

원전 안전등급 밸브/펌프 성능검증 설비 및 인증 시스템 구축



이 선 기
한국수력원자력(주) 중앙연구원 책임연구원

1. 개요

원자력발전소의 안전과 관련된 밸브/펌프 등은 KEPIC (대한전기협회) 또는 ASME(미국기계학회)의 기술기준에

따른 성능검증시험을 수행하여 성능을 확인하여야 한다. 그러나 국내에는 성능검증시험을 수행하기 위한 관련 기술 및 시험설비 등의 체계가 갖추어져 있지 않아 국내에서 개발된 밸브/펌프 등을 해외 기관에 의뢰하여

성능을 확인해야만 했다. 이로 인하여 많은 시간과 비용이 소요되어 기자재 국산화에 커다란 장애 요인이 되어 왔다.

원자력 발전이 우리나라에서 차지하는 위치와 관련 산업계의 현황을 고려할 때, 고부가가치 기자재의 국산화 촉진을 통하여 수출 전략산업을 육성하고, 원자력발전소의 안전성·신뢰성 증진과 안정적인 전력 공급을 도모하며, 국내 원자력 산업계의 국제 경쟁력을 향상시키기 위해서는 원자력발전용 밸브/펌프의 성능검증 시험설비 및 인증체계 구축이 절실하였다.

한수원 중앙연구원에서는 지식경제부 원자력 연구 개발 사업으로 2006년 9월부터 2013년 2월까지 약 6년여에 걸쳐 원전 안전등급 밸브/펌프의 성능검증 시스템을 구축할 예정이다.

본고에서는 밸브/펌프 성능검증 시스템 구축 개요, 과정 및 활용 방안 등에 대해서 소개 하고자 한다.

2. 현황

성능검증 시험설비 및 인증 시스템 구축은 2단계로 구분하여 진행하였으며, 1단계(2006. 9 ~ 2008. 8)에서는 설계기준 설정, 기본설계, 상세설계 등을 통해서 실제 설비구축 비용을 산정하고 또한 시험설비 설치 위치를 선정하는 단계이며, 2단계(2008. 9 ~ 2013. 2)에서는 시험설비 제작, 설치를 비롯하여 성능검증 방법론 및 절차서 개발 등 인증체계를 구축하는 것으로 추진된다.

[표 1] 밸브의 성능검증 시험 항목

No	시험 항목	동력구동밸브	체크밸브	압력방출밸브
1	시험전 검사	○	○	○
2	성능 및 누설	-	-	○
3	기본 진동수 결정	○	△	○
4	환경 및 경년열화 모사	△	△	-
5	중간 검사	○	○	-
6	주기 시험(상온 및 고온)	○	-	-
7	단부 하중 시험	○	○	-
8	내진 시험	○	△	○
9	배출관 및 반력하중 검증시험	-	-	○
10	내진 및 배출관 하중 조합시험	-	-	○
11	외부 환경시험	-	-	○
12	열영향 시험	-	-	○
13	유동 차단과 기능 능력 입증	○	○	-
14	성능 및 누설 (최종)	-	-	○
15	시험후 검사	○	○	○

[표 2] 펌프의 성능검증 시험 항목

No	시험 항목
1	수압 시험
2	일반성능 시험
3	NPSH 시험
4	내구성 시험
5	Thermal Transient 시험
6	Vibration 시험

가. 시험설비 기본/상세설계

성능검증이란 원전의 안전등급 밸브/펌프가 발전소의 설계기준 사고를 포함한 모든 운전조건에서 고유의 기능을 확실하게 수행할 수 있는가를 평가하는 시험이다. 관련 기술기준(KEPIC MF 또는 ASME QME-1)에 따르면 밸브는 상온/고온 주기시험 등 15개 항목, 펌프는

