

KWCS 31 50 17 55 : 2021

수력발전설비 종합시험

2021년 5월 21일 제정
<http://www.kcsc.re.kr>

한국수자원공사 전문시방서 제·개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

건설기준 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 댐 및 상수도공사 전문시방서와 건설기준(설계기준, 표준시방서) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 댐 및 상수도공사 전문시방서를 중심으로 해당 부분을 통합 정비한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
K-water 댐 및 상수도공사 전문시방서	• K-water 댐 및 상수도공사 전문시방서 제정	제정 (1997)
K-water 댐 및 상수도공사 전문시방서	• K-water 댐 및 상수도공사 전문시방서 개정	개정 (2004)
K-water 댐 및 상수도공사 전문시방서	• K-water 댐 및 상수도공사 전문시방서 개정	개정 (2008)
K-water 댐 및 상수도공사 전문시방서	• K-water 댐 및 상수도공사 전문시방서 개정	개정 (2010)
KWCS 31 50 17 55 : 2021	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함	제정 (2021.5)

제 정 : 2021년 5월 21일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

소관부서 : 환경부

관련단체 : 한국수자원공사

개 정 :

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

작성기관 : 한국수자원공사

목 차

1. 일반사항	1
1.1 적용 범위	1
1.2 참고 기준	1
1.2.1 관련 법규	1
1.2.2 관련 기준	1
1.3 용어의 정의	1
1.4 제출물	1
1.5 요구사항	1
1.6 운반, 보관, 취급	2
1.7 품질보증	2
1.8 타 공정과의 협력작업	2
2. 자재	2
3. 시공	2
3.1 수차발전기 종합시험	2
3.1.1 시험 전 검토사항	2
3.1.2 시험조건	3
3.1.3 초회전 시험(trial running test)	3
3.1.4 축수 온도포화 시험(bearing heat run test)	4
3.1.5 동적균형 조정(dynamic balance adjustment)	6
3.1.6 자동 기동·정지 시험(automatic start & stop test)	7
3.1.7 부하차단시험(load rejection test)	9
3.1.8 출력시험(output test)	11
3.1.9 부하시험(load test)	12
3.2 보조설비 종합시험	14
3.2.1 가이드 베인 조작기구 시험	14
3.2.2 조속기 시험	15

3.2.3	입구변(inlet valve) 시험	17
3.2.4	압유공급 설비 시험	17
3.2.5	압축공기 공급설비 시험	19
3.2.6	윤활유 공급설비 시험	19
3.2.7	냉각수 공급설비 시험	20
3.2.8	배수설비 시험	20
3.3	수차발전기 효율시험	20
3.3.1	효율시험 방법	20
3.3.2	시험결과서 제출	21

1. 일반사항

1.1 적용 범위

(1) 이 기준은 출력 100 kW 이상의 수차발전기(펌프수차 포함) 및 부속설비들의 종합시험에 적용한다. 수급인의 종합시험 범위는 수차발전기, 보조설비 및 효율시험, 시운전, 인계 등 현장 관리를 포함하며, 본 계약에서 특별히 언급하지 않은 사항이라도 본 사업의 만족한 종합시험을 하기 위한 제반 필요 부대품을 공급하여야 하며 세부사항은 다음과 같다.

- ① 이 기준에 규정된 항목의 종합시험
- ② 품질 및 성능보장을 위한 공인기관의 각종시험 및 검사
- ③ 운전유지보수를 위한 기술지도 및 교육
- ④ 필요 기술 자료제출 및 종합시험에 필요한 부품 및 공구의 공급
- ⑤ 대관업무 수행 및 타 수급인과의 업무협조

1.2 참고 기준

1.2.1 관련 법규

(1) 관련 법규는 KWCS 31 50 17 30 (1.2.1)에 따른다.

1.2.2 관련 기준

(1) 관련 기준은 KWCS 31 50 17 30 (1.2.2)에 따르며, 추가사항은 다음과 같다.

- 수차발전기 성능분석 절차서(K-water)

1.3 용어의 정의

내용 없음

1.4 제출물

(1) 제출물은 KWCS 31 10 21 (1.7)에 따른다.

1.5 요구사항

(1) 수급인은 계약문서에 따라서 완전한 성능을 발휘할 수 있도록 수차발전기를 분해, 점검보수, 조립 및 시험을 실시하여야 한다.

(2) 설비신뢰성

- ① 수급인은 수차발전기의 분해, 점검보수, 조립, 시험 및 시운전에 대한 책임을 지며 각 절의 요구에 준수하여야 할 책임이 있다.
- ② 계약에 의해 분해 조립되는 수차발전기의 부속품은 당초 공급된 해당부품과 동일하거나 또는 상호 호환성을 갖는 부품이어야 하며 모든 점에서 당초 공급된 부품

에 적용된 기술규격과 일치하여야 한다.

- ③ 소모성자재를 포함한 모든 부품이 분해, 점검보수, 조립, 시험 및 시운전 과정에서 수급인의 귀책사유로 인하여 교체가 요구되는 경우 수급인은 자신의 비용부담으로 공급 또는 대체하여야 하며 이로 인하여 발전지연이 초래될 경우 이 계약에 따른 수급인의 책임이 면제되지 아니한다.

1.6 운반, 보관, 취급

- (1) 운반, 보관, 취급은 KWCS 31 10 21 (1.10)에 따른다.

