

15MW 프란시스 수차 발전기 국산화 및 실증



박준관

한국수력원자력(주) 중앙연구원
선임연구원

1 개황

수력에너지의 이용은 고대 그리스시대까지 거슬러 올라가서 기원을 찾을 수 있을 정도로 그 역사가 오래 되었다. 현재 수력발전에서 주로 사용되고 있는 프란시스 수차는 1848년 미국의 James Francis에 의해 개발된 이래로 많은 연구자와 제작사들에 의해 기술개발이 이루어져 왔으며 점차 그 사용범위를 넓혀가고 있다.

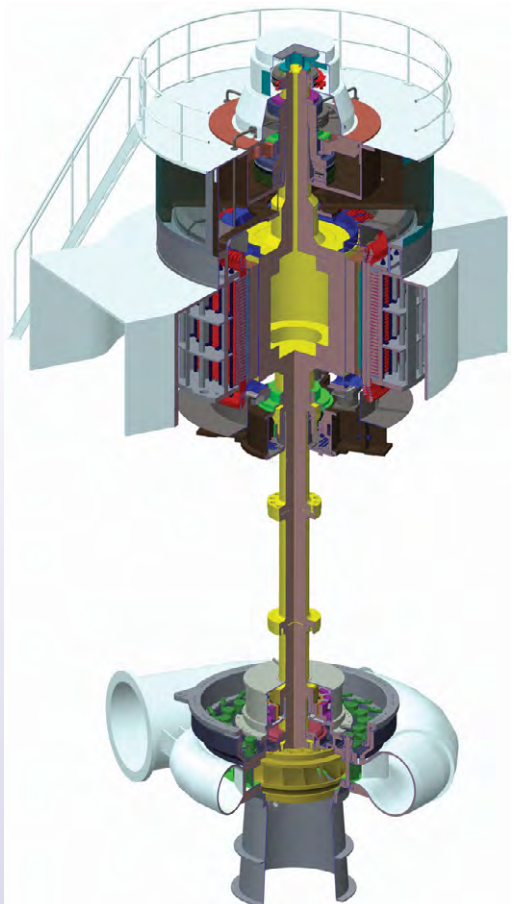


표 1 국내 운영회사별 수력설비 현황

구분	대수	용량 [MW]	점유율 [%]	
일반 수력	한수원(주)	21	591.7	9.3
	수자원공사	22	1,000.6	15.7
	소계	43	1,592.3	25.0
양수	한수원(주)	16	4,700.0	73.8
소수력	한수원(주)	14	11.3	0.16
	수자원공사	55	42.3	0.67
	발전자회사	16	22.1	0.34
	소계	85	75.7	1.2
합계	144	6,368.0	100	

그러나 오래된 기술임에도 불구하고 국내의 경우 수력산업의 비활성화로 주로 소수력 위주의 기술개발이 이루어져 왔으며, 이로 인한 중·대수력 핵심기술 부재로 수력설비 대부분을 유럽, 일본 등의 해외기술에 의존해 오고 있다.

이러한 상황에서 국내 수력발전 설비용량(양수포함)의 약 82%(표 1참조)을 보유하고 있는 한수원은 수력기술의 국산화와 이를 통해 국내 수력산업에 대한 생태계를 확보하고자 국내최초로 '15MW급 수차발전기 국산화 및 실증'과제를 참여기업과 더불어 정부과제로 수행해 오고 있으며 현재 기술개발에 대한 예비검증을 마치고 실물 제작단계에 있다. 한수원은 수차발전기 국산 시제품을 내년 5월 전북 정읍에 위치한 섬진강 수력 2호기에 설치하여 실증시험을 완료할 계획이다.

