

안전방출밸브 개발과 용량인증 사례

김칠성* · 노희선* · 김강태* · 김지현* · 김종수*

Experience for Development and Capacity Certification of Safety Relief Valves

Chilsung Kim*, Heeseon Roh*, Kangtae Kim*, Jiheon Kim* and Jongsu Kim*

Key Words: Safety relief valve(안전방출밸브), Overpressure(과압), Spring load(스프링 하중), Disc(디스크), Lifting force(양력), Capacity certification test(용량인증시험)

ABSTRACT

The purpose of this study is localization of safety relief valves for Nuclear Service. The safety relief valve is the important equipment used to protect the pressure vessel, the steam generator and the other pressure facility from overpressure by discharging the operating medium when the pressure of system is reaching the design pressure of the system. We developed design technology used FEM & CFM about safety relief valve for Nuclear Service according to ASME(or KEPIC) Code and KHNP's Technical Specification. To prove validity of a design technology, actually, we manufactured and inspected and tested the sample products designed according to a developed technology. The capacity qualification test was achieved according to requirement of ASME(or KEPIC) Code by NBBi and the functional qualification test was achieved according to ASME QME-1 for operating condition in technical specification of KHNP by NLI. Therefore we have to achieve the development of safety relief valves for Nuclear Service with our own technologies.

1. 서론

안전방출밸브(safety relief valve)는 발전소나 일반 플랜트 계통 내의 압력용기, 증기 발생장치 그리고 배관 및 부속기기 등을 설계압력 이상의 과압(overpressure)으로부터 손상 또는 폭발에 따른 물리적·인적 재해를 예방하기 위한 안전관련 핵심설비 요소이다. 안전방출밸브는 계통의 설계압력 이상에서 개방되어 급속히 압력을 방출하다가 정상 운전압력이 되면 다시 닫히는 단순한 기능을 하는 기계장치이나,

Fig. 1과 같이 밸브 몸체(body)와 보닛(Bonnet)의 구조적 안전성과 노즐(nozzle)과 디스크(disc) 등의 내부 트림 구조의 정확한 작동성과 정밀한 스프링 설계와 선정의 신뢰성이 요구되는 매우 세밀한 기기이다. 또한 어떤 불가항력적인 상황에 의해 모든 전자 또는 전기적인 안전장치들이 작동하지 않을 경우라도 확실하게 작동해야 하는 최후의 기계적 안전장치가 바로 안전방출밸브이다.

특히, 원자력발전소에 설치되는 안전방출밸브는 설계조건과 운전조건 그리고 환경조건에 따라 설계, 제조, 검사되고 그 작동성과 공칭분출량을 성능검증시험(functional qualification test)과 용량인증시험

* 신우공업(주) 기술연구소

책임저자 E-mail : kimcs@smartvalve.com

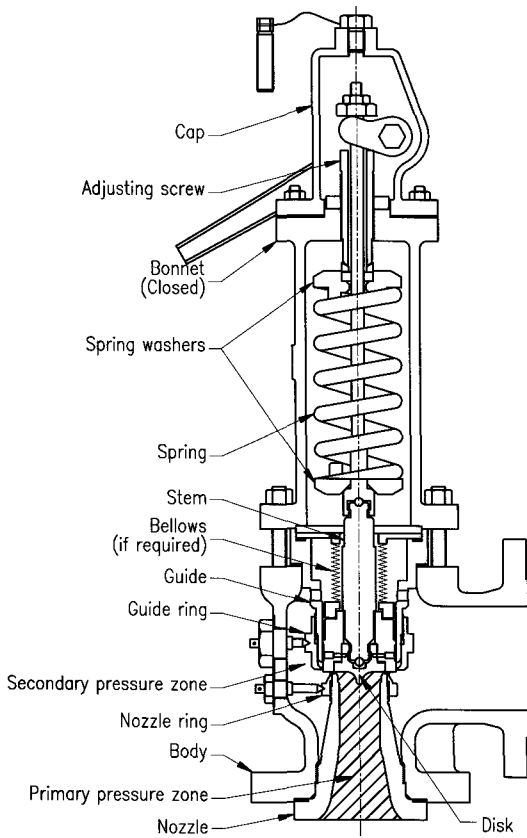


Fig. 1 Safety relief valve geometry

(capacity certification test)을 통해 입증해야 하는 매우 까다로운 밸브로서 아직 까지 국내에는 설계나 제작에 대한 경험이 전혀 없으며 관련 자료나 시험 설비도 매우 취약한 실정이다.

현재 원자력발전소에 사용되는 안전방출밸브 전량이 외국 제품들이기 때문에 수입으로 인한 외화 유출 뿐만 아니라 지속적인 유지관리를 요하는 밸브의 특

성상 밸브 진단 및 유지보수과정도 외국 기술에 의존함에 따라 발생하는 보수·유지비용과 처리시간 지연 등 물질적, 시간적, 경제적 손실을 감수해야 하는 실정이다.

