◎ 특 집

세계최대 국내최초 시화호 조력발전소 건설현황

김준규* · 최등호* · 손중원* · 전성문*

1. 서 론

현재의 고유가 행진은 석유를 전량수입에 의존하는 국내실정을 고려할 때 경제성장과 물가안정에 미치는 영향으로 우리의 미래와 생존을 위한 대체에너지원의 개발과 안정적인 에너지원의 확보가 절실히 요구되고 있다. 삼면이 바다로 둘러 쌓여있어 해양에너지 개발이 유리하지만 지금까지 대체에너지원으로서 해양이 가지고 있는 조석, 조류, 파랑, 해양온도차 등의 청정에너지 자원이 풍부함에도 불구하고 경제성 문제 및 대체에너지 개발의 필요성에 대한 사회적 인식 부족 등으로 미래형 친환경에너지 개발로 나아가지는 못했다. 하지만 1994년 완공된 시화호가 2000년에 시화호 수질개선 대책으로 해수호로 전환됨에 따라 시화해수호의 효율적인 활용방안으로 2002년 시화방조제에 조력발전소를 설치·운영하는 계획이 확정됨으로서 해수교환율의 증대로 시화호의 획기적인 수질개선 효과는 물론 환경 친화적인 청정에너지 전력생산을 위해 현재 세계최대, 국내최초의 조력발전소가 건설되고 있다.

조력발전이란 조석을 동력원으로 하여 해수면의 상승하강에 따른 낙차를 이용하여 해수를 유통시켜 수차의 회전력을 발생, 전기를 생산하는 방식으로 강한 조석이 발생하는 큰 하구나 만에 조력용 댐을 건설하여 조지를 만들고 조력 댐을 조정하여 얻어지는 외해수위와 조지내의 수위차를 이용하여 발전을 하게 된다.
시화호 조력발전소는 수차발전기구간, 연결구조물구간, 수문구간, 방조제로 구성된다.(Fig. 1 참조)

조력발전은 하천 및 댐의 수력발전과 아주 유사하나 발전낙차가 수력에 비해 작고 낙차가 시간에 따라 변화하는 등 <표 1>과 같이 구별된다. 그러나 조석현상이 주기적인 규칙성을 가지고 발생하고 또한 장기예측이 가능하기 때문에 조력발전을 통해 얻어진 전력의 이용성은 타 대체에너지 전력에 비해 훨씬 유리한 장점을 가지고 있다.

< 표 1 > 조력 및 수력발전소 특성 비교

구 분	조력발전소	수력발전소
근원적 특성	외해조석과 발전기 가동에 따른 조수지 수위변화로 결정되는 가용수두, 조수지 면적, 수문용량, 발전기 용량, 운전방식 등	최저 갈수위, 홍수위, 저수용량 등 댐의 수문학적 특성에 의하여 댐 개발계획 수립 시 결정
발전 운영	조력에너지는 발전과 관련된 조수량이 비교적 일정하며, 건기의 계절변화나 연변화가 거의 없다는 것이 장점	댐에 저장된 저수량을 이용하여 발전을 하기 때문에 홍수기나 강우량이 풍부하면 발전량은 대폭 증가함으로 자연적 조건에 의존도가 큼
설계 고려 사항	유량의 제한을 거의 받지 않음으로 최대출력에 우선권을 부여 ⇒ 발전수익 달성에 유리	댐 저수량은 일정하기 때문에 최대효율에 우선권을 부여 ⇒ 발전수익 달성에 유리

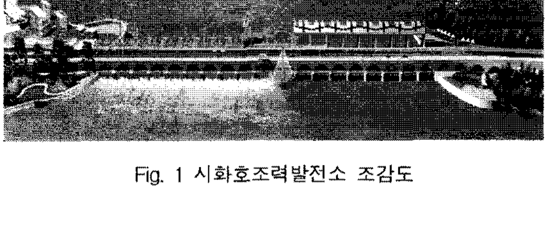


Fig. 1 시화호조력발전소 조감도

* 한국수자원공사 시화호 조력발전소 건설단
팀장 김준규, 차장 최등호, 과장 손중원, 대리 전성문
Tel. 032-890-6560~2

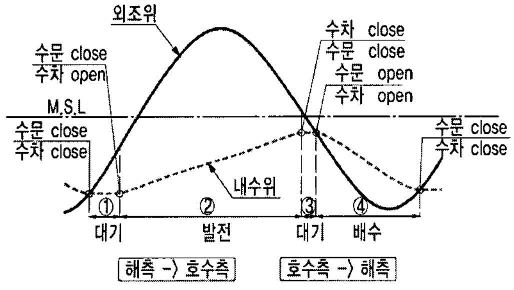


Fig. 2 시화호 조력발전소 발전운영방식(단류식-창조식)

어떤 해역에 조력발전소 건설을 계획할 때 가장 중요한 사항은 어떤 발전방식으로 얼마만한 규모의 발전소를 설치할 것인가 하는 문제일 것이다. 조력발전소의 규모는 일련의 최적화과정을 거쳐서 결정되는데 여기서 고려되어야 할 항목으로 △사용가능 낙차 즉 지속적으로 변화하는 외해수위와 발전소 가동에 따라 변동되는 조지수위와의 차 △조지의 수면적과 발전에 사용할 수 있는 총 해수 용량 △수문의 용량 △수차발전기의 용량 등이 있다.

