



국내최소 세계최대 시화호조력발전소 현황 및 기술 동향

김종득<K-water 시화조력관리단 운영팀장>

1 개 황

달은 수천 년간 인류에게 매우 친숙한 존재였다. 탐험가들에게는 밤을 밝히는 등대였고 선원들에게는 나침반이 되어 주었으며 우화의 대상 이었다. 그리고 시화조력에서는 너무나 고마운 달님이다. 왜냐하면 달이 하루에 두 번씩 바닷물이 주기적으로 밀려오고 밀려가는 조석 현상을 일으키며 이 조석 현상에 따라 바닷물의 수위차(조석 간만의 차)를 이용해서 발전을 하여 전력을 생산하고 있기 때문에 달은 우리에게 확실히 고마운 존재다.

우리나라 전기의 역사는 처음 경북궁 안에 있는 연못에 작은 발전기를 통해 전기를 얻었는데 16W 전구를 700개 가량을 밝힐 수 있는 아주 적은 규모였다.

그로부터 120여년이 지난 현재 우리나라의 발전설비 규모는 83GW를 기록하고 있으며, 이는 1960년대 400MW였던 규모에 비하면 200배가 넘는 수준으로 그동안 우리나라 산업이 얼마나 급성장 하였는지를 가늠할 수 있을 것이다. 그러나 산업의 발전과 더불어 그 이면에는 대형화·첨단화에 따른 전력수요의 지속적인 증가로 인한 화석연료의 고갈, 화석연료

사용에 따른 지구온난화 및 환경의 변화, 2011년 일본 후쿠시마 원전사고와 같은 원전사용의 불안감 등의 심각한 문제가 발생 하였으며, 이에 대한 해결책으로 청정에너지인 신재생에너지 도입에 관한 관심이 세계적으로 급증하고 있다.

이에 K-water는 국내 최대의 신재생에너지 공급사로서 2013년 현재 1.3GW의 신재생에너지를 이용한 전력을 공급하고 있으며, 신재생 에너지 개발 및 확대를 위한 역사적 소명 아래 수력발전 국산화 기술, 수상태양광 기술 및 수온차 냉난방 기술 등의 신기술 개발에 박차를 가하고 있다. 또한 최근에는 세계 최대, 국내 최초로 해양에너지를 이용한 시화호조력발전소를 성공적으로 건설하였으며, 지난 2년간 안정적으로 운영한 경험을 토대로 국내에서는 최대 신재생에너지 공급자로서의 입지를 확고히 하였고, 세계적으로는 조력발전소 건설 경험과 운영 기술력을 바탕으로 해양에너지 분야에 세계 최고의 기업으로 자리매김해 나가고 있다.

본 고에서는 세계 최대용량을 자랑하는 시화호 조력발전소의 탄생 배경과 현황을 살펴보고, 조석현상과 시화조력 발전과 세계 최고의 해양에너지 강국을 향한 K-water의 전망을 살펴보고자 하겠다.

2. 조력발전

2.1 시화호 조력발전소 탄생과 의의

시화호는 시화, 안산 신도시를 개발하기 위하여 1994년도에 조성된 인공호수이며 면적은 48.9km²로 여의도 면적에 6배에 달하며, 방조제 건설에만 6,200억원이 소요되었다.

당초에는 담수호를 만들어 인근 간척지에 농업용수를 공급할 목적으로 개발되었지만,

인근 공단과 도시의 폐수가 유입되면서 심각한 수질오염 문제를 야기 시켰으며, 한 때는 ‘죽음의 호수’라 불려지기도 했었다.

다양한 수질정화 대책이 시행되었음에도 불구하고 시화호의 수질오염이 더욱 가중되자 정부에서는 2000년 12월에 담수호를 해수호로 변경하기에 이르렀고, 이를 위하여 해수를 유통시키기 위한 수문을 설치하기로 하였으며, 이때 조력발전소 건설을 함께 추진하는 것이 검토 되었다. 시화호 조력발전소는 이러한 시화호의 수질개선 대책의 논의 과정 중에서 탄생하였으며, 해수유통을 통한 획기적인 수질개선 효과와 더불어 친환경 해양에너지를 생산 할 수 있게 되었다.



