

펌프 및 수차 분야 연구동향

이종철*

1. 서 론

2008년도 국내에 발표된 펌프 및 수차 분야의 주요 연구동향을 요약하여 소개하고자 한다. 국내에서 발표된 펌프 및 수차 관련 연구들을 살펴보기 위하여 2007년도와 마찬가지로 유체기계공업학회의 유체기계저널과 유체기계연구개발발표회 논문집, 대한기계학회의 대한기계학회논문집과 춘계·추계학술대회 논문집을 대상으로 살펴보았다. 총 28편이 발표된 2007년도와 비교하여 2008년도에는 41편이 발표되어 커다란 증가를 보였다. 펌프 분야에서는 전년도와 비슷한 논문발표가 있었으나, 신재생에너지 관련 투자가 활성화됨에 따라 중요도가 더욱 높아진 소수력발전 및 조력발전에 필수적인 수차 분야 때문임을 알 수 있었다. 본 연감에서는 펌프 분야, 수차 분야, 그리고 미세유체기계 및 진공펌프로 구분하여 기술하였다.

2. 펌프 분야

펌프 효율향상을 위하여 활발한 연구가 진행되었으며, 연구방법에 따라 각각 실험적 연구와 해석적 연구로 구분하였다. 펌프 분야 발표논문 중 실험논문은 8편이 발표되었고, 해석논문은 12편이 발표되었다.

실험논문은 대부분 캐비테이션이 펌프 성능에 미치는 영향을 다루었다. 최영도 등⁽¹⁾은 일반적인 비속도 범위의 원심펌프에 대한 불안정 성능의 개선과 캐비테이션 발생의 억제에 위하여 반밀폐형 원심임펠러를 제안하였고, 이것을 J-그루브 및 S-ring과 함께 설치하여 캐비테이션 억제 및 펌프 효율 향상 결과를 기술하였다.

서민 등⁽²⁾은 대형 공조 장치에 많이 이용되고 있는 흡수식 냉온수기 내 용적펌프 입구에서 발생하는 캐비

테이션을 최소화하기 위해 설치된 인듀서 성능시험을 수행하였고, 불안정성의 종류와 발생조건을 유량계수와 회전수 변화에 따라 검토하였다. 비대칭 캐비테이션이 저유량일수록 커지고 시작점의 캐비테이션 계수가 상승함을 캐비테이션 유동가시화 및 고속응답압력 변환기를 사용하여 관측·측정하였다.

박철웅 등⁽³⁾은 LPG 액상연료 공급시스템의 핵심부품인 임펠러 타입의 연료펌프 성능평가를 수행하였으며, 연료 온도 및 조성에 따른 성능 및 효율 변화의 원인을 분석하였다. 캐비테이션 발생은 연료계통의 온도상승과 비례하며 이로 인해 유량 및 동력 감소로 인한 효율저하 현상을 보고하였다.

이도환 등⁽⁴⁾은 임펠러 마모를 일으키는 캐비테이션을 발생초기에 감지하기 위하여 시간에 따른 AE신호의 RMS와 Variance값을 분석하였다. 캐비테이션에 의한 수두강하시작 NPSH를 구별하기 위해서는 RMS값보다 Variance값을 사용하고, AE센서를 흡입 배관에 부착할 것을 제안하였다.

이지근 등⁽⁵⁾은 스마트무인기 연료계통에 사용되는 제트펌프의 내부유동특성을 아크릴 재질의 제트펌프와 유동가시화 기법을 이용하여 분석하였고, 이광성 등⁽⁶⁾은 태양열 온수기 시스템에 적용된 기포펌프의 성능평가를 수행하여 기포펌프를 적용한 최적의 태양열 온수기 시스템 설치와 기본 연구 방향을 제시하였다. 홍순삼 등⁽⁷⁾은 추력 30톤급 터보펌프의 조립체를 대상으로 하여 수행된 성능시험 개요와 시험 결과를 발표하였으며, 김대진 등⁽⁸⁾은 산화제펌프 로터 후단인 이차유로 특성을 수력성능시험과 흡입성능시험을 통하여 분석하였다.

