

국내 정유·석유화학 사업장 압력방출장치(PSV)
검사주기의 합리적인 개선을 위한 연구

2011. 8. 25



서울과학기술대학교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

제 출 문

(사) 대한석유협회장 귀하

본 보고서를 “국내 정유·석유화학 사업장 압력방출장치 (PSV) 검사주기의 합리적인 개선을 위한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2011. 8. 25

연구기관명 : 서울과학기술대학교 산학협력단
연구책임자 : 이 영순 교수

연구원 : 강 미진 (서울과학기술대학교)
김 기영 (한국안전전문기관협의회)
황 성민 (한국바텍안전이앤씨)
노 연주 (서울과학기술대학교)

요 약 문

I. 제목

국내 정유·석유화학 사업장 압력방출장치(PSV) 검사주기의 합리적인 개선을 위한 연구

II. 연구 목적 및 필요성

압력방출장치(PSV)는 보일러 및 압력용기의 방호장치로 각종 법률에 따라 설치 및 검사하여야 하며, PSV의 검사를 위해서는 해당 설비(연속설비의 경우 해당 일련 설비까지 포함)의 가동을 정지하여야 하므로, 사업장 및 감독기관에서 안전측면 및 경제측면의 중대한 관심사항이 되고 있다. 현재 보일러 및 압력용기 검사는 「산업안전보건법」, 「고압가스안전관리법」 및 「에너지이용합리화법」에 따라 실시되나, 검사주기가 서로 달라 현장에서 어려움을 겪고 있는 실정이다.

현재 「산업안전보건법」에 의하면 PSV의 검사주기는 1년이며 공정안전보고서 이행상태평가 시 P등급인 사업장의 경우에만 4년까지 연장할 수 있다. 그러나 설비 및 PSV의 신뢰도, 유지관리 상태와 상관없이 PSM등급이 하향 평가되는 경우 매년 1회 이상의 검사를 실시하여야 하고, 이를 위하여 매년 설비(공정)를 가동중지하여야 한다. PSV 검사주기의 연장은 경제적 효과를 가져올 수 있으나, PSV는 설비의 안전장치이므로, 검사주기의 연장이 설비의 안전에 영향을 주지 않아야 하는 조건이 있다.

따라서 본 연구는 국내외 법률 및 각종 선진기술, 관련 연구결과, 사고사례 및 PSV 신뢰도 등에 대해 조사하여 안전을 보장할 수 있는 조건에서 합리적으로 PSV의 검사주기를 연장할 수 있는 방안을 강구하여 이를 제안하는 것을 목적으로 한다.

III. 연구 내용 및 범위

본 연구는 PSV의 검사주기와 관련하여 제기된 각종 문제점을 파악하고 이와 관련된 해결방안을 모색하기 위하여 ① PSV 운용현황 및 사고사례를 조사하고, ② PSV 관련 국내·외 법령의 검사주기를 조사하여 개선방안을 강구하는 한편, ③ PSV 검사 실시에 필요한 작업절차를 분석·평가하고, ④ PSV 최적 검사주기에 대한 이론적, 기술적 배경을 검토한다. 마지막으로 이러한 연구결과를 바탕으로 PSV 검사주기를 중심으로 검사 관련 개선방안을 마련하는 것을 주요 연구내용으로 한다.

연구를 수행하기 위하여 국내외 법률 및 기술문헌을 검토하고, 정유 및 석유화학사업

장을 방문하여 실태를 파악하였으며, 일부 사업장의 PSV 설치현황 및 검사현황을 조사하여 불합격률을 조사하였다. 또한 감독기관, 사업장 및 학계의 전문가로 구성된 공청회를 개최하여 의견을 수렴하였다.

IV. 연구 결과

PSV 검사는 PSV가 설치된 설비의 정기보수기간에 실시할 수 있도록 하여 검사의 효율성과 사업장의 설비관리를 용이하게 할 수 있는 방안을 제안하였다.

압력용기, 화학설비 등 사용압력을 초과할 우려가 있는 설비에 설치하는 압력방출장치(PSV)는 설비의 이상상태로 인한 사고를 예방할 수 있는 중요한 안전장치이다. 따라서 설비의 안전성을 보장하기 위해서는 설비 자체의 검사 및 유지관리뿐만 아니라 설비에 부착된 PSV의 검사 및 유지관리도 매우 중요하다. 그러나 설비와 PSV 각각을 별도로 검사한다는 것은 검사의 효율성을 저하시킬 뿐만 아니라, 검사작업 중 위험에 노출될 가능성을 높이는 결과를 초래한다. 따라서 PSV 검사는 PSV가 부착된 설비의 검사 및 유지관리계획에 포함되어 같이 관리하는 것이 바람직하다.

설비 및 PSV의 검사는 해당 설비 및 관련 설비의 운전을 정지한 후 실시하여야 하므로, 사업장의 정기보수기간 중 실시할 수 있도록 법정 검사주기를 탄력적으로 적용할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 현재 「고압가스안전관리법」에서 PSV 및 설비의 검사주기와 정기보수주기를 고려하여 적절하게 검사 시기를 결정하도록 하고 있다.

현재 「산업안전보건법」에서 규정하고 있는 PSV의 검사주기는 1년인데, 이는 국내의 다른 법률 및 해외 법률이나 각종 기술문헌과 비교할 때 지나치게 보수적이다. 또한 최근의 유지관리 기술, 설비의 운전기술 및 설비의 신뢰도 향상을 고려할 때 최소 검사주기는 연장되어야 한다. 본 연구에서 제안한 바와 같이 최소 2년을 검사주기로 지정하고, PSV 및 설비의 검사 및 관리 능력이 우수한 사업장이나 PSV가 설치된 공정의 운전조건을 고려하여 최대 4년에서 6년까지 연장하는 방안을 적극적으로 고려하여야 한다. 사업장의 관리능력에 따라 PSV의 검사주기를 연장할 경우, 국내 다른 법률과의 검사주기 차이를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 사업장 스스로 설비의 신뢰도 향상과 안전관리 기술의 발전을 위해 노력하도록 견인차 역할을 할 수 있다. 이는 국내 사업장의 전반적인 안전관리 기술의 향상을 가져올 것으로 기대한다.

- 목 차 -

요약문	i
목차	iii
I. 서 론	1
1. 과제의 개요	1
2. 과제의 내용 및 방법	2
II. 국내의 PSV 운용 및 사고 현황	5
1. 국내 PSV 설치 및 검사에 관한 법적 요구사항	5
가. 압력방출장치 및 설비의 안전검사	5
나. 국내 법령별 PSV 검사주기	10
다. 산업안전보건법에 따른 PSV 검사주기 설정 배경	12
2. 국내 PSV 운용 현황	13
가. 국내 정유공장 PSV 설치현황	13
나. PSV 검사 관련 작업 흐름	14
다. 국내 정유공장 PSV 유지보수 현황	15
라. 국내 PSV 검사관련 비용	16
마. 현장의 애로사항	18
바. 해외 PSV 검사	19
3. 국내의 PSV 관련 사고 현황	19
가. PSV 설계 오류에 의한 누출	20
나. 정상운전 중 PSV 개방	21
다. 기타	21
III. 해외 관련 법규 운용 및 기술 현황	22
1. 해외 관련 법규 현황	22
가. EU 및 영국의 관련 법규 현황	22
나. 미국의 관련 법규 현황	24
다. 일본의 관련 법규 현황	25
2. PSV 검사주기 기술문헌 검토	26

가. 영국 HSE 기술문헌	26
나. API	27
다. EEMUA 188	28
라. 기타	31
3. 해외 법률 및 기술적 타당성 검토 결과	31
IV. 연구결과 고찰	34
1. 국내 PSV 검사주기 법적 요구사항의 문제점	34
2. 국내 PSV 검사주기의 개선방안	36
V. 결론	43
참고문헌	43
부록	
부록 A. 관련법령	45
부록 B. 안전밸브의 사고사례	57

- 표 목 차 -

<표 2-1> PSV 설치에 관한 법적 요구사항 비교	6
<표 2-2> PSV 검사에 관한 법적 요구사항 비교	7
<표 2-3> 압력용기, 보일러 등에 대한 검사 요구사항 비교	8
<표 2-4> 국내 정유공장 및 석유화학공장의 PSV 설치 현황	14
<표 2-5> 국내 정유공장 PSV 검사이력 현황	16
<표 2-6> 국내 정유공장 PSV 검사로 인한 비용 산출	18
<표 2-7> 해외의 PSV 검사 시 불합격 조사결과	19
<표 3-1> PSV 검사주기에 대한 문헌조사 결과	31

- 그림 목 차 -

[그림 2-1] PSV 검사 관련 작업흐름도14

I. 서 론

1. 과제의 개요

가. 배경 및 필요성

압력방출장치의 하나인 압력방출밸브(PSV: Pressure Safety Valve)는 설비의 압력상승 등 비정상 상태에서 설비의 파손을 보호하고 더 큰 사고를 방지하기 위하여 각종 보일러 및 압력용기에 설치하도록 법적으로 요구되는 안전장치이다. 안전장치는 정상운전 중 가동되는 것이 아니기 때문에 비상상황에서 정상적인 작동을 할 수 있도록 일정한 주기마다 정상작동여부에 대해 시험 및 검사하여야 하는데, 국내의 경우 이러한 검사주기는 몇 가지 법률에 따라 정해지고 있다.

PSV의 검사를 실시하기 위해서는 듀얼로 설치된 일부 설비를 빼놓고는 PSV가 설치된 용기의 가동을 중지하여야 한다. 따라서 검사주기는 안전측면 뿐 아니라 사업장의 경제적 측면에서도 큰 관심사항이 되고 있다. PSV의 고장은 대형사고와 직결되기 때문에 사업장에서도 PSV의 설계, 설치 및 유지관리 및 이와 관련된 기술 그리고 이의 신뢰도에 많은 관심을 가지고 있다. 다행히 산업과 안전기술의 발전에 따라 PSV의 신뢰도는 많이 향상되었다. 그러나 현재 국내 법률에 따른 검사주기는 이러한 설비의 신뢰도 향상이나 PSV의 사용조건 등을 적절하게 반영하고 있지 않다. 즉, 모든 PSV에 대해 대상 설비의 종류와 법률에 따라 다르기는 하나 대체적으로 1~2년의 검사주기를 요구하고 있다. 이들 법적 검사주기 중 특히 「산업안전보건법」에 의한 검사주기가 1년으로 정해져 있어 모든 사업장은 1년마다 PSV 검사를 위하여 관련 설비 및 공정전체의 가동을 중지하여야 하는 실정이다.

PSV의 검사주기가 연장된다면 국내의 정유회사 및 석유화학회사의 연속 가동시간이 길어짐에 따라 경제적 효과를 가져 올 수 있다. 그러나 PSV는 안전장치이므로 연장주기의 변화가 관련 설비의 안전에 영향을 주지 않는다는 확실한 근거가 없는 한 검사주기를 임의로 연장할 수는 없다.

따라서 현재 우리나라 정유공장에 설치된 PSV의 운용현황을 파악하여 PSV 검사주기가 국내 산업에 미치는 영향을 도출할 필요가 있다. 아울러 국내외 PSV에 관련된 사고현황 및 검사 등에 대한 실태를 파악하고, PSV 검사주기에 관련된 국내외 법규뿐만 아니라 기술문헌의 검토를 통해 안전측면에서의 검사주기 개선이 가능한 가를 검토할 필요가 있다.

나. 목적

본 연구는 국내외 법률 및 각종 선진기술, 관련 연구결과, 사고사례 및 PSV 신뢰도 등에 대해 조사하여 안전을 보장할 수 있는 조건에서 합리적으로 PSV의 검사주기를 연장할 수 있는 방안을 연구하여 이를 제안하는 것을 목적으로 한다.

2. 과제의 내용 및 방법

가. 주요 내용

본 연구는 PSV의 검사주기와 관련하여 제기된 각종 문제점을 파악하고 이와 관련된 해결방안을 모색하기 위하여 다음의 업무를 주요 내용으로 하여 수행하고자 한다.

■ PSV 운용현황 및 사고사례조사

- 정유 및 석유화학공장 PSV 검사(점검 유형, 검사주기, 오작동율 등) 및 작동시험 현황 및 관련 기술현황 파악
- PSV 사고사례 수집 및 사고 사례분석
- 운용현황 및 사고사례분석을 통한 문제점 파악

■ PSV 관련 국내·외 법령의 검사주기 조사 및 개선방안 강구

- 검사주기 관련 국내 법률간 차이 및 문제점 : 법령별(고압가스안전관리법, 에너지이용합리화법, 산업안전보건법) 검사주기, 검사주기 연장, 점검 및 개보수, 위반 시 벌칙 등에 대한 현황 및 그 차이점, 적합성 검토
- 외국의 PSV 검사주기 운용현황 및 기술자료 검토
- 전문가(현장, 관계, 학계) 의견 청취
- PSV 검사주기 관련 법령의 문제점 발굴 및 개선방안 모색

■ PSV 검사 실시에 필요한 작업절차 분석 및 평가

- PSV 검사를 위한 사전 준비 사항 조사 분석

- 보호 대상설비의 운전정지절차 및 검사 후 작업절차
- 검사 시 안전/환경 상의 애로사항 조사
- PSV 최적 검사주기에 대한 이론적, 기술적 배경 검토
- 검사주기를 중심으로 한 PSV 검사 관련 개선방안 마련
 - 현행 검사주기 운용에 따른 문제점 해소 및 개선 사항
 - 검사주기 개선의 적합성 검토
 - 합리적인 검사주기 제시 및 관련 법령의 개선 필요성 제시

나. 수행 방법

본 연구는 다음과 같이 문헌조사, 현장 운용실태 파악 그리고 전문가 의견수렴을 중심으로 연구를 진행하려고 한다.

- 문헌조사

본 연구는 검사주기에 관련된 국내·외 법률, 기술자료, 사고사례 및 신뢰도 자료 등 다양한 문헌을 검토하여 국내·외간의 차이점을 파악하고 그로 인한 문제점을 도출하고자 하는 것이므로 관련 범위 내의 다양한 문헌을 조사하고자 한다.

- 실태파악

본 연구 대상과 직접적인 관련이 있는 정유회사 및 석유화학회사는 PSV 점검 및 검사를 어떻게 실시하고 있고 검사 시 어떤 문제점이 있는가를 파악하기 위하여 일부 사업장에 대한 방문조사를 실시하려 한다. 필요하다고 인정되면 검사기관 등도 방문한다.

- 전문가 의견수렴

본 연구결과는 법령 개정 및 그 적용과 매우 밀접한 관계를 가지기 때문에 관련 부처 및 이해당사자의 의견이 반영할 필요가 있다. 이러한 이유로 이 연구가 진행되어 얻어진 사항은 법률의 주관부처인 고용노동부, 법률 및 관련기술 전문기관인 한

국산업안전보건공단, 법률 적용대상인 사업장의 이해당사자 그리고 학계의 관련분야 전문가들의 의견을 수렴할 필요가 있다. 이에 따라 연구진이 연구한 사항을 중심으로 초안을 작성하면 이를 위의 여러 전문가로 구성된 간담회 혹은 공청회를 개최하여 이들의 의견을 수렴하고 이 의견을 통해 합리적인 개선방향을 탐색하고자 한다.

II. 국내외 PSV 운용 및 사고 현황

1. 국내 PSV 설치 및 검사에 관한 법적 요구사항

가. 압력방출장치 및 설비의 안전검사

1) 압력방출장치의 설치기준

압력방출장치란 설비의 사용 중 이상상태가 발생하여 최고사용압력보다 높은 압력이 형성될 경우, 설비의 폭발이나 파손을 방지하기 위하여 설비의 최고사용압력 이하에서 작동되도록 설치하는 안전장치를 말한다. 이러한 안전장치는 일반적으로 PSV(Pressure safety valve) 혹은 PRV(Pressure relief valve)로 지칭되는 안전밸브(이하 “PSV” 라 함), RD(Rupture disc)로 지칭되는 파열판, 그리고 2개 이상의 밸브에 의해 차단될 수 있는 배관에 설치하는 열팽창밸브¹⁾로 구분된다.

PSV는 「산업안전보건법²⁾」 및 「고압가스안전관리법」에 따라 압력용기 및 화학설비와 보일러 등에 설치하여야 하는데, 각 법률에서 요구하는 PSV 설치조건을 정리하면 <표 2-1>과 같다. 「산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “안전보건규칙” 이라 함)」 제261조(안전밸브 등의 설치)에 따르면 압력용기, 정변위 압축기, 정변위 펌프 및 열팽창 우려가 있는 배관에는 안전밸브 또는 파열판을 설치하여야 한다. 「고압가스안전관리법」의 경우, 법 제4조에 따라 고압가스제조자는 같은 법 시행규칙 별표 4에서 정한 시설기준과 기술기준에 따라 안전장치³⁾를 설치하여야 한다. 안전장치(안전밸브 등)는 같은 법에서 정의한 특정설비⁴⁾에도 포함된다. 「고압가스안전관리법」의 적용대상인 고압가스는 상용온도에서 1 MPa(G) 이상의 압축가스 등⁵⁾을 말한다.

- 1) TRV(Thermal relief valve) 혹은 TSV(Thermal safety valve)라고 지칭되며, 대기온도에서 액체의 열팽창에 의하여 파열될 우려가 있는 곳에 설치하는 안전밸브를 말한다.
- 2) 산업안전보건법에서 지칭하는 압력용기(Pressure vessel)란, 고용노동부 고시 2010-12호(위험기계·기구 의무안전인증) 제10조에 따라, 용기의 내면 또는 외면에서 일정한 유체의 압력을 받는 밀폐된 용기를 말한다. 설계압력이 0.2 MPa(G)를 초과하는 화학공정 유체 취급용기(갑종 압력용기)와 1 MPa(G)를 초과하는 공기 및 질소취급용기(을종 압력용기)로 구분된다.
- 3) 사고예방설비기준항목에는 “고압가스설비에는 그 설비 안의 압력이 상용압력을 초과하는 경우 즉시 그 압력을 상용압력 이하로 되돌릴 수 있는 안전장치를 설치하는 등 필요한 조치를 할 것” 이라고 요구하고 있다.
- 4) 저장탱크 및 고압가스 관련 설비를 말하며, 고압가스 관련설비란, ① 안전밸브·긴급차단장치·역화방지장치, ② 기화장치, ③ 압력용기, ④ 자동차용 가스 자동주입기, ⑤ 독성가스배관용 밸브, ⑥ 냉동설비(별표 11 제4호 나목에서 정하는 일체형 냉동기는 제외한다)를 구성하는 압축기·응축기·증발기 또는 압력용기(이하 “냉동용 특정설비” 라 한다), ⑦ 특정고압가스용 실린더커비닛, ⑧ 자동차용 압축천연가스 완속충전설비(처리능력이 시간당 18.5 m³ 미만인 충전설비를 말한다), ⑨ 액화석유가스용 용기 잔류가스회수장치를 말한다.
- 5) ① 상용(常用)의 온도에서 압력(게이지압력)이 1 MPa 이상이 되는 압축가스로서 실제로 그 압력이 1 MPa 이상이 되는 것 또는 35℃에서 압력이 1 MPa 이상이 되는 압축가스(아세틸렌가스는 제외), ② 15℃에서 압력

〈표 2-1〉 PSV 설치에 관한 법적 요구사항 비교

구분	산업안전보건법		고압가스안전관리법
법적 근거 조문	산업안전보건법 시행령 제27조 제1항 (별표7), 같은 법 시행규칙 제46조 산업안전보건기준에 관한 규칙 제261조	산업안전보건기준에 관한 규칙 제116조	고압가스안전관리법 제4조, 같은 법 시행규칙 제8조 (별표4)
설치 대상 설비	압력용기, 정변위 압축기, 정 변위 펌프, 배관, 화학설비 등	보일러	고압가스제조설비

2) 압력방출장치의 검사기준

PSV를 검사하기 위해서는 PSV가 설치된 설비의 운전을 정지하여야 하므로, PSV의 검사주기와 설비의 검사주기는 매우 밀접한 연관성을 가진다. 따라서 PSV의 검사주기와 PSV가 설치된 설비의 검사주기 모두에 대한 국내 법률적 요구사항을 검토하면 다음과 같다.

PSV 자체에 대한 검사주기와 요구사항을 담고 있는 국내의 법률은 크게 「산업안전보건법」과 「고압가스안전관리법」이다. PSV는 「산업안전보건법 시행령」 제28조에 의해 압력용기와 함께 의무안전인증대상에 포함되므로, 안전인증기준 적격여부를 확인한 후 안전인증표시를 부착하여야 한다. 또한 「산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 안전보건규칙이라 함)」 제116조 및 제261조에 따라 주기적으로 검사를 받아야 한다. 「안전보건규칙」에 따른 PSV의 검사주기는 〈표 2-2〉와 같다. 한편 「고압가스안전관리법 시행규칙」 제8조에 따라 고압가스제조설비는 별표 4에서 정한 기술기준을 준수하여야 하는데, 기술기준에는 PSV에 대한 주기적인 검사가 점검기준으로 포함되어 있으며, 이에 따른 검사주기는 〈표 2-2〉와 같다.

각각의 기준을 살펴보면 「안전보건규칙」에 의한 검사주기는 기본적으로 1년이며, 파열판이 PSV 전단에 직렬로 설치된 경우에는 2년으로 연장이 가능하다. 또한 PSM 이행상태평가 등급이 P등급인 경우에는 검사주기를 4년까지 연장할 수 있다. 반면 「고압가스안전관리법 시행규칙」에 따른 검사주기는 2년을 기본으로 하며 압축기 최종단에 위치한 경우에는 1년마다 검사를 실시하여야 한다. 그러나 고압가스특정제조자⁶⁾인 경우에는 검

이 0 Pa을 초과하는 아세틸렌가스, ③ 상용의 온도에서 압력이 0.2 MPa 이상이 되는 액화가스로서 실제로 그 압력이 0.2 MPa 이상이 되는 것 또는 압력이 0.2 MPa이 되는 경우의 온도가 35℃ 이하인 액화가스, ④ 35℃에서 압력이 0 Pa을 초과하는 액화가스 중 액화시안화수소·액화브롬화메탄 및 액화산화에틸렌가스

사주기를 4년 혹은 PSV가 설치된 압력용기의 재검사주기까지 연장할 수 있다. 고압가스 특정제조자는 「고압가스안전관리법」 제11조(안전관리규정) 제2항, 제13조의2(안전성평가 등), 같은 법 시행령 제13조(종합적 안전관리대상자) 및 같은 법 시행규칙 제25조(안전성 향상계획에 대한 심사신청 등)에 따라 안전성향상계획서(이하 SMS 보고서라 함)를 작성하여 제출하여야 하는 사업장에 포함된다.

〈표 2-2〉 PSV 검사에 관한 법적 요구사항 비교

구분	산업안전보건법		고압가스안전관리법
법적 근거 조문	산업안전보건기준에 관한 규칙 제261조	산업안전보건기준에 관한 규칙 제116조	시행규칙 제8조 (별표 4)
설치 대상 설비	압력용기 및 화학설비 등	보일러	고압가스제조설비
검사 주기	매년 1회 매2년 1회 (RD와 직렬 설치된 경우)	매년 1회	매2년 매년 (압축기 최종단에 설치된 경우)
검사 유효 기간 연장	매 4년으로 연장 가능 (공정안전보고서 P등급 이상)		4년의 범위에서 연장 가능 (고압가스특정제조자) 압력용기에 설치된 PSV는 압력용기의 내부 재검사주기까지 연장 가능

3) 압력용기 등 화학설비의 검사기준

「산업안전보건법」 및 「고압가스안전관리법」에 따라 설비에 과압이 발생하였을 때, 설비의 파손으로 인한 사고를 방지하기 위하여 설치하는 안전장치의 검사 외에, 안전장치가 설치된 설비, 즉 압력용기, 보일러 및 화학설비 등도 관련 법에 따라 주기적으로 검사를 받아야 한다. PSV를 설치하여야 하는 압력용기, 보일러 및 화학설비 등은 「산업안전

- 6) 고압가스 특정제조자란, ① 석유정제업자의 석유정제시설 또는 그 부대시설에서 고압가스를 제조하는 것으로서 그 저장능력이 100톤 이상인 것, ② 석유화학공업자(석유화학공업 관련사업자를 포함한다)의 석유화학공업시설(석유화학 관련시설을 포함한다) 또는 그 부대시설에서 고압가스를 제조하는 것으로서 그 저장능력이 100톤 이상이거나 처리능력이 1만 세제곱미터 이상인 것, ③ 철강공업자의 철강공업시설 또는 그 부대시설에서 고압가스를 제조하는 것으로서 그 처리능력이 10만 세제곱미터 이상인 것, ④ 비료생산업자의 비료제조시설 또는 그 부대시설에서 고압가스를 제조하는 것으로서 그 저장능력이 100톤 이상이거나 처리능력이 10만 세제곱미터 이상인 것, ⑤ 그 밖에 지식경제부장관이 정하는 시설에서 고압가스를 제조하는 것으로서 그 저장능력 또는 처리능력이 지식경제부장관이 정하는 규모 이상인 것

보건법」, 「고압가스안전관리법」 및 「에너지이용합리화법」에 따라 일정한 주기마다 검사를 실시하여야 한다. 각각의 법률에 따른 설비의 검사주기를 정리하면 <표 2-3>과 같다.

<표 2-3> 압력용기, 보일러 등에 대한 검사 요구사항 비교

구분	산업안전보건법	고압가스안전관리법	에너지이용합리화법
법적 근거 조문	법 제36조 시행령 제28조의3 시행규칙 제73조의3	법 제17조 시행규칙 제39조 (별표 22)	법 제39조 열사용기자재관리규칙 제33조(재사용검사)
검사대상	압력용기, 화학설비 및 부속설비 등	특정설비 (압력용기 등)	특정열사용기자재 (보일러 및 압력용기 등)
검사 주기	매2년	매4년	매2년 1회 (압력용기) 매년 1회 (보일러)
검사 유효기간 연장	매4년 (공정안전보고서를 제출하여 확인을 받은 압력용기)	지식경제부고시에서 정한 기법에 따라 적합성을 인정받는 경우 기법에 따른 검사주기로 연장(최대 4년 추가) 가능	공정안전보고서 및 안전성향상계획서 작성대상 사업장은 유효기간을 4년으로 인정 8년의 범위에서 지식경제부고시에 따라 연장 가능
비고	최초검사는 3년 이내	최초 검사는 2년 후	

「산업안전보건법」 제36조(안전검사) 및 같은 법 시행령 제28조의2에 따른 유해·위험기계 등에는 PSV를 설치하여야 하는 압력용기 및 화학설비 등이 포함⁷⁾된다. 이들 설비는 설비의 안전에 관한 성능이 검사기준에 부합하는가에 대한 안전검사를 주기적으로 실시하여야 한다. 이에 따라 같은 법 시행규칙 제73조의2(안전검사의 주기 및 합격표시·표시방법)에 따라 설치가 완료된 후 3년 이내에 최초검사를 실시하고 그 이후부터 매2년마다 검사를 실시하여야 한다. 다만, 공정안전보고서를 작성하여 확인을 받은 압력용기의 경우에는 4년까지 연장이 가능하며, 「고압가스안전관리법」 제17조 제2항 혹은 「에너지이용합리화법」 제39조 제4항에 따라 검사를 받은 경우에는 안전검사를 면제할 수 있다. 그러나 「산업안전보건법」 및 관련 법적 요구사항은, 즉 PSV가 설치된 설비의 검사와 PSV 자체에 대한 검사에 대한 요구사항이 서로 분리되어 있고, 이를 연계시킬 수 있는

7) 산업안전보건법 시행령 제28조의3(안전검사 대상 유해·위험기계 등)에 따르면, 압력용기, 화학설비 및 그 부속설비(“화학설비 등”이라 함), 건조설비 및 그 부속설비 등이 포함된다.

