O와 CO₂를 재순환 유체로 사용하는 사이클인 CES 사이클과 SCOC-CC의 시스템 구성과 작동조건을 참고하여 각 시스템의 특성을 분석하였다. 박병석 등^{(35), (36)}도 CO₂포집을 고려한 순산소 사이클을 제시하고 이에 대한 열성능 해석을 수행하였으며, 대용량 MCFC의 배열을 이용한 순산소 사이클에 대한 열해석 및 경제성 평가를 수행하였다.

한편, 박성구 등⁽³⁷⁾은 SOFC/가스터빈 하이브리드 시스템을 분사하였을 경우 성능변화를 상압 및 가압 시스템에 대해 분석하였다. 상압 및 가압 시스템 모두 보다 높은 압력비로 설계하였을 경우 스팀 분사에 의한 출력 증가 효과가 더 크게 나타났다. 명노성 등⁽³⁸⁾은 SOFC와 다른 출력 범위를 갖는 세 종류의 가스터빈으로 SOFC-GT 하이브리드 시스템을 구성, 시스템의 압축비와 구성부의 효율이 각각의 시스템에 주는 영향을 분석하여, 압축비의 증가 보다는 구성부의 효율을 높게 설계하는 것이 시스템 효율에 긍정적인 영향이 있음을 보였다. 안국영 등⁽³⁹⁾은 저온형 연료전지와 고온형 연료전지의 가스터빈 하이브리드 시스템에 대한 효율비교 및 국내 발전용 연료전지 관련 현황을 고찰하였다.

7. 스팀터빈 및 복합/열병합 발전

최근 석탄을 가스화한 합성가스를 연료로 사용하는 IGCC가 전 세계적으로 건설되어 작동되면서 국내에서도 이와 관련된 연구가 활발히 수행되고 있다.

이찬⁽⁴⁰⁾은 서로 다른 2가지 석탄가스화 공정과 2가지 가스 정제 공정의 조합에 대해 HRSG와 화학 공정들 간의 증기연계 설계를 수행하였고, 증기연계 설계 조건이 복합화력발전 플랜트 성능에 미치는 영향을 검토 하였다. 김영식 등⁽⁴¹⁾은 IGCC 플랜트 적용을 위해 필요한 가스터빈 개조에 따른 압축기의 서지마진 감소와 터빈 블레이드 과열문제에 해결방안을 제시하고 이 때 IGCC 플랜트 전체의 성능에 대해 고찰하였다. 박성구 등⁽⁴²⁾은 기 개발되어 있는 가스화기기(Gasifier)와 가스터빈을 사용하는 IGCC 시스템을 설계, 분석하였으며 SOFC와 3가지 방법으로 결합한 IGCC 시스템들에 대한 설계성능 비교분석을 수행하였다.

가스터빈의 폐열을 이용하는 열병합 시스템에 대한 연구도 수행되었는데, 강도원 등⁽⁴³⁾은 천연가스를 연료로 하는 5MW급 가스터빈으로 구성된 열병합시스템에 바이오매스를 연료로 적용하였을 때, 시스템 성능의 특성변화를 살펴보고 유다영 등⁽⁴⁴⁾은 마이크로가스터빈과 하이브리드 흡수식 냉동기와 결합된 열병합 발전/냉각 시스템의 성능 특성을 해석적으로 분석하였다. 조성철⁽⁴⁵⁾은 산업용 열병합 발전시스템을 대상으로 이론적 모델링을 통하여 공정중기, 회수응축수 비율, 발전량, 보일러 압력 및 온도 등을 변수로 정하여 에너지 해석 및 엑서지 해석으로 이러한 변수들이 열병합 발전시스템의 효율에 미치는 영향을 수치적 방법으로 연구하고자 한다.

주용진 등⁽⁴⁶⁾은 온라인으로 방대한 성능변수를 체계적으로 관리하기 위하여 실시간데이터베이스를 사용하는 국내 A-복합화력발전소의 성능감시시스템에 열소비를 손실분담기법을 적용하고, 고찰을 통하여 기법의 타당성을 입증하였다.

