

## 펌프 및 수차 분야 연구동향

김유탉\*

### 1. 서 론

세계의 펌프시장은 연평균 6.4% 증가해 2016년에는 754억 달러를 넘을 전망이다. 세계적으로 보면 최근의 경기 침체의 영향에서 회복되어 시장이 꾸준하게 성장하고 있으며 지역에 따라 그 성장요인은 다르다고 할 수 있다. 중국, 인도 등의 개발도상국에서는 물과 관련된 인프라, 건축, 발전 등의 투자에 따른 공업화가 펌프산업을 촉진시키고 있고 선진국에서는 제조업, 플랜트 및 고부가가치 산업의 활성화로 인한 펌프 수요가 발생하고 있으며 이는 펌프기술의 연구 및 개발의 원동력이 되고 있다. 일본, 미국, 독일, 영국과 같은 기술 선진국들이 오래전부터 다양한 종류의 펌프에 대해 기술을 축적해 오고 있으며 전체 시장의 70% 이상을 점유하고 있다. 이에 대응하여 국내 펌프산업은 많은 연구·개발을 하고 있으나 이들의 기술력을 앞세운 외국제품들의 수입과 중국의 저가품 공세에 대응하기 위해 좀 더 활발한 투자와 노력이 요구 된다.

2012년도에는 국내에서 펌프와 관련된 연구가 활발히 진행되었으며 이는 학회의 논문집이나 각종 학술대회를 통해 발표되었다. 그러나 수차에 관한 연구는 꾸준히 증가하는 추세에 있으나 아직 펌프에는 미치지 못하고는 있는 실정이다.

국내 펌프 및 수차 분야의 2012년 연구동향을 살펴 보기 위하여 유체기계공업학회의 유체기계저널 및 유체기계연구개발발표회 논문집과 대한기계학회의 논문집, 춘계학술대회 논문집 및 추계학술대회 논문집을 대상으로 하였다. 총 36편 중 유체기계연구개발발표회 논문집에서 15편, 유체기계저널에서 13편, 대한기계학회 춘·추계학술대회 논문집에서 6편, 대한기계학회 논문집에서 2편이다. 총 36편의 논문 중에 펌프관련이 22편, 수차관련이 14편이었다. 여기에 발표된 논문들을 중심으로 하여 펌프 및 수차분야에 대한 동향을 분석하여 소개하고자 한다.

### 2. 펌프 분야

2012년 유체기계공업학회와 대한기계학회에서의 펌프 분

야 22편의 논문 중 학술지에 투고된 논문은 13편, 학술대회를 통한 발표논문은 9편으로서 논문들에 대하여 요약하여 소개한다.

유일수 등<sup>(1)</sup>은 비속도 150급 수직배렬형 다단 원심펌프에 대한 독자 설계 기술을 정립하기 위해 설계 및 제작, 성능 검증의 전주기적 개발과정을 수행하였다. 수치해석을 이용하여 설계모델에 대한 성능해석을 실시하였으며 이를 바탕으로 시제품을 이용한 성능평가시험을 수행하여 선진 외국제조사와 동등한 수준의 성능 및 신뢰성에 대해 입증하였다.

최창호 등<sup>(2)</sup>은 액체로켓엔진 터보펌프용 펌프의 안정성을 위해 베인이 축추력에 미치는 영향을 연구하였다. 이를 파악하기 위해서 베인이 있는 경우와 없는 경우에 대해서 실험을 수행하였으며, 또한 베인이 축추력에 영향을 미치는 원인을 정확하게 파악하기 위해 Fine/Turbo를 이용한 유동해석을 수행하였다. 이러한 연구를 통해 베인을 사용할 경우 캐버티에서 압력을 낮추어 축추력을 변화시킴으로서 베어링에 작용하는 축추력을 적절하게 조절 할 수 있음을 확인하였다.

