

가스 · 스팀터빈 분야 연구동향

곽재수*

1. 서 론

본 특집 기사에서는 2011년 가스/스팀 터빈 분야의 연구 동향 파악을 위해 관련 분야의 논문집인 유체기계저널, 대한기계학회논문집B, 설비공학회논문집, 한국항공우주학회지, 한국추진공학회지에 게재된 논문과 유체기계공업학회의 연구개발발표회, 대한기계학회, 대한설비공학회 등의 학술대회에서 발표된 논문을 조사하였다. 전년도와는 달리 항공용 추진기관에 대한 논문이 게재되는 한국추진공학지의 논문을 추가로 조사하였다. 조사된 논문을 유동장, 열전달, 시험평가 및 성능해석, 그리고 기술 및 현황 소개 등의 주제로 구분하였다. 가스 터빈의 구성품 중 압축기와 팬에 대한 논문과 회전체 동역학 관련 연구는 별도의 연구 동향 분석이 있어 생략하였고 연소, 재료와 열차폐 코팅 등에 관한 연구도 고려하지 않았다.

2. 유동장 관련 연구

터빈 내에서 발생하는 다양한 유동 현상에 대한 해석과 측정에 대한 논문을 '유동장 관련 연구'로 분류하였다.

최형준 등⁽¹⁾은 터빈의 탈설계 성능을 측정하기 위하여 노즐의 설치각을 58°, 65°와 72°로 변경하면서, 노즐의 설치각 변화에 대한 익형에서 표면압 변화의 특성을 파악하였다. 또한 현절비를 1.25, 1.38, 1.67로 변경하면서 현절비 변화에 대한 익형의 표면압 변화를 측정하였다. 송성진⁽²⁾은 표면 거칠기에 의한 가스터빈 성능저하에 대한 연구를 수행하였고, 정의엽 등⁽³⁾은 가스터빈 연소기 Transition Piece 시스템 외부유동의 수치해석적 연구 결과를 발표하였다.

김선웅과 이상우⁽⁴⁾는 터빈 동익 컷백 스켈러팁 하류에서의 3차원 유동 및 압력손실 측정 연구를 수행하였고, 박편구 등⁽⁵⁾은 사각 단면 노즐을 장착한 초음속 터빈유동장의 수치해석 연구를 수행하였다. 박정신 등⁽⁶⁾은 가스터빈 블레이드 스켈러팁에 설치된 립이 캐스케이드 전압 손실 감소에 미치는 영향에 대한 연구 결과를 발표하였고, 김선웅과 이상우⁽⁷⁾는 가스터빈 블레이드 압력면에 설치된 윙렛이 팁 누설 유동에 의한

압력손실에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였으며, 권태웅 등⁽⁸⁾은 스윙과 립의 각도에 따른 부분 흡입형 초음속 터빈의 성능 특성 분석을 위한 유동해석 결과를 제시하였다.

3. 열전달 및 냉각 관련 연구

열전달 관련 연구는 터빈 블레이드 내부 및 외부 열전달 관련 연구와 막냉각 등을 포함한다. 스팀터빈 보다는 가스터빈에 대한 연구가 주를 이루며 전산해석 기법의 발달로 인해 열전달 해석 연구가 많이 발표되고 있지만 여전히 실험적인 연구 결과가 주를 이루고 있다.

황기영과 김유일⁽⁹⁾은 분출냉각의 최근 연구동향 및 가스터빈, 액체로켓 및 극초음속 비행체 엔진에 이의 적용사례를 고찰하였다. 이동명 등⁽¹⁰⁾은 회전하는 이차유로 내 곡관부에 설치된 가이드 베인이 요철면 및 팁 면의 열전달 분포에 미치는 영향을 연구 결과를 발표하였고, 최우성 등⁽¹¹⁾은 500 MW 표준석탄화력 증기터빈과 Retrofit 터빈 로터의 열전달 및 응력 해석을 수행하였다.

김선민 등⁽¹²⁾은 가스터빈 블레이드의 막냉각에서 막냉각 홀의 형상, 측면 방향 분사각, 홀의 주기 및 분사율이 막냉각 효율에 미치는 영향을 해석적으로 연구하였고, 문미애와 김광용⁽¹³⁾은 해석적인 연구를 통해 회전 유로의 곡관부에 설치된 베인의 최적 설계를 수행하였다. 최은영 등⁽¹⁴⁾은 터빈의 냉각 유로에 유입되는 냉각 유체의 속도 분포가 회전 유로의 열전달 계수 분포에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였으며, 정희운 등⁽¹⁵⁾은 가스터빈의 3단 베인 내부유로의 열전달 해석을 수행하여 열전달 성능을 개선하는 연구를 수행하였다.

