

## 펌프 분야 연구동향

김경엽\*

### 1. 서 론

지난 2002년 한해는 우리에게 크고도 중요한 일들이 많이 있었던 것으로 기억된다. 그 중은 나라를 떠들썩하게 했던 용원의 삼성 '대한민국'과 월드컵 4강 신화는 아직도 기억에 생생하다. 지구인의 축제라 불리는 월드컵을 잘 치르기 위해 우리는 많은 준비를 하였고, 개막전이 열렸던 상암 월드컵 경기장은 세계인의 이목이 집중되기도 하였다. 이 때 한강에서 솟구치던 한줄기 물줄기는 우리의 가슴을 시원하게 해 주었는데, 한강에 바지선을 띄우고 고압펌프와 노즐을 통하여 202m 분수를 쏘아 올리기 위해 국내 펌프엔지니어들도 많은 노력과 고생을 아끼지 않았다.

이와 더불어 작년에는 펌프와 관련된 연구가 국내에서 활발히 이루어졌으며, 많은 결과들이 학회의 논문집이나 학술대회를 통해 발표되었다. 본 논문에서는 2002년 국내 펌프분야의 연구동향을 살펴보기 위하여 유체기계저널 및 유체기계연구개발발표회, 대한기계학회 논문집 및 추계학술대회논문집, 대한설비공학회 논문집 및 학술발표회를 대상으로 하였는데, 총 23편 중 유체기계공업학회에서 15편, 대한기계학회 5편, 대한설비공학회 3편이 게재되어, 우리학회의 비중을 다시 한번 실감할 수 있었다. 여기서 펌프분야의 논문들을 내용별로 분류하고, 그 연구동향을 조사하고자 한다.

### 2. 터보 펌프(원심 펌프)

액체로켓에서는 연료와 산화제를 연소실에 공급하기 위하여 터보펌프를 사용한다. 터보펌프는 터빈과 펌프가 일체형으로 되어 있으며 가스발생기에서 발생시킨 연소가스로 터빈을 구동하며 터빈이 펌프를 돌리는 형태로 되어있다. 여기에 사용되는 펌프는 고양정

과 대유량이 특징이며 이에 따라 임펠러에서는 높은 원주속도로 인하여 공동화 현상이 매우 쉽게 일어나게 되는데 이를 방지하기 위하여 주 임펠러 전방에 인두서를 장착함으로써 정압 상승을 통한 공동화 현상의 발생이 최대한 억제되도록 한다. 액체로켓의 경우 터보펌프에서 발생하는 공동화 현상으로 인하여 진동발생 및 구조적인 문제를 초래하기도 하며 토출압력의 불안정으로 인한 연소불안정까지 야기한다. 손동기 등<sup>(1)</sup>은 직경과 회전속도를 변화시켜 가면서 터보펌프 인두서의 흡입성능변화에 미치는 영향을 알아보았다. 직경은 설계된 크기와 그 두 배 크기에 대하여 시험을 수행하였고, 회전수는 4000, 6000, 8000rpm 3가지로 변화해 가면서 시험을 수행하였다. 결과는 수력성능과 흡입성능을 나타내었으며 가시화 결과도 함께 나타내었다.

캐비테이션을 고려한 터보펌프의 시험 및 수치해석을 통한 성능예측에 대한 연구는 많은 어려움을 지니고 있기 때문에 캐비테이션을 배제한 수력성능에 대하여 주로 수행되었으며, 캐비테이션을 고려할 경우에는 대부분 인두서에 국한하여 수행되었다. 최창호 등<sup>(2)</sup>은 캐비테이션을 제외한 터보펌프의 수력성능을 평가하고 시험결과와 비교함으로써 수치해석에 대한 신뢰성을 검토하였다. 유동해석을 통해 임펠러 그리고 벌류트 내부의 유동박리와 이차유동에 의한 유동손실을 규명하고 입구 유량변화에 따른 전체 성능변화를 살펴보았다. 또한 벌류트의 손실이 크게 예측되었으므로 이의 성능을 개선하기 위한 연구가 이루어졌다.

