

## 2015년 가스·스팀터빈 분야 연구동향

곽재수\*

### 1. 서 론

2015년 국내 가스/스팀터빈 분야의 연구 동향을 분석하기 위해 2015년 한국유체기계학회 논문집과 한국유체기계학회 하계 및 학술대회에 발표된 논문을 조사, 분석하였다. 전년과 마찬가지로 조사된 논문을 유동장, 열전달 및 냉각, 시험평가 및 성능해석, 기술 및 현황 소개 등으로 분류하였다. 압축기, 연소, 베이킹, 회전체 동역학 등은 별도로 연구동향을 분석하므로 이 기사에서는 생략하였고, 포스터 발표 또한 제외하였다.

표 1은 2014년과 2015년도 가스/스팀 터빈 분야로 구분된 논문 수를 나타낸 것이다. 한국유체기계학회에서는 2014년까지 동계 학술대회만 개최하였으나, 2015년부터 하계와 동계 학술대회를 각각 개최하기로 하였다. 이에 따라 발표 논문의 수가 증가하는 경향을 보이고 있다. 전년과 마찬가지로 열전달과 열구조에 관련된 논문 수가 많았는데, 진행 중인 각종 터빈 개발 사업에서 터빈 고온부 설계의 중요성이 강조됨에 따라 나타나는 현상으로 파악된다. 기존 개발 사업이 진행됨에 따라 새로운 기술 및 현황 소개 분야는 논문수가 줄어들었다.

표 1 분류 기준 별 논문 수

분류 기준	논문 수 (편)	
	2014년	2015년
유동장	4	8
열전달 및 냉각	20	22
시험평가 및 성능해석	11	18
기술 및 현황 소개	10	3
합계	45	51

### 2. 유동장 관련 연구

터빈 내의 유동 현상과 공력 설계에 대한 논문을 유동장 관련 연구로 분류하였다.

봉선우와 이상우<sup>(1)</sup>는 항공용 터빈 1단 동익과 정익 캐스케

이드에서 3차원 유동과 압력손실 측정 결과를 발표하였다. 공동재 등<sup>(2)</sup>은 선형 압축기 캐스케이드에서 블레이드 표면 거칠기가 혼합 손실에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 김윤기 등<sup>(3, 4)</sup>은 1단 고압 터빈에서 린각과 스윙각의 설계를 최적화하는 연구를 수행하였다. 방명환 등<sup>(4)</sup>은 터빈 끝벽의 누설 유동이 공력 성능에 미치는 영향을 연구하였고, 김인원 등<sup>(5)</sup>은 3차원 끝벽을 이용한 공력 손실 저감 연구를 수행하였다. 김인원 등<sup>(6)</sup>은 가스터빈 입구덕트에서의 액적 유동에 대해 연구하였고, 김동찬 등<sup>(7)</sup>은 포텐셜 코어 밖에서의 원기둥과 원형 제트 충돌에 의한 유동과 열전달 계수 분포를 연구하였다.

### 3. 열전달 및 냉각 관련 연구

현재 진행 중인 각종 가스터빈 개발 사업에서, 터빈 입구에서의 연소가스 온도는 이전의 설계에 비해 높은 값을 갖는다. 이에 의해 가스터빈 고온 부품의 열부하 분석과 냉각 기법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

가스터빈 블레이드 내부 유로의 열전달 연구로는 장한나 등<sup>(9)</sup>, 서재원 등<sup>(10)</sup>, 한솔 등<sup>(11)</sup>이 각각 립/돌출, 신발형 립, 곡과부 가이드 베인이 블레이드 내부 유로의 열전달 계수와 압력 강하에 대한 연구를 발표하였다.

진행 중인 각종 가스터빈 개발 사업에서 블레이드의 설계가 구체화 됨에 따라, 블레이드 내외부 열전달을 동시에 고려하는 복합 열전달 해석에 대한 연구도 활발히 진행되었다. 강영석 등<sup>(12, 13)</sup>은 2차 유로와 열차폐 코팅이 고려된 고압 터빈 단의 열유동에 대한 복합 해석을 수행하였고, 김인겸 등<sup>(14)</sup>과 김진욱 등<sup>(15)</sup>은 각각 냉각 터빈 노즐에 대한 복합 열전달 해석을 수행하였다.

