

가스 · 스팀터빈 분야 연구동향

김 재 환*

1. 서 론

우리나라 전력수급의 많은 부분을 원자력 및 화력 발전이 차지하고 있고 점차 증가하는 전력 수요를 가스터빈을 이용한 복합발전이나 열병합 발전이 담당해 가고 있는 추세를 볼 때 가스 및 스팀터빈 관련 산업 발달과 이 분야의 지속적인 연구개발은 매우 중요하다. 한편 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 비용규모가 작아 세계시장에서도 경쟁력 있는 상품이 될 수 있으며, 터보기기 공력설계, 공기 배어링, 내열코팅 등의 관련 핵심기술들은 항공기의 보조동력장치 및 ECS 등의 개발에 직접적으로 적용되기 때문에 향후 정부 및 기업의 적극적 개발지원 및 연구의 활성화가 기대된다.

본 연감에서는 2003년도 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 및 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. 가스터빈 분야의 연구는 2002년과 마찬가지로 터빈 내의 유동현상 규명, 터빈 익 냉각에 관련된 열전달 문제, 시스템 성능해석 및 평가에 관련된 연구가 대부분이었으며 앞서 언급한 바와 같이 마이크로터빈 관련 연구도 다수 발표되었다. 스팀터빈 분야는 성능해석 위

주의 연구가 대부분이었던 2002년과는 다르게 스팀터빈의 공력성능 실험적 평가, 관련 기술동향 소개 등의 다양한 연구가 수행되었다.

2. 유동장 해석

터빈내부의 유동은 허브와 케이싱 및 3차원 익형으로 형성된 환형 통로내부의 3차원 유동으로서 벽면 및 익 표면에서 발생하는 점성 경계층, 2차 유동의 발생, 익의 회전에 의한 원심력 및 전향력, 회전익 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. 터빈의 유동해석 부분은 2002년과 비슷한 수준인 7편의 논문이 발표되었으며, 터빈 익 주변 유동에 대한 실험적 연구가 대부분이었다. 관련 연구로 입사각이 터빈 동익 후류의 난류 구조에 미치는 영향에 관한 연구⁽¹⁾와 끝벽의 형상이 터빈 노즐 안내깃 캐스캐이드내 3차원 유동에 미치는 영향에 관한 연구⁽²⁾가 발표되었다. 터빈 익 냉각을 위한 익 내부유로의 유동장을 열선유속계를 이용하여 측정, 덕트의 회전과 곡률이 평균유동과 난류에 어떤 영향을 주는가에 대한 실험적인 연구⁽³⁾ 또한 발표되었다. 위에서 언급한 연구들이 터빈 익 주변 및 내부의 국소적 유동현상을 규명한데 반하여 터빈 단 전체의 성능 규명에 대한 실험적 연구^(4,5)도 발표되었다. 이 연구에서는 엔진의 장시간 운전에 따른 블레이드 표면의 손상을 등가 모래 거칠기로 정량화 한 후 캐스캐이드가 아닌 실제 터빈단을 회전환경에서 실험하여 블레이드 거칠기가 터빈의 성능에 미치는 영향을 살펴보았다.

한편 터빈 익 주변의 유동특성을 수치해석을 통하여 분석한 연구로 천음속 터빈 익렬유동의 수치해석에서 격자점 선택이 공력성능 예측에 미치는 영향에 관한 연구⁽⁶⁾와 고성능 터빈의 선형 캐스캐이드의 틈에서 누설방

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

향, 압력구배, 누설와류 및 roll-up 등의 누설유동 특성을 3차원 난류계산을 통해 분석한 연구⁽⁷⁾가 수행되었다.

