



PSV 검사주기의 합리적인 개선 방안

2011. 11. 09

이 영순, 강미진

매경안전환경연구원 원장/국립서울과학기술대학교 명예교수



연구 개요

- 연구과제

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

- 수행기간: 2011.4.11 ~ 2011.8.25

- 수행기관: 국립서울과학기술대학교 산학협력단

- 연구책임자: 이 영순

- 공동연구자: 김기영, 강미진



연구 배경 및 필요성

- 압력방출장치(PSV)는 압력용기 및 보일러의 과압에 대한 방호장치로, 각종 법률에 따라 설치 및 검사하여야 함.
 - PSV를 검사하기 위해서는 해당 설비 및 연계된 관련 설비의 가동을 정지하여야 하므로,
 - 안전 및 경제적 측면의 중대한 관심사항임.
 - 보일러 및 압력용기의 검사는 산업안전보건법, 고압가스 안전관리법, 에너지이용합리화법에 따라 실시되나, 검사 주기가 서로 다름.



연구 배경 및 필요성

- PSV 검사주기 연장 → 경제적 효과 기대
 - 현재 PSM 대상 사업장 중 P등급 사업장에 대한 PSV는 검사주기를 4년까지 연장 가능
 - 설비 및 PSV의 신뢰도, 유지관리 상태와 관계없이 PSM 등급이 하향평가 되는 경우, 매년 1회 이상의 검사를 실시하여야 함
- PSV는 설비의 안전장치 → 설비 안전에 영향을 주지 않아야 함
- 위 두 조건을 충족할 검사주기 설정 필요



연구의 목적

- 안전을 보장할 수 있는 조건에서 합리적으로 PSV의 검사주기를 연장할 수 있는 방안을 도출하여
- 관련 법규의 개정 검토 시 참고할 수 있는 유용한 자료 제시

연구의 주요 내용



PSV 운용현황 및 사고사례 조사



PSV 관련 국내외 법령의 검사주기 조사 및 개선방안 강구



PSV 검사실시에 필요한 작업절차 분석 및 평가



PSV 최적 검사주기에 대한 이론적, 기술적 배경 검토



검사주기를 중심으로 한 PSV 검사 관련 개선방안 마련



압력 방출 장치

- Pressure relief devices
 - 설비 운용 중 이상상태가 발생하여 최고사용압력보다 높은 압력이 형성될 경우, 설비의 폭발이나 파손을 방지하기 위하여 설비의 최고사용압력 이하에서 작동되도록 설치하는 안전장치(Safety accessories, Safety devices, Protective devices, etc.)
 - 구분
 - PSV(PRV, 안전밸브), RD(파열판), TRV(TSV, 열팽창밸브)



PSV 설치에 관한 국내 법률

산업안전보건법령

- 법적 근거
 - 시행령 제27조 제1항 (별표7)
 - 시행규칙 제46조
 - 산업안전보건기준에 관한 규칙 제116조 및 제261조
- 설치대상 설비
 - 압력용기, 정변위 압축기, 정변위 펌프, 배관, 화학설비 등
 - 보일러 (안전보건규칙 제116조)

고압가스안전관리법령

- 법적 근거
 - 법 제4조
 - 시행규칙 제8조 (별표4) : 고압가스제조의 시설기준과 기술기준
- 설치대상 설비
 - 고압가스설비의 압력이 상용압력을 초과할 경우, 즉시 상용압력 이하로 되돌릴 수 있는 안전장치 설치



PSV 검사에 관한 법적 요구사항

- 산업안전보건법
 - 안전보건규칙 제116조 및 제261조
 - 압력용기, 화학설비 및 부속설비, 보일러에 설치된 PSV 검사
 - 법 제36조(안전검사)
 - 압력용기, 화학설비 및 부속설비 등의 안전검사: PSV 설치대상 설비
- 고압가스안전관리법
 - 시행규칙 제4조 (별표4)
 - 고압가스제조 기술기준 중 점검기준 (PSV의 주기적인 검사)
- 에너지이용합리화법
 - 법 제39조, 열사용기자재관리규칙 제33조
 - 압력용기, 보일러 (특정열사용기자재) 계속사용검사 (PSV 포함)



