

## 2015년 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 2015년 연구동향을 살펴보기 위하여 한국유체기계학회 논문집 18권 1호부터 6호에 발표된 펌프 및 수차 관련 논문을 요약하여 소개하고자 한다.

### 2. 펌프 분야

연구대상으로 채택된 펌프에 대한 2015년도 연구실적은 한국유체기계학회 논문집 게재 2편이다. 상기 2편의 논문을 분석 (Review)하여 아래에 요약·정리하였다.

라키부자만<sup>(3)</sup> 등은 다단 원심펌프의 캐비테이션 유동에 관한 수치적 연구를 통하여 흡입영역의 임펠러 선단부와 후단부에서 캐비테이션 발생을 확인하였다. 캐비테이션 수가 작은 경우, 캐비테이션이 발생되면 공동의 길이가 급격하게

증가하여 펌프 성능의 수두감소를 유발함을 확인하였다.

서상호<sup>(4)</sup> 등은 백터 제어 인버터 구동 원심펌프 시스템의 성능을 평가하기 위한 실험 장치를 구축하였고, 운전효율을 평가할 수 있는 방안을 강구하고 에너지 절감효과를 평가할 수 있는 평가시스템을 구축하여 에너지 절감효과를 평가하였다. 인버터 구동 원심펌프의 운전효율 측정에는 펌프 1대를 가변속 운전하여 시스템 저항곡선을 구하는 방법이 바람직함을 발표하였다. 펌프회전수에 따라 달라지는 가변속 운전 펌프 시스템의 운전효율 향상을 평가할 수 있는 지표는 에너지 절감율 평가가 타당하다고 제안하였으며, 에너지 평균 사용률을 구하여 정속운전에 비해 가변속 운전에 따른 에너지 절감율을 계산한 결과 58.16%임을 발표하였다.

### 3. 수차 분야

연구대상으로 채택된 수차에 대한 2015년도 연구실적은 한국유체기계학회 논문집 게재 11편이다. 상기 11편의 논문을 분석 (Review)하여 아래에 요약·정리하였다.

Q. Wei<sup>(5)</sup> 등은 개방형 덕트형 횡류 수차의 공기층 효과에 대한 연구를 수행하였다. 개방형 덕트 하부에 공기 흡입구 설치를 고안하였다. 러너(runner)입구에서의 유속은 공기흡입에 의해 영향을 받으며, 블레이드 입구각에 근접하는 각도를 구성함에 따라 토크가 증가하는 결과를 발표하였다. 저낙차 조건에서도 최대 효율을 확보할 수 있다는 것을 밝혔다.

Chen<sup>(6)</sup> 등은 3차원 역설계 기법과 CFD 코드를 이용하여 블레이드 표면의 부하 분포 계산에 의해 블레이드 자오면 형상을 계산하였으며, 이를 통해 펌프 및 터빈의 블레이드 형상을 변수로 하여 전체 성능에 미치는 영향을 고찰하였다. 쉬라우드의 적층각도는 이차 유동(secondary flow)을 제거함으로써 인해 전체 효율 향상시킬 수 있음을 밝혔고, 최적 각도 12°에서 최고 89.5%의 효율을 나타냄을 발표하였다.

웬<sup>(7)</sup> 등은 이전 연구들을 바탕으로 베인형 조류 수차의 두 종류의 익렬 배치가 성능에 미치는 영향에 대해 CFD 코드를 활용하여 수치해석을 수행하였다. 익단 속도비(tip speed ratio)가 1.89일 때 블레이드 깃 수(12), 양열(double row) 배치

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

가 외열(single row)배치에 비해 높은 성능을 나타냄을 발표하였다. 깃 수(6), 외열 배치가 선행 연구에서 밝힌 다른 수차에 비해 향상된 값을 나타낸다고 하였으며, 속도비 0.94에서 출력계수는 최고 36%를 나타냄을 확인하였다.