3. 열전달 해석

열전달 해석 부분은 터빈 익 냉각기술과 직접적 연관은 없지만 터빈 익 주변, 허브, 케이싱 등에서의 열전달 및 열 해석에 관련된 연구들을 분류하였다. 2003년에는 주로 터빈 익단 주변의 열전달 현상에 관한 연구가 수행되었다. 모두 2편의 논문이 발표되었는데 나프탈렌 승화법을 이용하여 회전각이 큰 터빈 동익의 팁 누설 영역에서의 열(물질)전달 특성을 실험적 측정하여 열부하 해석을 수행한 연구⁽⁸⁾와 hue검출 방식의 transient liquid crystal technique을 사용하여 터빈 익단 뿐만 아니라 익단 근처의 압력면, 흡입면 shroud에서의 국소 열전달 계수를 측정하는 연구⁽⁹⁾가 수행되었다. 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 층돌제트 냉각, 익 내부에서 표면으로 냉각공기를 분사한 후 막을 형성하여 익을 보호하는 막냉각 등에 대한 것이 대부분이며 본 연감에서도 냉각방식에 따라 2003년도에 발표된 논문을 분류 및 분석하였다.

4.1 내부관 냉각

내부관 냉각에 관련해서는 터빈 익 내부를 모사한 관내에서의 열 및 물질전달 특성을 실험 및 수치해석을 통해 해석한 연구들이 대부분 이었다. 실제 터빈 익 내부유로에는 난류발생을 통한 열전달 향상을 위해 주기적인 유동간섭물이 부착되거나 요철구조를 갖고 있다. 이 같은 구조를 모사하여 췌기형 단락요철이 설치된 덕트를 제작, 덕트의 중회비가 열 및 물질전달에 미치는 영향을 분석한 연구⁽¹⁰⁾가 실험적으로 수행되었다. 실제 터빈 동익의 내부관 냉각은 터빈 익이 회전

하는 환경에서 일어나기 때문에 보다 복잡한 2차유동의 발생으로 고정 익에서 보다 복잡한 열 및 물질전달 특성을 갖는다. 실제와 유사한 조건 하에 내부관 냉각 특성을 살펴보기 위해 요철이 있는 회전하는 채널 내에서 요철의 구조, 회전수 등이 열 및 물질전달에 미치는 영향에 대한 실험적 연구^(11,12)가 수행 되었다. 또한 회전환경 하에서 요철이 있는 채널 내의 열전달 현상을 수치해석을 통해 규명한 연구⁽¹³⁾도 수행되었는데, 이 연구에서 수치해석 방법으로 큰 에디 모사(LES) 모델이 적용되었으며 모델의 적합성을 고정된 요철 부착 채널에서의 실험과의 비교를 통해 검증한 후 회전이 열전달에 미치는 영향을 분석하였다. 한편 이 같은 내부유로의 최적설계에 관련된 논문^(14,15,16)이 발표되었는데, 이 연구에서는 채널 양쪽 벽에 리브가 부착된 경우에 대해, 리브의 폭 대 리브의 높이비(W/H), 리브의 높이 대 채널의 높이비(H/D), 리브간 거리 대 리브의 높이(Pi/H) 그리고 리브의 엇갈림비(A/H)등 네 개의 설계변수에 대해 이차원 열 및 유동해석과 수치최적화기법으로 구배법에 비해 최근 그 장점들이 부각되고 있는 반응면기법(Response surface method)을 결합하여 최적설계를 수행하였다. 목적함수는 열전달 계수와 마찰계수의 선형 결합으로 구성하였고, 설계자의 의도를 반영하기 위한 가중계수를 도입하였다.

4.2 층돌제트 냉각

층돌제트에 냉각과 관련된 연구로는 층돌냉각과 막냉각의 두 가지 효과를 갖는 층돌제트/유출냉각 기법에서 횡방향 유동이 열/물질전달에 미치는 영향에 관한 연구⁽¹⁷⁾, 층돌면에 수직으로 분출되는 층돌제트에 관한 수치해석 조건을 검토하고 이를 바탕으로 요동 층돌제트(분사 노즐이 주기성을 띄며 움직일 때 분출되는 제트) 유동에 대해 분사 노즐의 각도, 요동 주기의 변화에 따른 유동 및 열전달 특성을 분석하고 최적의 조건을 얻고자 하는 연구⁽¹⁸⁾가 발표되었다. 한편 가스터빈 냉각과는 직접적 연관이 없지만 마이크로 스케일에서 Joule-Thomson 효과를 고려한 층돌제트의 냉각특성에 관한 실험적 연구⁽¹⁹⁾도 소개되었다.