한편, 김영철 등⁽⁴⁷⁾은 발전시스템의 효율 향상과 배기가스에서 이산화탄소를 제거를 목적으로 하는 컨텐싱 터빈(낮은 입구 압력, 높은 입구온도)의 설계기술 개발에 관한 연구를 수행하였다. 안중현 등⁽⁴⁸⁾과 허진혁 등⁽⁴⁹⁾은 스팀터빈의 레비린스 실의 형상변경을 통해 누설량 저감을 꾀하였다.

8. 결 론

2009년 가스/스팀터빈 분야의 연구는 양적으로나 연구의 다양성 측면에서도 2008년에 비해 크게 변동이 없었던 것으로 평가된다. 다만 최근 5년간 연구 경향을 살펴볼 때 연구 전수

는 예년에 비해 다소 감소되고 있는 경향을 보이고 있다. 이는 연구과제나 관련 개발사업의 감소에 기인하는 것이 아닌 연구 성과물들의 발표나 공유가 적극적으로 수행되지 않고 있는 것에 기인한다고 판단된다. 가스터빈/스팀터빈 관련 연구의 발표 및 홍보에 대한 연구 관련자들의 관심이 아쉬운 시점이다.

유동장 및 열전달 해석에 관한 연구는 예년과 비슷한 경향을 보였고, 전체적으로는 실험 및 해석이 실제상황을 모사하는 환경에서 수행되는 경향을 볼 수 있었다. 가스터빈 엔진에 관련된 연구는 예년과 비교할 때 개발과 직접적 관련이 있는 연구들도 다수 발견되었으며 운전 및 성능평가에 관한 연구들은 예년과 유사한 수준으로 수행되었다.

본격적으로 진행되고 있는 소형 열병합 발전용 가스터빈 사업과 한국형헬기개발사업 및 새롭게 기획되고 있는 중/대형 발전용 가스터빈 개발 사업 등과 관련된 연구 성과물들의 양적, 질적 성장을 기대해 본다.

참고문헌

유동장 해석

- (1) 윤덕규, 김재춘, 김대현, 이원석, 정진택, 2009, "1단 축류 가스터빈내 동익의 허브면에 장착된 경계층 펜스의 효과에 대한 수치 해석적 연구," 유체기계저널, 제 12권, 제 2호, pp. 8~16.
- (2) 김대현, 민재홍, 정진택, 2009, "1단 터빈 내 앞전 변형의 영향 하에 공력 특성에 대한 비정상 수치해석적 연구," 유체기계저널, 제 12권, 제 1호, pp. 22~27.
- (3) 이기선, 박승덕, 노영철, 김학봉,곽재수, 전용민, 2009, "블레이드 팁 형상이 터빈 캐스케이드 전압 손실에 미치는 영향에 대한 연구," 유체기계저널, 제 12권, 제 2호, pp. 39~45.
- (4) 이은석, 정용현, 2009, "경사각 최적화를 이용한 터빈 공력형상설계에 관한 수치연구," 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 186~187.
- (5) Tong Seop Kim and Kyu Sang Cha, 2009, "Comparative analysis of the influence of labyrinth seal configuration on leakage behavior," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 23, No. 10, pp. 2830~2838.
- (6) 노영철, 이용진, 박정신, 서보경, 김학봉, 곽재수, 2009, "5공과 7공 프로브를 이용한 터빈 캐스케이드의 이차유동 측정 결과 비교 연구," 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 85~90.

열전달 해석

- (7) 문현석, 이상우, 2009, "터빈 동익 스텔러팁 표면에서의 열(불

질)전달 특성,” 유체기계저널, 제 12권, 제 1호, pp. 35~42.