조문이나 지침이 없다.

한편, 「고압가스안전관리법」에 따른 고압가스제조설비 및 압력용기는 법 제13조(시설·용기의 안전유지)에 근거하여, 같은 법 시행규칙 제8조(고압가스제조시설의 시설기준과 기술기준 등⁸⁾) 및 제23조(용기의 안전점검 기준 등⁹⁾)에 따른 안전관리를 하여야 하며, 법 제16조의2(정기검사 및 수시검사¹⁰⁾)에서 정하는 바에 따라 주기적으로 해당 설비를 검사하여야 한다. 시행규칙 별표 19(정기검사의 대상별 검사주기)에 따르면 고압가스특정제조자는 4년마다 정기검사를 실시하도록 되어 있으며, 시행규칙 제39조(용기 등의 재검사¹¹⁾)에 따르면 안전밸브는 2년이 경과한 후 안전밸브가 장착된 저장탱크의 재검사주기에 맞추어 검사를 실시할 수 있고, 압력용기는 4년마다 재검사를 실시하여야 한다. 다만, 압력용기의 내부에 대한 재검사주기는 지식경제부장관이 정하여 고시(2011-48호, 고압가스안전관기기준 통합고시)하는 기법에 따라 산정하여 그 적합성을 인정받는 경우 그 주기로 할 수 있다. 고시 2011-48호 제8절에 따르면 위험도기반검사를 통해 최대 8년까지 검사주기를 연장할 수 있도록 하고 있으나, 한국가스안전공사의 심사결과 인정받은 경우에만 연장이 가능하다. 위험도기반검사에 따른 검사주기 결정 및 심사기준은 KS 규격 B 6755(2005년)에 따르도록 규정되어 있다. 즉, 고압가스특정제조자의 경우에는 PSV가 설치된 압력용기를 매4년마다 재검사하여야 하나, KS 규격 B6755(2005)에 따라 검사주기를 선정한 경우에는 최대 8년까지 재검사 유효기간을 연장할 수 있다. 이에 따라 PSV의 검사주기도 압력용기의 재검사주기와 같이 연동하여 연장이 가능하다¹²⁾.

「에너지이용합리화법」 및 「에너지법」 제2조(정의)에서 정의한 열사용기자재는 「열사용기자재 관리규칙」에 따른 안전관리를 준수하여야 하고, 특정열사용기자재¹³⁾는 법 제39조(검사대상기기의 검사)에 따라 주기적으로 검사¹⁴⁾를 받아야 한다. 이때 계속사용검사의 유효기간은 「열사용기자재 관리규칙」 제33조(검사의 유효기간¹⁵⁾)에 정의한 바에 따라 기본적으로 보일러는 1년, 압력용기는 2년이지만, PSM 및 SMS 대상 사업장의 경우에

8) 시행규칙 별표 4에 정의된 점검기준 항목에 따른 검사를 실시하여야 한다.

9) 시행규칙 별표 18에 따라 용기의 안전점검과 유지관리기준을 준수하여야 한다.

10) 시행규칙 제30조(정기검사) 및 제31조(수시검사)에 따라 고압가스제조시설을 검사하는데, 그 기준은 시행규칙 별표 4를 따른다.

11) 시행규칙 별표 22에 특정설비 중 안전밸브와 압력용기의 검사주기가 지정되어 있다.

12) 해당연도의 정기보수기간(해당연도에 정기보수기간이 없는 경우에는 다음 연도의 정기보수기간)과 그 기간 전후의 적절한 시기에 받을 수 있어, 재검사를 받아야 하는 연도에 업소가 자체정기보수를 하고자 하는 경우에는 자체정기보수 시까지 재검사기간을 연장할 수 있다.

13) 특정열사용기자재의 종류는 「열사용기자재 관리규칙」 별표 5에 정의되어 있으며, 보일러, 압력용기, 요업요로 및 금속요로가 포함된다.

14) 특정열사용기자재 중 지식경제부령으로 정하는 검사대상기기(이하 "검사대상기기"라 한다)를 설치·개조·변경·재사용하고자 하는 경우 및 계속 사용하고자 하는 경우에 검사유효기간 이내에 검사를 받아야 한다.

15) 별표 9(검사의 유효기간)에 따름.

는 4년까지 연장된다. 또한 지식경제부고시에 따라 최대 8년의 범위에서 연장이 가능¹⁶⁾하다. 다만, 「고압가스안전관리법」에 따라 검사를 받는 보일러 및 압력용기는 「에너지이용합리화법」의 열사용기자재 범위에서 제외된다. 즉, 특정열사용기자재 중 「고압가스안전관리법」의 적용범위에 포함되지 않는 압력용기 및 보일러는 매년 혹은 매2년마다 계속사용검사(안전검사)를 받아야 하나, PSM/SMS 대상사업장의 경우에는 이행상태평가의 등급에 상관없이 매4년마다 안전검사를 받을 수 있으며, 지식경제부 고시에 따를 경우 최대 8년까지 검사주기를 연장할 수 있다.

「산업안전보건법」에서 PSV가 설치된 설비의 안전검사는 3가지 법률 중 어느 하나에 의해 검사를 받은 경우 검사결과를 인정하고 있지만, 검사주기에 대한 요구사항이 서로 다르기 때문에 실질적으로 법률의 중복에 의한 예외가 완전히 인정된다고 할 수 없다. 또한 PSV 자체에 대한 검사결과는 다른 법률에 의한 검사를 인정한다는 조문이나 지침이 없기 때문에 PSV의 검사는 그 주기가 가장 짧은 「안전보건규칙」에서 정한 주기에 따라 시행되어야 하는 것이 실태이다.

나. 국내 법령별 PSV 검사주기

PSV 검사에 관련된 법적 요구사항은 위에서 언급한 바와 같이 3가지 법률에 의해 제시되고 있다. <표 2-2> 및 <표 2-3>에 요약된 바와 같이 PSV에 대한 검사주기는 「산업안전보건법」이 가장 짧아 매년 실시하여야 하며, 공정안전보고서 작성 대상 사업장(이하 “PSM 대상사업장”이라 함)이 P등급 이상인 경우에만 4년으로 검사주기를 연장할 수 있다. 그러나 「고압가스안전관리법」 및 「에너지이용합리화법」에 따르면, PSV만을 위한 별도의 검사요구사항은 없으며, PSV가 설치된 압력용기의 검사주기에 맞추어 PSV를 검사하도록 요구하고 있을 뿐만 아니라 해당 설비의 검사주기도 최소 2년에서 최대 8년까지 연장이 가능하도록 규정하고 있다. 검사주기의 연장조건에 있어서도 PSM 이행상태평가 결과에 상관없이 PSM 대상사업장에 해당되거나 지식경제부고시에 따라 압력용기 위험도를 확인하여 위험등급이 낮게 평가된 경우에는 검사주기를 연장할 수 있도록 하였다.

16) 현재 관리규칙 별표 9의 제4호가 개정(2011.3.15)되었으나, 이에 따른 지식경제부 고시는 아직 개정되지 않았기 때문에 종전의 규정에 따르도록 되어 있는데, 압력용기 안전검사 유효기간에 관한 지식경제부 고시는 제2006-35호(압력용기 안전검사 유효기간 연장에 관한 업무처리규정)가 있다. 별표 9의 제4호 개정내용은 다음과 같다. “다만, 보일러(제품을 제조·가공하는 공정에 사용되는 보일러만 해당한다) 및 압력용기의 안전검사 유효기간은 8년의 범위에서 지식경제부장관이 정하여 고시하는 바에 따라 연장할 수 있다.”

1) 산업안전보건법

앞에서 언급한 바와 같이 산업안전보건법령에서는 검사주기가 최소 매년 1회에서 매4년 1회로 규정되어 있다. PSM 대상 사업장 중 PSM 이행상태평가가 우수한 사업장 (P등급 사업장)의 경우 PSV 검사주기를 4년으로 연장할 수 있으므로, PSV가 설치된 압력용기의 검사주기와 동일하게 운용할 수 있다. 그러나 PSM 이행상태평가가 우수한 사업장이라고 할지라도 1건 이상의 사고가 발생하면 이행상태평가등급은 M등급으로 하향 조정되어 PSV 검사를 매년 실시하여야 한다.

PSM 이행상태평가가 우수한 사업장이라고 인정받았다는 의미에는, 공정의 운전을 정상적으로 잘 유지하여 설비에 사용압력 이상의 과압이 형성되는 이상상태를 초래하지 않는다는 것을 의미하기도 하며, 모든 설비에 대한 유지보수 관리계획을 잘 수립하여 운영하고 있기 때문에 PSV의 작동성능 및 설비의 안전성능이 보장된다는 것을 의미하기도 한다. 이런 관점에서 PSM 이행상태평가가 우수한 사업장에게 PSV 검사주기를 연장하는 것은 합리적이라고 할 수 있다.

2) 고압가스안전관리법

고압가스안전관리법에 따른 안전밸브의 검사주기는 같은 법 시행규칙 별표 4의 규정에서 제시한 바에 따라 2년을 기본으로 한다. 다만 고압가스특정제조자의 경우에는 4년으로 연장이 가능하며, PSV가 설치된 압력용기의 내부 재검사주기까지 연장할 수도 있다.

그리고 지식경제부 고시(제2011-48호)에 따라 다음과 같은 조건이 만족되면 압력용기의 재검사기간이 연장될 수 있기 때문에 PSV의 검사주기도 이에 따라 연장이 가능하다.

제3-8-8조 (재검사주기 연장) 압력용기가 다음 각 호의 조건을 모두 만족하는 경우 내부 재검사주기는 제2호에 따른 재검사일로부터 최대 8년의 범위 안에서 연장할 수 있다.

1. 제3-8-7조제1호에 따른 위험도기반검사기법 심사결과 적합판정을 받았을 것
2. 제1호의 적합판정을 받은 후 법 제17조제2항제1호에 따른 첫 번째 도래하는 재검사에 적합판정을 받았을 것
3. 제2호의 적합판정을 받은 후 법 제17조제2항제1호에 따른 매 재검사일의 30일 전까지 심사신청자가 구축한 위험도기반검사기법에 따라 운영한 결과를 한국가스안전공사가 확인하여 적합판정을 받았을 것

3) 에너지이용 합리화법

에너지이용 합리화법에 압력용기의 계속사용검사 주기는 열사용 기자재 관리 규칙 별표 9에 “계속사용 검사(압력용기) : 2년” 으로 규정되어 있다. 그러나 압력용기에 설치된 안전밸브 자체에 대한 검사주기는 현재까지 규정이 되어 있지 않다.

다. 산업안전보건법에 따른 PSV 검사주기 설정 배경

산업안전기준에 관한 규칙(이하 “안전규칙” 이라 함)에 안전밸브 검사주기가 설정된 것은 안전규칙이 처음으로 1990년 7월 23일 부로 공포된 산업안전기준에 관한 규칙에 삽입된 조항으로 이 규칙은 일본의 안전위생법의 하위법령인 안전규칙에 있는 조항을 그대로 참조하여 만들어진 것이다.

그 이후에 산업안전보건법 시행령에 공정안전보고서 이행실태 평가 조항이 삽입되면서 사업장으로부터 평가에 대한 인센티브 요구와 기술발전에 따른 공정설비의 정기보수주기를 늘리기 위하여 안전밸브의 검사주기를 늘려줄 것을 요구하는 사업장의 요구가 맞물려 이를 수용하여 2003년에 공정안전보고서 이행실태 평가결과 우수한 사업장에 한하여 검사주기를 4년으로 연장하여 주었다. 또한 2011년 3월 31부로 안전규칙을 개정하여 안전밸브의 검사주기를 다음과 같이 세분하였다.

- 화학공정 유체와 안전밸브의 디스크 또는 시트가 직접 접촉이 가능하도록 설치된 경우: 매년 1회 이상
- 안전밸브 전단에 파열판이 설치된 경우: 2년마다 1회 이상
- 산업안전보건법 시행령 제33조의6에 따른 공정안전보고서 제출 대상으로서 고용노동부장관이 실시하는 공정안전보고서 이행상태 평가결과가 우수한 사업장의 안전밸브의 경우: 4년마다 1회 이상

최근(개정 2011. 7. 6 고용노동부령 제30호)에 안전규칙과 산업보건기준에 관한 규칙(이하 “보건규칙” 이라 함)을 통합하면서 <부록>과 같이 「산업안전보건에 관한 규칙」에 안전밸브 검사주기에 대한 조문이 개정되었다. 그러나 실질적으로 내용에 있어서의 개정은 없으며, 단지 두 개의 고용노동부령이 하나로 통합되면서 조문번호가 바뀐 것이다. 다만, 안전밸브 전단에 파열판이 설치된 경우 검사주기가 1년에서 2년으로 연장된 효과가 있으나, 이러한 법적 요구사항의 완화를 실감하거나 효과를 인정하는 사업장은 크지 않았던 것으로 전문가 조사결과 나타났다. 이는 실제로 사업장에서는 매년 PSV를 검사하여야

하는 법적 요구사항을 제대로 이행하지 못하고 있었기 때문에 PSV 검사주기의 연장으로 인한 효과를 실감하지 못한 것으로 판단된다.

2. 국내 PSV 운용 현황

가. 국내 정유공장 PSV 설치현황

PSV는 안전보건규칙 제266조(차단밸브의 설치 금지)에 따라 전·후단에 차단밸브를 설치할 수 없기 때문에 PSV를 검사하기 위해서는 PSV가 설치된 설비의 운전을 정지하여야 한다. 뿐만 아니라 해당설비가 다른 설비와 연계된 경우에는 관련 설비의 운전도 정지하여야 하므로, 현실적으로는 해당 공정의 운전을 모두 정지하여야 한다. 다만, 제266조의 예외조건¹⁷⁾으로써 차단밸브가 설치될 수 있는 경우에는 설비의 운전 중에도 PSV를 취외하여 검사할 수 있다.

대부분의 국내 정유 사업장의 PSV 설치현황을 조사한 결과 <표 2-4>와 같이 PSV 전·후단에 차단밸브를 설치할 수 있는 조건에 해당하는 비율은 약 38 ~ 48.5 %로 파악되었다. 또한 PSV 전단에 파열판이 설치되어 검사주기를 2년으로 할 수 있는 경우는 0 ~ 3 %로 매우 낮은 비율인 것으로 파악되었다. 반면 국내 석유화학 사업장의 경우에는 PSV 단독설치 비율이 84% 정도로 높았으며, 공정 정지 없이 PSV 검사가 가능한 경우는 15%에 불과한 것으로 나타났다. 그러나 PSV 단독 설치개소가 61%라고 하더라도 한 공정 내에 단독설치와 병렬설치가 산재되어 있기 때문에 실제로는 PSV검사를 위해서 거의 대부분의 공정을 가동중지하여야 하는 것이 현재 사업장의 실정이다.

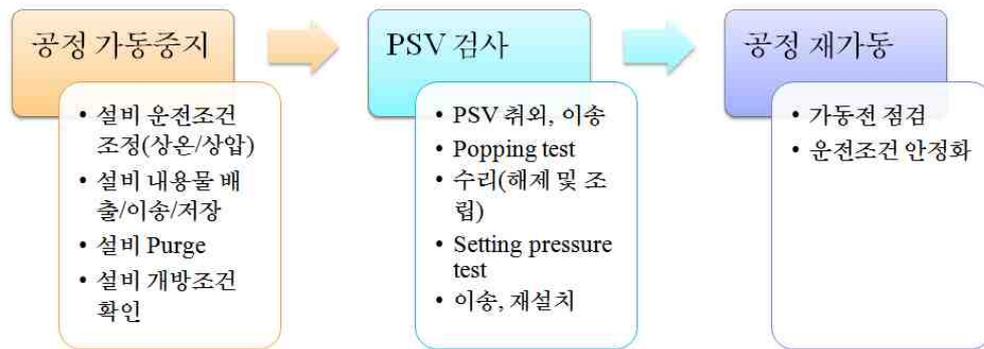
17) ① 인접한 화학설비 등에 안전밸브 등이 각각 설치되어 있고, 해당 화학설비 등과의 연결배관에 차단밸브가 없는 경우, ② PSV 배출용량의 50% 이상의 용량을 갖는 자동압력조절밸브(PCV: Pressure control valve, FO(Fail open) type)와 병렬로 설치된 경우, ③ PSV가 2개 이상 병렬 설치된 경우, ④ 화학설비 등이 예비용으로 설치되어 각각에 PSV가 설치된 경우, ⑤ 열팽창밸브인 경우

〈표 2-4〉 국내 정유 및 석유화학 공장의 PSV 설치 현황

구분	정유공장	석유화학공장	비고
PSV 단독 설치개소	61 ~ 87 %	84 %	매년 공정 정지가 필요한 경우
PSV/RD의 직렬 설치개소	3 ~ 8 %	1 %	매2년 공정 정지가 필요한 경우
PSV 병렬설치 (예외 조항 ③에 해당하는 경우)	3 ~ 39 %	15 %	공정정지 없이 PSV 검사가 가능한 경우
PSV + PCV 설치 (예외조항 ②에 해당하는 경우)	0 ~ 31 %	-	

나. PSV 검사 관련 작업 흐름

PSV를 검사하기 위해서는 해당 설비의 운전을 정지하여야 하며, 검사가 완료된 이후에는 재설치하고 공정을 정상조건으로 복귀하기 위한 작업이 이루어져야 한다. 이러한 과정을 도식화하면 [그림 2-1]과 같다.



[그림 2-1] PSV 검사 관련 작업흐름도

따라서 PSV 검사로 인한 공정 휴지기간은 검사에 소요되는 시간 외에 공정의 가동중지에 소요되는 시간과 공정을 재가동하는데 소요되는 시간이 추가된다. [그림 2-1]과 같은 작업은 모두 안전측면에서 주의를 요하는 작업이다. 설비 내용물을 배출하여 안전한 장소로 이송하여야 하며, 설비의 개방을 위해서는 내부 공기를 불활성 조건으로 치환하여야 하며, 충분히 안전한 분위기가 형성되었음을 확인하여야 한다. PSV는 대체로 설비의 상부에 설치되어 PSV의 취외작업은 주로 고소지역에서 이루어지고, 이를 위하여 크레인 등 중장비를 사용하는 비율이 높다. PSV를 취외하여 검사장소로 이송하거나 검사가 완료된

PSV를 다시 설치장소로 이송하는 동안 PSV가 파손되지 않도록 주의하여야 한다. 특히 PSV 검사가 완료된 후 재설치하기 위하여 이송하는 동안 설정압력이 변동될 정도의 영향이 미치지 않도록 주의가 필요하다. PSV를 재설치한 후 공정을 재가동하기 위해서는 설비 내부를 다시 운전 가능한 상태로 조정하여야 하는데, 이때 가동전 점검을 실시하여야 한다.

따라서 PSV 검사작업은 PSV 자체의 검사와 수리를 포함하여 PSV의 취외와 이송, 재설치에 대한 작업뿐만 아니라 설비의 가동중지 및 재가동을 위한 다양한 형태의 작업안전관리를 요구한다.

다. 국내 정유공장 PSV 유지보수 현황

국내 정유공장의 PSV 검사체계는 크게 2가지 형태로 구분될 수 있다. PSV 검사 전문업체를 협력업체로써 사업장 내에 상주하도록 하여 공장 운전 중 수시로 PSV를 검사하거나 단위공정 전체의 가동정지(정기보수) 기간 중 PSV를 검사하도록 하는 방법과, 정기보수 기간 중 검사하여야 할 PSV가 많을 경우에만 외부 전문업체에게 검사를 위탁하고 운전 중 PSV를 검사하여야 할 경우에는 사업장 내 자체 검사팀에서 PSV를 검사하는 방법이다. 그러나 위에서 언급한 바와 같이 PSV를 필요할 때마다 탈착하여 검사할 수 있는 경우(PSV 전·후단에 차단밸브가 설치된 경우 등)가 많지 않기 때문에 대부분 정기보수 기간 중 PSV를 검사하고 있다.

PSV의 검사방법은 크게 아날로그 방식과 디지털 방식으로 구분되며, 일반적으로 질소, 공기 및 물¹⁸⁾을 이용하여 설정압력에서 PSV가 개방되는 가를 시험하여 합격¹⁹⁾여부를 판정한다. 만일 설정압력에서 PSV가 개방되지 않은 경우에는 그 결과를 기록한 후 수리하여 다시 설정압력을 조정한다. 이때 검사결과가 컴퓨터로 연결되어 검사 중 압력변화를 기록할 수 있는 경우를 디지털 방식이라고 하며, 검사요원이 압력계를 육안으로 확인하는 경우를 아날로그 방식이라고 한다. 대부분의 PSV 검사는 아날로그 방식에 의해 실시되고 있으나 최근에는 디지털 방식을 사용하는 경우도 있다.

국내 정유공장 및 석유화학공장에서 실시한 PSV 검사결과를 분석하면 <표 2-5>와 같이 개방시험에서 불합격된 비율이 각각 0.165 %와 0.703%에 불과하다. <표 2-5>에서 불합격으로 분류된 경우는 설정압력보다 낮은 압력에서 PSV가 개방된 경우를 제외한 것이다.

18) PSV의 방출물질이 액체인 경우에는 대부분 물을 이용하여 검사를 실시함.

19) 오차범위 내에서 개방된 경우를 “합격”으로 처리하였으며, 대체로 오차범위는 설정압력이 5 kgf/cm² 이하 일 경우에는 ±0.14 kgf/cm², 5 kgf/cm²를 초과하는 경우에는 설정압력의 ± 3%를 갖는다.

왜냐하면 PSV가 설정압력보다 낮은 압력에서 개방되는 것은 설비의 파손이나 폭발을 방지하기 위한 방호장치로서의 기능에는 영향을 미치지 않기 때문이다. 이들 PSV 검사 주기는 대체로 2 ~ 4 년 정도의 주기로 검사한 결과를 수집한 것이다. 국내 정유 및 석유화학사업장은 대체로 PSM P등급 사업장이 많기 때문에 「안전보건규칙」에 의한 최대 검사주기인 4년을 적용할 수 있지만, 고착이 우려되는 설비의 PSV에 대해서는 검사주기를 다른 설비에 비해 단축하여 적용하고 있는 것으로 나타났다.

<표 2-5>에서 검사주기를 살펴보면, Polymer 공정을 보유하고 있는 석유화학공장의 경우에는 검사주기가 2년인 경우도 나타났으며, 특히 중합반응 등이 이루어지는 설비에 대해서는 매년 검사를 실시하는 경우도 있는 것으로 조사되었다. 최근 몇 년동안의 PSV 검사건수 대비 불합격건수의 백분율을 불합격률로 표시하였다.

<표 2-5> 국내 정유 및 석유화학 공장 PSV 검사이력 현황

구분	정유공장	석유화학공장	소계
PSV 검사건수	26,608	3,841	30,449
PSV 불합격 건수	44	27	71
불합격률	0.165 %	0.703 %	0.233 %
검사주기	3 ~ 4 년	2 ~ 4 년	

라. 국내 PSV 검사관련 비용

국내 정유공장에서 PSV를 검사하는데 소요되는 비용은 [그림 2-1]에서 보는 바와 같이 PSV 검사작업에 소요되는 직접비용과 PSV 검사를 위해 설비의 운전을 중지하고 PSV 재설치 후 재가동하기 위하여 소요되는 기간 동안의 기회손실비용으로 분류된다. 즉, 아래와 같이 직접비용 및 손실비용으로 구분할 수 있는데, PSV의 직접비용은 전문검사업체와 일괄적으로 계약하는 금액 등으로 산출하기가 비교적 용이하다. 그러나 PSV 검사는 정기보수 기간에 실시되는 경우가 많아, 직접비용에 포함되어야 하는 중장비 사용비용을 별도로 산출하기 어려운 경우도 있다²⁰⁾.

- 직접비용: PSV 취외, 이송, 검사, 수리, 재설치 비용

20) 국내 정유공장 중 PSV 검사를 협력업체에게 위탁하는 경우 직접비용은 일괄적으로 계약하는 경우도 있으며, PSV의 취외, 이송, 재설치는 사업장에서 직접 부담하고 검사 및 수리비용만을 협력업체에게 지불하는 경우도 있다. PSV는 일반적으로 설비의 상단에 설치된 경우가 많기 때문에 탈착과 재설치를 위해서는 크레인 등의 기계사용 비용이 추가될 수 있다.

- 손실비용: PSV 검사로 인해 설비의 운전정지 중 예상되는 수입의 손실비용

손실비용을 산출하기 위해서는 설비의 가동중지 기간을 먼저 파악하여야 하는데, 단순히 가동중지기간만을 손실기간으로 인정할 것인지, 재가동 후 제품의 품질이 기준에 합격할 때까지의 기간을 손실기간으로 인정할 것인지에 따라 손실비용은 차이를 나타낼 수 있다. 또한 해당 공정의 제품이 얼마나 부가가치가 있는 제품인가에 따라서도 손실비용은 달리 책정될 수 있다. 따라서 각 사업장별로 최근 몇 년 동안의 매출액을 기준으로 1일 휴지기간에 따른 손실액을 산출하고, PSV 검사로 소요되는 기간을 곱하여 손실비용을 산출하였다. PSV 검사로 소요되는 기간은 앞서 언급한 바와 같이 공정의 가동중지기간을 포함한다. PSV의 검사수량에 따라 사업장마다 조금씩 차이를 보이고 있으나, 대체로 직접비용은 3억 5천만원정도에서 많게는 18억원에 이르는 것으로 조사되었다. 직접비용을 산출한 4개 사업장만의 총 비용은 약 37억2천만원 정도에 이른다²¹⁾. 이들 사업장에서 PSV 검사를 위해 공정을 중단하는 기간은 약 10일에서 18일 정도의 범위를 나타내었다. PSV의 검사수량이 얼마인가, 얼마나 많은 인원이 단기간에 투입될 수 있는가에 따라 중단기간은 다르게 나타날 수 있으나, 각 사별로 하루의 공정중단으로 인한 손실액은 약 3억원에서 63억원까지 다양하게 나타났다. 이들 4개 사업장이 최근 정기보수로 인해 공정을 중단한 기간에 대한 손실비용은 총 일천이백육십일억원(1,261억원) 정도로 나타났다. 정기보수로 인한 공정가동중지기간으로 손실비용을 산출한 것을 PSV 검사로 인한 손실비용으로 간주하여도 무방한가에 대한 논의가 있을 수 있으나, 실제 정기보수 기간 중 PSV의 검사로 인해 정기보수 기간이 연장되는 사례가 있는 것으로 미루어본다면, PSV 검사로 인한 공정의 가동중지기간이 일반적인 정기보수기간보다 짧지 않음을 알 수 있다. 본 연구를 위하여 방문한 사업장 담당자에 따르면 해당 사업장이 보유한 모든 PSV를 검사하는 경우, 공정가동중지기간이 약 2일 정도 추가될 것이라고 응답하였다.

