수력발전기술의 신개발과 조력발전 프로젝트 제안

Wu Xin Yun | 설계 부수석
중국 하얼빈社

1. 요약

시화 조력발전소용으로는 벌브식 수차발전기가 가장 경제적인 수차형식이다. 본 고에서는, 하얼빈 전기기기 제작(주)의 수력발전 기기 설계를 포함한 전반적인 사항을 제안한다. 예비적으로 시화 조력발전소에 적용 가능한 벌브형 수차발전기에 대한 주요 인자와 일반적인 사항을 기술하고자 한다.

2. 수차

2.1 수차 형식 선정

저낙차 대용량으로는 벌브식 수차가 가장 경제적인 기기이다. 수차의 크기와 속도는 경제적, 기술적인 기준에 의해 정해야 한다. 단위기 사용수량 Q1과 속도 N1을 최대로 얻고 굴착량을 최적화하기 위해 모형실험의 Hill Chart(별첨 Hill Chart참조)를 근거로 본 사업에서는 3-블레이드 런너를 선정하였다.

2.2 수차 주요 변수

○ 낙차 범위
- 정격낙차 : 5.63m
- 최대낙차 : 7.0m
- 최저낙차 : 1.0m
- 수차 정격출력 : 22.9MW
- 정격 속도 : 66.67RPM
- 정격 특유속도 : 1145mkw
- 정격 사용수량 : 465.8m^3/s
- 런너직경 : 7.4m
- 정격 운전점 효율 : 86.5%
- 최고효율 : 94.3%
- 임계 토마계수 : 3.0
- 플랜트 토마계수 : 3.546
- 흡출고 : -10m
- 최대 속도 상승율 : 〈 60%
- 분배기 전단 압력 : 〈 8mwc
- 전부하 차단시 최대 상승 압력 : 〈 10mwc
- 흡출관 입구 최대 진공도 : 〈 6mwc
- 최대 기중 물품무게 : 128t
- 최대 기중 부품 항목 : 분배기 조립품
- 최장 기중 크기 : Φ10.9×2.9m^2
- 최장 기중 부품항목 : 분배기
- 발전소 폭 : 21m
- 최장 부품 최소 기중높이 : 13m
- 런너 중량 : 89t
- 수차 총중량 : 698t

2.3 수차 일반사항

벌브식 수차는 2개 축받이와 수평축으로 되어 있다. 모든 응력은 벌브 지지 시스템을 통해서 주변 콘크리트 구조물로 전달된다. 거의 모든 부품들이 서비스 및 유지보수 되어야 한다. 수력학적 설계는 모형시험에 기초하고 있다.

2.3.1 매설부품

(1) 벌브 지지시스템

벌브 지지시스템은 스테이 기둥으로 구성되며, 하나는 수직으로, 두 개는 수평으로 발전기를 지지하고 있다. 스테이 기둥은 상하부가 콘크리트에 매설되는 기둥으로 설계되며 중앙부의 견고한 링에 접속된다.

(2) 발전기 설치 통로

조립된 프레임과 내압커버로 구성된다.

(3) 흡출관 라이너

일반시공에 따르면 라이너는 단면속도가 약 6m/s가 되는데까지 연장된다. 설치 접속점은 방사상 및 축방향에서의 설치 공차를 보상하도록 위치한다.

2.3.2 회전부품

(1) 축

수차축을 전체 플랜지로 한다. 재질은 저합금 탄소강20MnSi(ASTM:A668D급)이다.

