

2013년 가스 · 스팀터빈 분야 연구동향

곽재수*

1. 서 론

본 특집 기사에서는 2013년에 한국유체기계논문집 게재된 논문과 한국유체기계학회 학술대회에서 발표된 논문을 조사하여 가스/스팀 터빈 분야의 연구 동향을 분석하였다. 예년에는 관련 학회인 한국항공우주학회, 한국추진공학회, 설비공학회 등에서 발간하는 논문집과 학술대회 논문집도 고려하였으나, 올해는 국내에서 가스/스팀 터빈 관련 연구 논문이 가장 활발하게 발표되는 한국유체기계학회에서 주관하는 논문집과 학술대회 논문집만을 고려하게 되었다. 논문의 구분은 예년과 유사하게 유동장, 열전달 및 냉각, 시험평가 및 성능해석, 그리고 기술 및 현황 소개 등의 주제로 구분하였다. 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.

상기하나 분류 기준에 따른 논문수는 표 1과 같다. 높은 터빈 입구 온도가 요구되는 고효율, 고출력 가스터빈에 대한 사업이 진행됨에 따라 열전달 및 냉각에 대한 필요성 증대로 해당 논문수가 상대적으로 많이 발표되었고, 압축공기 에너지저장 발전(CAES) 등 새로운 개발 사업이 추진됨에 따라 성능해석 관련 논문도 많이 발표되었다.

2. 유동장 관련 연구

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

김현중 등⁽¹⁾은 대형 발전용 중압 증기터빈의 일부를 모델링하여 3차원 유동해석을 수행, 밸런스 홀의 직경이 증기터빈 내에서 발생하는 2차유동의 유량과 압력에 영향을 미치는 연구 결과를 발표하였다. 이충석 등⁽²⁾은 반원형 리브나 그루브가 설치된 가스터빈 내 림실에 대한 3차원 RANS 해석을 수행하여 리브와 그루브의 위치와 크기가 림실의 냉각 효과에 미치는 영향을 연구하였다. 아미드 등⁽³⁾은 1.5단 축류터빈에 대해 블레이드 수를 변화시키면서 클로킹이 터빈 효율에 미치는 영향을 수치해석적으로 연구하였다. 강정식과 차

표 1. 분류 기준 별 논문 수

분류 기준	논문 수 (편)
유동장	6
열전달 및 냉각	11
시험평가 및 성능해석	10
기술 및 현황 소개	12

봉준⁽⁴⁾은 2단 저압 터빈의 노즐 베인에 대한 최적의 클라킹 위치를 찾기 위한 실험을 수행하였고, 이를 통해 0.69%의 기계적 효율 상승을 얻어낸 결과를 발표하였다. 김명균 등⁽⁵⁾은 부분부하 상태에서 작동하는 증기터빈에 대한 LES 해석을 통해 유로의 부분적 차단이 정압과 동익에 미치는 영향에 대한 연구 결과를 발표하였다. 장원준 등⁽⁶⁾은 두 가지 간극과 세 가지 난류강도 조건에서 간극과 난류강도가 터빈 캐스케이드의 손실과 이차유동에 미치는 영향을 연구 결과를 발표하였다.

3. 열전달 및 냉각 관련 연구

열전달 관련 연구는 터빈 블레이드 내부 및 외부 열전달 관련 연구와 막냉각 등을 포함한다. 작동 온도의 특성 상, 스팀터빈 보다는 가스터빈에 대한 연구가 주를 이루며 다양한 실험 기법과 전산해석 기법 결과가 발표되었다.