사업장마다 PSV의 검사수량이 다르고, 단위공정의 부가가치가 시간 및 공정에 따라 변화할 수 있으므로, <표 2-6>에서 조사된 단가를 그대로 모든 사업장에 적용하는 것은 무리가 있지만, 본 연구에 응답한 4개 사업장의 경제적 비용만 고려하더라도 총 1,298억원 정도가 소요된 것으로 나타났다.

21) 4개 사업장의 PSV 수량이 약 16,000여개이므로 개당 약 230,000원정도인 것으로 추산할 수 있지만, 대량물량에 따른 절감액을 감안하여야 하므로, 개당 얼마의 직접비용이라고 단언하기는 어렵다. 각 사별로 보유한 PSV 수량으로 단가를 산출하면 약 168,000원에서 285,000원 정도의 범위를 가지는 것으로 나타났다.

〈표 2-6〉 국내 정유 및 석유화학 공장 PSV 검사로 인한 비용 산출

구분	A사	B사	C사	D사	소계
직접비용 (천원/년)	800,000	350,630	1,844,219	725,435	3,720,284
손실비용단가 (천원/일)	5,000,000	522,000	6,374,000	300,000	
손실기간 (일/년)	10	18	10	10	10 ~ 18
손실비용 (천원/년)	50,000,000	9,396,000	63,740,000	3,000,000	126,140,000
소계 (천원/년)	50,800,000	9,746,630	65,584,219	3,725,435	129,856,284

따라서 만일 PSV 검사를 위해 설비의 정기보수주기와 별도로 현행과 같이 매년 실시하여야 한다고 하면, 규모가 큰 정유공장이나 석유화학공장의 경제적 부담은 매우 크다고 할 수 있다. 최근 운전 및 유지보수 관리기술의 발달과 설비 신뢰도의 증가로 전 공정의 정기보수주기는 증가하는 추세에 있으므로, PSV 검사로 인한 공정가동중지는 경제적 손실이 크다는 것을 알 수 있다.

마. 현장의 애로사항

안전밸브를 점검하려면 보호대상 설비로부터 밸브를 떼어내어 검사를 실시하여야 하기 때문에 대상 공정의 가동을 중단하여야 한다. 화학물질을 취급하는 설비의 가동을 중단하는 것은 일반 기계의 가동정지와 크게 다르다. 화학물질을 취급하는 설비는 종류에 따라 다르기는 하지만 높은 압력과 높은 온도의 밀폐구조이고 이들이 특수한 상황을 유지하며 끊임없이 유동하며 정교한 상태로 균형을 유지하고 작동하고 있다. 이러한 설비의 급격한 가동정지는 화재 폭발이나 장치를 다시 쓸 수 없는 상황으로 야기할 수 있는 가능성이 있으므로 가동중지는 미리 정해진 순서와 절차로 치밀하게 진행되어야 한다. 또한 대부분의 화학공정은 연속공정이기 때문에 어느 한 공정의 가동이 정지되면 다른 공정 또는 전체공정에 영향을 준다. 이러한 관계로 이들 설비의 가동정지는 상당한 시간을 요구하기도 한다. 이러한 사유로 인하여 위절에서 언급한 것과 같이 법정 검사주기를 넘긴다거나 막대한 경제적인 부담을 발생하며 검사를 실시하는 경우도 나타나게 된다. 이러한 현상은 법적요구사항을 알면서도 이를 준수하지 못하는 사례를 낳게 한다.

따라서 안전밸브의 정상적인 작동을 저해 할 수 있는 물질이나 그러한 상황이 예측되는 시설의 경우에는 위와 같은 어려움이 있다고 하여도 안전 확보가 우선이므로 점검주기를 짧게 함이 마땅하다고 사료된다. 그러나 취급하는 물질 등이 안전밸브의 작동에 영향을 크게 주지 않는 경우에는 안전밸브의 성능을 고려한 검사주기를 부여함이 옳을 것으로 사료된다. 특히 안전밸브 검사를 위한 가동정지 및 가동정지 후 재가동 기간에 있을 수 있는 사고의 위험이 높을 때에는 더욱 그러하다.

바. 해외 PSV 검사결과 검사주기별 불합격률

PSV 검사결과를 분석한 해외문헌²²⁾에 따르면, <표 2-7>과 같이 검사주기별로 분류하였을 때, 각 그룹별로 1.13 ~ 3.8 %의 불합격률을 보이고 있다. A Group은 3,373건의 test 결과에서 PSV 개방실패건수는 30건(불합격률이 약 1.13%)로 나타났으나 이들 PSV의 검사주기는 2~4년(가장 최근의 검사까지의 평균시간은 2.137년)으로 일정하지 않다. 검사주기가 6년 미만인 PSV에서는 853건의 test 중 12건의 불합격(1.4%)을 나타냈고, 검사주기가 6년을 초과하는 PSV에서는 52건의 test 중 2건의 불합격(3.8%)을 나타냈다.

<표 2-7> 해외의 PSV 검사 시 불합격 조사결과

조사 대상 Group 조사항목	A Group	B Group	C Group
PSV 검사건수	3,373	853	52
불합격건수	30	12	2
불합격률	1.13 %	1.14 %	3.8 %
검사주기	2 ~ 4 년	6년 미만	6년 초과

3. 국내외 PSV 관련 사고 현황

압력용기에서의 사고사례는 국내외에서 보고된 경우가 많이 있지만, 이들 사고의 원인을 분석한 결과에 따르면 PSV가 개방되지 않음으로 인한 사고는 거의 없다. 사고의 원인은 대체로 PSV의 설계용량 부족으로 인해 용기가 파손된 경우, 정상운전 중 혹은 설정압

22) Julia V. Bukowski, "Results of statistical analysis of pressure relief valve proof test data designed to validate a mechanical parts failure database", Exida, 2007

력에 도달하지 않은 상태에서 PSV가 개방된 경우, PSV 설계 오류로 PSV 개폐 시 진동²³⁾에 의한 PSV 전·후단 배관 및 연결부가 파손된 경우, PSV 배출배관을 Flare-stack으로 연결하지 않아 위험한 물질이 대기로 방출된 경우 등이다. 국내외에서 압력용기 및 PSV와 관련된 사고를 간단히 요약하면 아래와 같다²⁴⁾.

가. PSV 설계 오류에 의한 누출

- 1997년 12월, 일본의 석유정제 사업장(중질유 수첨탈황공정): 압력 상승에 따라 PSV가 작동하였으나, PSV 출구흐름이 원활하지 않아 chattering 현상이 발생하였다. 이 현상으로 발생한 진동에 의해 PSV 설치 Flange가 이완되면서 틈이 발생하여 수소 및 탄화수소가 외부로 누출, 화재가 발생하였다.
- 1995년 7월, 일본의 석유정제 사업장(중유 탈황공정): 압력조절밸브 이상으로 압력이 상승하여 PSV가 작동하였으나, chattering 현상이 발생하였다. 이 현상으로 발생한 진동에 의해 PSV 전단 vent nozzle이 파손되어 탈황중유가 분출하였다.
- 1997년 1월 국내 Pilot plant(반응공정): 반응기 폭주반응으로 압력이 상승하였으나, PSV의 설계용량 부족으로 파열판 전단 flange 연결이 파손되면서 틈새로 인화성 증기가 누출되어 폭발이 발생하였다.
- 2005년 8월 프랑스 석유정제 사업장: 상압증류탑의 압력이 상승하면서 PSV가 개방되었다. PSV는 Flare stack으로 연결되지 않은 상태였기 때문에 탄화수소증기가 대기로 방출되었다.
- 2006년 일본 석유정제 사업장: 접촉개질공정 반응기 주변의 압력이 상승하여 PSV가 개방되었다. PSV 배출물질은 95m 대기로 방출되도록 되어있었으나 대기방출배관의 부식으로 Stack 시작부분이 파손되었고, 이 지점에서 PSV에서 배출된 수소 및 탄화수소가 자연발화에 의해 화재가 발생하였다.
- 2006년 9월 일본 Resin 제조 사업장: 반응기 온도/압력이 상승하여 PSV가 개방되었고 이를 통해 고온의 내용물이 방출되었다. 방출관 출구는 대기로 개방된 상태였기 때문에 방출관 출구에서 화재가 발생하였다.
- 2006년 9월 일본 석유화학 사업장: 중합반응 중 수소가 발생하여 압력이 상승하였다. 이상상태에서 발생한 수소의 양이 PSV의 설계용량을 초과하여, 증류탑에 균열이 발생하였고 균열된 틈으로 방출된 수소와 용제가 착화하면서 폭발이 발생하였다.

23) PSV 작동 중에 대단히 빠른 주기로 격렬하게 개폐되는 현상을 Chattering이라고 하는데, 이러한 현상은 PSV 주변의 진동을 야기시켜, 연결부(Flange 등)나 배관에 손상을 줄 수 있다.

24) 보다 상세한 사고조사내용은 <부록> 참조

나. 정상운전 중 PSV 개방

- 1996년 6월, 국내 BTX 제조공정: 정상운전 중 PSV가 작동되어 다량의 탄화수소가 K.O Drum으로 유입되었고, Seal drum에서 응축된 Xylene이 overflow되면서 외부로 누출되어 화재가 발생하였다.

다. 기타

- 2002년 11월 국내 반응공정: 시험생산 중이던 반응기가 폭발하였다. 그러나 반응 메커니즘이 명확히 규명되지 않아 정확한 원인을 파악할 수 없으나, 파열판이 파열되지 않았다.
- 2005년 3월 미국 Texas 이성화공정: 시운전 시 계기고장으로 Splitter 내 액위가 상승하면서 높은 압력을 형성하여 PSV가 개방되었으나, 증기가 배출되어야 할 PSV에서 고온의 인화성 액체가 배출되어 인근 stack을 통해 분출되었다. 분출된 인화성 액체는 증발하여 VCE를 발생시켰다.
- 2007년 3월 일본 석유정제 사업장(수침탈황공정): 물을 함유한 황화수소에 의해 PSV에 내면부식이 발생하였고, 이로 인해 PSV 설치배관에서 정상 운전 중 황화수소를 포함한 탄화수소가 누출되었다.

Ⅲ. 해외 관련 법규 운용 및 기술 현황

1. 해외 관련 법규 현황

가. EU 및 영국의 관련 법규 현황

1) 압력용기의 안전한 설계에 관한 법적 요구사항

EU는 회원국 간의 압력용기(Pressure equipment)와 부속설비의 자유로운 이동을 위해 모든 회원국이 자국법에 반영하기를 요구하는 97/23/EC²⁵⁾를 제정하였다. 또한 가압 공기와 질소에 관련된 요구사항은 87/404/EEC²⁶⁾로 제정하여 운영하고 있다. 이 가운데 PED (97/23/EC)를 국내의 압력용기 및 보일러에 대한 법적 요구사항과 비교할 수 있는데, 이 법령은 최고허용압력이 0.5 barG를 초과하는 설비(장치 및 부속설비)에 해당하며, 이들 설비에는 용기(Vessel), 배관, 안전장치(Safety accessories)와 압력장치(Pressure accessories)가 포함된다.

영국은 PED를 반영하여 Pressure Equipment Regulations 1999 (PER)를 제정하여 운영하고 있다. PED에 따르면 압력용기를 설계, 제작, 설치하는 사람은 위험성평가를 통해 예측할 수 있는 모든 조건에서 안전을 보장할 수 있는 필수요구사항(Essential requirements)을 만족하여야 한다. 필수요구사항에는 설비의 안전한 취급과 운전을 보장할 수 있는 대책을 수립하는 내용이 포함된다. 예를 들어, 개구부나 압력방출구에서의 위험, 또는 설비의 표면온도 및 불안정한 유체의 분해 등이 예측될 때의 위험을 고려하여 운전방법이 제공되어야 한다. 또한 허용압력을 초과할 경우를 대비한 안전장치를 설치하여야 하며, 안전장치의 종류는 다음과 같다.

- Direct pressure limitation: 안전밸브(Safety valve), 파열판(Bursting disc safety devices), Buckling rods, 압력방출제어시스템(Controlled safety pressure relief systems)
- Limiting devices: 가동중지 등의 명령을 활성화할 수 있는 압력/온도/액위 스위치 등

압력용기 및 그 부속품은 모든 기능이 정상적으로 작동하는 가에 대한 최종 시험을 거친 후 CE mark를 부착할 수 있다.

25) Pressure Equipment Directive(PED)라고 불리며, EU 회원국 사이의 Pressure equipment에 관련된 사항을 규정하고 있다.

26) Simple Pressure Vessels Directive라고 할 수 있다.

2) 압력설비 운전에 관한 법적 요구사항

영국의 Pressure Systems Safety Regulations 2000 (PSSR)은 압력시스템이 실패할 경우 시스템 내부의 에너지가 방출되면서 발생할 수 있는 심각한 재해를 예방하는 데 목적이 있으며, 시스템에서 취급하는 물질이 스팀, 0.5bar(G)를 초과할 수 있는 가스와 0.5bar(G)를 초과할 수 있는 조건으로 액체/기체/증기 등이 혼합된 유체일 경우에 적용된다. PSSR은 설계와 건설, 설치, 운전, 검사, 유지, 기록 등에 대한 법적 요구사항으로 구성된다.

PSV의 검사와 관련된 법적 요구사항은 PSSR 제8조에서 찾아볼 수 있는데, 제8조(Written scheme of examination)는 압력시스템의 주기적인 검사에 대한 요구사항이다. 정기검사 대상은 모든 방호장치(Protective devices), 용기와 배관 등이 포함되며, 정기검사는 자격자에 의해 주기적으로 실시되어야 한다. 그러나 정기검사의 주기는 PSSR에서 일률적으로 규정하지 않고 있다. PSSR에 의하면 사업주는 검사절차서(Written scheme of examination)를 문서로 준비하여야 하는데, 검사절차서는 제3자(Independent competent person)나 내부 자격자(In-house competent person) 중 어느 한 사람이 작성하고 인증을 받은 것이어야 한다. 검사절차서에는 검사대상, 검사항목, 준비사항, 검사주기, 작성자 등이 기록되어야 한다. 필요한 경우에는 설비를 사용하기 전에 최초검사를 실시할 수 있다²⁷⁾.

시스템의 안전운전에 영향을 줄 수 있는 노후/오류 발생 초기에 검사가 시행될 수 있도록 주기를 결정하여야 한다. 방호장치는 설비의 검사주기와 같거나 빨라야 하며, 방호장치를 검사할 때에는 기능의 정상작동 여부와 검·교정 확인 등이 포함되어야 한다.

검사주기를 결정함에 있어서 영향을 줄 수 있는 인자는 다음과 같다.

- 해당 설비의 검사이력 및 안전관련 기록
- 설비의 현황(내·외부 부식이나 침식에 의한 조건)
- 예측되는 설비의 상태
- 기술감독, 운전, 유지 및 검사에 관한 자체 표준(Standards)
- 운전 중 모니터링(On-stream monitoring)의 적용가능성

즉 영국 법령에서는 PSV에만 적용되는 검사주기가 별도로 규정되지 않고 있으며, 각 사업장이 검사절차서를 문서로 작성한 후, 작성된 절차서에 따라 PSV가 설치된 설비를

27) 검사절차서를 작성/인증한 사람은 해당 설비(PER 요구사항을 준수한 설비)의 적합성평가(Conformity assessment) 결과를 고려하여 최초검사의 필요성과 적절성을 결정하여야 한다.

검사할 때 PSV를 함께 검사하도록 하고 있다. 다만, PSSR의 Guidance²⁸⁾ Paragraph 122에 따르면 스팀 공장(Steam plant)에서는 일반적으로 14개월, 스팀 리시버(Steam receiver)는 26~38개월 정도를 검사주기로 권고하고 있으며, 압축공기 시스템에서의 공기 리시버(Air receiver)는 24~48개월을 권고하고 있다. 만일 유지보수절차서(Maintenance of safety standards)의 수준이 높고 부식이 최소한이라면 72개월(6년)까지 검사주기를 늘릴 수도 있다고 언급되어 있다²⁹⁾.

나. 미국의 관련 법규 현황

미국 법령 및 Code에는 안전밸브의 설치에 관한 규정은 있으나 안전밸브의 검사주기가 법령이나 Code에 규정된 것은 없다. 미국은 국내 PSM 제도와 유사한 제도로 화학물질로 인한 중대산업사고를 예방하기 위한 29 CFR 1910.119를 운영하고 있다. 정유사에 대한 29 CFR 1910.119의 준수여부를 감독하기 위한 지침인 OSHA Directive (CPL-03-00-010: Petroleum Refinery Process Safety Management National Emphasis Program)에 따르면, 각 사업장은 설비의 성능을 보장하기 위한 MI Program(Mechanical Integrity Program)을 구축하여 운영할 것을 요구하고 있다.

MI Program에 따라 각종 설비 및 설비에 부착된 안전장치 등에 대한 검사이력을 관리하고, 이를 토대로 검사주기를 결정하여 이행하여야 한다. 이때, 검사방법이나 검사주기를 결정하기 위해 여러 종류의 참조할만한 기술문헌(Recognized and generally accepted good engineering practice)을 제시하고 있으며, 이 가운데 압력방출장치(Relief device)의 검사(Inspection)에 관련하여 제시한 기술문헌은 다음과 같다.

- API 510 (Section 6.6)
- API 576 (Section 6)
- Guidelines for Mechanical Integrity Systems, Table 9-15 (CCPS)

이 지침에 따르면 PSV를 교체하는 경우에는 변경관리 절차에 따라 검사주기를 다시 정하여야 하지만, 만일 기존의 PSV와 동일하다면 검사주기를 기존의 검사주기를 그대로 적용하여도 무방하다.

28) 영국(HSE)은 거의 모든 법령(Regulations)에 대해 법령의 해석을 위하여 ACOP(Approved code of practice)와 Guidance를 발행하고 있다. 사업장에서 ACOP에서 제시한 사항을 준수하지 않아 사고가 발생하였다면, ACOP와 동등 이상의 합리적인 대책을 수립하여 이행하고 있었다는 것을 사업장이 증명하지 않는 한 관련 법령을 위반한 것으로 간주된다. 반면 Guidance는 ACOP와 같은 법적 효력을 갖지 않는다. 그러나 Guidance에서 제시한 사항을 준수한다면 법률을 충분히 준수하였다고 인정된다.

29) 예로 제시한 공정에서 운전조건이 정상보다 가혹하다면 검사주기는 단축되어야 한다.

다. 일본의 관련 법규 현황

1) 노동안전위생법

일본의 노동안전위생법 제45조에 따라 사업자는 보일러 기타 기계 등으로써 정령에서 정하는 것은 노동성령에 정하는 바에 따라 정기적으로 자주검사를 해야 하고 또 그 결과를 기록하여 보존하여야 한다고 규정하였고 이법에 따른 노동안전위생규칙 제276조에는 화학설비 및 그 부속설비에 대하여 2년마다 정기자주검사 즉, 국내에서 말하는 정기 자체검사를 받아야 함을 규정하고 있다. 이 법규에서 강조한 것은 화학설비 등 위험한 설비는 정기적으로 자체검사를 받아야 하고 그 주기는 2년에 1회로 하여야 한다는 것이다. 그리고 자체검사를 실시하여야 하는 항목은 7개 항목으로 그 중의 하나가 안전밸브의 기능검사이다. 다시 말하면 안전밸브의 검사는 자체검사 대상 여러 종목 중의 한 항목으로 규정하고 있다. 이는 산업안전보건법 안전기준에 관한 규칙의 한 조문으로 되어 있는 우리 법규와 약간 다른 양상을 보인다. 즉, 일본의 법규에서는 자체검사를 실시함에 있어서 실시해야 할 항목 7가지로 규정하고 그 중의 하나가 안전밸브의 기능검사이다. 이는 안전밸브의 기능보다는 자체검사 자체에 비중을 두고 있음을 알 수 있다. 또한 자체검사의 주기를 2년에 한 번씩 실시하도록 한 것은 화학설비의 정기정비 시 자체검사를 실시할 수 있도록 고려한 것으로 보인다.

안전밸브의 기능검사는 국내와 유사하게 설비에서 떼어낸 후 기능을 검사하도록 하고 있으며, 노동안전위생규칙 제276조는 다음과 같다.

제276조 ① 사업자는 화학설비(배관을 제외. 이하 이 조에 있어서 같다) 및 그 부속설비에 관해서 2년 마다 1회, 정기적으로 다음 사항에 관해서 자주검사를 실시하여야 한다. 다만, 2년을 초과하는 기간 사용하지 않는 화학설비 및 그 부속설비의 당해 사용하지 않는 기간에 있어서는 그러하지 아니한다. (위반 시 벌칙: 50만엔 이하의 벌금)

1. 폭발이나 화재의 원인이 될 위험이 있는 물질의 내부에 있어서 유무
2. 내면 및 외면의 현저한 손상, 변형 및 부식의 유무
3. 뚜껑판, 플랜지, 밸브, 코크 등의 상태
4. 안전밸브, 긴급차단장치 기타 안전장치 및 자동경보장치의 기능
5. 냉각장치, 가열장치, 교반장치, 압축장치, 계장장치 및 제어장치의 기능
6. 예비동력원의 기능 화학설비나 그 부속설비에 이상을 인정이 되는 경우에는 보수

7. 전 각 호에 기재된 것 외에 폭발이나 화재를 예방하기 위해서 특히 필요한 사항
- ② 사업자는 전항의 단서조항의 화학설비 및 그 부속설비에 관해서 그 사용을 다시 개시할 때에 동항 각 호에 기재된 사항에 관해서 자주검사를 실시하여야 한다.
- ③ 사업자는 전 2항의 자주검사 결과를 당해 화학설비나 그 부속설비에 이상을 인정하는 경우에 보수, 기타 필요한 조치를 강구한 후가 아니면 이들 설비를 사용할 수 없다.
- ④ 사업자는 제1항이나 제2항의 자주검사를 실시하는 경우에 다음의 사항을 기록하고 이것을 3년간 보존하여야 한다.
1. 검사년월일
 2. 검사방법
 3. 검사개소
 4. 검사의 결과
 5. 검사를 실시한 자의 성명
 6. 검사결과를 기초해서 보수 등의 조치를 강구하는 경우는 그 내용

2. PSV 검사주기 기술문헌 검토

가. 영국 HSE 기술문헌

앞에서 언급한 바와 같이 영국의 경우 법적으로 압력용기 및 그 부속품인 PSV에 대한 검사주기를 규정하고 있지 않다. 검사주기는 적합한 자격을 갖춘 사람이 설비의 사용조건, 검사이력 등을 고려하여 결정하여야 할 사항이다. 따라서 영국의 HSE는 검사주기를 결정하기에 필요한 각종 문헌을 제공하고 있는데, 이 가운데 몇 가지를 제시하면 다음과 같다.

1) HSE Offshore division, Mechanical systems : Topic strategy 2008-2011

- 압력설비(Pressure systems)의 검사에 관련하여 API Standards 510, 570, 572, 574 등을 참조하도록 제시하고 있음.
- 안전밸브의 검사주기는 위험기반검사(RBI: Risk based inspection) 방법론을 통해 연장될 수 있으며, API 581을 참조하도록 제시하고 있음.
- API 576이 안전밸브의 검사에 대한 가이드언스를 제공하고 있으므로 참조하도록 제시

하고 있음.

2) HSE, Contract research report (CRR 363/2001) : Best practice for risk based inspection as part of plant integrity management.

- RBI를 이용한 설비관리의 실행지침을 마련하는데 목적을 두고 있으며, PSSR 및 COMAH Regulations³⁰⁾의 적용대상이 되는 설비의 검사에 관련된 보고서임.
- 검사주기에 관련된 여러 기관 중 SAFed(Safety assessment federation), CEOC (European confederation of organizations for testing, inspecting, certification and prevention) 및 석유협회(Institute of petroleum)의 자료를 분석함.
- 최초검사(Initial examination)는 새로운 설비를 설치하고 운전하기 전에 실시하는 첫 번째 검사를 말하며, 이 검사는 설비 공급자의 적합성평가(Conformity assessment)결과를 통해 결정하도록 하고 있음.
- 1차 검사(First examination)는 운전을 시작한 후 첫 번째 실시하는 검사를 말하며, 향후 검사주기나 유지보수 계획에 영향을 줄 수 있는 중요한 시기이므로 최대 2년 이내에 검사할 것을 권고하고 있음.
- 검사주기는 RBI, 위험성평가, 1차 검사 결과를 토대로 결정되어야 한다. 기존의 여러 경험에 따르면, PSSR Guidance에서 제시하는 바와 같이 스팀공장은 14개월, 스팀리시버는 26~38개월, 공기리시버는 24~48개월, 기타 제반조건이 허락한다면 72개월을 적용할 수 있다. 본 보고서에서 검토한 여러 기관의 가이드라인에 따르면 1차 검사 후 최대 2~12년 사이의 검사주기를 압력용기의 형태에 따라 다르게 적용할 수도 있음.

나. API

API (American Petroleum Institute)에서 발간한 여러 지침 가운데 PSV와 관련된 지침은 다음과 같다.

1) API RP 576, Inspection of pressure-relieving devices, 2000

- PSV의 검사는 기능검사(Shop inspection/overhauls)와 육안검사(Visual on-stream inspections)로 구분되는데, 기능검사는 PSV를 철거하여 검사하고(pre-test), 분해한

30) Control of major accident hazards regulations로 국내 공정안전보고서 작성에 관한 의무와 유사함.

후 재조립한 다음에 검사(post-test)하는 것을 포함한다. 기능검사를 위해 PSV를 철거할 때에는 PSV 주변배관내부를 함께 확인하여 고형물이 부착되었는가 등을 점검하여야 한다.

- PSV는 설비의 정기보수(Scheduled shutdown) 기간 중 검사하는 것이 바람직하다. 그러나 운전 중 설정압력에서 PSV가 열리지 않았거나 개방 후 다시 정상적으로 닫히지 않았다면 즉시 검사를 실시하여야 한다.
- 부식, 파울링(Fouling) 등이 발생하는 곳에 설치된 PSV의 검사주기는 보통보다 짧아야 하며, 진동이 생기는 경우와 설정압력과 운전압력차이가 적은 경우 등 밸브의 누출이나 성능약화를 초래할 우려가 있는 경우에도 검사주기를 짧게 적용하여야 한다.