그림 1. 시화호조력발전소 위치도

표 1. 조력발전 방식의 분류

단류식 (單流式)	창조식 (漲潮式)	밀물시 외해와 조지의 수위차에 따라 발전을 하고 썰물시 조지의 물을 방류하는 발전방식
	낙조식 (落潮式)	밀물시 수문을 열어 조지를 채운 후 수문을 닫고 썰물시 외해와 조지의 수위차에 따라 발전하는 방식으로 창조식보다 발전량이 많음
복류식 (復流式)		외해와 조지의 수위차가 발생하면 민물과 썰물의 양쪽방향으로 발전하는 방식

2.2 조력발전 원리

조력(潮力) 발전은 하루에 두번씩 일어나는 밀물과 썰물 때에 발생하는 수위차(조석간만의 차)가 큰 하구나 만(灣)에 방조제(둑)를 막아 조지(潮池)를 만들어 바다와 조지의 수위차를 이용하여 전기를 생산하는 발전방식이다. 조력발전은 크게 한방향 발전인 단류식(單流式)과 양방향 발전인 복류식(復流式)으로 구분되며, 또 단류식은 밀물 때 발전하는 창조식(漲潮式)과 썰물 때 발전하는 낙조식(落潮式)으로 나눌 수 있다.

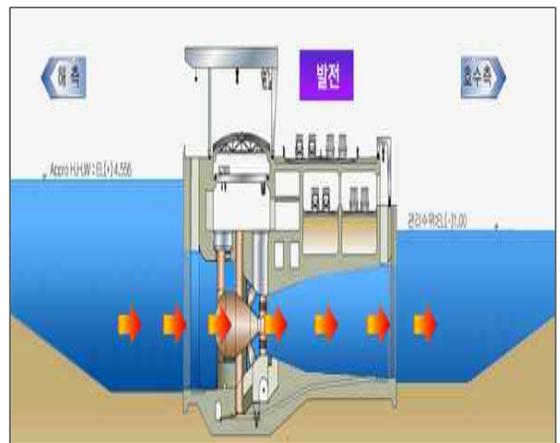


그림 2. 시화조력발전개념도 : 단류식 창조발전

2.3 시화호조력발전소 현황

시화호 조력발전소는 단류식 창조발전방식으로, 경기도 시흥시 정왕동 오이도와 안산시 대부도를 잇는 길이 11.2km의 시화방조제 밑에 25.4MW급 수차발전기 10대가 설치되어 있으며, 총 설비용량 254MW에 연 평균 1일 2회 발전을 통하여 연간 552.7GWh의 전력을 생산하고 있다(소양강 댐 1.56배). 이는 가정용 전력으로만 공급할 경우 충북 충주시 인구 20만명 규모의 도시에서 사용할 수 있는 양이다.

표 2. 시화호조력발전소 주요 현황

사업위치	경기도 안산시 단원구 대부항길로 1927
발전시설용량	254MW(25.4MW×10대)
연간발전량	552.7GWh
발전방식	단류식 창조발전
수문현황	8문(15.3m×12m)
해수유통량	1억5천만 m ³ /일
공사기간	2004.12.31. ~ 2011.11.14

표 3. 발전기 주요 제원

형식	수차	횡축 벌브형 키플란 수차
	발전기	횡축 3상 동기 발전
출력	발전기	25,400kW×10대
효율	수차	92.25%
	발전기	97.79%
낙차	정격낙차	5.82m
발전전압		10.2kV
극수/회전방향		112극/시계방향
런너직경		7.5m(날개 수 37개)
런너회전수		64.29rpm
사용수량		482.13m ³ /sec(대당)

시화호조력발전소 운영에 따른 효과는 연간 552.7GWh의 전기를 생산함으로써 유류수입 대체

효과가 862천 배럴로 2008년 전체 유류 수입량의 0.1%를 차지하고, CO₂ 는 연간 315천 ton으로 자동차 10여만 대가 뿜어내는 양과 맞먹는다. 또한 해수 유통으로 인한 수질환경 개선효과는 COD 약 2.0ppm 으로 내·외해가 동등한 수준으로 개선될 것이며, 관광자원 효과로는 연간 150만명이 다녀갈 것으로 예상된다.