한편, 이번 개발을 통해 확보된 기술은 향후 국내 수력설비 성능개선 사업 시 활용할 예정이며, 이를 바탕으로 해외진출과 북한 노후수력 복구를 위한 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

2 15MW급 수차발전기 국산화 개발

가. 기술개발 현황

프란시스 수차에 대한 해외 수력기술개발 현황은 초대형 수차개발이 이루어지고 있으며, 현재 단위 기기당 세계 최대기기는 812MW/기 프란시스 수차로서 Xianjiaba발전소(중국)에 설치되었고 발전소 단위의 최대설비인 삼협발전소(중국)는 700MW급 프란시스 32기로 22.5GW출력의 설비용량을 보유하고 있다. 프란시스 수차에 대한 세계 최고수준의 효율성능은 알스톰(Alstom) 등 해외 선진사의 경우 최대 95%의 효율성능을 제시하고 있으나 현재 국내에서 운용되고 있는 수차의 최대효율은 92% 수준이다.

국내 수력산업은 주로 소수력업체 위주로 구성되어 있으며 중수력 이상에서는 OEM을 통한 제작 위주로 구성되어 있다. 일반적인 하천대상 수력발전은 환경문제 및 수력자원의 한계로 인해 하천을 벗어나 상수도관 차압, 육상 양어장의 배수구, 화력발전소 냉각수 배수구

등을 활용한 개발이 이루어지고 있다.

국내 소수력 업체로는 대양수력, 신한정공, 금성E&C 등이 있으며 이 중 대양수력은 소수력 발전에서의 기술력을 바탕으로 본 과제에서 15MW급 섬진강 수차개발에 참여하여 중수력 수차개발을 진행하고 있다. (주)효성은 15MW급 수력발전기를 개발하고 있으며, 전력연구원은 제어시스템을 담당하고 있다. 또한 조선기자재연구원(KOMERI)은 30MW급의 수차에 대해 개념설계기술을 개발하고 있다.

나. 수력설비의 분류

현재 국내에서는 일반적으로 10MW를 기준으로 소수력과 중대형수력을 구분하고 있으나 국제적으로는 수력설비가 대형화 되는 추세에 따라 30MW이상을 대형수력으로 구분하고 있다. 이러한 구분에 따라 출력 기준 10MW이하의 설비와 그 이상의 설비를 개발할 경우 고려해야하는 설계변수들에는 차이가 있다.

중수력 이상의 설비들에 있어서는 설비에 전달되는 하중(수력, 구조, 동역학, 전자기 하중)규모 차이에 따라 이를 고려한 설계가 진행되어야 한다. 그러나 이러한 부분들은 경험적인 요소이므로 주로 소수력 위주로 제작해 왔던 국내 수차제작업체 독자적인 중수력 이상의 수력설비 설계 능력은 미흡한 실정이다.

다. 15MW 섬진강 수차발전기의 개발 특징

섬진강수력은 15MW급 2기와 6MW급 1기의 입축 프란시스 수차로 구성되어 있다. 이 중 2호기는 1965년 준공이후 성능개선 없이 계속 운전되어왔다. 그러나 노후화가 심각해 성능개선사업을 앞두고 중수력 국산화를 위한 실증단지 역할을 제공할 예정이다. 섬진강 발전소는 유역 변경식으로 낙차 155m, 사용유량 10.8m³/s로서 기준 수차출력 15MW를 낼 수 있는

사양을 가지고 있다(표 2 참조).

표 2 섬진강 2호기 사양

낙차	155 [m]
유량	10.84 [m ³ /s]
회전속도	514 [rpm]
출력	15.0 [kW]
수차형식	입축 프란시스

신규 개발에 비해 성능개선의 경우 발전소 구조물에 대한 변경이 제한적이어서 수차 및 발전기의 설치 위치, 직경, 높이 등의 설계변수를 선택하는데 제약이 따르므로 설계의 난이도가 높다.