조력발전방식은 조석의 이용횟수에 따라 단류식 발전과 복류식 발전으로 나누고 단류식의 경우 이용방향에 따라 창조발전(漲潮發電)과 낙조발전(落潮發電)으로 구분된다. 단류식 낙조발전은 조력 댐을 설치하여 조지를 조성, 창조 시에 수문을 개방하여 조지 내에 해수를 만조수위까지 채운 후 수문을 닫고 대기하다가 낙조 때 조지와 외해조위간의 수위차를 이용하여 발전하는 방식이다. 이와는 반대로 낙조 시에 수문을 개방하여 조지수위를 간조수위까지 낮춘 후 밀물 시에 발전을 하는 형태가 창조발전(시화호 조력발전소)이다. 어느 경우이든 발전을 함에 있어서 한 방향의 흐름만을 이용함으로 단류식이라 한다. 운전방식(Fig 2참조)은 발전→대기→충수→대기의 사이클을 계속 1일 2회 반복하므로 발전출력의 단속이 불가피하다. 그러나 발전방식이 가장 간단하고 발전설비의 가격도 저렴하여 가장 실용적인 조력발전방식으로 알려져 있다.

복류식 발전방식은 창조 및 낙조 모두 발전이 가능하며 따라서 단류식에 비해 발전시간이 연장될 수 있다. 그러나 이 경우에도 역시 조지와 외해와의 수위차가 발전가능낙차에 이를 때가지 대기해야 하기 때문에 발전은 단속적이다. 또한 수차발전기도 2방향 발전이 가능해야 하기 때문에 단류식 수차발전기보다 구조가 복잡해진다. <표 2>는 국가별 현재 운영 중인 조력발전소 및 개발계획이다.

< 표 2 > 조력발전소 운영현황 및 개발계획

구 분	국가명	위 치	평균낙차 (m)	시설용량 (MW)	비고
운영 중	프랑스	랑 스	8.5	240	복류식
	캐나다	아나폴리스	7.0	20	단류식
	러시아	키스라야 구바	1.0-3.9	0.4	복류식
	중국	지앙시아	5.08	3.2	복류식
개 발 및 계획중	한국	시화지구	5.82	254	단류식
	한국	가로림만	4.99	520	단류식
	러시아	펜진스크	6.2	87,400	
	프랑스	코텐틴	8.0	50,000	
	영국	세번	8.3	8,600	
	캐나다	코베퀴드	11.8	4,000	
	미국	닉 - 암	8.4	1,400	
	인도	캠베이	6.8	7,400	
	중국	류오유안완	5.2	500	

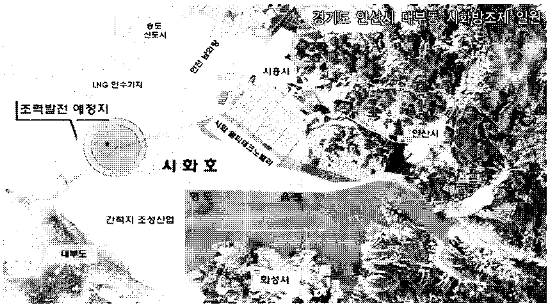


Fig. 3 조력발전소 위치

2. 조력발전소 시공 및 설계사항

2.1 사업목적

조력발전소는 해수순환을 통한 시화호 수질개선과 무공해 대체 해양에너지 개발로 UN 기후변화 협약에 따른 정부의 이산화탄소(CO_2) 저감 노력에 적극 부응하고 국가 부존자원 개발에 그 목적이 있다.(Fig. 3참조)

2.2 단계별 시공계획

발전소 부지는 기반암에 구조물을 배치하여 안정성을 최대한 확보하였으며 해측에만 원형셀 가물막이를 설치하고 호수측은 기존방조제에 강널 말뚝 차수보강을 실시하였다. 시공순서는 Fig. 4와 같이 가물막이 설치, 기초굴착, 부지조성, 수차구조물, 수문구조물, 연결구조물, 수차발전기 설치, 수문설비 설치, 가물막이해체 순으로 시공된다.