1.7 품질보증

- (1) 종합시험의 품질보증계획서 제출은 KWCS 31 10 21 (1.9)에 따른다.
- (2) 공장시험자료는 보증을 요구하는 각 설비의 현장 반입 전에 제출하여야 한다. 이 자료에는 품질보증서를 포함하여야 한다.
- (3) 품질인증 서류 제출은 관련설비의 KS 인증서 사본, 품질시스템(ISO 9000시리즈)사본 등 품질인증에 관한 서류를 포함한다.
- (4) 품질보증계획 이행감독 및 적정성 확인
- ① 이행감독
- 가. 공사감독자는 수급인이 제출한 품질보증계획서에 따라 당해 공사의 가공재료, 제작, 설치 및 시공, 검사 및 시운전 등 품질관리 업무전반에 대해 이행여부를 감독한다.
- ② 적정성 확인
- 가. K-water의 품질관리부서는 필요시 수급인이 제출한 품질보증계획서에 따라 품질관리시스템 등 품질관리활동에 대한 적정성을 확인할 수 있다.

1.8 타 공정과의 협력작업

- (1) 수급인은 토목, 건축, 기계, 정보통신 등 다른 수급인의 공사, 공정상의 문제점 발생을 방지하기 위하여 수급인이 제작, 반입하는 설비와 연결, 조립, 설치되는 사항에 대하여 사전 조사하여야 하며, 다른 수급인과 협의하여야 한다.

2. 자재

내용없음

3. 시공

3.1 수차발전기 종합시험

3.1.1 시험 전 검토사항

(1) 수급인은 시험이 원활히 수행될 수 있도록 시험방법 및 시험 세부내용을 사전에 충분히 검토하여 결정하고 이를 공사감독자의 승인을 득한 후 실시하여야 한다. 검토를 요구하는 주요사항은 다음과 같다.

- ① 시험일정
- ② 시험자의 편성
- ③ 시험항목, 시험조건 및 시험실시 범위
- ④ 발전기 출력 또는 입력 측정방법
- ⑤ 유효낙차 및 전 양정 측정법
- ⑥ 유량 또는 양수량 측정법
- ⑦ 회전속도, 온도, 전압, 전류 측정법
- ⑧ 측정 장비 및 측정 장비의 교정
- ⑨ 측정기록 및 시험결과의 계산

3.1.2 시험조건

(1) 시험기기 이외의 설비

- ① 한 조의 수압철관으로부터 분기하여 취수하는 다른 기기가 있는 경우에는 시험기기 이외의 설비는 정지하여야 한다. 단, 동일 수압철관에 연결된 기기의 성능상태를 동시에 확인해야 할 경우에는 그러하지 아니하다.

(2) 시험상태의 변동

- ① 시험 결과에 영향을 줄 수 있는 시험 상태는 시험 중 가능한 한 일정하게 유지해야 하며, 시험시 안정상태의 판정은 각 측정값의 변동이 평균치와 비교해 다음 범위 내에 들어야 한다.

- ① 회전속도 $\pm 0.3\%$
- ② 수두 $\pm 0.7\%$
- ③ 출력 또는 입력 $\pm 1.0\%$

(3) 수차의 출구 또는 펌프 입구의 수위

- ① 수차의 출구 또는 펌프 입구의 수위는 지정된 최저수위 이상이어야 한다.

(4) 특별 조정

- ① 시험 중에 수차는 정상적인 운전 시의 조건과 다르게 특별한 조정을 해서는 아니 된다. 다만 부하를 일정하게 하기 위해, 조속기 또는 서보모터의 개도를 제한하는 등 적당한 조치는 할 수 있다. 급기변 및 제압변은 정상적인 운전상태의 개도로 유지해야 한다.

(5) 안정 상태

- ① 측정은 발전설비 및 부속장치의 운전 상태가 충분히 안정된 뒤에 실시해야 한다. 안정상태의 결정은 시험 주관자가 한다.

3.1.3 초회전 시험(trial running test)

- (1) 설치 또는 조립이 완료된 수차발전기를 낮은 회전수(정격의 약 10 % 이하)로 회전시켜 회전부와 고정부의 접촉 등으로 인한 소음 및 런아웃(shaft runout)의 이상 유무와 제동장치(Gen. brake system)의 동작 성능을 확인하여야 한다.
- (2) 측정항목별 주요내용

표 3.1-1 초회전 시험 측정항목별 주요내용

측정항목	단위	측정위치	계측기기
Speed	rpm	수차 제어반	Panel Meter
Servomotor stroke	mm	Turbine pit	지시눈금자
Shaft runout	1/100 mm	Lower Brg bracket	Dial gauge
		Tur. Brg support	
이음, 이취		발전기실 및 수차실	
누수, 누유		발전기실 및 수차실	
Dam water level	EL.m	제어실	
Tailrace water level	EL.m	제어실	

3.1.4 축수 온도포화 시험(bearing heat run test)

- (1) 수차발전기를 무부하 상태에서 수동으로 연속운전하여, 베어링의 조립상태, 온도, 진동 및 소음에 이상이 없는가와 필요한 경우 수차발전기의 동적 균형을 조정해야 한다.
- (2) 측정항목별 주요내용

표 3.1-2 축수 온도포화 시험 측정항목별 주요내용

측정항목		단위	측정위치	사용계측기기	
Elapsed Time		시-분		Stop watch	
Speed		rpm	수차제어반	회전속도계	
Servomotor stroke		mm	Turbine Pit	stroke지시계	
RTD	B R G	Upper guide	℃	제어실 또는 수차제어반	온도지시계
		Lower guide		“	“
		Thrust		“	“
		TBN. guide		“	“
	TBN. bearing oil			“	“
	Thrust bearing oil			“	“