(2) 가이드베어링 및 축봉수

가이드 베어링은 바비트메탈로 라이닝되며 워터 가이드링부에 지지된다. 압

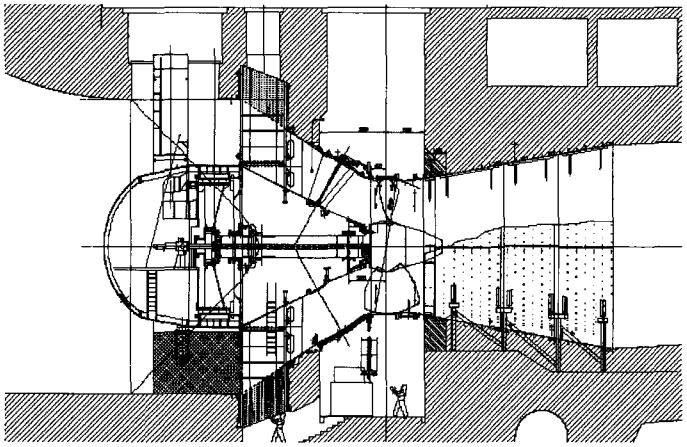


그림 1. 수차발전기 일반 배치도

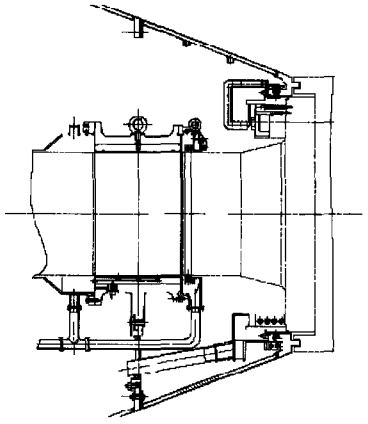


그림 2. 가이드베어링 및 축봉수

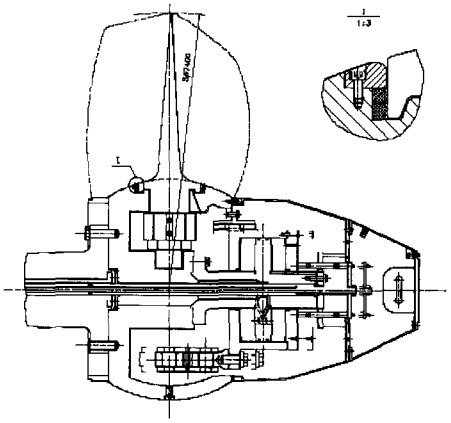


그림 3. 런너 조립도

유는 베어링 탱크로부터 상부 베어링부를 통하여 공급된다. 고압류는 기동정지시 리프팅 오일 펌프에 의해 하부 베어링부로 밀려 들어간다. 축 봉수시스템은 러버립씰, 라비린스 및 유지보수 씰로 구성된다.

- 러버립씰 : 도복된 슬라이링 레이스에 제한 러버링
- 추가 라비린스 : 누유를 제한
- 유지보수 씰 : 운전 중지기간중 배수방지

(3) 런너

서보모터와 유입 허브로 된 런너를 사용한다. 서보모터는 허브내의 피스톤 로드와 원형커버 연장에 의해 안내된다. 유입런너는 중공 피드백과 유공급 헤드를 경유하여 접속된다. A형의 2층 씰을 런너 블레이드 트러니언에 적용한다.

(4) 런너블레이드용 특수재질 선정

런너 블레이드용으로 두가지의 재질이 고려되고 있다. 추가적 비교는 예비 설계 단계에서 수행된다.

내침식성 스테인리스강은 아래와 같이 표시된다.

PREN =Cr+3.3Mo+16N

2.3.3 분배기

분배기는 외부 및 내부 분배기 링, 작동기구 및 링을 갖춘 위케트 게이트를 포함하는 조립품이다. 내외

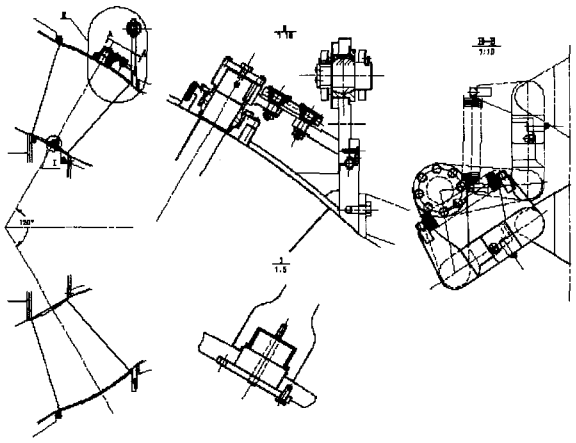


그림 4. 분배기

stainless steel 종류	유럽식	미국식	중국식
Super Austenitic stainless steel	1.4539 x 1NicrMOcu2520.5	N08904	OoCr18Ni16MO5(N)
Austenitic Ferritic Duplex	1.4910 x 2CrNiMoN25.7.4	S32750	60Cr25Ni7Mo3N

재 료	화학 성분 기계적 특성								
	C	Cr	Ni	Mo	d	0.2YSMPa	UTSMPa	EIA%	PREN
XiNiCrMo Cu25.20.5	〈0.020	20	25	4.3	4.3	245	550	40	37
X2CrNi Mod25.7.c	〈0.030	25	7	3.5	0.25	550	760	25	41

대안 선택 : 청동 캐스팅 알루미늄-구리

ZcuA18Mn13Fe3Ni2

재 료	화 학 성 분					기계적 특성		
	Ni	Al	Fe	Mn	Cu	0.2YMPa	UTSMPa	ELA%
ZcuAl8 Mn13Fe3Ni2	8 -2.5	7.8 -8.5	2.5 -4.0	11.5 -14.0	Rem.	280	600	20

부 분배기링은 철 도금 조립구조이다. 위케트 게이트의 내외부 레이스 반대쪽 부분은 구형으로 가공된다. 베어링 지지용으로는 떼어낼 수 있는 자체 윤활부싱이 사용된다. 스프링을 장착한 안전링크를 위케트 케이트 방지시스템을 사용된다. 어떤 가능한 위치로부터의 폐쇄는 서보모터내의 플레이트 스프링과 함께 클로징 웨이트에 의해 보장된다.

