◎ 특 집

펌프 및 수차 분야 연구동향

김유택*

1. 서 론

펌프란 압력작용에 의해 액체나 기체의 유체를 관을 통하여 수송하거나, 저압의 용기 속에 있는 유체를 관을 통하여 고압의 용기 속으로 압송하는 기계를 지칭한다. 초기의 펌프는 농업용수의 관개 등 양수가 큰 문제가 되어 여러 양수 장치가 개발되었던 반면 오늘날에는 식음료, 농공업, 건축설비, 상하수도, 발전, 소방, 석유화학, 발전소, 의료기기, 자동차, 우주항공에 이르기까지 유체가 사용되는 곳에 필수적으로 사용되고 있다.

세계 펌프시장은 2008년도에 450억불이 넘을 것으로 예상되고 있으며, 펌프 수요증가로 인해 일본, 미국, 독일, 영국과 같은 기술 선진국이 오래전부터 다양한 종류의 펌프에 대해 기술을 축적해 오고 있고 전체 시장의 70% 이상을 차지하고 있다. 이에 대응하여 국내 펌프산업은 많은 연구개발 활동을 하고 있으나 이들의 기술력을 앞세운 외국제품들의 수입과 중국의 저가품 공세는 국내펌프계에 큰 위협이 되고 있는 실정이므로 이를 타파할 방법이 시급히 요구되고 있다.

2007년도에도 펌프와 관련된 연구가 국내에서는 활발히 진행되었으며, 많은 연구 결과들이 학회의 논문집이나 각종 학술발표회를 통해 발표되었다. 한편, 수차에 관한 연구는 국내에서는 아직 활발하게 연구되고 있지 않은 상황이다.

본 논문에서는 2007년 국내 펌프 및 수차 분야의 연구동향을 살펴보기 위하여 유체기계공업학회의 유체기계저널, 유체기계연구개발발표회 논문집과 대한기계학회의 논문집, 춘계학술대회 논문집, 추계학술대회 논문집을 대상으로 하였는데, 총 28편 중 유체기계연구개발발표회 논문집에서 15편, 유체기계저널에서 10편 춘·추계학술대회 논문집에서 3편이다. 한편 총 28편의 논문 중 펌프관련이 24편, 수차관련이 4편 이었다. 여기서 펌프 및 수차분야의 논문들을 내용별로 분류하고, 그 연구동향을 분석하였는데, 앞으로 펌프 및 수차분야의 관련기술 개발 및 확대에 더욱 힘써야 할 것으로 사료된다.

* 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부
E-mail : kimyt@hhu.ac.kr

2. 로켓용 펌프

로켓용 펌프는 액체연료 엔진에 장착되어 엔진의 연소기에 고압의 연료 및 산화제를 공급하기 위한 목적으로 사용되고, 높은 양정과 많은 유량을 필요로 하기에 주 임펠러 전방에 인듀서를 설치함으로써 정압을 상승시켜 캐비테이션 현상을 줄이며 더불어 임펠러의 성능을 최대화하게 된다.

국내의 로켓용 펌프에 관한 연구개발은 초기에 로템을 중심으로 몇 개의 연구기관과 기업들이 공동으로 수행하였으며, 현재는 한국항공우주연구원, 한국기계연구원, ROTEM 및 서울대학교 등에서 로켓용 펌프의 성능을 향상시키기 위한 노력의 일환으로 로켓용 펌프 내부의 인듀서에 집중하여 흡입성능연구 및 수치해석 연구가 많이 수행되었다.

인듀서와 임펠러의 적절한 매칭은 흡입성능에 매우 중요한 영향을 미치는데 이에 최창호 등[1]은 인듀서와 임펠러의 축방향 간극이 클수록 고유량에서 흡입성능이 떨어지는 것을 검증하였다.