따라서 본 연구는 원자력발전소용 안전방출밸브 국산화 개발을 목적으로 KEPIC MN Code⁽¹⁾ 또는 ASME Code Sec. III, Div.1⁽²⁾와 사용자 구매 기술규격서인 Tech. Specification⁽³⁾의 요건에 적합한 안전방출밸브 설계 제조 검사기술을 구축하고, 유한요소해석프로그램을 이용하여 안전방출밸브의 구조적 건전성을 입증할 수 있는 주요 부품들에 대해 구조해석과 진동해석 및 내지진해석기법과 분출하는 유체가 디스크(disk)에 미치는 힘, 즉 양력(lifting force) 값을 구해 설계에 반영하여 밸브의 원활한 작동을 보장하는 설계를 위하여 노즐(nozzle)과 디스크(disk) 내부 유동을 전산유동해석(CFD : Computational Fluid Dynamics)기법을 개발하고, Table 1과 같은 사양의 시제품 10종의 안전방출밸브들과 성능시험설비를 자체 제작하여 제조기술과 자체성능시험능력을 확보하고, KEPIC Code와 Tech. Spec.에서 규정하는 성능검증시험과 용량인증시험을 해외 시험기관을 통해 수행하여 그 기술력을 입증하기 위한 것이다.

2. 설계

2.1 주요 부품의 기능과 설계시 요구사항들

본 연구에서 개발하고자 하는 기기는 spring loading 형태의 안전방출밸브로서 구조와 각 부품의 명칭은 Fig. 1과 같다. 밸브와 부속품들은 technical specification⁽³⁾에서 지정한 모든 환경조건에 견디도

Table 1 specification of safety relief valve for nuclear service

개발제품의 명칭		안전방출밸브(safety relief valve), 주 증기(main steam)용 밸브 제외
용도		원자력발전소 계통에 사용되는 되 닫힘 기능이 있는 압력방출장치
성능	품질등급	Q, T, R
	크기 및 압력등급	크기: 1/2" × 1" ~ 8" × 10", 압력등급: ANSI Class 150 ~ 1,500
	적용유체	Liquid, Steam, Gas, Air
및 특성	Body 소재	SA105, SA216 WCB, SA351 CF8M
	형식	Conventional, Balanced Bellows, Open Bonnet
	레버 형식	Plain, Packed, None
	적용 코드	ASME B&PV Code Sec. III(VIII), KEPIC MN(MG) Code

록 설계되어야 하며 수명은 40년을 보장할 수 있도록 충분한 부식여유를 주어야 한다. Active 밸브는 사고 조건하에서도 고유의 작동성을 유지해야 하고 모든 밸브는 구동부를 포함한 fundamental natural frequency가 33hz 이상이어야 한다. 다음은 주요 부품들의 간략한 기능 설명과 구조적 건전성에 필요한 설계요건들이다.

- 1) Body(몸체) : 몸체의 입구는 압력용기나 계통 배관에, 출구는 분출관에 연결되며 계통 내의 압력과 유체 분출시 반동력을 견딜 수 있도록 하는 압력유지 기능을 하고 내부품을 감싸는 역할을 한다. 연결배관 보다 강하게 설계되어 지진하중과 반동력, 배관의 굽힘응력과 비틀림응력에 견뎌야 한다. 밸브 입·출구 부위를 통과하는 유체에 수직인 금속면적과 단면계수는 연결된 배관의 단면적과 단면계수의 110%이상이어야 하고 밸브 몸체의 허용응력(S_{valve})이 배관의 허용응력(S_{pipe})보다 작으면 배관의 단면적과 단면계수에 S_{pipe}/S_{valve} 를 곱한 값의 110% 이상이어야 한다⁽²⁾. 최소 벽두께는 1차 및 2차 압력구역의 범위와 압력조건을 고려하여 ANSI B16.34⁽⁴⁾를 적용하여 결정하고 운전응력, 원형이외의 다른 형상, 응력집중 그리고 밸브에 가해지는 굽힘응력과 설치응력을 고려하여 밸브 목 크로치(crotch) 부의 금속 두께를 보강해야 한다.
- 2) Nozzle(노즐) : 1차 압력을 받으며 분출시 분출 유체의 통로가 되고 디스크와 접촉하면서 시트기능을 한다. 노즐은 semi nozzle과 full nozzle형태가 있는데 밸브에 작용하는 각종 하중들에 의한 변형에 영향이 적은 full nozzle 형태로 설계한다.
- 3) Disc(디스크) : 정상운전 상태에서는 스프링 하중을 받아 작동유체의 누설을 방지하는 시트기능을 하고 과압시 급속한 열림으로 유체와 이물질의 충돌로 급격한 온도 변화가 생기는 핵심 부품으로 부식이나 침식에 강한 재질을 선택하여 설계한다. 디스크의 굽힘응력은 table 2의 A급 운전하중의 응력한계를 초과 할 수 없다.
- 4) Guide(가이드) : 디스크가 원활하게 상하로 움직이도록 하는 역할을 한다.
- 5) Guide ring(상부조절링) : 유체가 분출될 때

유동 방향을 아래로 향하게 하여 유동에 의한 반동력을 조절하는 장치로서 밸브가 열렸다가 다시 닫혔을 때의 압력을 조절하는 기능을 한다.