김대진 등<sup>(3)</sup>은 고속 원심펌프에 있어 베인이 클 때와 작을 때 그리고 베인이 없을 때 펌프에서 발생하는 축추력을 측정장치를 사용하여 측정하였으며 이에 따른 펌프의 성능 및 유동특성을 확인하였다.

유일수 등<sup>(4)</sup>은 원자로 냉각재 펌프에 대하여 펌프의 시험설비를 위한 연구를 진행하였으며 이에 대해 회전방향 및 유동방향에 따른 정회전-정방향, 역회전-역방향, 정회전-역방향, 역회전-정방향을 4상한에서 펌프/수차/역전펌프/역전수차/제동의 작동조건을 모사할 수 있는 시험설비를 자체 설계·구축하여 냉각재 펌프의 완전 특성 곡선을 도출할 수 있음을 확인하였다.

유현주 등<sup>(5)</sup>은 기존의 저비속도 원심펌프의 문제점을 해결하기 위해 소형화, 고속화, 고효율의 특성을 지닌 파이프형 원심펌프에 대해 새로운 형태의 저비속도 원심 임펠러를 고안하였다. 수치해석법을 통하여 저비속도 영역에서 안정된 운전 특성과 높은 성능을 확인 하였으며 실험을 통해 실질적인 성능 및 운전특성을 파악하고 종래의 저비속도 펌프에 대한 대체 가능성을 확인하였다.

정래혁 등<sup>(6)</sup>은 회전체 결합 진단을 위한 파라미터에 대해 파악하기 위해 회전기기의 주요 고장 부품과 결합 유형들을 대상으로 가속도 신호를 이용하여 지능형 결합 진단에 사용

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

할 수 있는 파라미터들을 분석하였다. 이를 통해 회전기기의 대표적인 고장 부품과 결합 유형을 도출하였고 모사 실험을 통해서 통계 파라미터를 확보하였으며 이를 이용한 결합의 식별 성능이 우수함을 확인하였다.

박현창 등<sup>(7,8)</sup>은 축류펌프 안내깃의 성능 향상을 위한 수치 해석적 연구를 수행하였으며 자오면 허브팁비, 안내깃 설계 변수에 따른 최적형상에서 효율향상에 대해 검증하였다. 또한 사류펌프 임펠러 출구 자오면 형상 변화에 대한 수치해석적 연구를 통해 펌프의 성능을 파악하였으며 각 형상 변화에 따른 펌프의 성능변화 경향을 분석하였다.

김경엽 등<sup>(9)</sup>은 인라인 취수펌프장에서 발생하는 수격현상에 대하여 에어챔버를 설치하였을 경우의 수치해석과 현장 시험을 통해 수격압 완화에 따른 펌프장 및 관로 시스템의 특성 및 안정성에 대하여 확인하였다.

이헌덕 등<sup>(10)</sup>은 사류펌프의 임펠러 외경 변경에 따른 성능 변화에 대한 연구를 하였으며 임펠러 외경의 축소를 통해 전동기 소비동력을 감소시킬 경우 이론에 의한 계산이 수치해석의 결과와 비슷한 경향을 보임으로서 이론계산을 통한 임펠러 직경 선정이 타당함을 확인하였다.

최창호 등<sup>(11)</sup>은 터보펌프용 펌프의 인두서 익단 간극등 인두서의 형상을 달리하며 이에 따른 흡입성능의 변화에 대하여 수치해석과 실험을 행하였으며 이에 따른 유동특성에 대하여 분석하였다.

편권범 등<sup>(12)</sup>은 원심펌프 임펠러의 최적설계를 위하여 임펠러 날개각에 대한 변수를 선정하여 수치해석을 이용해 펌프의 성능에 미치는 영향을 파악하였고 반응표면기법을 이용하여 최적 모델을 산출하였으며, 추가적으로 Stepanoff의 이론을 적용한 볼류트의 설계 및 수치해석을 통하여 최적 설계안을 제시하였다.

