

펌프 분야 연구동향

김일수*

1. 서 론

오늘날 건축설비, 농공업, 상하수도, 발전, 건축, 소방, 석유화학, 발전소, 의료기기, 선박, 자동차, 우주항공 산업에서 광범위하게 사용되고 있는 펌프는 압력작용에 의하여 액체 혹은 기체의 유체를 관을 통해서 수송하거나, 저압의 용기 속에 있는 유체를 관을 통하여 고압의 용기 속으로 압송하는 기계로 정의한다.

세계 펌프시장에서 펌프 수요의 증가로 인하여 미국이나 일본과 같은 기술 선진국에서는 오래 전부터 다양한 종류의 펌프에 대해서 상당한 기술을 축적해 오고 있다. 최근 국내 펌프산업은 산·학·연 공동으로 펌프의 설계개선, 신재료 개발을 위한 많은 연구개발 활동이 이루어지고 있으나, 외국의 다국적 기업의 기술력을 앞세운 외국제품들이 수입과 동시에 중국의 저가품공세에 효율적인 대응을 위하여 고부가가치 제품에 대한 국산화 개발 및 중국산 저가제품과의 차별성 강화가 시급히 요구되고 있다.

한편, 2006년에 펌프와 관련된 연구가 국내에서는 활발히 진행되었으며, 많은 연구결과들이 학회의 논문집이나 각종 학술발표회를 통해 발표되었다. 본 원고는 2006년 국내 펌프분야의 연구동향을 분석하기 위하여 먼저 유체기계저널 및 유체기계연구개발발표회 논문집, 대한기계학회논문집 및 춘계학술대회 논문집, 한국마린엔지니어링학회, 설비공학논문집을 중심으로 관련분야의 연구동향을 분석하였다. 2006년도 게재된 논문은 유체기계공업학회에서 21편, 대한기계학회 12편, 한국마린엔지니어링학회 2편을 포함한 총 38편이며, 다양한 분야에서 많은 연구 및 개발이 이루어진 것으로 조사되었다. 또한 펌프분야의 논문들은 내용별로 분류하고, 그 연구동향 분석을 통하여 향후 국내 펌프분야의 관련기술 개발을 통

한 국제 경쟁력 강화에 더욱 힘써야 할 것으로 사료된다.

2. 터보 펌프

우주발사체의 개발에서 액체로켓에서 연료와 산화제를 연소실에 공급하기 위하여 사용되는 터보펌프는 높은 양정과 많은 유량을 필요로 하는 관계로 주 임펠러 전방에 인듀서를 장착함으로써 정압상승을 통하여 캐비테이션 현상을 억제하고 있다. 국내의 터보펌프에 대한 연구개발은 초기에 로템을 중심으로 몇 개의 연구기관과 기업들이 공동으로 추진되었으며, 현재는 한국항공우주연구원, 로템 및 서울대학교 등에서 터보펌프 내부의 인듀서의 캐비테이션 특성과 인듀서 성능평가에 대한 연구가 수행되었다. 또한 한국항공우주연구원에서는 현재 물을 이용한 상온에서의 수류시험 뿐만 아니라 극저온 환경하에서 펌프성능 및 흡입성능시험을 수행할 수 있는 극저온 시험설비를 구축하여 산화제펌프 인듀서를 실제질의 환경과 유사한 조건에서 성능확인 및 시험설비 검증을 실시하였다⁽¹⁾.

한편 한국항공우주연구원에서는 다양한 방법으로 인듀서 형상 파라미터에 대한 많은 연구가 수행되었다. 홍순삼 등⁽²⁾은 인듀서의 끝채를 형상변수로 설정하고 정상상태 성능 및 비정상 캐비테이션 특성에 대한 연구를 수행하였다. 또한 캐비테이션 시험중에 인듀서 상부에 고응답 입력센서를 원주방향으로 설치하여 캐비테이션의 비정상 특성을 고찰 하였다. 최창호 등⁽³⁾은 앞전 허브에 응력이 집중되는 구조적인 문제로 터보펌프에 많이 채택되지 않아서 연구수행이 미진하였던, 익단이 허브에 비하여 앞으로 나온 전진익형 인듀서에 관한 연구를 수행하였다. 노준구 등⁽⁴⁾은 터보펌프를 산화제펌프에 적용시 축추력 경감방법에 대한 효과를 3차원 유동해석을 통하여 증명하였다. 이용복 등⁽⁵⁾은 터보펌프의 안정적인 구동을 위한 플로팅 실의 안정성 향상에 관한 연구를 수행하였다.