최근에는 로켓용 펌프에 주로 사용되는 플로팅링 실에 관한 연구가 수행 중에 있는데 이는 수력성능에 상당한 영향을 미치는 부분이다. 최창호 등[2]이 플로팅링의 간극을 줄임으로 양정과 효율이 증가되는 것을 검증, 간극이 크고 작음에 대한 흡입성능에 관한 연구를 수행하였다.

한편 곽현덕 등[3]은 로켓용 펌프용 미케니컬 페이스실의 수락시험을 하였다. 터보펌프에 사용되는 미케니

컬 페이스 실의 실제 운용환경을 모사하고 30톤급 터보펌프에 사용되는 미케니컬 페이스 실의 수락실험을 통해 선속도에 따른 연구 및 실 후방부 고온 환경으로 인한 카본의 마모량에 대한 성능 평가를 행하였다.

3. 원심 펌프

원심펌프는 외부로부터 동력을 받아 회전하는 임펠러를 통하여 기계적 에너지를 유체의 압력 및 운동 에너지로 변환 하는 대표적인 원심형 유체기계 중에 하나이다. 원심펌프는 19세기 개발되어 현재까지 꾸준하게 연구 및 개발이 이루어지고 있으며 배수용, 상하수도용, 광산용, 화학공업용 등 산업체에서 사용하고 있는 펌프 중 가장 많이 사용되고 있다. 이에 따라 현재 연구자들은 실험과 해석적 연구를 통해서 높은 효율의 펌프를 얻기 위한 노력을 끊임없이 하고 있다. 최영도 등[4]은 원심펌프의 축추력 제어법에 관한 연구를 통해 J-그루브를 사용하여 축추력을 감소시키는 방법을 연구하였다.

비속도의 저하와 함께 원심펌프의 효율은 함께 저하하기 때문에 이 영역에서 임펠러의 제원이 펌프의 성능에 미치는 영향에 대해서 검토해 왔으며 케이싱 형상의 영향에 대해서도 연구되어 왔다. 최영도 등[5]은 극저 비속도 원심펌프의 불안정 성능개선 및 소형화를 위하여 임펠러 출구 부근의 배면에 방사홈을 설치하였으며, 그 효과를 실험 및 CFD 해석을 통하여 검토하였다.

임펠러 자오면 형상을 고정한 상태에서 날개전개도의 변수를 정하였으며, 변수 변화가 임펠러 성능에 미치는 영향을 실험계획법 및 수치해석을 통하여 분석하는 실험을 하여 김석 등[6]은 임펠러 성능에 영향을 주는 날개 전개도 변수를 반응표면기법을 이용하여 임펠러 최적화 설계를 연구하였다.

펌프를 고속으로 회전시키면 임펠러에서 캐비테이션[7]이 발생하게 되고, 이 현상이 발생하면 임펠러(또는 러너) 내부유로의 폐쇄에 의한 성능의 저하 및 임펠러와 케이싱 벽면에 손상을 주게 되어 운전이 불가능하게 된다. 따라서 최영도 등[8]은 캐비테이션의 억제 및 펌프성능 향상을 위해서 여러 유체기계에 적용하여 효과가 높은 것으로 입증된 J-그루브를 연구에 채택하여 원심펌프의 성능을 개선하기 위한 연구를 행하였다.

이처럼 원심펌프의 효율 향상을 위해 많은 연구가 현재 진행되어가고 있는 중이다.

4. 용적형 펌프

최근 자동차의 미래형 첨단 기술 개발과 모듈화 현상의 가속화로 완성차의 경쟁력뿐만 아니라 이를 뒷받침하는 부품산업의 경쟁력 확보가 필수화되는 추세이며, 이에 따라 부품의 개발 및 성능 평가를 위한 지원 및 노력이 활발히 진행 중이다. 그 중 차량의 성능에 직접적인 영향을 주는 냉각수 펌프나 오일펌프 등을 개발하거나 성능을 예측하기 위한 실험이 수행되고 있는 중이다. 이상혁 등[9, 10]은 동력장치용 베인 펌프의 유동특성에 대한 수치 해석 및 베인 펌프 설계인자 변화에 따른 내부 유동 해석을 수행하였다.