김상권 등⁽¹⁶⁾은 이산화탄소를 막냉각 유체로 사용하는 경우에 대한 해석적인 연구 결과를 발표하였고, 최은영 등⁽¹⁷⁾은 경사립이 설치된 유로의 회전이 유로 내의 열전달 계수 분포에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였으며, 조종재와 김귀순⁽¹⁸⁾은 가스터빈 내부 유로의 끝벽면 형상 최적화를 위해 비축대칭 끝벽면 형상의 영향을 연구하였다.

4. 시험평가 및 성능해석 관련 연구

터빈 단품이나 시스템의 시험과 평가, 사이클 해석이나 성능

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부
E-mail : jskwak@kau.ac.kr

해석 및 평가를 ‘시험평가 및 성능해석’의 주제로 분류하였다.

이근식과 신중하⁽¹⁹⁾, 신중하와 이근식⁽²⁰⁾은 반동도에 따른 증기터빈의 설계 및 성능 해석을 수행하여 반동도에 따른 최적 깃각도, 출구면적, 노측면적 등의 설계 변수와 터빈 동력, 선도효율, 축방향 추력 등의 성능 변수를 제시하였다. 명노성 등^(21, 22)은 고체산화물 연료전지(SOFC)와 가스터빈을 결합한 하이브리드 발전시스템에서 가스터빈의 규모별 성능 차이가 시스템의 성능에 미치는 영향에 대하여 해석하기 위해 세 가지 출력의 가스터빈을 선정하여 해석하였다.

정성호 등⁽²³⁾은 기존 화력발전 효율을 향상시킨 고효율 발전과 저공해 기술이 결합된 고효율 석탄화력발전시스템 개발 현황을 소개하였고, 강도원 등^(23, 24)은 바이오 가스를 연료로 사용하는 가스터빈의 운전 상태를 모사하여 운전조건에 따른 터빈의 성능을 해석하였다. 양현준 등⁽²⁵⁾은 기존의 가스터빈에 압축기와 터빈의 개조 없이 이산화탄소를 작동 유체로 적용하는 경우에 대한 작동 및 성능 해석을 수행하였고, 강수영과 김동섭⁽²⁶⁾은 탈설계 해석을 통하여 가스터빈에 증기분사를 적용할 때의 압축기 작동 조건 변화에 대한 연구를 수행하였다.

신현동 등⁽²⁷⁾은 마이크로 터빈의 설계점을 선정하고 설계 변수가 터빈의 출력과 효율에 미치는 민감도를 분석하였으며, 전용민과 최중수⁽²⁸⁾는 소형 가스터빈엔진의 예측모델의 수학적 모델을 정의하고 시험데이터를 통해 수학적 모델을 검증하였다. 강수영 등⁽²⁹⁾은 다단 증기터빈의 유량특성을 분석하였고 정격출력운전에서 초과출력을 내고자할 때 사용되는 과부하 밸브의 구동으로 인한 증기터빈의 출력 변화를 분석하였다.

권익환 등⁽³⁰⁾은 예냉각을 적용한 복합발전 시스템의 효율을 증가시키기 위해 예열하는 열원의 종류와 예냉각의 조합에 따른 성능 차이를 분석하였다. 공창덕 등⁽³¹⁾은 신경망 알고리즘을 이용한 UAV용 터보프롭 엔진의 고장진단 방법을 제시하였고, 이창호와 기자영⁽³²⁾은 스마트 무인기용 터보 샤프트엔진의 정상상태 및 천이상태에서의 엔진 성능을 예측할 수 있는 동적 거동 해석 프로그램에 대한 연구 수행하였으며, 홍득의 등⁽³⁵⁾은 고농도 과산화수소와 촉매를 이용한 터빈 출력 장치에 대한 연구 결과를 발표하였다.

그 외에 이항기 등⁽³⁶⁾은 75톤급 개방형 액체로켓의 터보펌프용 터빈의 로터 앞전 두께가 성능 시험에 미치는 영향에 대한 실험적 연구 수행하였고, 박철훈 등⁽³⁷⁾은 FEM 해석과 감속시험 등을 통해 소형 마이크로터빈용 전동발전기의 전동모드에서의 요구동력과 발전모드에서의 요구효율을 결정하는 과정과 결과를 제시하였다.