- 6) Nozzle ring(하부조절링) : 밸브의 초기 구동력을 예민하게 조절하기 위한 장치이다.
- 7) Spring(스프링) : 압축코일 스프링으로서 밸브를 닫아 주는 하중의 근원이다. 스프링의 강성이나 눌림량 설계에 따라 밸브의 성능에 민감한 영향을 미치는 매우 중요한 부품이다. 스프링의 영구 변형량은 전장의 1.0%이고 스프링의 사용 눌림량은 밀착 변형량의 80% 이내로 설계한다.
- 8) Stem(스텝) : 스프링의 하중을 디스크에 전달하는 기능을 하며 양 끝단에 압축하중을 받는 구조물이므로 좌굴현상이 일어나지 않도록 충분한 굽기로 설계한다. 스텝의 일반막응력은 Table 2의 A급 운전하중의 응력한계를 초과 할 수 없다.
- 9) Adjusting screw(조절나사) : 스프링의 눌림량을 조절하여 밸브가 열리는 압력을 설정해 주는 기능을 한다. 조절나사는 ANSI B1.1⁽⁵⁾의 방법에 따라 응력해석하며 그 응력은 $0.6S^2$ 이 하여야 한다.
- 10) Bellows(벨로우즈) : Balanced type의 밸브⁽⁶⁾에만 있는 구조로 back pressure가 밸브 구동에 영향을 주지 않도록 하는 기능을 하며 벨로우즈는 얇은 금속 막으로 파손이 쉬워 분출 유체와 직접 충돌하지 않도록 설계한다.

안전방출밸브는 장시간 노즐과 디스크가 눌린 상태에서 닫혔다가 위급 시 급속 개폐가 이루어지는 밸브이므로 시트를 포함하여 접촉되어 움직이는 금속 표면은 상대 경도차를 두어 금속간의 고착현상이 발생하는 것을 방지한다.

2.2 각 부품의 응력한계

안전방출밸브의 몸체, 보닛, 몸체와 보닛의 연결 볼트, 노즐, 디스크, 스텝, 조절나사, 스프링 시트는 각종 설계 및 운전하중에 대하여 구조적으로 안전성이 입증되어야 하는 주요 부품들로 운전하중과 응력한계는 Table 2와 같다. Table 2의 S값은 ASME Sec.II, Part D, Sub.1에 따른다.

Table 2 Stress limits^{(1),(2)}

운전하중	응력한계
A급	$\sigma_m \leq 1.0S$ (σ_m 또는 σ_L) + $\sigma_b \leq 1.5S$
B급	$\sigma_m \leq 1.1S$ (σ_m 또는 σ_L) + $\sigma_b \leq 1.65S$
C급	$\sigma_m \leq 1.5S$ (σ_m 또는 σ_L) + $\sigma_b \leq 1.8S$
D급	$\sigma_m \leq 2.0S$ (σ_m 또는 σ_L) + $\sigma_b \leq 2.4S$

* σ_m :일반막응력, σ_L :국부응력, σ_b :굽힘응력

3. 해석

3.1 유동해석에 의한 양력계산

안전방출밸브의 정확한 작동성은 디스크를 열려는 양력(lifting force)과 디스크를 닫으려는 스프링 하

중(spring load)의 상관관계에 달렸다. 유체가 디스크에 미치는 양력은 노즐, 디스크, 가이드, 조절링의 구조와 치수 비율에 영향을 받고 스프링 하중은 압축 스프링의 강성(spring constant)에 영향을 받는다. 안전방출밸브의 성능요건은 설정압력 이상의 과압이 걸리면 정격양정까지 디스크가 열렸다가 정상 운전압력 이상에서 다시 닫혀야 하는 것으로 양력과 스프링 강성과의 관계가 적절하지 않으면 성능에 악영향을 미치게 된다.

따라서 본 연구에서는 전산유동해석 기법을 이용한 양력 계산방안을 마련하여 스프링 강성을 선정하는데 반영하였다. 유동해석에는 ANSYSIM FLOTTRANM (Revision 5.5.1)모듈⁽⁷⁾이 사용 되었으며 모델링 요소는 2차원 축대칭 요소인 fluid141을 사용하였다. Figs. 2와 3은 노즐, 디스크, 조절링에 대한 유로를 축대칭으로 모델링된 요소와 절점과 경계조건을 보여주는 그림이다.