또한, 터보펌프에서 인두서와 임펠러의 상호작용을 고려하는 것은 매우 중요하다. 인두서를 임펠러 앞에 장착함으로써 흡입성능은 개선되지만 인두서의 효율이 낮으므로 전체 펌프의 효율은 떨어지게 된다. 또한 인두서 출구 블레이드 각에 의하여 임펠러 입구에 예선 회가 존재하므로 효율 최적화를 위해서는 임펠러의 입구각을 적절히 설계하여야 한다. 이에 따라 최창호 등<sup>(3)</sup>은 인두서/임펠러 상호작용에 대한 수치해석적 연구를 수행하였다.

\* 한국산업기술대학교 기계공학과  
E-mail : kykim@kpu.ac.kr

구현철 등<sup>(4)</sup>은 새로 설계된 인듀서의 성능 및 유동 특성을 살펴보기 위하여 인듀서 출구에서의 유동장을 3공 프루브를 사용하여 측정하였다. 측정 데이터는 인듀서의 설계에 반영될 것이며, 또한 유동해석의 검증에 이용될 것으로 기대하고 있다.

보통 인듀서는 팁 와류(tip vortex)와 날개를 따라 어느 정도 캐비테이션이 발생한 상태에서 운전하게 되며, 입구에서 발생한 기포가 출구로 전파되는 것을 방지하기 위하여 큰 현질비(solidity)를 갖는다. 홍순삼 등<sup>(5)</sup>은 개발 중인 인듀서에 대하여 현질비의 영향을 실험을 통하여 조사하였다.

한편, 현대모비스는 10톤급 액체추진 로켓엔진을 러시아의 KeRC(Keldysh Research Center)와 한국기체연구원을 포함하여 국내의 연구기관, 대학, 기업과 공동으로 개발한 바 있는데, 이 중 터보펌프유닛(turbo pump unit; TPU)은 축류터빈, 산화제(LOx)펌프, 연료(LCH<sub>4</sub>)펌프로 구성되어 있다. 윤의수 등<sup>(6)</sup>은 인듀서가 부착된 원심형 터보펌프에 대한 러시아의 평균유선(meanline, 1차원) 설계·해석기법을 분석하고 이를 프로그램(TPP-R)으로 작성하였다. 이 프로그램을 현대모비스가 개발한 TPU에 대하여 KeRC가 수행한 연료펌프 모델시험에 적용하고 실험치와 예측치를 비교 검토함으로써 설계·해석기법과 연료펌프의 수력성을 검증하고자 하였다. 또한 원심펌프 설계·해석 관련 상용의 프로그램(PERFIG)을 연료펌프 모델시험에 적용하였다.

김수원 등<sup>(7)</sup>은 유도 무기의 유압용 회전형 베인펌프(ratary vane pump)의 시스템에 장착되어 캐비테이션 방지를 위해 사용되는 보조펌프(pre-pump, 소형 터보펌프)를 연구의 대상으로 하였다. 이 터보펌프의 설계는 앞에서 발표된 러시아의 방법을 따랐으며, 2차원 날개 형상의 임펠러와 임펠러 입구측에 나선형 인듀서가, 출구측에 채널 디퓨저가 부착된 구조로 되어 있다. 그러나 연구에서는 임펠러의 성능 및 각종 손실의 분석에 초점을 두기 위하여 인듀서를 제거하고, 채널 디퓨저를 베인없는 디퓨저(vaneless diffuser)로 대체한 후 성능을 측정하고 분석하였다.

