

가스 · 스팀터빈 분야 연구동향

곽재수*

1. 서 론

본 특집 기사에서는 2010년 가스/스팀 터빈 분야의 연구 동향 파악을 위해 관련 학회인 유체기계공업학회, 대한기계학회, 대한설비공학회, 한국항공우주학회에서 발간하는 논문집과 학술대회 논문집에 게재된 논문을 조사하였고, 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 연소기와 재료, 열차폐 코팅 등에 관한 연구도 고려하지 않았다.

2. 유동장 관련 연구

터빈 내부에서 발생하는 다양한 유동 현상에 대한 해석과 측정을 '유동장 관련 연구'로 구분하였다.

강정식 등⁽¹⁾은 구심 터빈 베인의 설계점 및 탈설계점에서의 노즐 내부에서 압력장을 측정하여 노즐 내부에서의 마하수 분포를 해석하였고 채병주와 이상우⁽²⁾는 탈설계점에서 작동하는 가스터빈 고압터빈 동익에서 입사각이 틱누설유동에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 홍성국 등⁽³⁾은 5공 프로브의 CO₂ 트레이싱 기법을 이용하여 터빈 입구의 유동 및 온도 분포 특성을 파악하였다. 이 이외에도 가스터빈 내 유동장 측정을 위한 7공 프로브의 벽면 근접 거리가 유동 측정 정확도에 미치는 영향에 대한 연구⁽⁴⁾와 누설이 존재하는 터빈 캐스케이드 후류의 유동장을 5공 프로브와 7공 프로브를 이용하여 측정하고 결과를 비교한 연구⁽⁵⁾가 수행되었다.

3. 열전달 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 결과도 상당수 발표되었다.

김석범 등⁽⁶⁾은 딴플이 설치된 터빈 블레이드 내부 유로에서의 열전달 계수 분포 측정을 통해 유로의 상대적인 높이가 딴플에 의한 열전달 증진에 미치는 영향을 측정하였고 최용덕 등⁽⁷⁾은 가스터빈 블레이드 내부 냉각을 위해 딴플과 딴플을 동시에 적용하고 딴플의 형상과 배치가 복합 냉각 기법에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 조용화 등⁽⁸⁾은 가스터빈 블레이드 뒷전 냉각을 위한 반복 층돌 기법에서 제트의 형상과 배치가 유로의 열전달 계수와 압력손실에 미치는 영향을 측정하였고, 최은영 등⁽⁹⁾은 회전하는 유로의 경사각도가 유로 내부의 열전달 계수에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.

문미애와 김광용⁽¹⁰⁾은 대리모델 기법과 RANS 해석을 통해 곡관부 하류에 핀관이 설치된 회전 유로의 최적 설계를 수행하였고, 김현민 등⁽¹¹⁾은 신경망 회로기법과 RANS 해석을 이용하여 타원형 딴플의 모양, 깊이, 수평 간격 등을 설계 변수로 유동과 열전달 특성의 최적화 연구를 수행하였다.

막냉각에 대한 연구로는 이동현 등⁽¹²⁾이 저속 환형 풍동에서 가스터빈 블레이드 선단에 설치된 막냉각 홀이 블레이드 표면 열/물질전달에 미치는 영향에 대한 연구 결과를 발표하였다.

박준수 등⁽¹³⁾은 가스터빈 1단 블레이드의 내외부 열유동 해석과 열응력 해석을 수행하고 실제 블레이드 파손 사례와 비교하였고, 박준수 등⁽¹⁴⁾은 400,000 rpm으로 회전하는 500W 급 마이크로 가스터빈의 내부의 열전달 해석을 수행하였다.

4. 시험평가 및 성능해석 관련 연구

가스터빈과 스팀터빈을 구분하지 않고 터빈 단품이나 시스템의 시험과 평가, 사이클 해석이나 성능 해석 및 평가를 '시험평가 및 성능해석'의 주제로 구분하였다.

2010년에도 이산화탄소 배출 규제와 관련하여 다양한 이산화탄소 제거 또는 재순환 사이클에 대한 연구와 바이오가스, IGCC 플랜트 관련 사이클에 대한 연구가 많이 발표되었다.

