

2013년 펌프 및 수차 분야 연구동향

이종철*

1. 서 론

농업용으로 사용하기 위해서 만들어지기 시작한 펌프는 로마시대에 왕복동 펌프 및 1850년도 원심펌프 개발을 계기로 수요가 급격히 성장하기 시작하였다. 현재 세계의 펌프시장은 연평균 6.4% 증가해 2016년에는 754억 달러를 넘을 전망이다. 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 요구된다.⁽¹⁾

수력발전은 통계적으로 재생에너지 자원의 가장 일반적인 자원이며 세계 에너지 생산에 주요 역할을 하고 있다. 국제에너지기구(IEA)에 따르면 수력발전에 의한 전기생산은 2010년에 3,402.3 TWh이며, 이것은 세계에너지 총 생산의 17%에 해당한다. 전 세계적으로 수력발전의 기술적인 잠재성은 16,400 TWh/년으로 추정되고 있다. 현재 세계 수력발전 가능성의 약 1/5 정도만이 효과적으로 이용되고 있는 실정이다.⁽²⁾ 국내 소수력발전 분야의 경우 프로펠러 수차 및 카프란 수차에 대한 설계기술은 확립되어 있고, 중·저낙차 프란시스 수차에 대한 설계기술 확립을 진행 중이다.

국내 펌프 및 수차 분야의 2013년 연구동향을 살펴보기 위하여 유체기계저널 및 2013 한국유체기계학회 학술대회 프로시딩에 발표된 논문을 요약하여 소개하고자 한다.

2. 펌프 분야

연구대상으로 채택된 펌프에 대한 2013년도 연구실적은 유체기계저널 게재 4편 및 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문발표 5편이다. 상기 9편의 논문을 분석(Review)하여 아래에 요약·정리하였다.

강병윤⁽³⁾ 등은 챔버 장착에 의해 달라진 입구 유동이 터보펌프의 성능 및 캐비테이션 특성에 어떠한 영향을 미치는지 평가하고, 또한 챔버의 여러 설계 변수 중에서 챔버 두께의

변화가 터보펌프의 성능 및 캐비테이션 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 알아보았다. 수력효율은 챔버 효과를 적용한 반경류 흡입구의 결과가 챔버 효과가 없는 축류 흡입구인 경우보다 평균 2% 감소하였으며, 수력효율은 반경류 흡입구의 결과가 축류 흡입구 보다 평균 1~2.3%의 감소를 보였다. 축류 흡입구보다 반경류 흡입구에서 터보펌프의 불안정성이 더 강하게 나타났으며, 챔버 두께가 얇아짐에 따라 흡입구에서의 손실 계수가 커지는 것을 확인하였다. 전반적으로 챔버 효과를 적용한 터보펌프는 양정과 효율보다 캐비테이션 특성에 더 큰 영향을 미치는 것이 확인되었고, 향후 어뢰에 장착되는 터보펌프 설계시 챔버 효과로 인하여 NPSHr 값이 증가하는 영향을 고려해야 한다고 제안하였다.

김명진⁽⁴⁾ 등은 상용유동해석 코드인 ANSYS CFX v13을 사용하여 펌프의 캐비테이션 발생 및 캐비테이션에 의한 펌프 내부의 유동현상을 분석하였다. 캐비테이션 발생에 의한 수두상승, 캐비테이션 확립에 의한 약 3%의 수두 감소 그리고 캐비테이션 완전 확립에 의한 수두 급감소 현상을 확인하였다. 아울러 캐비테이션 발생 및 확립에 의한 캐비테이션 계수와 기공율이 유량에 따르는 식을 제안하였다. 향후 캐비테이션 실험을 통하여 신뢰성을 검증할 예정이며, 이를 토대로 흡입성능을 향상시키기 위한 기초자료로 이용할 수 있다고 제안하였다.