2.3.4 디스차지 링(discharge ring)

디스치지 링은 완전한 구형이다. 런너블레이드 부분에는 캐비테이션 방지위해 스테인리스 강판을 사용한다. 런너설치를 가능케하기 위해 디스차지 링은 수평형 스플릿이다.

2.3.5 윤활 계통

윤활유은 디스차지링 밑바닥위의 오일탱크에 중력에 의해 드레인된다. 베어링에 거의 일정한 유압을 보장하기 위해 들어 올려진 윤활유탱크를 유공급선을 통해 베어링에 연결된다. 이렇게 배치함으로써 수차발전기의 안전한 정지를 보장케된다. 압력상승 펌프를 두어 기동、정지시에 사용한다.

2.3.6 해수 및 트레시 보호방법

중국 해양산업 및 Jiangxia 조력발전소의 경험을 바탕으로 해수가 접하는 표면에는 적절한 코팅과 함께 음극보호방식을 사용한다.

(1) 금속 부품의 전처리공정

ISO 8501-1 Sa3에 따라 아연분착을 해야할 부품은 샌드블라스팅 코팅을 해야 할 부품은 ISO8501-1 Sa2.5에 따라 샌드라스팅

(2) 해수와 접하는 금속부품 처리공정

- 아연 스프레이 : 300㎛
- 씰러 : 음극보호방식
- 프라이밍 코트 : 에폭시 리치 아연 프라이머 50㎛
- 중간코트 : 에폭시 콜탈 코팅(갈색) 150㎛
- 최종코트 : 에폭시 콜탈 코팅(흑색) 150㎛

(3) 해수 접촉 부품 스프레이부

- 아연 스프레이 : 200㎛
- 씰러 : 음극선 보호방식
- 에폭시 프라이머 : 75㎛
- 하이슬리드 에폭시 코팅 : 60㎛

(4) 공기와 접하는 부품

- 에폭시 프라이머
- 하이빌드 마이카 산화철 재도포가능 에폭시 코팅 : 100㎛
- 재도포 가능한 폴리 우레탄 마감 : 60㎛

(5) 수중 트레시(Trash)보호방식

- 내부식 및 내 트리닝 코팅 완료 후 : 금속 부품에 산화구리 (CuO) 2중도포
- 배관 및 가동부에는 추가 대책으로서 전기방식을 사용한다.

3. 발전기

3.1 발전기의 예비적 주요변수

(1) 발전기의 형식 : SFG21-108/7800

- 정격용량 : 22.1mVA
- 정격출력 : 21mW
- 정격전압 : 10,500V
- 정격전류 : 1,216A
- 정격속도 : 66.67r/min
- 상 수 : 3
- 정격역률 : 0.95
- 주파수 : 60Hz
- 무구속 속도 : 200r/min

- GD^2 : 3,500tm^2
- 냉각 방식 : 공냉식
- 전기 부하 : 504A/cm
- 단락비 : 1.0
- 직축동기리액턴스 : 1.12p.u
- 직축과도리액턴스 : 0.43p.u
- 직축차과도리액턴스 : 0.37p.u
- 여자전압 : 339V
- 여자전류 : 646A
- 효율 : 96.5%
- 고정자권선 평균온도상승 : 80K
- 회전자권선 평균온도상승 : 90K
- 고정과 외주 직경 Do : 7,800mm
- 고정과 내경 : 7,460mm
- 공극 : 6mm
- 고정자 철심길이 : 1,500mm
- 병렬회로수 : 1
- 최대 하중부품 : 회전자
- 최대기중부품 : 95t
- 최대기증항목 : 고정자
- 최대기중크기 : ϕ8.7×3.0 m^2
- 고정자 중량 : 88t
- 회전자중량 : 95t
- 총 발전기중량 : 370t