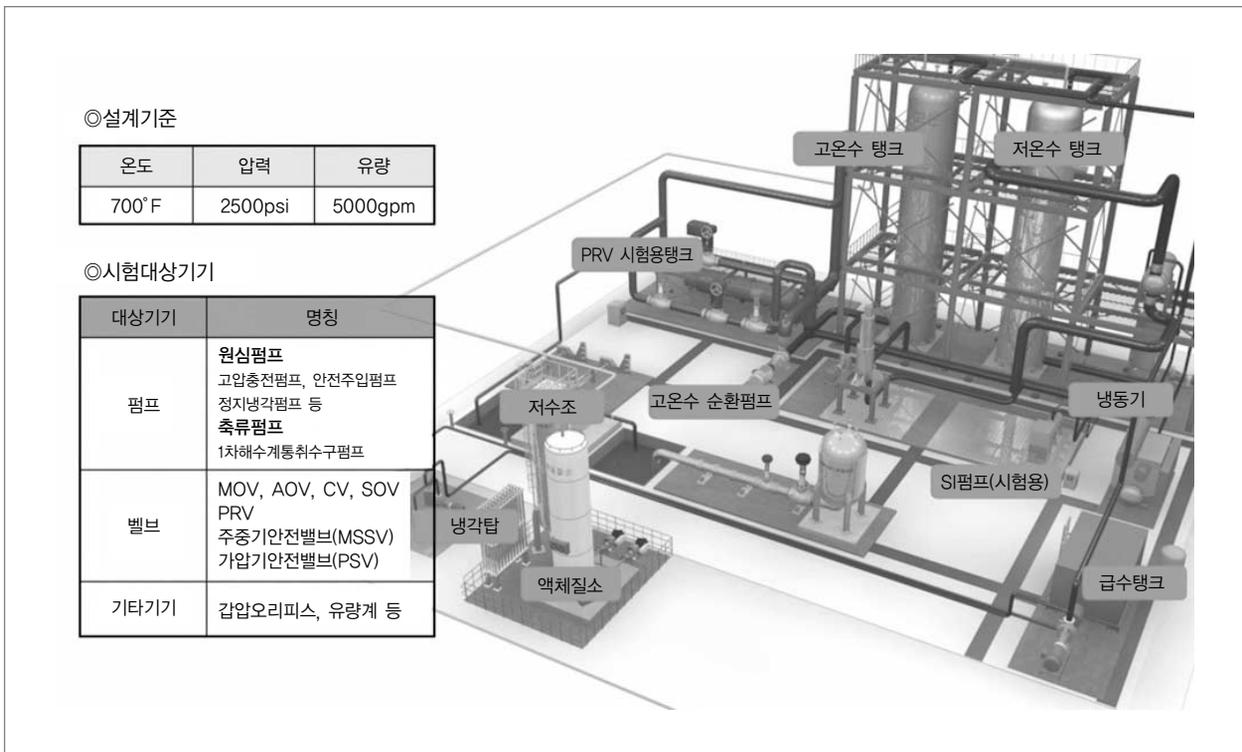
열적과도현상 등 6개 항목을 수행해야 한다. 표 1 및 표 2에서 밸브 및 펌프의 성능검증 시험 항목을 나타냈다.

시험설비는 상기의 시험항목들을 수행할 수 있도록 설계하였다.

먼저 시험설비의 설계기준으로써 온도, 압력을 원전 1차 측의 온도, 압력과 동일 조건인 700°F, 2500psi로 설정하였다. 이것은 원자력발전소의 안전과 관련된 밸브/펌프의 성능검증 시험을 수행하기 위한 필수 조건에 해당된다.

시험설비의 기본설계 개념은 설비의 Compact화, 시험 종류의 다양성을 고려한 장비 배치, 고온-고압을 고려한 안전 설계(관련 코드 요건 적용)를 기본지침으로 정하였으며 향후 설비의 확장성도 최대한 고려하였다.

최적의 설비 구축을 위하여 원전 1차 측의 밸브/펌프



[그림 1] 시험설비 설치 개략도



[그림 2] 시험동 건축 조감도

설계기준 및 성능시험 관련 기술기준(시험 및 평가 방법), 규제요건 등을 조사 분석하여 성능검증 대상기기를 선정 하였다(그림 1 참조).

시험설비는 고온-고압의 대용량 설비로써 압력, 온도, 자중 등의 영향을 고려하여 배관 지지대 설치 위치를 선정하였으며, 압력 탱크와 배관이 연결되는 노즐의 하중평가 등을 수행하여 설비의 건전성을 확인하였다.

또한, 고온-고압의 사용조건을 고려하여 ASME B&PV Code Section VIII Division 2를 적용하여 압력 용기 건전성 평가가 이루어졌으며, 해석은 범용 유한 요소 해석 코드인 ANSYS를 이용하여 수행하였다.