진현배⁽⁵⁾ 등은 원심펌프의 진일보된 성능향상이라는 측면에서 케이싱 내 유동에 직접적인 영향을 주는 케이싱 형상에 대한 연구가 반드시 뒷받침되어야 한다는 연구배경을 설명하였고, 스파이럴 케이싱의 단면형상변화가 성능곡선에 미치는 영향을 조사하기 위해 산업현장에서 사용되는 원심펌프를 모델로 수치해석을 수행하여 스파이럴 케이싱의 특성을 파악하였다. 스파이럴 케이싱 비대칭성은 케이싱 모델에 관계없이 임펠러 입구유동에 영향을 준다는 것을 확인하였고, 케이싱 내에서 정압수두 분포는 모델에 관계없이 유량별로 거의 같은 유형을 갖고 있으면서 설계유량에서는 일정, 저유량에서는 증가, 고유량에서는 감소 경향을 갖는다고 하였다. 동압수두 분포는 케이싱 그리고 목에서 출구까지 유량에 따라 모델에 관계없이 거의 같은 형태를 가지며, 경향은 케이싱 내에서 정압수두 분포와 반대로 나타나고 목에서 출구까지는 감소하여 한 점으로 모아진다고 하였다. 이상의 결과로부터 비대칭 유동장을 유발하는 모델은 에너지 효율성

* 강릉원주대학교 기계자동차공학부
E-mail : jlee01@gwnu.ac.kr

이라는 측면에서 적합하지 않다고 제안하였다.

유일수⁽⁶⁾ 등은 3차원 유동 해석을 통해 계산된 압력 및 속도 분포 등의 결과는 기존의 1차원 성능 예측 모델과의 비교 등을 통해 재생 펌프의 메커니즘의 이해에 많은 정보를 제공해 주지만 여전히 날개 각도에 따른 성능 변화에 대한 유동 해석 및 관련 연구가 부족하다는 연구배경을 설명하였고, 날개 각도가 재생 펌프의 성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 다양한 날개 각도에 대한 재생 펌프의 성능 실험을 수행하였다. 전향 날개와 후향 날개 15°, 30°, 45° 경사각으로 총 10개의 날개 형상에 대한 성능 실험을 수행하였으며, 유량에 따른 압력 수두와 효율을 측정하고 데이터를 무차원 성능 특성 계수를 통해 나타내었다. 전곡 및 후향 날개의 효율은 직선 반경형 날개에 비해 경사각이 커질수록 점차적으로 감소하는 경향을 보이며, 후향 날개의 경우 효율의 감소폭이 크게 나타난다고 하였다. 또한, 후향 날개의 경사각이 커질수록 최고 효율점 및 최대 유량 계수도 함께 감소하여 저유량 쪽으로 이동하며, 전곡 날개의 효율은 경사각의 크기에 영향을 크게 받지 않는다는 것을 확인하였다.

서상호⁽⁷⁾ 등은 펌프의 소비 전력량 저감 효과를 최대화할 수 있는 가변속펌프에 대한 운전효율 측정 방법과 성능지표에 대한 개발을 위하여 연구를 수행하였다. 펌프의 성능측정 방법을 열역학적 평가방법과 수력학적 평가방법으로 구분하여 적합성에 대해 검토한 결과를 토대로 가변속펌프의 운전 효율 측정방안을 제시하였다. 아울러 가변속펌프에 대한 성

능측정방법을 나타내었다.

배병연⁽⁸⁾ 등은 APR1400(Advanced Power Reactor 1400 MWe) 원자로의 핵심계통 중의 하나인 원자로 냉각재 펌프(RCP, Reactor Coolant Pump)에 대한 성능시험설비를 구축하였고, 시험설비를 통해 개발된 RCP의 성능 및 내구성을 검증하였다.

윤현기⁽⁹⁾ 등은 원자로 일차냉각펌프의 설계 요건을 설명하였는데, 연구용 원자로의 일차냉각 펌프는 핵연료 냉각 유량과 일차냉각 계통을 바탕으로 설계가 이루어진다고 하였다. 이를 통해 펌프의 기울기 요건과 펌프 형식이 결정되며, 원자로의 안전성에 필요할 경우에는 관성바퀴와 역회전 방지장치가 설계된다고 제시하였다.