2) API 510, Pressure vessel inspection code: Maintenance inspection, rating, repair, and alteration, 2003

- 정유 및 석유화학산업에서 사용되는 압력용기의 유지보수, 검사 등에 대한 지침으로, 검사방법, 부식율 결정, RBI 등으로 구성되어 있다.
- PSV의 검사주기는 사용조건 및 주변환경의 영향을 받지만, 부식성이 없고 파울링이 발생하지 않는 조건에서는 10년까지, 그렇지 않은 경우에는 최대 5년까지 적용할 것을 권고하고 있다.
- 검사주기가 결정되었다고 할지라도 이전 검사에서 파울링이나 막힘현상을 발견하였다면 검사주기를 단축하여야 한다.

다. EEMUA 188

EEMUA(The Engineering Equipment and Materials Users Association)에서 2009년에 안전밸브의 운전주기에 관한 가이드(Publication 188: Guide for establishing Operating Periods of Safety Valves) 2판을 발간하였다. EEMUA는 잘 알려져 있는 기관은 아니지만, 영국에 소재하고 있으며 가장 비용편익적인 방법으로 산업설비의 운전성능 및 안전과 환경관리를 개선하고자하는 비영리회원단체이다.

EEMUA의 가이드는 안전밸브의 운전주기를 수립하기 위해 고려하여야 할 사항과 관리하여야 할 자료(정보)의 종류 등에 대해 제시하고 있다. EEMUA에서 제시하는 운전기간의 수립 원칙은 운전경험, 안전밸브의 형태, 환경 및 법적 요구사항 등을 고려하여 초기 운

전기간을 정하고 난 후, 첫 번째 보수(Overhaul / Inspection / Test)를 통해 수집한 정보를 토대로 운전기간을 다시 검토하여 수정하는 것이다. 따라서 경험적 접근과 기술적 접근방법을 이용하여 운전기간을 정하는 것이 공장의 운전철학이라고 제시하고 있다.

경험적 접근에는 유사한 공정이나 유사한 설비에서 유사한 기능을 수행하는 밸브에 대한 경험도 포함되며, 기술적 접근에는 RBI를 제시하고 있다. 이 가이드에 따르면 다음과 같은 경우에는 검사주기(PSV의 운전기간)를 단축하여야 하는데, 이들 요구사항은 API의 요구사항과 유사하다.

- 진동이 있는 경우,
- 사용압력과 설정압력의 차이가 작은 경우
- 배출배관의 배치나 배관 설치가 부적절한 경우

이 가이드의 부록에는 PSV를 검사하는 절차와 검사방법이 비교적 상세히 소개되고 있으며, 각 단계별로 주의하여야 할 주요 사항을 정리하면 다음과 같다.

- PSV를 떼어내는 검사의 절차: Pre-popping test 결과 개방압력이 설정압력의 $\pm 5\%$ 이내이고 밸브의 육안검사 결과가 좋다면 정비절차를 다르게 적용할 수 있음.

육안검사(밸브 설치된 지역에 대한) → Drain → PSV Header pipeline의 isolation → PSV를 떼어낸 곳에 Cap 설치 → 밸브에 대한 육안검사 → pre-popping test → 해체 → 검사 → 정비 → 조립 및 test

- PSV가 부착된 설비에서 취급하는 물질이 독성이거나 폭발성이거나 자연발화성 물질인 경우에는 특히 주의가 필요하며, PSV를 검사하는 공간을 제한구역으로 운영하여야 함.
- Gas service PSV는 공기, 질소 및 헬륨을 이용하여 검사를 실시하고, Liquid service PSV는 물이나 기름을 이용하여 검사를 실시하여야 함.
- 검사자는 일정한 자격을 갖추어야 함.
- PSV를 관리할 때에는 정상운전 외에도 비정상조건에서 PSV와 접촉할 수 있는 유체의 종류를 고려하여 구분하는 것이 바람직함.
- 아무런 경험이 없는 첫 번째 검사일 경우에는 Clean 설비는 2년, Dirty 설비는 1년만에 검사를 실시하는 것이 바람직함. 다만, 파열판과 직렬로 연결된 경우의 Dirty 설비는 Clean 설비로 간주할 수 있음.

이 가이드의 특징이라고 한다면 on-line test를 소개하고 있다는 점이다. on-line test란 설비를 운전하는 중간에 PSV를 떼어내지 않고 실시하는 검사방법을 말한다. 이 방법은 PSV의 검사주기가 도래하였지만, 설비의 Overhaul 주기까지 아직 시간이 남아있는 경우, 중간검사의 형태로 활용하는 것이다. 따라서 중간검사로써 on-line test를 실시하였더라도 설비의 Overhaul 시 PSV를 떼어내어 검사를 실시하여야 한다. 이 가이드에서 제시하는 on-line test 방법은 다음과 같이 크게 3가지로 분류할 수 있다.

- Floating method: Steam boiler에만 적용할 수 있는 on-line test 방법
- Force balance method: Steam, 공기 및 Clean process service에 주로 적용할 수 있는 방법이며, 이 이외의 경우에 적용할 경우, test 후에 완전한 밀폐가 되지 않아 내부 누출이 발생할 위험이 있음.
- Testing using a supplementary bursting disc: 파열판이 직렬로 연결된 경우 파열판과 안전밸브 사이에 공기나 질소를 이용하여 test하는 방법으로, 파열판 제조사의 자문을 받은 후에 실시하여야 함. 또한 test 중 PSV 배출압력으로 Header line에 연결된 다른 PSV에 미칠 수 있는 배압을 고려하여야 함.

이 가이드에서 제시하는 바에 따르면, PSV 검사절차서를 작성하기 위해 관리하여야 할 주요 정보는 다음과 같다.

- PSV의 설치위치 및 형태: Header line, 대기방출 여부, 파열판과 직렬연결 여부 등
- PSV 사양: 크기, 재질, 설정압력, 배출용량 등
- Service material: 비정상운전조건에서도 접촉할 수 있는 물질 포함
- 검사결과: PSV와 연결된 배관의 육안검사 및 PSV 검사결과 포함
- 수리·교체 이력: 부속품, 주변배관을 포함하며, 수리시기와 주기도 기록
- PSV의 개방사례: 운전 중 개방된 적이 있는가, 누출된 사례가 무엇인가 등

이 가이드에서 제시하는 검사주기는 열팽창밸브의 경우 최대 10년, 기타의 밸브의 경우에는 1년에서 6년까지의 검사주기를 제시하고 있다. 안전밸브의 검사주기를 지속적으로 관리하기 위해서는 안전밸브를 떼어낸 후 연계된 배관의 육안검사결과도 기록하도록 권고하고 있다.

라. 기타

해외 문헌³¹⁾에서 PSV 검사주기에 따라 약 9,300건의 PSV 검사결과를 3가지 유형으로 분류하여 분석한 결과에 따르면, 보수적으로 해석하더라도 5.2년 이전에 PSV 노후가 일어날 가능성이 매우 낮으므로($2.2 \sim 6.1 \times 10^{-8}/hr$), $10^{-7} \sim 10^{-8}/hr$ 의 고장율을 보장하는 범위에서 PSV의 유효기간을 <표 3-1>과 같이 4~5년으로 정하는 것을 결과로 제시하였다.

<표 3-1> PSV 검사주기에 대한 문헌조사 결과 (1)

Data set	Estimated useful-life interval	Estimated λ (Failure rate) Failures/hour
I	4.2 years	5.0×10^{-8}
II	4~5 years	6.1×10^{-8}
III	5.2 years	2.2×10^{-8}
General Conclusion	4~5 years	10^{-8} to 10^{-7}

출처: Julia V. Bukowski, et al, "Table 3. Summary of results along with general conclusions drawn", Process Safety Progress (Vol. 28, No. 1), 2009

Alan Fitzpatrick³²⁾에 따르면 보일러 및 스팀발생 설비에서의 PSV의 검사주기를 일반적으로 소규모 보일러의 경우 14개월, 석탄연료를 사용하는 발전소(Coal-fire power station)의 경우에는 50개월³³⁾(4년 이상)을 적용하고 있다.

3. 해외 법률 및 기술적 타당성 검토 결과

국내뿐만 아니라 해외에서도 법률에 의해 설비의 사용 중 비정상상태로 인해 설비의 사용압력을 초과하는 경우 발생할 수 있는 위험을 예방하기 위하여 안전장치를 설치하여야 한다. 그러나 국내와 일본을 제외한 대부분의 국가는 해당 설비와 안전장치의 검사주기에 대해 법적으로 일정한 기간을 제시하지 않고 있다. 이는 각 설비마다 혹은 공정마다 사용조건의 차이가 있을 뿐만 아니라, 어떻게 설비의 성능을 유지·관리하는가에 따라 검사주기가 달라질 수 있기 때문이다. 검사주기가 법적으로 제시되지 않은 국가에서는 사업

31) Julia V. Bukowski & William M. Globe, "Analysis of pressure relief valve proof test data", Process Safety Progress (Vol. 28, No. 1), 2009

32) Alan Fitzpatrick, "Testing safety valves", Plant Engineer, 2009

33) 검사주기는 50개월이지만 25개월에 한번 중간검사(mid-term test)를 실시하여 밸브의 작동이 유효한가를 확인한다고 언급되어 있음. 중간검사의 의미가 명확하지 않으나, 스팀을 방출하는 PSV에 레버가 부착된 경우에는 운전 중 검사도 가능하므로 이를 의미하는 것으로 판단됨.

장 스스로 설비의 검사절차서 혹은 유지·보수 절차서를 구축하도록 요구하고 있으며, 이러한 절차서를 통해 설비 및 안전장치에 대한 검사주기와 검사방법 등을 수립하여 이행하도록 요구하고 있다. 이러한 절차서를 구축할 때 참조할 수 있거나 반드시 고려하여야 하는 사항에 대해서만 정부기관에서 지침의 형태로 제시하고 있다. 본 연구에서 검토한 영국 및 미국의 경우, 검사주기를 결정함에 있어서 고려하여야 할 사항을 다음과 같이 제시하고 있다.

- 설비의 검사이력 및 안전관련 기록
- 설비의 운전조건: 사용 물질, 부식, 예측되는 설비의 상태 등에 대한 정보
- 위험도기반검사 결과

또한 영국 및 미국의 경우, 사업장이 스스로 검사주기 등을 결정함에 있어서 참고할만한 기술문헌을 제시하고 있는데, 공통적으로 API 576, API 510이 여기에 포함된다. 이 외에도 본 연구에서 살펴본 다른 기술문헌의 검토결과를 종합하면 검사주기를 결정할 때 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

- 안전장치(PSV)는 설비의 보수기간 중에 실시하는 것이 바람직함.
- 검사주기를 한번 결정하였다고 할지라도 다음 검사결과에 따라 검사주기를 조정하는 것이 바람직함.
- 부식이나 파울링이 관찰되었거나, 진동이 발생할 우려가 있는 위치에 설치된 PSV의 검사주기는 단축되어야 함.
- 설비의 사용압력과 PSV의 설정압력의 차이가 상대적으로 적은 경우에는 검사주기를 단축하는 것이 바람직함.
- 설비 및 PSV의 초기 검사주기를 결정할 때에는 RBI, 위험성평가, PSV의 설치 전 성능평가결과, 유사한 이전의 경험 등을 토대로 결정하는 것이 바람직함.
- 운전 중 PSV가 개방된 사례가 있거나 개방 후 설정압력으로 복귀되지 않은 경우에는 즉시 검사를 실시하는 것이 바람직함.

대부분의 해외 법률이나 문헌에서 제시하는 기본적인 원칙은 PSV는 설비의 검사 중 같이 검사하는 것이 바람직하며, 이전의 검사결과를 반영하여 검사주기를 합리적으로 조정하는 것이다. 그리고 이러한 체계적인 관리를 위해서 필요한 각종 검사이력이나 운전현황 등에 대한 자료를 확보하고 관리하는 것이다.

이와는 별도로, 법적으로 검사주기가 명확히 정해지지 않았기 때문에 많은 기술문헌에서 검사주기 결정에 도움이 될 수 있는 권고안을 제시하고 있는데, 이들을 검토하면 대부분 4 ~ 5 년 정도의 검사주기가 일반적인 것을 알 수 있다³⁴⁾. 따라서 사업장은 PSV 및 설비의 검사결과를 토대로 4 ~ 5 년을 중심으로 검사주기를 연장하거나 단축하여 적용하도록 권고하고 있다.

국내의 경우에도 「고압가스안전관리법」 및 「에너지이용합리화법」에 따라 압력용기에 설치된 안전밸브의 검사는 해당 설비의 검사항목에 포함되어 같이 수행하도록 하고 있다. 따라서 「안전보건규칙」에서 제시하는 안전밸브의 검사주기도 해당 설비의 검사주기와 일치할 수 있도록 검사주기의 탄력적 운용이 필요할 것으로 판단된다.

또한 법적으로 검사주기가 제시된 일본의 경우에도 안전밸브의 검사주기는 2년으로 제시되어 있어, 현행 「안전보건규칙」에서 규정한 PSV 검사주기 1년은 연장될 필요가 있는 것으로 판단된다.

34) 대체로 스팀발생설비 등 보일러 설비에 대한 검사주기는 이보다 짧은 주기(14개월 ~ 24개월)를 권고하는 경우도 있으며, 중간검사를 실시한다는 조건일 경우 50개월까지 연장이 가능하다는 경우도 있다.

IV. 연구결과 고찰

1. 국내 PSV 검사주기 법적 요구사항의 문제점

본 연구를 토대로 PSV 검사주기를 합리적으로 개선하기 위한 제안을 제시하기 위하여 전문가 공청회를 통해 PSV를 운영하고 있는 사업장, PSV 및 관련 설비의 검사 및 관련 법률을 이행하는 감독기관, 그리고 학계의 의견을 수렴하였다.

본 공청회에서 논의되었던 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

가. 법률의 중복 및 검사주기 차이에 따른 문제점

앞에서 언급한 바와 같이 PSV의 검사에 관련된 법률은 크게 3가지인데, 각각의 법률에서 요구하는 검사주기가 다르다. 이로 인해 어느 법률에서 검사주기가 연장되었다고 할지라도 가장 짧은 검사주기를 요구하는 법률에 따라 검사를 실시하게 되므로, 사업장에서는 동일한 설비에 대해 다양한 법적 요구사항을 모두 충족하여야 한다.

또한 어느 법률에 따라 검사를 실시한 경우, 그 결과를 상호 인정하는 제도가 마련되어 있지 않기 때문에 각각의 법률에 따라 검사를 실시하는 경우도 발생한다. 「에너지이용합리화법」에서는 「고압가스안전관리법」에 따른 검사대상 설비의 검사를 예외로 인정하고 있고, 「산업안전보건법」에서도 위 두 법률의 검사결과를 인정하고 있으나, 「고압가스안전관리법」에서는 나머지 두 법률의 검사결과를 인정하는 조문이 현재 없다. 더구나 각각의 법률에서 정의하는 압력용기의 정의가 조금씩 다르기 때문에 서로 검사결과를 인정한다고 할지라도 같은 공정 혹은 서로 연관된 설비 중 어느 하나라도 검사주기가 짧게 요구되는 법률의 적용을 받으면 전체 공정의 검사주기가 짧은 쪽으로 운영된다는 애로사항이 발생한다.

나. 현행 산업안전보건법 상 검사주기의 문제점

현재 「안전보건규칙」에서 규정한 PSV 검사주기(1년)는 실제로 현장에서 이행되지 않는 경우가 많다. 앞서 언급된 바와 같이 PSV를 검사하기 위해서는 해당 설비뿐만 아니라 연관된 다른 설비의 운전까지 정지하여야 한다. 국내에 석유화학산업이 도입되어 운영되던 초기(1960 ~ 1970년대)에는 설비의 운전기술, 유지관리기술 및 설비의 신뢰도가 충분

하지 않기 때문에 매년 공정을 가동중지하고 유지·보수하는 작업이 이루어졌기 때문에, PSV의 검사주기가 제정될 1990년 당시에는 1년 주기가 타당성이 있었을 것이다. 그러나 산업기술의 발달과 운전기술의 향상, 설비의 신뢰도 향상으로 사업장의 정기보수주기는 점점 증가하는 추세에 있기 때문에 1990년에 제정된 PSV의 검사주기를 그대로 적용하는 것은 현실적이지 못하다.

2003년 관련 규정의 개정으로 PSM 대상 사업장 중 이행상태평가가 우수한 사업장은 PSV의 검사주기를 4년까지 연장할 수 있다. 그러나 현재 검사주기를 4년으로 할 수 있는 PSM P등급 사업장은 약 900여개의 PSM 대상 사업장 중 약 10%인 90여개에 불과하다. 또한 이행상태평가 결과 P등급 사업장이라고 하더라도 이 사업장에서 사고가 발생할 경우 즉시 하향 조정되어 검사주기가 1년으로 환원된다. 이때에는 사업장에서 자체적으로 운영하고 있는 정기보수주기와 PSV의 검사주기가 서로 달라 사업장은 대부분 법규 위반임을 알면서도 PSV 법적 검사주기를 준수하지 못하는 경우가 많다. 또한 현재 PSM 이행상태평가 항목에는 PSV의 관리 수준을 명확히 판단할 수 있는 항목이 부족하여, 사업장의 전체적인 안전관리 수준을 평가할 수는 있지만, PSV 및 설비의 관리수준까지 구체적으로 평가하기에는 미흡한 부분이 있다. 그리고 사업장에서 발생한 사고가 설비의 유지관리나 PSV의 유지관리와는 전혀 무관한 조건에서 발생한 경우에는, 아무리 PSV 및 설비의 신뢰도나 관리수준이 높다고 할지라도 1년마다 설비의 가동을 중지하여야 하는 불합리성이 존재한다. 따라서 현재의 PSM 이행상태평가 등급만으로 PSV 검사주기를 결정하는 것보다는 좀 더 구체적이고 논리적인 평가방법을 통해 검사주기를 조정할 수 있도록 보완하는 것이 필요하다.

다. 검사주기 단축 시 안전 상 문제점

안전관련 이론에 따르면 Risk는 발생가능성과 심각성의 조합으로 표현된다. 따라서 위험에 노출되는 빈도를 줄이는 것도 Risk를 줄이는 하나의 방법이다. PSV 검사작업은 [그림 2-1]에서 보는 바와 같이 여러 가지 안전작업을 요구하고 있다. 설비를 가동중지하거나 재가동할 때 발생할 수 있는 위험요인도 많지만, PSV를 취외하고 재설치하는 작업이 대체로 고소지역에서 이루어질 뿐만 아니라 PSV 검사가 완료된 후 이송 및 재설치를 실시해야 하므로, 이러한 과정에서 발생할 수 있는 오류의 가능성도 존재한다. 더구나 이러한 작업이 매년 이루어져야 한다면, 사업장에서는 검사시간을 단축하기 위하여 동시에 많은 물량을 서둘러 작업하거나 여러 검사업체를 이용하게 될 것이다. 단기간에 많은 수량의 PSV 검사를 관리하고 감독하기 위한 인원이 충분하지 않은 경우에는 오히려 안전문제

를 일으킬 가능성이 존재한다.

일반적으로 정유 및 석유화학 공장에서 정상적인 운전을 실시할 때에는 사고가 발생할 빈도가 낮다. 운전조건이 안정화된 상태에서는 사고의 발생가능성이 낮기 때문이다. 대부분의 사고는 설비의 시운전 시 혹은 유지보수 작업 시 발생한다. 또한 인근 설비를 운전하는 중에 이루어지는 여러 가지 작업은 사고의 발생가능성을 높이기 때문에, 안전작업허가절차서로 관리하고 있는 실정이다. 따라서 사고발생 가능성을 줄이기 위해서는 가능한 모든 정기작업(예를 들어 PSV 검사나 설비의 검사 등)은 공정의 정기보수기간에 전체적으로 실시할 수 있도록 계획하는 것이 바람직하며, 정기보수기간은 설비의 안전성능이 보장되는 한도 내에서 가능한 한 오랜 시간 유지하는 것이 바람직하다. 그러나 다른 문헌에서 권고하는 바와 같이 설비의 운전 중 이상상태가 발생할 경우에는 가능한 한 즉시 검사를 실시할 수 있어야 한다.

2. 국내 PSV 검사주기의 개선방안

국내의 법률 및 해외 기술문헌을 검토하고 사업장 담당자의 의견을 수렴한 결과를 중심으로 본 연구에서는 PSV 검사주기에 대하여 다음과 같이 2가지 안을 제시하였다. 제1안은 PSV 검사절차서와 최소검사주기를 도입하는 안이며, 제2안은 PSV 검사절차서와 최대검사주기를 도입하는 안이다. 각각의 안을 도입할 때 필요한 선행과제를 아래와 같이 제시하였다.

가. PSV 검사절차서 및 최소검사주기 도입 (제1안)

1) 주요 내용

현재 「고압가스안전관리법」이나 「에너지이용합리화법」에 따르면 PSM 대상사업장의 PSV 및 설비의 검사주기는 4년에서 최대 8년으로 조정이 가능하다. 그러나 「안전보건규칙」에서 규정한 바에 따르면 PSM 대상사업장이라고 할지라도 P등급을 받은 경우에만 검사주기를 4년으로 적용할 수 있으며, 그렇지 않은 경우에는 1년을 주기로 하여야 한다. 파열판과 직렬연결인 경우에는 2년의 검사주기를 적용할 수 있지만, 실제로 파열판과 직렬로 설치된 개소의 비율이 높지 않을 뿐만 아니라 관련 설비까지 운전을 정지하여야 하는 현실을 고려할 때, P등급 이외의 사업장은 1년의 검사주기가 적용된다고 볼 수 있다. 즉, 국내의 다른 법률과 비교할 때, 검사주기의 차이가 너무 크다. 또한 외국의 경우 대부분 자율적으로 검사주기를 결정하도록 하고 있고, 법적으로 검사주기가 정해진 일본도

PSV의 검사주기를 2년(설비의 검사주기와 동일)으로 규정하고 있다.

따라서 「안전보건규칙」에서도 PSV의 검사주기를 최소 2년으로 하되, 일정한 조건을 만족하는 경우에는 연장하는 방안을 제1안으로 제시하였다. 일정한 조건이라 함은 PSV가 설치된 설비의 운전형태, PSV 및 설비에 대한 검사관리능력, 사업장의 전체적인 안전관리능력을 토대로 평가한 결과가 일정 수준 이상이어야 한다는 것을 의미한다.

아울러, PSV 검사는 PSV가 설치된 설비의 정기보수(검사)기간에 이루어지는 것을 원칙으로 하되, PSV 검사유효기간을 일정 범위 이상 초과하지 않도록 하는 방안도 같이 도입되어야 한다. 예를 들어, 2000년 1월에 PSV를 검사하였다면, 다음 검사유효기간이 2002년 1월이다. 그런데 만일 PSV가 설치된 설비의 정기보수시기가 4월로 계획된 경우에는 4월에 PSV를 검사하더라도 인정해주는 방안을 말한다. 이 경우 얼마의 기간까지 인정해 줄 것인가에 대해서는 사업장과 감독기관과의 조율이 필요할 것이나, 현재 「고압가스안전관리법 시행규칙」에서도 “해당연도의 정기보수기간과 법정검사 기간 전후의 적절한 시기에 받을 수 있도록” 탄력적으로 운용하고 있기 때문에 큰 애로사항이 발생하지는 않을 것으로 판단한다.

2) 연장조건

제1안에서 말한 일정한 조건을 만족하는 경우의 연장조건은 다음과 같다.

가) 첫째, PSM 대상 사업장 중 슬러지나 폴리머 등으로 인해 PSV의 개폐에 영향을 주지 않는 설비에 부착된 PSV는 2년을 연장하여 매4년마다 PSV를 검사할 수 있다.

해외의 법률이나 기술문헌에서도 PSV가 부식이나 파울링으로 문제가 발생할 가능성이 있는 경우와 없는 경우에 대해 검사주기를 차별화하고 있다. 또한 본 연구에서 조사한 PSV 검사이력 중 불합격 건수가 발생한 공정의 특성을 살펴보면 3~4년의 주기로 PSV를 검사하였음에도 불구하고 상대적으로 Clean한 공정은 PSV 불합격건수가 나타나지 않음을 알 수 있다. 다만, PSM 대상 사업장이 아닌 경우에는 슬러지나 폴리머 등에 의한 영향이 없다고 할지라도 모든 사업장이 일정 수준 이상의 설비관리를 하고 있다고 보장할 수 없으므로 PSM 대상 사업장으로 연장조건을 제한한다.

나) 둘째, PSM 이행상태평가가 우수한 사업장은 4년을 연장하여 매6년마다 PSV를 검사할 수 있다.

PSM은 중대산업사고를 예방하기 위한 종합적이고 체계적인 안전관리시스템이다. PSM 이행상태평가가 우수하다는 것은 본문에서 언급된 바와 같이 설비의 운전기술이나 관리기술 수준이 높아서 운전 중 설비에 비정상상태를 초래하지 않을 뿐만 아

나라, 설비 및 PSV에 대한 유지관리수준이 높기 때문에 6년의 범위에서 PSV 및 설비의 안전성능을 보장할 수 있는 검사와 관리가 이루어질 것이기 때문이다.

- 다) 셋째, PSV 검사절차서를 작성하여 공인기관의 심사를 받고, 그 내용을 준수하는 경우 검사절차서의 수준에 따라 2년에서 4년을 연장하여, 매4년에서 매6년마다 PSV를 검사할 수 있다.

이는 PSM 대상사업장이 아닌 경우 혹은 PSM 대상사업장이라고 할지라도 사업장 전체적인 안전관리수준이 P등급을 만족할만한 수준이 아닌 경우, PSV에 대한 검사절차서를 일정 수준 이상 구축하여 운영할 때에는 PSV의 검사주기를 연장할 수 있도록 하는 것도 좋은 방안이다. PSV는 설비의 안전한 운전을 위하여 매우 중요한 장치이며, PSV를 적절히 관리하지 못하여 사고가 발생할 경우, 공정의 운전정지와 사고발생으로 인한 손실이 즉시 나타나기 때문에 거의 대부분의 사업장에서 어떤 안전관리 요소보다 중요하게 인식할 것이기 때문이다.

3) 기대효과 및 해결하여야 할 과제

제1안을 도입할 경우 기대효과는 다음과 같다.

- 첫째, PSV가 설치된 설비의 검사주기에 따라 PSV 검사가 이루어질 수 있으므로 검사의 효율성이 증대될 것이다.
- 둘째, PSV의 신뢰성 및 관리수준에 따라 검사주기를 연장함으로써 경제적 효과 및 사업장의 설비관리가 용이할 것이다.
- 셋째, PSV를 기술적으로 관리할 능력이 부족한 사업장의 경우에는 최소검사주기인 2년마다 검사를 하도록 함으로써 이들 사업장에서 PSV로 인한 사고가 발생하지 않도록 예방할 수 있다.

반면 제1안을 도입하기 위해서는 다음과 같은 과제가 해결되어야 한다.