김진욱 등<sup>(16)</sup>과 박정신 등<sup>(17)</sup>은 각각 블레이드 팁의 캐비티 높이와 형상이 공력과 팁 열전달에 미치는 영향을 연구하였다. 정희운 등<sup>(18)</sup>은 열화상기법을 이용한 가스터빈 1단 노즐의 열전달 계수를 측정하였고, 김정주 등<sup>(19)</sup>과 김민기 등<sup>(20)</sup>은 각각 노즐 베인의 끝벽 형상에 따른 열전달 및 유동에 대한 연구를 수행하였다.

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

막냉각에 대한 연구도 활발하게 진행되었다. 김예지 등<sup>(21)</sup>은 플라즈마 발생기를 이용한 막냉각 효율 증진에 대한 연구를 수행하였고 김준희와 김광용<sup>(22)</sup>은 크레이터가 적용된 막냉각 홀 형상의 영향에 대해 연구하였다. 김예지 등<sup>(23)</sup>은 반외류홀과 팬형상 홀의 막냉각 효율을 비교하였고, 김인겸 등<sup>(24)</sup>은 트렌치가 적용된 막냉각 홀에 대한 복합열전달 해석을 수행하였다. 이상아 등<sup>(25)</sup>은 터빈 노즐의 압력면에서 막냉각 홀의 배열 최적화를 수행하였다. 정희운 등<sup>(26)</sup>과 이동호 등<sup>(27)</sup>은 각각 1단 노즐과 환형 터빈 노즐에서의 막냉각 효율을 실험적으로 연구하였다.

이 외에도 손호성 등<sup>(28)</sup>과 방제성 등<sup>(29)</sup>, 허재성 등<sup>(30)</sup>은 각각 가스터빈의 운전 주기와 열-기계적 해석, 재료 결정립계 방향을 고려한 터빈 블레이드 열전달 연구를 수행하였다.

#### 4. 시험평가 및 성능해석 관련 연구

새로운 사이클의 해석이나 시스템 성능 해석 및 평가를 ‘시험평가 및 성능해석’의 주제로 분류하였다. 2014년과 마찬가지로 유기랭킨 사이클에 대한 연구가 많이 발표되었다.

김정호 등<sup>(31, 32)</sup>은 성능 해석용 프로그램을 개발하고, 이를 이용하여 압축기와 터빈 성능 저하에 따른 마이크로 가스터빈의 성능 영향을 연구하였다. 최병선 등<sup>(33)</sup>은 보정곡선을 이용하여 열병합 발전시스템의 성능 해석을 수행하였고, 이재홍 등<sup>(34)</sup>은 발전소의 운전데이터를 이용하여 열병합발전 플랜트의 전력공급능력을 분석하는 연구를 수행하였다. 강도원과 김동섭<sup>(35)</sup>은 가스터빈의 성능저하를 분석하는 방법에 대한 연구를 발표하였다. 권혁민 등<sup>(36)</sup>은 H급 가스터빈 복합화력 발전플랜트의 성능 민감도 해석을 수행하였고, 김민재 등<sup>(37)</sup>은 가스터빈 하부사이클의 동적거동 모사에 지배방정식이 미치는 영향을 발표하였다. 김선호 등<sup>(38)</sup>은 초임계 이산화탄소를 이용한 냉각터빈의 냉각성능 민감도 분석을 수행하였다.

2015년에도 유기랭킨 사이클에 대한 많은 연구 결과가 발표되었다. 김인섭 등<sup>(39)</sup>과 최병선 등<sup>(40)</sup>은 각각 축열열과 순산소연소를 이용한 유기랭킨 사이클에 대한 연구를 수행하였고, 조수용과 조종현<sup>(41, 42, 43)</sup>은 가변열원, 작동유체의 물성치, 부분분사형 축류 터빈이 유기랭킨 사이클에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.