(2) 보조기기
- 조속기 형식 : WST-150-6.3
- 유압장치형식 : YZ-10-6.3
- 유압정격 : 6.3Mpa

3.2 발전기 배치

벌브식 발전기는 주로 고정자, 회전자, 조합베어링, 공극냉각기, 벌브노즈 구형지지대등으로 구성된다. 발전기 회전자의 하류단은 스테이콘이 접속되고, 발전기 고정자 프레임 상류단은 공극 냉각기와 벌브노즈에 접속된다, 접속플렌지의 표면에 두개의 러버씰링이 공급된다. 발전기는 단품인 주축으로서 수차와 직결된다. 회전자의 상류단은 컬렉터 링의 브랏켓이 볼트로 고정되고, 회전자의 하류단은 주축과 연결되며, 회전자는 현수구조이다. 회전자의 하류에 위치한 조합베어링,트러스트,카운터 트러스트 및 래디얼 베어링은 컴펙트한 구조를 갖는 동일 베어링 브라켓에 조립된다. 베어링은 발전기 하복부의 방사상 부하, 수차의 추력 및 반추력 응력에 견딜 수 있다. 벌브는 벌브노즈 공구 냉각기와 접근축으로 구성되며, 서로 플랜지에 의해 접속되고, 플랜지에는 2개의 고무 실링이 공급된다. 구형지지대는 벌브의 하부에 위치하여 벌브의 중력과 물 통로가 물로 완전하게 채워진 후 생기는 벌브의 부양력을 지탱한다. 두 개의 수평형 지지대가 벌브의 양쪽에 각각 1개씩 설치되어 물의 흐름으로 인한 진동력에 견디도록 한다. 이들 두가지 지지대 구조는 기본적으로 동일하며 부양지지형식으로써 고정대의 여유공간을 확보하고, 회전자가 변형되지 않도록 해준다. 발전기 고정대에 가해진 중력, 회전자 및 베어링, 축류수 추력, 편자인력 및 단락토크 등은 수차 스테이콘으로 지지된다. 발전기는 통상 압력 공기수밀 순환 공냉 시스템, 기계식 브레이크 장치, 물 분사식 방화시스템을 채용한다.

3.3 고정자

3.3.1 고정자 프레임

고정자 완성품이 사이트에 반입된다. 고정자 프레임은 철심의 품질을 보장하기 위해 커다란 핑거 프레스판 구조를 채용한다. 고정자 프레임의 상부 및 하부 링 플레이트에는 두 개의 직각형 씰링슬롯이 가공되어 러버씰링 스트립과 씰링접속제 사용에 의해 고정자 프레임이 중간링과 스테이콘에 양호하게 밀착되도록 한다. 고정자 프레임은 전자기력에 대한 적절한 내견고성을 갖고 있어 제자리를 차지하거나 어떠한 위험적 변형없이 전체로서 전도에도 견디고 있다.

3.3.2 고정자 철심

고정자 철심의 외경은 Φ8,200mm, 내경은 Φ

7,800mm이다. 길이는 1,410mm이며 철심은 56개로 분할되어 있다. 환기를 고려하여 38개는 4가지 종류 즉 25mm, 30mm, 35mm 및 40mm의 상이한 길이를 갖고 있으며 축방향에(상류측으로부터 하류측으로)따라 순차적으로 증가한다. 6mm높이의 H-형 공기덕트는 비자성 스테인레스 강제이다. 고정과 철심은 DW270-50 고품질, 고투자율, 에어징 없는 냉간압연, 얇은 규소 강판으로 적층된다. 철심 두께는 0.5mm이다. 철심의 양면은 소용돌이손실을 최소화하도록 F종절연에 바니시를 칠한다. 철심은 홀써클 적층을 채용한다. 적층발판은 다브테일바로 고정자 프레임에 고정되고 치형판와 프레싱 볼트로 압축된다. 적층 발판의 품질보증과 고정자 철심의 단위압력을 증가시키도록 클필링 압력을 18kg/m^{2}으로 하고, 쳐짐 방지를 위해 처음에는 냉간압축을 하고 그후 열간 압축을 채용한다. 고정철심 양단에는 40Mn18Cr 3 비자성, 고강도, 합금강 치형판을 공급하여 고정자 철심단의 추가 손실을 저감한다.

3.3.3 고정자 권선

고정자권선은 반코일로 구성된다. 각 슬롯에는 1개의 고정자바를 삽입한다. 고정자 권선은 2개의 병렬 브랜치로 구성된다. 각 바는 추가적손실을 저감하기 위한 특별 연가방식을 통한 더블글라스 파이버 스트랩으로 감은 동선으로 꼰다. 열적 압축에 대한 정수(整數)바를 형성한 후 고정자바는 접지절연으로서 F종에폭시마이카 글라스 섬유 스트랩으로 연속감고, 고정자바 표면에는 층간 코로나 방지로서 반도체 절연코드로 코팅된 글라스섬유 스트랩으로 덮는다.

정수 고정바는 다이프레스 포밍을 채용한다. 신호 고정자바의 코로나전압을 선간 전압의 1.5배 이상이다. 전체 발전기의 코로나 전압은 선간 전압의 1.1배 이상이다. 고정자바의 내전압은 (정격전압)×2+ 3000V이다. 고정자바의 늘어짐과 닳음을 피하기 위하여 double layer tilted slot wedge를 채용한다. 고정자 코일은 양호한 환기 공급을 위해 양단부에 블록으로 절연한다. 코일의 진동저감을 위해 상단 및 하단부를 서포트링으로 지지하며 서포트링은 와류손을 저감키 위해 40Mn18Cr3 비자성 고감도 합금강으로 제작된다. 전선접속은 은용접으로 하고 중간주파 유도가열회로로 가열한다. 카퍼링리드선은 펠트 동 버스를 채용한다. 주(主) 및 중심리드선이 고정자로 부터 인출되면 고압케이블에 의해 접근축을 통하여 인출된다.

