

안전밸브 성능점검 자료 분석을 통한 운전 중 점검방법 도입의 필요성 고찰

장유리 · †김정환 · 길성희 · 곽영환*

한국가스안전공사 가스안전연구원, *에스씨에스 주식회사
(2017년 8월 10일 접수, 2017년 12월 1일 수정, 2017년 12월 2일 채택)

The necessity of Introducing the In-service Test based on Analysis of Performance Test Result of Pressure Safety Valve

Yu Ri Jang · †Jeong Hwan Kim · Seong Hee Kim · Young Hwan Kwak*

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, *SCS Co., Ltd
(Received August 10, 2017; Revised December 1, 2017; Accepted December 2, 2017)

요약

안전밸브는 높은 압력을 사용하고 있는 공장들의 안전을 확보하기 위한 최후의 수단이다. 안전밸브의 고장은 대형사고로 이어지므로, 주기적으로 작동성능을 점검하도록 법으로 정해져 있다. 현재 안전밸브의 작동성능을 확인하기 위해서 직접검사방법을 이용하고 있으나 이는 검사 사각지대의 유무, 비용 및 효율적인 손실 등으로 인해 운전 중 검사 방법의 개발이 요구 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 안전밸브 성능검사 결과자료를 분석하여 국가 산업단지의 불안정한 안전밸브 상태를 살펴봄으로써 현재 운용 중인 직접검사법만으로는 안전성의 확보에 한계가 있음을 확인했다. 이에 따라 직접검사법의 한계를 극복하기 위하여 운전 중 검사법 도입의 필요성을 검토하고, 필수 기반 시설에의 적용을 의무화 하는 등 공정 운전 중에도 안전밸브의 검사가 가능한 방법의 개발과 관련 제도의 변화가 필요할 것으로 판단된다.

Abstract - The pressure safety valve is very important device for securing the safety in the facilities which is operated by high pressure gases. The performance test should be periodically inspected by relate law because the failure of pressure safety valves might be main causes of serious accidents in the industrial fields. Shop test is mainly use for inspecting the performance test of pressure safety valves but the test method is not to be a solution for securing the safety. So, the development of alternative method is required.

In this paper, there is a limit to securing the safety if the performance test is with just shop test. The limitation is checked from analysis result based on performance test results of pressure safety valves. The necessity for introducing the in-service test is reviewed to surmount the limitation. As a result, in-service test method should be developed and introduced to improve the inspection efficiency and economical loss. Also, it can be reduce the risk level.

Key words : in-service test, pressure safety valves, performance test, high pressure

1. 서론

여수, 울산, 대산과 같은 국가 산업단지 내 고압 가스시설에는 대형 사고를 예방하기 위하여 안전장치를 설치하고 있다. 그 중 안전밸브는 높은 압력을

사용하고 있는 공장들의 안전을 확보하기 위한 최후의 수단이다. 안전밸브의 고장은 1차적으로 설비의 손상을 발생시키며 공정 손상으로 범위가 확대될 수 있으므로, 주기적으로 작동성능을 점검하도록 관련법으로 정해져 있다.

현재 안전밸브의 작동성능을 확인하기 위해서는 직접검사법을 이용하고 있으나 다음의 제한 사항으로 인해 간접검사법(운전 중 검사 방법)의 개발이

†Corresponding author: abbu2k@kgs.or.kr
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

요구되고 있는 실정이며, 한국에서는 제한적으로 사용되는 방법이다. 뿐만 아니라 공정 운전 중 안전밸브 성능 점검 방법을 도입하기 위한 기준이나 관련법 및 검증 방법 역시 존재하지 않는다.

- 검사 사각지대 : 상시 운행 공정의 경우 적용 불가능
- 비용 : 부대비용 · 장 정지로 인한 비용 손실 발생
- 효율 : 독성가스를 위한 사전 작업 처리 및 상당한 검사 소요시간 발생

본 연구에서는 간접검사법의 한계를 극복하기 위하여 공정 운전 중에도 안전밸브의 검사가 가능한 방법의 개발과 관련 제도의 재정비가 필요함을 점검결과의 분석을 통해 검증하고자 한다. 이를 위해 7개년 간(2010년~2016년) 6,000개 이상의 안전밸브 검사 결과 자료를 분석하여 국가 산업단지의 불안정한 안전밸브 상태를 살펴봄으로써 직접검사법을 이용한 방식만으로는 안전사각지대 ZERO-화에 한계가 있음을 확인했다. 이에 따라 국외와 같이 운전 중 검사법을 인정하고, 필수 기반 시설에 적용을 의무화하는 등 간접검사법의 운용의 필요성을 언급하고자 한다.