강도원 등⁽¹⁵⁾은 천연가스 또는 바이오 가스를 연료로 사용하는 열병합 시스템에서 분사되는 증기의 온도와 증기량이 가스터빈과 열병합 시스템의 성능에 미치는 영향을 해석하였고, 강수영 등⁽¹⁶⁾은 단순 또는 재생사이클을 갖는 상용 소형 가스터빈에 대해 증기분사 조건을 모델링하고 운전 조건

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

에 따른 시스템 성능을 해석하였다. 강도원 등⁽¹⁷⁾은 바이오 가스를 이용하는 가스터빈에 증기를 분사하는 증기분사 사이클에서 분사되는 증기의 온도와 증기량이 가스터빈과 열병합 발전 시스템에 미치는 영향을 해석하였고, 최정일 등⁽¹⁸⁾은 가스화기가 장착된 SOFC/GT 하이브리드 시스템에서 합성가스의 농도와 부분 부하 운전이 시스템 성능에 미치는 영향을 해석하였다. 또 차규상 등⁽¹⁹⁾은 IGCC 플랜트에서 CO₂ 제거 기술 사용 여부에 따른 가스터빈 작동 특성화 플랜트 성능을 비교 분석하였다.

박병철 등⁽²⁰⁾은 물을 재순환하는 이상적인 순산소 발전시스템의 운전조건과 시스템 구성 변화가 성능에 미치는 영향을 해석하였고, 양현준 등⁽²¹⁾은 이산화탄소를 작동유체로 하는 순산소 연소 가스터빈 발전시스템에서 작동유체의 변화와 탈설계 운전, IGV 조절이 성능에 시스템 성능에 미치는 영향을 해석하였다. 한상조 등⁽²²⁾은 순산소 연소 시스템에 사용되는 구심형 다단 터빈의 설계 결과를 발표하였고 박병식 등⁽²³⁾은 순산소 연소가 적용되고 H₂O를 작동유체로 하는 새로운 복합발전 사이클을 제안하였다.

권익환 등⁽²⁴⁾은 막냉각이 적용된 발전용 가스터빈의 냉각 공기의 예냉각이 가스터빈 성능에 미치는 영향을 해석하였고, 권익환 등⁽²⁵⁾은 발전용 가스터빈에서 노즐 냉각을 위한 공기의 온도와 유량 변화가 가스터빈 성능에 미치는 영향을 해석적으로 연구하였다.

강석훈과 정대현⁽²⁶⁾⁻⁽²⁸⁾은 물을 이용한 사이클보다 낮은 온도에서 터빈을 구동할 수 있는 30kW급의 유기랭킨 사이클을 설계, 제작, 시험하고 그 과정과 결과를 제시하였다.

부분 분사에 대한 연구도 다수 발표되었다. 조종현 등^{(29), (30)}은 선형 익렬에서 부분 분사가 터빈의 작동력과 블레이드 표면압 변화에 미치는 영향을 연구하였고, 조종현 등⁽³¹⁾은 부분 분사 조건에서 작용하는 반경류 터빈에서 부분분사율과 팁 간극, 노즐의 유동각 변화 등이 터빈 성능에 미치는 영향을 연구하였다.

또한 5MW급 소형 발전가스터빈 시스템 개발의 결과물로 해당 가스터빈 엔진의 성능해석과 시험 평가에 대한 논문들도 다수 발표되었다. 홍성진 등⁽³²⁾은 5MW급 가스터빈의 운전 및 성능 시험을 위한 제어시스템 개발 내용과 시험 결과를 소개하였고, 이성룡 등⁽³³⁾은 5MW급 소형 가스터빈의 성능 시험 결과를 소개하였다. 윤태준 등⁽³⁴⁾은 5MW급 발전용 소형가스터빈의 2단 터빈 블레이드에 대해 열전, 기계적 하중 변이를 고려한 터빈 블레이드 수명 예측을 수행하였다.

이 이외에도 권순국 등⁽³⁵⁾은 500MW급 화력 발전 터빈의 저압 최종단 블레이드에 대한 정상상태 유체-구조 연계해석을 수행하였고, 한상조 등은 500W급 초소형 가스터빈 발전기의 열역학적 해석을 수행하였다

최원 등⁽³⁷⁾은 공개된 최소한의 엔진 성능 데이터를 이용하여 항공기 개념 설계 시 사용할 수 있는 엔진 성능 모델을 구

축, 해석하고 엔진 제작사가 공개한 성능과 비교하였다. 양인영과 오중환⁽³⁸⁾은 항공기용 가스터빈 고공환경 시험에 필요한 벤츄리 유량계의 제작 및 측정 불확도에 대한 분석을 수행하였다.