표 4. 시화호조력발전소 효과 분석

유류수입 대체 효과	연간 862천 배럴
CO ₂ 발생저감 효과	연간 315천 ton
수질환경 개선 효과	COD 약 2.0ppm
관광자원 효과	연간 150만명

2.4 조력발전 최적운영 기술

앞선 언급하였듯이 단류식 창조발전방식은 밀물이 되었을 때 높아진 외해와 내해의 수위차를 이용하여 바닷물을 유입시켜 전기를 생산하고 썰물 때 낮아진 외해로 내해의 물을 내보내 다음 발전을 준비하는 발전 방식이다. 시화호의 관리 수위는 -1.0m 이하로 제한하고 있어, 발전량을 극대화하기 위해 밀물 때 해수를 유입시킬 수 있는 양에는 한계가 있다. 즉 시화호조력발전소가 복류식으로 개발 할 수 없었던 이유도 여기에 있다고 할 수 있다.

그림 2에서는 조석 변화에 따라 발전 시(㉒) 외해에서 유입되는 해수로 인하여 내수위가 상승하고, 배수 시(㉔)에는 내수위가 하강하고 있음을 보여주고 있다. 이 때 발전 개시 시점에서의 발전 낙차에 따라 생산할 수 있는 발전량과 매 주기 조석의 크기는 다르게 나타난다. 따라서 최대 발전량 생산할 수 있는 최적 발전개시 낙차를 선정하기 위하여, 우선 조석의 크기를 예측하여 발전 개시 낙차별로 발전량을 계산하고 그 결과를 비교하여 최대 발전량을 생산하는 낙차를 발전기 기동낙차로 선정하고 그 때 발전기를 기동

기술래설

하게 된다. 이러한 조력발전 최적운영 기술은 지난 2년간의 운영데이터를 바탕으로 최적운영 Simulator를 자체 개발하여 사용하고 있으며 향후 운영시간이 증가하여 데이터가 축적되면 최적운영 기술의 정확도가 높아질 것으로 예상되며, 이러한 최적 운영기술 확보는 향후 국내외 조력발전소 운영 시 유용한 기술로 활용할 가치가 있다고 할 수 있다.

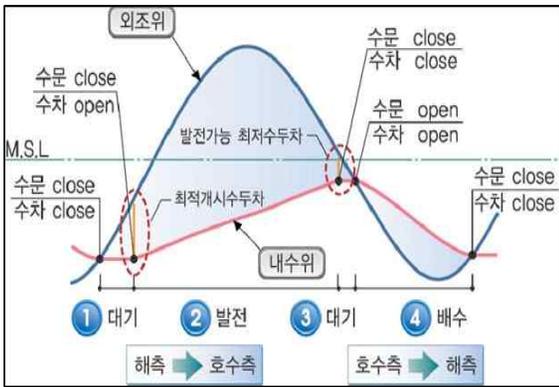


그림 2. 조석변화에 따른 조력발전 운영 방법

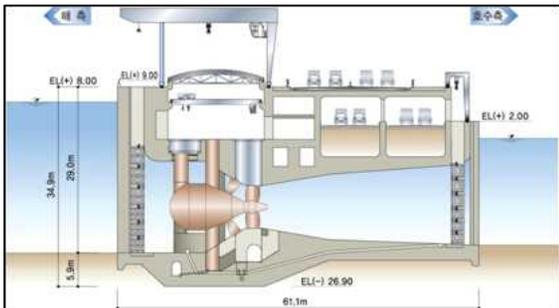


그림 3. 조력발전 운영 단면도

2.5 수력과 조력의 차이

수력과 조력은 물의 위치에너지를 이용하여 발전하는 것은 공통이지만 다소 차이가 있다. 수력은 물의 위치에너지를 저장하여 중앙급전 통제에 따라 발전 가능하지만, 조력은 조석에 따라 조위차가 발생해야만 발전이 가능하므로 조석주기에 따라 발전하는 발