II. 본 론

2.1. 개요

(1) 안전밸브

안전밸브는 유체를 사용하는 설비나 계통에 설치되어 계통의 압력이 설계상 허용되는 설정 압력(Set pressure)이상으로 높아질 때 자동으로 작동하는 장치이다[1]. 과도한 압력을 안전하게 외부로 방출시켜 계통의 압력을 정상 압력 이하로 감압시킴으로써 과압으로 인해 발생할 수 있는 압력용기, 저장탱크 및 배관의 파열을 방지하여 안전을 확보 한다.

우리나라 석유화학 단지의 공장규모가 30~45년 동안 기하급수적으로 커짐과 동시에 안전밸브 수량도 급격히 늘어났으며, 특히 30~40년 이상 사용하고 있는 안전밸브의 노후화가 많이 진행된 상태로 그 성능의 정상 작동 유무를 정확히 판단하기 어렵다. 안전밸브의 고장으로 인한 사고는 대형사고로 이어지며, 여러 단위공정이 밀집되어 있는 단지의 경우 안전밸브 1개의 고장으로 발생한 사고가 단지 전체의 영향을 줄 수 있으므로 독성가스 및 유해물질을 취급하고 있는 석유화학 및 정유 관련 사업에서는 주기적으로 안전밸브의 작동성능을 점검하고

정상작동여부를 확인하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

(2) 국내 안전밸브 성능검사 관련 제도 및 기술기준
국내 안전밸브의 설치 및 성능검사에 대한 내용이 의무사항으로 규정 된 제도는 고압가스안전관리법 · 산업안전보건법 · 에너지이용합리화법 · 전기사업법 등이 있으며, 일반적으로 석유화학단지에는 고압가스안전관리법과 산업안전보건법이 적용된다.

고압가스안전관리법 제16조의2(정기검사 및 수시검사)는 제4조에 따른 허가를 받은 자나 신고를 한 자 또는 제5조의3에 따라 등록한자는 허가관청 · 신고관청 또는 등록관청의 검사를 받아야 한다고 규정하고, 같은 법 시행 규칙 제30조(정기검사) 별표19(정기검사의 대상과 대상별 검사의 주기)를 정해 놓고 있다. Table 1은 시행 규칙 제30조 별표 19 정기검사의 대상별 검사주기의 일부이다. 이에 따르면 고압가스특정제조자는 4년마다 정기검사를 실시해야하고, 재검사는 시행규칙 제39조에 따라 안전밸브는 검사 후 2년을 경과하여 해당 안전밸브가 설치 된 저장탱크의 재검사주기에 맞추어 검사를 실시 할 수 있고, 압력용기는 4년마다 재검사를 실시해야한다[2].

또한, 산업안전관리법에서는 법 제36조(안전검사) 및 산업안전보건기준에 관한 규칙 제261조(안전밸브 등의 설치) 제3항에 규정되어 있다. 화학공정 유체와 안전밸브의 디스크 또는 시트가 직접 접

Table 1. Act enforcement regulations Article 30 (Periodical inspection) Attached table 19[2]

검사대상	검사주기
가. 제3조제1호 · 제2호 및 제4호에 따른 고압가스특정제조허가를 받은 자(이하 이 표에서 “고압가스특정제조자”라 한다)	매 4년
나. 고압가스특정제조자 외의 가연성가스 · 독성가스 및 산소의 제조자 · 저장자 또는 판매자(수입업자를 포함한다)	매 1년
다. 고압가스특정제조자 외의 불연성가스(독성가스는 제외한다)의 제조자 · 저장자 또는 판매자	매 2년
라. 그 밖에 공공의 안전을 위하여 특히 필요하다고 산업통상자원부장관이 인정하여 지정하는 시설의 제조자 또는 저장자	산업통상자원부장관이 지정하는 시기

안전밸브 성능점검 자료 분석을 통한 운전 중 점검방법 도입의 필요성 고찰

축될 수 있도록 설치된 경우 매년 1회이상, 안전밸브 전단에 파열판이 설치된 경우는 2년마다 1회 이상 정기검사를 실시해야하며, 공정안전보고서 이행상태가 평가결과가 우수한 사업장의 안전밸브의 경우는 4년에 한번으로 검사주기가 연장된다[3].