5. 기술 및 현황소개 관련 논문

새로운 개념 또는 기술의 소개, 설계 결과나 과정의 소개, 과제 진행 현황 등에 대한 논문을 ‘기술 및 현황소개’의 주제로 구분하였다.

장성호 등⁽³⁸⁾은 기존 화력발전 효율을 향상시킨 고효율 발전과 저공해 기술이 결합된 고효율 석탄화력발전시스템 개발 현황을 소개하였고, 강명준 등⁽³⁹⁾은 원자력 발전용 52인치 최종단 회전익의 설계, 제작, 시험 사례를 소개하였다.

이상재 등⁽⁴⁰⁾은 호주 에라링 발전소의 개보수 공사에 대한 전반적인 내용과 기술사항, 설치 및 성능 시험 결과 등을 소개하였고, 홍성진 등⁽⁴¹⁾은 발전용 소형가스터빈 엔진의 운전 및 성능 시험을 위한 제어시스템 개발 내용과 시험 결과를 발표하였다.

이창용 등⁽⁴²⁾은 5MW 발전용 바이오 가스터빈의 Genset package 개발 진행 현황을 소개하였고, 정동관 등⁽⁴³⁾은 초초임계압 1000 MW급 증기터빈의 개발에 적용된 기술을 소개하였다. 임혁수 등⁽⁴⁴⁾과 김동화 등⁽⁴⁵⁾은 각각 복합화력 발전용 대형 가스터빈 개발 기획 현황과 5 MW 발전용 소형 가스터빈의 냉각익의 설계 과정을 소개하였다.

이 외에도 강신호⁽⁴⁶⁾는 가스터빈 산업에서 CNC 깃반 기술의 응용 현황을 검토하고 부품 제조산업과 재생정비 산업의 공정비교와 개발사례를 통해 향후 전망을 제시하였고, 정은환 등⁽⁴⁷⁾은 75톤급 액체로켓 터보펌프용 속도복식 터빈 개발 사례를, 김재환 등⁽⁴⁸⁾은 한국형 기동헬기에 탑재되는 T700/701K 터보 샤프트 엔진의 개발 현황을 소개하였다.

7. 결 론

국내 주요 터빈 관련 학회에 발표된 가스/스팀 터빈 분야의 논문을 바탕으로 2011년 가스/스팀 터빈 분야의 연구 동향을 살펴보았다. 항공추진용 가스터빈에 대한 연구가 주로 게재되는 한국추진공학회지의 게재 논문을 조사 범위에 추가로 포함시켰으나 조사된 논문수는 전년도와 유사하게 나타났다.

소형 가스터빈 엔진과 한국형 헬기사업 관련 과제가 일단락되어 관련 논문의 발표와 게재가 줄어든 것으로 판단되고, 차년도에는 현재 진행되거나 추진되고 있는 소형 열병합 발전용 가스터빈 사업의 후속 사업과 대형 발전용 가스터빈 개발 사업 등과 관련된 논문의 발표가 활발해질 것으로 기대된다.

참고문헌

(1) 최형준, 박영하, 김재실, 조수용, 2011, “분사영역과 터빈 익형 위치에 따른 표면압 변화에 관한 실험적 연구,” 한국항공우주학회지, 제39권, 제8호, pp. 735~743.

(2) 송성진, 2011, “표면거칠기에 의한 가스터빈 성능저하에 대한 연구,” 대한기계학회 2011년도 유체공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 143~143.

(3) 정의엽, 박준수, 문호규, 김경민, 조형희, 2011, “가스터빈 연소기 Transition Piece 시스템 외부유동의 수치해석적 연구,” 대한기계학회 2011년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 108~109.

(4) 김선웅, 이상우, 2011, “터빈 동익 컷백스컬러팁 하류에서의 3차원 유동 및 압력손실, 유체기계저널, 제14권, 제1호, pp. 48~54.

(5) 박편구, 정은환, 김진한, 2011, “사각 단면 노즐을 장착한 초음속 터빈유동장의 수치해석,” 유체기계저널, 제14권 제1호, pp. 55~60.

(6) 박정신, 이원석, 정진택, 광재수, 2011, 가스터빈 블레이드 스컬러 팁에 설치된 림이 캐스케이드 전압 손실 감소에 미치는 영향에 대한 연구, 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 438~439.