전 기동 제약이 따른다. 또한, 수력은 민물을 사용함에 따라 부식성이 약하고 오손생물(따개비, 홍합 등)이 거의 없지만 조력은 바닷물을 사용함에 따라 부식성이 매우 강하고 바닷물이 접하는 모든 설비에 오손생물이 부착하여 서식하고 이로인해 발전출력 감소 및 설비 오동작이 발생하고 있다. 또한, 발전 대기_배수를 매일(2회) 반복 운영하고 있다.

그리고 우리나라에서 수력에 대한 발전운영 데이터와 점검정비 경험이 많지만 조력은 국내최초 운영에 따라 운영데이터 및 점검정비 실적도 부족한 상태다.

2.6 조석현상과 시화조력 발전

매일 두 번 밀물과 썰물을 끊임없이 반복하는 조석현상은 기조력에 의해 생겨나는데, 기조력은 지구와 달 두 천체가 회전운동을 할 때 생기는 원심력과 달과 태양, 지구 사이에서 생기는 인력에 의해 발생합니다. 그런데 달과 태양의 지구에 대한 인력은 지구상의 각 지점에서 조금씩 다르기 때문에 이것이 해수의 이동과 지구의 변형을 가져온다. 또 지구의 자전으로 한 지점에서 관측한 기조력도 시간에 따라 변한다.

태양·지구·달이 일직선상에 위치할 때 기조력은 최대가 되며, 태양과 달이 지구에 대해 직각일 때 기조력은 최소가 된다. 즉, 한달에 2번씩 보름과 그믐에는 조석현상이 크게 발생하고 반달인 상현과 하현에는 조석현상이 작게 발생한다.

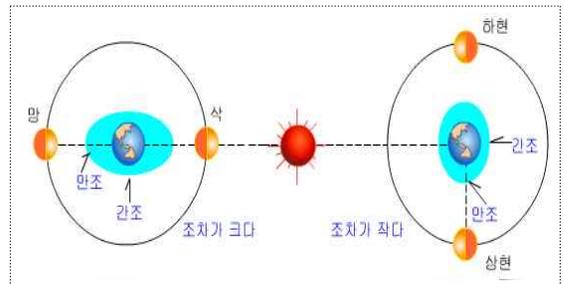


그림 4. 조력현상 설명도

이러한 조석현상을 이용하여 친환경 에너지를 생산할 수 있다. 우리나라 서해안은 조수간만의 차가 9m에 달하는 조력발전 천혜의 요지로 시화방조제 한가운데 국내 최초, 세계 최대 규모의 시화호조력발전소가 있다. 시화호조력발전소의 시설용량은 25만 4천 kW로 프랑스 랑스 조력발전소보다 규모면에서 1만 4천kW가 더 크고, 생산하는 전력량 또한 소양강 댐 발전량의 1.6배에 이른다. 시화호 앞바다는 밀물때 EL +4.5m 썰물때 EL -4.5m까지 바다 수위가 변동하여 최대 9m의 매우 큰 조수간만의 차가 발생하는 지역이다.

이 조석현상을 이용해서 썰물 때 바다의 수위가 시화호의 수위보다 낮아지면 발전소에 있는 8개의 대형 수문과 10대의 수차발전기, 시화배수갑문에 있는 8개의 수문을 동시에 열어 시화호의 물을 바다로 방류하여 시화호 수위를 최대한 낮추게 된다. 시화호조력발전소는 이러한 친환경적인 에너지를 연간 5억 5천 kWh의 전기를 생산하며 미래 해양에너지의 무한한 가능성을 시험 할 생산기지의 역할을 다 하고 있다.