인듀서는 유로에서의 유동이 매우 복잡하여 인듀서의 설계는 일반적으로 경험적 및 반경험적인 기술에 의존한다. 최근에 들어 매우 잘 발달된 CFD 기술은 터보기계를 설계하는데 아주 성공적이다. 하지만 캐비테이션 발생 및 성장은 수치적으로 해석하는 것이 아직까지 매우 어려운 실정이다. 또한 매우 작은 블레이

드 각으로 인한 계산 격자 생성의 어려움이 있으며 이로 인하여 계산 결과의 영향에도 민감하다. 아직까지 강한 2차원 유동이 있는 인듀서 내부 유동 및 선단에서의 역류 발생에 대한 연구는 자세히 연구되어져 있지 않다. 심창열 등<sup>(8)</sup>은 주로 선단 부근에서의 재순환의 수력학적 모델링 및 그로 인한 인듀서 성능에 미치는 영향을 연구하였다.

### 3. 사례 및 축류 펌프

펌프의 토출압에 의한 반작용을 추진력으로 이용하는 waterjet 선박의 경우, 기존의 프로펠러 형식보다 가속능력, 조향 및 제동능력이 뛰어나고, 회전수가 동일하다면 선속에 무관하게 거의 동일한 동력을 흡수하기 때문에 과부하로 인한 성능저하 현상이 감소되어 평균 기계수명이 상대적으로 길다. 이러한 이유로 최근에 선박용 추진장치로서 waterjet 시스템의 도입이 활발히 이루어지고 있다. waterjet 추진용 펌프의 형식은 대개 사류형의 무차원 비속도 영역에 속한다. 황순찬 등<sup>(9)</sup>은 기존의 터보기계 성능예측 및 최적설계기법을 바탕으로 선박추진 시스템에 적합한 구조의 사류형 펌프에 대한 최적설계 및 성능해석을 수행하였다. 예비설계 및 상세설계의 반복·검증작업을 통해 얻어진 모델펌프 시스템을 제작, 실험함으로써 목표성능을 만족시키는 waterjet 추진용 사류펌프를 설계하였다.

또한, 다양한 축류형 유체기계의 설계방법에 대해서는 단순한 실험식을 이용하는 방법에서부터 전산유체역학을 이용하는 방법이 있다. 유체기계의 초기단계의 설계는 많은 형상변수와 유체역학변수의 복잡한 상관관계 때문에 간단한 실험식을 이용하는 방법이 아직도 널리 사용되고 있다. 반면에 많은 비용과 시간을 필요로 하는 전산유체역학 방법은 유동현상을 보다 정확하게 규명하는데 이용되고 있다. 1960년대 후반부터 유체기계의 형상 설계뿐만 아니라 익형의 개발에 최적화 기법이 적용되어져 왔다. 송재욱 등<sup>(10)</sup>은 유체기계에서 가장 중요시되는 효율, 펌프의 수명에 관련된 유효 흡입양정, 그리고 안정된 작동범위의 확보를 위한 실속여유를 절충한 다변수 목적함수(multi-variable objective function)에 대해서 최적화된 형상을 찾을 수 있는 자동화된 설계코드를 개발하였다. 효율, 유효흡입양정, 그리고 실속여유의 절충뿐만 아니라 여러 가지 기하학적, 유체역학적 제한 조건을 고려할 수 있는 외부위배함수를 포함한 목적함수의 최적화를 유전적 최적화 기법으

로 수행하였으며, 주어진 비속도 범위에서 설계 초기 단계에서 결정하는 축류 펌프의 기본적인 형상변수의 변화를 결과로 제시하였다.