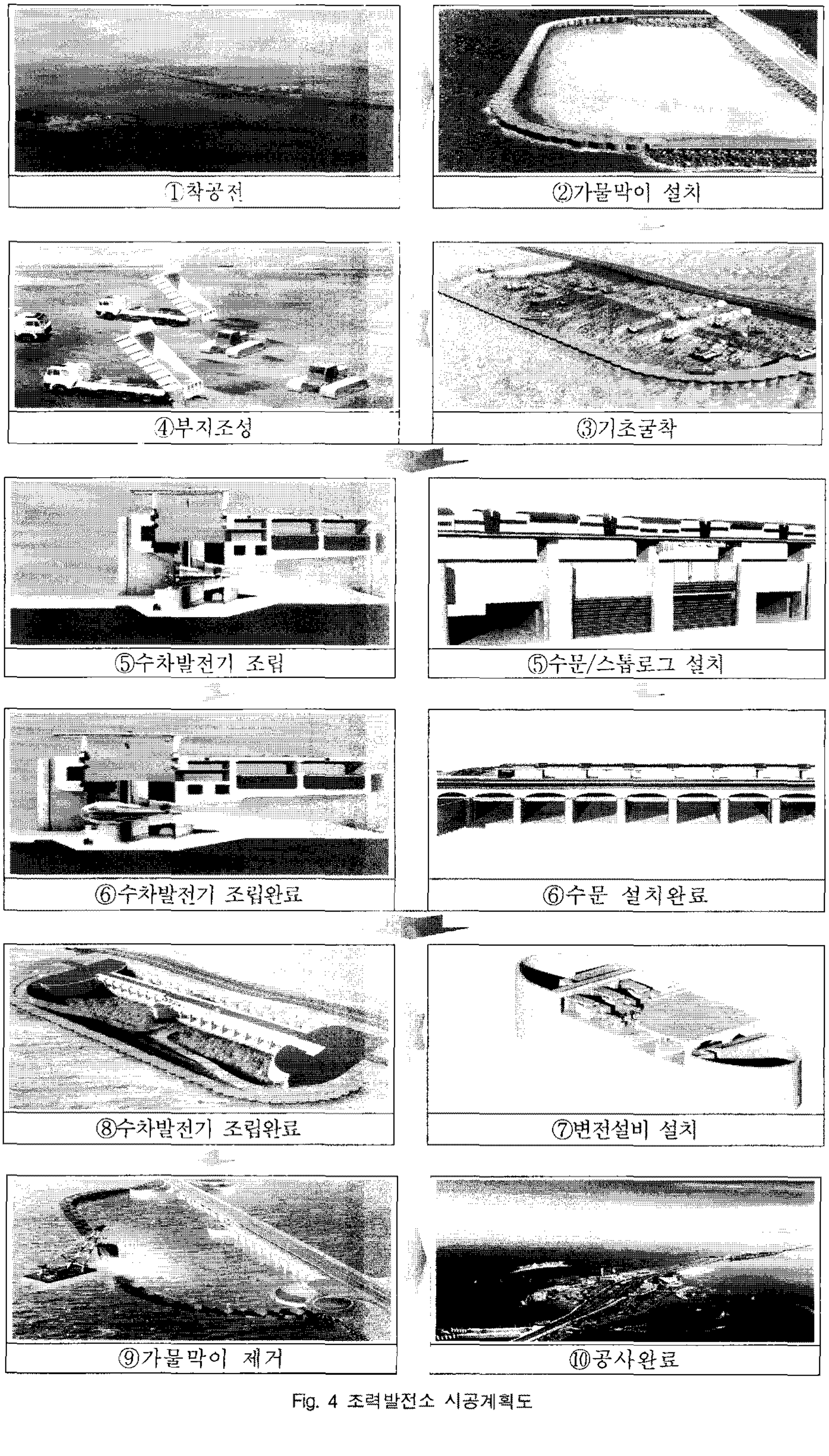


Fig. 4 조력발전소 시공계획도

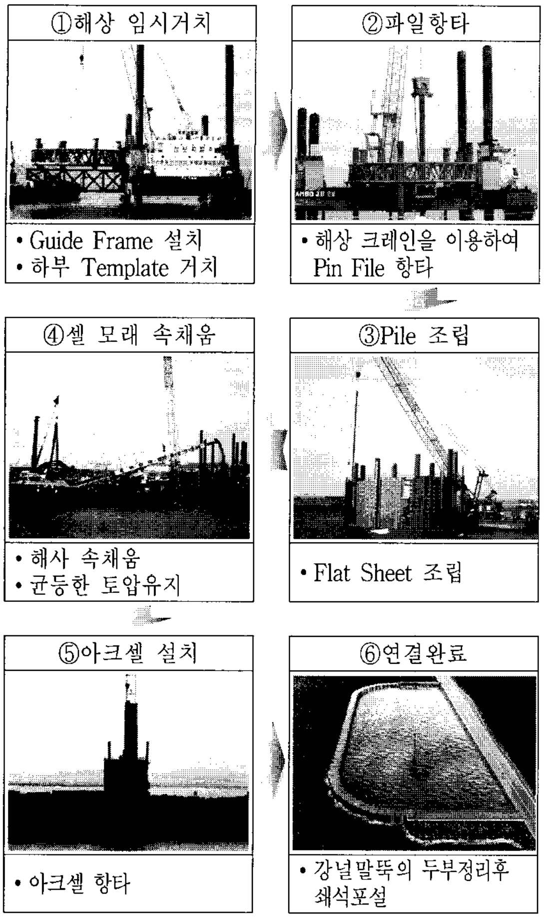


Fig. 5 원형셀식 가물막이 시공 순서

조력발전소 구조물공사를 위해 원형셀식 가물막이 공법을 영구구조물에 준한 설계로 적용하여 Self Elevated Platform Barge를 이용하여 조립틀 설치, 해체하는 방법을 채택하여 해상에서 정위치 고정문제 해결 및 오탁수 발생을 최대한 억제하였다. 설치 규모는 원형셀 29개 및 아크셀 28개를 시공하였다. (Fig. 5 참조)