수차해석기법 및 최적화기법이 더욱 발달되고 널리 보급됨으로써 실험적 연구에 비해 시간적·비용적으로 경제적인 수치적 연구가 매우 활발하게 수행되었다. 대부분 상용 CFD코드를 이용하여 유동장을 분석하고 최적화기법을 사용하여 임펠러 및 디퓨저를 최적설계

* 강릉대학교 기계자동차공학부
E-mail : jcleee01@kangnung.ac.kr

하는 것을 다루었다.

김성 등⁽⁹⁾은 자오면이 고정된 상태에서 날개 전개도의 변수를 정의하여 임펠러 성능에 미치는 영향을 분석하였고, 임펠러 성능에 영향을 주는 날개전개도의 변수를 이용하여 최적의 임펠러 형상을 제시하였다. CFD 및 최적설계기법을 통하여 초기 설계 기준값에 비하여 양정은 10.08%, 효율은 0.4% 향상된 결과를 보고하였다. 또한 이들은 원심펌프 측면 흡입구의 단면적 비에 의한 영향을 파악하기 위하여 유동해석과 2k 요인실험의 실험계획기법으로 분석한 결과를 발표하였다⁽¹⁰⁾.

최영석 등⁽¹¹⁾은 수천 kW급 에너지 다소비형 기계인 사류펌프에 관하여 상용 CFD 코드와 두 가지 최적화 기법을 이용한 임펠러 및 디퓨저 최적설계 결과를 발표하였다. 실험계획법을 통한 최적설계는 전압적이 약 4.1%, 효율이 약 0.3% 증가하였고, 역설계법을 이용한 최적설계는 전압적이 약 6.7%, 효율이 약 0.4% 상승하였다고 보고하였다. 또한 이들은 펌프 입구부와 흡수정 사이 간격이 수중 카고 펌프의 흡입성능에 어떠한 영향을 미치는지 수치해석을 통한 결과도 보고하였다⁽¹²⁾.

최창호 등^(13,14)은 액체로켓에 공급되는 연료를 가압하는 터보펌프의 성능을 향상시키기 위하여 인듀서와 임펠러 매칭에 관한 수치해석 결과를 실험결과와 비교하여 분석하였다. 인듀서와 임펠러의 축방향 간극이 클수록 고유량에서 흡입성능이 떨어지는 것은 인듀서 끝에서의 급격한 압력강하가 발생하기 때문이라고 보고하였다. 또한 이들은 개수도형 재생펌프 성능특성을 파악하기 위한 유동해석 결과도 발표하였다⁽¹⁵⁾.

임우섭 등⁽¹⁶⁾은 고효율 사류 펌프 개발을 위하여 역설계 프로그램을 이용한 임펠러 설계 및 유동해석을 수행한 결과를 보고하였으며, 윤현기 등⁽¹⁷⁾은 다단 원심펌프의 제1단 펌프에 대한 수치해석을 통해 펌프 수력성능 및 캐비테이션 특성을 발표하였다.

노준구 등⁽¹⁸⁾은 연료펌프 입구케이싱 내부의 베인 형상을 결정하기 위한 유동해석을 수행하여 인듀서의 성능변화에 관한 결과를 보고하였고, 김진영 등⁽¹⁹⁾은 Stepanoff, Lazarkiewicz 등이 제시한 일반적 설계법에 의해 설계된 2종류의 펌프 모델에 대한 수치해석을 통해 펌프 수력 성능을 비교하였고 안내날개에서의 유동상태 분석결과를 발표하였다.

이진우 등⁽²⁰⁾은 저비속도 원심펌프 성능향상을 위한 내부유동을 해석하여 재순환흐름을 분석하였고 최고효율점에서 60%의 효율을 나타낸다고 보고하였다.

3. 수차 분야

신재생에너지 관련 투자가 활성화됨에 따라 2008년에는 소수력발전 및 과력발전의 핵심부품인 수차에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 소수력발전용에 관한 논문은 7편, 과력발전용에 관한 것은 9편이 발표되었다.