내부관 냉각

- (8) Somn Shin, Ki Seon Lee, Seoung Duck Park and Jae Su Kwak, 2009, “Measurement of the heat transfer coefficient in the dimpled channel effects of dimple arrangement and channel height,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 23, No. 3, pp. 624~630.
- (9) 박승덕, 이기선, 전창수, 광계수, 전용민, 2009, “딴플이 설치된 회전 유로에서의 열전달 계수 분포 측정 연구,” 유체기계저널, 제 12권, 제 1호, pp. 51~56.
- (10) 김석범, 이용진, 최은영, 김형준, 전창수, 광계수, 2009, “딴플이 설치된 회전 유로의 높이가 열전달 계수에 미치는 영향에 대한 실험적 연구,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 9~14.
- (11) 두정훈, 윤현식, 하만영, 2009, “내부 냉각유로에서 열전달 강화와 압력손실 감소를 위한 표면 형상체의 개발,” 대한기계학회논문집B, Vol. 33, No. 6, pp. 427~434.
- (12) 최용덕, 이용진, 홍정기, 김진곤, 광계수, 2009, “가스 터빈 블레이드의 림 냉각과 딴플-림 복합 냉각 기법 비교연구,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 181~185.
- (13) 이동현, 김경민, 이동호, 조형희, 문희구, 2009, “경사요철이 설치된 정삼각유로의 열/물질전달 특성,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 97~98.
- (14) 문호규, 박준수, 이동현, 조형희, 2009, “편형힌 설치에 따른 이차유로 곡관부 열전달 특성 변화에 관한 수치해석,” 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, KSME09F Th07C001.
- (15) 문미애, 아프잘 후세인, 김광용, 2009, “편형이 부착된 회전하는 냉각유로의 최적설계,” 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, KSME09F Th10B001.

충돌제트/유출 냉각

막냉각

- (16) 윤남건, 문호규, 김경민, 이동현, 조형희, 강신호, 2009, “가스터빈 연소기 Transition Piece 냉각 시스템의 열부하 해석,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 15~16.
- (17) 이기돈, 김광용, 2009, “막냉각 효율의 증진을 위한 헨 형상홀의 최적설계,” 대한기계학회 유체공학부분 춘계학술대회 논문집, KSME09FE04, pp. 13~18.

가스터빈 성능해석 및 시험평가

- (18) 전무성, 이종준, 김동섭, 2009, “수분사를 통한 마이크로터빈 성능향상 해석,” 유체기계저널, 제 12권, 제 2호, pp. 46

~51.

- (19) 강수영, 이종준, 김동섭, 2009, “증기분사를 적용한 소형 가스터빈의 성능 해석,” 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, KSME09F Th07C002.
- (20) 김경훈, 김세웅, 고희중, 2009, “압축기 출구 물분사가 있는 제생 가스터빈 시스템의 성능해석,” 설비공학회논문집, 제 21권, 제 8호, pp. 448~455.
- (21) Kyoung Hoon Kim, Se Woong Kim and Hyung-Jong Ko, 2009, “Effect of Turbine Inlet Temperature on Performance of Regenerative Gas Turbine System with Afterfogging,” *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, Vol. 17, No. 4, pp. 141~148.
- (22) 김봉민, 김동관, 박상호, 김준성, 2009, “재열가스터빈의 성능향상,” 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, KSME09F Th07B004.
- (23) 이종준, 김동섭, 2009, “가스터빈 성능해석 프로그램의 개발 및 적용,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 190~191.
- (24) 강정식, 임병준, 안이기, 2009, “구심터빈의 노즐 내부 유동에 대한 시험 연구,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 3~8.
- (25) 강정식, 임병준, 양재준, 안이기, 2009, “APU용 구심터빈의 공력리그시험,” 대한기계학회 유체공학부분 춘계학술대회 논문집, KSME09FE04, pp. 13~18.
- (26) 김수용, 2009, “두산중공업 GT 사업 및 저공해 연소기 개발 동향 및 기술,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 269~273.
- (27) 이성호, 2009, “1,350℃급 가스터빈 핵심부품 개발 현황,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 274~277.
- (28) 이대성, 안이기, 김재환, 전승배, 성옥석, 2009, “헬기용 터보샤프트 엔진 개발,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 278.
- (29) 이대성, 안이기, 임병준, 이동호, 전승배, 이성준, 김지희, 류세현, 2009, “항공용 보조동력장치 개발,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 279.
- (30) 박정극, 오석재, 허광범, 임상규, 2009, “30kW급 바이오가스-마이크로가스터빈 소내소비율 측정 결과,” 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 504~506.
- (31) 이호재, 송성진, 2009, “1kW급 마이크로 터빈 개발,” 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, KSME09F Fr09B001.

