

펌프 분야 연구동향

김경엽* · 김일수**

1. 서 론

일반적으로 펌프는 구동 원동기로부터 기계적 에너지를 받고 이 에너지를 취급 액체에 전달하여 이 액체를 저압부에서 고압부로 토출하는 기계로 정의한다. 오늘날 펌프는 건축설비, 농공업, 상하수도, 제지, 식음료, 석유화학, 발전소 산업 전반에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있으며, 펌프 구조도 각각의 응용분야에 적합하도록 설계되고 있다. 세계 펌프시장은 해마다 약 6%씩 증가하고 있으며, 2006년에는 400억불이 넘을 것으로 예상되고 있다. 펌프 수요의 증가로 인하여 미국이나 일본과 같은 기술 선진국에서는 오래 전부터 여러 종류의 펌프에 대해서 상당한 기술을 축적해 오고 있다. 최근에 펌프시장은 산업이 발전됨에 따라 그 수요가 급증하고 있으며, 그간 기술 개발에 소홀했던 국내 시장이 국내외 펌프업체들의 각축장이 되고 있다. 외국의 다국적 기업과 기술력을 앞세운 외국 제품들이 수입됨과 동시에 중국의 저가품 공세는 국내 펌프업체에 커다란 위협이 되고 있다.

한편, 2005년 한해 동안 펌프와 관련된 연구가 국내에서는 활발히 진행되었으며, 많은 연구결과들이 학회의 논문집이나 각종 학술발표회를 통해 발표되었다. 본 원고는 2005년 국내 펌프분야의 연구동향을 살펴보기 위하여 대한설비공학회 설비공학논문집 및 유체기계공학회 유체기계저널과 대한기계학회논문집 및 학술대회논문집, 유공압시스템학회 유공압시스템학회지, 한국추진공학회 학술대회논문집을 중심으로 펌프분야의 연구동향을 분석하였다. 2005년도에 게재된 논문은 대한설비공학회 5편, 유체기계공학회 9편, 대한기계학회 3편, 유공압시스템학회 2편, 한국추진공학회 3편을 포함한 총 22편이며 각 분야에서 심도있는

연구 및 개발이 이루어진 것으로 조사되었다. 여기서 펌프분야의 논문들은 내용별로 분류하고, 그 연구동향을 분석하였는데, 앞으로 펌프분야의 관련기술 개발 및 확대에 더욱 힘써야 할 것으로 사료된다.

2. 터보 펌프

우주 발사체의 개발에서 가장 핵심적인 기술 중 하나는 액체 로켓의 추진제로 사용되는 산화제와 연료를 고압으로 연소실까지 이송시키는 터보펌프 개발기술이다. 초기 국내의 터보펌프에 관한 연구개발은 로템을 중심으로 몇 개의 연구기관과 기업들이 공동으로 수행하였다. 이 후 한국기계연구원, 한국항공우주연구원, ROTEM 및 서울대학교 등에서 터보펌프 내부의 인듀서와 임펠러 주위의 3차원 유동해석을 수행하여 유동특성과 상호작용에 관한 연구가 수행되었다. 또, 터보펌프 내부유동 특성과 캐비테이션 억제에 관한 실험적 연구와 한국항공우주연구소에서 개발한 극저온 터보펌프 성능시험설비의 설계 과정과 시험기의 사양, 시운전 결과 등이 발표되었다. 최근에 박병훈 등⁽¹⁾은 로켓 엔진 시스템의 예비설계를 위한 성능설계 프로그램을 개발하였다.

터보펌프의 임펠러는 높은 회전속도의 영향으로 발생하는 캐비테이션을 줄이기 위하여 임펠러 전방에 인듀서를 장착한다. 보통 인듀서는 팁 와류와 날개를 따라 어느 정도 캐비테이션이 발생한 상태에서 운전하게 되며, 입구에서 발생한 기포가 출구로 전파되는 것을 방지하기 위하여 큰 현절비를 가진다. 홍순삼 등⁽²⁾은 액체로켓엔진용 터보펌프에서 연료펌프에 대한 수력시험을 수행하여, 인듀서가 펌프의 양정, 효율 및 캐비테이션에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 양희성 등⁽³⁾은 질유량 최소화 및 고압력비를 요구하는 가스발생기 발생의 개방형 액체로켓엔진(LRE)용 터보펌프유닛(TPU) 성능설계를 위하여 구성품인 비극저온 원심펌프 및 부분분사노즐을 사용하는 1단 충동형 터빈에 대한 성능설계 프로그램을 개발하였다. 최창호 등⁽⁴⁾은

* 한국산업기술대학교 기계공학과

E-mail : kykim@kpu.ac.kr

** 목포대학교 기계·선박해양공학부

E-mail : ilsookim@mokpo.ac.kr

보조 인듀서가 터보펌프의 흡입성능에 미치는 영향에 대하여 고찰하였으며, 주 인듀서의 익단 간극 크기에 따른 보조 인듀서가 흡입 성능에 미치는 상관 관계를 조사하였다. 최범석 등⁽⁵⁾은 액체 메탄을 연료로 사용하는 고압 터보펌프 시스템의 인듀서, 임펠러 등 내부 유동에 대한 3차원 유동해석을 수행하여 유동특성을 분석하고 설계된 펌프의 성능평가를 수행하였다.