이 외에도 증기의 감온, 감압 과정에서의 손실 감소 방안 분석<sup>(44)</sup>과 증기터빈의 과부하 밸부 운전에 대한 해석적 연구<sup>(45)</sup>가 수행되었다.

서도영 등<sup>(46)</sup>은 고압 터빈 노즐의 내부 냉각의 열전달 상사 시험을 위한 모델 개발 사례를 발표하였고, 방제성 등<sup>(47, 48)</sup>은 블리스크 형 천음속 팬의 강제유동 및 고주기 피로에 관한 연구를 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.

이동호 등<sup>(49)</sup>은 천음속 환형 터빈 캐스케이드 구축 현황과 시험 기법을 소개하였다. 임형수 등<sup>(50)</sup>은 한국기계연구원에서 수행한 마이크로 가스터빈 시험장치 개발 사례를 소개하였고, 이동호 등<sup>(51)</sup>은 한국항공우주연구원에서 수행하는 중소형 항공기용 터보팬 엔진의 공력 및 냉각설계기술 개발 과제의 진행 현황을 발표하였다.

#### 6. 결 론

2015년 한국유체기계학회 논문집과 한국유체기계학회 하계 및 학술대회에서 발표된 논문을 바탕으로 2015년 가스/스팀 터빈 분야의 연구 동향을 살펴보았다. 2015년에는 하계 학술대회가 추가로 개최되어 가스/스팀 부문의 논문 수가 약간 증가하는 경향을 보였다.

다양한 가스터빈 개발 사업이 진행됨에 따라, 신규 과제의 소개보다는 진행 중인 과제의 연구 개발 살계가 많이 발표되었고, 특히 고온부품의 열전달 및 냉각 관련 논문의 수가 많은 부분을 차지하였다. 2016년에는 더 다양한 분야에서 많은 연구 개발 사례가 발표되길 바란다.

#### References

- (1) 봉선우, 이상우, 2015, “항공기 추진용 터빈 제 1 단 정의 및 동역학에서의 3차원 유동 및 압력손실,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 121~122.
- (2) 공동재, 정희찬, 송성진, 2015, “선형 압축기 캐스케이드에서 표면 거칠기 크기가 혼합손실에 미치는 영향,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 125~126.
- (3) 김윤기, 이상아, 이관중, 강영석, 2015, “노즐 및 로터의 린각과 스윙 각이 고압터빈 공력성능에 미치는 영향,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 159~160.
- (4) 김윤기, 이상아, 이관중, 강영석, 2015, “린각과 스윙각 변화를 통한 천음속 고압 터빈 1단 공력성능 최적화,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 147~148.
- (5) 방명환, 양창식, 손창민, 김두수, 손태하, 이두영, 2015, “엔드월 누설 유동이 고압 터빈 모듈의 공력 성능에 미치는 영향,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 161~162.
- (6) 김인겸, 김진욱, 조진수, 강영석, 2015, “천음속 고압 터빈의 공력 손실 저감을 위한 3차원 끝벽 형상 적용 연구,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 149~150.
- (7) 김인원, 송태훈, Kumar, 이권희, 박태춘, 김희동, 2015, “가