Chen<sup>(8)</sup> 등은 기존 스파이럴 케이싱의 가용면적이 크다는 단점을 보완하기 위해 개발된 배관 일축형 프란시스 수차 모델의 타당성 분석을 수행하였다. 벨트 통로, 수직 코너 그리고 스테인 베인형에 따른 사례 분석을 통해 상용화 이전 단계에서 효율 변화를 관찰하였다. 각 형상에 따라 성능 변화 차이가 극히 미미함을 발표하였고, 입구 통로 변화에도 불구하고 상대적으로 높은 89.5%의 발전 효율을 보일 수 있음을 확인하였다.

천<sup>(9)</sup> 등은 일반적으로 널리 사용되는 펌프-터빈 시스템에 대한 건전성 평가를 위해 상용 CFD 코드를 활용한 유체-구조 연성해석(FSI)을 수행하였다. 펌프와 터빈 모드 별로 다양한 부하 조건에 대해 임펠러의 각 부분에 대한 등가 응력과 최대 변형 결과값을 도출하였다. 전체 시스템의 응력 집중이 임펠러 블레이드, 허브 그리고 가이드 베인에 분포됨을 나타내었으며, 각 부하 변화에 따라 가이드 베인의 변형률은 차이가 미미하다고 발표하였다.

황<sup>(10)</sup> 등은 상반전 조류터빈의 성능 계수를 향상시키기 위한 연구를 수행하였다. 일반적으로 풍력 터빈과 동일 원리하에 있는 조력 터빈에서 상반전(counter-rotating) 설계 적용 시에 조류 에너지의 33~48%의 에너지 변환 효율이 가능하며, 상반전 터빈 시스템이 다양한 운전 조건하에서도 출력 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다.

조인찬<sup>(11)</sup> 등은 해수의 염도차를 이용한 발전 중 압력 지연 삼투법(pressure retarded osmosis)에 대한 마이크로 스케일의 실험 장치를 구축하고, 에너지 회수를 위해 적합한 펠턴 터빈의 노즐 구경 변화에 따른 유체압력 변화 및 각 노즐 구경별 효율/성능 특성을 고찰하였다. 일정한 유량 조건에서 노즐 구경이 증가할수록 노즐에서 분사되는 유체의 압력은 1/4승에 반비례하여 감소하며, 노즐 구경이 증가할수록 속도비 범위가 증가하고 터빈의 최대효율이 증가한다고 발표하였다. 유량이 적고 압력이 높은 초소수력 펠턴 터빈의 경우 일반적인 펠턴 터빈의 비속도 범위보다 더 적고 효율이 낮음을 확인하였다.

Singh<sup>(12)</sup> 등은 100 kW급 펌프-터빈 발전시스템 내부의 유동 특성을 분석하여 상용 CFD 코드를 활용하여 가이드 베인의 열림 각도와 부하 운전조건을 매개 변수를 하여 수치 해석을 수행하였다. 펌프-터빈 모드에서 가이드 베인의 열림 길이가 31 mm일 때 각각 89.4%, 92.6%의 최대 효율을 확보하였으며, 동시에 일반 운전모드에서 재순환 영역이 발생치 않음을 확인하였다.

Singh<sup>(13)</sup> 등은 펌프-터빈 발전시스템에서 캐비테이션 발생에 따른 내부 유동특성을 수치해석을 수행하였다. 부하 운전

조건에 따라 압력 계수와 공기 체적분율을 조사하였으며, 펌프-터빈 발전시스템 내에 모든 운전조건에 공동 현상이 발생치 않음을 발표하였다.

Chen<sup>(14)</sup> 등은 프란시스 수차의 내부 유동 통로 형상 변화에 따른 내부 유동 특성을 분석을 위해 다양한 변수에 대한 해석을 수행하였다. 러너 후익은 수차의 효율을 향상시키는 데 중요함을 밝혔으며, 베인과 입구 유로 형상에 대한 수치 해석 값을 고찰하였다. 직선형 스테이 베인이 이차 유동에 따른 손실을 줄일 수 있으며, 입구 벽면 형상은 케이싱에서 발생하는 재순환 발생 영역을 방지할 수 있다고 발표하였다.