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.

한상조 등⁽³⁹⁾은 발전용 대형 가스터빈의 설계에 필요한 기술들을 개념설계 단계부터 기본, 상세설계 단계에 걸쳐 설명하였고, 최병석 등⁽⁴⁰⁾은 선진 가스터빈 제작사의 발전용 가스터빈 연소기의 기술적 특징과 연소기 개발 현황을 소개하였다

김중석 등⁽⁴¹⁾은 5MW급 발전용 소형가스터빈의 축류터빈 공력설계 과정과 결과를 기술하였고, 김동화 등⁽⁴²⁾은 5MW급 발전용 소형 가스터빈 냉각의 설계 절차와 설계에 적용된 해석 기술을 소개하였다.

정해원 등⁽⁴³⁾은 보일러, 터빈, 발전기 등의 기기를 동일한 제어기를 통해 제어할 수 있는 IMCS (Intergrated Monitoring & Control System) 플랫폼의 개요와 설계를 소개하였다.

전용민 등⁽⁴⁴⁾은 가스터빈엔진의 시동 특성 분석을 위한 중요 특성을 제시하고 관련 연구 기법을 소개하였고, 손영창 등⁽⁴⁵⁾은 압축기 분리형 가스터빈 개념을 소개하였다. 민대기 등⁽⁴⁶⁾은 100MW급 발전용 가스터빈 개발을 위한 기획 사업의 개요와 진행 현황을 소개하였다.

6. 결론

국내 주요 터빈 관련 학회에 발표된 가스/스팀 터빈 분야의 논문을 바탕으로 2010년 가스/스팀 터빈 분야의 연구 동향을 살펴보았다. 2010년에는 유동장에 관한 논문 수는 소수에 그쳤지만 열전달 관련 논문은 상당수 발표되었다. 이산화탄소 배출 규제에 대응하기 위한 새로운 작동 유체에 대한 연구, 화석 연료 고갈에 따른 합성가스 또는 바이오 가스를 연료로 하는 사이클에 대한 연구, 출력 증대를 위한 증기 분사 사이클, 기존의 물이나 연소가스가 아닌 다른 작동유체를 갖는 사이클에 대한 연구 등이 활발히 진행되었다. 또한 5MW급 발전 가스터빈의 개발 원료에 따른 성능 해석과 시험에 대한 논문이 다수 발표되었다.

차년도에는 현재 진행되거나 추진되고 있는 소형 열병합 발전용 가스터빈 사업과 중/대형 발전용 가스터빈 개발 사업 등과 관련된 연구에 관련된 논문들의 활발한 발표가 전망된다.