3. 원심 펌프

원심펌프는 외부로부터 동력을 받아 회전하는 임펠러를 통하여 기계적 에너지를 유체의 압력 및 운동 에너지로 변환하는 대표적인 원심형 유체기계 중 하나이다. 원심펌프는 19세기에 발명된 이래 꾸준한 성능 개선이 이루어져 왔으며, 국내 대부분의 펌프 제조업체에서 가장 많이 생산하는 펌프 품목 중 하나이다. 원심펌프에 관한 연구는 그 동안 많은 연구자들에 의해서 수행되어 왔으며, 대부분 높은 효율의 펌프를 생산하기 위해서는 실험과 해석적 연구 등을 통해 기술 향상이 이루어져야 한다. 최영석 등⁽⁶⁾은 임펠러 설계 관점이 아닌 주어진 임펠러 형상에서 불류트의 설계 변경을 통하여 성능곡선의 기울기를 변화시킬 수 있는 기법을 연구하였다.

비속도가 매우 낮은 극저비속도 영역에서 종래의 용적형 펌프를 대신하여 진동·소음 문제의 대책뿐만 아니라 소형화 및 고속화의 최근 경향에도 적합한 원심식 펌프가 주목을 받고 있다. 그러나 기존의 설계 방법으로 원심식 펌프를 설계하거나 제작할 경우에 임펠러의 유로 폭은 매우 좁아져서 생산 현장에서 제작하기가 매우 어렵다. 또한, 비속도가 낮아질수록 원심펌프의 효율이 급격히 저하하기 때문에 높은 효율을 얻기가 어렵다. 극저비속도 원심펌프의 내부유동은 펌프의 성능에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 내부유동과 성능과의 관계 정립이 요구된다. 최영도 등⁽⁷⁾은 극저비속도 펌프의 내부유동 분석을 통하여 내부유동이 펌프성능에 미치는 영향을 분석하였다.

4. 특수 펌프

오일펌프는 자동차 엔진에 장착되어 구동되는 엔진의 필수 기능 부품이다. 엔진으로부터 공급받는 기계적인 에너지를 엔진 오일의 압력 에너지 및 속도 에너지로 변환시켜서 엔진 내부의 각 흡동부에 윤활 오일

을 공급하여 부품의 이상 마모, 고착 등이 발생하지 않도록 하는 중요 부품이다. 지로터 펌프는 내부 로터와 외부 로터로 구성되어 있어 구조가 간단하고 소결 제품의 제작 기술 발달로 가공의 정밀도가 높아짐에 따라 형상이 복잡하지만 가공이 용이하며 조립이 쉽고 두 치형 사이에서 상대 운동이 적어 장시간 사용하더라도 효율의 변화가 적어 흡입성능이 우수한 특징을 갖고 있다. 특히 다른 펌프에 비하여 소음이 적어 엔진 윤활을 위한 윤활유의 공급원이나 자동 변속기의 유압원으로 널리 사용되고 있다. 현재까지 연구내용은 주로 이론적인 해석에 집중되어 왔으며 활용한 사례가 적어서 설계시에 많은 문제점이 있었다.

현재 자동차 연료펌프로 적용하는 사이드 채널 타입의 재생펌프는 여러 운전 조건 하에서 3.8 bar라는 균일한 압력으로 인젝터에 연료를 공급하는데 사용된다. 지금까지의 연구는 단순히 판형의 임펠러 날개에 대하여 여러 요소를 각각 변화시킬 때 성능변화에 대한 이론적인 해석 및 실험에 집중되었다. 임형수 등⁽⁸⁾은 재생펌프의 성능에 영향을 주는 요인 중 날개 임펠러 형상, 간극에서의 누설 유량, 입/출구의 수력손실이 재생펌프의 성능에 미치는 연구를 수행하였다.