이영호 등^(21,22)은 소수력발전용 횡류수차의 노즐 유로 형상이 수차의 성능 및 내부유동에 미치는 영향을 CFD해석으로 분석하였다. 노즐 유로폭이 좁을수록 효율과 축동력이 증가하며, 적당한 공기량을 러너 내부에 주입시켜 공기층에 의한 재순환 흐름 억제에 수차 효율 향상에 중요함을 보고하였다. 또한 이들은 5kW급 횡류수차모델 실험을 통하여 유량에 따른 성능 변화를 비교하여 발표하였다⁽²³⁾.

김유택 등⁽²⁴⁾은 튜블러 수차 설계를 위한 최적화와 효율향상을 위하여 가이드베인 개도에 변수로 하여 유량 및 낙차 변화에 따른 수차의 성능특성을 실험적·해석적으로 분석하였다. 또한 이들은 (주)신한정공과 함께 소수력 발전 실용화를 위한 기술개발 결과를 발표하였다⁽²⁵⁾.

박한영 등⁽²⁶⁾은 선회와류의 발생, 성장, 소멸 상태를 직접적으로 측정하여 적절한 조치를 취할 수 있는 방법을 검토하여 수차에서 발생하는 수압맥동 및 유체여기진동 현상의 원인을 분석하였고, 이를 이용하여 최적의 강제급기가 이루어질 수 있도록 실제 운영 중인 프란시스 수차에 시범 적용한 결과를 발표하였다.

박노천 등⁽²⁷⁾은 프란시스 수차에서 선회와류가 발생하는 임계유량 선정법을 개발하여 선회류가 발생하지 않는 최적 발전 운영범위를 선정하고, 수차의 효율특성과 고효율 운전 방안을 발표하였다.

최영도 등⁽²⁸⁻³⁰⁾은 파랑에너지의 높은 흡수효율을 얻을 수 있는 직접구동터빈의 성능을 정량적으로 검토하기 위하여 터빈모델을 2차원 조파수조에 설치하여 파고와 파고주기에 따른 성능특성을 분석하였다. 직접구동터빈의 성능은 파고에 거의 비례하며, 일정한 파랑 조건하에서 최고효율이 51.6%로 과력발전용 터빈 중에서 상대적으로 높은 효율을 나타냄을 보고하였다. 또한 이들은 상용 CFD코드를 이용하여 횡류형 수력터빈의 성능 및 내부유동을 검토한 결과를 보고하였고⁽³¹⁾, 수력터빈 성능향상을 위하여 노즐형상을 검토한 결과를 발표하였다⁽³²⁾.

김범석 등⁽³³⁾은 날개요소 운동량 이론에 의한 1MW 수평축 조력발전용 터빈 블레이드에 대한 기본형상을

설계하였고, CFD 해석을 통해 블레이드 주변 유동특성 파악 및 출력성능과 캐비테이션 발생예측을 수행하였다. 조철희 등⁽³⁴⁾도 수중식 수평축 조류발전 시스템의 발전성능에 대한 실험 및 수치해석 결과를 발표하였다.

김기평 등⁽³⁵⁾은 Kort 노즐을 장착한 100kW급 조류발전터빈 개념설계하고 유동해석한 결과를 발표하였으며, 조영진 등⁽³⁶⁾은 새로운 개념의 파력발전용 사보니우스 터빈 개발을 위한 유동해석을 수행하여 터빈 성능 및 출력 향상에 관한 결과를 보고하였다.

4. 미세유체기계 및 진공펌프

최근에는 일반적인 펌프와 수차 이외에 의료 및 분석 장비에 핵심부품인 미세유체기계와 반도체 및 디스플레이 산업에 필수적인 진공펌프에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 미세유체기계에 관한 논문은 3편, 진공펌프에 관한 것은 2편이 발표되었다.

백두진 등⁽³⁷⁾은 이식형 약물 주입 장치의 핵심부품인 캠-팔로워 방식의 마이크로 튜브 펌프를 설계하고 캠 형상의 최적 설계를 통해 팔로워, 튜브 및 모터 도크에 관한 설계 변수를 도출하여 시작품을 제작하여 안정성과 효율성이 고려된 펌프의 정격 구동 속도를 선정하여 보고하였다.