3.4 회전자 조립

3.4.1 회전자 스파이더

회전자 스파이더는 응집구조이며 회전자 허브 상부디스크, 하부디스크 및 요오크링으로 구성된다. 회전자 허브는 단조강으로 제작된다. 콜렉터링의 브라켓을 회전자 허브의 상류측에 설치한다. 회전자 허브의 하류측은 라비트에 의해 주플랜지에 접속되어 고정된다. 상부 및 하부 디스크는 가공하여 구멍을 내어 냉각공기가 구멍을 통과하도록 하고, 그때 그 구멍은 오버홀용 하류측의 접근통로로 사용된다. 상부디스크는 브레이크링으로 사용되며 원형구멍은 잠금장치로 사용된다. 오버홀의 경우 잠금장치는 회전자를 잠글 수 있어 회전자가 누수력에 기인되어 회전함을 방지한다. 요오크링은 원통형의 용접구조이며 양극간의 원주방향에 따라 몇 개의 환기 구멍이 나 있어 냉각공기가 방사상 회전방향으로 통풍된다.

3.4.2 자극 조립

회전자에는 92개의 자극이 있다. 각 자극은 여러개의 볼트로 요오크링에 고정된다. 자극철심은 용접구조이며 자극 편자 펀칭, 편자몸체, 자극압력판로 구성된다. 자극 편자 펀칭은 15mm 두께의 냉간압연 16Mn 강판으로 구성된다. 각 부분의 두께는 약 400mm이다. 자극몸체는 두꺼운 강판으로서 머시닝으로 제작되어 자극편자와 자극압력판와 함께 한 개체로서 용접된다. pole body와 요오크링 간에는 회전자의 진원 조정에 사용될 조정판이 공급된다. 자극권선은 용접에 의해 사변형 동선으로 제작되고 heat

sink turn이 공급된다. 자극권선은 열적 프레싱으로 완전개체가 형성된다. 자극의 절연은 F종이다. 자극에는 제동권선이 공급되며 인접자극의 damping ring은 연성 동판으로 접속된다.

3.5 베어링

조합베어링은 발전기측에 방사상 베어링과 축방향 베어링으로 구성된다. 축방향 베어링은 카운터 트러스트 링과 10개의 틸팅패드를 갖는 트러스트 베어링으로 구성된다, 바이-파티트 가이드베어링은 조합 주형철로 제작된 플랜지 베어링으로 설계되어 있으며, 방수로측의 카운터 트러스트 링을 지지하며 조정링을 통해 스크류볼트로 트러스트 베어링 브라켓과 하우징에 볼트로 고정된다. 조정링은 초기 조립시 축의 슬러링을 보상하도록 조립되어 있다. 가이드 베어링은 바비트금속에 연결되어 있다. 사실, "반베어링"인데 단지 베어링물체의 하부측 반만이 슬라이링 베어링의 기능을 갖도록 설계되어 있기 때문이다. 베어링 물체의 하부에는 고압유 쟈켓 장치용 접속이 있다. GZ-CuSn12pb로 제작된 카운터 트러스트 링은 두 부분으로 설계되어 패드표면사이의 연마된 공간에 위치한 육각 헤드볼트를 사용하여 고정되어 있다. 웨지표면은 얇은 박편에 의한 라이닝으로 형성된다.

바비트금속으로 덮어진 10개의 트러스트 베어링 패드는 불안정한 지지대를 갖는 틸팅 패드이다. 패드는 스탬프로 지지되며, 피스톤은 외부쪽으로 봉수와 조정 스크류를 공급한다. 축방향 베어링은 2mm의 counter-thrust 공칭캡에 고정된다. 설치는 적당한 디스크에 의해 고정되고, 설치시 결정된 두께대로 가공된다. 윤활유는 트러스트베어링 하우징의 플랜지 구멍을 통하여 공급되고, 씰링링 전면에 위치한 리테인링에 의해 형성된 환상통을 통하여 원주에 둥글게 배급된다. 축방향 베어링은 가동중에는 항상 가득 차 있다. 축방향 베어링은 프로팅 씰링링에 의해 하류측에 있는 축쪽으로 봉수되어 있다.