5. 마이크로 펌프

최근 MEMS(Micro Mechanical System)와 마이크로 가공기술 (micro-machining)이 발전함에 따라 다양한 종류의 마이크로 시스템들이 개발되고 있다. 이 중 미소량의 유체를 제어하기 위한 마이크로 유체기기 (microfluidics device)에 관한 기술이 급속하게 발전하고 있다. 또한 MEMS 기술의 마이크로 유체기계 응용은 마이크로 채널, 유동 restrictor, 마이크로 펌프, 밸브, 센서, 마이크로 냉각 시스템 등이 있으며, 이미 많은 연구가 수행되었다. 한편 마이크로 펌프는 그 크기가 수 cm 혹은 수 mm로 화학물 분석시스템, 세포융합 시스템, 약물 전달장치 등 생물학, 화학 및 의공학 분야에 널리 사용되고 있다. 마이크로 펌프는 운동방식 및 구조와 구동방식에 따라 여러 가지 종류가 있는데, 최근에는 제작 공정이 간단하고 응답성이 빠른 압전형 마이크로 펌프가 많이 연구되고 있다. 김동환 등⁽⁹⁾은 마이크로 펌프 성능에 직접적인 영향을 미치는 디퓨저/노즐의 목 폭 (throat width) 경사각 (taper angle), 길이, 중앙챔버의 크기를 설계변수로 택하여 이들을 변화시키면서 최적의 설계 조건에 대한 연구를 수행하였다. 정진 등⁽¹⁰⁾ 디퓨

저/노즐 방식의 열공압형 마이크로 펌프에 대하여 FSI(Fluid Structure Interaction) 모델을 이용한 3차원 수치해석을 수행하여 cavity 내의 열공압 특성, 박막의 거동특성 및 챔버 내 작동유체의 유동특성을 파악하였다. 또한 유체영역과 고체영역을 연동하여 함께 계산하는 FSI 방식을 이용하여 디퓨저/노즐이 대칭인 위치에 있을 때 디퓨저와 노즐 사이의 거리가 마이크로 펌프에 미치는 영향을 해석하고, 디퓨저의 위치가 고정된 경우 노즐의 위치에 따른 펌프성능을 연구하였다⁽¹¹⁾.

윤재성 등⁽¹²⁾은 압전 세라믹을 이용한 실리콘 박막을 구동하는 방식을 선정하고, 주 유로에 경사진 보조 유로를 연결하여 유체를 흡입·토출 시킴으로써 밸브가 없이도 구동이 가능하도록 설계하였다. 또한 두 개의 보조 유로를 반대 방향으로 배치하고 각각의 유동을 별도의 구동기로 제어하여 양 방향으로 운전이 가능한 펌프를 개발하였다.

6. 수격 현상

현대 사회의 도시 발달로 깨끗하고 안정적인 물 수요 증가로 수도 시설의 일부인 도·송수 관로는 대구경에 장거리로 설치되는데, 이에 따른 사고로 수격현상에 매우 취약하게 된다. 수격현상에 의한 사고는 펌프의 동력이 갑자기 차단될 경우에 송수 유량의 역류로 인하여 펌프·모터가 역회전으로 가속되어 사고가 발생할 우려가 있고, 압력 상승으로 인하여 펌프, 밸브, 관로 및 부대 시설이 파손되어 손상을 입기도 하며, 관로 내의 압력 상승 및 강하에 의해 관로가 붕괴되거나, 수주분리가 발생하여 관로가 파괴되기도 한다. 따라서 이러한 수격현상을 예방할 수 있는 근본적인 대책이 시급하게 요구되고 있다⁽¹³⁾.

라병필 등⁽¹⁴⁾은 자양 취수장에서 일산 정수장까지의 계통에 대하여 현 취수 용량을 기준으로 현장 시험을 실시하고, 이 결과에 의해 최대 용량에 따른 안정성을 추정코자 하였다. 특히, 무인으로 운영되고 있는 취수 펌프장의 안전 설비로 설치되어 있는 압력릴리프밸브와 공기밸브의 역할, 펌프 토출밸브의 폐쇄시간 등을 전산모의해석과 현장실증을 통해 비교·분석함으로써 펌프장과 관로의 안정성을 확보하고자 하였다.

7. SMART 연구로 주냉각재 펌프 설계 및 검증

현재 많이 사용되고 있는 각종 원자로는 감속재 및

냉각재로 물 (경수)을 사용하기 때문에 이를 사용유체로 하는 펌프, 밸브, 탱크, 열교환기, 배관 등 많은 유체 기기들로 구성되어 있다. 한편 일체형 원자로는 가압기, 증기발생기 및 배관들을 원자로 용기 내에 배치하여 압력계를 단순화하는 개념으로 주 냉각재 펌프 역시 원자로 내에 장착하였다. 국내 원자력 법령의 원자로시설 규칙에 준하여 일체형 원자로 주 냉각재 펌프 설계기술 개발을 수행한 것으로 원자로 일차 냉각재 계통에 사용되는 펌프설계에 대한 국내 기반기술을 한단계 상승시켰다⁽¹⁵⁾. 한국기계연구원에서는 일체형 원자로(SMART)의 1차 계통 주 기기인 주 냉각재 펌프(main collant pump)의 성능검증 및 건전성을 확인하기 위하여 원자로의 운전조건을 모사한 성능시험장치를 설계·제작하고 이를 이용하여 MCP 검증시험을 수행하였다⁽¹⁶⁾.