그 밖에 국내 안전밸브 관련 규격으로 『KS B 6216(증기용 및 가스용 스프링 안전밸브)』이 있고, 이 규격은 원통 코일 스프링에 의한 직동식 증기용 스프링 안전 밸브 및 가스용 스프링 안전밸브에 대하여 규정한다. 그 이외에 관련된 기준 및 기술지침

Table 2. Comparison of pressure safety valve standards in Korea[4-6]

KGS AA319 고압가스용 안전밸브 제조의 시설·기술·검사·재검사 기준	KOSHA GUIDE D-48 안전밸브의 분출압력시험에 관한 기술지침	KS B 6216 증기용 및 가스용 스프링 안전밸브																														
<p>3.8.3 작동 성능</p> <p>3.8.3.1 안전밸브의 작동은 확실하고 안전한 것으로 한다.</p> <p>3.8.3.2 분출개시압력의 허용치는 설정압력이 0.7 MPa이하인 것은 설정압력의 ±0.02 MPa, 0.7 MPa를 초과하는 것은 설정압력의 ±3% 인 것으로 한다.</p> <p>3.8.3.3 분출차의 압력은 분출압력 또는 설정압력에 따라 표 3.8.3.3에 따른다.</p> <p>표 3.8.3.3 분출압력 또는 설정압력에 따른 분출차의 압력 (단위:MPa)</p> <table border="1" data-bbox="182 929 511 1248"> <thead> <tr> <th>분출압력 또는 설정압력</th> <th>분출차의 압력</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1 이하</td> <td>0.02 이하</td> </tr> <tr> <td>0.1 초과 0.2 이하</td> <td>0.03 이하</td> </tr> <tr> <td>0.2 초과 0.3 이하</td> <td>0.04 이하</td> </tr> <tr> <td>0.3 초과</td> <td>설정압력의 15% 이하</td> </tr> </tbody> </table> <p>3.8.3.4 밸브몸체를 밸브시트에서 들어 올리는 장치는 3회 이상 측정하여 설정압력의 75% 이상에서 작동되는 것으로 한다.</p>	분출압력 또는 설정압력	분출차의 압력	0.1 이하	0.02 이하	0.1 초과 0.2 이하	0.03 이하	0.2 초과 0.3 이하	0.04 이하	0.3 초과	설정압력의 15% 이하	<p>6.1 분출압력 허용차</p> <p>(1) 증기용 안전밸브의 분출압력 허용차는 <표1>과 같다.</p> <p><표 1> 증기용 안전밸브의 분출압력 허용차</p> <table border="1" data-bbox="554 774 876 1064"> <thead> <tr> <th>설정압력 [MPa(gauge)]</th> <th>허용차</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5 미만</td> <td>± 0.014 MPa</td> </tr> <tr> <td>0.5 이상 2.3 미만</td> <td>± (설정압력의 3%)</td> </tr> <tr> <td>2.3 이상 7.0 미만</td> <td>± 0.07 MPa</td> </tr> <tr> <td>7.0 이상</td> <td>± (설정압력의 1%)</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 가스용 안전밸브의 분출압력 허용범위는 분출개시 압력의 1.1배 미만으로 한다.</p>	설정압력 [MPa(gauge)]	허용차	0.5 미만	± 0.014 MPa	0.5 이상 2.3 미만	± (설정압력의 3%)	2.3 이상 7.0 미만	± 0.07 MPa	7.0 이상	± (설정압력의 1%)	<p>5.1 분출 개시 압력의 허용차</p> <p>안전밸브의 분출 개시 압력의 허용차는 다음에 따른다.</p> <p>a) 증기용의 경우 증기용 안전밸브의 분출개시 압력에 대해서는 규정하지 않는다.</p> <p>b) 가스용의 경우 가스용 안전밸브의 분출개시 압력의 허용차는 설정압력에 대하여 ±5%(다만, 최소 ±0.025 MPa {±0.25kgf/cm²})로 한다. 다만 설정 압력을 초과하는 것을 허용할 수 없는 경우의 허용차는 +쪽을 -쪽에 더하도록 한다.</p> <p>5.2 분출압력(포핑 압력)의 허용차</p> <p>안전밸브의 분출 압력의 허용차는 다음에 따른다.</p> <p>a) 증기용의 경우 증기용 안전 밸브의 분출 압력의 허용차는 표1에 따른다. 다만 설정 압력을 넘는 것을 허용할 수 없는 경우의 허용차는 +쪽을 -쪽에 더하도록 한다.</p> <p>표 1 증기용 안전밸브의 분출압력의 허용차 단위: MPa {kgf/cm²}</p> <table border="1" data-bbox="921 1190 1243 1460"> <thead> <tr> <th>설정압력</th> <th>허용차</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5{5} 미만</td> <td>±0.014{±0.14}</td> </tr> <tr> <td>0.5{5}이상 2.3{23}미만</td> <td>±(설정압력의3%)</td> </tr> <tr> <td>2.3{23}이상 7.0{70} 미만</td> <td>±0.07{±0.7}</td> </tr> <tr> <td>7.0{70}이상</td> <td>±(설정압력의 1%)</td> </tr> </tbody> </table> <p>b) 가스용의 경우 가스용의 안전밸브의 분출압력의 허용범위는 분출개시 압력의 1.1배 미만으로 한다. 다만 분출압력으로 설정하는 경우의 분출 압력의 허용차는 설정압력의 ±3%(최소값 ±0.014 MPa{±0.14kgf/cm²})로 한다.</p> <p>비고 : 가스용의 경우, 설정 압력은 일반적으로 분출 개시 압력으로 한다.</p>	설정압력	허용차	0.5{5} 미만	±0.014{±0.14}	0.5{5}이상 2.3{23}미만	±(설정압력의3%)	2.3{23}이상 7.0{70} 미만	±0.07{±0.7}	7.0{70}이상	±(설정압력의 1%)
분출압력 또는 설정압력	분출차의 압력																															
0.1 이하	0.02 이하																															
0.1 초과 0.2 이하	0.03 이하																															
0.2 초과 0.3 이하	0.04 이하																															
0.3 초과	설정압력의 15% 이하																															
설정압력 [MPa(gauge)]	허용차																															
0.5 미만	± 0.014 MPa																															
0.5 이상 2.3 미만	± (설정압력의 3%)																															
2.3 이상 7.0 미만	± 0.07 MPa																															
7.0 이상	± (설정압력의 1%)																															
설정압력	허용차																															
0.5{5} 미만	±0.014{±0.14}																															
0.5{5}이상 2.3{23}미만	±(설정압력의3%)																															
2.3{23}이상 7.0{70} 미만	±0.07{±0.7}																															
7.0{70}이상	±(설정압력의 1%)																															