유동해석결과 Fig. 4와 같은 유로 내의 속도분포와 Fig. 5과 같은 압력분포를 얻었고 디스크 하부면의

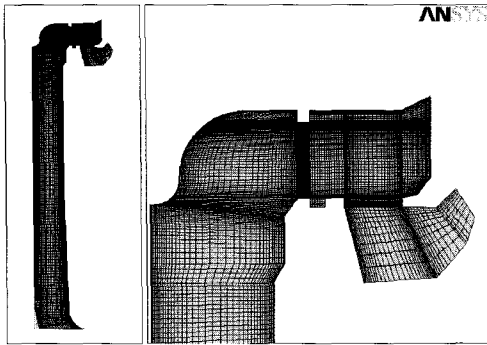


Fig. 2 Modeling-elements

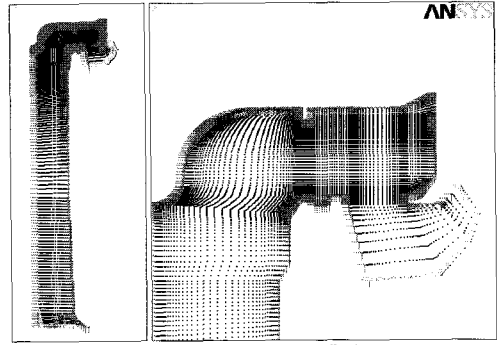


Fig. 3 Nodes & boundary condition

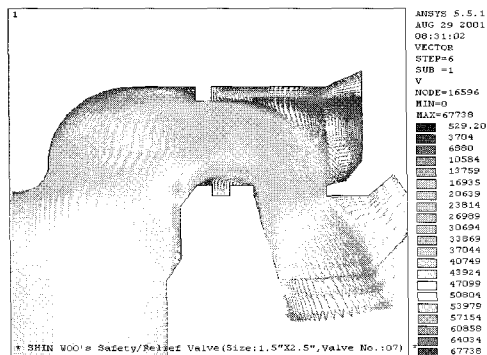


Fig. 4 Velocity contour

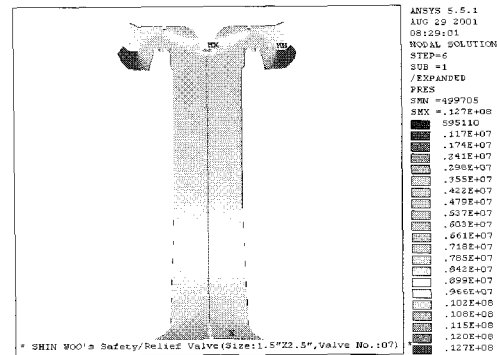


Fig. 5 Pressure contour

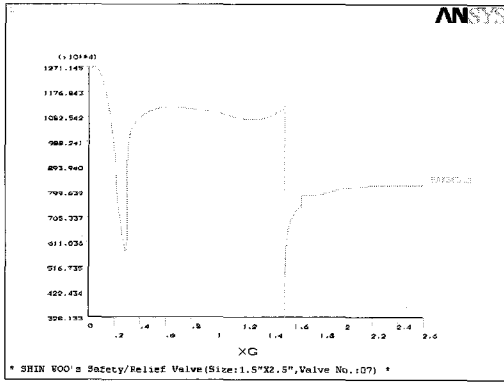


Fig. 6 Pressure graph

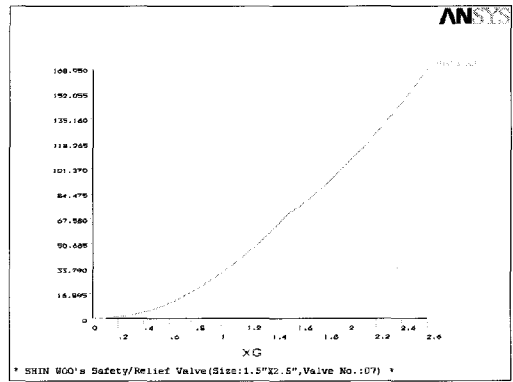


Fig. 7 Lifting force graph

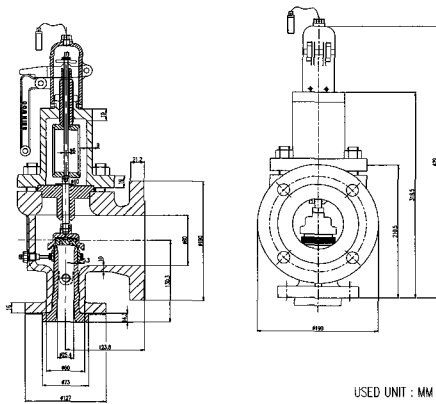


Fig. 8 Safety relief valve schematic

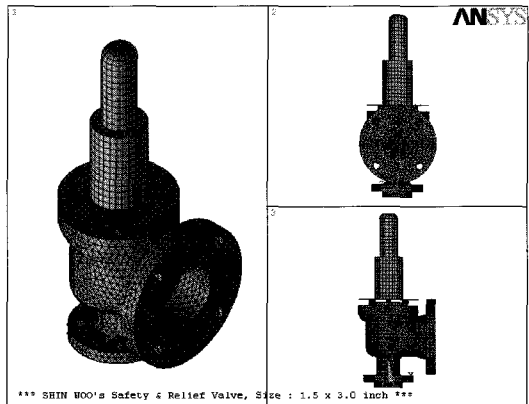


Fig. 9 The finite element mesh

node에서의 압력 값은 Fig. 6의 그래프와 같고 이때 디스크에 미치는 유체의 힘은 Fig. 7과 같이 구할 수 있었다.

3.2 주요 부품에 대한 구조해석

본 연구에서는 ANSYS™ 프로그램을 이용한 유한 요소해석을 통하여 설계된 밸브의 노즐, 디스크, 스템, 스프링 시트, 몸체와 보닛에 대해 설계하중과 운전하중에 대한 구조해석을 수행하여 계산된 응력 값이 Table 2의 응력한계를 초과 하지 않는다는 것을 보여 밸브 설계에 대한 구조적 건전성을 입증하였다.