김병곤<sup>(15)</sup>은 10 kW급 수중 프로펠러 터빈 개발에 앞서 상용 CFD코드를 이용하여 초기 유동해석을 수행하였다. 러너 블레이드 설계는 역설계 방법을 채택하였고, 러너를 고정된 상태에서 다른 부품들에 대해 설계를 진행하였다. 개발된 터빈은 저낙차에서 높은 효율 나타냄을 밝혔으며, 러너 블레이드의 허브 흡입부에서 수정 방법은 성능 증대를 위해 유용한 방법임을 밝혔다.

#### 4. 결 론

지금까지 2015년도 한국유체기계학회에 발표된 펌프 및 수차 분야의 주요 연구동향을 한국유체기계학회 논문집에 발표된 펌프 분야 2편 그리고 수차 분야 11편의 논문을 분석하였다. 펌프 연구분야에서는 오랫동안 해석적 연구의 난제로 여겨지고 있는 3차원 효과, 캐비테이션, 미소 간극 등이 고려된 발전적인 결과가 도출되고 있으며, 수차 연구분야에서는 소수력 발전 및 에너지 효율증가를 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) 김유택, 2013, “펌프 및 수차 분야 연구동향,” 유체기계학회 논문집, 제16권, 제2호, pp. 54~57.
- (2) 마안철, 2013, “세계, 유럽 그리고 폴란드의 수력발전 개발,” ReSEAT 분석리포트.
- (3) 라키부자만, 서상호, 김형호, 조민태, 신병록, 2015, “다단 원심펌프의 공동현상 유동해석,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제1호, pp. 65~71.

- (4) 서상호, 김경욱, 김형호, 윤인식, 조민태, 2015, “백터 제어 인버터 구동 원심펌프시스템의 에너지 절감 평가,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제1호, pp. 67~72.
- (5) Wei, Q., Chen, Z., Singh, P. M., and Choi, Y. 2015, “Effect of Air Layer on the Performance of an Open Ducted Cross Flow Turbine,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제1호, pp. 11~19.
- (6) Chen, C., Zhu, B., Singh, P. M., and Choi, Y., 2015, “Design of a Pump-Turbine Based on the 3D Inverse Design Method,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제1호, pp. 20~28.
- (7) 월만홍, 김준호, 김부기, 양창조, 2015, “A블레이드 열의 배치에 따른 베인형 조류 수차의 성능 비교,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제1호, pp. 51~58.
- (8) Chen, C., Singh, P. M., Inagaki, M., and Choi, Y., 2015, “A Feasibility Study on the Flow Passage Shape for an Inline Francis Hydro Turbine,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제2호, pp. 5~13.
- (9) 천청청, 패트릭마크싱, 최영도, 2015, “운전조건에 따른 펌프 터빈 시스템의 안정성 연구,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제3호, pp. 46~52.
- (10) 황안동, 김부기, 김준호, 양창조, 2015, “성능계수 향상을 위한 10 kW급 상반전 조류터빈의 설계,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제3호, pp. 53~59.
- (11) 조인찬, 박주훈, 신유환, 김광호, 정진택, 김동익, 2015, “노즐 구경에 따른 초소수력 펠턴 터빈의 효율 및 성능 특성,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제3호, pp. 60~65.
- (12) Singh, P. M., Chen, C., Chen, Z., and Choi, Y., 2015, “Investigation into the Internal Flow Characteristics of a Pump-turbine Model,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제4호, pp. 36~42.
- (13) Singh, P. M., Chen, C., Chen, Z., and Choi, Y., 2015, “Cavitation Characteristics of a Pump-turbine Model by CFD Analysis,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제4호, pp. 49~55.
- (14) Chen, Z., Wei, Q., Singh, P. M., and Choi, Y., 2015, “Internal Flow Characteristics of a Francis Hydro Turbine Model by Internal Flow Passage Shapes,” 유체기계학회 논문집, 제18권, 제5호, pp. 19~25.
- (15) Kim, B., 2016, “Development of a Submerged Propeller Turbine for Micro Hydro Power,” 한국유체기계학회 논문집, 제18권, 제6호, pp. 45~56.