4.3 막냉각

국내외적으로 가스터빈 냉각 분야에서 항상 다수의 연구가 수행되었던 막냉각 분야는 2003년도에 단 2편

만이 발표되었다. 가스터빈 익 선단에서 일어나는 열 유동 특성 파악을 위해 원봉으로 모사한 모델 및 열회상 장치를 이용하여 분사비와 분사홀 형상변화가 터빈 익 선단 막냉각 특성에 미치는 영향을 연구한 논문⁽²⁰⁾이 게재 되었으며, 2열 및 3열의 사각홀을 사용한 막냉각에서 높은 난류강도가 막냉각 성능에 미치는 영향에 관한 연구내용⁽²¹⁾이 발표되었다.

5. 가스터빈 개발 및 성능평가

2003년도에 이 분야에서는 기존에 꾸준히 수행되어 왔던 가스터빈 성능해석 및 새로운 응용 시스템에 대한 논문들이 발표 된 것 외에 가스터빈의 정비, 터보젯 엔진의 성능시험 등 다양한 연구들이 소개되었다. 먼저 성능해석과 관련된 연구로 가스터빈의 배열회수를 활용하는 복합발전 시스템과 재생가스터빈에서 배열회수 극대화를 통해 부분부하 성능을 향상시키는 연구⁽²²⁾가 수행되었다. 이 같은 연구를 모티브로 해서 재생사이클로 설계되는 마이크로터빈의 부분부하 운전특성을 심도 있게 다룬 연구⁽²³⁾도 수행되었는데, 이 연구에서 단축 마이크로터빈은 가변회전수로 운전되면 터빈출구온도가 높게 유지되므로 부분부하 효율이 대폭 향상되며 특히 분리축 형태의 마이크로터빈 보다 부분부하효율 특성이 우수함을 밝혔다. 한편 막오염에 의한 압축기 성능 저하가 발전용 가스터빈 설계점 성능에 미치는 영향을 정량화 하는 연구도 성능해석 연구⁽²⁴⁾의 일환으로 수행되었다. 가스터빈은 위에서 보는 바와 같이 정적 운전성능도 중요하지만 시동, 부하변동, 가/감속, 정지 등의 천이운전 시의 성능특성 또한 매우 중요하다. 이와 같은 운전특성을 해석적으로 구하기 위한 수학적 모델과 해석방법을 제시하고 실제 엔진에 적용하여 천이운전을 모사한 연구⁽²⁵⁾가 수행되었다.

엔진의 실험적 성능평가에 관련된 연구로 가스터빈 엔진의 서지마진을 측정하기위한 연료 돌출 방법에 대하여 연구⁽²⁶⁾가 수행되었다. 연료돌출이란 정상상태의 연료 공급상태에서 매우 짧은 시간동안 일정량의 연료를 돌출하는 방법으로써 압축기 성능곡선 상에서 회전수의 변화 없이 토출압을 높이고 유량은 감소시키는 시험방법이다. 이는 서지현상이 일어나더라도 다시 작동선으로 회복할 수 있기 때문에 엔진에 손상을 줄 수 있는 깊은 서지를 피할 수 있는 장점이 있다.

예년과 마찬가지로 마이크로터빈을 이용한 응용시스템의 소개 및 성능특성 분석에 관한 연구결과 들이

발표되었는데, 분산발전의 차세대 동력원으로 주목받고 있는 가스터빈/연료전지 하이브리드 발전시스템에 관한 논문 2편^(27,28)과 마이크로터빈 배열 구동 흡수식 시스템에 관한 논문 1편⁽²⁹⁾이 발표되었다. 2개의 대표적인 하이브리드 형태인 상압형(MCFC 이용) 및 가압형(SOFC 이용) 시스템의 작동원리를 설명하고 이의 성능 및 운전특성을 소개하였다. 한편 마이크로터빈과 흡수식 냉동기를 결합한 응용 시스템에 관한 연구도 수행되었는데, 260~300℃의 범위의 터빈 배기가스를 흡수식 시스템의 열원으로 사용할 경우 일중 또는 이중효용 시스템을 사용하게 되나 이럴 경우 COP와 열회수량이 상충되기 때문에 일중 및 이중효용 시스템을 결합한 시스템을 제안하고 성능해석을 수행하였다.