측정 항목		단위	측정위치	사용계측기기	
	Shaft stuffing box			“	“
	Air inlet			“	“
	Air outlet			“	“
Recorder	B R G	Upper guide	℃	제어실	Recorder눈금
		Lower guide		“	“
		Thrust		“	“
		TBN. guide		“	“
	TBN. bearing oil			“	“
	Thrust bearing oil			“	“
	Shaft stuffing box			“	“
	Air inlet			“	“
	Air outlet			“	“
Dial 온도계 (℃)	B R G	Upper guide	℃	수차실	지시계
		Lower guide		“	“
		Thrust		“	“
		TBN. guide		“	“
	TBN. bearing oil			“	“
	Thrust bearing oil			“	“
	Shaft stuffing box)			“	“
	Air inlet			“	“
	Air outlet			“	“
수압	Casing		mAq	수차실	압력계
	Runner Crown			Turbine Pit	“
	Runner Tip, Band			Turbine Pit	“
	Draft Tube			Draft tube	“
	Sealing Water			Turbine Pit	“
수온	Outlet	Inlet	℃	냉각수관 입구	봉상온도계
		Upper BRG		냉각수관 출구	“
		Lower BRG		냉각수관 출구	“
		Air Cooler		냉각수관 출구	“
		Tur. Bearing		냉각수관 출구	“
유온	Oil cooler NO.1	Inlet	℃	Oil cooler	봉상온도계
		Outlet		Oil cooler	“
	Oil cooler NO.2	Inlet		Oil cooler	“
		Outlet		Oil cooler	“
	Oil pressure tank			Tank	“

측정 항목		단위	측정 위치	사용계 측기기	
유면	Upper Brg oil tank	mm	Tank	지시계	
	Lower Brg oil tank		Tank	“	
	Tur. Brg oil tank		Tank	“	
	Pressure oil tank		Tank	“	
Shaft run-out	Slip ring	1/100mm	Top cover	Dial gauge	
	Gen. upper shaft		Upper bracket	“	
	Gen. lower shaft		Lower bracket	“	
	Tur. shaft		Tur. pit	“	
진동 (p-p)	Upper bracket	Vertical	μm	Upper bracket	진동계
		Horizontal		“	“
		Axial		“	“
	Lower bracket	Vertical		Lower bracket	“
		Horizontal		“	“
		Axial		“	“
	Tur. cover	Vertical		Tur. pit	“
		Horizontal		“	“
		Axial		“	“
Dam water level		EL.m	제어실	수위계	
Tailrace water level		EL.m	“	“	
Tur. room temp		℃	수차실	봉상온도계	

3.1.5 동적균형 조정(dynamic balance adjustment)

- (1) 수차발전기를 운전하여 발전기의 동적 불균형 상태를 조정하여 진동, 소음을 저감시킴으로써 안정된 운전이 유지되도록 한다. 이 시험은 설비 준공단계 또는 발전기 회전자의 대체 등 보수 이후에 실시한다.
- (2) 측정항목별 주요내용

표 3.1-3 동적균형 조정 측정항목별 주요내용

측정 항목		단위	측정 위치	사용계측기기	
Time		시:분	제어실	Stop watch	
Speed		rpm	수차 제어반	회전속도계	
Servomotor stroke		mm	Turbine Pit	Stroke지시계	
진동 (p-p)	U B B	Vertical	μm	Upper bracket	Vibration meter
		Horizontal	μm	“	
		Axial	μm	“	
	L B B	Vertical	μm	Lower bracket	Vibration meter
		Horizontal	μm	“	
		Axial	μm	“	
	T u r	Vertical	μm	Tur.brg support	Vibration meter
		Horizontal	μm	“	
		Axial	μm	“	
축 진 동	G e n	Upper shaft	mm	Upper bracket	Dial gauge
		Lower shaft	mm	Lower bracket	
	Tur shaft		mm	Tur.brg support	

3.1.6 자동 기동·정지 시험(automatic start & stop test)

(1) 수차발전기의 자동 기동 및 정지 동작이 순서도(sequence diagram)에 따라 단계별로 정확히 이루어지고 또한 단계별 소요 시간이 적정한가를 확인하는 시험으로서 자동 기동은 수차발전기 정지 상태에서부터 계통병입(parallel ON) 까지, 자동 정지는 계통병입 상태(load 상태)로부터 수차 완전 정지까지의 각 단계별 시간을 측정한다.

(2) 측정항목별 주요내용

- ① 각 단계별 기록은 자동취득 장치를 통해 기록하는 것을 우선으로 하며, 기록장치에 누락항목이 있거나 이중 기록이 요구되는 항목에 대해서는 수동 기록한다.

가. 자동 시동 테스트(automatic start test)

3.1-4 자동 기동 테스트

측정 항목		단위	측정 위치	계측기
Master Switch "LOAD"		분-초	제어실	Stop watch
High Pressure Pump "ON"			수차 제어반	
High Pressure Pump "OFF"			"	
Preparation Lamp "ON"			"	
입 구 번	Bypass Valve Opening start		수차실	
	Bypass Valve Opening end		"	
	Main Valve Opening start		"	
	End of Main Valve Opening Casing pressure	분초 mAq	"	
수 차 기 동	Actuator Lock Release		수차제어반	
	Turbine Start Lamp "ON"		"	
	Excitation Lamp "ON" Rotation speed	분초 RPM	"	
	Turbine Rated Speed up Servomotor stroke (mm)	분초 mm	"	
	Synchronizer(43-25) "ON"		"	
	Parallel Lamp "ON"		"	

나. 자동 정지 테스트(automatic stop test)

표 3.1-5 자동 정지 테스트

측정항목		단위	측정위치	계측기기
정 지 전	Servomotor Stroke	mm	Turbine pit	지시계
	Casing Pressure	mAq	수차제어반	
	Generator Output	kW	제어실	
Master Switch "Stop"			제어실	Stop watch
수 차 정 지	Parallel -out	분-초	수차 Pit	
	Servomotor Stroke	mm		
	Servomotor Full Close		수차 Pit	
	G/V Locking Operation		조속기반	
	Brake Lamp "ON"	분-초	수차 제어반	
	Rotation Speed	rpm		
	Turbine Stop Lamp "ON"		"	
	High Pressure Pump "ON"		"	
High Pressure Pump "OFF"		"		
Brake Release		"		
입 구 변	Main Valve Closing Start		수차실	
	Main Valve Closing End		"	
	Bypass Valve Closing Start		"	
	Bypass Valve Closing End		"	
Temperature of Turbine Room		℃	수차실	
Oil Temperature		℃	Press oil tank	
Dam Water Level		EL.m	제어실	
Tailrace Water Level		EL.m	"	