진현배 등<sup>(13)</sup>은 원심펌프에서의 볼류트 케이싱 형상 변화가 성능에 미치는 영향을 조사하기 위해 케이싱의 원주방향 및 반경방향으로의 혀 위치 및 단면형상을 변수로 하는 수치해석을 수행하였으며 혀 위치를 수평방향으로 변경하였을 때, 최고성능을 나타내는 최적화된 혀의 위치가 존재함을 연구하였다.

강병윤 등<sup>(14)</sup>은 어뢰로 사용되는 초공동 수중운동체의 터보펌프에 있어서 유체의 흡입유로 형상이 펌프의 성능 및 캐비테이션 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실험을 수행 하였으며, 향후 터보펌프 설계시 고려해야 할 흡입구의 영향과 특성에 대하여 제시하였다.

김명진 등<sup>(15)</sup>은 원심펌프의 성능곡선 실험결과와 수치해석 결과를 비교한 다음 검정된 수치해석 코드를 사용하여 펌프의 캐비테이션 발생 및 캐비테이션에 의한 펌프 내부의 유동현상을 분석하였다.

백석흠 등<sup>(16)</sup>은 선박에서 Anti-Heeling용으로 사용되는 양방향 축류펌프의 수력학적 성능과 효율을 높이기 위하여 임펠

러 블레이드의 형상에 대해 최적설계를 수행하였다. 대리모델로서 상용프로그램을 이용한 수치해석을 수행하였으며 최적설계 결과로부터 임펠러 블레이드의 유효한 설계 변수를 확인하고 최적해와 설계요구조건을 만족함을 확인하였다.

윤정의<sup>(17,18)</sup>는 2엽 비막힘형 수중 슬러리 펌프의 임펠러 형상을 설계하는 것을 목표로 임펠러의 출구위치 변화, 출구 폭 및 허브 프로파일이 펌프 성능에 미치는 영향에 대하여 상용코드를 이용한 전산해석을 수행하였으며 설계변수에 따른 유동특성에 대하여 연구하였다. 또한 고농도 폐수 처리용 수중 축류 펌프 개발에 대한 연구를 진행하여 펌프의 블레이드를 개발하는 것을 목표로 블레이드의 축방향 비틀림각, 반경방향 비틀림각, 블레이드 길이를 설계 변수로 선정하여 이에 따른 유동특성 및 펌프성능에 관하여 고찰하였다.

이일영 등<sup>(19)</sup>은 유압시스템의 피스톤 펌프에서 발생하는 소음 및 진동을 저감시키기 위해 맥동전파특성을 계산할 때 펌프의 토출 통로를 등가 관로 모델로 나타내고 압력맥동과 파속으로부터 유효한 토출 통로의 길이를 계산하는 방법을 제안하였으며 실험을 통해 이를 검증하였다.

강병윤 등<sup>(20)</sup>은 저수위에 있는 카고 탱크의 펌프 흡입성능에 대한 문제에 있어서 바다 효과를 적용한 흡입구의 결과와 바다효과를 적용하지 않은 흡입구에 대한 결과를 비교하여 펌프의 성능 및 캐비테이션 특성에 미치는 영향을 수치해석과 실험을 통해 확인하였다.

이도환 등<sup>(21)</sup>은 펌프의 캐비테이션 소음 측정 결과를 이용하여 캐비테이션 발생에 따른 임펠러의 침식과 이에 따른 잔여 유효 수명을 실시간으로 예측할 수 있는 방법을 제시하였으며 실험을 통해 측정된 누적손상을 캐비테이션 소음 측정 데이터를 통해 예측한 누적 손상과 비교하여 제시된 방법이 적절함을 검증하였다.

강현수 등<sup>(22)</sup>은 터보분자펌프의 로터에 대하여 블레이드 각도, 길이, 단면형상에 따른 모델을 4가지로 나누고 캐드 프로그램을 이용한 각 블레이드의 형상모델링 기법에 대하여 소개하였다.

