

## 2014년 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<sup>(1)</sup>.

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<sup>(2)</sup>. 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 2014년 연구동향을 살펴보기 위하여 한국유체기계학회 논문집에 발표된 논문을 요약하여 소개하고자 한다.

### 2. 펌프 분야

연구대상으로 채택된 펌프에 대한 2014년도 연구실적은 한국유체기계학회 논문집 게재 4편이다. 상기 4편의 논문을 분석(Review)하여 아래에 요약 정리하였다.

최창호<sup>(3)</sup> 등은 앞전 허브에 응력이 집중되는 구조적인 문제로 터보펌프에 많이 채택되지 않아서 연구수행이 미진하였던, 팁이 허브에 비해서 앞으로 나온 전진익형(forward sweep) 인두서에 대해서 연구를 수행하였다. 전진익형 인두

서의 경우 후진익형 인두서에 비해 역류의 크기가 작아 블레이드 앞전 흡입면 허브에서 팁까지 압력이 고르게 분포되어 있는 것을 확인하였으며, 실험의 입구조건 및 매질의 물성치를 정확하게 반영해야 정확도 높은 해석결과를 도출할 수 있음을 확인하였다.

패트릭마크싱<sup>(4)</sup> 등은 상용유동해석 코드인 ANSYS CFX를 사용하여 부유식 수처리 시스템용 축류펌프의 성능 및 내부의 유동현상을 분석하였다. CFD 해석을 통해서 최대효율점에서의 수두를 구하였고, 이러한 효율은 기포 발생과 연관이 있으며 상대적으로 높은 기포 분포는 가이드베인 전면부와 임펠러 사이에서 존재하는 것을 확인하였다.

강병윤<sup>(5)</sup> 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.

김창현<sup>(6)</sup> 등은 상용유동해석 코드인 ANSYS CFX V13을 이용하여 인두서와 임펠러가 결합된 터보펌프에서의 캐비테이션 유동해석 결과를 실험에서 측정된 수력 및 흡입 성능과 비교하였다. 인두서의 양정 저하는 비교적 큰 캐비테이션 수에서 발생하나 임펠러의 양정 저하는 더 낮은 캐비테이션 수에서 발생됨을 확인하였고, 임펠러에서의 양정 저하는 캐비테이션이 임펠러 허브에서 쉬라우드 쪽으로 확장되면서 일어남을 알 수 있었다.

### 3. 수차 분야

연구대상으로 채택된 수차에 대한 2014년도 연구실적은 한국유체기계학회 논문집 게재 7편이다. 상기 7편의 논문을 분석(Review)하여 아래에 요약 정리하였다.

박지훈<sup>(7)</sup> 등은 프로펠러 수차의 실증 및 개발에 앞서 상용 CFD 코드를 이용하여 다양한 변수에 대한 해석을 수행하였으며, Tip clearance 유무, 러너 베인 깃 수 및 유량 변화에

\* 강릉원주대학교 기계자동차공학부  
E-mail : jcleee01@gwnu.ac.kr

다른 10 kW급 모델 실험용 프로펠러 수차의 성능해석 및 내부유동을 검토하였다. Tip clearance 유무에 따라 효율 4%, 출력 7%, 유효낙차 2%의 성능 차이를 보였으며, 고유량에서는 러너 베인 깃 수의 영향이 거의 없었으나 저유량에서는 깃 수가 증가할수록 높은 효율을 나타내었다. 또한 러너 베인 표면에서의 압력 분포 및 성능비교곡선을 통하여 러너 베인 6깃일 때 전체 유량에서 비교적 안정적인 효율 및 내부유동을 보임을 확인하였다.

김병곤<sup>(8)</sup>은 국내 최초로 마이크로급 가변속 수차 시스템의 특징인 수차의 회전수변화 및 가이드 베인 개도에 따른 최고 효율 및 출력 특성, 최적 제어용 알고리즘 코딩을 위한 기초 자료 확보, 수차의 안전운영 범위 등 기 개발된 가변속 프로펠러 수차의 성능 특성을 규명하기 위하여 수차의 원형(prototype)과 기하학적, 운동학적 그리고 역학적 상사성(레이놀즈 수)을 만족하는 모델 수차 시스템을 제작하여 국제 모델수차 성능시험 규범인 IEC60193을 준수하는 모델 시험을 수행하였다. 이를 통해 모델 수차의 최고 효율점을 파악하였고, 고효율 유지, 안전한 캐비테이션 거동, 낮은 압력 맥동으로 장기간 안정된 운전을 할 수 있는 성능 등고선도를 파악할 수 있었다.