으로 『KGS AA319(고압가스용 안전밸브 제조의 시설·기술·검사·재검사 기준)』와 『KOSHA GUIDE D-48(안전밸브의 분출압력시험에 관한 기술지침)』이 있다. 기준과 규정의 검토를 위해 다음 Table 2에 3가지 내용을 비교 요약 하였다.

(3) 국외 안전밸브 성능검사 관련 제도 및 운용현황 국가별 안전밸브 관련 표준화 현황은 다음 Table 3과 같다.

ASME PTC 25 “Pressure Relief Devices” 표준에 운전 중 성능 시험 방법의 하나로 ‘Testing with auxiliary lift-assist device’를 명시하고 있다. 또한 설비 가동 중에도 설치된 안전밸브의 검사가 가능한 간접검사방법의 가이드라인(ASME PTC 25, Part III. In-service and Bench testing)을 제시하여 시험 절차를 인정하고 있어 전 세계적으로 on-line 시험 장비를 개발하여 사용할 수 있도록 하고 있다 [7]. 특히 석유화학공정과 직접 관련이 있는 기준은

Table 3. Country standardization status of pressure safety valve

Country	Standard No.	Description
Germany	A.D. Merkblatt A2	Pressure Vessel Equipment safety devices against excess pressure-safety valves
	TRD 421	Technical Equipment for Steam Boilers Safeguards against excessive pressure-safety valves for boilers of group I, III&IV
	TRD 721	Technical Equipment for Steam Boilers Safeguards against excessive pressure-safety valves for steam boilers of group I, II
UK	BS 6759	Part 1 specification for safety valves for steam and hot water Part 2 specification for safety valves for compressed air and inert gas Part 3 specification for safety valves for safety valves for process fluids
France	AFNOR NFE-E 29-411 to 416	Safety and relief valves
	NFE-E-29-421	Safety and relief valves
Japan	JIS B 8210	Steam boilers and pressure vessels-spring loaded safety valves
Australia	SAA AS 1271	Safety valves, other valves, liquid level gauges and other fittings for boilers and unfired pressure vessels
USA	ASME I	Boiler Applications
	ASME II	Nuclear Applications
	ASME VIII	Unfired pressure Vessel Applications
	ANSI/ASME PTC 25.3	Safety and Relief valves-performance test codes
	API RP 520	Sizing selection and installation of pressure-reliving devices in refineries, Part 1 Design, Part 2 Installation
	API RP 521	Guide for pressure relieving and depressurizing systems
	API STD 526	Flanged steel pressure relief valves
	API STD 527	Seat tightness of pressure relief valves
Europe	EN ISO 4126	Safety devices for protection against excessive pressure
Inter-national	ISO 4126	Safety valves-general requirements

API 576이며, 본 논문에서 다루고 있는 운전 중 검사를 장비 개발자의 이름을 따 Trevi-test, Hot-line test, Legat test, In-situ test 등으로 부른다[8].