## 4. 드래그 및 수증 펌프

### 4.1 드래그 펌프

최근 반도체산업 및 재료산업 분야에서 고청정 및 대용량이 요구되는 CVD(chemical vapor deposition), 이온주입(ion implantation), 에칭(etching), 스퍼터링(sputtering) 등의 작업공정에 드래그 펌프(drag pump)가 많이 이용되고 있다. 드래그 펌프는 고속으로 회전하는 날개에 의해 기체분자들이 매우 큰 운동량을 전달받아 연속적으로 진공 공간으로부터 출구측으로 압축·배기되게 하는 펌프이다. 이 펌프는 분자 드래그(molecular drag)의 원리에 따라 움직이는 벽면과 충돌하는 분자들을 출구측으로 유인하여 압축하고 배기시키게 된다. 따라서 효과적인 펌핑을 위해서는 분자들간의 충돌보다는 벽면과의 충돌횟수가 많아져야 하며, 상용화된 원통형 펌프에서는 이를 위하여 채널의 깊이를 출구측으로 갈수록 작게 하여 분자의 평균자유경로와 비슷한 크기로 만들어주게 된다. 허중식 등<sup>(11)</sup>은 원통형 드래그 펌프에 대하여 3차원 해석모델을 적용하여 성능해석을 수행하였으며, 준3차원 모델의 결과와 서로 비교 연구하였다.

### 4.2 수증 펌프

수증모터펌프의 유지 보수를 위해서는 펌프를 수시로 인양할 필요가 있으므로 배관과 펌프의 탈착이 쉽도록 자동탈착장치(automatic discharge connector)가 일반적으로 사용되고 있다. 수증에 장착된 자동탈착장치는 펌프의 운전에 따른 압력상승 및 운동량의 변화에 의하여 결합부에 틈새가 발생할 수 있으며, 이러한 틈새를 통하여 누수가 발생한다. 누수에 의한 유량손실은 전체 펌핑 시스템에 손실을 유발하게 되고 결국 에너지 낭비로 이어지게 되므로, 이에 대한 손실을 최소로 하는 자동탈착장치의 개발은 에너지 절약 관점에서 매우 중요하다. 최영식 등<sup>(12)</sup>은 틈새로 인한 누수가 펌핑 시스템에 어떤 영향을 미치는지를 이론적으로 규명하고, 자동탈착장치의 구조 개선을 통한 새로운 모델을 제작 시험하여 성능 개선에 관한 연구를 수행

하였다.

한편, 심요셉 등<sup>(13)</sup>은 양어장에서 주로 쓰이는 수증 원심펌프에 대한 연구로서 펌프 내의 유동특성을 CFD 기법을 사용하여 규명하고, 성능 저하를 초래하는 변수들을 수치해석적으로 조사하여 이를 설계 데이터로 적용하고자 하였다.

## 5. 펌핑 시스템

### 5.1 빗물 펌프장

빗물 펌프장은 장마기와 혹은 태풍 등에 의한 집중 폭우 시 유수지에 유입된 물을 배출하는 것을 목적으로 하고 있다. 이처럼 빗물 펌프장은 상시 운전되는 설비는 아니지만 단 한번의 고장이 막대한 인명 및 재산 피해로 이어질 수 있기 때문에 매우 중요한 핵심 설비로서 안정적인 설비의 운용이 필수적이다. 김성원 등<sup>(14)</sup>과 김민호 등<sup>(15)</sup>은 서울의 A빗물 펌프장 4호기 펌프에 대한 성능시험, 운전일지분석 및 정밀진동분석 결과를 토대로 펌프의 수력학적/기계적 안전성을 평가하고, 펌프시방의 적합성 여부를 검토함으로써 최적의 시방개선 안을 제안코자 하였다.

또한, 이해철 등<sup>(16)</sup>은 기존의 온라인 설비감시 시스템을 이용하여 빗물 펌프장 설비에서 발생하는 진동, 수위, 압력 및 배수량 등을 실시간으로 측정 분석하고 그 데이터를 통합 관리하여 효율적인 빗물 펌프장 운전 및 관리의 실현뿐만 아니라 배수설비의 고장을 사전에 예측, 대비를 가능케 하는 빗물 펌프장 전용 온라인 가동 감시 시스템에 관한 내용을 소개 하였다.