### 3. 수차 분야

2012년 유체기계공업학회와 대한기계학회에서의 수차 관련 14편의 논문 중 학술지에 투고된 논문은 2편, 학술대회를 통한 발표논문은 12편으로서 논문들에 대하여 요약하여 수차분야 동향에 대해 소개한다.

박상언 등<sup>(23)</sup>은 5kW급 인라인 마이크로 수차의 설계를 통해 수치해석적 방법으로 수차의 효율분석 및 성능특성에 대하여 연구하였으며 이를 외국의 설계값들과 비교하여 저낙차, 마이크로급 튜블러 수차의 설계점에 대한 개선방법을 제시하였다.

최영도 등<sup>(24)</sup>은 극저비속도( $N_s < 40$ )영역의 마이크로 횡류

수차에 대하여 가이드베인 및 이너가이드의 각도에 따른 수차의 성능과 내부유동을 수치해석으로 분석하였으며 이에 따른 출력, 효율 상승에 대해 검증하였다.

변순석 등<sup>(25,26)</sup>은 프로펠러 수차의 익단 간극을 1.5mm에서 10mm로 변화시켜 가며 이에 따른 내부 유동 특성에 대하여 수치해석을 수행하였으며 익단간극과 출력 및 효율에 대한 관계를 고찰하였다. 또한 프로펠러 수차의 간극과 피치각 변화가 내부 유동 특성에 미치는 영향을 확인하기 위해 익형의 출구 피치각을 변화시켜 가며 수치해석을 하여 그 특성에 대해 확인하였다.

박지훈 등<sup>(27)</sup>은 상수관망을 이용한 피코급 튜블러 수차를 대상으로 유량 변화에 따른 수차의 성능특성을 수치해석을 통해 고찰하였다.

노형운 등<sup>(28)</sup>은 기존의 저효율 소수력용 프란시스 수차에 대해 역설계를 통한 효율상승에 관한 연구를 진행하였다.

선호수 등<sup>(29)</sup>은 실제 현장에 설치된 수차의 효율과 관련하여 유량을 측정하는데 있어서 ASFM법과 Index법을 활용하였고 이에 대해 비교함으로써 신뢰성을 검증하였다.

윤학근 등<sup>(30)</sup>은 프로펠러 수차의 10kW급 모형에 대한 성능 실험 결과를 수치해석과 비교 및 검증하였으며 내부의 유동특성에 대한 고찰을 하였다.

전진현 등<sup>(31)</sup>은 15MW급 프란시스 수차에 대하여 러너의 토출각 변화에 따른 성능 및 유동특성에 대해 수치해석을 통해 분석하였다.

조영진 등<sup>(32)</sup>은 파력발전용 직접구동터빈에 대하여 수치해석을 이용해 러너축의 내부 연결 유무에 따른 성능과 유동특성에 대하여 분석하였다.

신창식 등<sup>(33)</sup>은 저낙차 수차발전기 효율측정에 관한 국제기준과 4대강 수력발전소에 적용된 ASFM법 및 Index법 적용사례에 대하여 고찰하였다.

Qing-Sheng Wei 등<sup>(34,35)</sup>은 초저낙차용 크로스 플로우 터빈에 대하여 효율 향상을 위한 연구를 수행하였으며 수치해석을 통해 효율의 검증 및 유동특성에 대하여 고찰하였다. 또한 프란시스 수차의 가이드베인에 따른 성능 및 유동특성에 대해 수치해석을 통해 관찰하였다.

양창조 등<sup>(36)</sup>은 100kW급 카운터 로테이팅 타입의 조력 발전용 터빈에 대하여 성능 및 유동특성에 대하여 분석 및 고찰하였다.

#### 4. 결 론

지금까지 2012년도 국내의 주요 관련 학회를 통해 발표된 36편의 펌프 및 수차 분야의 논문들을 바탕으로 연구 동향에 대하여 분석하였다.