트러스트링할브즈는 4개의 삽입된 중심부 링을 경유하며 중심이 되고 4개의 유압적으로 전응력된 반(反)피로 볼트로 고정된다. 축심에는 thrust ring이 비틀레린 홈 문턱에 지지되고 2개의 고정키로서 비틀림을 방지하고 있다.

3.6 벌브몸체

벌브몸체는 벌브노즈, 공극냉각기와 접근축으로 구성된다. 벌브몸체내의 발전기부분은 점검용 플랫폼이 설비 되어있다. 공기냉각기, 축방향팬, 계단, 브러시 홀더, 컬렉터링 보조대, 오일헤드 등이 발전기 내부에 배치된다. 벌브몸체 상부에는 접근축이 설치되어 사람들을 사다리를 통해 발전기 내부로 들어갈 수 있다. 발전기 공기배관, 냉각배관, 여자케이블, 고정자 리드선 및 중성점 리드선은 접근측을 통하여 들어간다. 벌브노즈의 하부에는 맨홀이 있고 사람들은 배수시 벌브몸체를 통하여 배수로에 들어갈 수 있다.

3.7 보조기기

3.7.1 환기시스템

발전기는 통상 압력이 들어간 강제순환 공냉시스템을 채용한다. 공기 순환용 동력은 공기냉각기 뒤에 있는 공기 통로의 내부에 설치된 여러개의 축방향 팬으로부터 나온다. 회전자 스파이더을 통하는 냉각공기 중, 요오크링 사이 환기구멍 및 고정자를 냉각시키고, 나머지 냉각공기는 회전자 spider 하류측에 설치된 원심펌프 기능에 의해 고정자권선의 끝부분은 냉각시킨다. 고정자 프레임상의 공기통로를 통과하여 상류단에 집결된 뜨거운 공기는 공기 냉각기로 들어가 공기격벽과 조합되어 폐쇄 순환 공기 통로를 형성한다.

3.7.2 냉각시스템

발전기는 쌍둥이 순환-냉각방식를 채용하며, 냉각순환은 첫째, 발전기-공기냉각방식-축류팬-발전기, 둘째, 워터펌프-공기냉각기-공기냉각기-워터펌프이다. 순환 공기열은 열교환기를 통해 2회 전달된다.

가동중 형성된 열량은 공기 냉각기로부터 공극 냉각기에 의해 냉각된다. 냉각 시스템은 각부의 온도상승이 정격운전 조건하에 보증치를 초과하지 않도록 보장할 수 있다.

3.7.3 브레이크시스템

발전기는 전기 및 기계적 브레이크를 채용한다. 전기브레이크는 발전기 속도가 정격속도의 70%까지 떨어지면 동작하고, 기계브레이크는 15%까지 떨어지면 동작한다. 발전기 내부 고장으로 인하여 전기브레이크가 작동되지 않으면 발전기는 기계브레이크만 동작한다. 발전기가 정격속도의 30%까지 떨어지면 브레이크가 작동한다. 브레이크의 공기압은 0.7Mpa이다. 브레이크 블록은 석면 없이 내마모성, 먼지가 거의 안나는 종합 재질로 제작된다. 브레이크 작동 시간중에 브레이크 블록과 브레이크링 플레이트 사이의 마찰로 인하여 형성된 먼지에 의한 공해로부터 고정자를 방지하기 위해, 브레이크 장치에는 특수구조의 브레이크블록을 채용하고, 브레이크장치는 외부에 먼지제거기가 부착된다. 먼지제거기는 브레이크가 기동하면 자동으로 작동하고 정지하면 자동으로 정지한다. 먼지제거기는 전자동 전자 진동 먼지 청소 기능이 있으며 자동으로 전기를 제거하는 기능을 갖고 있다.

3.7.4 제습장치

발전기 부품에는 소형 제습기가 장착되며, 벌브몸체 내부 표면은 비응축 페인트로 도포 되어있다. 몇개 그룹의 전열기가 고정자 프레임에 장착 되어있다. 발전기가 25시간 운휴되면 전열기와 축류팬이 작동하여 발전기 내부의 건조를 유지한다.

3.7.5 소효시스템

발전기는 물 분사식 소화기를 채용한다. 발전기 pit내 적절한 곳에 열 및 연기 감지기를 설치하여 경보 및 소화 조건을 만족도록 한다. 배관 및 노즐은 스테인레이스 강재로서 부식에 의한 막힘을 방지한다. 압력이 0.35Mpa이고 노즐로 부터 0.3m 떨어진 곳에서 물방울의 평균 직경은 약 0.3mm 이다.