3.3 모달해석과 지진해석

안전방출밸브의 동특성(dynamic characteristics)을 파악하고 technical specification⁽³⁾에서

요구하는 DBE(design basis event) 조건하에서 밸브의 건전성을 입증하기 위하여 Fig. 8와 같이 설계된 밸브를 Fig. 9와 같이 모델링하고 ANSYS™ 프로그램으로 모달해석과 지진해석을 수행하였다.

해석을 위한 가정과 경계조건은 다음과 같다.

① 내부의 작은 부품, 너트, 레버와 같은 부품들은 Lump masses로 처리하였고, ② 밸브 입구측 배관 플랜지와 체결되는 볼트 자리의 절점에 UX, UY, UZ=0로 구속조건을 주었고, ③ 밸브 출구측 플랜지 방향이 X축방향이고, ④ 해석의 시간과 노력을 줄이기 위하여 보수적인 해석으로써 faulted condition 하중 조건⁽³⁾을 가하고 응력한계 값은 service level A값으로 비교하여 건전성을 입증하였고, ⑤ Fig. 10과 같이 밸브의 fundamental natural frequency가 33Hz이상이므로 static analysis방식으로 지진해석을 수행하였다.

해석 결과 전체 밸브의 고유진동수가 33Hz 보다

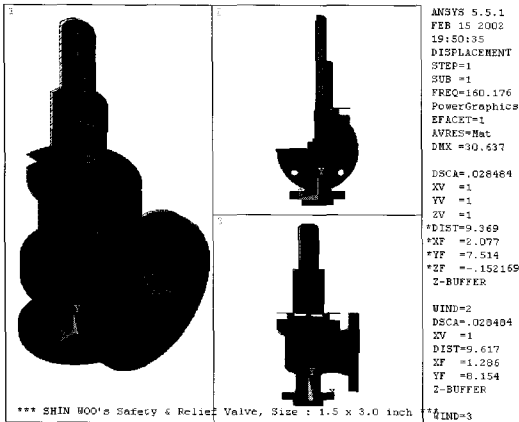


Fig. 10 First mode shape

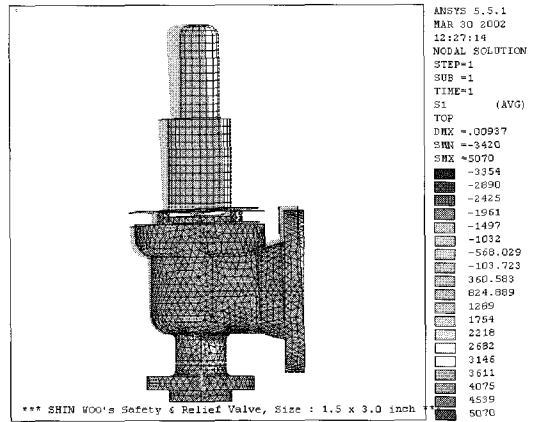


Fig. 11 Static analysis result

크다는 것과 계산된 최대응력값이 응력한계 이내에 있으므로 밸브는 지진하중을 포함한 운전하중에 대하여 구조적으로 안전하다는 것을 입증하였고, moving part인 스템의 변형량이 설계 공차 내에 있으므로 밸브의 안전관련 작동성도 해석적으로 입증할 수 있었다.