한편 가스터빈 엔진의 정비와 관련되어 현재 우리나라에서 많이 쓰이고 있는 GE사의 7FA/FA+급 가스터빈의 새로운 정비기법⁽³⁰⁾ 및 고온 부품 재생정비 기술⁽³¹⁾에 관한 논문도 발표되었다.

6. 스팀터빈 및 복합발전

스팀터빈 및 복합발전에 관련된 논문편수는 2002년과 비슷한 수준인 6편이었다. 복합발전 및 화력발전에 관련된 성능해석에 관한 연구로 3중압 열회수 증기발전기 내의 열교환기 배열이 복합발전 시스템의 성능 및 제작비용에 미치는 영향을 상용 해석 프로그램을 이용해 분석한 연구⁽³²⁾와 서울화력발전소에서 가동 중인 137MW급 스팀 발전 시스템의 액서지 및 열경제학적 해석에 관한 연구⁽³³⁾가 수행되었다. 후자의 경우 단열인 경우에만 적용할 수 있었던 액서지 균형식과 비용 균형식은 열전달로 인한 액서지 손실을 고려하여 수정 적용하였다.

1980년대 이후 열효율의 개선을 통한 증기터빈의 효율을 향상시키기 위해 증기조건의 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 연구가 수행되고 있으며 2003년도에도 이와 관련하여 2개의 논문이 발표되었다. 증기조건의 고온/고압화에 따른 증기터빈 설계기술 및 관련 신기술 동향을 소개한 논문⁽³⁴⁾과 스팀터빈의 성능평가⁽³⁵⁾에 관한 논문이다. 후자의 경우 기존의 스팀터빈 성능시험이 익열 이나 소형시험설비에서 수행된 것과는 달리 대형설비를 이용한 성능시험

설비를 구축하고 1단 축류 터빈 로터(1/3 축소모델)에 대해 고온/고압의 수증기를 공기로 상사하여 성능을 평가하였다. 이는 향후 새로운 기술로 설계된 익형의 성능평가 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

이 밖에도 원자력 발전소내의 데이터 취득 시스템으로 얻어진 운전자료를 바탕으로 성능계산 및 분석을 할 수 있는 웹기반 원전 터빈 사이클 운전 분석 시스템 개발에 관련된 연구⁽³⁶⁾가 수행되었으며 측정치의 오차가 성능계산에 미치는 영향을 분석하여 정확한 열소비를 도출에 필요한 방법을 제시한 연구⁽³⁷⁾도 함께 수행되었다.

7. 결론

위에서 살펴본 바와 같이 2003년에 가스/스팀터빈 분야에서도 다른 분야와 마찬가지로 다양한 내용의 연구가 수행되고 발표되었다. 그러나 전년에 비해 15편 정도의 논문편수가 감소한 것은 전년도에 각 학회 별 특별세션(마이크로터빈, 열병합 발전 등)이 있었음을 고려하더라도 그 수가 좀 많은 듯 하다. 이와 더불어 2001 및 2002년도에 게재논문 건수는 각각 25편, 22편 인데 반하여 2003년도 게재논문 건수는 10편에 불과해 게재편수의 감소가 전체 논문편수의 감소를 가져온 것으로 생각된다. 이는 2003년에 새로운 내용의 연구가 학술대회에 다수 발표되었다는 사실과 전년도에 발표되었던 연구내용의 보완을 통한 게재 편수가 적은 것에 기인한 것으로 분석된다. 올해 이 분야 연구의 심화를 통한 게재편수 증가를 기대해 본다.

