

가스 · 스팀터빈 분야 연구동향

김재환*

1. 서 론

전 세계의 정보사회화는 점점 빠른 속도로 진행되고 있으며, 이러한 선진 산업화사회에서 일수록 전기 형태의 에너지 소비가 급속하게 늘고 있는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러나 화석연료를 이용한 전기 생산은 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 가스 터빈을 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 관련기술은 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 등

의 개발에 직접적으로 적용되기 때문에 기술파급 효과가 매우 크다.

현재 국내에서는 5MW급 소형열병합발전용 가스터빈 개발 사업의 본격적 진행 및 2006년도부터 착수된 한국형헬기개발사업 등에 힘입어 가스터빈엔진, 보조동력장치(마이크로터빈)의 개발과 관련된 산·학·연 공동연구가 활발히 진행되고 있다. 이 같은 움직임은 그동안 시장성 및 독자모델 개발 당위성을 이유로 주춤했던 중대형 발전용 가스터빈 및 항공용 가스터빈 관련 연구의 활성화를 가져올 것으로 기대된다.

본 연감에서는 2007년도 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, 회전의 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. 2007년도에는 주로 터빈 익 주변의 외부유동에 대한 시험 및 수치해석적 연구와 내부유동의 유동현상 규명을 위한 모사시험 관련 연구가 수행되었다.

터빈 익 주변의 외부유동과 관련된 수치 해석적 연

* 한국항공우주연구원 KHP개발실 엔지니어
E-mail : kjaehwan@kari.re.kr

구로는 터보 펌프에 적용되는 부분 흡입형 방식의 터빈 주변 (노즐+로터)의 유동을 해석하여 터보펌프의 설계안을 제시한 연구⁽¹⁾, 끝 벽의 설치 위치 및 변형 높이에 따른 환형 터빈 노즐 안내깃 캐스케이드 내 3차원 유동에 미치는 영향을 해석한 연구⁽²⁾, 상류의 맥동유동이 존재할 때 3차원 단일 블레이드의 공탄성 안정성을 해석한 연구⁽³⁾ 등이 수행되었다. 또한 터빈 익 주변의 유동현상을 실험적으로 파악한 연구도 수행되었는데, 이상우 등⁽⁴⁾은 입사각이 고 선회 터빈 동익 하류에서의 3차원 유동 및 압력손실에 미치는 영향을 분석하였다.

한편, 터빈 익 내부의 냉각성능 및 효율은 여러 가지 인자에 의하여 결정되는데, 보다 높은 성능을 갖는 터빈 블레이드 냉각유로의 설계를 위한 기초자료 확보를 위해 곡관부를 가진 회전하는 덕트를 이용한 모사 시험 및 수치계산을 통해 국소적 압력강하 분포를 살펴본 연구⁽⁵⁾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. 2007년에도 매년 꾸준히 발표되었던 터빈 익단 주변의 열전달 현상 및 터빈 익 표면에서의 열전달 특성을 규명하는 연구가 계속 진행되었다. 익단 주변의 열전달 특성 관련으로는 대표적인 팁 간극 높이에 대하여 저 난류 입구유동 및 연소기 출구레벨 입구 난류 조건에서 고선회 터빈 동익 평면팁 표면에서의 열전달 특성을 실험을 통하여 규명한 연구^{(6),(7)}와 환형 터빈 캐스케이드를 이용하여 블레이드가 고정된 경우와 회전하는 경우, 스퀴러 팁 블레이드에서의 국소적인 열전달 특성 변화를 고찰한 실험적 연구⁽⁸⁾ 등이 수행되었다. 위의 연구들은 터빈 익단과 그 주변에서의 열전달 계수 분포를 제공하여 터빈 익단 주변 영역에서의 열전달 현상의 이해를 돕고, 터빈 익 열 설계의 기본 자료로 활용될 수 있다.

터빈 익 표면에서의 열전달 현상과 관련하여 입사각 변화가 블레이드 팁⁽⁹⁾ 및 표면⁽¹⁰⁾에서의 국소 열전달 특성에 미치는 영향을 실험적으로 고찰한 연구가 수행되었다.

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 2007년도에 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. 2007년에는 주로 장애물이 있는 채널에서의 열전달 현상에 대한 수치해석 적 연구와 덕트 내의 열전달 특성을 실험적으로 분석한 연구가 주로 수행되었다.