* 목포대학교 기계공학과
E-mail: ilsookim@mkpo.ac.kr

3. 원심 펌프

19세기에 발명된 이래 꾸준한 성능개선이 이루어져 왔으며 국내 대부분의 펌프 제조업체에서 가장 많이 생산하는 펌프 중에 하나인 원심펌프는 그 동안에 실험 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 보다 높은 효율을 가진 펌프 생산에 연구가 집중되었다. 또한 기존의 경험적 설계 방법이 아닌 역 설계방법을 이용하여 최적설계방법도 CFD의 방법과 더불어 새로운 분야로 발전하고 있다. 김성운 등⁽⁶⁾은 기액 이상류 실험장치를 구축하여 실험장비의 신뢰성을 검증하고, 펌프의 성능이 저하되는 손실부분의 정량화를 수행하였다. 또한 밀폐형과 반 개방형 임펠러 2종류의 임펠러를 대상으로 단상류시의 펌프의 특성을 파악하였다. 김덕수 등⁽⁷⁾은 양쪽 흡입 원심펌프를 대상으로 임펠러 형상을 고정시킨 상태에서 볼루트 단면적분포에 따른 원심펌프의 성능곡선의 변화특성을 수치해석을 통하여 예측하여 볼루트 형상변화가 원심펌프의 성능곡선에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

최근에는 극저비속도 영역에서 종래부터 사용되어 왔던 용적형 펌프를 대신할 수 있는 고성능의 원심펌프 개발에 기대가 커지고 있다. 하지만 기존의 설계방법으로 극저비속도 원심펌프 설계 및 제작할 경우 임펠러 유로폭은 매우 좁아져서 생산현장에서 제작이 어렵고, 또한 효율이 급격히 저하하기 때문에 높은 효율을 얻는데 한계가 있다. 최영도 등⁽⁸⁾은 극저비속도 원심펌프의 성능 및 흡입성능 향상을 위하여, 임펠러 입구 및 출구 근처의 펌프 케이싱 배부벽면에 J-그루브와 재순환흐름 차단장치를 각각 설치하여 그 형상에 의한 펌프성능 및 흡입성능을 확인하였다. 또한 최영도 등^{(9),(10)}은 극저비속도 영역에서 케이싱 형상이 원심펌프의 성능에 미치는 영향을 조사하여 성능개선에 적합한 케이싱 선정에 관한 연구를 수행하였다. 특히 종래의 설계법에 의하여 설계된 볼루트 케이싱과 볼루트 각도가 없는 원형케이싱을 이용하여 임펠러와 메칭 성능을 실험적으로 검토하였다. 최영도 등^{(11),(12)}은 원심펌프의 비속도를 큰 폭으로 변화시켰을 때 최고 효율과의 관계를 연구하였으며 현저하게 낮은 비속도 영역에서 임펠러의 설계재원이 원심펌프의 성능에 미치는 영향을 조사 하였다. 박무룡 등⁽¹³⁾은 인공심장용 소형 혈액펌프의 중요 구성요소인 원심형 임펠러의 수력학적인 설계 최적화와 성능해석에 관한 연구를 수행하였다.

4. 특수 펌프

일반적으로 오일펌프는 자동차 엔진으로부터 공급받는 기계적 에너지를 엔진오일의 압력에너지 및 속도에너지로 변환시켜서 엔진내부의 각 스텝부에 윤활 오일을 공급하는 중요부품이다. 특히 다른 펌프에 비하여 소음이 적어 엔진 윤활을 위한 윤활유의 공급원 및 자동변속기의 유압원으로 광범위하게 이용되고 있다. 현재까지 연구내용은 주로 이론적인 해석을 통하여 최적설계에 연구가 집중되었다. 심희진 등⁽¹⁵⁾은 폴리의 유한요소해석에 기초한 내구성 해석을 통하여 피로 수명을 평가하였으며, 반응표면법을 이용하여 내구성을 고려한 최적의 폴리 설계안을 제시하였다. 남경우 등⁽¹⁶⁾은 IC엔진 윤활용 오일펌프를 대상으로 최근에 개발된 수치해석방법을 적용하여 캐비테이션을 포함하는 3차원 비정상상태 유동해석을 수행하고 그 결과를 실험결과와 비교분석을 통하여 유용성을 검증하였다.