강병윤⁽¹⁰⁾ 등은 터보펌프의 인두서 직경에 대한 유효흡입양정의 상사성을 평가해 보고자 유체의 기본 특성이 되는 레이놀즈 수에 대한 영향을 살펴보고, 같은 레이놀즈 수를 갖는 인두서에서 직경 변화에 대한 흡입성능 상사의 영향을 평가하였다. 캐비테이션 특성을 살펴본 결과 시작점(Inception)에서 크기가 큰 인두서의 경우 기포가 더 빠르게 생성되었고, 이로 인하여 양정이 급격하게 떨어지는 것을 확인하였다. 연구에 사용된 터보펌프의 인두서에 대해서 2.364승에 비례하는 흡입성능 상사식을 얻었음을 제안하였다.

P. M. Singh⁽¹¹⁾ 등은 부유식 정수처리 시스템에 사용되는 축류 펌프의 내부유동과 성능을 수치해석적 방법을 통해서 고찰하였다. CFD 해석을 통해서 최대효율점에서의 수두를

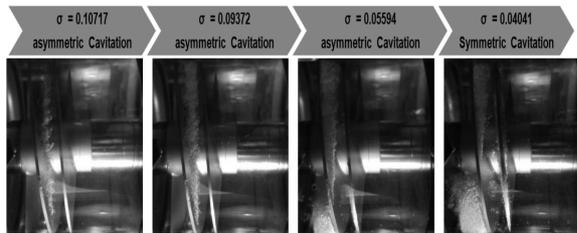


Fig. 1 Cavitation visualization⁽³⁾

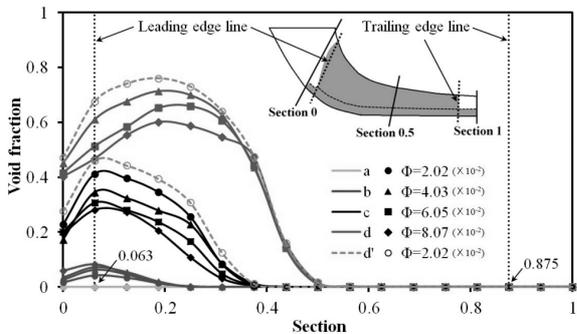


Fig. 2 Void fraction according to flow passage between blades⁽⁴⁾

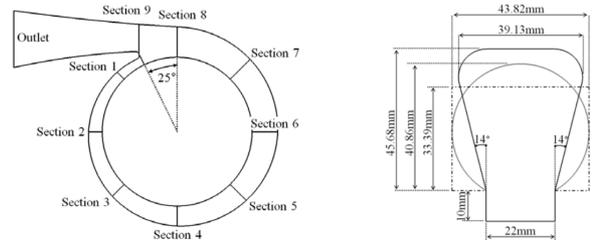


Fig. 3 Shape and cross-sections at throat of spiral casing⁽⁵⁾

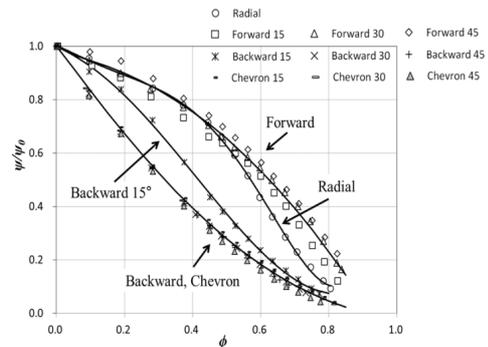


Fig. 4 Normalized head coefficient curves for all impellers⁽⁶⁾

구하였고, 이러한 효율은 기포 발생과 연관이 있으며 상대적으로 높은 기포 분포는 가이드베인 전면부와 임펠러 사이에서 존재하는 것을 확인하였다.

3. 수차 분야

연구대상으로 채택된 수차에 대한 2013년도 연구실적은 유체기계저널 게재 3편 및 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문발표 6편이다. 상기 9편의 논문을 분석(Review)하여 아래에 요약·정리하였다.