강호근 등⁽¹¹⁾은 사각채널에서 일정 기울기를 가진 배플을 설치하였을 때 시험부에서 그 배플이 가지는 형상, 그리고 유속의 변화가 열전달에 미치는 영향을 실험 및 수치적으로 분석하였으며, 큰 에디 모사 수치해석을 통해 딴플의 배열이 채널내부의 난류 열전달 특성에 미치는 영향을 고찰한 연구⁽¹²⁾도 수행되었다. 한편 가스터빈의 동익 내의 열전달 특성을 모사하기 위해 회전하는 채널 내의 열 및 물질전달 분포를 분석한 연구⁽¹³⁾와 사각 덕트에서의 열/물질전달 및 유동특성을 실험적으로 규명한 연구⁽¹⁴⁾가 수행되었다.

신소민 등⁽¹⁵⁾은 색상검출 방식의 개선된 천이 액정법을 이용하여 구멍이 있는 벽에 설치된 사각덕트 내의 열전달 계수를 측정하였다.

4.2 충돌제트 냉각

2007년에는 충돌제트 냉각과 관련된 독립적 연구는 수행되지 않았으며 막 냉각과의 혼합형태인 충돌제트/유출냉각 관련 연구가 2건 발표되었다.

회전하는 다열의 유출홀을 갖는 충돌제트/유출냉각 기법에 대한 기본적인 열/물질전달 특성을 파악하고 향상된 냉각성능을 얻고자 분사홀의 크기와 개수의 영향을 고찰한 실험적 연구⁽¹⁶⁾와 다수의 배열제트가 적용되는 충돌/유출냉각 기법에서 tubulator의 분사홀 장착 및 초기 횡방향 유동이 열/물질전달 특성에 미치

는 영향을 분석한 연구⁽¹⁷⁾가 수행 되었다.

4.3 막냉각

막냉각 관련 논문은 2007년에 3편이 발표되었으며, 이들 모두 터빈의 내부유로에서 대류냉각과 복합적으로 일어나는 유출냉각과 관련된 연구이다.

박석환 등^{(18),(19)}은 회전하는 덕트에 각각 45도 및 90도 요철을 설치하고 유출유동이 열 및 물질전달에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 이 현 등⁽²⁰⁾은 한쪽 벽에 유출이 설치 되어있고 양쪽 벽면에 요철이 설치된 경우에 대해 3차원 열유동 해석과 효과적인 최적화 기법의 하나인 반응면 기법을 결합하여 최적설계를 수행하였다.

5. 가스터빈 성능해석 및 시험평가

국내에 KHP 사업, 소형 열병합 발전용 가스터빈 개발 사업 등과 같은 연구개발 사업이 본격적으로 진행됨에 따라 가스터빈 개발과 관련된 연구결과 등이 2007년에 들어서면서 부터 발표되기 시작 하였다.

이대성 등⁽²¹⁾은 한국형 헬기에 탑재되는 후방 구동형 터보 샤프트 엔진개발 현황을 소개하였고, 강정식 등⁽²²⁾은 후방 구동형 터보 샤프트 엔진 개발의 핵심인 2단 동력터빈의 설계결과를 발표하였다. 기존 엔진이 전방 구동형에서 후방 구동형으로 바뀌면서 생기는 엔진의 장착 손실을 완화하기 위해 터빈의 고효율이 요구되었고 이에 따른 최적화 설계결과를 제시 하였다. 헬기의 엔진시동에 필요한 공압 공급을 위해 마이크로 가스터빈 형태 (원심 압축기 및 원심터빈)의 보조동력 장치가 사용 되는데, 한국형 헬기에 탑재될 보조동력 장치의 개발⁽²³⁾과 관련된 연구개발현황이 발표되었다. 앞의 연구들이 항공용 가스터빈에 대한 것이라면 류계욱 등⁽²⁴⁾은 현재 개발되고 있는 5MW급 열병합 발전용 가스터빈 엔진의 개발현황을 소개하면서 성능, 압축기, 연소기 및 터빈 등 핵심 구성품의 개념 및 공력 설계결과를 제시 하였다.

이종준 등⁽²⁵⁾은 상용 마이크로터빈의 실제 운전을 통해 얻은 운전 자료를 이용하여 구성부 특성을 파악하고 성능 시뮬레이션이 가능한 프로그램을 구성한 후 이를 이용해 엔진 제어 방식이 운전특성에 미치는 영향을 분석하였다. 마이크로 터빈의 코어는 디젤 엔진의 터보 차저로도 쓰이는 데 김홍원 등⁽²⁶⁾은 핵심 구

성요소인 터빈의 공력학적 설계를 수행하였다.