박순상 등⁽⁷⁾은 막냉각 효율 향상을 위한 반외류에 의한 막냉각 효율을 압력감응포인트 (PSP)를 이용하여 측정된 결과를 발표하였다. 김진욱 등⁽⁸⁾은 전산해석을 통해 C3X 베인을 대상으로 난류모델과 점성항, 천이모델이 베인 표면 압력과 온도 예측에 미치는 영향을 연구하였다. 이상아 등⁽⁹⁾은 항공용 가스터빈 엔진의 냉각터빈 노즐 내부 냉각 유로 요철의 각도와 피치, 높이를 변수로 열성능 계수를 최적화 하는 연구를 수행하였다. 정희윤 등⁽¹⁰⁾은 터빈 블레이드 내부 유로의 열전달 증진에 널리 사용되는 요철냉각기법의 성능 향상을 위해 교차요철을 적용한 실험적 연구 결과를 발표하였다. 강동범 등⁽¹¹⁾은 나프탈렌승화법을 적용하여 틱간극의 높이가 가스터빈 동익 스킨러 틱 표면의 열/물질전달에 미치는 영향을 연구하였다. 박세진 등⁽¹²⁾은 전산해석기법을 이용하여 터빈 블레이드 내의 요철의 높이와 간격의 제작 공차가 블레이드 냉각에 미치는 영향을 연구하였다. 박준수 등⁽¹³⁾은 블레이드

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

드 상류에서 발생하는 불안정 유동이 바닥면 막냉각 효율에 미치는 영향을 나프탈렌 승화법을 적용하여 연구하였다. 이상훈 등⁽¹⁴⁾은 블레이드 팁 간극 누설유동을 차단하기 위해 제안된 이중 캐비티 팁 표면의 막냉각 효율을 PSP 기법으로 측정하였다. 최석민 등⁽¹⁵⁾은 터빈 블레이드 내부 유로를 모사하는 삼각 유로의 중형비 변화가 유로 내 유동과 열전달 계수 변화에 미치는 영향에 대한 전산해석적인 연구를 수행하였다. 조문영 등⁽¹⁶⁾은 두개의 막냉각 홀을 조합한 이중분사 홀의 면적비와 분사각이 막냉각 효율에 미치는 영향을 전산해석적인 기법을 이용하여 연구하였다. 손호성 등⁽¹⁷⁾은 터빈 블레이드의 앞전 냉각을 위한 층돌 냉각의 열성능 향상을 위해, 층돌 제트의 형상 변화가 내부 열전달 계수와 유동에 미치는 영향을 전산해석적인 기법을 통해 연구하였다.

4. 시험평가 및 성능해석 관련 연구

터빈 단품이나 시스템의 시험과 평가, 사이클 해석이나 성능 해석 및 평가를 '시험평가 및 성능해석'의 주제로 분류하였다.

남삼식 등⁽¹⁸⁾은 두산중공업에서 개발한 5MW 가스터빈의 실증시험을 위한 바이오 가스를 연료로 사용하는 열병합 실증플랜트 구축과 실증시험 평가 절차에 대해 발표하였다. 조수용 등⁽¹⁹⁾은 소용량 발전을 위한 냉매를 작동유체로 하는 유기랭킨 사이클을 설계하고 설계조건과 탈설계 조건에서의 성능 해석을 수행하였다. 진상준 등⁽²⁰⁾은 터빈으로 유입되는 공기의 냉각을 위해 제안된 수축열 냉각 시스템을 기존의 질러를 이용한 방법과 비교하였고, 이를 통해 입구 공기의 온도별 수축열 냉각 시스템의 경제성 평가를 수행하였다. 김영민과 김석준⁽²¹⁾은 여러 가지 압축공기저장 발전방식에 대한 엑서지 분석을 통해, 각 방식의 저장효율을 비교 분석하였다. 최주환 등⁽²²⁾은 다양한 압축공기 에너지 저장 발전시스템(CAES)에 대한 열역학적 성능해석을 통해 각 방식의 열성능을 비교하였다. 최주환 등⁽²³⁾은 국내에서 운용 중인 가스터빈과 CAES 연계 가능성을 고찰하기 위해 특정 가스터빈 모델을 다양한 CAES 방식에 적용, 성능을 비교 분석하였다. 우진춘 등⁽²⁴⁾은 가스터빈에 연료로 사용되는 LNG의 수입처, 수이시기, 시료 채취 및 측정 기법별로 성분과 발열량 차이를 검토하기 위한 연구를 수행하였고, 중요한 메탄 함량과 발열량은 수입 시기나 측정 기법에 따라 큰 차이가 나지 않음을 보였다. 장혁준 등⁽²⁵⁾은 전산해석기법을 이용하여 초초임계압 증기터빈용 고압터빈의 성능 특성을 예측하였다. 박준철 등⁽²⁶⁾은 천연가스용으로 개발된 두산중공업 5MW급 발전용 터빈에 바이오가스 연소기를 장착할 경우에 대한 비정상상태 성능해석 결과를 발표하였다. 서정민 등⁽²⁷⁾은 초소형 가스터빈 발전기의 시제품에 대한 시험리그를 구성하고 시동 및 자가구동 시험기법에 대해 발표하였다.