펌프 분야에 있어 펌프의 성능을 향상시키기 위한 최적설계에 대해 다양한 연구가 이뤄지고 있으며 나아가 펌프 운전

의 신뢰성 확보를 위한 연구들도 성과를 내고 있음을 알 수 있었다.

국내 및 전세계적인 신재생에너지에 대한 수요에 부응하여 수차 분야에 있어 축류, 반경류, 횡류형 등 다양한 수차 형태에 대하여 성능특성 및 효율향상에 관한 연구가 활발히 진행되었으며, 마이크로급 수차의 최적설계에 대한 연구에 이르러 향후에는 중·대수력용 수차 설계·개발에 대한 가능성을 확인 할 수 있을 것으로 보인다.

향후 신재생에너지의 보급 확대 및 고기술·고부가가치산업에서의 펌프에 대한 수요 증가로 인해 펌프·수차 분야에 대한 선진기술의 활발한 연구 활동과 이와 관련된 우수한 성과들이 많이 발표될 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- (1) 유일수, 박무룡, 황순찬, 김성기, 윤의수, 2012, “비속도 150급 수직배럴형 다단 원심펌프 개발”, 유체기계저널, 제15권, 제1호, pp. 13~20.
- (2) 최창호, 노준구, 김대진, 김진한, 2012, “액체로켓엔진 터보펌프용 펌프의 축추력 조절에 관한 연구”, 유체기계저널, 제 15권, 제1호, pp. 36~40.
- (3) 김대진, 최창호, 노준구, 김진한, 2012, “캐비티 베인이 있는 고속 원심펌프의 축추력 제어”, 유체기계저널, 제15권, 제6호, pp. 46~50.
- (4) 유일수, 박무룡, 황순찬, 윤의수, 2012, “원자로 냉각재 펌프의 완전 특성 곡선”, 유체기계저널, 제15권, 제5호, pp. 5~10.
- (5) 유현주, 강신형, 2012, “파이프형 원심펌프의 성능특성에 관한 실험적 연구”, 유체기계저널, 제15권, 제5호, pp. 32~36
- (6) 정래혁, 채장범, 이병학, 이도환, 이병곤, 2012, “회전체 결합 진단을 위한 특징 파라미터 분석”, 유체기계저널, 제15권, 제6호, pp. 31~38.
- (7) 박현창, 김성, 윤준용, 최영석, 2012, “축류펌프 안내깃의 성능 향상을 위한 수치해석적 연구”. 유체기계저널, 제15권, 제6호, pp. 58~63.
- (8) 박현창, 김성, 이경용, 윤준용, 최영석, 2012, “사류펌프 임펠러 출구 자오면 형상 변화에 대한 수치해석적 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA07059
- (9) 안철홍, 김경엽, 김범준, 2012, “에어캡버가 설치된 인라인 취수펌프장에서 수격현상”, 유체기계저널, 제15권, 제6호, pp. 70~76.
- (10) 이현덕, 허효원, 서용권, 2012, “임펠러 외경 변경에 따른 사류펌프의 성능변화에 관한 연구”, 유체기계저널, 제15권, 제4호, pp. 61~66.
- (11) 최창호, 김대진, 김진한, 2012, “인듀서 익단간극이 터보펌프용 펌프의 흡입성능에 미치는 영향”, 유체기계저널, 제 15권, 제1호, pp. 41~45.
- (12) 편권범, 김준형, 최영석, 윤준용, 2012, “반응표면기법을 이용한 원심펌프 임펠러 최적설계 및 볼류트 설계”, 유체기계저널, 제15권, 제3호, pp. 39~45.