박노현⁽¹²⁾ 등은 마이크로 수차의 성능에 영향을 주는 러너의 배열 및 고정 각도와 조절 각도, 개체 특성을 통합하여 그 변화와 흐름을 분석하고 기기의 가변적 상호작용에 의한 최적 값을 찾아서 운영할 수 있도록 하여 출력 특성을 높이는 것과 적절한 효율점을 찾는 메커니즘으로 동일한 수차로 보다 높은 출력을 보장할 수 있으므로 기존 에너지원의 효율 증대라는 차원에서 중요한 의미를 갖는다는 연구배경을 설명하였다. 이를 위하여 마이크로 수차 러너와 가이드 베인의 위치제어(Position control)에 따른 출력 특성과 각도의 변화에 따른 출력의 특성값을 효율값으로의 측정 확인 목적이 아니라, 단독 개도에 비하여 연동 개도가 얼마나 출력을 개선하는지에 대한 분석으로 연동 운영에 대한 특성을 고찰하였다. 가이드 베인과 러너 블레이드의 상호 연동 작용에 의한 이중 제어 기술은 러너 단일 조정 발전 방법보다 전체적으로 2% 이상의 발전 출력 증가로 정격 조건 이상에서 지속적으로 출력이 높게 나타남을 확인하였다. 결론적으로 동일한 카프란 형태의 수차 일지라도 단동식 보다는 연동식이 피치 각의 다변 함수 관계에 의하여 결과적으로 발전량을 일정 부분 증대시킬 수 있다고 제안하였다.

전진현⁽¹³⁾ 등은 소수력 발전소용 프란시스 수차의 효율 및 출력을 계산하였으며, 수치해석기법을 이용하여 기존 설계된 프란시스 수차 유출각 변화에 따른 수력효율 변화를 고찰하였다. 상용 CFD 코드와 비압축성 3차원 정상유동에 대한 연속방정식, 운동량방정식, 난류모델을 사용하여 유출각 변화에 의한 러너 휨 정도에 따른 수력학적 특성을 수치계산하였고, 기존 설계된 모델과 수력효율을 비교 검토하였다. 흡출관 내부유동은 곡관부 형상의 영향을 크게 받으며, 입구의 균일한 흐름이 출구로 갈수록 강한 와류를 포함한 흐름으로 변화함을 나타내었다. 또한, 단면적이 입구에서 출구로 갈수록 커짐에 따라 유속이 느려지고 압력이 증가함을 확인하였다. 수치해석 결과 고찰을 통해 유출각 변화에 따른 수력효율 증가는 미미하므로, 흡출관 및 블레이드 형상 변화를 통한 추가적인 연구가 필요하다고 제안하였다.

황영철⁽¹⁴⁾ 등은 해수 방류수를 사용하는 육상 양어장의 특성을 고려한 해양소수력발전소의 건설에 관련된 사항들에 대해서 최적 설계 및 효율적인 시공방법 등에 대해서 검토하

여, 발전소 입지조건, 해수면 변동에 따른 수차 유효낙차, 수차발전기 설계, 발전소 토목공사, 수차 성능시험 등에 대한 내용에 대해서 구체적으로 제시하였다. 양어장 방류수를 이용한 해양소수력발전소의 설계는 방류수량 및 조수간만에 따른 수차 방출구의 해수면 변동에 의한 유효낙차의 변화를 정확하게 검토해야 한다고 하였고, 발전소 설치지점의 환경적 조건을 고려하여 수차를 선정하고 발전소 건설 과정에서 설치지점 주위의 환경 및 생태적인 요인을 고려하여 발전소를 설치해야 한다고 제시하였다. 특히, 제주도 지역은 토양이 현무암으로 구성되어 있기 때문에 기초공사 시에는 지반 특성상 현무암 자갈층 사이로 용출수가 발생하는 문제점에 대한 대책을 강구해야 한다고 첨언하였다.

정승화⁽¹⁵⁾ 등은 소수력발전은 규모에 비하여 높은 유지관리비와 비표준화의 문제점이 있기 때문에, 유지관리비가 용이하고 가격이 저렴하며 단순하여 표준화하기 쉬운 횡류수차가 소수력 개발에 유리하다는 연구배경을 설명하였다. 이를 위하여 개방형 유입노즐을 적용한 초저낙차용 횡류수차의 성능과 내부유동을 실험과 수치해석을 통하여 검토하였다. 유효낙차 1.5 m, 유입유량 0.23 m³/sec의 운전조건에서 65% 효율 및 2 kW 이상의 출력을 얻었으며, 수차부에 적절한 공기유입과 흡출관 효과 및 러너형상 최적화를 통해 72% 이상의 효율을 달성할 수 있다고 제안하였다.