3. 전 망

올 한해 국내에서 필요한 에너지는 지난해 보다 2.6%증가한 2억 8,600만 TOE을 기록할 것으로 에너지경제연구원에서 전망하였으며, 이러한 수요증가의 주된 원인은 산업부문으로, 당분간 전국적인 전력수급 불안은 지속될 것으로 예상하고 있다. 또한 향후 50년 동안 인류가 직면할 가장 큰 문제로 에너지가 강조되면서, 에너지 문제 해결은 인류가 해결해야할 가장 큰 난제임에는 틀림이 없다.

최근 에너지 문제 해결을 위하여 친환경 에너지원으로 신재생에너지의 도입이 가장 활발히 진행되고 있으며, 그 중 K-water가 국내 최초로 도입한 조력발전은 다른 신재생에너지원이 갖는 출력의 불확실성, 낮은 에너지 밀도 등의 단점이 없이 매일 일정량

의 전력을 생산할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 국내에서도 가로림만 조력 등이 추진되고 있다. 그러나 환경파괴에 대한 시민단체들에 의한 반발로 수년째 개발이 진행되고 있지 못하고 있어 조력발전 개발에 따른 환경영향 최소화 기술도 반드시 개발되어야 한다. 국외의 경우 4개의 조력발전소가 운영 중에 있으며, 개발 가능한 지점들은 중심으로 10여 개국에서 개발 계획을 수립하고 있다.

표 5. 국내 조력발전소 및 개발 예정지 현황

발전소명	시화호	가로림	인천만	강 화
내역				
대조차	7.80m	6.81m	7.20m	7.70m
발전방식	창조식	낙조식	낙조식	낙조식
시설용량	254MW	520MW	1,320MW	838.2MW
방조제 길이	11.2km	2.1km	15.1km	6.5km
추진현황	개발완료	환경영향평가	보류	보류

표 6. 국외 조력발전소 현황

발전소명	랑스 (프랑스)	아니폴리스 (캐나다)	키스라야구바 (러시아)	지앙시아 (중국)
내역				
대조차	13.5m	8.7m	3.9m	8.39m
발전방식	복류식	단류식	복류식	복류식
시설용량	240MW	20MW	0.4MW	3.2MW

표 7. 국외 조력발전 개발 예정지 현황

내역	위치	지점수	대조차	시설용량
국기명				
러시아	Penshinsk	7	6.2m	87,400MW
프랑스	Cotentin	3	8.0m	50,000MW
영국	Severn	9	8.3m	8,600MW
캐나다	Cobequid, B9	4	11.8	4,000MW
미국	Knik-Arm	9	8.4	1,400MW
브라질	Sao Lais	2	-	4,100MW
아르헨티나	San Jose(G.N)	4	-	5,300MW
인도	Cambay	4	6.8	7,400MW
중국	Luoyuanwan	9	5.2	500MW
호주	Walcolt	2	-	1,800MW

4. 맺은 말

끝으로 우리나라는 풍부한 해양에너지 개발 잠재력을 가지고 있으며 총 14GW가 개발 가능한 것으로 조사되어, 조류 및 파력 등의 해양에너지 개발에도 관심을 가져야 한다.

또한 K-water의 조력발전소 건설 경험과 운영 기술 확보를 통하여 국내 조력발전 개발을 지원하고, 해외진출을 위한 新 비즈니스 모델 선점으로 우리나라가 해양에너지의 강국이 되기를 새삼 기대해 본다. 바다가 없는 내륙 국가들은 해양에너지 개발에 대한 꿈도 꾸지 못하지 않는가?

참고문헌

- [1] K-water, “시화호 조력발전 건설사업 타당성 조사 및 기본 계획 보고서”, 2002.
- [2] K-water, “시화호 조력발전소 건설공사 기본설계보고서”, 2004.
- [3] K-water, “시화호 조력발전소 건설공사 실시설계보고서”, 2005.
- [4] 송우복, “시화호 조력발전소 탄생 배경과 의미”, 에세이퍼블리싱, 2012.

◇ 저 자 소 개 ◇



김종득(金鍾得)

1960년 10월 25일생. 현재 K-water
시화조력관리단 운영팀장.

Tel : (032)890-6550