PSV 검사주기: 국내 법률

검사주기에 대한 국내 법률간 차이

- 산업안전보건법: 안전보건규칙 제261조
 - 매년, 매2년(전단에 파열판이 있는 경우)
 - 연장: 매4년(PSM이행상태평가가 우수한 경우)
- 고압가스안전관리법: 시행규칙 제4조
 - 매2년, 매년(압축기 최종단에 설치된 경우)
 - 압력용기 내부의 재검사주기 범위까지 연장 가능 (압력용기 검사주기: 매4년)
 - 고압가스 특정제조자는 4년의 범위에서 연장 가능
 - 지식경제부 고시(2011-48호)에 따라 최대 4년까지 추가 연장 가능
- 에너지이용합리화법: 열사용기자재관리규칙 제33조
 - 보일러(매년), 압력용기(매2년)
 - 연장: PSM/SMS 대상사업장은 매4년, 8년의 범위에서 지식경제부장관이 정하는 고시(개정 중)에 따라 연장 가능



국내 PSV 검사주기 법적 요구사항

구분	산업안전보건법	고압가스안전관리법	에너지이용합리화법
검사주기	매년 1회 / 매2년 1회* 매년 1회(보일러)	매2년 1회/매년 1회**	매2년 1회(압력용기) 매년 1회(보일러)
검사주기 연장	매4년 1회 가능 (PSM 이행상태 P 등급인 경우)	1: 매4년 1회 가능 (고압가 스텍정제조자의 경우) 2: 압력용기 재검사주기의 범위에서 연장 가능	1: 4년까지 유효기간 연장 (PSM/SMS 대상 사업장) 2: 8년 범위 내에서 연장 (지경부 고시조건을 만족 하는 경우)
기타	1: 설비의 최초검사는 3 년 이내에 실시 2: 설비의 안전검사 주 기는 2년	압력용기의 재검사주기는 지경부 고시조건을 만족하 는 경우 검사유효기간을 4 년까지 추가 연장 가능	고압법에 따른 검사대상 설 비는 제외함.
주	*: RD와 직렬연결 시	**: 압축기 최종단에 설치 된 경우	



PSV 관련 국내 법령 (1)

산업안전보건법률에 따른 PSV 검사 요구사항 연혁

- 안전규칙 제88조(압력방출장치의 설치 등)
 - 1990.7.23 제정
 - 제3편(기계기구 기타 설비에 의한 위험예방), 제9장(보일러 및 압력용기)에서 요구
 - 설치근거 (제1항)
 - 압력용기 등에 과압으로 인한 폭발을 방지하기 위하여 설치
 - 점검/보수 요구사항 (제4항)
 - 1일 1회 이상 작동시험 → 1997.1 삭제
 - 검사 요구사항 (제5항)
 - 1회/년 이상 표준압력계 이용 토출압력 시험 후 납으로 봉인



PSV 관련 국내 법령 (2)

산업안전보건법률에 따른 PSV 검사 요구사항 연혁

- 안전규칙 제88조(압력방출장치 설치 등)
 - 검사 요구사항 (제5항) 변경
 - 1회/년 이상 → 연장 가능: PSM 이행상태평가 우수 사업장 1회/4년 토출압력 시험 (2003.8 개정),
 - 표준압력계 → 국가교정기관으로부터 교정을 받은 압력계 (2010.7 개정)
- 안전규칙 제88조 삭제 → 제288조 개정 (2011.3 개정)
 - 제4편(폭발, 화재 및 위험물 누출에 의한 위험방지), 제4장(화학설비 등)의 요구사항으로 통합
- 안전규칙 → 안전보건규칙 통합
 - 제288조 → 제261조



PSV 관련 국내 법령 (3)

산업안전보건법률에 따른 PSV 검사 요구사항 연혁

- 안전보건규칙 제261조(안전밸브 등의 설치)
 - 설치 근거 (제1항)
 - 압력용기, 정변위 압축기, 정변위 펌프, 배관(TSV), 기타 화학 설비 및 부속설비로 MAWP 초과 우려가 있는 곳.
 - 검사 (제4항)
 - 1회/년 이상 검사
 - 파열판이 전단에 설치된 경우 (1회/2년 이상)
 - PSM 이행상태평가 우수 사업장 1회/4년 이상