최근 환경규제가 강화됨에 따라 배출되는 유해배기가스를 저감하면서 상대적으로 높은 출력을 갖는 차량 개발에 집중되고 있다. 특히 자동차가 보다 정숙하게 정속한 작동을 위해서는 연료펌프 자체 부품의 진동 및 유체 맥동 등에 대한 연구가 요구된다. 이봉호 등⁽¹⁷⁾은 연료펌프의 부품요소에 대한 소음진동을 저감하기 위한 펌프요소를 비선형 접촉을 갖는 2 자유도 계를 모델링하여 다이어프램의 가속도를 저감할 수 있는 캠을 설계하였다. 임무창 등⁽¹⁸⁾은 임펠러 2매를 장착한 터빈방식 LPi용 연료펌프의 토출성능과 분사시의 분사량 및 분사압력, 소음특성을 BLDC 방식 연료펌프와 비교·분석을 통하여 LPi엔진에 적용 가능성을 검토하였다. 노형운 등⁽¹⁹⁾은 내산성펌프로 가장 많이 사용되고 있는 볼루트 펌프에 관한 규격 규정에 관한 연구를 수행하였다.

건설장비는 전력공급과 상관없이 작동되는 관계로 각 액추에이터까지의 동력전달 편리성 때문에 유압 시스템을 동력전달 시스템으로 채택하였으며, 그 동력원으로 유압펌프를 사용하고 있다. 엄재근 등⁽²⁰⁾은 유압펌프 제작시 가장중요한 부품인 오목형 피스톤을 체결공정을 고려한 최적 형상설계에 관한 연구를 수행하였다. 정동수 등⁽²¹⁾은 서보실린더에 반력스프링을 설치하여 제어시스템의 안정성을 확보하고 PID 제어기를 이용한 실험을 통하여 유량, 압력 그리고 동력의 제어 성능을 연구하였다.

자동차 엔진의 전방부속장치 중의 하나인 워터펌프는 엔진 냉각수를 순환시켜 엔진의 온도를 적절하게 유지시켜주는 장치로 신뢰성을 고려한 최적의 설계가 필

요하다. 양철호 등⁽²²⁾은 베어링 돌출을 일으키는 원인요소를 규명하여 신뢰성을 지닌 워터펌프 시스템의 설계를 위한 설계인자의 결정과 각각의 설계인자가 시스템 반응에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였다. 허영석 등⁽²³⁾은 상업용코드인 FLUENT를 이용하여 임펠러의 슈라우드와 허브의 각도 및 볼루트 케이싱의 토출구 형상에 따른 밀폐형 워터펌프의 수력성능 특성을 고찰하였다.

5. 마이크로 펌프

최근 다양한 MEMS (Micro Mechanical System) 장치들이 개발되고 있으며, 그중에 마이크로 펌프는 화학물 분석시스템, 세포융합 시스템, 약물 전달장치 등 생물학, 화학 및 의공학 분야에 이르기까지 응용범위가 광범위하기 때문에 관련연구 개발이 활발하다. 최중원 등⁽²⁴⁾은 마이크로 펌프가 빠른 응답성과 높은 구동력을 얻을 수 있는 압전 세라믹을 이용하여 실리콘 박막을 구동하는 방식을 선택하여, 주 유체에 경사진 보조유로를 연결하여 유체를 흡입 및 토출시킴으로써 밸브가 없이도 원하는 방향으로 유체가 이송 가능하도록 설계하였다. 또한 두개의 보조유로를 반대방향으로 배치하여 각각의 유동을 별도의 구동기로 제어함으로써 양방향으로 운전이 가능하도록 고안하였다.