### 5.2 디스케일링 시스템

제철소 열연 공장 디스케일링(descaling) 시스템은 압연재의 표면 스케일을 제거하여 제품 품질을 향상시키기 위한 장치로서 펌프, 모터, 유체커플링, 축압기, 쿠션탱크, 스트레이너, 입출측 배관 등의 설비로 이루어진다. 현장 작업조건(스테인리스강, 일반강)에 따라 물 분사량이 변경되며 또한 펌프의 운전대수도 조정된다. 이병현 등<sup>(17)</sup>은 에너지 절감을 위한 유체 커플링 적용기술에 대한 상세 고찰 및 시스템을 구성하고 있는 각 부분설비에 대한 검토로 보다 향상된 열연공장 디스케일링 시스템 설계기법을 도출코자 하였다.

## 6. 와류 및 수격 현상

### 6.1 와류 현상

흡입수조내 흡입관 주위에서 발생하는 와는 펌프의 성능 저하와 불안정한 운전상태 그리고 그로 인한 펌프의 유지 보수에 많은 비용을 필요로 하는 일이 발생한다. 흡입부에서 침전물이나 공기를 동반한 흡입이 없을 때의 설계가 가장 이상적인 설계이며, 그 때 펌프의 작동은 원활하게 된다. 그러나 수위가 임계치 이하로 저하하면 자유표면으로부터 와가 발생하게 된다. 이러한 와들은 강한 공기의 흡입을 동반하며, 진동, 캐비테이션 그리고 펌프의 효율을 저하시킨다. 또한, 흡입수조의 바닥과 옆벽으로부터 발생하는 와는 침전물의 흡입을 동반한다. 만약 물 속에 이러한 와들이 존재한다면, 이것은 흡입관 주위에서 선회류를 유발시키며 펌프 효율을 떨어뜨리는 원인이 된다. 특히, 대형 펌프에서 이와 같은 유동환경은 심한 진동, 불안정한 운전상태를 유발하며, 극단적인 경우에는 펌프의 정지에까지 이른다. 이영호 등<sup>(18)</sup>은 흡입부에서 공기의 흡입과 선회류를 방지하기 위해서 본질적으로 필요한 와의 구조, 위치, 그리고 와도에 대한 정량적인 데이터를 얻기 위하여 뒷벽과 흡입관의 거리에 따른 자유표면, 옆벽, 그리고 뒷벽 부근에 대한 유동패턴을 PIV기법을 적용하여 실험하였다. 또한, 자유표면에서 발생하는 와를 프루드수에 따라 분류하여 그 특성을 조사하였다. 선행 연구의 연속으로서 최종웅 등<sup>(19)</sup>은 흡입부 선단에 부착된 벨마우스의 유무에 따른 자유표면의 유동특성을 PIV기법을 사용한 실험을 통하여 고찰하였다.

펌프장 내 섬프(sump) 주위의 유동과 관련된 연구는 해외에서는 오래 전부터 이루어졌는데, HI 규격이나 ISO 규격에는 와류 현상(vortex flow)을 방지하기 위한 경험적인 흡수정 구조에 대한 자료가 제시되고 있다. 노형운 등<sup>(20)</sup>은 펌프장 내 흡입수조의 설계를 최적화하기 위한 자료를 구축하기 위하여 섬프 내 흡입구 주위의 유동해석을 수치해석적인 방법으로 연구하였다. 연구내용으로서 흡입관이 1개와 3개가 있는 경우에 유동양상을 파악하였고, 흡입관 내 격판이 있는 경우와 없는 경우의 유동특성을 비교하였다.