유동장 및 열전달 해석에 관한 연구는 예년과 비슷한 경향을 보였으며, 터빈 익 냉각 관련 연구 중 막냉각에 대한 연구는 예년에 비해 많이 감소하였다. 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 곧 착수될 한국형다목적헬기 사업 등을 고려할 때 엔진개발 관련 연구가 활발히 진행될 것으로 기대된다. 상대적으로 스팀터빈에 관한 연구는 수직으로 열세에 있지만 산업체를 중심으로 성능해석과 관련된 연구에만 머무르지 않고 성능시험 및 평가에 관련된 연구도 다수 발표되어 이 분야의 지속적인 연구가 수행되고 있음을 알 수 있었다. 올 한해도 이 분야의 연구에 매진하고 계시는 분들의 성공적인 연구 성과를 기대해 본다.

참고문헌

유동장 해석

- (1) 장성일, 이상우, 2003, “입사각이 터빈 동의 후류의 난류구조에 미치는 영향,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 55~62.
- (2) 윤원남, 정진택, 2003, “끝벽의 형상이 터진 노즐 안내깃 캐스케이드내 3차원 유동에 미치는 영향에 관한 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 514~519.
- (3) 김동철, 최영돈, 이진휘, 2003, “횡방향으로 회전하는 90도 정사각 단면 곡덕트에서 발달하는 난류유동의 측정,” 대한기계학회논문집B, Vol. 27, No. 2, pp. 206~214.
- (4) 박일영, 윤용일, 송성진, 2003, “블레이드 표면 거칠기에 따른 터빈 성능저하,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 03S334.
- (5) 박일영, 윤용일, 송성진, 2003, “블레이드 표면 거칠기에 따른 터빈 성능저하,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 92~98.
- (6) 정희택, 정항남, 서영수, 2003, “천음속 터빈 익렬유동의 수치해석에서의 계산격자점 영향,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 03F146.
- (7) Hyon Kook Myong and Seung Yong Yang, 2003, “Numerical Study on Flow Characteristics at Blade Passage and Tip Clearance in a Linear Cascade of High Performance Turbine Blade,” KSME International Journal, Vol. 17, No. 4, pp. 606~616.

열전달 해석

- (8) 이상우, 권현구, 박진재, 2003, “팁간극 영역에서의 동의 표면 일부하 측정,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 03F032.
- (9) 광재수, 2003, “가스터빈 블레이드 팁과 그 주변에서의 열전달 계수,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 03F074.