이병서 등⁽³⁸⁾은 전기수력학적(EHD) 유도 현상을 고려할 수 있는 프로그램을 개발하여 EHD 마이크로 펌프에 대한 CFD 해석을 수행한 결과를 보고하였고, 안용준 등⁽³⁹⁾은 전자기 전향을 이용한 압전 구동방식 마이크로 펌프의 입구와 출구의 유동제어를 수치해석을 통해 확인하고 펌프 능력을 발표하였다.

허중식⁽⁴⁰⁾은 대유량에 적합할 뿐만 아니라 약 10-9Pa 정도의 고진공으로부터 대기압까지 한 대의 펌프로도 기체를 압축·배기할 수 있는 성능을 지닌 터보형 분자 헬리컬 드래그 펌프 성능을 헬리컬 채널 형상에 관하여 분석하였다. 김도행⁽⁴¹⁾ 등은 헬리컬형 분자 드래그 펌프 회전자에서의 압력 측정값과 해석결과 비교를 통하여 실제 유로구조에서의 배기특성 결과를 발표하였다.

참고문헌

(1) 최영도, 쿠로카와준이치, 2008, “원심펌프의 성능 개선과 캐비테이션 억제에 관한 연구,” 유체기계

저널, 제11권, 제1호, pp. 18~25.
 (2) 서민, 이경훈, 강신형, 2008, “흡수식 냉온수기내 용액펌프 Inducer의 Cavitation 불안정성에 대한 실험적 연구,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 2434~2439.
 (3) 박철용, 김창업, 최교남, 2008, “자동차용 LPG 펌프의 연료조건에 따른 성능특성에 관한 연구,” 대한기계학회논문집B, 제32권, 제4호, pp. 266~274.
 (4) 이도환, 박성근, 이선기, 박중민, 2008, “원심펌프의 초기 캐비테이션 감지 방법에 관한 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 28~33.
 (5) 이윤권, 이지근, 이창호, 최희주, 2008, “스마트무인기 연료계통 제트펌프의 내부 유동 특성에 관한 실험적 연구,” 대한기계학회논문집B, 제32권, 제2호, pp. 107~116.
 (6) 이광성, 이철송, 김진화, 정효민, 정한식, 2008, “태양열 온수기 시스템에 적용된 기포펌프의 성능평가에 대한 연구,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 2310~2315.
 (7) 홍순삼, 김대진, 김진선, 김진한, 2008, “터보펌프 조립체의 수력 성능 시험,” 대한기계학회논문집B, 제32권, 제4호, pp. 249~254.
 (8) 김대진, 홍순삼, 김진선, 김진한, 2008, “산화제펌프 이차 유로 특성에 대한 실험적 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 575~576.
 (9) 김성, 최영석, 윤준용, 김덕수, 2008, “실험계획법을 사용한 원심펌프 임펠러 최적설계,” 유체기계 저널, 제11권, 제3호, pp. 36~42.
 (10) 김성, 최영석, 윤준용, 2008, “원심펌프 측면 흡입구 형상 설계,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 577~578.
 (11) 최영석, 이경용, 김준형, 김성, 2008, “사류펌프 임펠러 및 디퓨저 최적 설계,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 57~62.
 (12) 김준형, 최영석, 이경용, 2008, “수중 카고 펌프의 흡입성능에 관한 수치해석적 연구,” 유체기계저널, 제11권, 제6호, pp. 18~23.
 (13) 최창호, 김대진, 홍순삼, 김진한, 2008, “인듀서와 임펠러 축방향 간극이 터보펌프 성능에 미치는 영향,” 유체기계저널, 제11권, 제5호, pp. 37~43.
 (14) 최창호, 김진한, 2008, “터보펌프용 인듀서 블레이드 수가 성능에 미치는 영향에 관한 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 132~137.