- 스 터빈 엔진의 입구덕트를 지나는 분무 액적 유동에 관한 연구,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 131~132.
- (8) 김동찬, 배럿 딜린, 송성진, 김동범, 2015, “포텐셜 코어 밖에서의 원기둥과 원형 제트 충돌,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 119~120.
  - (9) 장한나, 박정신, 광재수, 2015, “립과 덤플/돌출 복합냉각기법이 적용된 2:1 덕트의 열전달 특성 연구,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 127~128.
  - (10) 서재원, 김준희, 김광용, 2015, “신발형 리브의 형상변화가 열전달 및 압력 강하에 미치는 영향,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 3호, pp. 66~73.
  - (11) 한솔, 손호성, 방민호, 조형희, 우타관, 2015, “큰 중횡비를 갖는 사각 채널에서 곡관부 가이드 베인 형상변화에 따른 유동 및 열전달 특성,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 243~244.
  - (12) 강영석, 이동호, 차봉준, 2015, “2차유로 및 열차폐 코팅을 고려한 고압터빈의 열유동 복합해석,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 6호, pp.37~44.
  - (13) 강영석, 이동호, 차봉준, 2015, “2차유로가 적용된 고압터빈 단의 열유동 복합해석,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 119~120.
  - (14) 김인겸, 김진욱, 이동호, 조진수, 2015, “내부냉각노즐의 열차폐코팅을 위한 복합열전달 해석기법 연구,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 3호, pp. 38~45.
  - (15) 김진욱, 박정규, 강영석, 조진수, 2015, “항공기용 가스터빈의 고압 냉각터빈 노즐에 대한 복합열전달 해석,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 2호, pp. 60~66.
  - (16) 김진욱, 김인겸, 조진수, 강영석, 이상아, 2015, “로터 팁 캐비티 높이가 고압 터빈의 공력/열전달 특성에 미치는 영향,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 121~122.
  - (17) 박정신, 광재수, 이기돈, 2015, “가스터빈 블레이드 스킨러 팁의 캐비티 형상이 팁 열전달 계수 분포에 미치는 영향,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 241~242.
  - (18) 정희운, 김선호, 김정주, 조형희, 이동호, 2015, “열화상기법을 이용한 가스터빈 1단 노즐 열전달 측정,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 133~134.
  - (19) 김정주, 정의엽, 박세진, 최석민, 조형희, 2015, “연소기-터빈 접합부 필렛 형상에 따른 터빈 노즐 가이드 베인 엔드월 열전달 특성,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 123~124.
  - (20) 김민기, 김대현, 이병주, 정진택, 2015, “축류터빈 내 1단 베인의 비축대칭 끝벽 형상이 유동 및 열전달 특성에 미치는 영향에 대한 수치해석 연구,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 239~240.
  - (21) 김예지, 김기문, 광재수, 신유환, 2015, “DBD 플라즈마 전극 위치에 따른 평판 막냉각 효율 변화,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 245~246.
  - (22) 김준희, 김광용, 2015, “크레이터가 결합된 막냉각효율의 형상변화에 따른 막냉각 성능 해석,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 123~124.
  - (23) 김예지, 박순상, 광재수, 2015, “PSP 기법을 이용한 반와류 홀과 팬형상 홀의 막냉각 효율 비교 연구,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 135~136.
  - (24) 김인겸, 조진수, 이동호, 2015, “다양한 트랜치 형상이 적용된 막냉각 평판에서의 복합열전달 냉각특성에 관한 연구,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 155~156.
  - (25) 이상아, 이동호, 이관중, 2015, “제작공차를 고려한 노즐 압력면 냉각을 위한 막냉각 홀 배열 최적화,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 151~152.
  - (26) 정희운, 정의엽, 김선호, 조형희, 이동호, 2015, “천이열전달 기법을 이용한 가스터빈 1단 노즐 표면에서의 막냉각 효율 측정,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 167~168.
  - (27) 이동호, 강정식, 유두환, 차봉준, 2015, “환형 터빈 노즐 캐스케이드 압력면 표면에서의 막냉각 특성에 대한 실험적 연구,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 171~172.
  - (28) 손호성, 정의엽, 방민호, 조형희, 김윤진, 2015, “가스터빈 운전주기 변화에 따른 블레이드 팁 파손 특성,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 137~138.
  - (29) 방제성, 최범석, 박무룡, 황순찬, 임영철, 오인균, 김수원, 2015, “열-기계적 해석을 통한 마이크로 가스터빈의 설계 검증,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 139~140.
  - (30) 허재성, 강영석, 이동호, 차봉준, 2015, “DS 재료 결정립계 방향의 섭동에 대한 고압터빈 노즐의 구조 건전성 영향에 대한 연구,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 153~154.
  - (31) 김정호, 강도원, 김동섭, 2015, “마이크로 가스터빈 설계 및 운전성능 분석: 제1부 - 성능해석 프로그램,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 4호, pp. 22~29.
  - (32) 김정호, 김민재, 김동섭, 2015, “마이크로 가스터빈 설계 및 운전성능 분석: 제2부 - 압축기와 터빈 성능저하에 의한 엔진 운전 및 성능변화,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 4호, pp. 30~35.
  - (33) 최병선, 김정호, 김민재, 김동섭, 2015, “보정곡선을 이용한 마이크로 가스터빈 열병합 발전시스템의 성능 해석,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 147~148.
  - (34) 이재홍, 강도원, 김동섭, 이효진, 2015, “운전데이터를 이용한 복합열병합발전 플랜트의 전력공급능력 분석,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 149~150.
  - (35) 강도원, 김동섭, 2015, “가스터빈 성능저하 분석방법에 관한 연구,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 157~158.
  - (36) 권혁민, 김동섭, 강도원, 손정락, 2015, “H급 가스터빈 복합화력 발전플랜트 성능 민감도 해석,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 261~262.
  - (37) 김민재, 김정호, 김동섭, 박준철, 2015, “지배방정식이 GTCC