- (13) 진현배, 김명진, 정의준, 2012, “볼류트 케이싱 형상 변화가 원심펌프 성능에 미치는 영향”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA06055
- (14) 강병운, 추성환, 강신형, 2012, “흡입유로 형상이 터보펌프의 성능 및 캐비테이션에 미치는 영향에 관한 실험적 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OP07071
- (15) 김명진, 진현배, 정의준, 2012, “원심펌프 캐비테이션에 대한 수치해석적 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OP07077
- (16) 백석흠, 정원혁, 강상모, 2012, “양방향 축류펌프용 임펠러 블레이드의 형상최적설계”, 대한기계학회논문집 B권, 제36권, 제12호, pp.1141~1150.
- (17) 윤정의, 2012, “비 막힘형 수중 펌프 임펠러 형상이 펌프 성능에 미치는 영향”, 대한기계학회논문집 B권, 제36권, 제12호, pp. 1201~1207.
- (18) 윤정의, 2012, “고농도 폐수 처리용 수중 축류 펌프 개발”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 401~406.
- (19) 이일영, 최세령, 2012, “액시얼 피스톤 펌프에서 유량 맥동 계측의 개선을 위한 펌프 토출 통로 길이 평가법”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 108~109.
- (20) 강병운, 추성환, 강신형, 2012, “카고 탱크의 바닥이 카고 펌프의 성능 및 캐비테이션 특성에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 1309~1314.
- (21) 이도환, 강신철, 2012, “펌프 캐비테이션 침식 예측진단”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 1974~1979.
- (22) 강현수, 정해영, 한정삼, 2012, “터보분자펌프 로터의 형상 모델링 기법”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 2117~2122.
- (23) 박상연, 노형운, 2012, “5kW급 인라인 마이크로 수차 설계에 대한 연구”, 유체기계저널, 제15권, 제3호, pp. 32~38.
- (24) 최영도, 손성우, 2012, “극저비속도영역 마이크로 횡류수차의 성능 및 내부유동 수치해석적 연구”, 유체기계저널, 제15권, 제6호, pp. 25~30.
- (25) 변순석, 이종철, 김윤제, 2012, “프로펠러 수차 익단 간극 변화에 따른 내부 유동 특성 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA06052
- (26) 변순석, 홍창기, 김윤제, 2012, “프로펠러 수차 간극과 피치각 변화에 따른 내부 유동 특성 비교”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 1303~1308.
- (27) 박지훈, 이낙중, 황영철, 김유택, 이영호, 2012, “유량 변화에 따른 피코급 튜블러 수차의 CFD성능해석”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA06053
- (28) 노형운, 서상호, 강승희, 원영수, 김태권, 김용렬, 구도형, 2012, “역설계를 통한 저효율수차의 효율상승에 관한 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA06054
- (29) 선호수, 김경엽, 김진형, 이진욱, 2012, “ASFM 및 Index 법을 사용한 소수력 수차 효율시험”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA07060
- (30) 윤학근, 박지훈, 김유택, 조용, 김병곤, 이영호, 2012, “실험 및 CFD에 의한 10kW급 프로펠러 수차의 성능해석에 관한 기초연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA07061
- (31) 전진현, 변순석, 최영철, 박준식, 김윤제, 2012, “토출각 변화에 따른 프란시스 수차 성능해석”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA07062
- (32) 조영진, 김병하, Joji Wata, 김유택, 이영호, 2012, “축의 유무에 따른 과력발전용 직접구동터빈의 유동특성”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA06022
- (33) 신창식, 김용열, 이성우, 이용준, 2012, “저낙차 수차 효율 측정에 관한 국제기준 및 측정사례”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OP07076
- (34) Qing-Sheng Wei, 최영도, 2012, “Design and Performance Analysis on the Cross Flow Turbine with Very Low Head”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA07029
- (35) Qing-Sheng Wei, 최영도, 2012, “Performance of Francis Hydro Turbine by the Number of Guide Vane”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA07031
- (36) 양창조, AD Hoang, 김부기, 2012, “A Study on Performance of Conter-rotating Tidal Turbine”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, KFMA\_2012\_OA07013