

2014년 가스·스팀터빈 분야 연구동향

곽재수*

1. 서 론

본 특집 기사에서는 2014년 국내 가스/스팀터빈 분야의 연구 동향을 분석하기 위해 2014년 한국유체기계학회 논문집과 한국유체기계학회 학술대회에 발표된 논문을 조사, 분석하였다. 전년과 마찬가지로 조사된 논문을 유동장, 열전달 및 냉각, 시험평가 및 성능해석, 기술 및 현황 소개 등으로 분류하였다. 압축기, 연소, 베이링, 회전체 동역학 등은 별도로 연구동향을 분석하므로 이 기사에서는 생략하였다.

표 1은 상기 기준으로 분류한 2013년과 2014년도 가스/스팀 터빈 분야의 논문 수를 나타낸 것이다. 전체적인 논문 수는 약간 증가하였고, 특히 열전달 및 냉각 관련 논문의 증가가 두드러졌다. 현재 진행 중인 발전용 및 항공용 가스터빈 개발 사업에서 터빈 입구 설계 온도의 증가에 따라 냉각 설계에 대한 연구가 활발하게 이뤄지기 때문에 관련 논문의 발표 수도 증가하였다. 2013년에는 압축공기 에너지저장 발전 관련 논문이 많이 발표되었지만, 2014년에는 유기랭킨사이클과 초임계 CO₂ 발전시스템에 대한 발표가 상대적으로 증가하였다.

표 1. 분류 기준 별 논문 수

분류 기준	논문 수 (편)	
	2013년	2014년
유동장	6	4
열전달 및 냉각	11	20
시험평가 및 성능해석	10	11
기술 및 현황 소개	12	10
합 계	39	45

2. 유동장 관련 연구

터빈 내의 유동 현상에 대한 논문을 유동장 관련 연구로 분류하였다. 최근 상용 전산유체역학 소프트웨어의 발달로 인해, 대부분의 유동장 연구는 수치해석 적으로 진행되고 있으며, 유동장 분석 연구와 더불어 공력 최적설계에 대한 연

구도 활발히 진행되고 있다.

강영석 등⁽¹⁾은 1000 lbf급 터보팬 엔진의 1, 2단 터빈 블레이드를 설계하고, 상용 해석 소프트웨어를 이용한 설계 검증을 수행하였다. 강영석 등⁽²⁾은 1단 노즐 끝벽의 형상 변화가 터빈 공력 성능에 미치는 영향을 수치해석적으로 연구하였고, 김성규 등⁽³⁾은 증기 터빈의 부분 부하 운전 시, 혼합부내에서의 partial admission된 증기의 유동 특성에 대한 연구를 수행하였다. Mustaffa 등⁽⁴⁾은 다단 축류터빈에서 익렬간의 거리에 변화에 따른 비정상 유동이 공력성능에 미치는 영향을 수치해석적으로 연구하였다.

3. 열전달 및 냉각 관련 연구

터빈 입구 온도의 증가에 따라 가스터빈 부품의 정확한 열부하의 파악과 적절한 냉각법의 적용은 현대 가스터빈 개발에 필수적인 기술이다. 국내 다양한 터빈 개발 사업이 진행중이고, 터빈 입구온도가 재료의 허용 사용온도보다 높게 설계되고 있으므로 국내의 열전달 및 냉각 관련 연구도 활발히 진행되고 있다.

박순상 등⁽⁵⁾은 막냉각 효율 개선을 위한 반외류 홀을 제안하고, 주 막냉각 홀과 보조 막냉각 홀의 각도가 막냉각 효율에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였고, 문영기 등⁽⁶⁾은 주 유동의 난류강도의 분포가 반외류 막냉각 홀의 막냉각 효율에 미치는 영향을 수치해석적으로 연구하였다. 박순상 등⁽⁷⁾은 냉각 유체의 밀도비가 반외류 홀의 막냉각 효율에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 김준희 등⁽⁸⁾과 조문영 등⁽⁹⁾은 각각 반외류 홀과 이중 분사홀의 형상 변화에 따른 막냉각 효율 변화를 수치해석적으로 연구하였다. 이상아 등^(10,11)은 고압터빈 1단 노즐의 압력면에서 fan shape 홀의 배열 최적화 연구를 수행하였고, 박세진 등⁽¹²⁾은 후방 분사 막냉각 홀을 이용한 막냉각 효율 향상 연구를 수행하였다.

김진욱 등⁽¹³⁾은 전산해석에서 난류모델이 가스터빈 열유동 해석 결과에 미치는 영향을 연구하였다. 김현진 등⁽¹⁴⁾과 서도영 등⁽¹⁵⁾은 각각 요철이 설치된 로터 내부 유로의 열전달 특성과 고압터빈 노즐의 뒷전 슬롯 형상에 따른 냉각 특성에 대한 연구를 수행하였다.