3.1.7 부하차단시험(load rejection test)

- (1) 수차발전기가 정상 운전 중에 전력계통의 사고 등으로 부하를 차단한 때 각 제어장치가 정상으로 동작하여 철관수압, 회전속도 및 발전기 전압에 이상이 없고 안전하게 무부하 운전으로 이행될 수 있는가를 확인하는 시험으로 차단부하는 대체로 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 부하(조속기등의 조정이 없는 경우 1/4, 3/4 부하 생략가능)에서 실시한다. 이때의 전압, 회전속도, 역률 등을 정격으로 유지한 상태에서 차단한 결과 수압, 회전속도, 발전기 전압 등이 보증치 내에 드는지 확인하고 다음 단계의 부하로 진행하고, 그렇지 않은 경우, 가이드 베인 폐쇄시간 등을 조정하여 재시험, 정상적으로 보증치를 만족시켜야 한다.
- (2) 측정항목별 주요내용
 - ① 계량기(meter)에 의한 측정

표 3.1-6 계량기(meter)에 의한 측정 항목별 주요내용

측 정 항 목		단위	측정위치	설명	
G E N E R A T O R	Rejection Load	kW	제어실 제어반	차단전 유효 전력	
	Reactive Power	kVar		차단전 무효 전력	
	Load Current	A		차단전 전류	
	전압	Under Load (R-S간)	kV	제어실 제어반	차단전 전압
		Maximum (R-S간)	kV		차단후 최고 전압
		After Stabilized (R-S간)	kV		안정후 전압
회 전 수	Under Load	Hz	수차 제어반	차단전 주파수	
	Maximum	Hz		차단후 최고 주파수	
	After Stabilized	Hz		안정후 주파수	
E X C I T E R	전압	Under Load	V	제어실 제어반	차단전 여자전압
		Minimum	V		차단후 최저 전압
		After Stabilized	V		안정후 여자전압
	전류	Under Load	A	제어실 제어반	차단전 여자전압
		Minimum	A		차단후 최저 여자전압
		After Stabilized	A		안정후 여자전압
T U R B I N E	Guide Vane Stroke	Under Load	mm	Turbine Pit	차단전 Stroke
		After Stabilized	mm		안정후 Stroke
	RunnerVane Stroke	Under Load	mm	수차 제어반	차단전 Stroke
		After Stabilized	mm		안정후 Stroke
	Turbine Speed	Under Load	rpm	수차 제어반	차단전 속도
		Maximum	rpm		차단후 최고 속도
	After Stabilized	rpm			안정후 속도
		Casing Press.	Under Load	mAq	수차 제어반
Maximum	mAq			차단후 최고 압력	
Static Pressure	mAq		-	발전기 정지시 압력	
Draft Tube press.	Under Load	mAq	Draft Tube	차단전 압력	
	Maximum	mAq		차단후 최고 도달 압력	
	After Stabilized	mAq		안정후 압력	
Dam Water Level		El.m	제어실	차단전 저수위	
Tailrace Water Level		El.m	제어실	차단전 방수위	

Pressure Gauge Level	El.m	변환기의 설치위치
----------------------	------	-----------

② 자료취득 장치에 의한 측정

표 3.1-7 자료취득 장치에 의한 측정 항목별 주요내용

측정 항목	단위	목적	측정위치		사용 변환기
			측정개소	출력내용	
발전기 전류	A	차단시점 확인	CT Test Plug	0~5 A AC	Shunt
발전기 전압	V	전압상승률 확인	PT Test Plug	0~110 V AC	V-V Set
발전기 출력	kW	차단출력 확인	CT, PT Test Plug		삼상 전력계
회전수	RPM	속도상승률 확인	SSG(조속기반)	0~정격 Hz	F-V Set
			PMG(조속기반)	0~110 V AC	Stroke TD
서보모터 개도	mm	폐쇄모드 확인 부동시간 확인	서보모터	지시치 mm	Stroke TD
런너베인 개도	%	폐쇄모드 확인	개도검출기 출력단	지시치 V AC	Stroke TD
			서보모터	지시치 mm	
케이싱 압력	mAq	최대수압 확인	케이싱 압력탭	수압	압력 TD

3.1.8 출력시험(output test)

- (1) 수차발전기를 단위 출력별로 운전하여 출력과 가이드 베인 오프닝(guide vane opening)의 관계, 진동 및 소음 등을 측정하여 발전기 안전 운전영역, 출력 제한범위, 가이드 베인(guide vane) 조작 기구의 놀림상태(hysteresis)를 확인하여야 한다.
- (2) 측정항목별 주요내용

표 3.1-8 출력시험 측정항목별 주요내용

측정 항목		단위	측정위치	설명
Reference Load		kW		출력조정시 기준값
발전기	Output	kW	제어실	AC Power Meter 지시값
	Reactive Power	kVAR		제어실 제어반의 지시값
	Voltage (R-T)	kV		AC Power Meter 지시값
	전류	R-Phase S-Phase	A	제어실 제어반의 지시값