1) 수차 및 베어링

수차는 물이 가진 수력에너지를 기계적인 에너지로 바꾸는 설비로 발전설비 효율성능의 가장 큰 부분을 차지하며 그림 1과 같이 도수로를 통해 유입되는 물을 수차 시스템으로 인도하고 수차에 균일하게 물을 분배해주는 역할을 하는 스파이이럴 케이스, 회전을 통해 물이 가진 에너지를 기계적인 에너지로 변화시키는 런너, 런너로 유입되는 물의 양과 유속을 조절하는 Wicket gate, 런너 출구에서부터 완만하게 압력이 회복되도록 유도하는 흡출관(Draft tube) 등으로 구성되어 있다. 기구적인 구성이 상대적으로 복잡하여 수력설계에 있어 난이도가 가장 높은 구성품이다.

섬진강수력의 경우처럼 매설부인 스파이어럴 케이스와 흡출관을 그대로 사용하고 런너부와 wicket gate만을 대상으로 하여 설계사양을 만족시키는 최적의 고유 수차모형을 개발하는 것은 매우 도전적인 과제이다.

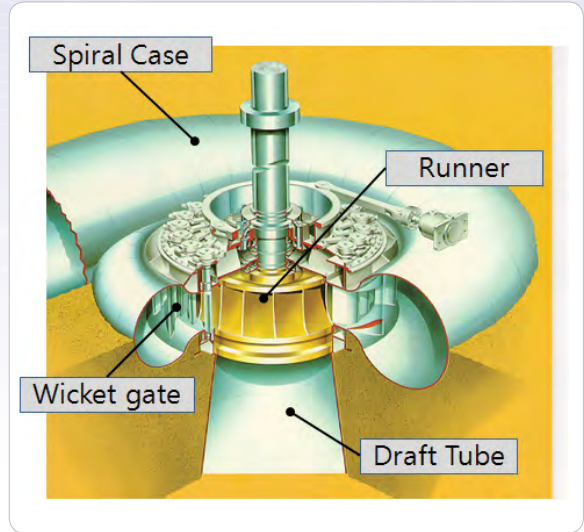


그림 1 프란시스 수차의 구성

15MW급 프란시스 수차개발을 위해 개념설계와 기본설계단계를 거치는 직접적인 방법으로 수력설계를 수행하였으며, 유동해석 기술을 적용하여 이론적인 성능을 예측하여 수차의 특성곡선을 도출하였다. 또한, 모델시험을 통해 설계에 대한 수력성능을 검증한 후 구조설계를 통해 구조건전성을 평가하고 실물제작의 단계로 진행하였다. 이러한 일련의 수력설계 절차는 기존 국내에서 주로 수행해 오던 역설계적인 방법과는 달리 비속도가 변경되어도 동일한 방법을 적용할 수 있어 수력설계방법을 확보했다고 할 수 있다.

일반적으로 소수력용 수차개발에서는 요구되지 않는 수차의 축소모형을 이용한 모델시험은 중대형용 수차설계의 설계 성능을 검증하는데 필수적인 절차로서 해당과제를 통해 개발된 수차에 대해 로잔공대에서의 모델시험을 통해 설계에 대한 검증을 실시하여 92.5% 이상의 모델수차 효율성능을 확인하였다. 이러한 모델수차 효율 성능 값은 IEC60193에 따르면, 현장시험에서 93.5% 이상의 효율성능을 확보할

수 있을 것으로 예상되면서 설계사양인 92% 이상의 효율성능 만족에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

뿐만 아니라 국내 연구인력이 이러한 모델시험에 직접 참여하여 일부 시험기술을 확보하였으며 이러한 기술들은 향후 발전소 운영 시, 해외 제작사의 기술에 의존해 왔던 수차의 성능진단에 활용될 수 있을 전망이다.

기존의 터빈베어링은 오일윤활 방식과 화이트메탈을 사용해왔다. 이 방식은 누설로 인한 환경오염 및 베어링 표면의 마모로 인한 내구성 한계 등의 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 터빈베어링에 수윤활기술을 적용하였으며 또한 가이드베인에는 윤활유가 필요치 않는 오일리스 타입의 윤활을 적용하여 누유에 의한 환경오염 문제를 원천적으로 차단하였고, 베어링패드에 수지소재를 적용하여 마찰력 감소와 내구성 증대를 동시에 실현하였다.