해석 결과 설계조건 및 운전조건에 대하여 적용된 ASME Code의 요구사항을 모두 만족하여 구조적으로 적합한 것으로 확인되었으며, 구조해석을 반영한 본 시험설비의 전체 Isometric 도면을 작성하였다.

계측제어 분야에서는 계측계통, 감시 및 제어계통, 자료 취득 및 처리계통으로 나누어 본 설비 목적에 적합하도록 설계되었으며, 전기 분야에서도 본 설비용량에 적합한 설계가 이루어졌다.

시험설비 설치 부지는 한국기계연구원 외곽으로 한수원 중앙연구원에서 직선거리로 약 100m인 지점으로 선정 하였다.

확보한 부지는 약 1000평의 공간으로써 시험설비 설치에 충분했고 필수 부대설비인 용수공급, 배수 및 전력선 인입 등 부대설비 공사가 용이하여 본 시험설비 설치에 적합한 것으로 판단하고 있다. 그림 2에 본 시험 설비 시험동의 건축 조감도를 나타냈다.

나. 시험설비 제작/설치

시험설비는 가로 40m, 세로 20m, 높이 18m 급으로써 주요 구성기기로는 고온수 탱크, 저온수 탱크, 압력방출



[그림 3] 고온수 탱크 제작



[그림 4] 시험설비 설치 공사

밸브 시험용 탱크, 질소저장 탱크, 냉동기, 히터, 지하 저수조, 고온수 순환펌프 등이 있다.

표 3에는 본 시험설비의 주요기기 사양을, 그림 3 및 그림 4에는 시험설비 제작 및 설치 사진을 나타냈다.

다. 인증 시스템 구축

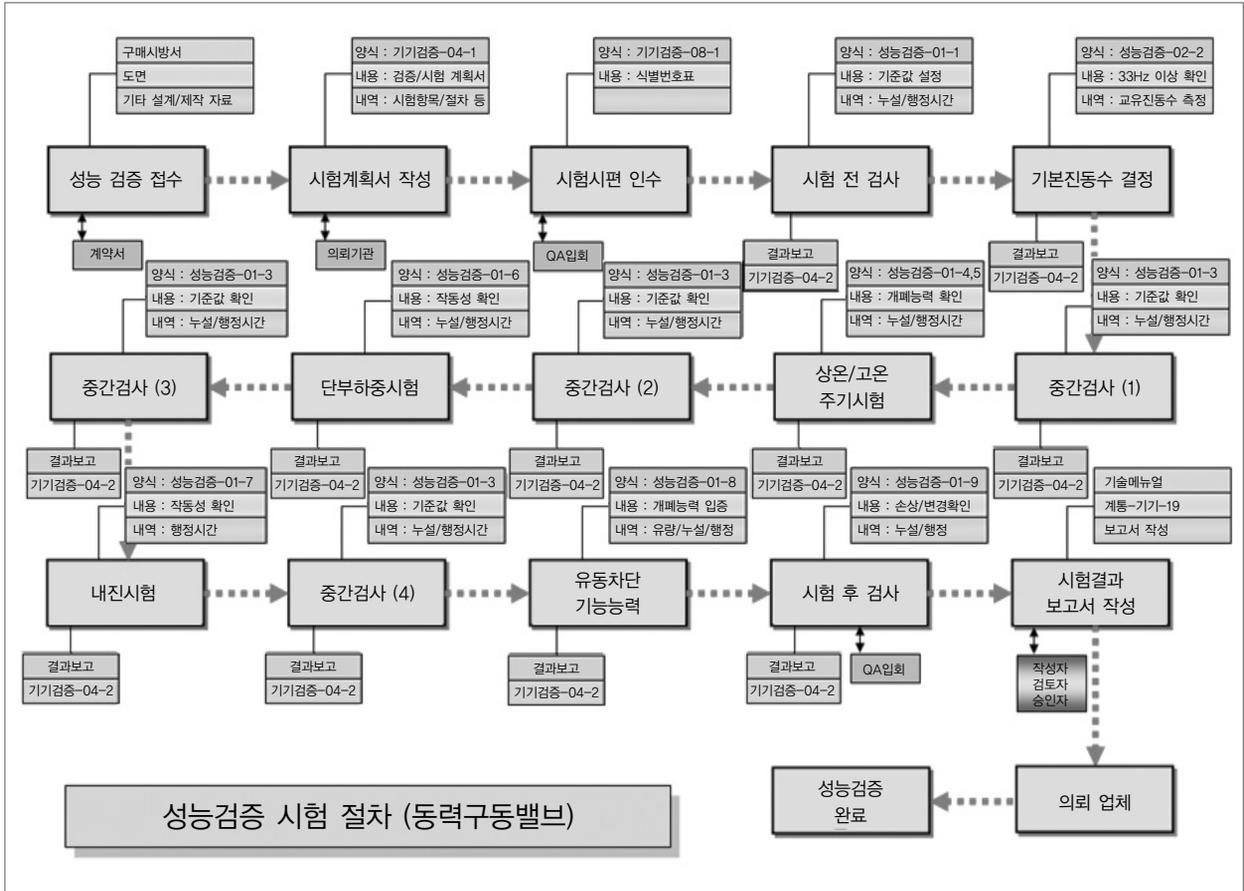
밸브의 성능검증 시험은 총 15종류의 시험항목을 정해진 순서에 따라 수행하여야 하며 펌프의 경우에는 총 6종류의 시험을 수행하여야 한다. 그림 5 및 그림 6에는 참고로 동력구동밸브의 성능검증 시험 절차 및 시험 수행 사진을 나타냈다.