2.3 구조물 시공현황

수차(10기) 및 수문(8기)구조물 콘크리트 타설은 공기단축, 콘크리트량 축소로 수화열 억제에 유리하며, 유지관리 시 1개 수로만 배수할 경우 부력에 의한 구조적 안정성 확보에 강점이 있는 2기를 1블록으로 설계하는 방법으로 적용하고 수차 및 수문 토목구조물 공정작업은 블록별로 진행되며 수차의 경우 5블록

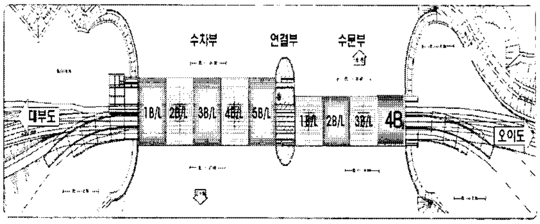


Fig. 6 구조물 시공순서 평면도

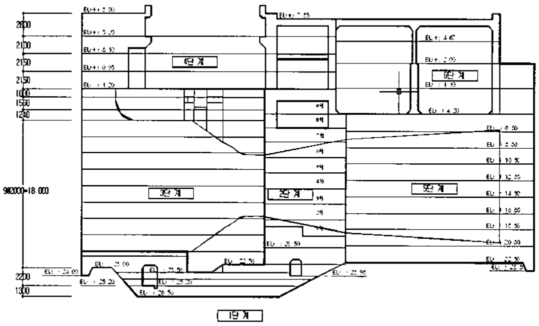


Fig. 7 수차구조물 단계별 시공순서

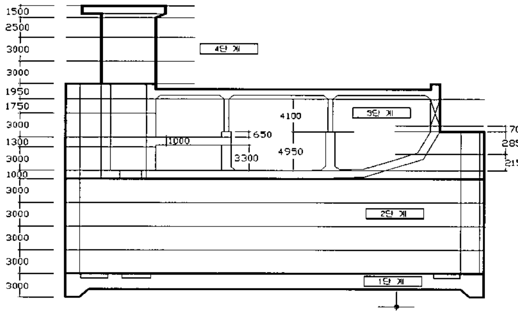


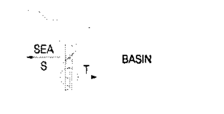
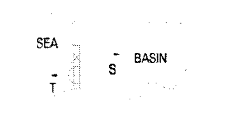
Fig. 8 수문구조물 단계별 시공순서

(2대*5블록), 수문은 4블록(2대*4블록)에 대하여 시공을 하고 있다.

수차구조물 시공순서는 1블럭→3블럭→5블럭→2블럭→4블럭, 수문구조물은 2블럭→4블럭→1블럭→3블럭으로 진행되고 있다.(Fig. 6 참조)

블록별 콘크리트 타설은 수차는 6단계(Fig. 7), 수문은 4단계(Fig. 8)로 구분하여 순차적으로 진행되며 수차발전기 운반 · 설치를 위한 Critical Path인 Gantry Crane 설치를 최우선을 목표로 해(海)측 수로부를 우선 시공하고 있다.

< 표 3 > 시화호 조건을 고려한 발전방식 검토

구 분	창 조 식	낙 조 식
개요도		
발전 원리	• 낙조 시 수문개방 • 창조 시 발전	• 창조 시 수문개방 • 낙조 시 발전
발전량	• 100%	• 100%
운전 조건	• 시화호 관리수위가 EL(-)1.0m이므로 방수위는 관리수위이상 불가 • 최대낙차 : 7.5m, 최소낙차 : 1.0m	• 관리수위 EL(-)1.0m에 유효저수량 8천만톤 이용 • 바다측 수위가 EL(-)3.0m이상 발전 불가능 • 최대낙차 : 2.0m
적용 사례	• 시화 조력발전소에 적용	• 아나폴리스
선정	◉	
선정 사유	• 낙조식은 발전가능 낙차 2.0m이상 확보가 불가능하여 창조식으로 선정(복류식 불가능)	

< 표 4 > 수차 정격출력 선정

용량구분	22MW	26MW	29MW
정격낙차	5.70m	5.82m	5.70m
정격회전수	69.23rpm	64.29rpm	60.0rpm
수차축위치	EL(-)12.50m	EL(-)13.0m	EL(-)13.60m
사용수량	417m^3/sec	482.13m^3/sec	548m^3/sec
런너직경	7.0mø	7.5mø	8.0mø
장・단점	• 12대로 토목공사비 증가, 경제성 낮음 • 유지보수에 불리 • 발전량 : 571.4GWh	• 전세계 실적 많음 • 최적의 설계조건 만족 • 발전량 : 582.3GWh	• 전세계 실적 적음 (8.0mø이상, 단 1대) • 캐비테이션 큼 • 발전량 : 566.8GWh
선정		◉	
선정사유	• 29MW는 실적이 없어 캐비테이션 및 신뢰성 문제, 22MW는 토목 공사비가 많아 경제성 낮고, 기기가 많을시 고장이 많게 됨 • 기술적 우수성과 고객에 대한 신뢰성 및 경제성을 고려하여 26MW 선정		