김병곤<sup>(9)</sup>은 추가적인 연구를 통해 최적화된 수차 블레이드를 독자 개발하고자 하였다. 블레이드를 최적화하기 위한 초등단계로서 초기 익형 설계를 위해 기존의 직관적인 방법보다는 고전유체역학에 근거한 특이점 분포법(singularity distribution method)을 이용하여 해석적인 해를 구하였고, 해석적으로 얻은 익형의 평균 캠버선(mean camber line)을 베지어 곡선(Bezier curve)과 NACA 0012익형을 이용하여 기준형상을 완성하였다. 이에 관한 검증을 통해 최적 러너 블레이드와 기준 러너와의 압력면과 토출면에서의 압력 및 상대 속도를 비교하여 최적화된 러너 블레이드가 성능이 개선되었다는 것을 확인하였고, 최고 효율에 관한 오차가 0.3% 이하인 최적화된 수차 설계방법을 고안하였다.

천전무<sup>(10)</sup> 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 것이라라는 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.

Z. Chen<sup>(11)</sup> 등은 초저낙차 횡류수차의 성능향상을 위하여 가이드 노즐을 설치하였고, 이를 최적화하기 위한 수치해석

을 수행하였다. 해석 결과, 터빈 입구에 가이드 노즐을 설치하여 12.5%의 성능향상을 나타내었고, 가이드 노즐 입구에서 발생하는 박리유동 영역을 없애기 위한 유연한 설계가 필요함을 확인하였다.

C. Chen<sup>(12)</sup> 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, 가이드베인을 설치하였을 때 기존보다 독특한 유동이 발생함을 확인하였다.

Q. Wei<sup>(13)</sup> 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 비하여 흡출관에서의 회복압력값이 크지 않기 때문에 흡출관 확대각이 전체출력에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

지금까지 2014년도 한국유체기계학회에 발표된 펌프 및 수차 분야의 주요 연구동향을 한국유체기계학회 논문집에 발표된 펌프 분야 4편 그리고 수차 분야 7편의 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.

## References

- (1) 김유태, 2013, “펌프 및 수차 분야 연구동향,” 유체기계저널, 제16권, 제2호, pp. 54~57.
- (2) 마안철, 2013, “세계, 유럽 그리고 폴란드의 수력발전 개발,” ReSEAT 분석리포트.
- (3) 최창호, 노준구, 김진한, 2014, “터보펌프용 전진익형 인두서 흡입성능 유동해석,” 한국유체기계학회 논문집, 제17

- 권, 제3호, pp. 13 ~ 18.
- (4) 패트릭마크싱, 최영도, 2014, “부유식 수처리시스템용 축류펌프의 성능 및 내부유동,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제3호, pp. 52 ~ 58.
- (5) 강병윤, 강신형, 2014, “인듀서의 크기가 터보펌프의 흡입 성능 상사에 미치는 영향에 관한 연구,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제4호, pp. 47 ~ 52.
- (6) 김창현, 최창호, 백제현, 2014, “인듀서와 임펠러가 결합된 터보펌프에서의 캐비테이션 유동 특성,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제6호, pp. 21 ~ 28.
- (7) 박지훈, 김유택, 조용, 김병곤, 이영호, 2014, “CFD를 이용한 10kW급 모델 실험용 프로펠러 수차의 유량 및 러너 베인 깃 수 변화에 따른 성능해석,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제2호, pp. 05 ~ 11.
- (8) 김병곤, 2014, “마이크로 프로펠러 수차의 성능 특성,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제3호, pp. 25 ~ 32.
- (9) 김병곤, 2014, “NSGA-II를 이용한 마이크로 프로펠러 수차 블레이드 최적화,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제4호, pp. 19 ~ 29.
- (10) 천전무, 패트릭 마크 싱, 최영도, 2014, “입구 개방형 덕트를 적용한 초저낙차 횡류수차의 성능향상,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제4호, pp. 30 ~ 39.
- (11) Zhenmu Chen, Patrick Mark Singh, Young-Do Choi, 2014, “Effect of Guide Nozzle Shape on the Performance Improvement of a Very Low Head Cross Flow Turbine,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제5호, pp. 19 ~ 26.
- (12) Chengcheng Chen, Young-Do Choi, 2014, “Performance and Cavitation Analysis on Tidal Current Turbine for Low Water Level Channel,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제5호, pp. 60 ~ 66.
- (13) Qingsheng Wei, Young-Cheol Hwang, Young-Do Choi, 2014, “Internal Flow Analysis on an Open Ducted Cross Flow Turbine with Very Low Head,” 한국유체기계학회 논문집, 제17권, 제5호, pp. 67 ~ 71.