		T-Phase			
	온 도	R-Phase Stator	℃		제어실 제어반의 지시값
		S-Phase Stator	℃		
		T-Phase Stator	℃		
여 자 기	Voltage		V		제어실 제어반의 지시값
	Current		A		
수 차	Runner Vane Opening		%	수차 제어반	
	G/V Servomotor Stroke		mm	Turbine Pit	
	수 압	Casing		mAq	수차 제어반
		Runner Crown		mAq	
		Runner Tip		mAq	
Draft Tube		mAq			
Sealing Water		mAq			
Water Flow Quantity			cms	수차 제어반	
진 동	Gen. Upper Bracket (V) (H)		μ mP-P μ mP-P	발전기실 상부	매직등으로 Pick Up 설치위치를 표시할것
	Gen. Lower Bracket (V) (H)		μ mP-P μ mP-P	발전기실	매직등으로 Pick Up 설치위치를 표시할것
	TBN. Upper Cover (V) (H)		μ mP-P μ mP-P	Turbine Pit	매직등으로 Pick Up 설치위치를 표시할것
소 음	Generator Room		dB	발전기실	
	Turbine Pit		dB	Turbine Pit	
	Draft Tube		dB	Draft tube Manhole	
수 위	Dam Water Level		EL.m	제어실	
	Tailrace Water Level		EL.m		

3.1.9 부하시험(load test)

- (1) 정격 부하에서 연속 운전하여 고정자 권선(stator winding) 온도와 변압기의 온도 및 각부 베어링(bearing) 온도에 대한 이상 상승 여부와 수차 자체에 대한 누유, 누수, 이음 등과 보조기기에 대한 이상 유무 파악을 위해 실시한다.
- (2) 측정항목별 주요내용

표 3.1-9 부하시험 측정항목별 주요내용

시 험 항 목		단 위	측정위치	설 명
Elapsed Time		H-m	Stop watch	
발전기	Output	kW	3상 전력계	AC Power Meter 지시값

시 험 항 목		단 위	측 정 위 치	설 명	
	Reactive Power		kVar	“	
	Power Factor		%	“	
	Voltage (R-T)		kV	“	
	전 류	R-Phase	A	“	
S-Phase		A	“		
T-Phase		A	“		
여 자 기	Excitation Voltage		V	제어실 제어반	
	Excitation Current		A	“	
수 차 발 전 기 온 도 (RTD)	Stator - R		℃	제어실	
	Stator - S		℃	“	
	Stator - T		℃	“	
	B R G	Upper Guide		℃	제어실
		Thrust Lower Guide		℃	“
		TBN.Guide		℃	“
		TBN. Bearing Oil		℃	“
	Thrust Bearing Oil		℃	“	
	Air Inlet		℃	“	
	Air Outlet		℃	“	
수 차 발 전 기 온 도 Recorder	Stator - R		℃	Recorder	
	Stator - S		℃	“	
	Stator - T		℃	“	
	B R G	Upper Guide		℃	Recorder
		Thrust Lower Guide		℃	“
		TBN.Guide		℃	“
		TBN. Bearing Oil		℃	Recorder
	Thrust Bearing Oil		℃	“	
	Shaft Stuffing Box		℃	“	
	Air Inlet		℃	“	
Air Outlet		℃	“		
수 차 발 전 기	B R G	Upper Guide	℃	수차 제어반	
		Thrust Lower Guide	℃	“	
		TBN.Guide	℃	“	
		TBN. Bearing Oil	℃	“	
	TBN. Bearing Oil		℃	“	

시 험 항 목		단 위	측 정 위 치	설 명	
온 도 (Dial)	Thrust Bearing Oil	℃	"	기록 "	
	Shaft Stuffing Box	℃	"	Stuffing Box 온도 기록	
	Air Cooler Inlet	℃	"	발전기실 Cool Air 온도 기록	
	Air Cooler Outlet	℃	"	발전기실 Hot Air	
Water Pressure	Casing	mAq	수차 제어반	Spiral Casing 압력 기록	
	Runner Crown	mAq	"	Runner Crown 압력 기록	
	Runner Tip or Band	mAq	"	Runner Tip, Band 압력 기록	
	Draft Tube	mAq	"	Draft Tube 압력 기록	
	Sealing Water	mAq	"	압력 기록	
Cooling Water Temp.	Inlet	℃	냉각수펌프 출구	냉각수 입구온도 측정	
	Outlet	Gen Upper Brg.	℃	배관출구	
		Gen Lower Brg.	℃	Cooler 출구	
		Air Cooler	℃	"	
		Turbine Brg.	℃	"	
Oil Temp.	Oil Cooler NO.1	Inlet	℃	NO.1 Oil Cooler	
		Outlet	℃		
	Oil Cooler NO.2	Inlet	℃	NO.2 Oil Cooler	
		Outlet	℃		
Oil Pressure Tank		℃	Oil Pressure Tank		
Runner Vane Opening		%	수차실 제어반		
Guide Vane Servomotor Stroke		mm	Turbine Pit		
Exciter Tr.	Coil Temp.	℃			
	Atmosphere Air	℃			
Main Tr.	2nd Voltage	V	제어실		
	2nd Current	A			
	Coil Temp.	℃			
	Oil Temp.	℃			
Dam Water Level		EL.m	제어실		
Tailrace Water Level		EL.m			
Temperature Turbine Room		℃	수차실		

3.2 보조설비 종합시험

3.2.1 가이드 베인 조작기구 시험

(1) 서보모터 스트로크와 가이드 베인 개도(A) 측정시험

- ① 서보모터 스트로크와 가이드 베인 개도 관계가 적정한가, 개방방향과 폐방향의 차 (이를 이력현상(hysteresis)이라 한다.)가 적정한 지 확인한다.
- ② 측정항목별 주요내용

표 3.2-1 가이드 베인 조작기구 시험 측정항목별 주요내용

측정 항목	단위	측정위치	설명
Load limiter Opening	%	수차 제어반	Knob 위치
Guide Vane Indicator	%	수차 제어반	Meter 지시값
Servomotor Stroke	mm	Turbine Pit	Scale 눈금
Guide Vane Opening	mm	Casing	A0 측정값
Squeeze	mm	Turbine Pit	G/V전폐시 서보모터 개도