과거 영국에서 202 ton LPG(propane) 용기에 부착되어 있는 안전밸브를 3~4일 동안 탈착하여 검사하던 것을 운전 중 검사를 통해 16시간 만에 끝마친 한 사례가 있다. 이 사례에서 중요한 점은 공정을 중지하지 않고 검사하여 단 1%의 생산손실도 발생하지 않았다는 것이다. 이와 같이 원자력 발전소 등 제한적으로 운전 중 검사가 허용되는 국내와는 다르게, 국외에서는 여러 산업에서 이를 허용하고 있다. 몇몇 기업에서는 운전 중 검사 장비를 개발하고 이를 활용한 안전밸브의 성능검사를 통해 수리가 필요한 밸브를 찾아내고, 유지보수 기간을 정립하는 등, 작업의 효율을 높이기도 한다.

(4) 안전밸브 보유수량

검사 대상 안전밸브의 수는 다음 Table 4에서 확인 가능하며, A사 10,000개, B사 3,000개, C사 2,000개, D사 6,000개를 포함하여 약 30,000 여개를 초과한다.

(4) 안전밸브 성능검사 방법

가. 직접검사방법

직접검사방법은 유체의 압력만을 이용하여 안전밸브의 성능을 검사하는 방법이다. 가장 대표적인 방법으로는 시험 작업대(test bench)를 이용한 방법이 있다. 시험 작업대는 안전밸브의 설정압력(Set pressure)

Table 4. Number of pressure safety valves in Yeosu National Industrial Complex

업체 명	수량 (개)
A사	10,000
B사	3,000
C사	2,000
D사	6,000
E사	3,000
F사	1,000
G사	3,100
H사	600
I사	400
그 외 발전관련 시설	각 300-400

까지 압축성 유체를 가압하여 popping 후 성능내역을 기록 한다[9].

- 장점 : 유체의 압력만을 이용하여 안전밸브의 성능을 검사하는 방법으로 실제 안전밸브 작동원리와 동일한 방법으로 안전밸브의 성능점검을 위해 오래전부터 보편적으로 사용되어 신뢰도가 높게 인지되고 있는 방법이다.
- 단점 : 시험대를 이용하기 때문에 공정에서 안전밸브를 탈착해야 하는 등의 추가 작업이 필요하며, 고온 등의 특수 환경을 시험대를 이용해 조성하기가 어렵다. 따라서 특수 환경에서는 보정 계수 등의 부가적인 방법의 사용이 필요하다.

나. 간접검사방법

간접검사방법은 안전밸브가 설비 또는 계통에 설치된 상태에서 계통압력(System pressure)을 안전밸브의 설정압력까지 가압하지 않고 안전밸브 스템(Stem)의 인위적 인양장치(Safety Valve Lifting Device)를 사용하여 계통의 압력과 차를 측정하여 설정압력을 계량하는 방법으로 교정된 유압 또는 공압 보조 장치들을 사용하여 설정압력을 확인하는 방식이다[9].

- 장점 : 공정에서 안전밸브를 탈착하지 않고 성능점검이 가능하며, 고온 등의 특수환경을 별도로 조성 할 필요가 없다. 즉, 안전밸브의 탈착, 온도 보정 등의 과정 없이 성능 점검이 가능하다.
- 단점 : 보조 인양 장치를 이용하여 안전밸브에 기계적인 힘을 가하는 것으로 안전밸브의 작동 원리와 일치하지 않는 면이 있어, 별도의 신뢰도 확보가 필요하며, 안전밸브의 재단힘 압력의 측정이 어렵다.

2.2. 통계 분석

(1) 검사 결과 분포

7개년 간 여수 국가산업단지 내의 약 6,000개의 안전밸브 검사결과 자료를 분석하였으며, Fig. 1과 같이 2015년 44.77%, 2014년 20.45%, 2016년 11.51% 순으로 검사 결과가 분포한다. 2014년 전산 시스템이 도입 되므로 인해 검사결과를 수기로 작성하여 관리하던 이전 년도의 자료들에 비해 양적인 면에서 눈에 띄게 증가하였을 뿐만 아니라 디지털화 된 popping test 그래프를 포함하고 있는 등 그 정보의 질적인 면에서도 우수함을 확인하였다.

분석된 검사결과들은 국가 산업단지 내 하나의 플랜트에 설치되어 있는 검사대상 안전밸브 수량에 준하는 샘플링으로 단위 공정 별 전수검토에 해당된다고 볼 수 있다. 전산시스템이 도입된 2014년도 이후부터 적용하더라도 전체 검사 분석 자료의 약 80%인 4,000개 정도로 이를 충분히 만족한다고 할 수 있다.