4. 개략적 제작기간

단위 : 개월

No.	설 명	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
1	첫단계 콘크리트 기초 안의 매설 부문	4	4	4	4	4
2	드래프트 튜브 라인	5	6	7	8	9
3	벌브 지지 시스템	12	15	18	21	24
4	분배기, 주축 및 베어링	18	21	24	27	30
5	런너 및 discharge ring	22	25	28	31	34
6	발전기 및 보조장치	22	25	28	31	34

참고 : 위에 제시된 단위는 단지 5개 단위로 나타냈다. 각 나머지 단위들 각 단위는 3개월마다 제작이 완성되어질 것이다.

5. 결론

일반적인 설명의 관점에서 HEC는 시화 조력발전소에 대한 고품질의 거대한 수차발전기을 공급할 수 있는 자신감을 가지고 있고, 이 프로젝트에 대한 경쟁력이 있는 제작자가 되길 희망한다.

❖ 별 첨

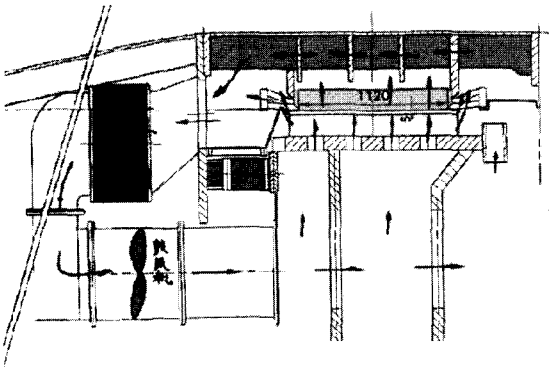


그림 5. 환기 시스템

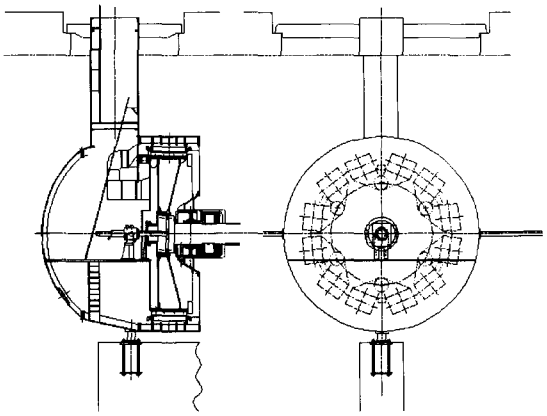


그림 6. 전체 모형

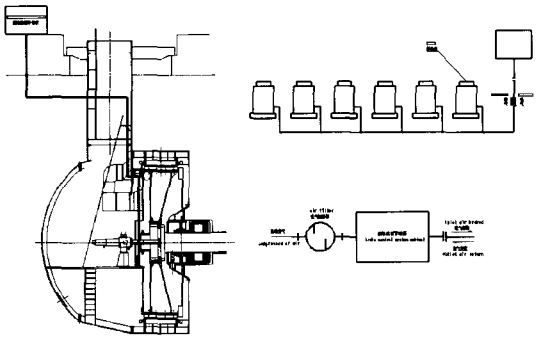


그림 7. 브레이크 시스템

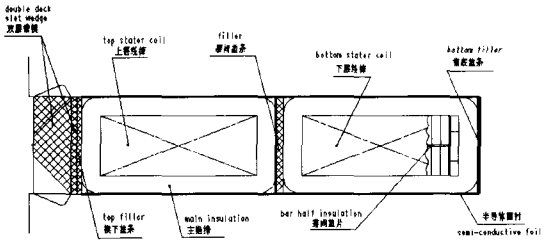


그림 8. 슬롯 형태

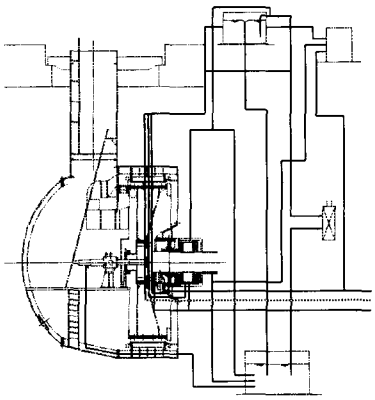


그림 9. 윤활 시스템

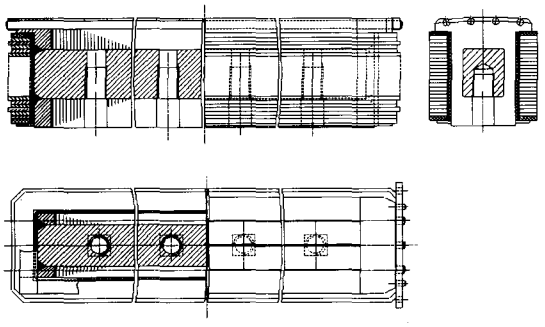
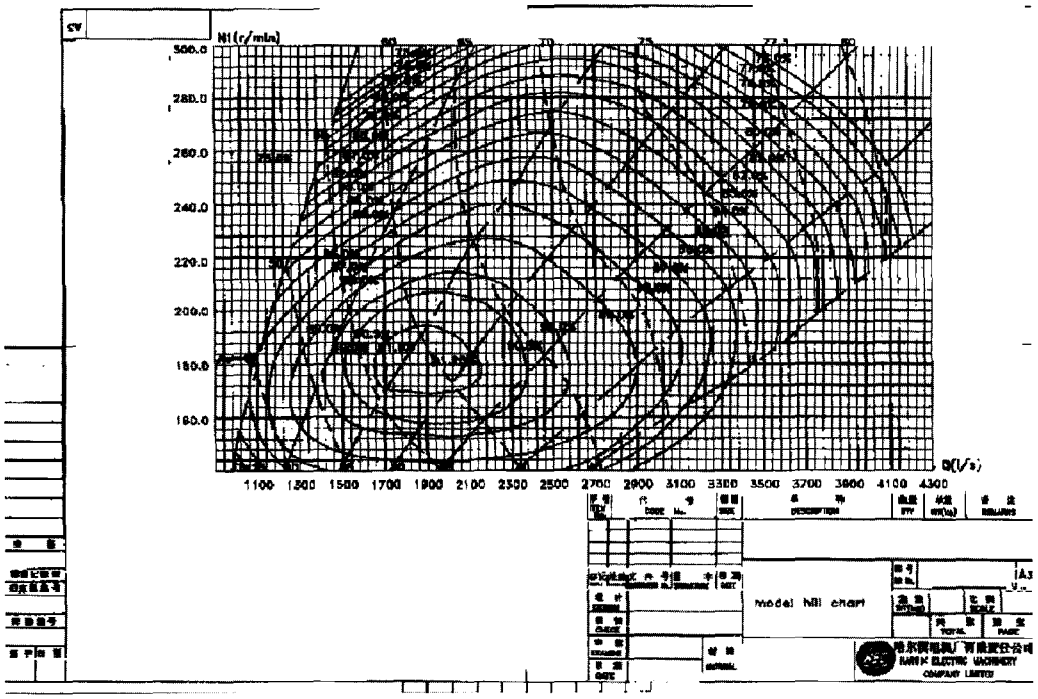
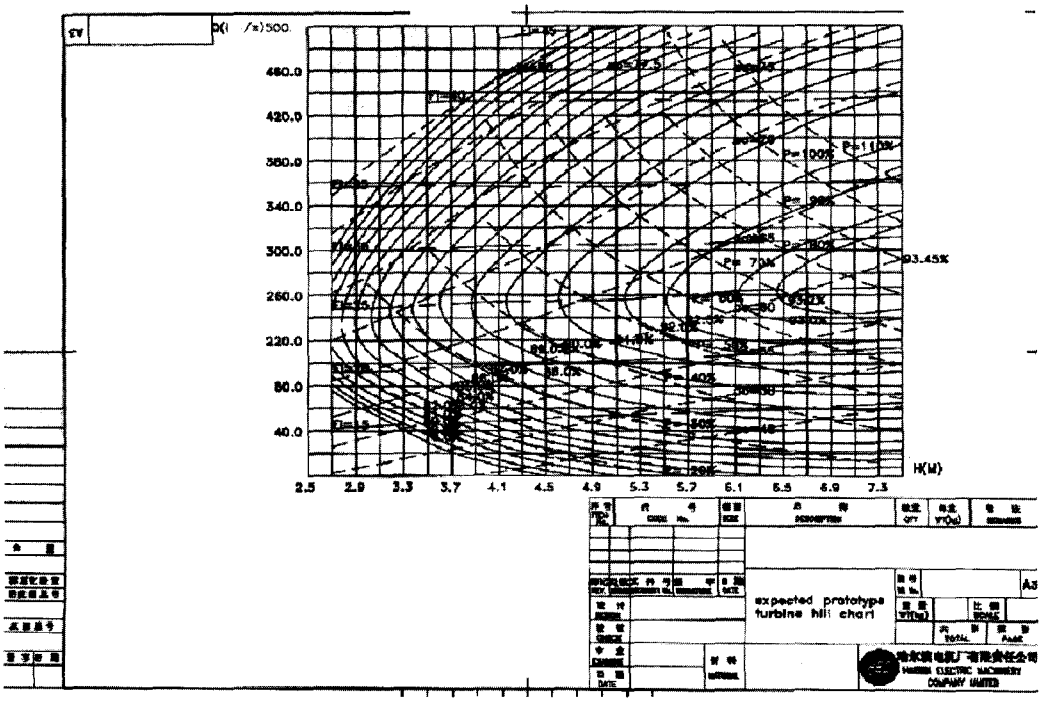


그림 10. 자극철심(pole core)


model hill chart


expected prototype turbine hill chart