(2) 서보모터 개폐력 측정시험

- ① 가이드 베인의 조작력이 적정한가를 확인하기 위한 것으로 서보모터에 의해 가해지는 유압력을 측정하여야 한다.
- ② 측정항목별 주요내용

표 3.2-2 서보모터 개폐력 측정시험 측정항목별 주요내용

측정 항목	단위	측정위치	설명
Servomotor Open Side Pressure	kg/cm2	Turbine Pit	Meter 및 기록계 값
Servomotor Close Side Pressure	kg/cm2	Turbine Pit	Meter 및 기록계 값

(3) 서보모터 개폐시간 측정시험

- ① 서보모터의 개·폐 특성을 확인하고 적절한 개폐시간을 설정하여야 한다.
- ② 측정항목별 주요내용

표 3.2-3 서보모터 개폐시간 측정시험 측정항목별 주요내용

측정 항목	단위	측정위치	설명
Servomotor Stroke	mm	Turbine Pit	전개 및 전폐시간
Servomotor Close & Open Time	초	Turbine Pit	전개 및 전폐시간

3.2.2 조속기 시험

(1) 컨버터 특성시험

- ① 입력전압에 대한 컨버터의 변위(stroke) 관계를 측정하고, 특성을 시험하여야 한다.
- ② 측정항목별 주요내용

표 3.2-4 컨버터특성시험 측정항목별 주요내용

측정 항목	단위	측정위치	설명
입력전압	VDC	조속기	전압발생기의 입력 전압
Convertor Rod의 변위	mm	조속기	Dial guage의 눈금

(2) 컨버터의 영점조정

- ① 컨버터의 입력전압이 상실되었을 때(코일의 단선 등의 경우) 설비보호를 위해 외부에서 인위적인 조작이 없어도 자동적(기계적)으로 서보모터가 전폐되도록 컨버터를 영점조정하여야 한다.

(3) 배압변 랩(lap) 특성시험

- ① 배압변의 리프트(lift)양과 서보모터의 개폐속도 및 랩을 측정하여 배압변의 특성을 확인하기 위함이며, 배압변의 랩이 과소의 경우, 감도가 민감하여 출력맥동이 발생하고, 반대로 과대의 경우 감도가 둔해지므로 적절한 랩 특성시험을 시행하여야 한다.

(4) 복원기구 조정시험

- ① 서보모터의 기계적 변위에 대하여 전기적 신호의 양이 적절한지 측정한다.
- ② 측정항목별 주요내용

표 3.2-5 복원기구 조정시험 측정항목별 주요내용

측정 항목	단위	측정위치	설명
가이드 베인 개도	%	조속기	Meter값
복원기구 출력전압	V	조속기	

(5) 부동시간(dead Time) 측정시험

- ① 조속기의 부동시간이 성능을 만족하는가(0.25초 이내)를 측정하는 것으로 기계적 부동시간과 전기적 부동시간을 포함한 총부동시간으로 분류한다.

(6) 주파수 검출 특성시험

- ① 입력주파수에 대해 출력이 직진성을 가지며 이득(gain)이 충분한지를 확인한다.

(7) 부동대(dead band) 측정시험

- ① 설정한 부동대가 적정한지 기준치 범위 내에 있는지 확인하여야 한다.

(8) 수차기동 및 정지 특성시험

- ① 수차기동 및 정지시 속도변화 특성과 속도안정시까지의 시간을 최적화하는 시험한다.
- ② 측정항목별 주요내용

표 3.2-6 수차기동 및 정지 특성시험 측정항목별 주요내용

측정 항목	단위	측정위치	설명
Servomotor 개도	mm	Turbine Pit	자료취득장치
회전수	RPM	수차 제어반	자료취득장치
발전기 전압	kV	PT Test plug	자료취득장치
케이싱 압력	mAq	Casing	자료취득장치

3.2.3 입구변(inlet valve) 시험

(1) 개폐시간 측정

- ① 우회(bypass) 밸브 및 주밸브의 개방, 폐쇄특성을 확인하고 조정하여 적절한 개폐 시간 설정하여야 한다.

(2) 개폐력 측정

- ① 입구변의 조작력이 적정한가를 확인하기 위한 것으로 입구변 서보모터에 의해 가해지는 유압력을 측정하는 시험으로 측정방법은 수차 서보모터 개폐력 시험과 동일하다.
- ② 측정항목별 주요내용

표 3.2-7 입구변 시험 개폐력측정 항목별 주요내용

측정 항목	단위	측정위치	설명
Servomotor Open Side Pressure	kg/cm2	Inlet V/V	Meter 및 기록계 값
Servomotor Close Side Pressure	kg/cm2	Inlet V/V	Meter 및 기록계 값

(3) 누수량 측정

- ① 입구변의 단위 시간당 누수량을 측정하여 밸브 실(seal)의 이상여부를 확인한다.

3.2.4 압유공급 설비 시험

(1) 안전변 동작시험

- ① 유압설비의 안전변은 통상적으로 펌프부와 탱크부에 각각 설치되어 있으며, 이들

안전변이 설정치에서 정확히 동작하는가를 확인하는 시험으로, 펌프부의 안전변이 탱크부의 안전변보다 낮게 설정되어 있으므로 탱크부를 먼저 실시하는 것이 바람직하다.

② 허용오차는 각 제작사마다 다르나 설정치에 대해 통상 $\pm 0.1 \text{ MPa}$ 이내로 한다.

(2) 펌프 연속운전시험

① 펌프를 연속적으로 운전하여 각부의 온도상승, 진동, 소음 등이 이상 없는가를 확인하는 시험이다. 탱크의 압력을 정상으로 하고 배유밸브를 열어 배유시키면서 측정한다.

(3) 압유펌프 자동기동정지 시험(압력스위치 동작시험)

① 압유펌프는 주펌프와 예비펌프로 구성되어 있으므로 각 설정압력에서 정상적으로 동작하는가를 확인하는 시험이다. 설정치의 조정은 압력스위치의 동작압력의 조정(오차 허용치 $\pm 2\%$)에 의한다.