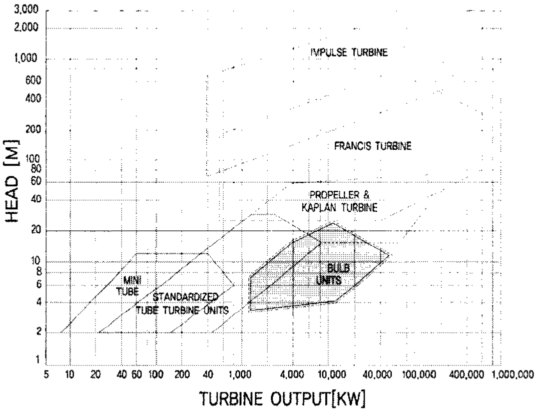
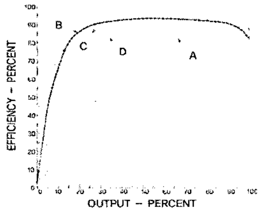


Fig. 9 낙차 및 출력에 의한 형식선정



범 례

• 곡선 A : 고정익 및 가변게이트 프로펠라 수차
• 곡선 B : 벌브 및 카프란 수차
• 곡선 C : 펠톤 수차
• 곡선 D : 프란시스 수차

Fig. 10 수차효율에 의한 형식선정

2.4 조력발전소 발전방식 결정

시화호 조력발전소의 발전방식은 시화호 관리수위 EL(-)1.0m 조건에서 낙조식, 복류식 발전가능성을 검토하였으며 낙조 시 평균낙차는 1.0m로 발전기 동기속도에 필요한 최소낙차 2m에 미달하여 단류식/창조식 발전방식을 선택하였다.(표 3 참조)

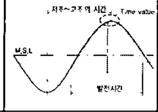
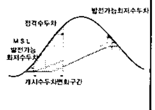
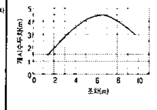
3. 수차발전기 설계사항

3.1 수차발전기 형식 결정

국내 최초로 적용되는 조력발전소 수차발전기 형식 선정을 위해 △해외선진 사례조사・분석 △낙차 및 출력 △수차효율 △구조 및 설치형식 등을 고려하여 검토하였다.

16m이하 낙차에서 벌브형과 튜브형을 선택할 수 있으나(Fig. 9 참조), 대형에서는 벌브형 수차를 대부분 채택하고 있으며 또한 세계적으로 제작, 설치 및 운영실적이 많고 저낙차 대용량 및 고효율 발전이 가능한 횡축 벌브형 카플란 수차를 적용하였다.(Fig. 10 참조)

< 표 5 > 최적 발전개시 낙차 결정 프로그램 선정

구분	HYDSTRA	POWFOM	VAPOW
개념도			
특징	• 조지의 잔여용적과 특정수두차에서의 수차발전을 고려하여 발전시간 산정후, Time Advanced Value를 조정하여 최대 발전량이 발생하는 수두차 결정	• 매 조석마다발전가능 최저낙차에서 정격낙차까지 0.1m씩 변화시키면서 발전량을 산정하여, 최대발전량이 발생하는 낙차를 결정	• 1년간의 대표적인 8개의 조석에 대해 각각 최적개시낙차를 결정한 후 각 조석의 진폭과 개시낙차의 관계를 다항식으로 표현하여 발전 개시 낙차 결정
선정	◉		

< 표 7 > 유한요소법에 의한 벌브케이스 응력분석 조건

구 분	수차운영 조건
• Load case 1	Empty, without water
• Load case 2	Standstill, filled with water, maximum Headwater level
• Load case 3	Pressure rise at emergency shutdown during operation at maximum head
• Load case 4	Normal turbine operation at maximum head
• Load case 5	Basin dewatering at lowest headwater level
• Load case 6	Low cycle fatigue, difference between normal operation and basin dewatering
• Load case 7	Start of reverse operation at maximum tailwater level
• Load case 8	Natural frequencies

< 표 6 > 시화조력 시설용량 및 주요제원

발전시설용량		254천kW(25.4천kW×10기)
년간발전량		552.7백만kWh
발전방식		단류식 창조발전(밀물시 발전)
배수갑문		8문(15.3m × 12m)
해수유통량		1억6천만㎥/일(시화호 저수량의 50%)
사업기간		2004.12～2009.11
형식	수차	횡축 벌브형 카플란수차
	발전기	횡축 3상 동기발전
출력	수차	26MW
	발전기	25.4MW
런너직경		7.5m(날개수 3개)
런너회전수		64.29rpm
사용수량		482.13㎥/sec