- 첫째, PSV 검사기준 및 관리기준에 대한 가이드라인이나 지침이 먼저 제공되어야 한다. 이들 지침을 참고로 각 사업장에서 PSV를 어떻게 검사하고 관리하여야 하는지, 그리고 이를 위해 어떤 자료를 확보하여야 하는지 등에 대한 지침을 제공하여야 한다.
- 둘째, PSV 검사절차서에 대한 심사기관과 심사기준이 수립되어야 한다. PSV 검사주기의 연장조건 중 하나는 PSV 검사절차서를 구축하고 심사받은 후 그 내용을 준수하는 것이므로, 심사기관과 심사기준이 수립되어야 한다. 현재 KS규격 B 6755(2005)

에 압력용기 및 압력방출장치에 대한 검사와 시험기준이 제시되어 있다. 따라서 이를 토대로 새로운 심사기준을 수립하거나, 현재의 KS 규격을 그대로 받아들이는 방법 중 하나를 선택할 수 있을 것이다.

- 셋째, PSV 검사절차서의 수준을 평가하여 등급관리기준을 마련하여야 한다. PSV 검사절차서가 수립되었다고 할지라도 사업장마다 안전관리수준의 차이가 발생하듯이 검사절차서의 수준도 사업장의 안전관리 수준과 유사한 차이를 나타낼 것이다. 따라서 검사절차서의 수준을 평가하여 그 수준에 따라 연장기간을 결정할 수 있는 명확한 기준이 수립되어야 한다.

나. PSV 검사절차서 및 최대검사주기 도입 (제2안)

1) 주요 내용

영국이나 미국과 같이 사업장이 스스로 검사주기를 결정하도록 하는 방안이 제2안의 주요 내용이다. 다만, 우리나라 법률체계를 고려할 때 검사주기의 최대주기는 법적으로 규정하는 것이 바람직할 것으로 판단하여 최대 검사주기를 제안하였다. 영국의 경우 유지 보수 절차서의 수준이 높고, 부식이 최소한인 경우 72개월(6년)까지 검사주기를 연장할 수 있다는 내용이 가이드런스(Guidance of PSS Regulations)에 제시되었다. API의 경우에는 부식이나 파울링이 없는 경우 최대 10년을 권고하고 있고, 국내 다른 법률의 경우에도 최대 연장기한이 8년으로 제시되었다. 따라서 본 연구에서는 제1안의 최대 기한이 6년인 점과 영국의 가이드런스 내용을 토대로 최대검사주기를 6년으로 제안하였다.

제2안의 경우 가장 중요한 사항은 PSV 검사절차서를 작성, 공인기관의 심사를 받고 그 내용을 준수하도록 하는 것이다. 따라서 모든 사업장은 PSV 검사절차서를 작성하여야 하며, 검사절차서 안에는 PSV의 검사주기를 결정하는 방안과 검사방법, 검사기관의 관리 방법 등이 포함되어야 한다.

2) 기대효과 및 해결하여야 할 과제

제2안을 도입할 경우 기대효과는 제1안에서 제시한 기대효과의 첫 번째 및 두 번째 사항은 동일하다. 그 외 추가적인 기대효과를 기술하면 다음과 같다.

- 첫째, 1안과 동일: 검사의 효율성 증대
- 둘째, 1안과 동일: 경제적 효과 및 사업장의 설비관리 용이

- 셋째, PSV의 검사절차서를 준수하는 가에 대한 이행상태평가를 현행의 PSM 이행상태평가항목과 접목할 경우 감독이 용이하다.
- 넷째, 「산업안전보건」이 사업장의 자율안전관리에 선도적 역할을 함으로써 PSV 및 설비의 검사, 유지 및 관리가 우수한 사업장을 독려하여 후발 사업장의 관리수준을 향상하는데 도움이 될 것이다.

반면 제2안을 도입하기 위해서는 다음과 같은 해결하여야 할 과제가 있다.

- 첫째, PSV 검사절차서 작성 및 심사에 관한 사항이 법규로 제정되어야 한다. PSV 검사절차서는 모든 사업자가 작성하고 심사받아야 하기 때문에 「안전보건규칙」이나 관련 법률 내에 조문으로써 신설되어야 한다.
- 둘째, 모든 사업장이 PSV 검사절차서를 작성하여야 하므로, 검사절차서 작성이 어려운 사업장, 특히 중소기업 사업장에게 또 다른 부담이 된다.
- 셋째, PSV 검사절차서에 대한 심사기관과 심사기준이 수립되어야 한다.
- 넷째, PSV 검사절차서의 수준을 평가할 기준을 마련하여 현재의 PSM 이행상태평가와 같은 사후평가와 관리가 이루어져야 한다.
- 다섯째, 대부분의 사업장이 법정 최대검사주기인 6년으로 검사주기를 연장하려고 하는 경우 PSV의 성능 유지에 어려움이 발생할 수 있다.

다. PSV 검사절차서

제1안 및 제2안에서 공통적으로 도입한 PSV 검사절차서에는 다음 사항이 반드시 포함되어야 한다.

- 1) 설비 및 PSV의 운전이력 및 검사이력
 - 검사시기, 검사방법, 검사업체(검사자)
 - 검사결과기록: 육안검사 결과, Pre-popping test 결과 등
 - 운전이력: 운전 중 개방사례, 설비의 운전 중 비정상상태를 초래한 경우 등에 대한 운전이력
- 2) 설비 및 PSV 설치 현황
 - 설비 및 PSV의 운전조건과 설계조건

- 취급물질: 정상조건 및 비정상조건에서 접촉할 수 있는 모든 물질의 특성(점도 및 부식성 등)
- PSV 설치형태 및 배관과의 연결 상태 등

라. 기타 고려사항

현재 PSM 이행상태평가 등급이 우수한 사업장은 PSV 검사주기를 4년으로 연장할 수 있다. 또한 위에서 제안한 제1안에서도 P 등급 사업장에 대한 검사주기 연장을 포함하고 있다. 그런데 현재와 같은 PSM 이행상태평가 기준을 그대로 적용할 경우, 본문에서 언급한 바와 같이 사업장에서 사고가 발생할 경우 PSM 등급은 즉시 하향 조정된다. 만일 사업장에서 발생한 사고가 PSV 검사 및 유지관리와 직접적인 인과관계가 없는 경우, PSM 등급의 하향 조정에 따라 PSV 검사주기가 즉시 1년으로 재조정되는 것은 적절하지 못하다는 의견이 대두되었다. 따라서 PSM 이행상태평가 등급이 사고발생으로 인해 하향 조정되었다고 할지라도, 그 사고가 PSV와 인과관계가 없다면, 사고발생 이전의 PSM 등급 혹은 PSV 검사 및 관리와 직접적인 연관성이 있는 평가항목만으로 PSV의 검사주기를 인정하는 방안이 바람직하다. 이를 위해서는 PSM 이행상태평가 항목에 PSV 검사 및 유지관리에 관련된 평가항목을 추가하거나, 본 연구에서 제안한 PSV 검사절차서 심사기준 등을 토대로 평가기준을 신설하는 것이 필요하다.

V. 결론

압력용기, 화학설비 등 사용압력을 초과할 우려가 있는 설비에 설치하는 압력방출장치(PSV)는 설비의 이상상태로 인한 사고를 예방할 수 있는 중요한 안전장치이다. 따라서 설비의 안전성을 보장하기 위해서는 설비 자체의 검사 및 유지관리뿐만 아니라 설비에 부착된 PSV의 검사 및 유지관리도 매우 중요하다. 그러나 설비와 PSV 각각을 별도로 검사한다는 것은 검사의 효율성을 저하시킬 뿐만 아니라, 검사작업 중 위험에 노출될 가능성을 높이는 결과를 초래한다. 따라서 PSV 검사는 PSV가 부착된 설비의 검사 및 유지관리계획에 포함되어 같이 관리하는 것이 바람직하다.

설비 및 PSV의 검사는 해당 설비 및 관련 설비의 운전을 정지한 후 실시하여야 하므로, 사업장의 정기보수기간 중 실시할 수 있도록 법정 검사주기를 탄력적으로 적용할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 현재 「고압가스안전관리법」에서 PSV 및 설비의 검사주기와 정기보수주기를 고려하여 적절하게 검사 시기를 결정하도록 하고 있다.

현재 「산업안전보건법」에서 규정하고 있는 PSV의 검사주기는 1년인데, 이는 국내의 다른 법률 및 해외 법률이나 각종 기술문헌과 비교할 때 지나치게 보수적이다. 또한 최근의 유지관리 기술, 설비의 운전기술 및 설비의 신뢰도 향상을 고려할 때 최소 검사주기는 연장되어야 한다. 본 연구에서 제안한 바와 같이 최소 2년을 검사주기로 지정하고, PSV 및 설비의 검사 및 관리 능력이 우수한 사업장이나 PSV가 설치된 공정의 운전조건을 고려하여 최대 4년에서 6년까지 연장하는 방안을 적극적으로 고려하여야 한다. 사업장의 관리능력에 따라 PSV의 검사주기를 연장할 경우, 국내 다른 법률과의 검사주기 차이를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 사업장 스스로 설비의 신뢰도 향상과 안전관리 기술의 발전을 위해 노력하도록 견인차 역할을 할 수 있다. 이는 국내 사업장의 전반적인 안전관리 기술의 향상을 가져올 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 고용노동부 고시, 방호장치 의무안전인증 (2010-36호)
- [2] 고용노동부 고시, 안전검사 고시 (2010-15호)
- [3] 고용노동부 고시, 압력용기 제작기준, 안전기준 및 검사기준(2001-59호)
- [4] 고용노동부 고시, 위험기계기구 의무안전인증 (2010-12호)
- [5] 산업표준협회, KS B 6750, 압력용기 - 설계 및 제조 일반, 2005년
- [6] 산업표준협회, KS B 6755, 압력용기 - 사용 중 검사, 2005년
- [7] 법제처, 고압가스안전관리법, 시행령, 시행규칙
- [8] 법제처, 산업안전보건법, 시행령, 시행규칙,
- [9] 법제처, 산업안전보건기준에 관한 규칙
- [10] 법제처, 에너지법
- [11] 법제처, 에너지이용합리화법
- [12] 법제처, 열사용기자재관리규칙
- [13] 지식경제부 고시, 고압가스안전관리기준 통합고시 (2011-48호)
- [14] 지식경제부 고시, 압력용기 안전검사 유효기간에 관한 업무처리 규정(2006-35호)
- [15] 지식경제부 기술표준원, KS B ISO 4126-3, 과압방지 안전장치 - 제3부: 안전밸브 파열 판 조합형 안전장치, 2009년
- [16] Approved Code of Practice-Pressure Systems Safety Regulations, 2000
- [17] API 521/ISO23251
- [18] API 576, Inspection of pressure-relieving devices, 2000
- [19] API 510, Pressure vessel inspection code: Maintenance inspection, rating, repair, and alteration, 2003
- [20] EEMUA, Guide for establishing operating periods of safety valves, 2009
- [21] Julia V. Bukowski, “Results of statistical analysis of pressure relief valve proof test data designed to validate a mechanical parts failure database” , Exida, 2007
- [22] Julia V. Bukowski & William M. Globe, “Analysis of pressure relief valve proof test data” , Process Safety Progress (Vol. 28, No. 1), 2009
- [23] OSHA Code of Federal Regulation(29 CFR 1910.119)
- [24] OSHA Directive, CPL-03-00-010, Petroleum refinery process safety management national emphasis program
- [25] Pressure Systems Safety Regulations, 2000
- [26] Pressure Equipment Regulations, 1999

[27] Pressure Equipment Directives(Directive 97/23/EC)

부 록

부록 A. 관련 법령

부록 B. 안전밸브 사고사례

부록 A. 관련 법령

1. PSV 설치 및 검사 관련 산업안전보건법에 따른 요구사항

< 산업안전보건기준에 관한 규칙 >

제116조(압력방출장치) ① 사업주는 보일러의 안전한 가동을 위하여 보일러 규격에 맞는 압력방출장치를 1개 또는 2개 이상 설치하고 최고사용압력(설계압력 또는 최고허용압력을 말한다. 이하 같다) 이하에서 작동되도록 하여야 한다. 다만, 압력방출장치가 2개 이상 설치된 경우에는 최고사용압력 이하에서 1개가 작동되고, 다른 압력방출장치는 최고사용압력 1.05배 이하에서 작동되도록 부착하여야 한다.

② 제1항의 압력방출장치는 매년 1회 이상 「국가표준기본법」 제14조제3항에 따라 지식경제부장관의 지정을 받은 국가교정업무 전담기관(이하 “국가교정기관”이라 한다)에서 교정을 받은 압력계를 이용하여 설정압력에서 압력방출장치가 적정하게 작동하는지를 검사한 후 납으로 봉인하여 사용하여야 한다. 다만, 영 제33조의6에 따른 공정안전보고서 제출 대상으로서 고용노동부장관이 실시하는 공정안전보고서 이행상태 평가결과가 우수한 사업장은 압력방출장치에 대하여 4년마다 1회 이상 설정압력에서 압력방출장치가 적정하게 작동하는지를 검사할 수 있다.

제261조(안전밸브 등의 설치) ① 사업주는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 설비에 대해서는 과압에 따른 폭발을 방지하기 위하여 폭발 방지 성능과 규격을 갖춘 안전밸브 또는 파열판(이하 “안전밸브등”이라 한다)을 설치하여야 한다. 다만, 안전밸브 등에 상응하는 방호장치를 설치한 경우에는 그러하지 아니하다.

1. 압력용기(안지름이 150밀리미터 이하인 압력용기는 제외하며, 압력 용기 중 관형 열교환기의 경우에는 관의 파열로 인하여 상승한 압력이 압력용기의 최고사용압력을 초과할 우려가 있는 경우만 해당한다)
2. 정변위 압축기
3. 정변위 펌프(토출측에 차단밸브가 설치된 것만 해당한다)
4. 배관(2개 이상의 밸브에 의하여 차단되어 대기온도에서 액체의 열팽창에 의하여 파열될 우려가 있는 것으로 한정한다)
5. 그 밖의 화학설비 및 그 부속설비로서 해당 설비의 최고사용압력을 초과할 우려

가 있는 것

② 제1항에 따라 안전밸브등을 설치하는 경우에는 다단형 압축기 또는 직렬로 접속된 공기압축기에 대해서는 각 단 또는 각 공기압축기별로 안전밸브등을 설치하여야 한다.

③ 제1항에 따라 설치된 안전밸브에 대해서는 다음 각 호의 구분에 따른 검사주기마다 국가교정기관에서 교정을 받은 압력계를 이용하여 설정압력에서 안전밸브가 적정하게 작동하는지를 검사한 후 납으로 봉인하여 사용하여야 한다. 다만, 공기나 질소취급용기 등에 설치된 안전밸브 중 안전밸브 자체에 부착된 레버 또는 고리를 통하여 수시로 안전밸브가 적정하게 작동하는지를 확인할 수 있는 경우에는 검사하지 아니할 수 있고 납으로 봉인하지 아니할 수 있다.

1. 화학공정 유체와 안전밸브의 디스크 또는 시트가 직접 접촉될 수 있도록 설치된 경우: 매년 1회 이상

2. 안전밸브 전단에 파열판이 설치된 경우: 2년마다 1회 이상

3. 영 제33조의6에 따른 공정안전보고서 제출 대상으로서 고용노동부장관이 실시하는 공정안전보고서 이행상태 평가결과가 우수한 사업장의 안전밸브의 경우: 4년마다 1회 이상

④ 사업주는 제3항에 따라 납으로 봉인된 안전밸브를 해제하거나 조정할 수 없도록 조치하여야 한다.

제262조(파열판의 설치) 사업주는 제261조제1항 각 호의 설비가 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 파열판을 설치하여야 한다.

1. 반응 폭주 등 급격한 압력 상승 우려가 있는 경우

2. 급성 독성물질의 누출로 인하여 주위의 작업환경을 오염시킬 우려가 있는 경우

3. 운전 중 안전밸브에 이상 물질이 누적되어 안전밸브가 작동되지 아니할 우려가 있는 경우

제263조(파열판 및 안전밸브의 직렬설치) 사업주는 급성 독성물질이 지속적으로 외부에 유출될 수 있는 화학설비 및 그 부속설비에 파열판과 안전밸브를 직렬로 설치하고 그 사이에는 압력지시계 또는 자동경보장치를 설치하여야 한다.

2. PSV 설치 및 검사 관련 고압가스안전관리법 요구사항

가. 안전밸브 설치기준

1) 고압가스안전관리법

제4조(고압가스의 제조허가 등) ① 고압가스를 제조(용기에 충전하는 것을 포함한다. 이하 같다)하려는 자는 그 제조소마다 특별자치도지사·시장·군수 또는 구청장(구청장은 자치구의 구청장을 말하며, 이하 “시장·군수 또는 구청장”이라 한다)의 허가를 받아야 한다. 허가받은 사항 중 지식경제부령으로 정하는 중요 사항을 변경하려는 경우에도 또한 같다.
<개정 2008.2.29, 2009.5.21>

② 제1항에도 불구하고 대통령령으로 정하는 종류 및 규모 이하의 고압가스를 제조하려는 자는 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 시장·군수 또는 구청장에게 신고하여야 한다. 신고한 사항 중 지식경제부령으로 정하는 중요 사항을 변경하려는 경우에도 또한 같다.
<개정 2008.2.29, 2009.5.21>

③ 저장소를 설치하려는 자 또는 고압가스를 판매하려는 자는 그 저장소나 판매소마다 시장·군수 또는 구청장의 허가를 받아야 한다. 허가받은 사항 중 지식경제부령으로 정하는 중요 사항을 변경하려는 경우에도 또한 같다. <개정 2008.2.29, 2009.5.21>

④ 제1항과 제3항에 따른 허가의 종류 및 기준과 대상범위는 대통령령으로 정하고, 고압가스의 제조·저장 및 판매에 필요한 시설기준과 기술기준은 지식경제부령으로 정한다. <개정 2008.2.29>

⑤ 제1항부터 제3항까지의 규정에 따른 허가를 하거나 신고를 받은 관청은 7일 이내에 그 허가 또는 신고 사항을 관할 소방서장에게 알려야 한다. [전문개정 2007.12.21]

2) 고압가스안전관리법 시행규칙

제8조(고압가스제조 등의 시설기준과 기술기준 등) ① 법 제4조제4항에 따른 고압가스의 제조·저장·판매의 시설기준과 기술기준, 법 제5조의3제2항에 따른 고압가스 수입업의 시설기준과 기술기준, 법 제5조의4제2항에 따른 고압가스 운반차량의 시설기준과 기술기준은 다음 각 호와 같다. <개정 2010.10.13>

1. 고압가스제조(특정제조·일반제조 또는 용기 및 차량에 고정된 탱크 충전)의 시설기준과 기술기준 : 별표 4
2. 고압가스자동차 충전의 시설기준과 기술기준 : 별표 5

3. 고압가스 냉동제조 시설기준과 기술기준 : 별표 7
 4. 고압가스저장 시설기준과 기술기준 : 별표 8
 5. 고압가스판매 및 고압가스 수입업의 시설기준과 기술기준 : 별표 9
 6. 고압가스 운반차량의 시설기준과 기술기준 : 별표 9의2
- ② 영 제5조의3제2항제2호에서 “지식경제부령으로 정하는 시설기준과 기술기준“이란 별표 9를 말한다.
- ③ 영 제5조의4제2항제2호에서 “지식경제부령으로 정하는 기준“이란 별표 9의2 제1호의 시설기준을 말한다. [전문개정 2008.7.16]

3) 고압가스안전관리법 시행규칙 별표

[별표 4] <개정 2010.10.13>

고압가스 제조(특정제조·일반제조 또는 용기 및 차량에 고정된 탱크 충전)의 시설·기술·검사·감리 및 정밀안전검진 기준 (제8조제1항제1호, 제28조제3항제1호, 제28조의2제2항제2호나목, 제30조제3항제1호, 제31조제3항제1호, 제33조제1호 및 제35조제3항 관련)

1. 특정제조

가. 시설기준

나. 기술기준

3) 점검기준

다) 안전밸브(액화산소저장탱크의 경우에는 안전장치를 말하며, 액체의 열팽창으로 인한 배관의 파열방지용 안전밸브는 제외한다. 이하 다)에서 같다) 중 압축기의 최종단에 설치한 것은 1년에 1회 이상, 그 밖의 안전밸브는 2년에 1회 이상 조정을 하여 고압가스설비가 파손되지 않도록 적절한 압력 이하에서 작동이 되도록 할 것. 다만, 법 제4조에 따라 고압가스특정제조허가를 받은 시설에 설치된 안전밸브의 조정주기는 4년(압력용기에 설치된 안전밸브는 그 압력용기의 내부에 대한 재검사주기)의 범위에서 연장할 수 있다.

나. 안전밸브가 설치된 설비의 검사 기준

1) 고압가스안전관리법

제13조(시설·용기의 안전유지) ① 사업자등은 고압가스의 제조·저장·판매의 시설 및 용기 등의 제조시설을 제4조제4항, 제5조제2항, 제5조의3제2항 또는 제5조의4제2항에 따른 시설 기준과 기술기준에 맞도록 유지하여야 한다. <개정 2007.12.21>

② 고압가스제조자가 고압가스를 용기에 충전하려면 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 미리 용기의 안전을 점검한 후 점검기준에 맞는 용기에 충전하여야 한다. <개정 2007.12.21, 2008.2.29>

③ 삭제 <1999.2.8>

④ 고압가스제조자나 고압가스판매자는 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 용기를 안전하게 유지·관리하여야 한다. <개정 2007.12.21, 2008.2.29>

제16조의2(정기검사 및 수시검사) ① 제4조에 따른 허가를 받은 자(고압가스판매자 중 용기에 의한 고압가스판매자는 제외한다)나 신고를 한 자 또는 제5조의3에 따라 등록을 한 자는 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 정기적으로 또는 수시로 허가관청·신고관청 또는 등록관청의 검사를 받아야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 자에 대하여는 정기검사의 전부 또는 일부를 면제할 수 있다. <개정 2008.2.29, 2009.5.21>

② 제1항에 따른 정기검사 및 수시검사의 대상과 기준, 그 밖에 검사에 필요한 사항은 지식경제부령으로 정한다. <개정 2008.2.29> [전문개정 2007.12.21]

제17조(용기등의 검사) ① 용기등을 제조·수리 또는 수입한 자(외국용기등 제조자를 포함한다)는 그 용기등을 판매하거나 사용하기 전에 지식경제부장관, 시장·군수 또는 구청장의 검사를 받아야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 용기등에 대하여는 그 검사의 전부 또는 일부를 생략할 수 있다. <개정 2008.2.29>

② 제1항에 따른 검사를 받은 후 용기나 특정설비가 다음 각 호의 어느 하나에 해당하게 되면 용기나 특정설비의 소유자는 그 용기나 특정설비에 대하여 시장·군수 또는 구청장의 재검사를 받아야 한다. 다만, 제4조제1항에 따른 허가를 받은 자로서 자체검사의 실적이 우수하고 그 밖에 대통령령으로 정하는 기준에 맞는 자의 특정설비가 제1호에 해당하는 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 그에 대한 재검사의 전부 또는 일부를 면제할 수 있다. <개정 2008.2.29, 2009.5.21>

1. 지식경제부령으로 정하는 기간의 경과

2. 손상의 발생

3. 합격표시의 훼손

4. 충전할 고압가스 종류의 변경

③ 시장·군수 또는 구청장은 제1항이나 제2항에 따른 검사나 재검사에 불합격한 용기나 특정설비는 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 파기(破棄)하여야 한다. 다만, 특정설비는 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 수리하여 제1항이나 제2항에 따른 검사를 다시 받도록 할 수 있다. <개정 2008.2.29>

④ 시장·군수 또는 구청장은 제1항이나 제2항에 따른 검사에 합격한 용기등에는 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 필요한 사항을 각인(刻印)하거나 표시하여야 한다. <개정 2008.2.29>

⑤ 제1항이나 제2항에 따라 검사나 재검사를 받아야 할 용기등으로서 검사나 재검사를 받지 아니한 경우에는 이를 양도·임대 또는 사용하거나 판매할 목적으로 진열하여서는 아니 된다.

⑥ 시장·군수 또는 구청장은 지식경제부령으로 정하는 용기등이 제1항이나 제2항에 따른 검사나 재검사에 합격하면 합격증명서를 교부하여야 한다. <개정 2008.2.29>

⑦ 제1항 단서에 따라 용기등에 대한 검사의 전부가 생략되는 용기등을 제조하거나 수입하는 자는 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 시장·군수 또는 구청장에게 그 사실을 알려야 한다. <개정 2008.2.29>

⑧ 제1항과 제2항에 따른 검사 및 재검사의 기준과 기간, 그 밖에 필요한 사항은 지식경제부령으로 정한다. <개정 2008.2.29> [전문개정 2007.12.21]

2) 고압가스안전관리법 시행규칙

제23조(용기의 안전점검기준 등) ① 고압가스제조자는 법 제13조제2항에 따라 별표 18에 따른 기준에 따라 용기의 안전점검을 하여야 한다.

② 고압가스제조자는 제1항의 점검 결과 부적합한 용기를 발견하였을 때는 점검기준에 맞게 수선·보수를 하는 등 용기를 안전하게 유지·관리하여야 한다.

③ 고압가스제조자 및 고압가스판매자는 법 제13조제4항에 따라 별표 18에 따른 기준에 따라 용기를 안전하게 유지·관리하여야 한다. [전문개정 2008.7.16]

제30조(정기검사) ① 법 제16조의2제1항에 따른 정기검사의 신청은 별지 제21호 서식에 따른다.

② 법 제16조의2제1항에 따른 정기검사의 대상별 검사주기는 별표 19와 같다.

③ 법 제16조의2제1항에 따른 정기검사의 검사대상시설별 검사기준은 다음 각 호와 같다.
<개정 2010.10.13>

1. 고압가스 제조시설(특정제조·일반제조·용기 및 차량에 고정된 탱크 충전시설을 말한다)의 정기검사 기준 : 별표 4

2. 고압가스자동차 충전시설의 정기검사 기준 : 별표 5

3. 고압가스 냉동제조시설의 정기검사 기준 : 별표 7

4. 고압가스 저장시설의 정기검사 기준 : 별표 8

5. 고압가스 판매시설 및 고압가스 수입시설의 정기검사 기준 : 별표 9

④ 동일사업소 안에 2개 이상의 정기검사대상 시설이 있는 경우로서 정기검사를 받아야 하는 시기가 각각 다른 경우에는 같은 연도에 정기검사를 받아야 하는 시설 중 하나의 시설의 정기검사기간에 다른 시설의 정기검사를 함께 받을 수 있다.

⑥ 법 제16조의2제1항에 따른 정기검사에 합격한 자에 대하여는 별지 제22호서식의 정기검사증명서를 발급하여야 한다. [전문개정 2008.7.16]

제39조(용기등의 재검사) 법 제17조제2항에 따라 재검사를 받아야 하는 용기등의 재검사기간은 별표 22와 같다. [전문개정 2008.7.16]

3) 고압가스안전관리법 시행규칙 별표

[별표 22] <개정 2010.5.31>

2. 특정설비

안전밸브 및 긴급차단장치	검사 후 2년을 경과하여 해당 안전밸브 또는 긴급차단장치가 설치된 저장탱크 또는 차량에 고정된 탱크의 재검사 시마다
압력용기	4년마다. 다만, 압력용기의 내부에 대한 재검사주기는 지식경제부장관이 정하여 고시하는 기법에 따라 산정하여 그 적합성을 인정받는 경우 그 주기로 할 수 있다.
비고	1. 재검사를 받아야 하는 연도에 업소가 자체정기보수를 하고자 하는 경우에는 자체정기보수 시까지 재검사기간을 연장할 수 있다. 2. 「기업활동 규제완화에 관한 특별조치법 시행령」 제19조제1항에 따라 동시검사를 받고자 하는 경우에는 재검사를 받아야 하는 연도 내에서 사업자가 희망하는 시기에 재검사를 받을 수 있다.