(2) 검사 적용 규격

안전밸브의 검사는 안전밸브가 설치되어 있는 공정에 따라 적용되는 기준이 다르며, 2.1.(3) 국외 안전밸브 성능검사 관련 제도 및 운용현황에서 살펴본 Code를 따르는 경우, Guide를 따르는 경우가 있고, 기업체에서 운영하고 있는 공정에 맞게 Standard를 참고하여 보수적으로 정한 자체규정을 검사기준으로 적용하고 있는 경우도 있었다.

조사된 검사 결과들은 다음의 규격을 적용하고 있으며, 각각의 적용 기준을 아래의 Table 5에 나타내었다.

- KGS AA319(고압가스용 안전밸브 제조의 시설·기술·검사·재검사 기준)
- KOSHA GUIDE D-48-2012(안전밸브의 분출 압력시험에 관한 기술지침)
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code (BPVC) CEC I, VIII
- 위의 기준들을 참고한 자체규격

(3) 고장유형(개시/닫힘/기밀)

안전밸브의 고장이 발생하게 되면, 1차적으로 설비의 손상이 발생할 수 있으며, 2차적으로 공정 손

Table 5. Standards applied for performance tests

		허용범위	
		Setting Pressure	Blow Down
1	KGS	±3.0%	15.0% 이하
2	KOSHA	±3.0%	2.5~10.0%
3	ASME	I	±3.0%
		VIII	±3.0%
4	자체규격	±3.0%	2.5~10.0%

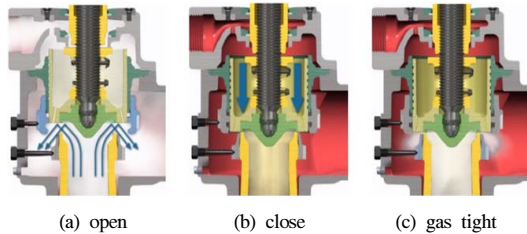


Fig. 2. Failure type of pressure safety valves.

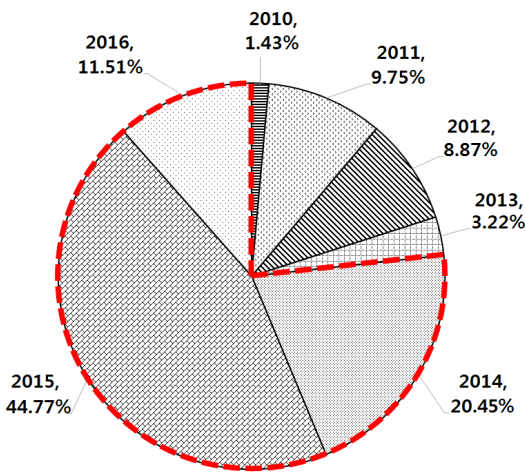


Fig. 1. Distribution of performance test results for 7 years.

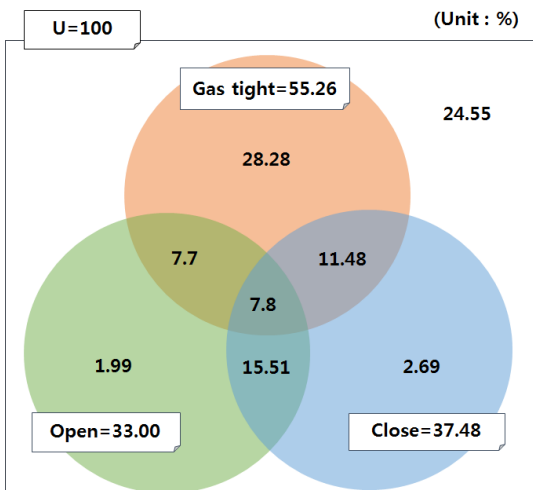


Fig. 3. Failure rate diagram.

상 등으로 그 손상의 범위가 확대 될 수 있다. 국가 산업단지 내에 가장 많이 사용되는 스프링 식 안전밸브에서 가장 많이 보이는 고장은 누설이며 설정압 이상, 재 닫힘 압력 이상, 채터링, 플러터링, 열림 실패, 열림 고착, 부식 등이 발생하는 경우도 빈번하다[7].

본 연구에서는 Fig.2의 (a)-(c)와 같이 안전밸브의 고장유형을 개시불량/닫힘불량/기밀불량으로 크게 3가지로 구분하고, 한가지의 불량 상황이 독립적으로 확인되는 것을 포함하여 두 가지 이상의 불량현상이 복합적으로 확인되는 경우를 분석하였다.