정희운 등⁽¹⁶⁾은 항공기용 엔진의 1단 노즐 모델에 대해 열

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

화상 카메라를 이용하여 막냉각 성능을 측정하였고, 김선호 등⁽¹⁷⁾은 핀 냉각과 유출 홀이 동시에 적용된 내부 유로에 대한 열전달 특성을 수치해석적으로 연구하였다. 최석민 등⁽¹⁸⁾은 180도 곡관 유로에서 단락 가이드 베인의 설치에 따른 열전달 특성 변화를, 손호성 등⁽¹⁹⁾은 여러 가지 종회비의 two-pass 유로에서 팁에서의 유출이 열전달 특성에 미치는 영향을 연구하였다. 박정신 등⁽²⁰⁾은 적외선 카메라와 mesh heater를 이용한 열전달 측정기법을 소개하였고, 서재원 등⁽²¹⁾은 신발형 립의 형상이 유로 내부 열전달 계수와 압력 손실에 미치는 영향을 연구하였다.

김진욱 등⁽²²⁾과 박정규 등⁽²³⁾은 각각 항공기용 가스터빈 고압 냉각 터빈 노즐에 대한 복합열전달 해석과 다양한 레이놀즈 응력 난류모델을 이용한 가스터빈 베인의 복합열전달 해석을 수행하였고, 김인겸 등⁽²⁴⁾은 C3X 베인에 대해 열차폐 코팅을 고려한 복합열전달 해석을 수행하였다.

4. 시험평가 및 성능해석 관련 연구

예년과 마찬가지로, 터빈 단품이나 시스템의 시험과 평가, 사이클 해석이나 성능 해석 및 평가를 ‘시험평가 및 성능해석’의 주제로 분류하였다. 2014년에는 유기랭킨 사이클에 대한 발표가 증가하였다.

조수용 등⁽²⁵⁾은 가변 열원에 적용 가능한 유기랭킨 사이클에 대한 연구를 수행하였고 조수용 등⁽²⁶⁾은 유기랭킨 사이클에 적용되는 부분 분사 터빈의 초음속 노즐 설계에 대한 연구를 수행하였다. 강영석 등⁽²⁷⁾은 초임계 이산화탄소를 작동 유체로 하는 초소형 구심터빈의 설계에 대해 발표하였고, 김창민 등⁽²⁸⁾은 복합열병합 발전플랜트에 유기랭킨 사이클을 결합한 복합 발전시스템에 대한 성능 해석을 수행하였다. 강도원 등⁽²⁹⁾은 실제 발전용 가스터빈에서 측정된 데이터를 분석하여 가스터빈 구성부 특성 파라미터 값을 도출하였고, 이를 통해 가스터빈 성능 저하 원인을 분석하였다.

박철훈 등⁽³⁰⁾은 500W급 마이크로 가스터빈 발전기의 회전체와 베어링부의 단열과 냉각 성능을 검증하기 위한 모사실험을 수행하였고, 강정식 등⁽³¹⁾은 한국항공우주연구원에서 구축하는 400℃급 천음속 캐스케이드 시험설비를 소개하였다. 허재성 등⁽³²⁾은 고압 터빈 노즐의 재료가 저주기 피로 수명에 미치는 영향을 분석하였고, 김민재 등⁽³³⁾은 마이크로 가스터빈의 내부 누설이 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 정의엽 등⁽³⁴⁾은 가스터빈 연소기 라이너에 대해 열유동 해석을 수행하여 온도 및 파손 부위 예측을 수행하였고, 진상준 등⁽³⁵⁾은 칠러를 사용한 압축기 유입 공기의 냉각과 연료 예열이 가스터빈 복합발전 시스템의 성능에 미치는 영향을 연구하였다.

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⁽³⁶⁾ 등은 해양 열에너지 변환을 위한 구심 터빈의 설계와 시제품 제작에 대한 연구를 소개하였다. 백영진 등⁽³⁷⁾, 이정익⁽³⁸⁾, 서정민 등⁽³⁹⁾, 차재은 등⁽⁴⁰⁾은 각각 한국에너지기술연구원, 한국과학기술원, 한국기계연구원, 한국원자력연구원에서 수행하고 있는 초임계 CO₂ 발전시스템 개발 현황을 소개하였고, 임동력 등⁽⁴¹⁾은 석탄 등급에 따른 초임계 CO₂ 발전 사이클의 효율을 비교하였다.