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.

서종철 등⁽²⁸⁾은 터보팬 엔진의 고압 터빈 노즐의 냉각 계통 설계 사례를 소개하였다. 장병문 등⁽²⁹⁾은 터빈 블레이드 주조 시, 고형화 속도와 온도 구배가 고온 재료의 방향성 결정립 형성에 미치는 영향을 소개하였다. 이병화 등⁽³⁰⁾은 스팀터빈 블레이드에 작용하는 원심 응력 분포를 예측할 수 있는 해석모델을 개발하기 위해 전산해석과 검증실험을 수행하였다. 이상아 등⁽³¹⁾은 크리킹 근사모델을 이용한 최적화 기법을 통해 터보팬 엔진 고압터빈 노즐의 공력성능 최적화 연구를 수행하였다. 이창용 등⁽³²⁾은 가스터빈의 냉각 블레이드에 적용되는 냉각설계 기술의 개발 동향을 조사하여 발표하였다. 김낙점 등⁽³³⁾은 터빈 케이싱에 적용되는 대형 볼트의 분해 조립을 용이하게 할 수 있는 유도가열 시스템 개발 사례를 소개하였다. 노영철 등⁽³⁴⁾은 전투기에 적용되는 ACM(Air Cycle Machine)용 반경 터빈에 대한 공력설계, 구조설계, 디스크 및 블레이드 응력해석 결과를 소개하였다. 이동호 등⁽³⁵⁾은 한국항공우주연구원에서 수행 중인 터보팬 엔진 고압터빈의 공력 및 냉각설계 기술 개발 과제의 진행 상황 중 고압터빈 공력설계 및 최적화, 냉각 및 구조설계/해석, 그리고 시험평가 준비 현황을 소개하였다. 강영석 등⁽³⁶⁾은 항공용 가스터빈 엔진에 적용되는 다단 축류 터빈의 설계 절차를 소개하였다. 이상아 등⁽³⁷⁾은 항공용 가스터빈 엔진의 고압터빈 노즐 및 로터 블레이드의 공력 형상 최적화를 위해, 먼저 민감도 해석으로 터빈 효율에 영향을 미치는 형상변수를 파악한 후, 근사모델을 이용한 최적화 기법을 이용하여 노즐과 로터 블레이드의 형상 최적화를 수행하였다. 이상훈 등⁽³⁸⁾은 한국항공대학교에서 수행 중인 가스터빈 블레이드 팁 형상 최적화 연구를 소개하고, 블레이드 형상이 열전달 및 유동 현상에 미치는 영향을 고찰하기 위한 다양한 시험 기법을 소개하였다. 허재성 등⁽³⁹⁾은 단결정 재료가 적용된 항공용 고압터빈노즐에 대해, 형상 변경이 구조적 안정성에 미치는 영향을 고찰하고, 설계 개선 방향을 제시하였다.