3. PSV 및 설비의 검사 관련 에너지이용합리화법 요구사항

1) 에너지이용합리화법

제37조(특정열사용기자재) 열사용기자재 중 제조, 설치·시공 및 사용에서의 안전관리, 위해 방지 또는 에너지이용의 효율관리가 특히 필요하다고 인정되는 것으로서 지식경제부령으로 정하는 열사용기자재(이하 “특정열사용기자재”라 한다)의 설치·시공이나 세관(세관 : 물이 흐르는 관 속에 낀 물때나 녹따위를 벗겨 냄)을 업(이하 “시공업”이라 한다)으로 하는 자는 「건설산업기본법」 제9조제1항에 따라 시·도지사에게 등록하여야 한다. <개정 2008.2.29>

제39조(검사대상기기의 검사) ① 특정열사용기자재 중 지식경제부령으로 정하는 검사대상기기(이하 “검사대상기기”라 한다)의 제조업자는 그 검사대상기기의 제조에 관하여 시·도지사의 검사를 받아야 한다. <개정 2008.2.29>

② 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자(이하 “검사대상기기설치자”라 한다)는 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 시·도지사의 검사를 받아야 한다. <개정 2008.2.29>

1. 검사대상기기를 설치하거나 개조하여 사용하려는 자
2. 검사대상기기의 설치장소를 변경하여 사용하려는 자
3. 검사대상기기를 사용중지한 후 재사용하려는 자

③ 시·도지사는 제1항이나 제2항에 따른 검사에 합격된 검사대상기기의 제조업자나 설치자에게는 지체 없이 그 검사의 유효기간을 명시한 검사증을 내주어야 한다.

④ 검사의 유효기간이 끝나는 검사대상기기를 계속 사용하려는 자는 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 다시 시·도지사의 검사를 받아야 한다. <개정 2008.2.29>

⑤ 제1항·제2항 또는 제4항에 따른 검사에 합격되지 아니한 검사대상기기는 사용할 수 없다. 다만, 시·도지사는 제4항에 따른 검사의 내용 중 지식경제부령으로 정하는 항목의 검사에 합격되지 아니한 검사대상기기에 대하여는 검사대상기기의 안전관리와 위해방지에 지장이 없는 범위에서 지식경제부령으로 정하는 기간 내에 그 검사에 합격할 것을 조건으로 계속 사용하게 할 수 있다. <개정 2008.2.29>

⑥ 시·도지사는 제1항·제2항 및 제4항에 따른 검사에서 검사대상기기의 안전관리와 위해방지에 지장이 없는 범위에서 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 그 검사의 전부 또는 일부를 면제할 수 있다. <개정 2008.2.29>

⑦ 검사대상기기설치자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하면 지식경제부령으로 정하는 바에 따라 시·도지사에게 신고하여야 한다. <개정 2008.2.29>

1. 검사대상기기를 폐기한 경우
2. 검사대상기기의 사용을 중지한 경우
3. 검사대상기기의 설치자가 변경된 경우
4. 제6항에 따라 검사의 전부 또는 일부가 면제된 검사대상기기 중 지식경제부령으로 정하는 검사대상기기를 설치한 경우

⑧ 검사대상기기에 대한 검사의 내용·기준, 그 밖에 필요한 사항은 지식경제부령으로 정한다. <개정 2008.2.29>

2) 열사용기자재 관리규칙

제2조(열사용기자재) 「에너지이용 합리화법」(이하 “법”이라 한다) 제2조에 따른 열사용기자재는 별표 1과 같다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 열사용기자재를 제외한다.

1. 「전기사업법」 제2조제2호에 따른 전기사업자가 설치하는 발전소의 발전(發電)전용 보일러 및 압력용기. 다만, 「집단에너지사업법」을 적용받는 발전전용 보일러 및 압력용기와 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」에 따른 신·재생에너지를 발전(發電)에 이용하는 발전전용 보일러 및 압력용기는 열사용기자재에 포함된다.
2. 「철도사업법」에 따른 철도사업을 하기 위하여 설치하는 기관차 및 철도차량용 보일러
3. 「고압가스 안전관리법」 및 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법」에 따라 검사를 받는 보일러 및 압력용기
4. 「선박안전법」에 따라 검사를 받는 선박용 보일러 및 압력용기
5. 「전기용품안전 관리법」 및 「약사법」의 적용을 받는 2종압력용기
6. 이 규칙에 따라 관리하는 것이 부적합하다고 지식경제부장관이 인정하는 수출용 열사용기자재 [전문개정 2008.8.28]

제17조(특정열사용기자재) 법 제37조에 따른 특정열사용기자재는 별표 5와 같다. [전문개정 2008.8.28]

제31조(검사대상기기) 법 제39조제1항에 따라 검사를 받아야 하는 검사대상기기는 별표 7과

같다. [전문개정 2008.8.28]

제32조(검사의 종류 및 적용대상) 법 제39조제1항·제2항 및 제4항에 따른 검사의 종류 및 적용대상은 별표 8과 같다. [전문개정 2008.8.28]

제33조(검사의 유효기간) ① 법 제39조제2항 및 제4항에 따른 검사대상기기의 검사유효기간은 별표 9와 같다.

② 제1항에 따른 검사유효기간은 검사(제43조제4항에 따른 재검사 및 「기업활동 규제완화에 관한 특별조치법 시행령」 제19조제1항에 따른 동시검사를 포함한다)에 합격한 날의 다음 날부터 계산한다. 다만, 검사에 합격한 날이 검사유효기간 만료일 이전 30일 이내인 경우와 제42조에 따라 검사를 연기한 경우에는 유효기간 만료일의 다음 날부터 계산한다.

③ 지식경제부장관은 검사대상기기의 안전관리 또는 에너지효율 향상을 위하여 부득이하다고 인정할 때에는 제1항의 유효기간을 조정할 수 있다. [전문개정 2008.8.28]

부칙 <제175호, 2011. 3.15>

제1조(시행일) 이 규칙은 공포한 날부터 시행한다.

제2조(안전검사 유효기간 연장에 관한 경과조치) 제품을 제조·가공하는 공정에 사용되는 보일러의 안전검사 유효기간 연장에 관하여 지식경제부장관이 정하여 고시할 때까지는 별표 9 비고란 제4호 단서의 개정규정도 불구하고 종전의 규정에 따른다.

3) 열사용기자재관리규칙 별표

[별표 9] <개정 2011.3.15>

검사의 유효기간 (제33조 제1항 관련)

검사의 종류		검사 유효 기간
계속사용검사	안전검사	1. 보일러: 1년 2. 압력용기: 2년
	운전성능검사	1. 보일러: 1년 2. 철금속가열로: 2년
	재사용검사	1. 보일러: 1년 2. 압력용기 및 철금속가열로: 2년

비고

1. 보일러의 계속사용검사 중 운전성능검사에 대한 검사 유효기간은 해당 보일러가 지식경제부장관이 정하여 고시하는 기준에 적합한 경우에는 2년으로 한다.
2. 설치 후 3년이 지난 보일러로서 설치장소 변경검사 또는 재사용검사를 받은 보일러는 검사 후 1개월 이내에 운전성능검사를 받아야 한다.
3. 개조검사 중 연료 또는 연소방법의 변경에 따른 개조검사의 경우에는 검사 유효기간을 적용하지 않는다.
4. 「고압가스 안전관리법」 제13조의2제1항에 따른 안전성향상계획과 「산업안전보건법」 제49조의2제1항에 따른 공정안전보고서를 작성하여야 하는 자의 검사대상기에 대한 계속사용검사의 유효기간은 4년으로 한다. 다만, 보일러(제품을 제조·가공하는 공정에 사용되는 보일러만 해당한다) 및 압력용기의 안전검사 유효기간은 8년의 범위에서 지식경제부장관이 정하여 고시하는 바에 따라 연장할 수 있다.
5. 제46조의2제1항에 따라 설치신고를 하는 검사대상기기는 신고 후 2년이 지난 날에 계속사용검사 중 안전검사(재사용검사를 포함한다)를 하며, 그 유효기간은 2년으로 한다.
6. 법 제32조제2항에 따라 에너지진단을 받은 운전성능검사대상기기가 제34조에 따른 검사기준에 적합한 경우에는 에너지진단 이후 최초로 받는 운전성능검사를 에너지진단으로 갈음한다(비고 4에 해당하는 경우는 제외한다).

<공백>

부록 B. 안전밸브의 사고사례

사례 1. 중질경유 수첨탈황공정의 분리기 안전밸브 배관에서의 가스누출사고

1. 발생개요

- 발생일시 : 1979년 12월 7일 15:38
- 발생장소 : 일본 가나가와현
- 사업장 : 석유정제
- 유체 : 수소, 탄화수소
- 날씨 : 맑음(기온 °C, 습도 %)
- 운전상황 : 정상운전

2. 피해상황

- 인적피해 : 없음
- 물적피해 : 손실액 약 3,700엔

3. 사고개요

- 1979년 12월 7일 중질경유 수첨탈황공정 내에 있는 분리기는 VGO를 탈황하는 간접탈황공정의 반응생성물을 기액(氣液)으로 분리하는 공정을 정상운전 중에 있었다.
- 15:38경 정시 순찰 중인 계원이 이상 음을 듣고, 분리기 주변에 연기가 발생하고 있는 것을 발견하여 계기실에 통보하였다.
- 계기실에서는 곧바로 공정의 긴급 shut-down 조작을 실시하였고, 고압계통의 긴급 탈압을 개시하였다. 관계기관에 통보하였고, 자위소방대, 공설소방대에 의한 냉각살수가 실시하였다. 16:10경 고압계통의 압력을 저하시켰고, 16:59경 분리기의 안전밸브 전후의 밸브를 닫아 화재는 없었고, 누출이 정지되었다.

4. 경과

개요 참조

5. 원인

- 1) 통유량, 분리기 liquid outlet에 압력손실의 증가에 의해 분리기의 압력이 상승하였고, 안

전밸브가 작동하였다.

- 2) 분리기에서 안전밸브까지의 배관이 길었고, 또한, 굴곡이 많아 안전밸브 출구배관에 block valve가 있었기 때문에 출구직후의 흐름이 원활하지 않은 등으로 인하여 안전밸브 내부의 밸브가 개폐(chartering 현상)를 반복하였다.
- 3) 그 결과 안전밸브 본체, 접속배관에 격렬한 진동이 발생하였고, 안전밸브 설치 flange의 bolt/nut의 이완된 틈새가 발생하였고, 또한, 분할이 발생하여 내용물이 분출하였다.
- 4) Chartering(안전밸브가 작동 중에 대단히 빠른 주기로 격렬하게 개폐되는 상태) 발생의 원인
 - 안전밸브의 용량 과대
 - 입구 배관계통의 저항이 큼

6. 재발방지대책

- a. Process 측면의 대책
 - 분리기 상부의 압력을 연속적으로 감시한다.
 - 고압고온 분리기 상부의 응축기를 정기적으로 수세정한다.
- b. Mechanical 측면의 대책
 - 안전밸브 설치위치의 변경(복잡한 방향전환을 없이 한다).

7. 교훈 및 전문가의 comment

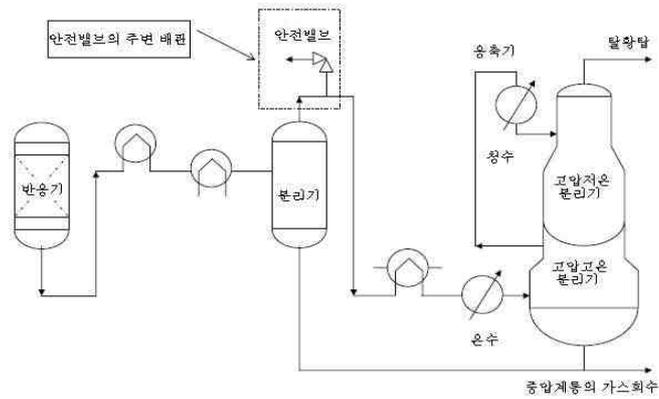
- a. 교훈

Chartering 현상을 방지하기 위해서는 설계 시에 안전밸브의 set press, capacity, 구조, 배관계통 등에 관해서 배려할 필요가 있다.
- b. 전문가의 comment

Chartering 현상은 고압계통에서 소용량의 토출이 있는 경우에 발생하기 쉽다. 허용압력 이상에서 안전밸브가 토출하는 것은 정상이나 정상운전 시에 분리기의 압력 및 고압저온 분리기와의 차압에 주목하면 방지된다.

8. 참고자료 및 문헌

- 소방청, 위험물 제조소 등의 사고사례집, p 426~427
- 신나가와현 고압가스협회, 수침탈황공정 분리기 안전밸브의 사고에 관해서, 사고예와 그 분석, 대책에 관해서, p 12~18, 1980년



〈그림 1〉 사례1: Flow sheet

사례 2. 중유탈황공정의 배관 vent가 파열하여 중유가 분출사고

1. 발생개요

- 발생일시 : 1995년 7월 26일 15:05
- 발생장소 : 일본 오가야마현
- 사업장 : 석유정제
- 유체 : 중유
- 날씨 : 맑음(기온 36.2℃, 습도 68%)
- 운전상황 : 정상운전

2. 피해상황

- 인적피해 : 없음
- 물적피해 :

3. 사고개요

1995년 7월 26일, 중유탈황공정의 증류탑 탑저펌프 하류의 압력조절밸브가 full close 되어 안전밸브가 작동하였다. 토출에 의한 안전밸브가 chattering 현상을 일으켜, 그 진동에 의해 15시 5분에 안전밸브의 상류에 있는 vent nozzle(3/4B)이 파단하였다. 탈황중유가 분출하여 30m×50m에 걸쳐 비산했다.

4. 경과

- a. 정상운전 중, 증류탑 탑저펌프 하류의 압력조절밸브가 갑자기 full close 되었다. 그 때문에

출구 배관이 압력상승한 상태가 되어 안전밸브가 작동했다.

- b. 토출에 의한 안전밸브가 chattering 현상이 발생하였다(안전밸브의 밸브 본체가 빠르게 왕복 운동을 하는 상태로 밸브 본체가 밸브 seat를 주기적으로 치는 현상, 안전밸브까지의 입구 배관이 길고 압력 손실이 크면 일어나기 쉽다).
- c. 안전밸브의 chattering 현상에 의한 수격작용과 불안정한 토출의 반복이 일어나 15시 5분에 안전밸브의 상류에 있는 vent nozzle이 과단하였다. 과단부위에서 탈황중유가 주변에 분출했다. 30m×50m범위의 배관, 기기 발판, 마루의 면을 오염했다.
- d. 17시 30분 탈유 중유의 누설이 멈추었다.

5. 원인

- a. 안전밸브의 chattering 현상에 의해 vent nozzle이 과단했다.
- b. 펌프 하류의 압력조절밸브가 full close된 이유는 사고 후의 조사에서, 전자식 조절계의 배선을 협착상태로 체결함에 의해 절연 피복이 파괴되어단락(합선)상태가 된 것으로 추정된다.

6. 재발방지대책

- a. 압력조절밸브가 전폐가 되지 않게 minimum stopper를 설치한다.
- b. 안전밸브가 작동되어도 chattering 현상이 발생하지 않게 배관을 변경한다.

7. 교훈

- a. 참고 자료에는 안전밸브의 chattering 현상이 발생해서 장치의 운전조정을 어떻게 했는지에 관한 기술이 없다. 직장이면 어떻게 할까를 생각해 보고 싶다.
 - 압력조절밸브가 전폐가 되고 있는 것은 제어실에서 알 수 있다. 조절계를 메뉴얼로 하고 조절 밸브를 열려고 해도 open 되지 않으면 조절계의 기능이 없어진 것으로 안다.
 - 탑저펌프를 절제(약간 close) 운전하고 있기 때문에 안전밸브의 chattering 현상이 발생함으로 펌프를 정지한다.
 - 탑저펌프를 정지하면 증류탑의 bottom의 액면이 상승한다. 반응기의 원료유 공급을 정지하고, 수소 가스의 순환을 계속해 서서히 강운 한다.해당 사고에서는 vent nozzle에서 탈황중유가 2시간 남짓 분출했다고 하지만, 이러한 순서를 밟고 있으면 막을 수 있었을 것이다.
- b. 재발방지대책으로 「압력조절밸브가 full close 되지 않게 minimum stopper를 설치」라고 하지만, 해당 설비의 설계시에는 어떠한 검토가 이루어진 것일까. 예를 들면 HAZOP 등을 이용한 검토는 이루어졌는가. 단지 minimum stopper를 설치했다고 말하는 것이 아

나라 당초부터 왜 minimum stopper를 설치하지 않았던 것일까와 한층 더 상위의 원인까지 거슬러 올라가고 대책을 검토했으면 좋겠다.

8. 참고자료 및 문헌

- 소방청, 증유직접탈황공정 내 배관에서의 탈황증유의 누출, 위험물에 관한사고사례, 1995년(H 7년), p520~521

사례 3. BTX제조공정의 flare stack 주변의 화재사고

1. 사고개요

1996. 6. 4 23:35경 L정유(주)의 BTX제조공정의 xylene column 상부에 설치된 pilot operated PSV의 고장으로 인하여 고온(230℃)의 크실렌 증기가 배출되어 중간에 위치한 K. O. drum에서 응축되지 않고, 증기상태로 flare stack 하부에 있는 seal drum 내부의 물과 접촉하여 일부는 크실렌 증기가 액체화되었고, 일부는 증기상태로 flare stack에서 태워졌다. Seal drum에 응축된 크실렌이 over-flow line(3")을 통하여 ditch로 한꺼번에 많은 양이 흐르면서 syphon breaker(1/2")로 누출되어 주위의 언덕으로 비산됨과 동시에 정전기 등으로 인하여 인화물질인 크실렌에 착화됨으로서 화재가 발생하였다.

2. 사고공정

1) 운전조건

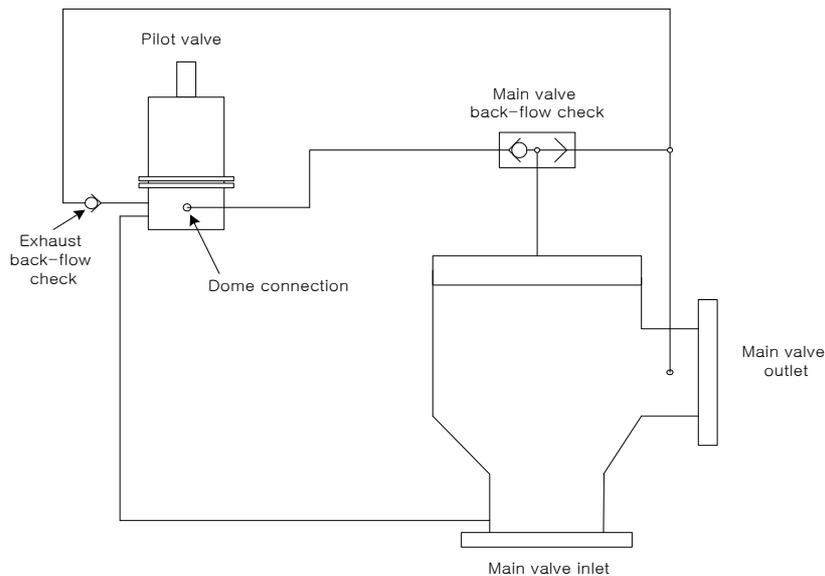
- ① BTX제조공정이 정기보수작업을 마치고 1996. 6. 2부터 재가동하여 정상운전상태(크실렌증류탑의 상부 운전조건-압력 6.5kg/cm², 온도 230℃로 제품만 생산되지 않은 상태)임.
- ② DCS(Distribution control system) data상에 특별한 이탈은 발견할 수 없이 정상이었음.

2) PSV설계조건

- ① 설정압력 : 8.8kg/cm² × 1대(Tag No : 205PSV-104A)
9.24kg/cm² × 3대(Tag No : 205PSV-104B/C/D)
- ② 온도 : 298℃
- ③ 크기 : 8"×10"×10"(300# 플랜지)-4대
- ④ 형식 : Pilot operated pressure relief valve
- ⑤ 공급자 : 일본 Fukui Seisakusho사

3. 사고원인의 추정

- 1) 정상운전상태에서 안전밸브가 작동되었음.
- 2) 한 대의 안전밸브는 사고 후에 분해결과 seat(재질 : peek)가 불량으로 판명되었음.
- 3) UOP(기본설계사)의 추천사항을 무시함.
 - ① 추천제작사가 아님(UOP추천 : Anderson Greenwood사)
 - ② Pilot valve의 연결이 잘못된 것으로 추정됨
- 4) 후레아의 K.O drum을 크실렌 증기가 통과하였지만 응축되지 않고 후레아스택의 seal drum에서 응축된 것은 문제의 소지가 있음. 실제상황에서 안전밸브 4대가 popping할 경우에는 더 많은 문제가 야기될 것으로 추정됨.
- 5) 크실렌 증기가 대략 1시간 정도 안전밸브가 작동하여 누출된 것으로 추정됨(당일 22:30 경 후레아헤드에 있는 21MT-910의 high high level alarm이 작동하였음).
- 6) Pilot operating PSV의 차단밸브를 열지 않아서 main relief valve의 3대가 작동한 것으로 추정됨.



<그림 2> 사례3: Pilot operating PSV의 schematic diagram

4. 재발방지대책

- 1) L/O, L/C는 정기보수작업을 완료한 후 확실히 열리거나 닫혀 있는지를 확인하여야 함.
- 2) 안전운전에서의 이탈이 발생하면 필히 원인을 조사하여 수선 등을 통해 원상 복구하도록 하여야 함.

- 3) 안전밸브는 공급자의 매뉴얼 및 시험절차서 등을 참조하여 직능교육·훈련을 철저히 시행하여야 함.
- 4) 후레아시스템을 재검토하여 K.O. drum에서 크실렌 등의 유체가 응축되도록 하여야 함.
- 5) Seal drum의 syphon breaker 높이를 500mm이상 높여야 함.
- 6) 기본설계사(UOP)의 자문을 받아 변경관리를 실행하여야 함.

5. 참고자료

- 한국산업안전공단, 사고조사보고서, 1996년

사례 4. PPS제조 파이롯공정에서 반응폭주에 의한 폭발화재사고

1. 사고발생 개요

1997년 1월 26일(일) 오전 10시 30분경 수원소재 ○○시험연구공장(pilot plant)에서 시제품인 PPS(엔지니어링 플라스틱)를 시험 생산하는 과정에서 반응기 내부에서 폭주반응(runaway reaction)의 발생으로 과압이 생성되어 반응기에 설치된 파열판(rupture disc)의 플랜지 틈새로 가연성 증기(NMP, 용제)가 실내에 누출되어 폭발사고가 발생하여 건물이 반파되고 대피 중이던 근로자 7명이 비산물에 맞아 중경상을 입은 사고임.

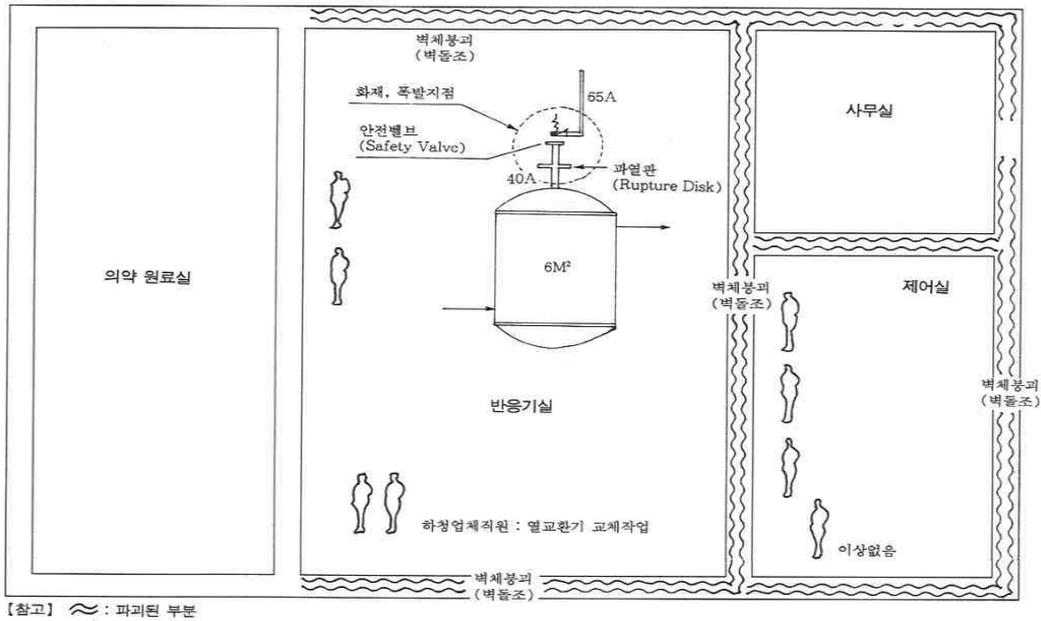
2. 피해상황

- 인적피해 : 부상 7명
- 물적피해 : 건물 1동 반파

3. 사고발생 공정

가. 사고발생공정

사고발생 공정은 시제품을 생산하는 회분식(12시간/cycle) 공정으로 작업 개시 후 7.5시간 경과된 시점에서 폭주 반응이 발생되었음.



〈그림 3〉 사례4: 사고발생 시 상황도

나. NMP(용제)의 물성자료

〈표 1〉 NMP의 물성

항 목	물 성 값	비 고
인 화 점	86℃	
폭발 상·하한치	1.3% ~ 9.5%	
자 연 발 화 점	346℃	
비 점	202℃	
빙 점	-23℃	
증 기 압	0.29mmHg(20℃에서)	
분 자 식	C HaNO	
증 기 밀 도	3.4	

* 폭발하한값이 1.3%로 낮기 때문에 조금만 누출되어도 쉽게 폭발분위기를 형성하여 폭발됨.