참고문헌

- (1) 박병훈, 양희성, 김원호, 주대성, 윤용섭, 2005, "터보펌프 방식을 사용하는 개방형 가스발생기 사이클 로켓엔진의 성능설계", 한국추진공학회 춘계학술대회논문집, pp. 123~127.
- (2) 홍순삼, 김대진, 김진선, 최창호, 김진한, 2005, "터보펌프의 수력 성능시험", 한국추진공학회 춘계학술대회논문집, pp. 243~247.
- (3) 양희성, 박병훈, 김원호, 주대성, 윤용섭, 2005, "개방형 액체로켓엔진시스템 개념설계를 위한 터보펌프시스템 성능설계", 한국추진공학회 춘계학술대회논문집, pp. 128~133.
- (4) 최창호, 홍순삼, 김진한, 2005, "보조 인두서가 터보펌프의 흡입성능에 미치는 영향", 유체기계저널, 제8권, 제3호, pp. 42~47.
- (5) 최범석, 윤의수, 오형우, 2005, "고압 터보펌프용 연료펌프의 수력설계 및 성능 평가", 유체기계저널, 제8권, 제2호, pp. 31~38.
- (6) 최영석, 김덕수, 이경용, 윤준용, 2005, "볼류트 단면적 변화가 원심펌프의 성능곡선에 미치는 영향", 대한설비공학회 동계학술대회논문집, pp. 558~563.
- (7) 최영도, 쿠로카와 준이치, 이영호, 2005, "극저비속도 원심펌프의 성능과 내부유동특성에 관한 연구", 대한기계학회논문집 B, 제29권, 제7호, pp. 784~794.
- (8) 임형수, 강신형, 2005, "사이드채널형 재생펌프

- 의 성능 특성에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회논문집 B. 제29권, 제3호, pp. 306~313.
- (9) 김동환, 한동석, 정시영, 허남건, 윤석진, 2005, “마이크로 펌프용 디퓨저/노즐의 유동 특성에 관한 CFD해석”, 설비공학논문집, 제17권, 제6호, pp. 544~551.
- (10) 정진, 김창녕, 2005, “디퓨저와 노즐을 이용한 열공압형 마이크로 펌프의 열공압 및 유동특성에 관한 수치해석적 연구”, 설비공학논문집, 제17권, 제7호, pp. 642~648.
- (11) 김동희, 정진, 김창녕, 2005, “입·출구 위치 변화에 따른 압전 구동방식 마이크로 펌프의 성능특성에 관한 수치해석적 연구”, 설비공학논문집, 제17권, 제1호, pp. 33~38.
- (12) 윤재성, 최종원, 김민수, 2005, “밸브없이 구동되는 양방향 마이크로 펌프의 설계 및 성능에 관한 연구”, 대한설비공학회 하계학술대회논문집, pp. 611~615.
- (13) 김상균, 이동근, 이계복, 김경엽, 2005, “가압 펌프장의 수격완화설비에 대한 보수·보강 사례”, 유체기계저널, 제8권, 제4호, pp. 20~26.
- (14) 라병필, 김진만, 이동근, 박중호, 김경엽, 2005, “과도수리현상 해석과 실증을 통한 펌프장 안정성 확보방안”, 유체기계저널, 제8권, 제5호, pp. 22~28.
- (15) 김민환, 2005, “SMART 연구로의 주냉각재펌프 개발과제 소개”, 유체기계저널, 제8권, 제3호, pp. 85~90.
- (16) 박상진, 윤의수, 오형우, 2005, “SMART 연구로 주냉각재펌프(MCP)의 검증시험”, 유체기계저널, 제8권, 제3호, pp. 82~84.
- (17) 한국수자원공사, 2005, “Sump 관련 국내 및 국제 규격”, 유체기계저널, 제8권, 제2호, pp. 53~56.
- (18) 한국수자원공사, 2005, “Sump 수리모형시험”, 유체기계저널, 제8권 제2호, pp. 62~67.
- (19) 김태규, 최성중, 강창원, 2005, “선박 엔진용 fuel pump block 소재(CK35)dml 피로파손 원인규명”, 대한기계학회 논문집 A. 제29권, 제5호, pp. 663~670.
- (20) 김경호, 김성동, 함영복, 이재천, 2005, “등속 조인트를 적용한 사판식 유압모터(펌프의 로드형 피스톤에 대한 운동해석)”, 유공압시스템학회지, 제2권, 제1호, pp. 1~8.
- (21) 안경관, 2005, “유압 펌프/모터를 이용한 에너지 절감 유압제어 시스템에 관한 연구”, 유공압시스템학회지, 제2권, 제2호, pp. 8~12.