류제욱⁽⁴²⁾과 남삼식⁽⁴³⁾은 각각 두산중공업에서 수행하는 대형 발전용 가스터빈 개발 추진 현황과 5MW급 바이오 가스터빈 실증 시험을 소개하였고, 김두기⁽⁴⁴⁾는 MHI 가스터빈의 현장 검수 사례를 소개하였다. 이동호 등⁽⁴⁵⁾은 한국항공우주연구원에서 수행하는 중소형 항공기용 터보팬 엔진의 고압 터빈에 대한 공력 및 냉각설계기술 개발과제를 소개하였다.

6. 결론

2014년 한국유체기계학회 논문집과 한국유체기계학회 학술대회에서 발표된 논문을 바탕으로 2014년 가스/스팀 터빈 분야의 연구 동향을 살펴보았다. 국내에서 진행 중인 대형 가스터빈 발전사업, 중소형 항공기용 터빈 공력 및 냉각 시험 등에 관련된 논문이 다수 발표되었고, 특히 고온부품의 냉각 및 열전달 관련 논문의 발표 건수가 증가하였다. 또한 최근 각광받는 유기랭킨 발전 사이클의 기초연구에 관련된 연구가 급증하였다. 이러한 기조는 향후에는 유지될 것으로 예측되고, 각종 터빈 개발 사업의 진행됨에 따라 논문 수의 증가도 예상된다.

References

- (1) 강영석, 이동호, 차봉준, 양수석, 2014, “다단 축류터빈 공력설계 및 공력성능 향상기법”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 5호, pp.78~82.
- (2) 강영석, 이동호, 차봉준, 2014, “노즐 끝벽 형상에 따른 축류 터빈 성능에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.7~8.
- (3) 김성규, 주원구, 홍기원, 박구하, 2014, “증기 터빈의 부분아크 운전 시 Mixing Zone 불균일 유동 특성의 수치해석적 분석”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.263~264.
- (4) A.F. Mustafa, 김대현, 정진택, 2014, “비정상 유동의 효과가 다단 축류터빈의 공력성능에 미치는 영향”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.357~358.