6. 결론

한국유체기계학회의 논문집과 학술대회에서 발표된 논문을 바탕으로 2013년 가스/스팀 터빈 분야의 연구 동향을 살펴보고, 현재 진행되고 있는 대형 발전용 가스터빈 개발사업, 5MW 가스터빈 실증사업, 항공용 냉각 블레이드 개발사업 등에 관련된 연구 내용이 다수 발표되었고, 추진 중인 압축공기 에너지저장 발전시스템에 대한 논문도 다수 포함

되었다. 가스/스팀터빈 관련 논문은 2013년도 한국유체기계학회 학술대회에 발표된 논문 수 중 22%를 차지하고 있으며, 추후 다양한 가스터빈 개발 사업이 진행 또는 추진되고 있어 관련 논문의 발표가 더 활발해질 것으로 기대된다. 다만 학술대회에서 발표된 논문 수에 비해 논문집에 게재된 논문 수가 적게 조사되어, 논문집 게재 논문의 증대를 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

(1) 김현중, 김영상, 박정진, 김진환, 2013, “증기터빈 벨런스 홀 직경이 회전자-고정자 간극 내부 유동에 미치는 영향에 관한 수치해석적 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.123~124.

(2) 이충석, 문미애, 김광용, 2013, “반원형 리브 혹은 그루브가 부착된 림실에 대한 연구”, 한국유체기계학회 논문집, 제16권 3호, pp.39~47.

(3) 아미드 피크리, 이승엽, 김대현, 정진택, 2013, “1.5단 축류터빈의 블레이드 수 변화에 따른 클로킹 효과의 수치해석적 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.26~27.

(4) 강정식, 차봉준, 2013, “2단 저압터빈에서 노즐 베인 클라킹에 대한 실험적 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.24~25.

(5) 김명균, 강명석, 유동현, 2013, “축류 증기터빈 제어단에서의 비정상 유동특성에 관한 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.29~30.

(6) 장원준, 안영모, 송성진, 2013, “터빈 캐스케이드에서 틱간극과 난류강도가 공력성능에 미치는 영향”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.125~126.

(7) 박순상, 이상훈, 문영기, 박정신, 곽재수, 2013, “Anti~vortex 홀이 적용된 평판에서 PSP기법을 이용한 막냉각 효율 측정 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.91~92.

(8) 김진욱, 박정규, 강영석, 조이상, 조진수, 2013, “항공기용 가스터빈 엔진의 고압터빈에서 열유동 특성해석을 위한 전산해석기법 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.116.

(9) 이상아, 이세일, 이동호, 김규홍, 2013, “고압터빈 노즐 내부 냉각 유로 요철 형상 최적화”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.139~140.

(10) 정희운, 박준수, 주원구, 이동호, 조형희, 2013, “경사진 요철이 설치된 사각 채널에서 교차요철이 열전달 향상에 미치는 영향에 관한 실험적 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.141~142.

(11) 강동범, 문현석, 이상우, 2013, “팁 간극 높이가 전면스칼러팁 표면의 열전달 특성에 미치는 영향”, 한국유체기계학회 논문집, 제16권 6호, pp.19~25.

(12) 박세진, 손호성, 김선호, 장병문, 조형희, “터빈 내부 유로에 설치된 요철의 제작 공차가 냉각에 미치는 영향”,

2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.63~64.

(13) 박준수, 정의엽, 최석민, 김범수, 장병문, 조형희, “입구에서 발생한 불안정 유동이 바닥면 막냉각효율에 미치는 영향”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.65~66.

(14) 이상훈, 박정신, 박순상, 문영기, 곽재수, 2013, “PSP를 이용한 이중 캐비티를 갖는 터빈 블레이드 틱에서의 막냉각 효율 측정 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.67~68.

(15) 최석민, 박세진, 김선호, 윤남건, 조형희, 2013, “삼각 냉각 유로에서의 중형비에 따른 열전달 특성 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.94~95.

(16) 조문영, 이종철, 김윤제, 2013, “이중분사 홀의 면적비와 분사각 변화에 따른 가스터빈 막냉각 특성 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.93~94.

(17) 손호성, 정희운, 정의엽, 윤남건, 조형희, 2013, “터빈 전연부 냉각을 위한 배열충돌체의 열전달 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.119~120.

(18) 남삼식, 박종승, 박준철, 홍성진, 2013, “5MW 발전용 가스터빈 실증시험”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.149~150.

(19) 조수용, 조종현, 김진환, 2013, “냉매(R245fa)를 이용한 유기랭킨 사이클에 관한 연구”, 한국유체기계학회 논문집, 제16권 3호, pp.5~9.