### 6.2 수격 현상

용수를 공급하는 펌프관로계에서 수격작용을 완화

시키는 장치로는 주로 에어챔버, 서지탱크, 서지릴리프 밸브, 공기밸브, 펌프제어밸브 등이 사용되는데, 이러한 설비들은 용수량, 관로 길이 및 형상, 설치장소 등에 따라 경제성과 신뢰성을 고려하여 적절히 설계되어야 한다. 에어챔버는 압력용기 내에 적절한 양의 액체와 그 위에 가압된 공기나 기체를 저장해 두어 관로 내의 압력이 떨어질 때 관로에 액체를 공급하여 수주분리현상이 발생하지 않도록 하고, 압력이 급격히 상승하는 것도 효과적으로 억제해준다. 김경업<sup>(21)</sup>은 에어챔버가 설치된 펌프관로계에서 수격현상에 대한 현장시험(field test)을 수행하고, 에어챔버의 입력변수 및 설계인자가 수격현상에 어떠한 영향을 미치는지 수치계산과 실험을 통하여 조사하였다. 수격현상 실험은 에어챔버의 설계인자인 초기공기체적과 오리피스 내경을 바꾸어 가며 수행하였고, 수치계산 시 입력변수로 사용되는 폴리트로프 지수, 오리피스 유량계수 그리고 압력과 전파속도의 영향은 수치해석결과와 측정값을 서로 비교·분석하여 조사하였다.

한편, 건축설비 배관계에서 발생하는 수격현상은 밸브류 특히, 원터치 수전의 급격한 개폐와 펌프류의 기동 및 정지 시에 발생한다. 이 때 수반되는 과도한 압력파로 인하여 쾌적한 건축환경을 추구하는 최근의 추세에 심각한 문제를 야기하고 있다. 특히 공동주택 등 건축물이 대형·고층화되면서 높은 급수압은 수격현상의 심각성을 가중시키고 있다. 이러한 수격작용을 저감시키기 위해 고안된 것이 에어챔버 및 수격 흡수기(waterhammer arrester)이다. 이들은 각 장치 내에 유지되는 기체의 압축성을 이용하여 급수의 과도한 수격압을 흡수하는 동일한 원리로 작동된다. 노승환 등<sup>(22)</sup>은 건축설비 배관계통에 사용되고 있는 수격 흡수기의 저감 특성을 조사하기 위해 59m<sup>2</sup>형 아파트에 실제 설치되고 있는 급수배관계통을 시방서 규정에 따라 수격 흡수기를 설치하고 그 특성을 수치적으로 연구하였다.

국내 건축설비 분야의 시공현장에서는 공기의 보충이 가능하고 적절하게 설계된 용량의 에어챔버를 사용하는 경우는 거의 없으며, 단지 급수배관 자체를 그대로 연장하여 에어챔버로 사용하고 있는데, 용량 자체도 배관 길이 300~600mm 정도의 크기로 설치함으로써 설치 초기에도 제 기능을 하지 못하는 실정이다. 또한, 에어챔버 내 공기의 수명도 밸브의 급개폐 시에 발생하는 압력변동에 의해 공기의 유실이 발생하여 에어챔버의 수명에 영향을 미치고 있다. 이용화 등<sup>(23)</sup>은 L형 동관의 급수관로에서 수온 20℃, 정수압 1~5bar, 유속

0.5~3m/s의 범위 하에서 폐쇄밸브 상류측에 체적이 각기 다른 5종의 에어챔버를 설치하여 압력흡수 효과에 대한 실험을 수행하고, 에어챔버의 체적변화가 배관 내 압력 완화에 미치는 영향을 고찰함과 동시에 수명 실험을 통해 공기의 보급이 불가능한 에어챔버의 유용성에 대해 조사하였다.