- (5) 박순상, 박정신, 이상훈, 문영기, 곽재수, 2014, “반와류 홀의 각도가 평판의 막냉각 효율에 미치는 영향 연구”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 5호, pp.5~10.
- (6) 문영기, 박순상, 박정신, 곽재수, 2014, “주유동의 난류강도 분포가 반와류 홀의 막냉각 효율에 미치는 영향”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.353~354.
- (7) 박순상, 문영기, 박정신, 곽재수, 2014, “반와류 홀에서의 냉각유체 밀도비가 막냉각 효율에 미치는 영향 연구”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.309~310.
- (8) 김준희, 김선민, 김광용, 2014, “반와류 홀의 형상 변화가 막냉각 효율에 미치는 영향”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 2호, pp.12~33.
- (9) 조문영, 이종철, 김운제, 2014, “이중분사 홀의 면적비와 분사각 변화에 따른 가스터빈 막냉각 특성 연구”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 3호, pp.59~64.
- (10) 이상아, 김규홍, 이관중, 서도영, 김진욱, 이동호, 강영석, 2014, “고압터빈 노즐 압력면의 확장형상 막냉각 홀 배열 최적화 결과 분석”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.43~44.
- (11) 이상아, 이동호, 강영석, 김진욱, 서도영, 이관중, 2014, “고압터빈 노즐 압력면에서의 확장 형상 막냉각 홀 배열 최적설계”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 6호, pp.52~58.
- (12) 박세진, 이연주, 정의엽, 손호성, 조형희, 2014, “와류 제어에 따른 후방분사 막냉각 효율의 향상 연구”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.351~352.
- (13) 김진욱, 박정규, 강영석, 조이상, 조진수, 2014, “항공기용 가스터빈 엔진의 고압터빈에서 열유동 특성해석을 위한 전산해석기법 연구”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 3호, pp.46~51.
- (14) 김형진, 이상하, 김규홍, 이관중, 이동호, 강영석, 황선우, 2014, “경사요철이 설치된 고압터빈 로터 내부 냉각유로 최적설계”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.45~46.
- (15) 서도영, 황선우, 손창민, 김귀순, 이동호, 차봉준, 2014, “고압 터빈 노즐 후연에 적용된 슬롯 설계에 따른 냉각 특성 연구”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.47~48.
- (16) 정희운, 김선호, 홍창우, 조형희, 이동호, 2014, “항공기용 고압터빈 1단 노즐 냉각성능평가”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.125~126.
- (17) 김선호, 정희운, 최석민, 조형희, 이동호, 2014, “핀을 적용한 충돌유동 복합냉각기술의 성능평가”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.127~128.
- (18) 최석민, 정의엽, 방민호, 조형희, 우타관, 2014, “180° 곡관유로 내에서의 단락 가이드 베인 설치효과에 의한 열전달 특성 분석”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.269~270.
- (19) 손호성, 정희운, 박세진, 한솔, 조형희, 2014, “다양한 중형비의 Two-pass 채널에서 텃 표면의 유출이 냉각에 미치는 영향”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.312~313.
- (20) 박정신, 문영기, 장한나, 곽재수, 2014, “적외선 카메라와 mesh heater를 이용한 4:1 중형비를 갖는 덕트의 열전달 계수 측정”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.307~308.
- (21) 서재원, 김준희, 김광용, 2014, “신발형 리브의 형상변화가 열전달 및 압력 강하에 미치는 영향”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.311.
- (22) 김진욱, 박정규, 조진수, 강영석, 2014, “항공기용 가스터빈의 고압 냉각터빈 노즐에 대한 복합열전달 해석”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.9.
- (23) 박정규, 김진욱, 이세욱, 강영석, 2014, “레이놀즈응력 난류모델을 이용한 가스터빈 베인의 복합열전달 해석”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.10~11.
- (24) 김인겸, 김진욱, 조진수, 이동호, 2014, “내부냉각노즐의 열차폐 코팅을 위한 복합열전달 해석기법 연구”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.49.
- (25) 조수용, 조종현, 제17권 1호, 2014, “가변 열원에서 작동하기 위한 유기랭킨 사이클에 관한 연구”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 1호, pp.12~21.
- (26) 조수용, 조종현, 2014, “유기랭킨사이클용 부분분사터빈의 초음속노즐 설계에 대한 연구”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 6호, pp.5~12.
- (27) 강영석, 허재성, 차봉준, 강정식, 백영진, 2014, “초임계 이산화탄소를 작동유체로 하는 초소형 구심터빈 설계”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.55~56.
- (28) 김창민, 김동섭, 이종준, 2014, “복합열병합 발전플랜트에 유기랭킨사이클 적용 연구”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.271~272.
- (29) 강도원, 김동섭, 2014, “측정 데이터를 이용한 가스터빈 운전 성능 분석”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.349~350.
- (30) 박철훈, 최상규, 함상용, 2014, “500W급 마이크로 가스터빈 발전기 회전체-베어링부의 단열 및 냉각 성능에 대한 실험적 연구”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 3호, pp.19~24.
- (31) 강정식, 이동호, 강영석, 차봉준, 양수석, 김광윤, 2014, “터빈 냉각 연구용 400°C급 천음속캐스케이드 시험 설비 소개”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.129~130.
- (32) 허재성, 이동호, 강영석, 차봉준, 양수석, 서종철, 2014, “고압터빈 노즐의 저주기 피로수명 평가와 재료에 따른 영향성 분석”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.131~132.
- (33) 김민재, 김동섭, 2014, “마이크로 가스터빈 내부누설에 의한 성능 민감도”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.265~266.
- (34) 정의엽, 손호성, 이연주, 조형희, 우타관, 2014, “가스터빈 G11 연소기 라이너의 냉각에 따른 파손 특성 분석”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.267~268.
- (35) 진상준, 정진택, 2014, “칠러를 이용한 입구공기 냉각과

- 연료 예열을 적용한 가스터빈 복합발전의 성능향상에 관한 연구”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp. 355~356.
- (36) 한상조, 서종번, 2014, “20kW OTEC 터빈 개발”, 한국유체기계학회 논문집 제17권 6호, pp.38~43.
- (37) 백영진, 주준현, 김민성, 나호상, 2014, “KIER의 초임계 CO₂ 발전시스템 연구현황”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.15~16.
- (38) 이정익, 2014, “KAIST에서의 초임계 CO₂ 발전시스템 관련 연구 소개”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.17~18.
- (39) 서정민, 박준영, 김영민, 최범석, 임형수, 유일수, 박철훈, 윤석호, 2014, “기계연에서의 초임계 CO₂ 발전시스템 연구현황”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.53~54.
- (40) 차재은, 정홍준, 이정익, 박현선, 2014, “초임계 CO₂ 발전 사이클 개발 현황”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.19~20.
- (41) 임동력, 박성호, 김수현, 김진호, 엄충섭, 2014, “석탄등급에 따른 초임계 CO₂ 발전 사이클 효율 비교”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.57~58.
- (42) 류제욱, 2014, “대형 발전용 가스터빈 개발 추진현황”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.183.
- (43) 남삼식, 2014, “5MW급 바이오 가스터빈 실증시험”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.184.
- (44) 김두기, 2014, “MHI GT 모델 Site Commissioning 사례”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.185.
- (45) 이동호, 강영석, 허재성, 강정식, 차봉준, 양수석, 2014, “중소형 항공기용 터보팬 엔진 고압터빈 공력 및 냉각설계기술 개발과제 소개(III)”, 2014 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.5~6.