- (15) 신동윤, 최창호, 홍순삼, 김진한, 2008, “개수로형 재생펌프의 성능특성에 관한 실험적 및 수치해석적 연구,” 유체기계저널, 제11권, 제5호, pp. 7~14.
- (16) 김덕수, 김준호, 김현식, 임우섭, 2008, “고효율 사류 펌프 개발,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 63~66.
- (17) 윤현기, 유일수, 박준영, 박무룡, 2008, “다단 원심 펌프의 손실 분포 및 유동 특성 고찰,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 69~74.
- (18) 노준구, 최창호, 김진한, 2008, “유동해석을 이용한 연료펌프 입구부 설계,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 138~139.
- (19) 김진영, 정경남, 김용균, 김상철, 2008, “사류펌프 재순환 유동에 대한 수치적 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 245~246.
- (20) 이진우, 김미자, 김창구, 최영도, 이영호, 2008, “저비속도 원심펌프의 내부유동 해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 357~358.
- (21) 최영도, 임재익, 김유택, 이영호, 2008, “횡류수차 노즐형상이 성능과 내부유동에 미치는 영향,” 유체기계저널, 제11권, 제4호, pp. 45~51.
- (22) 최영도, 이승엽, Morihito Inagaki, 이영호, 2008, “새로운 공기주입부에 의한 횡류수차 성능개선,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 243~244.
- (23) 이승엽, 전상규, 이영호, 2008, “5kW급 횡류수차 모델의 성능에 대한 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 23~27.
- (24) 남상현, 김유택, 최영도, 이영호, 2008, “실험 및 CFD에 의한 가이드베인 개도에 따른 소형 튜블러 수차의 성능특성,” 유체기계저널, 제11권, 제5호, pp. 44~49.
- (25) 황영철, 황영호, 김유택, 최영도, 이영호, 2008, “소수력발전 실용화 기술개발,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 140~143.
- (26) 박한영, 조성수, 김진훈, 박종호, 이연주, 2008, “수차에서 발생하는 유체여기진동 저감방안 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 17~22.
- (27) 박노천, 이용철, 장현욱, 2008, “프랑스 수차의 진동과 효율 특성에 관한 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 247~252.
- (28) 최영도, 김창구, 조영진, 이영호, 황영호, 2008, “파력발전용 직접구동터빈의 파랑조건에 따른 성능,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 409~410.
- (29) 김창구, 조영진, 최영도, 이영호, 2008, “파력발전용 직접구동터빈의 개발,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 415~416.
- (30) 최영도, 김창구, 조영진, 김유택, 이영호, 2008, “파력발전용 직접구동터빈의 성능에 미치는 수심의 영향,” 유체기계저널, 제11권, 제6호, pp. 38~45.
- (31) 최영도, 조영진, 김유택, 이영호, 2008, “파력발전용 횡류형 수력터빈의 성능 및 내부유동,” 유체기계저널, 제11권, 제3호, pp. 22~29.
- (32) 최영도, 김창구, 김유택, 이영호, 2008, “파력발전용 횡류형 수력터빈의 노즐형상에 관한 연구,” 유체기계저널, 제11권, 제3호, pp. 30~35.
- (33) 김범석, 음학진, 김만웅, 2008, “1MW급 수평축 조력발전용 터빈 형상 기본설계 및 성능예측,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 413~414.
- (34) 조철희, 노유호, 이강희, 정현, 2008, “수평축 조류발전 성능실험,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 411~412.
- (35) 김기평, 김창구, 최영도, 김만웅, 이영호, 2008, “Kort 노즐을 이용한 100kW급 에너지집적형 조류발전터빈 개념설계 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 555~556.
- (36) 조영진, 김규한, 신범식, 최영도, 이영호, 2008, “사보니우스 터빈을 이용한 파력발전 CFD 성능해석 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 557~558.
- (37) 백두진, 박준우, 이덕희, 이철한, 홍소영, 조영호, 2008, “이식형 약물 주입 장치용 마이크로 튜브 펌프,” 유체기계저널, 제11권, 제1호, pp. 40~45.
- (38) 이병서, 이준식, 2008, “전기수력학적 유도 마이크로 펌프에 대한 전산유체역학 해석,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 1851~1856.
- (39) 안용준, 최청렬, 김창녕, 2008, “전자기 전향을 이용한 압전 구동방식 마이크로 펌프의 유동 및 성능 특성에 관한 수치해석적 연구,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 2788~2793.
- (40) 허중식, 2008, “확산방정식을 이용한 헬리컬 드래그 펌프의 성능해석,” 대한기계학회논문집B, 제32권, 제5호, pp. 382~391.
- (41) 김도행, 권명근, 황영규, 2008, “헬리컬형 분자 드래그 펌프의 유동특성에 관한 연구,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 2723~2728.