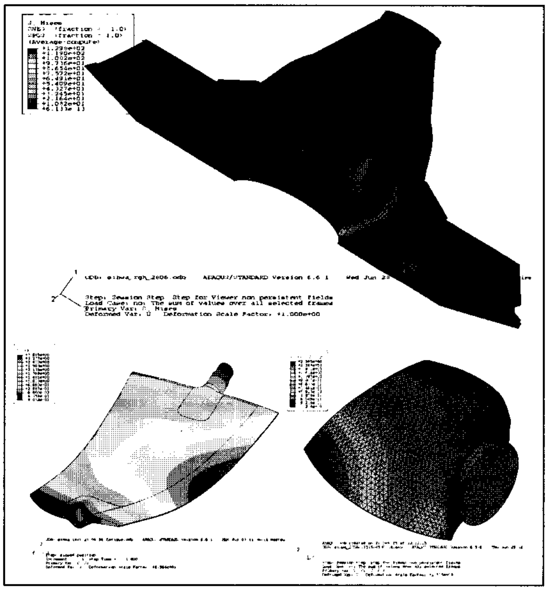


Fig. 11 수차주요부 응력 및 변형분석

3.2 수차 단위 정격용량 및 연간발전량 결정

수차발전기 단위 정격용량은 조위관측 자료, 수심 측량에 의한 시화호 내용적, 수차발전 특성곡선, 수문 유량 특성곡선, 배수 시 수차유량 특성곡선, 시화호 수위 운영조건(△EL-1.0m/△EL-0.5m/△EL0.0m), 기존 수문의 연계운영여부 등 조건을 입력하여 발전량 최적화 시뮬레이션 통해 <표 4>와 같이 결정되었으며, 연간발전량은 단위 조석동안의 최적발전 개시낙차에 따라 민감하게 변화됨으로 각기 다른 발전 개시낙차 결정방법을 적용을 위해 <표 5>과 같이 3개 프로그램(HYDSTRA, POWFOM, VAPOW)을 대상으로 각각에 대해 계산의 효율, 정확성 및 운영시 적용의 용이성 등을 고려하여 선정된 HYDSTRA로 관리/우기수위(EL-1.0m), 건기수위(EL-0.5m)조건에 대해 발전소 준공후 5년간(2009~2013) 예측조위로 발전시뮬레이션을 수행한 결과 평균 연간발전량은 582.3GWh (EL-1.0m 기준)로 산출되었으며, 조력발전소의 시설용량 및 주요제원은 <표 6>처럼 결정되었다.

3.3 수차설비 구조해석

수차 및 발전기에 발생되는 모든 하중과 진동을 구조물에 전달하는 벌브케이스, 회전력을 발생시키는 런너 블레이드(런너 허브, 런너 콘), 유량을 조절하는 위켓트 게이트 등에 대해 3차원 유한요소법에 의해 정적 및 동적 안정성, 두께산정, 강도해석, 변형분석 등을 실시하여 적용하였다. 예를 들면 <표 7>은 벌브케이스에 적용된 8가지 응력분석 조건을 나타내며 이를 통해 수차설비의 구조가 허용 응력 및 변형내의 안신 영역에 있음을 확인하였다.(Fig. 11 참조)

또한 회전축계의 진동 및 임계속도 안정도 분석으로 정상 및 과도조건, 런너에 물흐름 장애물에 의해 불평형하게 전달될 경우 등에 대한 축계의 진동, 하중전달 등을 분석하여 벌브구조 및 발전소구조설계에 반영하였으며, 운전 중 회전축계의 고유진동수와 회전시 공명현상을 피하기 위하여 임계속도를 무구속 속도보다 크게하여 발전소 구조물의 고유진동수 6.8Hz, 벌브의 고유진동수 3.9Hz 및 기기의 회전진동수 1Hz 등 어떤 경우도 공명이 발생되지 않도록 설계하였다.(Fig. 12 참조)

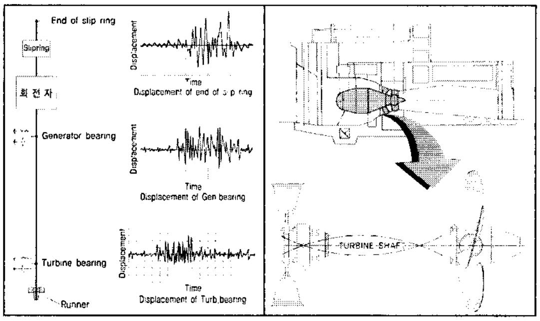


Fig. 12 회전축계의 진동 및 임계속도 안정도 분석

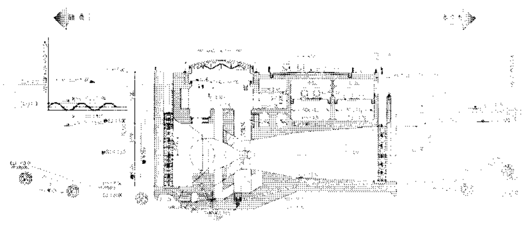


Fig. 13 수차발전기 수차 중심선 및 단면도

< 표 8 > 음극방식 적용대상 설비

해당재질	주요해당부품
CrNi 강 (16-5)	• 런너 브레이드 • 런너 허브
CrNi 강 (18-9)	• 런너 콘, 캡 • 가이드베인 아웃바렐 • 디스차지 링 • 가이드베인 인너바렐
CrNi 강 (22-5)	• Wicket gate Shaft & Stem
탄소강 (A283)	• 흡출관 콘 • 흡출관 라이너 • 벌브 케이스 • 벌브 노즈 • Upper/Lower Pier Nose Liner