최근 들어 고가의 가스터빈 연료를 대체할 수 있는 석탄가스, 바이오메스 등을 연료로 한 발전시스템 관련 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이종준 등⁽²⁷⁾은 천연가스를 사용하는 기존의 가스터빈의 설계점 성능 해석을 통하여 기본 성능특성을 분석한 후, 연료를 Syngas 등으로 변화시켰을 경우의 가스터빈 성능변화 특성을 해석적으로 분석하였다.

6. 가스터빈 응용 시스템

2007년도에 수행된 가스터빈 응용 시스템에 관한 연구는 연료전지와와의 하이브리드 시스템의 성능해석 및 시험에 관한 것들이 대부분이었다. 고체산화물 연료전지/가스터빈 하이브리드 발전 시스템의 가압형 및 상압형 설계에 따른 성능을 비교 분석한 연구⁽²⁸⁾와, 하이브리드 시스템에서 배기가스를 이용해 스팀을 재생하고 이를 연소기에 분사한 경우 가압형 및 상압형 시스템 각각에 대한 영향을 분석한 연구⁽²⁹⁾가 수행 되었다. 가압형 시스템의 경우 출력은 증가하지만 공급해야 하는 연료의 양이 증가하여 시스템 효율은 크게 개선되지 않았지만, 상압형 시스템의 경우 출력과 효율이 동시에 증가하는 경향을 보였다.

기존의 사용되고 있는 가스터빈을 사용하여 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템을 구성하였을 경우 연료전지의 설계온도 및 압축기 서지마진 등을 고려하여 현실적 설계방안을 제시 한 연구^{(30),(31)}도 수행되었다.

유병준 등은 PEM 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템에 수증기 개질과 부분산화 개질 방식을 도입할 경우 각각의 시스템의 설계 성능을 비교하여 개질방법에 따른 시스템의 효율향상 효과를 분석한 연구⁽³²⁾와 여러 가지 형태의 구성방법 (가압형, 상압형)에 따른 각 시스템의 성능을 비교 분석한 연구⁽³³⁾를 수행하였다. 또한 10kW PEM 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템과 SOFC 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템의 설계 성능을 해석하여 소형 시스템의 경우에도 SOFC가 단일 연료전지 시스템을 기준으로 할 때 성능 향상의 폭이 큼을 규명한 연구⁽³⁴⁾도 수행되었다.

7. 스팀터빈 및 복합/열병합 발전

스팀터빈 및 복합발전에 관련된 논문은 총 5편으로 복합발전 및 열병합 시스템의 성능해석 및 실제 운전

과의 비교분석에 관련된 연구가 주를 이루었다.

이상대 등⁽³⁵⁾은 복합화력 발전 시스템에 대한 모델링을 수행하고 주요 성능변수들의 민감도 분석을 통해 시스템의 최적 압축비를 제시 하였다.

실제 화력발전소의 운전을 통한 실증연구도 수행되었는데, 김광홍 등⁽³⁶⁾은 지난 10년 간 500MW급 석탄화력 증기 터빈 발전소의 운전 자료를 토대로 예방 정비작업 등을 통한 설비의 효율적 운전이 가능함을 예측하였다. 또한 발전 시스템의 실시간 성능감시시스템을 개발하여 실제 화력 발전소의 운전 값들과 비교하여 그 차이를 분석하고 검증한 연구⁽³⁷⁾도 수행되었다.

차규상 등⁽³⁸⁾은 천연가스를 연료로 사용하는 가스터빈에서 syngas를 사용함에 따라 하부 사이클인 스팀터빈 사이클에서의 성능특성을 해석하였으며, 그 결과 가스 비열의 증가 및 하부 사이클의 열회수량 증가로 전체 출력이 상승함을 규명하였다. 최재준 등⁽³⁹⁾은 300kW급 열병합 발전 시스템에 대한 성능평가 방법을 개발하여 해당 시스템에 적용하고, 유사 시스템의 평가기준을 제시하였다.

7. 결론

2007년 가스/스팀터빈 분야의 연구는 양적으로 전년에 비해 비교적 적은 수의 논문이 발표되었으며 연구의 다양성 측면에서도 예년에 비해 크게 변동이 없었던 것으로 평가된다. 가스터빈/스팀터빈 관련 연구에 대한 기업과 정부의 관심이 아쉬운 시점이다.