또한 성능검증 시험을 수행하기 위한 공인 기관으로서 KEPIC(대한전기협회)의 인증을 취득하여야 한다. 이를 위해서는 시험을 수행하기 위한 설비 및 각종 시험 절차서와 더불어 품질보증 체계가 확립되어 있어야 한다.

한수원 중앙연구원은 두 차례의 심도 있는 KEPIC 인증

[표 3] 시험설비 주요기기 사양

No	기기명	규격 / 사양	수량
1	고온-고압탱크	15m ³ , 220kg/cm ² , 371°C, Material: SA-516 Gr.70	1
2	저온탱크	20m ³ , 53kg/cm ² , 120°C, Material: SA-516 Gr.70	1
3	지하 저수조	870m ³	1
4	급수탱크	5m ³ , 10kg/cm ² , 100°C	1
5	수처리 장치	R/O System 10m ³ /hr	1
6	질소발생 장치	100m ³ /hr, 99%	1
7	질소탱크	15m ³ , 265kg/cm ² , 100°C, Material: SA-516 Gr.70	1
8	Heater	500kW, 3Φ, 380V, 60Hz, 220kg/cm ² , 700°C	1
9	진공펌프	1000L/min, 50Torr, 50HP	1
10	Test Pump	SIP(수평원심형), 144.1kg/cm ² , 176.7°C, 3.09m ³ /min	1
11	Test Valve	MOV, 10", 176.7kg/cm ² , 343.3°C, 18.93m ³ /min	외 5
12	PRV 시험용 탱크	2m ³ , 220kg/cm ² , 220°C, Material: SA-516 Gr.70	1
13	배압탱크	1m ³ , 220kg/cm ² , 220°C, Material: SA-516 Gr.70	1
14	급수펌프	Q 0.17m ³ /min, H 60kg/cm ² , 100°C, 7.5Hp	1
15	냉각수 순환펌프	Q 0.17m ³ /min, H 60kg/cm ² , 100°C, 7.5Hp	1
16	고온수 순환펌프	Q 2.4m ³ /min, H 3kg/cm ² , 371°C	1
17	체크밸브 시험용 펌프	Q 20m ³ /min, H 3kg/cm ² , 100°C, 150Hp	1
18	열교환기	70kg/cm ² , 232°C, 98USRT	1
19	계통냉각 시스템	냉각탑, 250RT, 10HP	1
20	밸브 누설시험 장치	별도구성	1
21	단부하중시험 장치	별도구성	1
22	내진시험 장치	별도구성	1

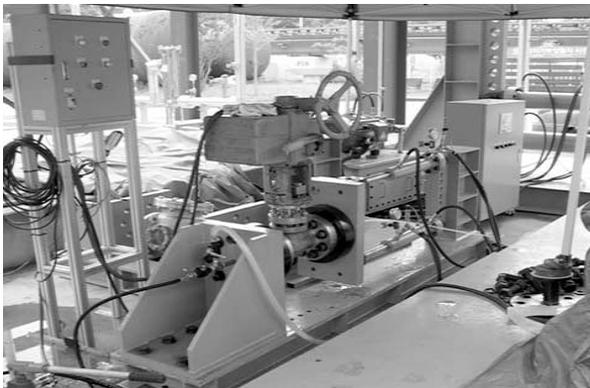


[그림 5] 동력구동밸브 성능검증 시험 절차

심사를 거쳐 2012년 8월 16일부로 성능검증 수행기관으로써의 인증을 취득하였다(그림 7 참조).