4. 시험

4.1 시험조건

압력용기나 압력계통이 운전 중 노출될 수 있는 최대의 압력을 design pressure(DP)이라 하고, 대개의 경우 이 압력을 최대허용사용압력(Maximum Allowable Working Pressure, MAWP)⁽⁶⁾이라 한다. 안전방출밸브의 set pressure(SP)는 DP or MAWP을 초과할 수 없다.

안전방출밸브는 되닫힘 기능을 갖는 장치로서, 밸브

의 개방압력을 set pressure라 하고 되닫힘압력을 reseal pressure라 하며 set pressure와 reseal pressure의 차를 blowdown pressure라 한다.

Table 3은 KEPIC Code에서 요구하는 set pressure tolerance를 보여준다.

Blowdown에 대하여 특별한 요건이 없으나 용량 인증시험을 할 때 압축성 유체를 사용하는 밸브는 set pressure의 5% 이내로 blowdown 값을 맞추고 용량시험을 해야 하는 요건이 있다.

밸브는 작동할 때 chattering이나 fluttering과 같은 불안정한 작동이 없어야 하고 사용유체가 압축성 인 밸브는 포핑(popping)하면서 열려야 한다.

작동시험은 3회 이상 수행한다.

안전방출밸브에 대한 누설시험 요건은 API 527⁸을 따른다. API 527에 따라 사용유체가 증기인 경우 누설량 기준은 no visible이고, 물의 경우 밸브의 inlet size가 NPS 1in 이상일 때는 10 cc/hr/in of nominal inlet이고, NPS 1in 이하일 때는 10 cc/hr

Table 3 Set pressure tolerance^{(1),(2)}

Application	Allowable Accumulated Pressure	Specified Set Pressure	Set Pressure Tolerance with Respect to Set Pressure	
			Safety	Safety Relief
KEPIC MN Code & ASME Sec. III	10% above the design pressure	≤DP*	± 2psi for pressure up to and including 70 ± 3% for pressure above 70psi up to and including 300psi ± 10psi for pressure above 70psi up to and including 300psi ± 1% for pressure above 1000psi	± 2psi for pressure up to and including 70psi ± 3% for pressure above 70psi

* 대부분의 경우 design pressure와 maximum allowable working pressure는 동일함.

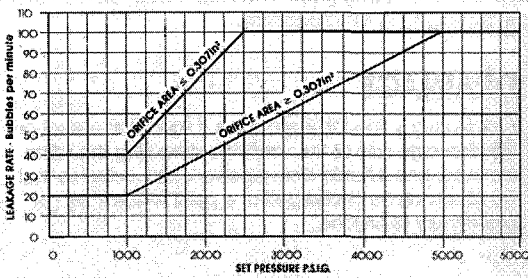


Fig. 12 Allowable leakage

이며, 공기인 경우는 Fig. 12와 같이 orifice size와 set pressure에 따라 누설 허용량이 주어진다.

Accumulated pressure⁽⁶⁾는 압력용기에 과압이 작용하여 압력방출장치(밸브)로부터 유체가 배출될 때 design pressure or maximum allowable working pressure 보다 높은 압력을 허용하는 것으로 안전방출밸브는 accumulated pressure(밸브의 측면에서는 overpressure)이내에서 충분한 양의 유체를 배출하여야 하는데, 안전방출밸브는 대한전기 협회 또는 ASME에서 시험기관으로 인정하는 시험

기관으로부터 밸브에 대한 용량인증시험(capacity certification test)⁽²⁾을 수행하고 그 분출량을 인증받아야 한다.

또한 사고 시에도 안전관련 기능을 유지해야 하는 active valve⁽³⁾는 tech. spec.의 운전조건에 따라 DBE(design basis event)가 진행 중과 발생 후에도 안전관련 기능을 유지한다는 것을 ASME QME-1⁽⁹⁾에 따라 성능검증시험(functional qualification test)을 통해 입증하여야 한다.

4.2 자체성능시험

본 연구에서는 안전방출밸브의 작동시험과 시트부에서의 누설시험을 수행할 수 있는 시험설비를 자체 제작하여 시제품 밸브에 대한 성능시험을 자체적으로 수행하였다.