참고문헌

- (1) 강정식, 임병준, 안이기, 2010, “구심터빈의 노즐 내부 유동에 대한 시험 연구,” 유체기계저널, 제13권, 제1호, pp. 35~41.
- (2) 채병주, 이상우, 2010, “입사각이 터빈 동익 틱누설유동 영역에서의 압력손실에 미치는 영향,” 유체기계저널, 제13권, 제2호, pp. 41~47.
- (3) 홍성국, Peter Ireland, Paul Denman, 2010, “가스터빈 입구에서의 유동 및 스칼라 분포 특성,” 유체기계저널, 제13권, 제4호, pp. 45~50.
- (4) 노영철, 이용진, 박정신, 김학봉, 광재수, 2010, “5공과 7공 프로브를 이용한 터빈 캐스케이드의 이차유동 측정 결과 비교 연구,” 유체기계저널, 제13권, 제6호, pp. 5~12.
- (5) 박정신, 이용진, 노영철, 광재수, 2010, “7공 프로브의 벽면 근접 거리가 3차원 유동 측정에 미치는 영향,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 78~79.
- (6) 김석범, 이용진, 최은영, 전창수, 광재수, 2010, “딴플이 설치된 회전 유로의 높이가 열전달 계수에 미치는 영향에 대한 실험적 연구,” 유체기계저널, 제13권 제3호, pp. 30~36.
- (7) 최용덕, 김석범, 임진용, 김태영, 유진선, 광재수, 2010, “딴플의 형상과 배치에 따른 립~딴플복합 냉각기법의 열전달 특성 연구,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 87~88.
- (8) 조용화, 노영철, 이용진, 광재수, 2010, “반복 충돌제트의 배치와 형상이 유로의 열전달에 미치는 영향에 대한 실험적 연구,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 3~4.
- (9) 최은영, 김석범, 이용진, 광재수, 2010, “핀-핀이 설치된 유로의 회전각도가 열전달 특성에 미치는 영향,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 11~12.
- (10) 문미애, 김광용, 2010, “곡관부 하류에 핀핀이 부착된 회전 냉각유로의 최적설계,” 유체기계저널, 제13권, 제5호, pp. 43~53.
- (11) 김현민, 문미애, 김광용, 2010, “신경회로망기법을 사용한 타원형 딴플유로의 냉각성능 최적화,” 유체기계저널, 제13권, 제6호, pp. 42~50.
- (12) 이동현, 이동호, 김경민, 조형희, 김범수, 2010, “선단에 막 냉각 홀이 설치된 가스터빈 회전 블레이드 표면의 열/물질 전달 계수 측정,” 대한기계학회 2010년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 68~69.
- (13) 박준수, 이동명, 이동현, 김범수, 조형희, 2010, “가스터빈 1단 블레이드 열설계에 관한 연구,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 1~2.
- (14) 박준수, 윤시원, 한상조, 조형희, 2010, “마이크로 가스터빈 내에서의 열 및 온도 분포에 관한 해석적 연구,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 146~147.
- (15) 강도원, 강수영, 김동섭, 허광범, 2010, “바이오 가스를 연료로 사용하는 증기분사 가스터빈 열병합발전 시스템의 성능분석,” 유체기계저널, 제13권, 제6호, pp. 57~62.
- (16) 강수영, 이종준, 김동섭, 2010, “증기분사를 적용한 소형 가스터빈들의 성능 비교 분석,” 대한기계학회 2010년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 7~8.
- (17) 강도원, 강수영, 김동섭, 허광범, 2010, “증기분사가 바이오 가스를 이용한 가스터빈 열병합 시스템에 미치는 영향,” 대한설비공학회 2010년도 하계학술발표대회, pp. 994~999.
- (18) 최정일, 손정락, 송성진, 김동섭, 2010, “합성가스를 연료로 사용하는 고체 산화물 연료전지-가스터빈 하이브리드 시스템의 탈설계점 성능 특성,” 대한기계학회 논문집 B권, 제34권, 제3호, pp. 269~274.
- (19) 차규상, 김영식, 이종준, 손정락, 주용진, 2010, “가스화 복합화력발전 플랜트에서 CO₂제거가 성능에 미치는 영향 해석,” 유체기계저널, 제13권, 제1호, pp. 9~16.
- (20) 박병철, 손정락, 김동섭, 안국영, 강신형, 이영덕, 2010, “물을 재순환하는 순산소 발전시스템의 작동 조건 변화에 따른 성능 해석,” 대한기계학회 논문집 B권, 제34권, 제1호, pp. 35~43.
- (21) 양현준, 강도원, 이종준, 김동섭, 2010, “CO₂를 작동유체로 하는 가스터빈의 성능예측,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 5~10.
- (22) 한상조, 최범석, 유일수, 박무룡, 2010, “순산소 연소용 다단 터빈 개발,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 148~149.
- (23) 박병식, 이영덕, 안국영, 2010, “Proposal and Thermodynamic Characteristics Evaluation of a New Combined Power Generation System under CO₂ Emission Constraints,” 대한기계학회 2010년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 43~48.
- (24) 권익환, 강도원, 김동섭, 2010, “냉각공기 예냉각이 가스터빈 복합발전 성능에 미치는 영향,” 대한기계학회 2010년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, pp. 3497~3502.
- (25) 권익환, 강도원, 김동섭, 손정락, 2010, “냉각 공기의 온도 및 유량 변화가 가스터빈 성능에 미치는 영향,” 대한기계학회 2010년도 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp. 9~10.
- (26) 강석훈, 정대현, 2010, “유기랭킨 사이클 가동 특성 및 효율향상 연구,” 대한기계학회 2010년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, pp. 3732~3738.
- (27) 강석훈, 정대현, 2010, “유기랭킨 사이클 설계 및 제작 연구,” 대한설비공학회 2010년도 하계학술발표대회, pp. 1299~1303.
- (28) 강석훈, 정대현, 2010, “유기랭킨 사이클 개발 및 가동 특성 연구,” 대한설비공학회 2010년도 동계학술발표대회 논문집, pp. 688~693.
- (29) 조종현, 최형준, 정대현, 임용훈, 조수용, 2010, “부분분사에 의한 터빈 익형에서의 작동력 변화에 관한 연구,” 한국항공우주학회지, 제38권, 제9호, pp. 890~899.
- (30) 조종현, 정우천, 최형준, 박영하, 조수용, 2010, “분사영역과 터빈익형 위치에 따른 표면압 변화에 관한 실험적 연