5. 특수 펌프

재생펌프(regenerative pump)는 유동이 케이싱의 수로와 임펠러의 베인 사이를 반복적으로 순환하며 에너지를 공급받는 구조로 이루어져 있다. 일반 펌프들에 비해 상대적으로 적은 유량에서 고압을 얻는데 적합한 특징을 가지고 있으며, 구조가 단순하고 내구성이 좋기 때문에 우주 발사체의 Gimbal 시스템용 유압펌프, 가솔린 자동차의 연료펌프, 소화전용 펌프 등에 널리 사용된다. 그러나 복잡한 유동으로 인한 마찰 손실이 크기 때문에 효율은 낮은 편이다. 신동윤 등[11]은 개수로형 재생펌프의 특성해석을 수행하였다. 자동차의 연료공급 장치에 사용되는 연료펌프(Fuel pump)는 고압의 실린더에 소량의 연료를 공급해야 하는 작동조건을 만족하기 위해 비속도 (specific speed)가 낮은 재생형 유체기계(regenerative type turbomachinery)가 주로 사용된다. 재생형 유체기계는 자동차용 연료펌프뿐만 아니라 가정 및 소방용수용 펌프, 링 블로워(ring blower), 연료전지용 블로워 및 수소재순환 장치에도 적용되고 있으며 작동 원리 및 성능 향상을 위한 연구가 꾸준히 수행되고 있다. 이경용 등[12]은 재생형 연료펌프의 채널 단면적 변화가 펌프의 전체 성능에 미치는 영향을 수치 해석적으로 알아보았다. 또한 이경용 등[13]은 재생형 연료펌프의 임펠러 홈 형상을 변화시켜 성능을 향상시키는 방법에 대한 연구를 하였다.

6. 마이크로 펌프

대량생산과 디바이스의 소형화 등 여러 측면의 이점 때문에 MEMS(Microelectromechanical Systems) 기술은 많은 산업분야에 응용되고 있다. MEMS 기술은 분석시간이 매우 짧고 소형인 질량분석기, 광분석기, 기체분석기 (gas chromatograph), 전자현미경 등에 요구되는 마이크로 스케일 단위의 분석용 센서의 제작을 가능하게 하였다. 이러한 마이크로 장치들은 각종 기체의 샘플을 채취하기 위해서 저진공 또는 고진공 상태를 필요로 하며, 기존의 진공펌프는 필요한 유량에 비해 크기가 과대하기 때문에 일반적인 펌프를 대신한 새로운 형태의 마이크로 진공펌프가 요구된다. 마이크로 펌프는 운동방식 및 구조와 구동방식에 따라 여러 가지 종류가 있는데, 최근에는 제작 공정이 간단하고 응답성이 빠른 압전형 마이크로 펌프가 많이 연구되고 있다. 허중식 등[14]은 마이크로 채널 내의 열천이 유동을DSMC(Direct Simulation Monte Carlo)법을 이용하여 해석하여 낮은 압력에서 작동하는 마이크로 펌프내의 압력, 온도, 속도 및 밀도 분포를 계산하였다.

백두진 등[15]은 말기 암 환자 통증 조절을 위한 이식형 약물 주입기용 마이크로 튜브 펌프의 설계를 통해 현재 이식형 약물 주입기에 장착되어 체외 실험과 동물 실험에 사용되고 있다. 향후 성능 향상을 위해 마찰 영향의 최소화 및 박출량 증가, 소형화 등 구조 설계에 관한 연구가 계속될 것이다.

마이크로펌프는 미세유체기계 중에서도 가장 필수적인 요소로서, 제어하기 어려운 마이크로 단위의 유체를 움직이는 데 사용된다. 이상혁 등[16]은 유체의 관성을 이용한 밸브없는 양방향 피에조 마이크로 펌프에 대한 유동특성을 분석하기 위해서 수치해석을 수행하였다.