(4) 압유펌프 언로더(unloader) 밸브 동작시험

① 압유펌프는 탱크의 압력에 따라 언로더 밸브에 의해 기계적으로 로드(load)와 언로드(unload)를 반복하게 되는데 이 압력이 적정한가를 확인하는 시험한다.(오차 허용치 $\pm 2 \text{ kg/cm}^2$)

(5) 펌프 토출량 측정시험

① 펌프의 토출량이 적정한가를 확인하는 시험으로 펌프를 가동하여 상용압력범위에서 단위시간동안 유면 변화량을 측정하여 탱크의 단면적을 곱하여 계산한다.

$$\text{토출량 } Q(l/\text{min}) = \frac{\text{유면변화량}(cm) \times \text{탱크단면적}(cm^2)}{\text{측정시간}(min) \times 1000} \quad (3.2-1)$$

(6) 압유탱크 누유량, 누기량 측정시험

① 탱크의 누유량 및 누기량을 측정하는 시험으로 약 12시간 동안의 누유량을 측정값으로 한다. 누기량 측정 시에는 온도와 관계가 크므로 탱크의 온도변화를 감안하여야 한다.

$$\text{누유량 } q_o = \frac{Q_o}{t} \quad (3.2-2)$$

Q_o : 전누유량(l) = $A \cdot L \times 10^{-3}$

A : 탱크단면적(cm^2)

L : 유면차(cm)

t : 측정시간(h)

$$\text{누기량 } q_a = \frac{Q_a}{t} \tag{3.2-3}$$

Q_a : 전누기량(l)

$$= V_1 \left(\frac{P_1+1}{P_2+1} \times \frac{273+T_2}{273+T_1} - 1 \right) - Q_o$$

V_1 : 측정개시시의공기용적(l)

P_1, P_2 : 측정 전, 후의유압(cm^2)

T_1, T_2 : 측정 전, 후의탱크벽면온도($^{\circ}C$)

t : 측정시간(h)

(7) 압유탱크 유면조정 장치 시험

- ① 탱크의 유면은 압유의 사용과 함께 누기 또는 배출되어 점점 하강하게 되므로 유면을 정상으로 유지시키기 위한 장치를 말하며, 이는 탱크압력과 연계되어 동작하게 된다. 유면 조정 장치는 압력스위치와 유면스위치로 구성되어 있으며 이의 설정 상태를 시험한다.

(8) 압유탱크 용량시험

- ① 압유탱크는 발전기 운전 중에 펌프가 고장 등으로 동작불능일 때 서보모터를 개폐하기에 충분한 용량으로 설계되어 있다. 펌프가 정지된 상태에서 서보모터를 개폐하여 규정된 압력이상을 유지하는지 확인한다.

(9) 압유탱크 소비유량 측정시험

- ① 압유탱크의 소비유량을 측정하는 것으로 일정시간(대략 1시간 기준) 동안의 압유탱크의 유면저하를 측정하여 산출한다.

3.2.5 압축공기 공급설비 시험

(1) 안전밸브 동작시험

- ① 압축공기 공급설비의 안전밸브는 통상적으로 압축기와 탱크부에 각각 설치되어 있으며, 이들 안전밸브이 설정치에서 정확히 동작하는가를 확인하는 시험으로, 압축기부의 안전밸브이 탱크부의 안전밸브보다 낮게 설정되어 있으므로 탱크부를 먼저 실시하는 것이 바람직하다.
- ② 허용오차는 각 제작사마다 다르나 설정치에 대해 통상 ± 0.02 MPa??? 이내로 한다.

(2) 압축기 연속운전시험

- ① 압축기를 연속적으로 운전하여 각부의 온도상승, 진동, 소음 등이 이상 없는가를 확인하는 시험이다. 탱크의 압력을 정상으로 하고 배기 밸브를 열어 배기시키면서 측정한다.

(3) 압축기 자동기동정지 시험(압력스위치 동작시험)

- ① 압축기는 주기와 예비기로 구성되어 있으므로 각 설정압력에서 정상적으로 동작하는가를 확인하는 시험이다. 설정치의 조정은 압력스위치의 동작압력의 조정(오차 허용치 $\pm 2\%$)에 의한다.

(4) 압축기 토출량 측정시험

- ① 압축기의 토출량이 적정한가를 확인하는 시험으로 압축기를 가동하여 상용 압력범위 내에서 단위시간동안 압력 변화량을 측정하여 계산한다.
- (5) 공기계통 누기량 측정시험
 - ① 공기탱크, 밸브, 배관계통의 누기량을 측정하는 것으로 약 12시간 동안의 누기량 측정하며, 양부의 판정은 12시간 동안의 압력강하율로 판정한다.(3% 이내) 누기량은 온도와 관계가 크므로 탱크의 온도변화를 감안하여야 한다.
- (6) 감압밸브 동작시험
 - ① 통상적으로 압축공기는 압유탱크와 발전기 제동장치로 공급되며, 이들에게 공급되는 압력은 서로 차이가 있어 주로 제동장치용에 감압밸브를 사용하게 되는데 이 감압밸브의 동작압력이 적절한지를 확인한다.

3.2.6 윤활유 공급설비 시험

- (1) 펌프 연속운전시험
 - ① 펌프를 연속적으로 운전하여 각부의 온도상승, 진동, 소음 등이 이상 없는가를 확인하는 시험이다. 냉각수용 밸브개도는 정상으로 하고 측정한다.
- (2) 펌프 토출량 측정시험
 - ① 펌프의 토출량 및 양정이 적정한가를 확인하는 시험으로 유량계 또는 압력계를 이용한다.
- (3) 급유량 측정시험
 - ① 각각의 설비에 공급되는 급유량을 측정하는 것으로 유량계 또는 압력계를 이용한다.
- (4) 유면 스위치 동작시험
 - ① 유조의 레벨 스위치(level SW)가 설정유면에서 정상적으로 동작하는가를 확인하는 시험이다.