4. 사고발생 당시상황

〈표 2〉 사례4: 사고당시의 작업상황('97.1.26)

시 간 별	작 업 내 용
03:00~03:30	원료투입(NMP, Na ₂ S)
03:00~08:30	탈수
08:30~09:00	원료(PDCB)투입(반응기 온도 : 60℃ 정도 저하)
09:00	가열작업 개시
10:20경	운전자가 반장에게 이상온도 상승을 보고
10:30:24	반응기의 1차압력경보
10:30:34	반응기의 2차(최종)압력경보
10:31:13	반장이 조정실로 돌아와 냉각시스템이 오작동 됨을 확인, 응급조치를 시도하였으나 실패함.
10:31:24	반응기 내부온도 최종경보(탈수 시점보다 100℃ 정도 상승) 15초 후에 14℃ 추가 상승 ※ 누출사고 발생
10:34:19	반응기 압력 저하.
10:35:09	반응기 압력 저하.
10:35경	반장이 긴급대피 지시 ※ 폭발사고 발생

5. 사고원인

1) 사고현장을 조사한 결과

반응기는 손상되지 않았으나 안전밸브가 작동되었으며 안전밸브의 용량이 부족하여 안전밸브 하부의 파열판과 반응기 사이에 플랜지 연결볼트 4개중 3개가 부러지고 벌어진 파열판 체결 플랜지 부분으로 용제증기가 누출되었으며 반응기 주위에서 화재·폭발로, 건물 벽과 보가 안쪽에서 바깥쪽으로 파손되었으나 폭발에 의해 설비자체(배관포함)의 손상은 거의 없었음이 확인되었음.

2) 이와 같은 조사결과에 따라 이번 사고는 다음과 같이 5가지 결함에 의해 발생된 것으로 판단됨.

① 반응 메카니즘의 미규명

폭주반응(Runaway reaction)이 일어날 수 있는 가능성에 대한 사전조사와 검토가 이루어지지 못하였음.

② 안전밸브의 용량 부족

폭주반응에 의한 과압을 방출할 수 있는 용량의 파열판과 안전밸브를 설치하여야 하나 이러한 경우를 검토하지 않음으로써 안전밸브의 용량이 부족하여 압력이 충분히 방출되지 못하고 체결 플랜지가 파손됨.

③ 가열 및 냉각시스템 미흡

급격한 온도 상승시를 대비하기 위해서는 가열 및 냉각시스템의 응답시간(response

time)이 짧은 시스템으로 설계하여야 하나 응답시간이 긴 시스템으로 설계됨.

④ 반응억제제 주입설비 미설치

고온·고압에서 중압반응을 할 때에는 급격한 반응시를 대비하여 반응억제제 주입설비를 설치하는 것이 보통이나 반응억제제의 조사나 주입설비를 설치하지 않았음.

⑤ 미숙련된 운전원의 운전

본 설비는 '96. 9월 운전을 휴지하였다가 '97. 1. 15일경부터 재가동하였으나 숙련자의 명예퇴직 등으로 운전원 4명중 반장 1명만 본 공정에 운전경험이 있었으며, 나머지 3명은 '96년말에 배치된 3개월 미만의 미숙련공으로써 실제로 위험작업 공정에 배치해서는 안되나 이를 무시하였음.

6. 재발방지 대책

1) 반응메카니즘 규명의 제도화

사업장에서는 제품을 개발할 때 반드시 반응메카니즘을 검토하여 이상반응 여부검토를 규명하도록 하여야 하며 이를 위하여 공단은 신제품 개발시에 이상반응 여부검토를 반드시 실시하도록 산업안전보건법에 규정하여 제도화함.

2) 직원 재배치시 교육훈련 강화

운전원을 재배치시에는 당해 공정에 대한 철저한 교육후 현장에 투입하고 일시에 운전원을 교체하는 것을 금지하도록 함.

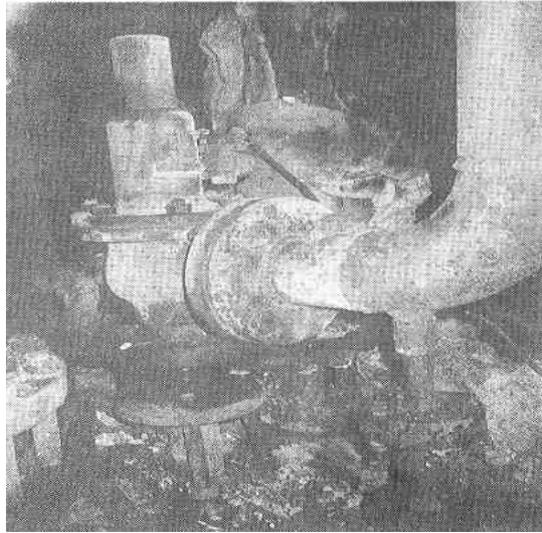
3) KISCO code 개발·보급

반응폭주시를 대비한 안전밸브의 용량 계산기준을 KISCO code화하여 사업장에 보급함.

7. 참고사진



<그림 4> 사례4: 전소된 도료 및 수지제조공장



<그림 5> 사례4: 도료제조탱크의 하부



<그림 6> 사례4: 파열된 파열판

8. 참고자료

- 한국산업안전공단, 사고조사보고서, 1997년

사례 5. 안료제조공정에서의 반응기폭발사고

1. 사고개요

2002. 11. 5 05:08경 울산광역시 온산공단 내에 소재한 XX(주)의 반응기에서 시험제조 하던 블루크루드(Blue Crude) 안료제조공정의 반응기(R-107)에서 폭발이 일어나 반응기

의 경판(교반기 및 노즐 등이 설치됨) 등이 비산하여 30m 위의 지붕을 파손하고 수직거리 50m지점인 지붕 위에 떨어졌으며, 조정실이 전소되는 등의 대형화재로 조정실 내에 있던 운전원 2명이 현장에서 사망하는 사고가 발생하였음.

2. 피해상황

가. 인적피해 : 사망 2명

나. 물적피해

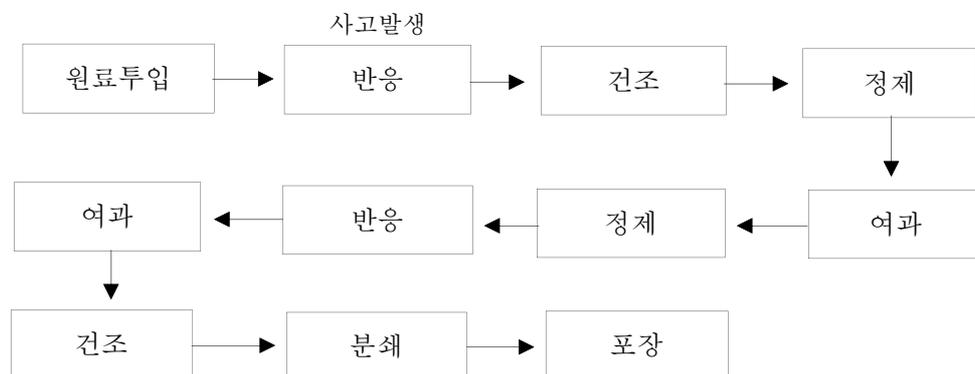
- 조정실 : 전소(계측제어기기 및 제어판 등)
- 공정설비 완파(반응기 및 연결배관, 작업장건물 반파)

3. 사고공정

가. 공정설명

블루크루드(Blue crude) 안료제조공정은 반응기에 용제(4-tert-Butyl-o-Xylene)와 NaCOPA(화학명 : 4-클로로프탈로 모노나트륨 염)를 투입하여 교반한 후, 00시간 동안 98% 황산을 투입하고 교반하면서 25~30℃를 유지하여 00시간동안 반응을 진행시킨다. 반응물을 Free acid라 한다. Free acid가 완료되면 가열하면서 요소(Urea)를 투입완료한 후에 열매유를 잠근 상태에서 00시간 동안 교반을 한다. 충분히 혼합되면 000℃까지 가열하고, 열매유를 중단시킨 후 교반하여 000℃까지 냉각시킨다. 이 온도에서 요소(Urea), 염화1동, 암모늄 몰리브데이트를 투입하여 00시간 동안 반응하면 대기압상태에서 000℃까지 상승한다. 000℃에서 00시간을 유지시키면 반응이 완료된다. 반응이 완료한 후에 건조설비에서 진공건조시키고, 물을 주입하여 과쇄시킨 후에 슬러리상태로 저장탱크에서 저장한다. 다시 정제설비로 이송하여 00% 황산을 주입하여 정제한 후에 여과설비에서 여과하고, 용수로 정제한 후에 다시 반응기에서 00% 수산화나트륨을 주입하여 반응시키고, 여과, 건조, 분쇄시킨 후에 포장설비에 제품을 포장한다.

나. 공정의 흐름도



<그림 7> 사례5: 공정흐름도

다. 위험물질

〈표 3〉 사례 5: 위험물질의 특성

물질명	폭발범위	인화점	발화점	증기압	비중	CAS No.
요소(Urea)	-	-	-	-	1.3230	57-13-6
NaCOPA (4-Chlorophthalic acid, monosodium salt)	-	-	-		분자량 : 223.57	56047-23-5
용제 (4-Tert-Butyl-o-X ylene)	-	82	-	0.01121psi @20℃	0.875	7397-06-0

4. 사고전의 작업상황

- 2002. 11. 4 14:00경 반응기(R-108)에 용제 및 NaCOPA를 투입한 후에 00시간 정도 교반기를 가동하였음.
- 15:10경 질소를 주입하고, 98% 황산을 투입함과 동시에 배기팬을 가동하였음.
- 17:00경 25~30℃에서 00시간동안 교반기를 가동하였음.
- 22:50~23:50 R-108에서 R-107로 반응물을 이송하였음.
- 11. 5 00:00~01:00까지 요소를 투입하고 열매유를 잠근 채, 00시간 동안 교반기를 가동하였음.
- 03:00경 열매유 밸브를 열어 서서히 반응기를 가열하여 내부온도를 000℃로 유지하기 위해 가열하였음(00시간 정도 가열).
- 05:08경 반응기의 온도가 000℃에 도달하여 작업자가 열매유의 인입밸브를 잠그고 조정실에 들어온 후에 「깡」 하는 소리와 함께 폭발이 일어남(3번의 폭발음이 연속적으로 발생).

5. 현장조사

가. 폭발원인의 추정

현장조사 결과 반응기(R-107)의 경판이 비산되고 주변에 경판을 고정하는 클램프가 파열된 흔적 등을 종합하여 볼 때에 반응기의 경판에 과중한 압력이 내부에 일어난 것으로 추정되나, 파열판(RD 3")이 파열되지 않은 것이나 위험물질(NaCOPA, 용제, Urea, 황산

등)이 폭발적인 분해나 이상반응이 일어나는 메카니즘의 불규명 등에 대해서 지속적인 조사와 실험이 요구되고 있으며, 또, 온도의 기록 등을 하는 계측기기가 전부 전소되었기 때문에 원인을 추정하기는 상당히 어렵지만 다음과 같은 경우에 폭발이 일어날 수 있는 경우를 추정함.

1) Case 1 : 반응기 내부 화재

반응기(R-107)의 내부에 R-108에서 이송된 내용물이 50%정도 차 있으며, 반응기 증기층은 공기로 충전되어 있어 내부의 온도를 000℃로 승온하여 용제가 일부 증발된 것으로 사료되어 교반기의 가동 등에 의해 발생된 정전기의 방전으로 내부 화재를 유발할 수 있는 것으로 사료됨.

2) Case 2 : 반응폭주

반응기(R-107)의 온도를 000℃로 승온한 상태임으로 요소(Urea)가 불순물 등으로 인하여 이상반응이 일어나 급격한 반응폭주로 반응기의 경판이 비산된 것으로 추정됨.

3) Case 3 : 반응기 외부화재

반응기의 외부로 NaCOPA 등의 가연성물질이 누출되어 어떤 점화원으로 인하여 화재가 발생하였고 불씨가 반응기 내부로 인화된 것으로 추정됨.

4) Case 4 : 반응기에 설치된 교반기의 Seal쪽으로 누출되어 발화

사고가 발생한 반응기는 3~4개월 동안 사용하지 않다가 처음으로 사용한 반응기로서 반응기내의 인화성물질이 경판에 설치된 교반기(Agitator)의 Seal쪽으로 누설되어 체류되면서 폭발분위기를 형성하였고, 교반기의 축(Shaft) 또는 상부모타와의 접촉에 의해 발화되면서 1차 폭발이 발생하였고, 이로 인한 반발력에 의해 반응기 경판이 비산되면서 2차 폭발되었고 2차 폭발에 의한 반발력에 의해 반응기 동체가 1층으로 내려앉으면서 폭발음이 발생한 것으로 판단됨.

나. 추정원인의 검토

위와 같은 경우를 통하여 볼 때 Case 4는 반응물이 고온에 의해 인화성증기가 교반기의 Seal을 통해 누출되어 사고가 발생하였을 가능성이 있으나, 이것을 입증하기 위해서는 교반기를 검사해야 하나 현재 교반기의 몸체가 폭발에 의해 공장건물 지붕에 걸치져 있어 확인에 어려움이 있으므로 차후 재조사를 하여야 할 것으로 판단됨.

- Case 3(반응기 외부화재)의 경우에는 외부에서 화재가 전이하였을 경우에는 반응기 내부의 온도가 000℃임으로 공기는 전부 배출되고 용제 등의 증기만 있으므로 반응기 내부가 폭발범위 내로 형성될 가능성이 거의 희박한 것으로 사료됨.
- Case 2(반응폭주)는 반응기 내부에 촉매의 역할을 할 만한 물질이 존재하는지의 여부를

검정할 수 없었고, 운전상태를 알 수 있는 모든 계측기기가 전소되어 정확하게 규명할 수 없으므로 화학물질에 대한 별도의 규명이 필요함.

- Case 1(반응기의 내부화재)은 반응기의 내부가 000℃임으로 공기는 전부 배출되고 용제의 증기가 내부에 차 있을 것으로 추정되어 가능성이 희박함.

다. 원인규명의 문제점

1) 파열판(크기 : 3")의 미파열

반응기의 증기배출배관에 냉각기로 인입되는 부위에 반응기에서 1m 떨어져 파열판이 설치되어 있으며 밸브는 없는 상태임.

2) 위험물질의 특성

공정에 투입되는 원료는 NaCOPA(고체, 4-클로로프탈로 모노나트륨 염), 용제, 황산, 요소(Urea, CH₄N₂O) 등이 분해할 수 있는 촉매, 반응메카니즘 등의 규명이 필요함.

3) 교반기의 누출여부 검사

교반기의 Seal쪽으로 누출되었을 가능성을 조사하기 위해 상세한 검사가 필요한 것으로 판단됨.

6. 재발방지대책

가. 위험성평가의 실시

사고공정뿐만 아니라 모든 회분식 공정을 위험성평가를 실시하여 모든 위험을 도출하고 허용되지 않은 위험이 있을 경우에는 위험을 감소할 수 있는 방안을 마련하여야 함.

나. 위험물질의 특성에 대한 연구

NaCOPA, 용제, 요소, 황산, 암모늄 몰리브데이트, 염화제1동의 위험성을 규명하고, 반응이 일어날 수 있는 제반사항을 면밀히 검토하여야 함.

다. 설비의 안전성확보를 위한 점검, 관리 철저

반응기와 같은 화학설비를 가동중단 후 새로 사용할 때는 재사용가능 여부 및 누출을 방지하기 위한 사용전 검사를 철저히 하여야 할 것으로 판단됨.

라. 조정실과 현장과의 격리

조정실의 벽은 방폭벽으로 설치하여야 함.

마. 운전원의 교육·훈련

위험성평가를 실시하고 도출된 위험을 운전원 및 관련자에게 교육·훈련을 강화하여야 함.

7. 참고자료

- 한국산업안전공단, 사고조사보고서, 2002년

8. 관련사진



<그림 8> 사례5: 반응기 위의 파손된 지붕



<그림 9> 사례5: 파열판 및 배관



<그림 10> 사례5: 파열되지 않은 파열판



<그림 11> 사례5: 파손된 냉각기

사례 6. 이성화공정에서 start-up 시의 폭발화재사고

1. 사고발생개요

- 발생일시 : 2005. 3. 23 13:20

- 발생장소 : 미국, Texas, Texas city bp
- 사업장 : 석유정제
- 유체 :
- 운전조건 :

2. 피해상황

- 인적피해 : 사망 15명, 부상 170명 이상
- 물적피해 : 이성화공정이 파괴되었고, 건물·trailer가 파손됨

3. 사고개요

2005년 3월 23일 13:20경에 이성화공정의 start-up 조작에서 높이 50m의 splitter의 42m까지 oil이 차 가열로에 의해서 가열된 열에 의해 탄화수소의 증기압이 상승하였고, 탑정부에 역압상승된 상태가 되었다. 탑정배관의 안전밸브가 토출되었고, 탄화수소는 blow down drum을 거쳐 stack에서 토출되어 지상에 액체 pool을 만들었다.

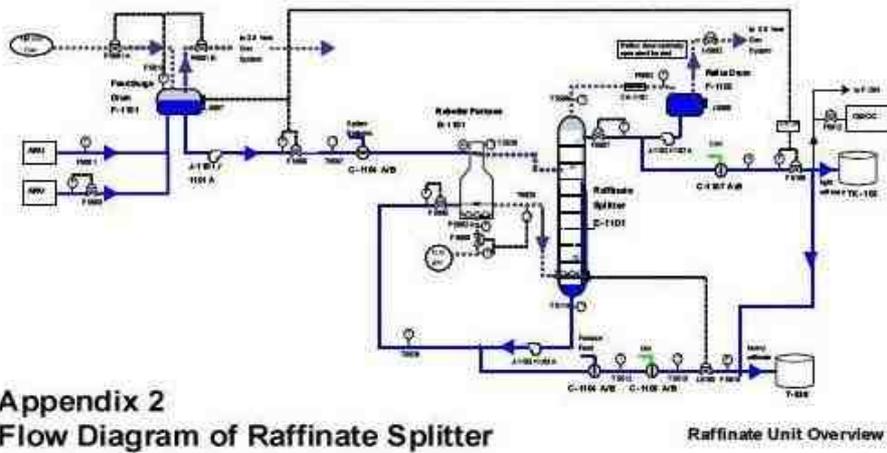
소규모 폭발이 있고, 다음에 대규모 폭발이 발생하였다. Blow down drum의 근처에는 정기보수작업을 위하여 55대의 trailer, truck, 승용차가 위치하여 작업원의 집합장소가 되었다. 폭발에서 trailer가 파괴적인 피해를 입어 사망 15명, 부상 170명을 넘는 대참사 이었다.

4. 경과

a. 이성화공정의 기기 및 배치는 참고자료를 참조하고, 주요 기기는 원료유 drum(F-1101), reboiler heater(B-1101), 원료유/탑저유 열교환기(C-1104), raffinate splitter(E-1101, 70단 tray), 탑저유 제품 control valve(LCV-5100), reflux drum(F-1102), blow down drum(F-20)

b. 경과

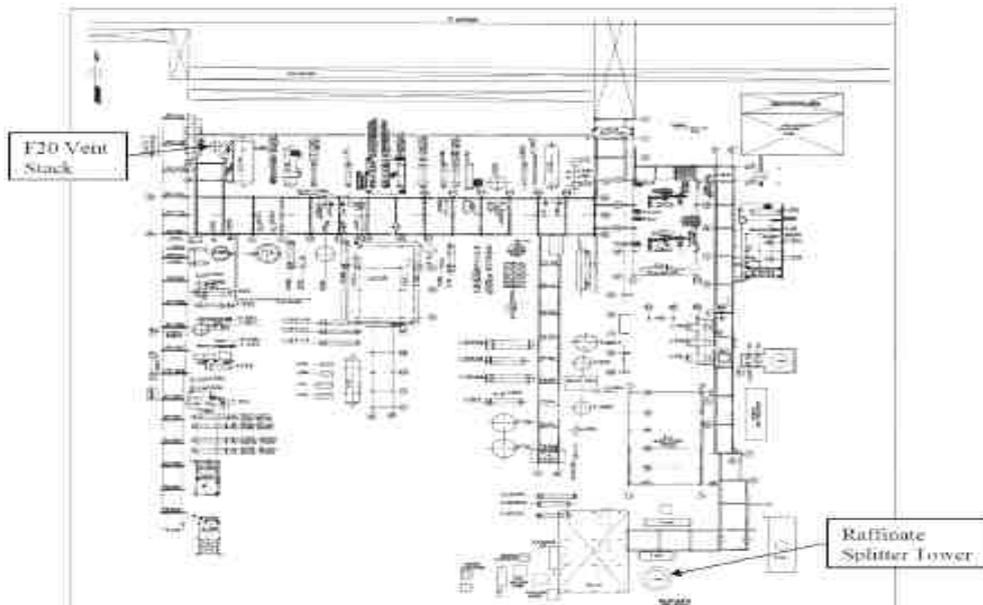
- 22, 23일의 야간 shift : 이성화공정의 start-up 준비로 원료유 drum에서 splitter에 raffinate를 charge하고, 가열로로의 순환도 일체히 시작했다. Bottom level의 지시는 100%로 나타났다.
- 6시경 : 일근 shift에 교체되어 line-up의 확인
- 9시 41분 : Reboiler 순환을 개시하고, 09:52 charge를 3,180kl/d로 개시, 그 후에 LCV-5100을 제어실에서 수동으로 정지하였다. 유량은 750kl/d(오지시)로 나타났다.



Appendix 2
Flow Diagram of Raffinate Splitter

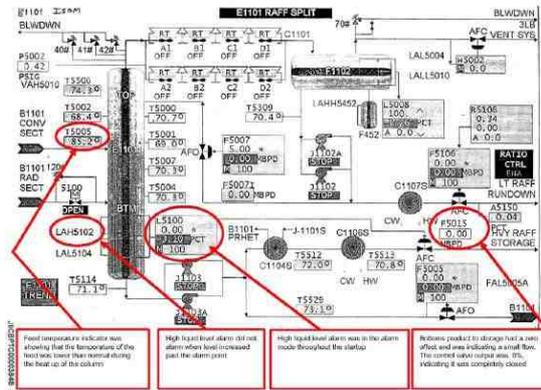
Raffinate Unit Overview

<그림 12> 사례6: 공정의 흐름도



<그림 13> 사례6: lay-out

- 10시 : 가열로를 점화.
- 12시 20분 : 가열로 출구온도가 목표의 135℃에 달하였다. 탐저로부터의 유출이 없는 채로 charge을 계속하였기 때문에 12시 40분에 액면은 계산상 charge nozzle인 단(31 단)보다 높은 42m(대류유 약 400kl)로 추정된다. 유출유가 흘러 원료유/탐저유 열교환기에 의해 splitter의 주입하는 온도가 급상승(13:15 52℃→13:10 127℃)하였다. 급상승에 의해 splitter의 입구에서 원료유가 기화되었고, 잔류하던 내용물이 dryer보다 위에 급상승하는 결과가 되었다.



〈그림 14〉 사례6: DCS display

- 13시 13분 : Over head condenser 입구압력이 141KPa가 되도록 급상승을 시작하였다. 과잉으로 높은 액면이 탑정부dnk를 넘쳐 over head line에 나타난 것으로 생각된다. 또 splitter의 탑저부 온도가 151℃로 되었기 때문에 step을 따라 가열로가 정지를 하였다. 13:15에는 압력이 434KPa에 달하였고, 안전밸브(3개의 설정압력 276, 283, 290KPa)가 열려 blow down drum에 유입되었다. 13:17 현장 operator가 reflux 펌프를 기동하였다.
- 13:19 2명의 목격자에 의해서 blow down stack의 상부 6m 부근에 간헐적으로 증기와 액체가 넘쳐 하강해서 지상에 채류하는 것으로 무선연락이 있었다.
 - 19시 20분 : 대규모의 폭발. Trailer와 승용차를 포함한 약 30대의 잔해가 있었고, 화재는 이성화공정을 태우고 약 2시간 후에 진화되었다.

5. 원인

- a. 이성화공정의 start-up에서 원료유를 주입하여 탑저유 control valve를 약 3시간 닫았기 때문에 splitter탑 내의 level이 상승하였다. 한편 가열로의 운전을 하였기 때문에 계내에 열이 축적되었다. Control valve를 열어서 splitter의 입구온도가 상승되었고, 온도가 상승된 기액이 splitter의 상부를 통하여 안전밸브 그리고 blow down drum으로 유출되었으며 계속 유출된 유체는 대기로 개방된 stack을 통하여 대기로 넘쳤다.
- b. 사고시 주변에는 55대의 차량이 있고, 차량의 배기관이 점화원으로 되었으나 확인은 되지 않았다.
- c. Splitter 탑저의 액면지시는 야간 shift로부터 인수인계된 100% 그대로이다. 운전기준서에는 50%에서 운전하도록 되어 있다. 또 제어실에 경보를 발하는 high level alarm은 기능하지 않았고, 다중화 때문에 설치된 2개의 alarm도 고장 나 있었다.
- d. 제어실 운전원이 탑저유 제품 control valve를 약 3시간 닫았다.

- e. 직장은 10시에 개인적인 가족문제 때문에 직장을 이탈하여 폭발 시에 없었다.
- f. Blow down drum에서 약 46m 이내에 trailer를 둔 장소가 있고, 정기보수작업 때문에 다수의 사람이 있었다.

6. 재발방지대책

- 공정안전의 우선순위에 관한 명확한 고려, 장기적인 vision, 장래상에 대한 것 등을 제시하도록 한다.
- 안전이나 기본조작을 중히 여기는 의식의 결여. 예를 들면, 부적절한 shift 교대, 절차의 미준수, 라인관리자가 진행 중의 조작을 인지하지 않는 등이 증거이다.
- 조직에는 많은 interface가 있고, 명확한 설명책임과 조직 내의 수직·수평방향으로의 효과적인 communication이 강구될 것.
- 위험(risk)을 발견할 능력의 결여, 즉 고수준의 위험에 대한 감수성이 낮다.
- 탄화수소처리공정의 인접한 지역에 대단히 많은 차량이 들어가도록 허가된 것이나, blow down system이 장기간 지속되어 있고, flare가 폐쇄감압시스템으로 변경되지 않는 등이 거론되고 있다.
- 공정안전이 위험에 처할 때의 전체적인 조기경보시스템이 갖추어져야 한다.

7. 참고자료 및 문헌

- CSB, Investigation report, 2007년



<그림 15> 사례6: 사고 후의 splitter



<그림 16> 사례6: 사고 후의 전경(2)



<그림 17> 사례6: 사고 후의 전경(3)



<그림 18> 사례6: 사고 후의 전경(4)

사례 7. 상압증류공정의 안전밸브에서 분출한 oil이 지역을 오염된 사고

1. 발생개요

- 발생일시 : 2005년 8월 7일 16:46
- 발생장소 : 프랑스
- 사업장 : 석유정제
- 유체 : 원유
- 운전상황 : 운전개시

2. 피해상황

- 인적피해 : 부상 8명
- 물적피해 : 563채의 가옥, 726대의 자동차, 132건의 수영 pool을 오염

3. 사고개요

휴지되었던 상압증류공정을 2005년 8월 6일 오전 중부터 start하였다. 다음 날 7일 16:36, 상압증류탑의 압력상승에 의해 안전밸브가 popping하였고, 탑정에서 5분간 대기로서 가스상의 탄화수소를 방출하였다. 피해는 북에서의 강풍에 의해 7km 떨어진 남의 지역으로 확산되었고, 563채의 가옥, 726대의 자동차, 132건의 수영 pool을 오염시켰다.