7. 수차 및 CFD

최근 소수력발전은 수자원의 적극적인 유효이용의 관점에서 주목을 받고 있고, 에너지 밀도가 높고, CO2 발생도 없는 지속가능한 순환형 에너지시스템으로서의 위치를 차지하고 있다.

그러나 종래의 대규모 발전시스템에서 운용되었던 수차를 소수력 발전에 그대로 적용할 경우 수차의 효율이 종래의 대규모 발전시스템에 비해 상당히 저하되고, 단위발전단가에 대한 제작비가 매우 높아지게 되어 현실적으로 소수력 발전시스템의 도입에 걸림돌이 되고 만다.

최영도 등[17]은 구조가 비교적 간단하고 실용화에 적합한 소수력용 용적형 수차의 누설손실과 유효낙차가 수차의 성능에 미치는 영향 및 압력맥동에 관한 연구를 수행하였다.

한편, 횡류수차는 구조가 간단하고 표준화 계열화가 용이하며, 다른 소수력용 수차에 비해 상대적으로 제작단가가 낮은 것이 실용화 및 보급의 장점이며 이영호 등[18]이 CFD해석에 의한 마이크로 횡류수차의 속도와 압력 분포를 검토하였다.

또한, 소수력발전용으로 사용되는 수차중 수도관차압을 이용한 튜블러수차에 대해서는 김유택 등[19]이 CFD에 의한 가이드 베인 개도에 따른 수차 특성을 분석하였다.

신생에너지로 파력, 조력, 해상풍력 등이 있는데 이중 파랑 에너지는 모든 해역에 폭넓게 분포하므로 에너지원이 풍부하고 우리나라의 연안지역에 대규모로 설치하여 활용이 가능한 에너지 자원이다. 이영호 등[20]이 파랑에너지를 전기로 변환하는 케이슨 내장형 횡류수력터빈의 기본형상과 노즐형상 변화에 대해 내부유동과 성능 해석을 하였다.

한편 펌프 성능 평가방법은 크게 실험적방법과 CFD(Computational fluid dynamics) 방법으로 분류된다. 여기서 실험적 방법은 공간 및 비용적인 측면에서 많은 제약이 따른다. 이런 이유로 현재 유체 기계 분야의 유동 해석 및 성능 평가를 위한 많은 상용 CFD코드들이 개발되어 최적 설계단계에서 적용되고 있다.

참고문헌

(1) 최창호, 김대진, 홍순삼, 김진한, 2007, "인듀서의 임펠러 축방향 간극이 터보펌프 성능에 미치는 영향," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 422~428.

(2) 최창호, 노준구, 김대진, 홍순삼, 김진한, 2007, "플로팅링 실 간극이 터보펌프용 펌프의 성능에 미치는 영향," 유체기계저널, 제10권, 제6호, pp. 38~43.

(3) 곽현덕, 전성민, 김진한, 2007, "터보펌프용 메카니컬 페이스 실의 수락실험," 유체기계저널, 제10권, 제 1호, pp. 20~25.