유동장 및 열전달 해석에 관한 연구는 예년과 비슷한 경향을 보였고, 전체적으로는 실험 및 해석이 실제 상황을 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 사업 및 한국형헬기개발사업 등에 힘입어 올해부터 엔진개발 관련 연구들의 성과물들이 나오기 시작해 내년부터는 보다 많고 심도 있는 연구 성과물들이 나올 것으로 기대해 본다.

참고문헌

유동장 해석

- (1) 박편구, 이은석, 정은환, 김진한, 2007, “노즐과 로터가 장착된 초음속 증동형 터빈의 전산유동해석,” 유체기계저널, 제 10권, 제 1호, pp. 26~33.
- (2) 이우상, 김대현, 민재홍, 정진택, 2007, “끝벽의 설치 위치 및 변형 높이에 따른 환형 터빈 노즐 안 내깃 캐스케이드 내 3차원 유동에 미치는 영향에 관한 수치해석,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Th10B002.
- (3) 조승호, 김태현, 송성진, 2007, “비정상 유동에서 3차원 단일 블레이드의 유체-구조 상호작용 해석,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Fr11D001.
- (4) 이상우, 채병주, 2007, “입사각이 고선회 터빈 동익 하류에서의 3차원 유동 및 압력손실에 미치는 영향,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Th09C001.
- (5) 김경민, 조형희, 2007, “냉각유로 내 곡관부 및 유로의 회전이 압력강하에 미치는 영향,” 유체기계저널, 제 10권, 제 2호, pp. 32~40.

열전달 해석

- (6) 이상우, 문현석, 2007, “연소기 출구레벨 고난류강도가 터빈 동익 표면 열전달 특성에 미치는 영향,” 2007 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 66~71.
- (7) Hyun Goo Kwon and Sang Woo Lee, 2007, “Heat/Mass Transfer Characteristics in the Near-Tip Region on a Turbine Blade Surface Under Combustor-Level High Inlet Turbulence,” Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 21, No. 3, pp. 486~494.
- (8) 이동호, 조형희, 2007, “터빈 블레이드 끝단 형상 변화에 따른 블레이드 표면 및 슈라우드에서의 열전달 특성변화,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 07F Fr11F047.
- (9) 이동호, 조형희, 2007, “입사각 변화에 따른 터빈 블레이드에서의 열전달 특성 변화 (I),” 대한기계학회 논문집B, Vol. 31, No. 4, pp. 349~356.
- (10) 이동호, 조형희, 2007, “입사각 변화에 따른 터빈

블레이드에서의 열전달 특성 변화(II),” 대한기계학회논문집B, Vol. 31, No. 4, pp. 357~366.

내부관 냉각

- (11) 강호근, 안수환, Ary Bachtiar Krishna Putra, 2007, “사각 덕트 내에 설치된 2개의 경사진 배플에 의한 열전달 증진 효과에 관한 실험 및 수치해석,” 설비공학논문집 제 19권, 제 11호, pp. 751~760.
- (12) 안준, 이영옥, 이준식, 2007, “딴플이 설치된 채널에서 레이놀즈 수 및 딴플 깊이에 따른 유동 및 열전달 특성,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Th10B003.
- (13) 김정민, 이동현, 조형희, 2007, “회전하는 매끈한 정삼각 유로 내 열/물질전달 분포 측정,” 대한기계학회논문집B, Vol. 31, No. 7, pp. 628~634.
- (14) 권현구, 황상동, 조형희, 2007, “2차 유동 영역에서 격임각 변화에 따른 주름진 사각 덕트에서의 열/물질전달 및 유동 특성,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Th12E035.
- (15) 신소민, 이기선, 박승덕, 곽재수, 차봉준, 2007, “이중 충돌 제트를 갖는 사각 덕트 내의 열전달 계수 측정,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 07F Fr10C001.

충돌제트/유출 냉각

- (16) 홍석국, 조형희, 2007, “회전하는 충돌제트/유출냉각기법에서 분사율 변화에 따른 열/물질전달 특성,” 유체기계저널, 제 10권, 제 3호, pp. 25~32.
- (17) 홍성국, 이동현, 김영도, 조형희, 2007, “분사홀에 설치된 Tubulator에 따른 충돌/유출면에서의 열/물질 전달특성,” 2007 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 51~56.

막냉각

- (18) 박석환, 전윤희, 김정민, 이동현, 조형희, 2007, “유출유동 및 각도진 요철이 회전하는 사각덕트 내 열전달분포에 미치는 영향,” 대한기계학회논문집B, Vol. 31, No. 1, pp. 76~82.
- (19) 박석환, 전윤희, 김정민, 이동현, 조형희, 2007, “채

널회전 및 유출유동이 90도 요철이 설치된 사각채널 내 열/물질전달 특성에 미치는 영향,” 대한기계학회논문집B, Vol. 31, No. 1, pp. 83~90.