4. 경과

- 상압증류탑은 정상운전 시는 380℃로 feed charge하고, 증류 조작에 의해 6유분으로 나눈다. 탑에는 5개의 안전밸브가 설치되어 그 방출선은 대기로서 되어 있으며, flare계통에는 연결되지 않았다.
- 상압증류공정은 계내에 oil이 남은 채로 start하였고, 4shift의 근무에 의해 다음의 운전을 하였다.
 - 최초는 장치와 탱크를 연결하여 상온의 원유를 circulation. 그 사이에 기기·계장 등의 점검
 - 가열로에 점화하여 상압증류탑에 feed charge
 - 상압증류탑의 탑저의 액면이 당초는 50% 이었으나, 가열로의 점화 후에 feed charge 양이 증가하여 100%를 초과하였다.
- 16:46, 안전밸브가 popping(압력 0.3MPa, 온도 300℃)하여 10~20kl의 가스상 탄화수소가 분출하였다. 오염피해의 당국보고는 주민으로부터 되었고, 운전원이 느낀 것은 1시간

후부터 이다.

- d. 일반시민의 입원이 1명 등 총 8명이 영향을 받았다. 지표면의 정화는 9헥타르(90,000 m²)에 미쳤다.

5. 원인

- a. 상압증류탑의 압력이 상승하여 안전밸브가 popping 되었다. 그 배경은 상압증류공정의 start-up으로 가열로의 승온과 증류탑의 정정(整定)을 하는 과정에서 증류탑의 액면이 상승하였고, 탑내에 증류의 온도분포를 일정하게 만들지 못했다. 탑내의 중단, 상단의 온도가 상승하여 원유가 이상으로 기화한 것으로 추정된다.
- b. 안전밸브에서의 방출이 대기로 되어 있었다.

6. 재발방지대책 및 교훈

안전밸브의 방출을 flare stack으로 연결한다.

7. 전문가 comment

- a. 분출한 것은 가스상의 탄화수소이나, 참고자료의 사진으로 볼 때에 차색(茶色)의 띠가 멀리까지 이어졌다. 상압증류탑의 액면이 중단, 상단까지 달해서 중질유의 유분이 비산된 것으로 추측한다. 안전밸브의 방출도 설계단계에서는 액면의 이상상승까지는 상정하지 않았고, 가솔린이 소량 분출하는 것을 전제하였기 때문에 대기로 방출을 한 것으로 생각된다.
- b. 장치의 start-up에서 유의할 것은 일단계로서 일단계와 목표를 결정하여 그 조건에 조정하고, 그 과정에서 이상이 있으면, 그 전의 단계로 후퇴한다. 증류탑의 탑저 액면이 100%라면 가열로의 승온은 하지 않은 액면에서 50%로 목표를 후퇴한다.
- c. 이와 같이 목표를 생각하여 운전을 하면 목표에 맞추는 것으로 팀의 힘이 집결되기 쉽고, 어떠한 사고도 방지할 수 있다.

8. 참고자료 및 문헌

- Release of liquid and gaseous hydrocarbons by the valves of the atmospheric distillation tower of a refinery, French Ministry of Environment-DPPR/SEI/BARPI-IMPEL, ARIA, No.30406, 2007

<http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

사례 8. 접촉개질공정의 안전밸브가 작동하여 대기방출배관에서의 화재사고

1. 발생개요

- 발생일시 : 2006. 4. 10 13:03
- 발생장소 : 일본 오오사까부
- 사업장 : 석유정제
- 물질 : 수소 및 H/C
- 운전상태 : 정상운전

2. 사고개요

2006. 4. 10에 접촉개질공정의 반응기 주변에 압력이 상승되어 가열로 출구·반응기 입구에 있는 안전밸브가 작동하였다.

대기방출배관은 연돌의 외부를 따라서 높이 95m에서 대기로 방출되도록 되어 있으나, 녹 등에 의해 도중에서 막히고 부식에 의해 두께가 얇아졌다. 그기에 약 500℃의 가스가 다량으로 방출되었기 때문에 stack의 시작부분이 파손되었고, 자연발화하여 화재가 발생하였다.

공정은 긴급정지를 하였고, 소화활동의 결과 13:35경 진화되었다.

3. 피해상황

- 인적피해 : 없음
- 물적피해 : 대기방출배관의 일부, support, 부속배관, 집합연돌의 도장(300m²) 및 가열로 덕트의 도장(20m²) 연소

4. 사고설비

- 설비명 : 안전밸브의 대기방출배관
- Size : 10B pipe
- 재질 및 두께 : STPG 370, Sch. 40, 두께 : 9.3mm
- 설계압력 : 0.35MPa
- 설계온도 : 538℃
- 유체 : 수소-43%, 메탄-23%, 에탄-12%, 프로판-5%, 기타HC-17%

5. 경과

- a. 대기방출관은 1965년에 설치되었고, 검사는 2년에 1회의 두께측정하고, 내부의 검사실적은 없음.
- b. 접촉개질공정은 촉매의 활성이 저하되기 때문에 온도를 높게 설정하였고, 제3 반응기 출구가 과거 최고의 535℃로 운전되었다. 그리고 1개월 후에 정기보수작업에서 촉매를 재생할 예정이었다.
- c. 전일인 9일에 상압증류공정에서 원유를 다른 종류로 바꾸었고, 그것에 따라 접촉개질공정의 원료 naphtha의 조성이 변화하였으며, 반응기의 입구온도와 계내 압력 조정을 반복하여 실시하였으나, 변동의 확대를 억제하는 것이 불가능하여 안전밸브가 작동되었다.
- d. 대기방출배관의 stack 시작부위에서 화재가 발생하였다.

6. 원인

- a. 사고 후의 조사에서 대기방출배관의 정기점검을 하지 않은 부분에 녹에 의해 막혀 있고, 또 부식에 의해 개구된 부분이 있는 것을 발견했다. 503℃의 혼합가스가 방출되면 발화점이 316℃를 초과하였기 때문에 가스가 연소하였다.
- b. 접촉개질공정의 반응온도가 540℃ 근처가 되면 분해반응이 가속적으로 증가하여 다량의 가스가 생성되어 운전압력이 상승한다. 그 가까운 온도영역에서 불안정한 운전이 지속된다. 그기에 원료 naphtha의 조성변화가 발단이 되어 온도와 압력의 변동이 크게 되어 안전밸브가 작동되었다.

7. 재발방지대책

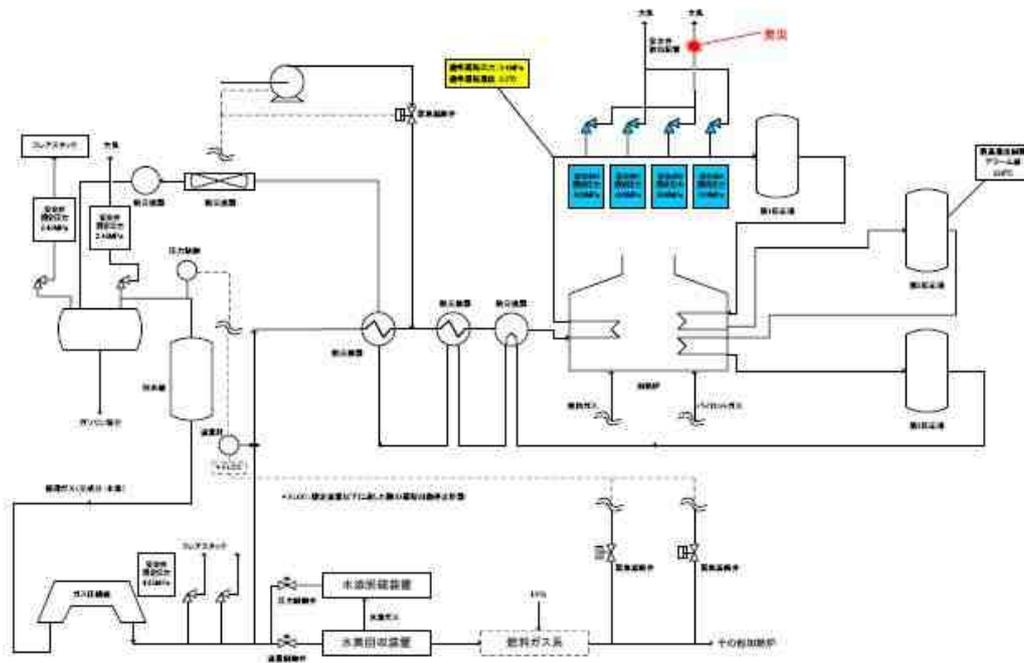
- a. 반응기의 운전온도를 제어가 가능한 안전한 수준까지 낮춘다.
- b. 접촉개질공정의 운전 제어특성, 특히 촉매수명 전의 운전 반응에 관한 이해를 교육시킨다.
- c. 발화점을 초과하는 가연성 가스가 대기에 방출되지 않도록 배관의 설계변경과 안전밸브의 방출을 flare로 변경한다.
- d. 안전밸브의 방출배관에 대한 부식관리 및 막힘 관리를 한다.

8. 교훈

- a. 반응특성에 관해서 교육을 충분히 할 필요가 있다.
- b. 안전밸브의 방출배관의 정리와 검사를 충실히 한다.
- c. 전문가의 comment

- 정유공장의 경영을 크게 나누면 인적인 면에서는 운전이나 작업·검사의 현장 제일선에서 일하는 사람이 자부심을 가지도록 하는 것이고, 설비면에서는 안전밸브의 방출배관이나 배수처리설비를 우선적으로 관리·유지하는 것이며, 조직면에서는 기술의 정보·경영의 정보가 조직 내에서 공유되도록 하는 것이다. 「사람을 소중히 여긴다」라는 원리원칙으로 경영을 진행하면 사고는 줄어든다.
- 안전밸브는 기기를 수호하기 위해 최후의 보로이나, 방출배관이 막힘이 생기면 안전밸브의 기능을 상실하게 한다. 안전밸브를 설치하는 것이 주목적이 아니고, 안전밸브가 확실히 기능하도록 시스템 전체의 유지관리가 중요하다.
- 사고 후의 대책으로서 촉매층 출구온도를 낮추도록 하였으나, 낮추는 것만이 좋은 것은 아니고, 기술적인 검토가 이루어져야 한다. 어떠한 근거에 기초를 두어는가를 확실히 하여야 한다.

9. 첨부자료 및 참고문헌



<그림 19> 사례8: 접촉개질공정의 흐름도

- Inowoee Dakashi, 촉매개질공정의 화재에 관해서, 위험물질 사고사례세미나 자료, 위험물질보안기술협회, p23~37, 2007년
- 고압가스보안협회, 상압증류/촉매개질공정 안전밸브 방출배관의 화재, 고압가스사고개요보고서, 2007년 (www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/comb.html)

사례 9. Polymer수지제조공정의 화재사고

1. 발생개요

- 발생일시 : 2006년 9월 7일 04:30경
- 발생장소 : 일본 Bogushima
- 설비 : PPS 수지제조 plant
- 기기 : 반응기(CS clad 강) 및 방출관(SGP)
- 위험물질 : N-methyl-2-pyrrolidon(NMP)
- 제조능력 : 6,010m³/d
- 운전상황 : 정상운전
- 운전조건 : 사용압력 3MPa, 온도 315℃

2. 피해상황

- 밸브의 조작오류에 의해 반응기(중합반응기)의 온도 및 압력이 상승해서 고온의 내용물이 안전밸브에서 방출관으로 방출되었고, 방출관 출구(대기개방)에서 착화하여 화재가 되었다. 본 화재사고에 의해 부근의 계장케이블이 소손하였고, 인접된 다른 반응기도 온도 제어가 불능이 되었으며, 내용물이 안전밸브에서 방출관으로 방출되어 화재가 되었다.
- 인적피해는 없음.

3. 사고개요

- 03:58 PPS제조 plant에서 반응기 A의 온도제어용 열매의 가열로에 불이 꺼져 alarm이 발생하였다.
- 04:01 즉시 운전원 a(운전경험 : 7년)가 반응기 A의 온도변화를 잡을 의도(판단오류)로 온도제어 밸브를 안전히 닫았다(냉각도 정지→반응기 A의 온도제어 불능). 이 직후에 같은 동료인 운전원 b와 교대하였다(온도조정밸브를 전개한 것은 전달하지 않았다).
- 04:27 반응기 A의 내부온도 이상 alarm에 의해 운전원 b는 온도조정밸브가 전폐(全閉)되어 있는 것을 느끼어 전개(全開)하였으나, 온도상승에 따르는 압력상승은 정지되지 않고, 안전밸브 A가 작동하여 내용물이 방출관 A로 방출되었다. 운전원 b는 보안담당에게로 안전밸브 A가 작동한 것을 연락하였고, 곧바로 자위소방차(보안담당)가 출동하였다.
- 04:30 운전원 c(직장)가 방출관 A의 출구부근에서 화재를 확인하였고, 보안담당에게로 화재발생을 연락하였다. 출동한 자위소방차가 소화를 개시하였다.

- 04:44 보안담당이 소방서로 통보하였고, 공설소방도 소화를 개시하였다.
- 05:02 화재에 의해 다른 반응기 B의 계장케이블이 연소되었고, 반응기 B도 온도제어 불량이 되어 안전밸브 B가 작동해서 내용물이 방출관 B로 방출되었다. 그리고 방출관 B의 도중에 끼우기식 접속부위가 이탈하였다.
- 06:03 진화가 확인되었다.

4. 사고원인

a. 설계상의 원인

- 이전에도 가열로가 꺼지는 경우가 있었으나, 근본적인 대응이 되어 있지 않았다(←사고의 방아쇠가 됨). 이 가열로는 2006년 4월부터 신규로 가동하였다.
- 이 가열로에서는 냄새제거대책으로서 배기가스를 가열로에서 연소하는 방식이었다. Drain이 원인으로 불이 꺼진 것이나(뒷날 판명), restart-up하면 가동되기 때문에 대응이 후회(後回)된다.
- 방출관은 가스배출을 생각해서 설계되었고, 내용물(수지 등의 고형물)이 방출되는 것은 상정하지 않았다. 또 내용물은 발화점을 초과하였기 때문에 자연발화되었다.
- 방출관의 출구는 이전에 플랜트 상부에 수평으로 설치되어 있었다. 그러나 방출된 내용물이 대지외부에 주차된 차를 오염시켰기 때문에 대지 밖으로 방출되지 않도록 플랜트 하부에서 방출되는 구조로 개조되었다.
- 방출관은 굴곡이 많고, 배출이 smooth하지 않을 가능성이 있다.
- 방출관(B)의 도중에는 플랜지는 없고, 삽입식 접속부위가 있으며, 그것이 이탈되었기 때문에 이탈개소에서 착화되었다. 단지 화재가 플랜트 밖의 대기 중에 방출되는 상태로 되었기 때문에 결과적으로 플랜트 연소를 억제한 것으로 생각한다.

b. 운전조작·관리상의 원인

- 가열로의 실화(失火)의 alarm 후에 운전원이 자동운전에서 수동운전으로 전환하고, 온도조절밸브를 전폐하였다(→온도제어 불능임).
- 운전메뉴얼에서는 자동운전에서 수동운전으로 전환하였고, 통상 직장의 판단이 필요하였으나, 구체적인 case는 규정되지 않았다.
- 오조작으로서 반응기 운전시에 온도조절밸브를 정지하는 것이 상정되어 있지 않았다.

5. 재발방지대책

a. 방출관의 개선

- K. O drum을 설치하여 고액(固液)과 가스를 분리한다.

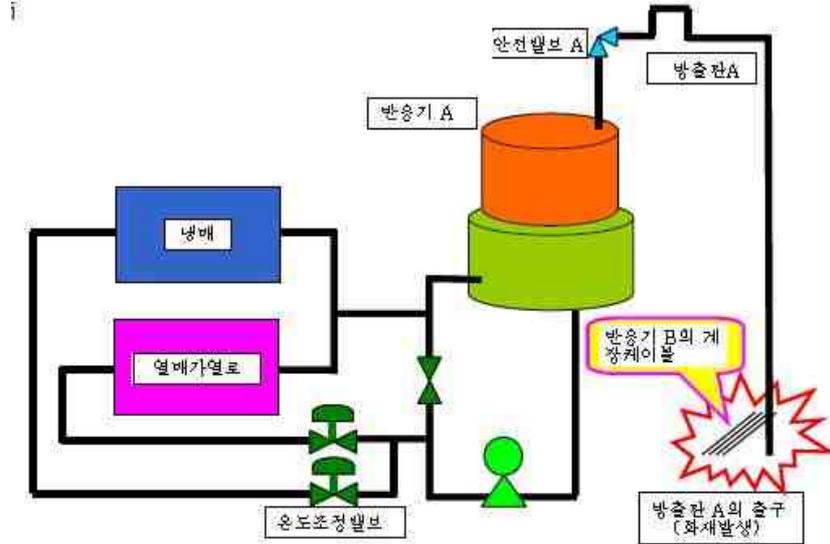
- 방출관의 size-up 및 굴곡부위를 최소화
 - 접속부위를 삽입식에서 플랜지로 변경
 - 방출관 출구를 안전한 개소로 변경
 - 착화방지와 가스냉각을 위해서 방출관에 질소, 증기를 주입
- b. 관리·매뉴얼의 개선, 재교육
- 변경관리의 철저
 - 매뉴얼의 상세기술→기본적인 사항도 기재
 - 개정된 매뉴얼에 의한 운전원의 재교육
 - 위험체감교육의 실시
- c. 계장시스템의 개선
- 발열반응 시에는 반응기의 dsh도제어가 냉각우선인 시퀀스로 개량
 - 수동운전 시에서도 온도이상상승의 경우에 긴급정지가 가능하도록 시스템의 개선
 - 자동운전→수동운전의 변경은 책임자가 권한을 가지도록 개선
- d. 냉각·가열용 열매로 운전의 안정화
- 열매 가열로의 실화(失火)방지를 위해서 배기가스의 drain을 제거(열매펌프의 cavitation 방지조치도 실시).
- e. 기타의 대책
- 수평전개→방출관의 확인·개량 및 제어성의 재검토·개선
 - 이번의 사고를 시나리오 작성하여 정기적인 훈련실시

6. 교훈

- a. 본 사고는 가열로의 실화(失火)원인을 조사하여 대책을 실시하면 방지될 사고이다. Trouble이 판명되었을 때에는 확실히 대처하는 것이 필수이다.
- b. 위험을 선출, 그 발생정도, 사고의 영향 등을 상정·평가한 대책을 실시하는 것이 중요하다.
- c. 취급되고 있는 공정을 숙지하여 trouble 발생시를 염두에 둔 교육·훈련에 임한다.
- d. 매뉴얼에 작성된 내용의 know-why를 이해할 필요가 있다.
- e. 경험이 풍부한 운전원이 조작오류를 하였다. 종업원에게 반복하여 교육 및 failure safe 기능을 가지는 등, hardware 및 software 대책을 검토할 필요가 있다.
- f. 이번의 사고에서 방출관의 방출부위를 변경할 때에 변경관리규정에 기초해서 검토하여야 한다.

g. 방출관에서 사고 방출은 가스의 성질에 따라 적절한 위치를 하여야 한다.

7. 참고자료



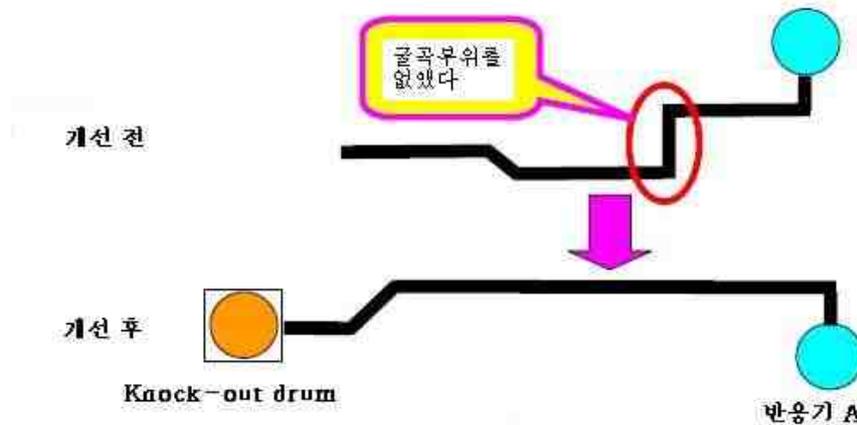
<그림 20> 사례9: 장치의 개요



<그림 21> 사례9: 안전밸브 방출관(A)의 출구부분



<그림 22> 사례9: 안전밸브 방출관(B) 삽입식 접속부위



<그림 23> 사례9: 안전밸브 방출관의 개선도

사례 10. 폐유정제용 증류장치에서의 중합반응에 의해 수소가 발생하여 폭발화재 사고

1. 발생개요

- 발생일시 : 2006년 9월 12일 22:10
- 발생장소 : 일본 Gihoo-hyun
- 사업장 : 석유화학·화학
- 유체 : 에틸렌글리콜
- 날씨 : 구름(기온 23℃, 습도 92%)
- 운전상황 : 정상운전

2. 사고개요

1) 개요

2006년 9월 12일 22:10, 폐액으로부터 디에틸렌글리콜을 회수하기 위해서 증류탑의 폐액에 소다회와 물을 투입하여 감압과열증류를 행하고 있었으나, 갑자기 증류탑 내부의 압력이 상승하였고, 안전밸브와 진공배기구에서 가스가 분출하였으며, 인화폭발이 일어나서 화재가 되었다. 곧바로 공설소방에 통보하였고, 다른 회사의 지원을 얻어서 소화활동을 하여 23:51 진화·처리가 완료되었다. 작업원 1명이 피난할 때에 증상의 화상을 입었다. 증류yard는 반파반소 되었고, 반경 400m의 범위 내에서 유리창이 파손되었다. 당해작업은 전일 11일 14:30에 원료 5000kg과 소다회 25kg, 물 200kg을 투입하여 가열증류를 시작하였고, 증류탑은 감압하여 압력, 온도가 안정된 상태에서 에틸렌글리콜을 취급되었

다.

2) 경과

개요를 참조

3) 원인

원료에 소다회를 첨가함에 의해 중합반응이 일어났고, 수소가 발생하였다. 이에 의해 증류탑 내의 압력이 상승하여 진공펌프나 안전밸브의 배기능력을 상회하는 수소가 폭발적으로 발생하였다. 그 때문에 내압이 급속하게 상승해서 증류탑에 균열이 생겨 수소, 용제가 분출하여 어떤 착화원에 의해 인화·폭발한 것으로 추정된다.

3. 피해상황

- 1) 피해상황(인적) : 부상 1명(중상)
- 2) 피해상황(물적) : 증류 yard 반파반소
- 3) 피해상황(환경)
- 4) 피해상황(주민) : 반경 400m의 범위 내에서 유리창 파손

4. 재발방지와 교훈

1) 재발방지대책

- 입고물질의 위험성 check manual의 재검토한다.
- 화학반응이나 수소가스발생을 일으키는 등, 안전성의 확인이 되지 않은 물질의 증류는 인계받지 않는다.
- 기기나 장치의 안전대책으로서 이상시의 자동정지, 파열판 및 압력안전장치의 설치를 한다.

2) 교훈

폐유에는 다양한 성분이 포함되어 있었으며, 특정한 약품 등으로 반응해서 발열이나 가연성가스를 발생한 것은 많다. 본 사고는 폐유정제사업자의 조작으로 발생한 것이나 폐유가 어떤 공정을 경유해서 들어온 것인지, 미량성분을 포함하고 있는 것이 어떤 물질인지 충분히 파악하고, 정제과정 상, 조작 상 문제가 없는가 안전확인할 필요가 있다. 이번 사고와 같이 미량성분에서도 촉매가 되어 중합반응을 촉진하고, 반응폭주를 일으키는 것도 있음으로 정제조작을 실시하기 전에 사용할 약품과의 접촉, 혼합에 의한 위험성의 유무를 사전에 check 하는 것이 매우 중요하다.

폐유처리를 의뢰하는 측도 폐유의 특성을 처리업자에게 전달함과 동시에 어떻게 처리하는가, 그것에 의한 위험은 없는가를 충분히 파악하여야 한다. 사고발생은 의뢰측도 정보전

달 부족에 대한 책임이 있다.

따라서 의뢰측과 수탁측이 충분한 정보를 교환하고, 안전 확인을 함으로서 사고를 예방할 수 있다.

5. 참고자료(문헌 등) : 일본 소방청

사례 11. 수첨탈황공정 정류탑 O/H receiver 안전밸브 설치배관에서의 누출사고

1. 발생개요

- 발생일시 : 2007년 3월 6일 16:45
- 발생장소 : 일본 Chiba-hyun
- 사업장 : 석유정제
- 유체 : 황화수소를 포함한 탄화수소
- 날씨 : 구름(기온 12℃, 습도 70%)
- 운전상황 : 정상운전

2. 사고개요

1) 개요

2007년 3월 6일 16:40경, 수첨탈황공정 정류탑에 있어서 협력회사원이 악취를 확인하고 운전원에게 연락하였다. 연락을 받은 운전원은 정류탑 O/H receiver의 안전밸브 설치배관에서의 누출을 확인하였다. 17:00경, 곧바로 공정운전정지조작을 개시함과 동시에 시소방대로 통보하였다. 17:30에 탈압이 완료되었고, 응급조치를 하였으며, 21:00에서부터 다음 날 아침 08:00까지 계내의 oil을 회수하여 모든 조치를 종료하였다.

2) 경과

개요를 참조

3) 원인

원인은 물을 함유한 황화수소에 의한 내면부식에 의해 개구된 것으로 보인다. 1995년에 당해부의 검사를 실시하여 감육경향을 확인하였으나, 차기의 검사 시기 등의 설정이 되지 않았고, 그 후의 추적조사가 실시되지 않았다. 당해부위는 2003년의 경연열화 진단으로의 안전밸브 일차측 배관의 내면부식검사계획 시에 검사대상으로서 추출되지 않았다.

3. 피해상황

- 1) 피해상황(인적) : 없음
- 2) 피해상황(물적) : 소량
- 3) 피해상황(환경) : 없음
- 4) 피해상황(주민) : 없음

4. 재발방지와 교훈

1) 재발방지대책

- 지속적인 두께측정을 실시한다.
- 두께측정한 후에 잔여수명평가를 한다.

2) 교훈

전면부식은 감육 경향 데이터가 기본이다. 정기적인 감육측정 등을 실시하였다면 갱신 시기도 명확하게 되어 당해 사고는 방지되었을 것이다. 보수·보전의 기본이다.

이와 같은 부식데이터는 다소 조건의 차이가 있겠지만, 각사의 공통된 생각임으로 공개해서 공유하는 것이 바람직하다.

사고는 약간의 실수에 의해 시간이 경과해서 표면화되는 것이 많다. 이번의 사고는 검사시에 배관의 감육 경향을 확인하였음에도 불구하고, 다음의 검사시기의 설정이 되지 않은 것이지만 위험인식에 대한 의식이 약간 부족하지 않았나 생각한다.

5. 참고자료(문헌 등) : 일본 소방청

<공백>