(4) 최영도, 쿠로카와준이치, 2007, "원심펌프의 축추력제어법에 관한 연구," 유체기계저널, 제10권, 제4호, pp. 29~35.
(5) 최영도, 쿠로카와준이치, 2007, "극저비속도 원심펌프의 불안정성능개선 및 소형화에 관한 연구," 유체기계저널, 제10권, 제4호, pp. 29~35.
(6) 김석, 최영석, 윤준용, 2007, "반응면 기법을 사용한 원심펌프 임펠러 최적설계," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 281~286.
(7) 차인호, 이제균, 김용열, 이종익, 김한일, 2007, "펌프에서의 와류 캐비테이션 분석에 관한 연구," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 275~280.
(8) 최영도, 쿠로카와준이치, 이영호, 2007, "반밀폐형 임펠러와 J-그루브에 의한 원심펌프 성능개선," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 293~296.
(9) 이상혁, 허남건, 진봉용, 2007, "Vane Pump의 유동특성에 대한 수치 해석," 유체기계저널, 제10권 제1호, pp. 34~40.
(10) 이상혁, 허남건, 2007, "베인 펌프 설계인자 변화에 따른 내부 유동 해석," 유체기계저널, 제10권, 제6호, pp. 24~31.
(11) 신동윤, 최창호, 김진한, 2007, "개수로형 재생펌프의 특성해석에 관한 연구," 유체기계저널, 제10권, 제2호, pp. 46~53.
(12) 이경용, 최영석, 손광은, 2007, "재생형 연료펌프의 채널 면적 변화가 성능 특성에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구," 유체기계저널, 제10권, 제5호, pp. 41~45.
(13) 이경용, 최영석, 장진욱, 2007, "재생형 연료펌프의 내부유동 분석을 통한 성능향상," 유체기계 연구 개발 발표회 논문집, pp. 287~292.
(14) 허중식, 이종철, 황영규, 김윤제, 2007, "열천이 현상을 이용한 마이크로 펌프내의 희박기체유동해석," 유체기계저널, 제10권, 제5호, pp. 27~33.
(15) 백두진, 조영호, 2007, "말기 암 환자 통증 조절을 위한 이식형 약물 주입기용 마이크로 튜브 펌프설계," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 327~331.
(16) 이상혁, 허인영, 허남건, 2007, "밸브 없는 양방향 피에조 마이크로펌프의 유동해석," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 332~339.
(17) 최영도, 쿠로카와준이치, 김유택, 이영호, 2007, "용적형 수차의 성능과 압력맥동에 관한 연구," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 383~386.
(18) 임재익, 최영도, 최민선, 김유택, 이영호, 2007, "CFD해석에 의한 마이크로 횡류수차의 속도와 압력분포," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 387~390.
(19) 남상현, 김유택, 최영도, 이영호, 2007, "CFD에 의한 가이드 베인 개도에 따른 튜블로 수차 특성," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 391~394.
(20) 김창구, 최영도, 김유택, 이영호, 2007, "CFD에 의한 파력발전용 횡류터빈의 내부유동과 성능해석," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 395~398.
(21) 노형운, 송지운, 박진훈, 김한일, 2007, "최적 규격의 펌프 시스템 적용을 위한 프로그램 개발," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 399~401.
(22) 박성훈, 고상근, 2007, "Efficiency analysis of the diffuser/nozzle fluid pump on the steady laminar flow region using 3D simulations and experiments," 대한기계학회의 추계학술 논문집, pp. 160.
(23) 임우섭, 서영수, 김현식, 2007, "선박용 펌프의 시장현황과 전망," 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 402~407.
(25) 김준형, 최영석, 이경용, 2007, "입구부 형상이 수중카고 펌프의 흡입 성능에 미치는 영향," 유체기계 연구 개발 발표회 논문집, pp. 174~179.
(26) Li Xuesong, GiTae Pack, HanShik Chung, HyoMin Jeong, 2007, "Optimal Dimension Design of Core Tube inside of Bubble Pump Used on Solar Fluid Heating System," 추계학술대회 논문집, pp. 159.
(27) 김병욱, 이안성, 노명근, 2007, "고속 운전용 건식 진공펌프 로터-베어링 시스템의 전체동역학 해석," 유체 기계저널, 제10권, 제3호, pp. 47~54.
(28) 김진욱, 김창녕, 2007, "디퓨저/노즐을 이용한 압전형, 마이크로 펌프의 입,출구 형상에 따른 유동특성에 관한 수치해석적 연구," 대한기계학회의 춘계학술대회 눈문집, pp. 313.