6. SMART 연구로 주냉각재펌프의 검증시험

소형 가압경수로 (pressured water reactor) SMART 연구는 안전성 및 경제성 향상을 위하여 핵증기 공급계통을 구성하는 주냉각재펌프 (MCP), 가압기, 증기발생기, 제어봉구동장치 등의 주기가 노심과 함께 동일한 압력용기에 설치된 일체형과 분리형으로 크게 분류한다. 새로이 개발된 주냉각재펌프의 성능, 안전성, 구조적 건전성은 입증하였으나, 국내 검증시험시설이나 기술 및 체계가 미비한 실정이다. 박상진 등⁽²⁴⁾은 국내에서 개발된 MCP 시제원형의 성능검증 및 건전성을 확인하기 위하여 원자력급 펌프의 검증시험기술을 개발하고 일체형 원자로 운전조건을 모사한 성능 시험장치를 설계·제작한 후 이를 이용하여 기능시험, 성능시험, 내구성시험, 환경시험을 수행하였다.

참고문헌

- (1) 김진선, 홍순삼, 김진한, 2006, “액체질소를 이용한 터보펌프 인두서의 수력성능시험,” 유체기계저널, 제9권, 제4호, pp. 20~26.
- (2) 홍순삼, 김진선, 최창호, 김진한, 2006, “끝틈새가 터보펌프 인두서의 성능에 미치는 영향,” 유체기계저널, 제9권, 제1호, pp. 19~24.
- (3) 최창호, 김진선, 홍순삼, 김진한, 2006, “터보펌프용 전진익형 인두서에 대한 연구,” 유체기계저널, 제9권, 제2호, pp. 25~29.
- (4) 노준구, 최창호, 김진한, 2006, “터보펌프 축추력 조절용 캐비티 배인에 대한 수치해석적 연구,” 유체기계저널, 제9권, 제2호, pp. 39~43.
- (5) 이용복, 김경욱, 김창호, 안경민, 이성철, 2006, “범프 포일을 장착한 고압 터보펌프용 플로팅 링 실의 실험에 관한 연구,” Journal of the KSTLE, Vol.22, No. 2, pp. 105~111.
- (6) 김성운, 이상일, 김유택, 2006, “기액 이상류시의 원심펌프특성에 관한 실험적 연구,” 한국마린엔지니어링학회지, 제30권, 제6호, pp. 685~692.
- (7) 김덕수, 최영석, 전상규, 윤준용, 2006, “볼루트 형상이 원심펌프의 성능에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구,” 유체기계저널, 제9권, 제2호, pp. 44~49.
- (8) 최영도, 쿠로카와준이치, 2006, “극저비속도 원심펌프의 펌프성능 및 흡입성능 향상,” 유체기계저널, 제9권, 제3호, pp. 29~35.
- (9) 최영도, 마쯔준, 쿠로카와준이치, 이용호, 2006, “PTV 계측법에 의한 극저비속도 원심펌프의 내부 유동특성에 관한 연구,” 유체기계저널, 제9권, 제1호, pp. 9~18.
- (10) 최영도, 카가와슈사쿠, 쿠로카와준이치, 2006, “비속도의 큰 변화가 극저비속도 원심펌프의 성능에 미치는 영향,” 유체기계저널, 제9권, 제1호, pp. 40~46.
- (11) 최영도, 카가와슈사쿠, 쿠로카와준이치, 2006, “원형케이싱이 극저비속도 원심펌프의 성능에 미치는 영향,” 유체기계저널, 제9권, 제1호, pp. 32~39.
- (12) 최영도, 쿠로카와준이치, 김유택, 이영호, 2006, “극저비속도영역에서 원심펌프의 불안정성능 개선에 관한 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 409~414.
- (13) 박무룡, 유성연, 오형우, 윤의수, 2006, “원심형 혈액펌프의 최적화 수력설계 및 성능해석,” 대한기계