2) 발전기

수력용 발전기는 수차의 형식에 따라 여러가지 형태로 제작되며 주로 동기 교류식이 많이 사용된다. 중대형 이상의 수력발전기는 일반적으로 500rpm미만의 저속으로 다수의 극수를 가짐으로써 중량이 큰 특징이 있어 중대형 이상에서는 제조공장에서 일체형 제작이 불가하고, 현장 조립이 필요하며 이에 따른 현장조립기술이 요구되지만 섬진강 수력발전기의 경우 (주)효성 측에서 보유하고 있는 제작설비규모가 최대 15MW급으로서 공장에서 일체형으로 제작하였다.

섬진강 수력발전기의 설계적인 특징으로는 먼저 동(銅)량 증가를 위한 회전자 외경 증가 및 무방향성 규소강판의 적용으로 동일 직경기준 출력이 14.4MW에서 15MW로 증대되었고, 고조파 왜형률(Harmonic Distortion) 감소와 고정자 권선의 피치,

턴수(Number of turns), 그리고 회로 병렬수 최적화를 통해 효율 목표치 96.5%를 넘어서 98.2%까지 도달하였다. 또한 섬진강 발전소는 광역정전 발생시 율촌복합으로의 시송전을 담당해야 하므로 이를 위해 단락비 1.0을 확보하여 시송전 발전소로서의 역할을 수행할 수 있도록 설계하였다.

수지계열의 베어링 패드를 가이드 베어링과 쓰리스트 베어링에 적용하여 베어링의 내구성을 높였다. 또한, 정지형 여자기의 도입과 철심 길이의 감소를 통해 축 길이를 저감하였다. 이를 통해 시스템의 동적안정성을 증가시켰고, 구조적으로는 발전기 기초 하중을 기존대비 약 20% 경감시켜 구조안정성을 증가시켰다.

특히, 효율의 증가를 위해서는 냉각설계에 대한 고도화도 필요한데 이를 위해 과열방지를 위해 회전자 내부 냉각방식에 구조를 개선하여 특허를 출원하였다.

3) 수차발전기 통합제어시스템

제어시스템은 수차 및 발전기를 안전하고 효율적으로 운전하는 역할을 하는 설비로서, 수차 및 발전기의 운전상태정보를 사용자에게 실시간으로 제공하여 최적운전이 이루어지게 한다. 또한 수차 및 발전기 외부로부터 전달되는 위험조건으로부터 설비를 보호하기 위해서 높은 신뢰성과 안정성이 확보되어야 하며 이를 위해 최근 제어시스템은 아날로그방식 보다는 성능이 우수하고 응답성이 좋은 디지털 시스템을 기반으로 제어기능을 구현하고 있다.

수력발전소의 제어시스템은 DCS(Distributed Control System), 수차의 회전속도 및 출력 제어를 담당하는 GOV(Governor) 제어, 발전기 제어로 크게 분류된다. 본 통합 제어시스템은 GOV 제어를 DCS에 통합하여 보다 Compact한 제어시스템을 구성하였다. 또한 발전기 제어기는 고속 기능블럭형 구