- 구,” 한국항공우주학회 2010년도 춘계학술발표회 논문집, pp. 309~312.
- (31) 조종현, 정우천, 김재실, 조수용, 2010, “다단 소형터빈에서의 부분분사 특성에 관한연구,” 한국항공우주학회지, 제38권, 제9호, pp. 943~954.
- (32) 홍성진, 김승민, 육심균, 남삼식, 2010, “발전용 소형가스 터빈엔진 제어시스템 개발,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 72~77.
- (33) 이성룡, 류제욱, 김수용, 2010, “5MW 발전용 가스터빈 엔진 개발,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 603~604.
- (34) 윤태준, 김동화, 김동훈, 박누가, 석진익, 2010, “5MW 급 발전용 가스터빈 엔진 터빈 블레이드 구조해석 및 수명 평가,” 대한기계학회 2010년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, pp. 556~561.
- (35) 권순국, 이영신, 배용채, 2010, “발전용 저압 터빈 최종단 블레이드의 정적 유체-구조 연계 해석,” 대한기계학회 논문집 A권, 제34권, 제8호, pp. 1067~107.
- (36) 한상조, 박준영, 박무룡, 최범석, 2010, “초소형 가스터빈 사이클 해석,” 대한기계학회 2010년도 춘계학술대회 논문집, pp. 357~358.
- (37) 최원, 유재호, 정인면, 이일우, 2010, “항공기 개념 설계를 위한 가스터빈 엔진 성능 모델 연구,” 한국항공우주학회 2010년도 춘계학술발표회 논문집, pp. 293~296.
- (38) 양인영, 오중환, 2010, “엔진고공시험에서 공기 유량 측정용 벤투리의 제작 및 측정 불확도 분석,” 유체기계저널, 제13권, 제6호, pp. 36~41.
- (39) 한상조, 서정민, 최범석, 2010, “대형 가스터빈 엔진 개발 과정,” 유체기계저널, 제13권, 제4호, pp. 58~62.
- (40) 최범석, 김한석, 조주형, 2010, “대형 가스터빈 연소기 개발 현황,” 유체기계저널, 제13권, 제4호, pp. 63~69.
- (41) 김중석, 이우상, 류제욱, 2010, “발전용 소형 가스 터빈의 축류 터빈 공력 설계,” 대한기계학회 2010년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, pp. 3503~3508.
- (42) 김동화, 이현, 류제익, 2010, “5MW급 발전용 소형 가스 터빈 냉각 익설계,” 대한기계학회 2010년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, pp. 3509~3512.
- (43) 정해원, 이용정, 최병희, 손현우, 김성호, 육심균, 2010, “IMCS 기반 터빈 제어 시스템 설계,” 대한기계학회 2010년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, pp. 1170~1174.
- (44) 전용민, 이동호, 최종수, 2010, “가스터빈엔진의 시동 연구 분석,” 한국항공우주학회 2010년도 춘계학술발표회 논문집, pp. 297~300.
- (45) 손영창, 임찬선, 김명효, 신종섭, 2010, “고성능 SMART 가스 터빈 개념 및 특성,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 605~606.
- (46) 민대기, 송성진, 강신형, 2010, “발전용 대형 가스 터빈 개발 기획,” 유체기계공업학회 2010 유체기계 연구개발 발표회, pp. 607~608.