< 표 9 > 염해대상 기기 및 대책

염해대상 기기명	염해종류				대 책
	G	P	C	M	
• 런 너					
블레이드(Runner Blade)	O	O	O	O	내식재질 + 음극방식
허 브(Runner Hub)	O	O	O	O	
콘 (Runner Cone)	O	O	O	O	
캡 (Runner Cap)	O	O	O	O	
• 가이드베인(Guide Vane)	O	O	O	O	내식재질 + 음극방식
아웃바렐 (Outer Gate Barrel)	O	O	O	O	
인너바렐 (Inner Gate Barrel)	O	O	O	O	
오레이팅링 (Oper.Ring)		O	O		
• 디스차지링 (Disch. Ring)	O	O	O	O	내식재질 + 도장방식 + 음극방식
• 흡출관라이너(D.T.L)	O	O	O	O	
• Stay Column Upper/lower part	O	O	O	O	내식재질 + 도장방식 + 음극방식
• Shaft Seal house	O	O	O	O	
• 벌브케이스 (Bulb Case)	O	O	O	O	
• 스러스트 베어링 써포트 (Thrust Bearing Support)		O	O		
• 발전기 해치카바 (Generator Hatch Cover)		O	O		
• 상부후레임 (Upper Part of Frame)		O	O		
• 해치후래임, 후로우가이드플렛 (Hatch Frame, Flow Guide Plate)	O	O	O	O	

3.4 수차발전기 중심표고 결정

수차 해측의 계절별 파고조사 및 발전소 운전 중 최저수위 등을 고려하여 수차중심표고를 산정하였으며 조력의 경우 저낙차 대형 벌브수차의 축 위치결정은 캐비테이션을 고려한 토마계수(σ) 방식보다 파랑에

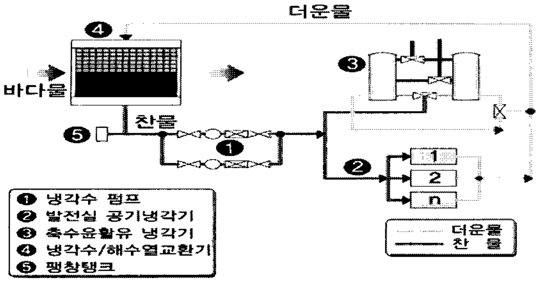


Fig. 14 폐쇄회로 냉각시스템

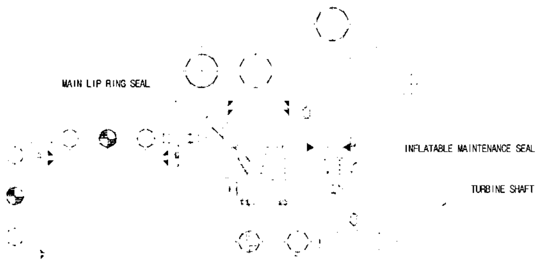


Fig. 15 수차 축 봉수장치

의한 공기유입 방지를 우선하여 결정하며, 아울러 수차모델시험에서의 캐비테이션 안정수위도 고려하여 수차중심 표고를 EL(-)13.00m로 결정하여 충분한 여유를 갖도록 설계하였다.(Fig. 13 참조)

3.5 부식 및 염해대책

국내최초로 해수를 이용하여 전력을 생산함으로 해외의 다양한 적용사례, 부식의 종류별 형상 및 특징을 조사 · 분석하였으며, 발전설비 방식설계를 위한 해수 수질특성에 기초하여 부식보호 대상설비로 선정된 설비에 대해 <표 8>의 최적 재질적용, 음극(외부전원법) 및 표면도장 방식을 적용함으로서 내구성 및 기기의 신뢰성확보가 되도록 하였다.

염해에 의한 갈바닉부식(G), 수소부식(H), 공식(P), 틈부식(C), 미생물부식(M) 등에 대해 염해대상설비를 <표 9>와 같이 선정하여 염해방지 대책을 수립함으로서 설비의 수명연장 및 손상을 최소화 하였다.

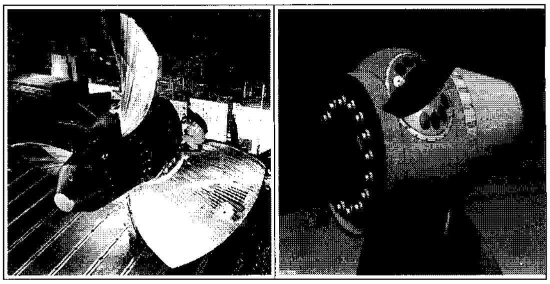


Fig. 16 수차런너 형상

4. 조력발전소 신기술 · 신공법 적용사항

4.1 냉각시스템(Cooling Water System)

발전기 코일 및 베어링 냉각방법을 냉각수계통에 충수된 냉각수가 순환하는 폐쇄회로 방법을 적용하여 해수에 의한 냉각으로 발전기 고정자, 회전자 및 스러스트 베어링, 수차안내 베어링에 공급함으로서 냉각수의 1회 충수로 운영비 절감, 대용량 여과설비 불필요. (Fig. 14 참조)

4.2 베어링 윤활유 및 작동유

수차발전기 베어링 윤활유 및 유압 작동유를 생화학적으로 분해되는 오일을 사용하여 친환경설계 및 사고로 인한 오일 유출시 수질오염 방지.