다음의 그림들은 자체 제작된 시험설비와 시험장면을 보여주는 것들이다. 자체성능시험을 통해 밸브의 set pressure와 reseal pressure 그리고 시트부 누설량을 측정하였고 밸브의 작동성-fluttering,

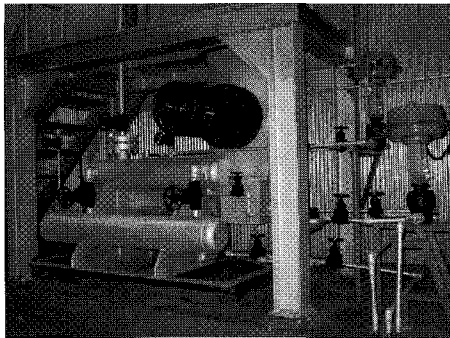


Fig. 13 Steam & high pressure gas test line

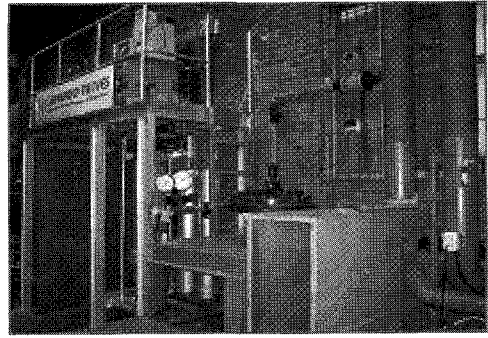


Fig. 14 Water test line

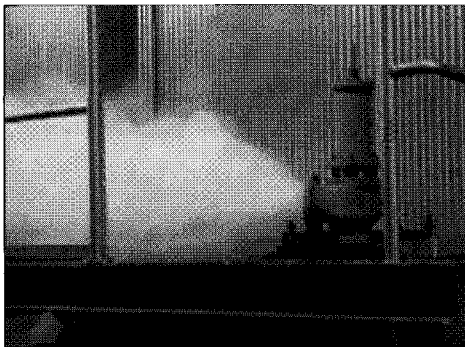


Fig. 15 Steam test line

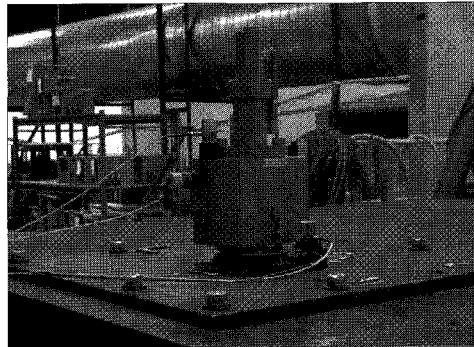


Fig. 16 Functional qualification test

chattering 발생여부-을 확인한 결과 모두 성능요건에 적합하다는 것을 확인할 수 있었다.

4.3 Active valve에 대한 성능검증시험

성능검증시험(functional qualification test)이란 밸브 성능에 미칠 수 있는 모든 환경조건(온도, 압력, 습도, 방사선, 전자기파, 진동 등)과 지진(설계기준사고), 공정유체/진동하중을 포함하는 조건 하에서 밸브가 아무런 손상 없이 안전관련 기능을 수행한다는 것을 입증하는 시험이다.

본 연구에선 active valve - 압력방출밸브 3/4" x 1", 진공방출밸브 2" x 2" -에 대해 성능검증시험을 ASME QME-1에 따라 미국의 시험기관인 Nuclear Logistics Inc.(NLI)에서 수행한 결과 모든 환경과 하중조건에 대해서 밸브의 성능을 입증하였다. 다음은 성능검증시험 항목과 순서이다.

- 1) Group 1
 - Pretest inspection
 - Baseline functional test
- 2) Group 2
 - Fundamental frequency determination (Resonance search test)
 - Seismic test
 - Discharge-pipe and reaction-loading qualification test
 - Combined seismic and loading test
 - External environment test
 - Thermal effects test
- 3) Group 3
 - Final performance test
 - Post test inspection

5. 용량인증 사례

본 연구를 통해 1차로 제작된 밸브 10종에 대하여 ASME에서 지정한 용량인증시험기관인 미국의 NBBI (National Board of Boiler & Pressure Vessel Inspectors)으로부터 성능시험과 용량인증시험을 수행한 결과 ASME Sec. III NC7000의 요건들을 모두 만족시켜 단일밸브법에 의한 10종의 용량인증서를 받았고 이를 근거로 대한전기협회에 원자력등급용 제조 허가업체 신청서를 제출하여 대한전기협회로부터

공장심사와 공장시험을 통해 품질관리 시스템의 적절성과 이행능력을 검증받아 국내 최초로 KEPIC MN Code에 따른 제조자 인증업체의 자격을 획득하였다.

다음은 신규 원자력발전소와 일반플랜트에 적용 가능한 전 범위의 용량인증을 획득하기 위해 2차로 용량인증시험을 수행한 사례이다.