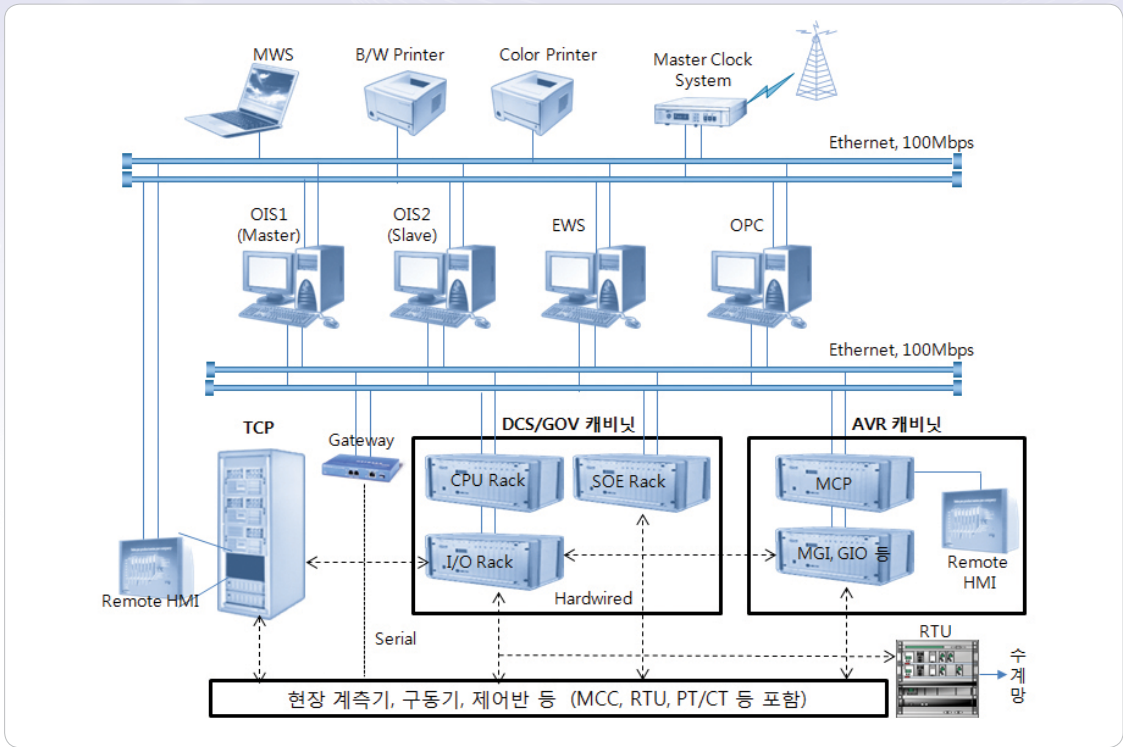


그림 2 심전강 통합제어시스템 구성도

조의 소프트웨어를 채택하여 사용자가 보다 편리하게 제어 및 감시가 가능하도록 구성하였다.

3 향후계획

현재 주기기인 수차 및 발전기의 제작공정이 60% 이상 진행되고 있다. 발전소는 10월 철거를 시작으로 12월에 설치할 계획이며, 현장에서 설치 후 현장 성능 시험과 3개월의 시운전을 통해 그 기술개발에 대한 검증 을 실시할 예정이다.

또한 15MW급 수차개발을 통해 확보한 설계, 해석 기술을 바탕으로 이를 확대 적용하여 30MW급 설계 기술을 개발하고 이를 화천수력발전소(30MW급)의 성능 개선에 적용하여 실증할 계획이다. 이를 통해 30MW

급 프란시스 수차의 수력설계 원천기술을 100% 국산화할 계획이다.

프란시스 수차개발을 통해 확보한 기술을 바탕으로 Run-over담 등 비교적 낮은 낙차의 발전소들에 주로 사용되는 카플란이나 벌브수차에 적용할 수 있는 설계 기술 확보와 함께, 한수원을 중심으로 중대형 수력에 대한 기술을 100% 국산화하여 국내 수력산업을 생태계를 조성해 나갈 계획이다. 또한, 이를 통해 향후 북 한수력설비의 성능개선필요시 국내기술을 활용할 계획이다.

한편, 수차 개발에서 확보한 기술을 확장하여 양수 기술에 응용하기 위한 첫 단계로써 기술을 실증할 수 있는 실증사이트로서의 소형 양수를 계획하고 있다. 