이로써 한수원 중앙연구원은 국내 최초로 원전 안전

등급 밸브/펌프의 성능검증 기관으로서 본격적인 운영을 시작하였으며, 향후 세계 최고수준의 검증시험 기술을 확보함으로써 글로벌 시험기관으로 도약할 수 있게 됐다.



[그림 6] 동력구동밸브 성능검증 시험 수행



[그림 7] KEPIC 인증서(성능검증 수행 기관)

구분	1단계		2단계		3단계	비고
	성장기반구축		시설 전문화 / 다변화		글로벌 기관 도약	
	D+1(2013)	D+2(2014)	D+3(2015)	D+4(2016)	D+5(2017)	
공통업무	전담인력 확보		시설 홍보	유관기관 협력체계구축		
시험 / 인증	KOLAS 인정 취득 / 전담 요원 교육		시설업무분야 확장		해외수요 개척	
연구개발	유체기기 성능시험 및 인증 서비스					
	국가 연구개발사업 발굴 수행 / 중장기연구개발사업 발굴 수행					
기업지원	기술지도 / 애로기술 자원체계구축		기업기술지원			
교육훈련	현장인력 교육 프로그램 개발	현장실습 프로그램 개발	교육훈련 수요 발굴 및 실시			

[그림 8] 시험설비 운영 방안

라. 시험설비 운영 방안

시험설비를 유체기기의 성능시험 및 인증분야에서 아시아지역의 거점기관으로 성장하는 것을 비전으로 하여 운영목표 및 운영분야를 설정하였다.

운영목표는 다음과 같이 4개 부문의 달성을 통해 궁극적으로는 운영자립화를 확보하는 것으로 하였다.

- (1) 설비를 효율적으로 운영할 수 있는 기술과 경험의 확보
- (2) 성능시험 및 인증의 전 과정에서 해외 유사시설에 비해 효율적이고, 신속한 서비스를 제공하고, 기술적 문제점에 대해 그 해결을 지원함으로써 고부가가치의 유체기기 국산화에 기여

(3) 우수한 제품의 개발과 생산을 지원함으로써 인증을 필요로 하는 밸브와 펌프분야에서 세계적인 경쟁력과 제품인지도를 가지는 세계적 수준의 전문기업 육성

(4) 설비를 통해 성능시험 및 평가분야의 전문인력 양성에 기여하고 이를 통해 제품의 신뢰성 제고에 기여함으로써 산업전체의 경쟁력 강화

운영분야는 시험 및 인증분야, 시험결과를 활용한 제품개발지원(기업지원), 신기술 및 신제품을 개발하기 위한 선도연구개발, 전문인력 양성을 위한 교육 및 훈련 분야로 나누어 추진하기로 하였다(그림 8 참조).

3. 전 망

본 원전 안전관련 밸브/펌프의 성능인증 및 체계구축의 성과로는

- 국내 최대급 고온-고압 실증시험 설비(온도 370℃, 압력 170bar)
- 국제 기술기준 만족(미국기계학회 ASME / 대한전기협회 KEPIC)
- 국내 최초 KEPIC 인증 취득(밸브/펌프 성능 검증 시험 수행 기관)

등으로 요약된다.

밸브/펌프 관련 제조업체에서는 지금까지 해외기관에 의뢰하여 수행하였던 성능검증이 국내에서 가능해짐으로써 많은 시간 및 비용이 절약되고, 관련 기자재의 국산화 및 고부가가치 제품 개발에도 기폭제가 되면서 기업이나 국가 경쟁력에 크게 기여하게 될 전망이다.

더불어 본 시험설비는 밸브/펌프의 성능검증 시험은 물론 원전의 설계 및 운전 현안 해결을 위한 실증시험 설비로도 활용함으로써 원전의 안전성·신뢰성 향상도 함께 기대하고 있다. KEA