- 1) 용량인증범위
 - 품질등급 : 안전관련등급 (Q class) & 비안전관련등급 (T, R class)
 - 밸브형식 : conventional & balanced Bellows
 - 적용유체 : steam, air, gas, water
 - 밸브크기 : 0.5in x 1in ~ 8in x 10in
 - 설정압력 : 15 ~ 6,000 psi (comp. flow), 3 ~ 6,000 psi (incomp. flow)
- 2) 설계검토 및 용량인증시험기관 : National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors. (ASME designee)
- 3) 시험방법 : discharge coefficient method
- 4) 시험대상밸브 : 총 18대
 - 분출계수법(discharge coefficient method)에 따라 용량인증시험을 위해서는 한 가지 모델에 대해서 최소 9대의 밸브가 필요하다.
 - 압축성 적용유체 밸브의 9대 중 7대는 공기로 2대는, 증기로 시험하여 공기와 증기에 대한 적용유체를 동시에 인증 받았고, 9대의 밸브 중 6대는 conventional type으로 3대는 balanced bellows type의 밸브를 용량인증 시험에 사용하여 conventional과 balanced bellows type 밸브를 동시에 인증 받았다.
 - 비압축성 적용유체 밸브의 9대 중에서 6대는



Fig. 17 Capacity certification test (water)

conventional type으로 3대는 balanced bellows type의 밸브를 용량인증시험에 사용하여 conventional과 balanced bellows type 밸브를 동시에 인증 받았다.

5) 주요 측정항목들

- Setting pressure
- Lift
- Reseat pressure(Blowdown)
- Flow rated(discharge coefficient value)

6) 적용코드

- 성능요건
: KEPIC MN7513(ASME SEC. III SUB. NC/ND 7513)
: KEPIC MGB7512(ASME SEC. VIII UG-126(d))
- 용량시험요건
: KEPIC MN7730(ASME SEC. III SUB. NC/ND 7730,7740)
: KEPIC MGB7730(ASME SEC. VIII UG-131)

6. 결론

본 연구를 통하여 원자력발전소용 안전방출밸브에 대한 국내의 취약한 기초설계개념과 설계해석기법과 제조기술 및 성능시험설비구축 방안을 제시하였고, 아직까지 용량인증시험기관이 없고 용량인증제도 방안이 제대로 정립되지 못한 단계에서 개척자적인 역할이라

는 성과와 함께 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 원자력발전소용 안전방출밸브에 관한 적용코드와 기술기준서 그리고 기타 설계표준에 부합하는 설계, 제조, 검사, 시험기술 및 각종설비를 구축하여 원자력발전소용 안전방출밸브를 국산화 하였다.
- 2) 전산유동해석(CFD) 기법을 이용해 유동이 디스크에 미치는 힘(양력)을 계산하고 설계에 반영하여 밸브의 원활한 작동성을 보장하는 설계 기법을 제시하였다.
- 3) 유한요소해석프로그램을 이용한 구조해석, 모달해석과 내진해석을 수행하여 설계된 밸브의 구조적 건전성을 입증하였다.
- 4) 시제품 밸브와 성능시험설비를 자체 제작하여 자체성능시험을 수행한 결과 모두 적합한 성능을 입증함으로써, 추후 양산제품 생산과 성능시험 및 검사 방안에 대한 절차와 설비들을 구축하게 되었다.
- 5) Active 밸브에 대한 성능검증시험을 해외 시험기관으로부터 수행하여 모든 환경/하중조건 하에서 밸브의 안전관련 기능을 입증하였다.
- 6) ASME가 지정한 시험소이면서 ASME designee인 NBBI로부터 설계검토와 용량인증시험 받아 대한전기협회로부터 KEPIC 자격인증과 용량인증을 획득하였다.

후 기

본 연구는 한국수력원자력(주)과 협력연구개발과제로 수행하였던 국산화 개발과제로서, 과제선정부터 모든 연구과정에서 함께 수고해 주신 한수원측 관계자 여러분들과 신우공업(주)이 원자력등급용 안전방출밸브 제조자 허가 업체로 지정될 때까지 코드 해석과 적용에 많은 조언을 아끼지 않으신 대한전기협회 관계자 분들께 심심한 감사를 표합니다.

참고문헌

- (1) KEPIC MN Code, 1998 Edition with 1998 through 2000 Addenda.
- (2) ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, 1995 Edition with 1995 through 1997 Addenda.



Fig. 18 Capacity test (steam)

- (3) KEPCO Design Specification 9-184-J237, Revision 0
- (4) ANSI B16.34, "Valve-Flanged, Threaded, and Welding End", 1995 Edition
- (5) ANSI B1.1, "Unified Inch Screw Threads (UN and UNR Thread Form)", 1982 Edition
- (6) API Recommended Practice 520, "Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refiners", 1993
- (7) ANSYS, "Ansys User's Manual for Revision 5.5.1" Swanson Analysis System Inc.
- (8) API Standard 527, "Seat Tightness of Pressure Relief Valves", 1991
- (9) ASME QME-1-1994, "Qualification of Active Mechanical Equipment Used in Nuclear Power Plants."