(7) 김선웅, 이상우, 2011, “압력면익단소익이 터빈 동익 림누설 영역에서의 압력손실에 미치는 영향,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 553~554.

(8) 권태운, 정수인, 조종재, 김귀순, 정은환, 2011, “스윙과린을 적용한 부분흡입형 초음속 터빈의 성능 특성에 관한 수치적 연구,” 한국추진공학학회지, 제15권, 제2호, pp. 36~43.

(9) 황기영, 김유일, 2011, “고성능비행체 엔진을 위한 분출냉각의 연구동향,” 한국항공우주학회지, 제39권, 제10호, pp. 966~978.

(10) 이동명, 박준수, 김경민, 조형희, 김범수, 2011, “회전하는 이차유로 내 곡관부 가이드 베인이 터빈 블레이드 팁의 열전달에 미치는 영향,” 대한기계학회 2011년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 19~20.

(11) 최우성, 성호, 송기욱, 김범신, 허재실, 2011, “500MW Retrofit 터빈 로터 열전달 및 응력해석에 관한 연구,” 대한기계학회 2011년도 신뢰성부문 춘계학술대회 논문집, pp. 153~154.

(12) 김선민, 이기돈, 김광용, 2011, “막냉각 홀의 측면 방향 분사각, 확장각 및 주기가 막냉각 효율에 미치는 영향,” 대한기계학회 논문집 B권, 제35권, 제9호, pp. 903~913.

(13) 문미애, 김광용, 2011, “회전하는 냉각유로의 곡관부에 부착된 가이드 베인의 형상 최적설계,” 유체기계저널, 제14권, 제1호, pp. 66~76.

(14) 최은영, 이용진, 전창수, 광재수, 2011, “입구 속도 분포가 매끈한 회전유로 내 열전달계수에 미치는 영향,” 유체기계저널, 제14권, 제6호, pp. 76~84.

(15) 정희운, 박준수, 이상훈, 우타관, 조형희, 2011, “가스터빈 3단 베인 내부유로 열전달 해석,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 107~108.

(16) 김상권, 이종철, 김윤제, 2011, “이산화탄소를 이용한 가스 터빈 블레이드 막냉각 특성 연구,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 563~566.

(17) 최은영, 이용진, 전창수, 광재수, 2011, “경사 림이 설치된 회전유로의 입구속도 형상이 유로 내 열전달 계수 분포에 미치는 영향,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 436~437.

(18) 조종재, 김귀순, 2011, “90° 곡관에서 비축대칭 끝벽면을 이용한 열유동 환경 개선,” 한국추진공학학회지, 제15권, 제4호, pp. 1~10.

(19) 이근식, 신중하, 2011, “반동도에 따른 증기터빈의 설계 및 성능해석,” 대한기계학회 2011년도 열공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 346~351.

(20) 신중하, 이근식, 2011, “반동도에 따른 증기터빈의 설계 및 성능해석,” 대한기계학회 논문집 B권, 제35권, 제12호, pp. 1391~1398.

(21) 명노성, 박성구, 김동섭, 2011, “가스터빈의 규모별 성능차이를 고려한 고체산화물 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템의 성능해석,” 대한기계학회 논문집 B권, 제35권, 제4호, pp. 399~407.

(22) 명노성, 박성구, 김동섭, 2011, “연료전지와 가스터빈의 출력비중을 고려한 하이브리드 시스템의 성능 해석,” 대한기계학회 2011년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 155~156.

(23) 강도원, 이종준, 김동섭, 허광범, 2011, “바이오 가스를 사용하는 가스터빈 열병합 시스템의 전부하 및 부분부하 운전특성 해석,” 유체기계저널, 제14권, 제2호, pp. 35~40.

(24) 강도원, 신현동, 김동섭, 허광범, 2011, “바이오가스 연료를 사용하는 소형 가스/증기터빈 복합발전 시스템의 성능특성해석,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 641~646.

(25) 양현준, 강도원, 이종준, 김동섭, 2011, “CO₂를 작동유체로 하는 가스터빈의 성능예측,” 유체기계저널, 제14권, 제2호, pp. 41~46.

(26) 강수영, 김동섭, 2011, “증기분사에 의한 가스터빈 열병합발전 시스템의 성능과 운전조건 변화-압축기 작동 변화를 중심으로,” 유체기계저널, 제14권, 제6호, pp. 68~75.