4.3 수차 축 봉수장치(Shaft Sealing System)

수차 축 봉수장치에 해수사용 및 Main Shaft Seal 외에 압축공기로 작용하는 유지보수 작업용 Seal 설비를 추가하여 에너지 절감 및 수로의 물을 배수하지 않아도 벌브내의 경미한 유지보수 작업이 가능. (Fig. 15 참조)

4.4 수차 런너(Turbine Runner)

저낙차 벌브형 수차런너에 일반적으로 적용하는 4날개 방식에서 탈피하여 3날개 방식을 적용하여 고효율 운전이 가능하고 캐비테이션 발생을 극소화시킴으로서 고효율 운전 특성 유지 및 캐비테이션 감소로 수명 연장, 유지보수의 편리성을 도모. (Fig. 16 참조)

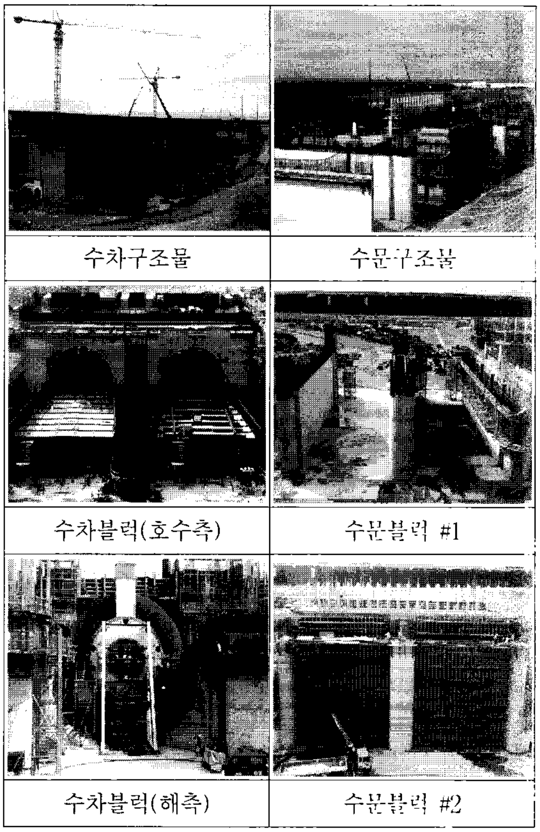


Fig. 17 조력발전소 시공 사진

5. 조력발전소 시공현황

현재 조력발전소는 수차·수문구조물 타설과 수차 매립설비(흡출관라이너, 벌브케이스, 매설자재 등)가 병행 시공되고 있으며, 금년 하반기에 본격적인 수차 발전기 본체 및 수문 Guide Frame 설치가 예정되어 있다.(Fig. 17 참조)

6. 결 언

서해안에 부존하는 천혜의 조력에너지를 개발하기 위해 1970년대부터 가로림만과 천수만을 대상으로 조력발전 예비타당성 조사 및 개발가능성이 검토되었으나 경제적 여건과 국내인식 부족, 막대한 건설비 등으로 개발이 지연되었다. 기후변화협약에 의한 무공해 청정에너지 개발의 필요성과 에너지 부존자원이 부족한 우리의 현실을 감안할 때 현재 건설되고 있는 시화호 조력발전소에 대한 국내·외 관심과 기대가 크다. 아직 국내는 조력발전소를 건설 및 운영한 경험이 전무한 상태로 이번 건설사업을 통해 조력발전소, 수심에서의 연안구조물 설계와 시공기술, 해수에 의한 소재의 부식방지기술, 국내에 적합한 해수유동 수치모형 등을 개발·축적하고, 조수지내의 수질변화 및 생태계의 변화, 더 나아가서 환경전반에 파급되는 영향평가 등을 조사하여 관리하여야 한다.

또한, 기존 수력발전과는 전혀 다른 조력발전에서의 새로운 수차유지보수 개념 정립과 수차발전기 여러 대를 동시에 가동하는 운영관리 기술의 조기 정착, 조석주기(2회/일)에 따라 연중 발전이 이루어짐에 따라 수차발전기 10대를 조인트 운영함으로서 최대전력량을 생산할 수 있는 최적관리기법 등은 향후 확보되어야하는 과제이다. 조력발전분야에 대한 세계최고의 품질확보와 미래형 친환경에너지 개발은 우리나라의 새로운 도약의 계기가 될 것이다.

참고문헌

(1) 수력발전설비 설계기준(2006, 한국수자원공사)
(2) 시화호조력발전소건설공사 기본설계보고서(2004, 한국수자원공사)
(3) 시화호조력발전소건설공사 실시설계보고서(2005, 한국수자원공사)
(4) 조력발전소 국제심포지엄(2003.01)
(5) 이원환 발전수력공학(發電水力工學) 제12장 조력발전 Pg 258~322
(6) L.B. Bernshtein TIDAL POWER PLANTS(1996, 한국해양연구원)
(7) 피인섭, 카플란수차에서 발생하는 진동현상 연구(2006.02, 석사학위논문)