Z. Chen⁽¹⁶⁾ 등은 마이크로 수력자원의 효율적인 개발을 위하여 매우 낮은 비속도 영역에서도 매우 단순한 구조와 높은 효율성을 가지는 극저비속도 수차의 개발에 대한 요구가 증가하고 있으며, 기존의 마이크로수차 운전범위를 확대하는 것도 마이크로 수력자원의 개발에 큰 도움이 될 것이라는 연구배경을 설명하였다. 이를 위하여 횡류수차의 기존 형상으로부터 내부유로 축방향 폭이 매우 좁은 형상으로 설계하여 그 성능과 내부유동을 검토하였으며, 수차모델의 성능과 내부유동을 검토하기 위하여 상용 CFD 코드인 ANSYS CFX를 이용한 수치해석을 통해 고찰하였다. 터빈 입구의 형상이 효율에 영향을 미치는데, 이는 유입구에서 블레이드 형상에 따라 유동벡터 방향이 변경되기 때문인 것을 확인하였다.

C. Chen⁽¹⁷⁾ 등은 프란시스 수차에 사용되는 스파이럴 케이싱을 인라인 케이싱으로 대체하여 수차 내부 유동이 어떻게 변화되는지를 고찰하였다. 인라인 케이싱에 의해 유도된 반경방향 유동은 러너의 동력생산에 거의 영향을 미치지 않으며, 가이드 베인을 설치하였을 때 기존보다 독특한 유동이 발생함을 확인하였다.

Q. Wei⁽¹⁸⁾ 등은 횡류수차의 내부유동 및 성능에 대해서 케이싱에 흡입되는 공기의 영향을 실제조건과 같이 구현하기 위해서 물과 공기의 이상류 계산을 수행하였으며, 흡출관을 설치할 경우 흡출관 확대각의 영향에 대해서도 검토하였다. 러너 좌측하부에서 발생하는 재순환 흐름에 의한 손실을 공기층이 형성됨에 따라 억제하게 됨을 확인하였고, 유효낙차에 비

하여 흡출관에서의 회복압력값이 크지 않기 때문에 흡출관 확대각이 전체출력에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있었다.

C. Jin⁽¹⁹⁾ 등은 J-그루브를 이용하여 유출관 서지를 억제할 수 있는 가능성을 해명하는 것이며, CFD 해석을 통해서 J-그루브 형상 효과를 고찰하였다. 캐비테이션 발생 가능성을 용이하게 확인하기 위하여 압력해석 결과를 이용한 캐비테이션 수를 적용하였다. 이를 통해서 J-그루브가 유출서지 억제에 상당한 효과를 나타냄을 확인하였다.

C. Chen⁽²⁰⁾ 등은 수평축 조류발전 터빈의 성능 및 캐비테이션 해석을 수행하여 NACA63-817 블레이드를 사용한 경우에서 더 큰 최대동력계수를 나타냄을 확인하였고, 캐비테이션을 피할 수 있는 적합한 설계안을 제안하였다.

4. 결 론

지금까지 2013년도 한국유체기계학회에 발표된 펌프 및 수차 분야의 주요 연구동향을 유체기계저널 및 2013 한국유체기계학회학술대회 논문집에 발표된 펌프 분야 9편 그리고 수차 분야 9편의 논문을 분석하였다. 펌프 연구분야에서는 오랫동안 해석적 연구의 난제로 여겨지고 있는 3차원 효과, 캐비테이션, 미소 간극 등이 고려된 발전적인 결과가 도출되고 있으며, 수차 연구분야에서는 소수력 발전을 중심으로 해양에너지 발전설비 연구가 성능개선 및 최적설계 등으로 확장되고 있음을 알 수 있었다.