(27) 신현동, 강도원, 김동섭, 김병휘, 최문경, 2011, “마이크로 가스터빈의 설계민감도 분석,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 639~640.

(28) 전용민, 최종수, 2011, “소형가스터빈엔진의 시동시간 예측모델링기법,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 649~650.

(29) 강수영, 김동섭, 홍기원, 2011, “증기터빈 고압단의열역학적 모델링과 Overloadvalve의 영향 분석,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 440~441.

(30) 권익환, 강도원, 김동섭, 김재환, 2011, “예냉각과 연료예열의 조합에 의한 복합발전 시스템의 성능변화,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 555~560.

(31) 공창적, 임세명, 김건우, 2011, “퍼지와 역전과신경망 기법

- 을 사용한 터보프롭 엔진의 진단에 관한 연구,” 한국추진공학회지, 제15권, 제2호, pp. 1~7.
- (32) 김유일, 민성기, 2011, “터빈엔진시험을 통한 제트연료 변경에 따른 엔진 성능 변화 연구,” 한국추진공학회지, 제15권, 제2호, pp. 23~28.
- (33) 공창덕, 김건우, 김지현, 2011, “LabVIEW를 이용한 터보프롭 엔진의 GUI 기반 온라인 상태감시 프로그램에 관한 연구,” 한국추진공학회지, 제15권, 제3호, pp. 86~93.
- (34) 이창호, 기자영, 2011, “스마트 무인기 추진기관의 천이모사 프로그램 개발,” 한국추진공학회지, 제15권, 제4호, pp. 63~69.
- (35) 홍득의, 안대균, 안준태, 한승호, 2011, “고농도 과산화수소수를 이용한 터빈출력장치 개발,” 대한기계학회 2011년도 재료 및 파괴부문 춘계학술대회 논문집, pp. 253~254.
- (36) 이항기, 정은환, 박편구, 김진한, 2011, “초음속 충동형 터빈의 로터 앞전 두께가 성능 변화에 미치는 영향,” 한국추진공학회지, 제15권, 제4호, pp. 41~47.
- (37) 박철훈, 최상규, 함상용, 2011, “손실을 고려한 500W급 마이크로 가스터빈 발전기용 전동발전기의 요구동력 및 요구효율 선정,” 유체기계저널, 제14권, 제5호, pp. 24~30.
- (38) 장성호, 김범수, 민택기, 2011, “초초임계압(USC) 화력발전기술 개발,” 대한기계학회 2011년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 72~77.
- (39) 강명준, 박성준, 김용석, 이영재, 2011, “원자력 터빈 신규 개발 52 인치 최종단 회전익 소개,” 대한기계학회 2011년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 1~158.
- (40) 이상재, 정구태, 신철규, 남기태, 2011, “호주 에라링 증기 터빈 개보수 공사 사례 연구,” 대한기계학회 2011년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 6~7.
- (41) 홍성진, 김승민, 육심균, 남삼식, 2011, “발전용 소형가스 터빈엔진 제어시스템 개발,” 유체기계저널, 제14권, 제4호, pp. 52~56.
- (42) 이창용, 송재욱, 이성룡, 홍동민, 2011, “5MW급 바이오 가스터빈 Genset Package 개발,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 497~498.
- (43) 정동관, 조성일, 이수연, 나운학, 2011, “1000MW 차세대 화력 증기터빈 개발,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 495~496.
- (44) 임형수, 송성진, 강신현, 2011, “발전용 대형 가스터빈 개발 기획,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 499~500.
- (45) 김동화, 김중석, 김경국, 이창용, 2011, “5MW급 발전용 소형 가스터빈 냉각시스템 설계, 해석 및 평가,” 유체기계공업학회 2011 유체기계 연구개발 발표회, pp. 561~562.
- (46) 강신호, 2011, “가스터빈 산업에서의 CNC 기반기술 응용 현황 및 전망,” 대한기계학회 논문집 B권, 제35권, 제3호, pp. 331~336.
- (47) 정은환, 이항기, 박편구, 김진한, 2011, “75톤급 액체로켓 엔진 터보펌프용 속도복식 터빈개발,” 한국추진공학회지, 제15권, 제3호, pp. 40~46.
- (48) 김재환, 안이기, 이대성, 성옥석, 성인경, 2011, “한국형 기동 헬기 엔진(T700/701K) 개발,” 한국추진공학회지, 제15권, 제4호, pp. 79~84.