내부압력이 설정압력 이상이 되어 디스크가 열려 내부의 유체를 분출하는 현상을 안전밸브의 개시라 하며, 내부압력이 설정압력 이상이 되어도 안전밸브가 동작하지 않거나 완전히 열리지 않는 현상을 개시불량으로 구분하였다. 안전밸브의 닫힘은 내부압력이 설정압력 이하가 되어 디스크가 밸브시트에 재접촉하거나 양정이 0이 되는 현상으로 내부압력이 설정압력 이하로 떨어지더라도 양정이 0이 되지 않는 현상은 닫힘불량으로 정하였다. 마지막으로 내부의 유체가 외부로 누출되지 않도록 밀폐되어 있는 기밀현상에 이상이 보이는 것을 기밀 불량으로 보았다.

각 고장유형에 따른 불량률을 다음 Fig. 3와 같다. 조사 된 검사결과에서 개시 33%, 닫힘 37.48% 기밀 52.26%의 불량 현상이 나타났고, 개시와 기밀이 동시에 불량인 경우 7.7%, 닫힘과 기밀이 동시에 불량인 경우 11.48%, 개시와 닫힘이 동시에 불량인 경우 15.51%를 차지했다. 뿐만 아니라 세 가지 고장

유형이 전부 불량으로 나타나는 경우는 7.8% 정도로 이러한 상태로 사용 중인 안전밸브는 즉시 다른 안전밸브로 교체를 하거나 적절한 유지보수가 이루어지는 것이 바람직 할 것이다. 이 분석 데이터의 결과 6,000개의 안전밸브를 보유한 하나의 플랜트라고 가정한다면 그 플랜트에 설치되어 있는 안전밸브 중 약 25% 만이 정상작동을 하고 있는 것으로 그 크고 작은 위험의 정도를 벗어나 위험의 상태임에 틀림없을 것이라고 사료된다.

다음 Fig. 4-5는 검사대상 안전밸브의 개수가 늘어남에 따른 불량 안전밸브 개수의 변화를 각 case 별로 살펴본 그래프이다. 각 고장 유형별로 각각의 증가율은 다르지만, 모든 경우에서 검사 대상 안전밸브의 개수가 늘어남에 따라 검출된 불량 안전밸브의 개수도 증가하는 추세를 보였으며, 검사대상 안전밸브의 개수가 10,000개 이상 일 경우, 3가지의 고장 현상이 동시에 확인되는 안전밸브의 개수는 약 750개 정도로 추정 가능하다. 여러 플랜트가 밀집되어 있는 국내 국가산업단지의 형태를 고려해 보면 안전밸브의 정상작동 불가능으로 인한 피해가 상당할 것으로 예상된다.

(4) 결과

안전밸브 성능검사 결과의 분석을 통해 살펴본 국내 국가 산업단지의 안전밸브 상태는 안전성을 확신 할 수 없는 상황으로 판단이 가능하며, 현재 안전밸브 검사의 유일한 방법인 직접검사 방법만으로는 국가 산업단지의 안전 확보에 한계가 있음을 확인했다.

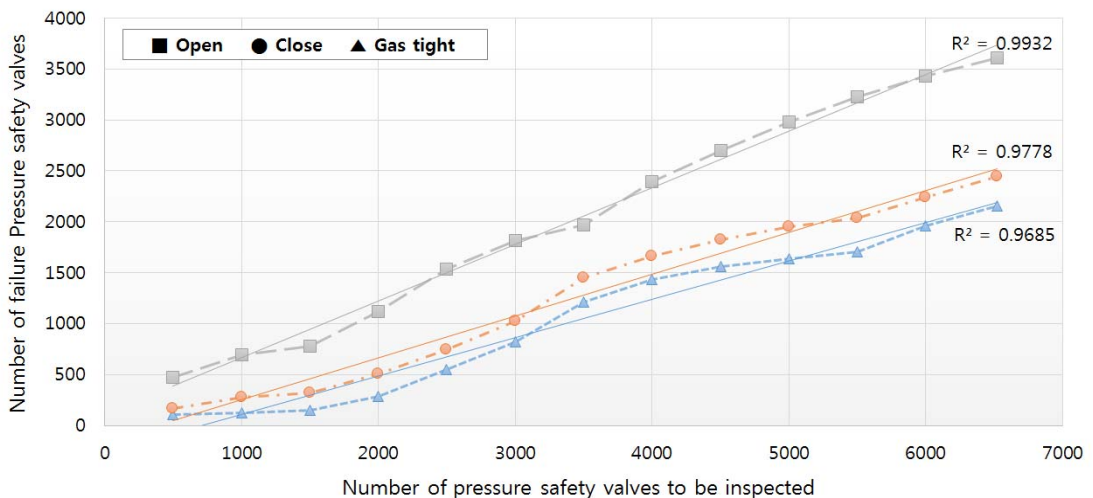


Fig. 4. Change in the number of failure pressure safety valves according to each case 1.