- (20) 이현, 김정민, 이동현, 조형희, 2007, “유출홀이 설치된 정사각유로 내 열전달 향상을 위한 경사 요철 최적 설계,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Fr12E078.

가스터빈 성능해석 및 시험평가

- (21) 이대성, 안이기, 김재환, 김춘택, 유혁, 강정식, 성옥석, 2007, “헬기용 터보 샤프트 엔진 개발 현황,” 2007 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 411~411.
- (22) 강정식, 김춘택, 안이기, 이대성, 김창근, 2007, “터보샤프트 엔진용 2단 동력터빈의 개발,” 2007 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 41~43.
- (23) 이대성, 안이기, 민대기, 임병준, 이동호, 이성준, 김지희, 류세현, 2007, “항공용 보조동력장치 개발,” 2007 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 412~412.
- (24) 류제욱, 김수용, 최승주, 양수석, 2007, “5MW 가스터빈엔진 개발 현황,” 2007 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 429~434.
- (25) Jong Joon Lee, Jae Eun Yoon, Tong Seop Kim and Jeong L. Shohn, 2007, “Performance Test and Component Characteristics Evaluation of a Micro Gas Turbine,” Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 21, No. 1, pp. 141~152.
- (26) 김홍원, 박종일, 류승협, 길상학, 2007, “선박용 터보차저의 축류터빈의 설계 및 성능평가에 관한 해석적 연구,” 2007 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 57~65.
- (27) 이종준, 차규상, 손정락, 김동섭, 2007, “Syngas 및 수소를 이용한 발전용 가스터빈 성능특성 해석,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Th10B001.

가스터빈 응용 시스템

- (28) Sung Ku Park, Won Jun Yang, Joon Hee Lee and Tong Seop Kim, 2007, “Comparative Thermodynamic Analysis on Design Performance Characteristics of Solid Oxide Fuel Cell/Gas

Turbine Hybrid Power Systems,” Vol. 21, No. 2, pp. 291~302.

- (29) 박성구, 김동섭, 2007, “스팀분사를 고려한 SOFC/GT 하이브리드 시스템의 설계 성능 비교 분석,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Th10A002.
- (30) 오경석, 박성구, 김동섭, 2007, “가압형 고체산화물 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템의 현실적 설계,” 대한기계학회논문집B, Vol. 31, No. 2, pp. 125~131.
- (31) 박성구, 손정락, 김동섭, 2007, “가압형 고체산화물 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템 설계에서 터빈입구 바이패스 효과,” 2007 유체기계연구개발발표회논문집, pp. 201~206.
- (32) 유병준, 김동섭, 이영덕, 안국영, 2007, “PEM 연료 전지 및 하이브리드 시스템의 설계변수 해석,” 대한기계학회논문집B, Vol. 31, No. 5, pp. 448~456.
- (33) 유병준, 김동섭, 이영덕, 안국영, 2007, “PEM 연료 전지 하이브리드 시스템의 구성방법에 따른 설계 성능 분석,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Th10A003.
- (34) 박성구, 유병준, 김동섭, 손정락, 이영덕, 안국영, 2007, “소형 PEMFC, SOFC 가압형 하이브리드 시스템의 성능 비교 해석,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 07F Fr11F034.

스팀터빈 및 복합/열병합 발전

- (35) 이성대, 손정락, 송성진, 2007, “복합화력 발전소 열모델링을 통한 가스터빈 압축비 최적화 및 효율 인자 민감도 분석,” 2007 유체기계연구개발발표회 논문집, pp. 44~50.
- (36) 김광홍, 홍은기, 황광원, 장철호, 김시문, 2007, “발전용 증기터빈 열성능 진단에 관한 연구,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Th10A004.
- (37) 정훈, 박두용, 2007, “화력발전소 On-Line 실시간 성능에 대한 설계값-실제값 비교,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 07S Fr12E143.
- (38) 차규상, 이종준, 손정락, 김동섭, 주용진, 2007, “Syngas 및 수소연료를 이용한 복합화력발전 성능 해석,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 07F Th11E057.
- (39) 최재준, 박화춘, 2007, “300kW급 소형 엔진 열병합발전시스템의 평가기술 개발 및 실증시험,” 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, pp. 453~458.