(20) 진상준, 이충환, 정진택, 2013, “수축열 시스템을 이용한 입구 공기냉각에 의한 가스터빈 시스템의 성능 및 경제성 분석”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.121~122.

(21) 김영민, 김석준, 2013, “다양한 차세대 압축공기저장(CAES) 발전시스템의 에너지 및 엑서지 분석”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.171~173.

(22) 최주환, 김동섭, 손정락, 2013, “압축공기 에너지 저장(CAES) 발전시스템 성능 분석: Part 1 ~ 사이클 성능해석”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.174~175.

(23) 최주환, 김동섭, 손정락, 2013, “압축공기 에너지 저장(CAES) 발전시스템 성능 분석: Part 2 ~ 상용 가스터빈 활용”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.176~177.

(24) 우진춘, 배현길, 김용두, 이강진, 허재영, 2013, “액화 천연가스 시료 채취 및 측정법에 따른 성분별 함량 변화의 비교 연구”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.178~179.

(25) 장혁준, 강수영, 김동섭, 2013, “CFD를 이용한 USC용 고압 증기터빈의 성능특성 예측”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.202~203.

(26) 박준철, 박종승, 남삼식, 2013, “바이오가스를 이용한 가스터빈 엔진의 시동성능 분석”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.204~205.

(27) 서정민, 임형수, 최범석, 박준영, 박무룡, 2013, “초소형 가스터빈 발전기의 시동 및 자가구동 시험”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.206~207.

(28) 서종철, 김경우, 황선우, 손창민, 김귀순, 이동호, 차봉준, 2013, “가스터빈 엔진 고압 터빈 1단 노즐의 냉각계통 설계”, 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.137~138.

- (29) 장병문, B.G. Yun, S.H. Kwon, J.S. Lee, J. H. Lee, 2013, "Solidification Microstructure Map of Directional Solidification Superalloy CM 247LC", 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.146.
- (30) 이병학, 박종호, 2013, "스팀 터빈 블레이드 원심응력 추정을 위한 전산해석 연구", 한국유체기계학회 논문집, 제 16권 6호, pp.26~31.
- (31) 이상아, 이세일, 강영석, 이동호, 이동호, 김규홍, 2013, "터보팬 엔진 고압터빈 노즐에 대한 크리킹 모델 기반 근사모델의 신뢰도 및 공력성능 최적화 연구", 한국유체기계학회 논문집, 제16권 6호, pp.32~39.
- (32) 이창용, 김동화, 안윤호, 2013, "가스터빈 냉각의 냉각설계 기술개발 동향", 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.60~61.
- (33) 김낙점, 최광민, 이정우, 2013, "터빈케이싱 히팅볼트 유도 가열 시스템 개발", 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.147~148.
- (34) 노영철, 백승윤, 유재훈, 오원규, 김명환, 2013, "전투기 Cockpit용 ACM의 반경 터빈 설계", 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.151~152.
- (35) 이동호, 강영석, 허재성, 강정식, 김춘택, 차봉준, 양수석, 2013, "중소형 항공기용 터보팬 엔진 고압터빈 공력 및 냉각설계기술 개발과제 소개(II)", 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.110~111.
- (36) 강영석, 이동호, 차봉준, 양수석, 2013, "다단 축류터빈 공력설계 및 공력성능 향상기법", 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.113.
- (37) 이상아, 이세일, 강영석, 이동호, 이동호, 김규홍, 2013, "항공기용 가스터빈 엔진 고압터빈 노즐 및 로터의 공력형상 최적 설계", 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.114~115.
- (38) 이상훈, 박정신, 광재수, 2013, "한국항공대학교 가스터빈 블레이드 팁 형상 최적화 연구 소개", 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.117~118.
- (39) 허재성, 강영석, 이동호, 서종철, 차봉준, 양수석, 2013, "가스터빈엔진의 고압터빈노즐 형상변화에 따른 구조 건전성 영향 평가", 2013년 한국유체기계학회 학술대회 초록집, pp.143~144.