- 하부사이클의 동적거동 모사에 미치는 영향,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 263~264.
- (38) 김선호, 문호규, 정희운, 손호성, 조형희, 2015, “초임계 이산화탄소를 이용한 냉각터빈의 설계인자 변화에 따른 냉각성능 민감도 분석,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 257~258.
- (39) 김인섭, 김동섭, 이종준, 김현철, 2015, “복합열병합발전플랜트의 축열열을 활용한 유기랭킨사이클 성능해석,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 265~266.
- (40) 최병선, 김인섭, 김동섭, 2015, “순산소연소 복합발전사이클에 유기랭킨사이클 적용 연구,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 259~260.
- (41) 조수용, 조종현, 2015, “가변열원에 대응하기 위한 ORC 사이클의 실험적인 연구,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 4호, pp. 13~21.
- (42) 조수용, 조종현, 2015, “유기랭킨사이클의 작동유체 물성치가 사이클에 미치는 영향에 관한 연구,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 4호, pp. 5~12.
- (43) 조수용, 조종현, 2015, “부분분사 축류형 터빈을 이용한 소규모 유기랭킨 사이클의 실험 및 예측에 관한 연구 한국유체기계학회 논문집 제18권 5호, pp. 33~41.
- (44) 이중용, 이찬, 2015, “증기의 감온·감압과정에서의 엑서지 손실 및 저감방안 분석,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 6호, pp. 19~26.
- (45) 강수영, 이정진, 김동섭, 박성진, 홍기원, 2015, “증기터빈 모델링 및 과부하 밸브 운전 해석,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 151~152.
- (46) 서도영, 손창민, 양장식, 김귀순, 이동호, 차봉준, 2015, “고압 터빈 노즐 내부 냉각 계통의 열전달 상사 시험모델 개발,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 165~166.
- (47) 방제성, 박준영, 손정락, 김현재, 최재호, 2015, “블리스크형 천음속 팬의 강제응답 및 고주기피로에 관한 연구 - Part I,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 143~144.
- (48) 방제성, 임형수, 서정민, 이원석, 최재호, 2015, “블리스크형 천음속 팬의 강제응답 및 고주기피로에 관한 연구 - Part II,” 2015 한국유체기계학회 하계학술대회 초록집, pp. 145~146.
- (49) 이동호, 강정식, 차봉준, 2015, “천음속 환형 터빈 노즐 캐스케이드 구축 현황 및 시험기법 소개,” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 169~170.
- (50) 임형수, 최범석, 박무룡, 황순찬, 박준영, 서정민, 방제성, 임영철, 오인균, 김병욱, 조주형, 2015, “마이크로 가스터빈 시험 장치 개발,” 한국유체기계학회 논문집 제18권 5호, pp. 42~48.
- (51) 이동호, 강영석, 허재성, 김형모, 박부민, 차봉준, 양수석, 2015, “중소형 항공기용 터보팬 엔진의 고압터빈 공력 및 냉각설계기술 개발과제 소개(IV),” 2015 한국유체기계학회 동계학술대회 초록집, pp. 117~118.