설계·해석·개발에 관련된 기술뿐만 아니라 생산·가공 기술, 운전·제어 기술 그리고 보전 기술이 병행되어 발전해 나갈 것으로 전망되며, 향후 신재생에너지의 보급 확대 및 고기술·고부가가치 산업에서의 펌프에 대한 수요 증가로 펌프 및 수차 분야에 대한 선진기술의 활발한 연구 활동과 이와 관련된 우수한 성과들이 많이 발표될 것으로 기대된다. 아울러 국가 기간산업 활성화에 일조할 수 있기를 희망한다.

참고문헌

- (1) 김유택, 2013, “펌프 및 수차 분야 연구동향,” 유체기계저널, 제16권, 제2호, pp. 54~57.
- (2) 마안철, 2013, “세계, 유럽 그리고 폴란드의 수력발전 개발,” ReSEAT 분석리포트.
- (3) 강병윤, 추성한, 강신형, 2013, “흡입 유로 형상이 터보펌프의 성능 및 캐비테이션에 미치는 영향에 관한 실험적 연구,” 유체기계저널, 제16권, 제2호, pp. 21~26.
- (4) 김명진, 진현배, 손창호, 정의준, 2013, “원심펌프의 캐비테이션에 대한 수치해석,” 유체기계저널, 제16권, 제2호, pp. 27~34.
- (5) 진현배, 김명진, 손창호, 정의준, 2013, “볼류트 원심펌프의 스카이럴 케이싱 -단면 형상의 영향-,” 유체기계저널, 제16권, 제4호, pp. 28~34.

- (6) 유일수, 최원철, 박무룡, 이공훈, 2013, “재생 펌프의 날개 각도에 따른 성능 변화에 관한 실험적 연구,” 유체기계저널, 제16권, 제5호, pp. 5~10.
- (7) 서상호, 김형호, 리키부자만, 김경욱, 윤인식, 2013, “가변속펌프의 성능평가방법에 관한 연구,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차1.
- (8) 배병언, 김연식, 김석, 조석, 조윤제, 정홍준, 운영중, 박종국, 최해섭, 전우진, 김복득, 권태순, 송철화, 2013, “APR1400 원자로냉각재펌프 성능시험설비 구축 및 시운전,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차3.
- (9) 윤현기, 서경우, 김성훈, 2013, “연구용 원자로에서 일차냉각펌프의 설계 요건,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차3.
- (10) 강병윤, 강신형, 2013, “인듀서의 크기가 터보펌프의 흡입 성능 상사에 미치는 영향에 관한 연구,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차3.
- (11) P. M. Singh, 최영도, 2013, “Performance and Internal Flow Characteristics of an Axial Flow Pump for Floating Type Water Treatment System,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차3.
- (12) 박노현, 이영우, 2013, “러너와 가이드 베인의 연동을 통한 마이크로 카프란 수차의 출력 최적화,” 유체기계저널, 제16권, 제1호, pp. 17~23.
- (13) 전진현, 변순석, 최영철, 박준식, 김윤재, 2013, “유출각 변화에 따른 프란시스 수차 성능해석,” 유체기계저널, 제16권, 제4호, pp. 10~14.
- (14) 황영철, 최영도, 2013, “양어장 방류수를 이용한 해양소수력발전소 구축에 관한 연구,” 유체기계저널, 제16권, 제5호, pp. 11~17.
- (15) 정승화, 황영철, 최영도, 2013, “횡류수차 노즐 내벽 형상이 성능과 내부유동에 미치는 영향,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차1.
- (16) Z. Chen, 정승화, 황영철, 최영도, 2013, “CFD Analysis on the Performance of a Very Low Head Cross Flow Turbine with Open Duct,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차1.
- (17) C. Chen, 최영도, 2013, “Flow Characteristic Analysis on an Inline Francis Turbine,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차2.
- (18) Q. Wei, 황영철, 최영도, 2013, “Internal Flow Analysis on an Open Ducted Cross Flow Turbine with Very Low Head,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차2.
- (19) C. Jin, Q. Wei, 최영도, 2013, “Numerical Simulation on the Draft Surge Suppression of a Francis Turbine by J-Groove,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차2.
- (20) C. Chen, 윤한용, 최영도, 2013, “Performance and Cavitation Analysis on Tidal Current Turbine for Low Water Level Channel,” 2013 한국유체기계학회 학술대회 논문집, 펌프및수차2.