- 학회논문집 B권, 제30권, 제1호, pp. 89~94.
- (14) 모장오, 강신정, 강호근, 이영호, 2006, "원심펌프 내부의 캐비테이션 수치에측에 관한 연구," Proceedings of The Fourth National Congress on Fluids Engineering.
- (15) 심희진, 김정규, 2006, "과워스티어링 오일펌프용 폴리머 피로수명을 고려한 형상최적화," 대한기계학회논문집 A권, 제30권, 제9호, pp. 1041~1048.
- (16) 남경우, 조석현, 박재인, 2006, "엔진 윤활용 제로터 오일펌프 유동해석," 대한기계학회논문집, 제30권, 제10호, pp. 1019~1025.
- (17) 이봉호, 이부운, 김원진, 2006, "동해석을 이용한 연료펌프의 캠 형상 설계," 한국마린엔지니어링학회지, 제30권, 제1호, pp. 58~64.
- (18) 임무창, 최성원, 명차리, 박심수, 박정남, 김성근, 2006, "LPG연료 조성비에 따른 터빈방식 LPI용 연료펌프의 성능 및 엔진적용특성에 관한 연구," 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, pp. 1891~1896.
- (19) 노형운, 이종훈, 김진형, 이은우, 2006, "벌루트 식 내산성펌프 관련 단계기준," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 405~408.
- (20) 엄재근, 이민철, 최인수, 조유중, 전만수, 2006, "유한요소법을 이용한 고압유압펌프용 오목형 피스톤 조립체의 소켓 형상 설계," 대한기계학회논문집 A권, 제30권, 제11호, pp. 1433~1438
- (21) 정동수, 김형의, 강이석, 2006, "전자비례감압밸브를 이용한 가변용량형 유압펌프의 다기능 제어," Transactions of KSAE, Vol.14, No.6, pp. 160~170.
- (22) 양철호, 한문식, 2006, "유한요소해석을 이용한 워터펌프 베어링돌출 설계 개선," Transactions of KSAE, Vol. 14, No.3, pp. 164~169.
- (23) 허형석, 이기수, 배석정, 2006, "자동차 밀폐형 워터펌프의 토출구 형상이 수력성능에 미치는 영향," Transactions of KSAE, Vol. 14, No.1, pp. 39~47.
- (24) 최종원, 윤재성, 김민수, 2006, "압전식 구동기를 이용한 양방향 마이크로 펌프의 성능에 관한 연구," 대한기계학회논문집 B권, 제30권, 제4호, pp. 350~357.
- (25) 박상진, 윤의수, 오형우, 2006, "SMART 연구로 주냉각재펌프의 검증시험," 대한기계학회논문집 B권, 제30권, 제9호, pp. 858~865.
- (26) 박중호, 2006, "고출력 마이크로 유체동력원 기술," 기계저널, 제46권, 제10호, pp. 22~24.
- (27) 허중식, 이종철, 황영규, 김윤제, 2006, "열천이 현상을 이용한 마이크로 펌프내의 희박기체유동 해석," Proceedings of The Fourth National Congress on Fluids Engineering.
- (28) 김현진, 심재휘, 2006, "오버터 진공펌프 성능해석," 유체기계저널, 제9권, 제5호, pp. 28~35.
- (29) 이동희, 김봉철, 안영주, 안진우, 2006, "유압펌프용 가변속 SRM 구동시스템 설계," 전력전자학회 논문집, 제11권 제1호, pp. 1~6.
- (30) 유일수, 박무룡, 정명균, 2006, "재생형 펌프의 수력학적 설계," 대한기계학회논문집 B권, 제30권, 제1호, pp. 16~23.
- (31) 윤의수, 오형우, 박상진, 2006, "전산해석에 의한 일체형 원자로용 주냉각재 펌프의 성능분석," 대한기계학회논문집 B권, 제30권, 제8호, pp. 818~824.
- (32) 김성훈, 홍예선, 2006, "사축식 유압 피스톤 펌프의 밸브 플레이트 형상과 하우징 진동간 상관관계에 대한 해석," 대한기계학회논문집 A권, 제30권, 제1호, pp. 52~59.
- (33) 신동운, 최창호, 홍순삼, 김진한, 2006, "개수로형재생펌프의 성능시험 및 수치해석에 관한 연구," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 29~34.
- (34) 최창호, 노준구, 김대진, 홍순삼, 김진한, 2006, "플로팅 실 간극이 터보펌프용 펌프의 성능에 미치는 영향," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 29~34.
- (35) 서현석, 김윤제, 2006, "고효율 드레인 펌프 개발을 위한 내부 유동 특성 분석," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 41~45.
- (36) 정경남, 김양익, 2006, "수직펌프 캐비테이션 성능해석," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 163~168.
- (37) 이경훈, 유주형, 강신형, 2006, "터보펌프용 인두서의 캐비테이션 불안정성에 대한 연구," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 169~174.
- (38) 오유미, 김영도, 김한일, 이동근, 박중호, 2006, "유입수문이 펌프장 흡수정 내 볼텍스 발생에 미치는 영향," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 48~51.