### 참고문헌

- (1) 손동기, 구현철, 차봉준, 양수석, 이대성, 2002, “터보펌프 인듀서의 흡입성능에 대한 직경과 회전속도의 영향,” 유체기계저널, 제5권, 제1호, pp. 27~32.
- (2) 최창호, 이기수, 김진한, 양수석, 이대성, 2002, “액체로켓용 터보펌프 성능예측에 대한 수치해석적 연구,” 유체기계저널, 제5권, 제2호, pp. 15~21.
- (3) 최창호, 차봉준, 양수석, 2002, “액체로켓용 터보펌프 인듀서/임펠러 상호작용에 대한 연구,” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 33~40.
- (4) 구현철, 홍순삼, 차봉준, 양수석, 2002, “터보펌프 인듀서의 유동특성에 관한 연구,” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 41~46.
- (5) 홍순삼, 구현철, 최창호, 차봉준, 양수석, 2002, “터보펌프 인듀서의 형상변화가 성능에 미치는 영향,” 대한기계학회 추계학술대회논문집, pp. 1997~2002.
- (6) 윤의수, 최범석, 박무룡, 이석호, 2002, “터보펌프용 연료펌프의 평균유선 성능해석,” 유체기계저널, 제5권, 제1호, pp. 33~41.
- (7) 김수원, 박무룡, 황순찬, 오형우, 윤의수, 2002, “소형 터보펌프에 대한 실험적 평가와 성능해석,” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 54~60.
- (8) 심창열, 강신형, 2002, “터보펌프 인듀서의 유동 및 성능의 수치적 평가,” 유체기계저널, 제5권, 제2호, pp. 22~28.
- (9) 황순찬, 윤의수, 오형우, 최범석, 박무룡, 안종우, 2002, “Waterjet 선박추진용 사류펌프의 설계 및 성능해석,” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 47~53.
- (10) 송재욱, 오재민, 정명균, 2002, “유전적 최적화 기법을 이용한 축류 펌프의 설계,” 대한기계학회논문집 B권, 제26권 제6호, pp. 795~804.
- (11) 허중식, 구본학, 황영규, 국정환, 권명근, 2002, “터보형 드래그펌프의 배기특성,” 대한설비공학 동계 학술발표회, pp. 277~282.
- (12) 최영석, 이경용, 이창환, 이종훈, 2002, “수중펌프의 Leakage-free 자동탈착장치 개발,” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 63~68.
- (13) 심요셉, 허형석, 서용권, 2002, “양어장용 수중펌프의 성능과 유동특성에 관한 수치해석적 연구,” 대한기계학회 추계학술대회논문집, pp. 2187~2191.
- (14) 김성원, 김민호, 2002, “빗물펌프장 펌프시방의 최적결정에 관한 연구(Ⅰ),” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 69~74.
- (15) 김민호, 김성원, 2002, “빗물펌프장 펌프시방의 최적결정에 관한 연구(Ⅱ),” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 75~80.
- (16) 이해철, 김민호, 김성원, 2002, “빗물펌프장 온라인 가동 감시시스템,” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 81~86.
- (17) 이병현, 백제현, 2002, “성에너지를 고려한 열연 Descaling System 설계기법 연구,” 대한기계학회 추계학술대회논문집, pp. 2109~2114.
- (18) 최종웅, 김정환, 김경엽, 김유태, 이영호, 2002, “PIV에 의한 흡입수조내 흡입관 주위의 유동특성에 관한 연구,” 유체기계저널, 제5권, 제3호, pp. 33~39.
- (19) 최종웅, 김범석, 이현, 김유태, 이영호, 2002, “PIV에 의한 펌프장 흡입수조의 자유표면에서 발생하는 와의 유동특성에 관한 연구,” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 95~101.
- (20) 노형운, 김재수, 서상호, 2002, “CFD에 의한 펌프장 Sump내 유동해석,” 유체기계연구개발발표회 논문집 pp. 89~94.
- (21) 김경엽, 2002, “에어챔버가 설치된 송수관로에서의 수격현상,” 대한기계학회논문집 B권, 제26권, 제2호, pp. 177~183.
- (22) 노승환, 차동진, 2002, “건축설비용 워터햄머흡수기의 동특성에 관한 수치 연구,” 설비공학논문집, Vol. 14, No. 4.
- (23) 이용화, 최국광, 2002, “급수배관계에서 에어 챔버의 설치효과에 관한 연구,” 설비공학논문집, Vol. 14, No. 12, pp. 1047~1055.