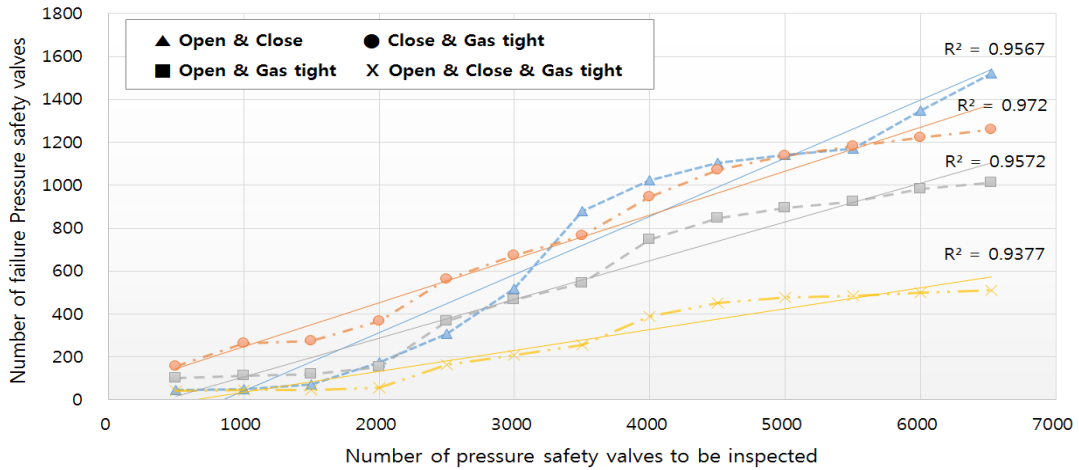


Fig. 5. Change in the number of failure pressure safety valves according to each case 2.

III. 결론

본 연구에서 7개년 간 6,000개 이상의 안전밸브 검사결과 자료를 분석했다. 검사된 안전밸브는 설치되어 있는 공정에 따라 적용되는 기준이 다르며, 코드를 따르는 경우, 가이드에 근거한 지침을 따르는 경우, 공정에 맞게 기준을 참고하여 보수적으로 정한 자체규정을 따르는 경우가 있었다. 본 연구에서는 안전밸브의 성능점검 분석 사항을 개시불량/단힘불량/기밀불량 등 3가지로 구분하고, 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 전체 분석 대상을 100%로 환산하였을 경우 기준에 부합하지 않는 상태의 안전밸브는 약 75.5%로 나타났다.
- (2) 3가지 중 1가지 항목에서 기준에 부합하지 않는 상태의 안전밸브는 개시불량 33.00%, 단힘불량 37.48%, 기밀불량 55.26%로 나타났다.
- (3) 3가지 중 2가지 이상의 항목에서 기준에 부합하지 않는 상태의 안전밸브는 약 40%로 나타났다.
- (4) 3가지 항목 모두 기준에 부합하지 않는 상태의 안전밸브는 7.8%로 나타났다.

즉, 6,000개의 안전밸브 중 470여개의 안전밸브는 설정압력, 분출정지압력, 기밀상태 등이 모두 기준에 부합하지 않는 결과를 보이고 있으며, 이는 정해진 주기에만 수행되는 현행 안전밸브의 성능점검 기준과 방법의 문제로 해석할 수 있다.

국외에서는 안전밸브의 성능 점검을 위해 직접 검사방법과 간접검사방법을 적용하고 있으며, 효율

및 안전성 확보의 측면에서 국내의 적용 방안도 고려해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.2016222010090)

REFERENCES

- [1] 압력방출장치 이론과 실제, 한국원자력안전기술원 편; 금오현 연구책임; 민복기 외 연구, 2011
- [2] High-Pressure Gas Safety Control Act
- [3] Enforcement Decree of the Industrial Safety and Health Act
- [4] KGS AA319 2016, Facility / Technical / Inspection / Re-inspection Code for Manufacture of Safety Valves for High-pressure Gases
- [5] KOSHA GUIDE D-48-2012, 안전밸브의 분출압력시험에 관한 기술지침
- [6] KS B 6216 : 1998, Steam Boilers And Pressure Vessels - Spring Loaded Safety Valves
- [7] ASME PTC 25-2001, Pressure Relief Devices
- [8] API Recommended practice 576, 3rd edition, November 2009, Inspection of Pressure-relieving Devices
- [9] Choi, D. S., "Research on Tools and Analysis Techniques for the Performance Evaluation of Safety Valves in Nuclear Power Plants", (2012)