3.2.7 냉각수 공급설비 시험

- (1) 펌프 연속운전시험
 - ① 펌프를 연속적으로 운전하여 각부의 온도상승, 진동, 소음 등이 이상 없는가를 확인하는 시험이다. 냉각수용 밸브개도를 정상으로 하여 측정한다.
- (2) 펌프 토출량 측정시험
 - ① 펌프의 토출량 및 양정이 적정한가를 확인하는 시험으로 유량계 또는 압력계를 이용한다.
- (3) 급수량 측정시험
 - ① 각각의 설비에 공급되는 급수량을 측정하는 것으로 유량계 또는 압력계를 이용한다.

3.2.8 배수설비 시험

(1) 펌프 연속운전시험

- ① 펌프를 연속적으로 운전하여 각부의 온도상승, 진동, 소음 등이 이상 없는가를 확인하는 시험이다. 공회전이 되지 않도록 배수 밸브를 적절히 열어놓고 측정한다.

(2) 펌프 토출량 측정시험

- ① 펌프의 토출량 및 양정이 적정한가를 확인하는 시험으로 유량계, 압력계를 이용하거나 배수조의 수위변화량을 측정 계산한다.

(3) 자동 기동정지 시험 (Level 스위치 동작시험)

- ① 주기와 예비기로 구성되어 있으므로 각 설정수위에서 정상적으로 동작하는가를 확인하는 시험이다. 설정치의 조정은 Level 스위치의 동작수위의 조정에 의한다.

3.3 수차발전기 효율시험**3.3.1 효율시험 방법**

- (1) 수차발전기 효율시험은 수차발전기 성능분석 절차서(K-water, 2000)를 따라 세부계획을 수립하고, 공사감독자의 승인을 득한 후 실시한다.

3.3.2 시험결과서 제출

- (1) 수급인은 시험 결과서를 다음과 같은 사항을 기재하여 제출하여야 한다.

- ① 시험 목적
- ② 시험기일 및 주요 일정
- ③ 시험 관계자 및 그 배치
- ④ 수차 또는 펌프의 제원 개요, 보증치, 제작자 (필요하다면 발전기 또는 전동기의 제원 개요)
- ⑤ 측정 방법
- ⑥ 시험 장치의 배치도 (발전소 단면도, 관계되는 수로 공작물 도면 등을 포함)
- ⑦ 측정 장치 및 그 교정치
- ⑧ 측정 장치의 구조 개략도(특수한 구조에 한함)
- ⑨ 시험까지의 수차 또는 펌프의 운전, 상태의 개요 (필요하다면 기기내부 점검결과)
- ⑩ 시험 경과
- ⑪ 측정값
- ⑫ 계산 방법 및 계산결과
- ⑬ 측정값으로부터 최종 결과까지의 계산 예
- ⑭ 계산에 사용한 도표 (발전기 또는 전동기 손실곡선, 유속분포 선도 등)
- ⑮ 측정 오차
- ⑯ 시험 결과 (보증치와의 비교도, 표 등)
- ⑰ 모형시험 결과 및 이전 회차의 시험결과와의 비교
- ⑱ 시험 결과에 대한 검토 및 판정

집필위원

성명	소속	성명	소속
이현	한국수자원공사	제갈훈	한국수자원공사
문부영	한국수자원공사	송두호	한국수자원공사
설재현	한국수자원공사	장창래	한국수자원학회
손승규	한국수자원공사	최미경	한국수자원학회

자문위원

성명	소속	성명	소속
이명섭	한중	문홍진	문아이앤시

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
이영호	한국건설기술연구원	김세동	두원공과대학교
구재동	한국건설기술연구원	김수길	호서대학교
김기현	한국건설기술연구원	김재철	송실대학교
김나은	한국건설기술연구원	김재호	대전대학교
김태송	한국건설기술연구원	김훈	강원대학교
김희석	한국건설기술연구원	남기범	한국전기기술인협회
류상훈	한국건설기술연구원	박철규	서울주택도시공사
소병진	한국건설기술연구원	신석하	한국폴리텍대학
원훈일	한국건설기술연구원	신효섭	(주)더힐코리아
이승환	한국건설기술연구원	왕용필	한국전기산업연구원
이용수	한국건설기술연구원	유홍국	건일파트너스
이용준	한국건설기술연구원	이복희	인하대학교
주영경	한국건설기술연구원	이봉섭	강원대학교
최봉혁	한국건설기술연구원	이주철	대한전기협회
허원호	한국건설기술연구원	이준규	(주)중민
		장성규	(주)하이텍이피씨
		정영호	한국교통대학교
		조병우	석우엔지니어링(주)
		조휘만	한국토지주택공사
		주강필	SK건설
		최옥만	한국토지주택공사
		표정재	한국전기안전공사
		한석우	국제대학교
		황민수	한국전기공사협회

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
김현수	LH	김찬문	한국수자원공사
송춘호	인천국제공항공사	홍언영	(주)세화
신호전	조엔지니어링	주강필	SK건설(주)
이은숙	한국농어촌공사		

소관부처

성명	소속	성명	소속
이상훈	환경부	박찬흥	환경부

KWCS 31 50 17 55 : 2021
수력발전설비 종합시험

2021년 5월 21일 제정

소관부서 환경부

관련단체 한국수자원공사
34350 대전광역시 대덕구 신탄진로 200
Tel : 042-629-3114(대표전화)
<http://www.kwater.or.kr>

작성기관 한국수자원공사
34350 대전광역시 대덕구 신탄진로 200
Tel : 042-629-3709~3710
<http://www.kwater.or.kr>

국가건설기준센터
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
Tel : 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr
<http://www.kcsc.re.kr>