가스터빈 응용 시스템

- (32) 박병철, 손정락, 김동섭, 안국영, 강신형, 2009, “순산소 연소 기본 사이클의 작동조건 변화에 따른 성능해석,” 유체기계저널, 제 12권, 제 4호, pp. 30~36.
- (33) 탁상현, 박성구, 김동섭, 손정락, 이영덕, 2009, “배열회수형 순산소 연소 발전시스템의 성능해석: CO₂ 포집의 영향,” 대

- 한기계학회논문집B, Vol. 33, No. 12, pp. 968~976.
- (34) 탁상현, 김동섭, 손정락, 이영덕, 2009, "CO₂ 포집을 고려한 순산소 연소 발전시스템의 성능해석: 재순환 유체가 다른 두 시스템의 비교," 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 17~18.
- (35) Pyong Sik Pak, Yong Duk Lee and Kook Young Ahn, 2009, "Characteristics Estimation of a H₂O Turbine Reheat Cycle Power Generation System Based on Oxy-Combustion Method," 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, KSME09F Th07B001.
- (36) Pyong Sik Pak, Yong Duk Lee and Kook Young Ahn, 2009, "Characteristics and Economic Evaluation of a H₂O Turbine Reheat Cycle Power Generation System Based on Oxy-Combustion Method for Utilizing Exhaust Gas of Large Scale MCFC," 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, KSME09F Th07B002.
- (37) Sung Ku Park, Tong Seop Kim and Jeong L. Sohn, 2009, "Influence of steam injection through exhaust heat recovery of solid oxide fuel cell-gas turbine hybrid system," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 23, No. 2, pp. 550~558.
- (38) 명노성, 박성구, 손정락, 김동섭, 2009, "다양한 가스터빈을 사용하는 SOFC/GT 하이브리드 시스템의 설계 성능 및 민감도 해석," 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, KSME09F Th07A003.
- (39) 안국영, 유상석, 이영덕, 2009, "연료전지-가스터빈 하이브리드 기술," 대한설비공학회 2009 하계학술발표대회논문집, 09-S-068, pp. 370.
- 스팀터빈 및 복합/열병합 발전
- (40) 이찬, 2009, "증기연계 공정을 가지는 석탄가스화 복합발전 플랜트의 성능해석," 유체기계저널, 제 12권, 제 1호, pp. 43~50.
- (41) 김영식, 김동섭, 손정락, 주용진, 2009, "가스터빈 개조를 고려한 IGCC plant의 성능해석," 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 188~189.
- (42) 박성구, 김동섭, 2009, "IGCC를 기본으로 하는 IG-SOFC/GT 시스템의 성능," 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, KSME09F Th07A004.
- (43) 강도원, 이종준, 허광범, 김동섭, 2009, "바이오매스를 이용한 5MW급 가스터빈 열병합 발전 시스템 성능특성 비교 해석," 2009 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 99~100.
- (44) 유다영, 송태민, 임익태, 박찬수, 2009, "마이크로 가스 터빈과 하이브리드 흡수식 냉동기와 결합된 열병합 발전/냉각 시스템 성능 특성에 관한 연구," 대한설비공학회 2009 동계학술발표대회논문집, 09-W-051, pp. 292~298.
- (45) 조성철, 2009, "증기터빈 열병합 시스템에 대한 에너지 및 엑서지 해석," 대한설비공학회 2009 하계학술발표대회논문집, 09-S-246, pp. 1397~1405.
- (46) 주용진, 김시문, 서석빈, 김미영, 마삼선, 홍진표, 2009, "복합화력 성능감시 정량화 기법," 유체기계저널, 제 12권, 제 5호, pp. 39~46.
- (47) 김영철, 안국영, 조종현, 조수용, 2009, "100kW급 증기터빈 설계기술 개발에 관한 연구," 유체기계저널, 제 12권, 제 3호, pp. 44~52.
- (48) 안중현, 허진혁, 문승재, 이재현, 유호선, 2009, "증기터빈 래비린스 실의 형상 개선을 통한 누설량 저감에 관한 연구," 대한설비공학회 2009 하계학술발표대회논문집, 09-S-152, pp. 0857~0862.
- (49) 허진혁, 안중현, 박종근, 문승재, 이재현, 유호선, 2009, "증기터빈 래비린스 실 이의 경사도에 따른 누설량 변화에 관한 연구," 대한설비공학회 2009 동계학술발표대회논문집, 09-W-054, pp. 313~318.