터빈 익 냉각

- (10) 이동현, 이동호, 조형희, 2003, “췌기형 단락요철이

- 설치된 덕트의 종회비가 열/물질 전달에 미치는 영향,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 03S242.
- (11) 김경민, 김윤영, 이동호, 조형희, 2003, “회전덕트에서 요철 배열 및 회전수 변화에 따른 열전달 특성,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 03S368.
- (12) 김경민, 김상인, 김윤영, 이동호, 조형희, 2003, “90° 요철이 설치된 회전하는 정사각 이차 유로에서의 열/물질전달 특성,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 03F075.
- (13) 안준, 최해천, 이준식, 2003, “요철이 설치된 회전하는 채널 내부의 유동 및 열전달의 큰 에디모사,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 03F033.
- (14) 김홍민, 김광용, 2003, “난류열전달 향상을 위한 엇갈린 리브가 부착된 열전달면의 형상최적설계,” 대한기계학회논문집B, Vol. 27, No. 9, pp. 1351~1360.
- (15) 김홍민, 김광용, 2003, “엇갈린 리브가 부착된 열전달면의 수치최적설계,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 03F125.
- (16) 김홍민, 김광용, 2003, “냉각효율 향상을 위한 경사진 리브의 형상최적설계,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 627~630.
- (17) 남용우, 이동호, 최종현, 조형희, 2003, “충돌제트/유출냉각기법에서 횡방향유동이 열/물질전달에 미치는 영향,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 03S369.
- (18) 박재현, 서용권, 2003, “요동하는 충돌제트에 관한 수치해석적 연구,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 03F161.
- (19) 홍봉환, 황상동, 조형희, 2003, “마이크로 충돌제트에서의 냉각 특성,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 03S285.
- (20) 김성민, 김윤제, 조형희, 2003, “냉각홀 형상 변화에 따른 원형봉 선단의 막냉각 특성 연구,” 유체기계저널, Vol. 6, No. 3, pp. 21~27.
- (21) 김영봉, 이동호, 오민근, 조형희, 2003, “주유동의 난류강도가 엇갈린 배열의 사각홀 하류에서의 온도장 분포에 미치는 영향,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 03F031.
- 전시스템의 부분부하 성능 비교분석,” 유체기계저널, Vol. 6, No. 3, pp. 28~35.
- (23) 김동섭, 황성훈, 2003, “마이크로 가스터빈의 탈설계 운전 성능특성,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 80~87.
- (24) 서진식, 손정락, 김재환, 김동섭, 노승탁, 2003, “막오염에 의한 압축기 성능 저하가 발전용 가스터빈 설계점 성능에 미치는 영향에 관한 연구,” Vol. 6, No. 3, pp. 36~43.
- (25) SooYong Kim and Valeri P. Kovalevsky, 2003, “Investigation of Nonlinear Numerical Mathematical Model of a Multiple Shaft Gas Turbine Unit,” KSME International Journal, Vol. 17, No. 12, pp. 2087~2098.
- (26) 이진근, 김춘택, 이경재, 하만호, 안동찬, 양수석, 이대성, 2003, “가스 터빈 엔진의 서지마진 측정을 위한 연료 돌출 시험,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 88~91.
- (27) 정영현, 김동섭, 2003, “상압 용융탄산염 연료전지와 가스터빈을 결합한 하이브리드 시스템의 성능설계 해석,” 대한기계학회논문집B, Vol. 27, No. 10, pp. 1361~1369.
- (28) 양원준, 김동섭, 김재환, 2003, “가스터빈-가압형 SOFC 하이브리드 시스템의 성능특성 해석,” 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp. 684~691.
- (29) 이용원, 손화승, 최경식, 채정민, 한정욱, 2003, “마이크로 가스 터빈 배열구동 흡수식 시스템에 관한 연구,” 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 742~747.
- (30) 강신호, 정길진, 김대은, “7FA/FA+급 1단 버켓 위한 선정비기법 개발,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 03S367.
- (31) 강신호, 최희숙, 김대은, 2003, “니켈기 초합금 소재 고온부 부품의 재생정비 기술,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 03F073.

스팀터빈 및 복합발전

가스터빈 개발 및 성능평가

- (22) 김동섭, 2003, “배열 이용도를 고려한 가스터빈 발

- (32) Jee-Young Shin, Young-Seok Son, Moo-Geun Kim, Jae-Soo Kim and Yong-Joon Jeon, 2003, “Performance Analysis of a Tripple Pressure HRSG,” KSME International Journal, Vol. 17, No. 11, pp.

1746~1755.

- (33) 김덕진, 정정열, 곽호영, 2003, “스팀 동력 플랜트의 엑서지 및 열경제학적 해석,” 대한기계학회논문집B, Vol. 27, No. 1, pp. 76~83.
- (34) 나운학, 조성일, 신훈, 김영상, 양승현, 2003, “증기 조건 향상에 따른 증기터빈 기술 동향,” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 03S362.
- (35) 임병준, 이은석, 이익형, 김영상, 권기범, “스팀터빈의 공력성능 평가를 위한 공기 상사실험,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 73~79.
- (36) 최기상, 김성근, 최광희, 지문학, 2003, “터빈 사이클 운전 성능 열평형 모델의 개발,” 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp. 692~697.
- (37) 김성근, 유승규, 최광희, 지문학, 2003, “터빈 사이클 열소비율 정확도 추종 모델의 개발,” 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp. 698~702.