PSV 관련 국내 법령 (4)

산업안전보건법률에 따른 PSV 검사 요구사항 연혁

- 안전보건규칙 제116조(보일러)
 - 작동상태 점검 요구(제3항)
 - 매일 작동상태 점검(1990.7 제정) → 1997.1 삭제
 - 검사 요구 (제2항)
 - 1회/년 이상 검사 (1990. 7 제정)
 - 연장 가능: PSM 우수사업장 1회/4년 이상 (2003.8 개정)
 - 안전규칙 제81조 → 안전보건규칙 제116조



PSV 관련 국내 법령 (5)

고압가스 안전관리 법률

- 법 제4조(고압가스의 제조허가 등)
 - 시설기준과 기술기준: 시행규칙 제8조(별표4) → 안전밸브 설치
- 법 제13조(시설/용기의 안전유지)
 - 기술기준(점검기준) 준수: 시행규칙 제8조(별표4) → **안전밸브 주기적 검사: 매2년/매년 검사 (고압가스특정제조자는 4년 혹은 압력용기 내부 재검사주기의 범위에서 연장)**
 - 고압가스 제조시설의 안전유지: 시행규칙 제23조(별표18) → 용기의 안전점검
- 법 제16조의2(정기검사 및 수시검사)
 - 고압가스제조시설의 검사: 시행규칙 제30조(정기검사), 제31조(수시검사) → 시행규칙 별표4: 특정제조의 검사기준



설비(압력용기 등)의 검사

- 산업안전보건법 제36조(안전검사)
 - 3년 이내 최초검사 실시
 - 매2년마다 안전검사 실시 (PSM 보고서 확인을 받은 압력용기: 매4년)
- 고압가스안전관리법 제17조(용기 등의 검사)
 - 시행규칙 제39조(용기 등의 검사) 별표22
 - 특정설비(안전밸브): 검사 후 2년을 경과하여 안전밸브가 설치된 저장탱크 또는 차량의 재검사 시
 - 특정설비(압력용기): 4년마다 (최대 4년까지 추가 연장 가능)
- 에너지이용합리화법 제39조(검사대상기기의 검사)
 - 열사용기자재 관리규칙 제33조(검사의 유효기간)
 - 보일러(1년), 압력용기(2년, PSM/SMS 대상사업장은 4년) → 최대 8년의 범위에서 연장 가능



PSV 관련 해외 법령 (1)

영국: PSV 설치 및 검사

- 고정 압력용기 및 압력시스템 관련 법률
 - Pressure Systems Safety Regulations 2000
 - 압력시스템 실패 시 내부의 에너지가 방출되면서 발생할 수 있는 재해 예방이 목적.
 - 설계, 건설, 설치, 운전, 검사, 유지, 기록 등의 요구사항 제시
 - Pressure Equipment Regulations 1999
 - 0.5 bar(G)를 초과하는 설비의 설계, 제작, 설치 시 고려사항
 - Safety accessories 설치 포함
 - 설비의 안전한 취급과 운전을 보장할 수 있는 대책 마련
 - 적합성평가(Conformity assessment) 실시 및 CE Marking



PSV 관련 해외 법령 (2)

영국: PSV 검사 주기 (1)

- 압력시스템의 검사
 - 제8조(Written scheme of examination, 검사절차서)
 - 모든 방호장치와 설비는 정기검사 실시
 - 검사대상, 검사항목, 준비사항, 검사주기, 절차서의 작성자 등을 명시하고 이를 준수하여야 함.
 - 검사주기는 자격을 갖춘 사람이 정하며, 사용조건 등에 따라 결정
- Safety report(COMAH Regulations)를 작성할 때에도 위 법률에서 요구하는 절차서에 따르도록 요구



PSV 관련 해외 법령 (3)

영국: PSV 검사 주기 (2)

- 검사주기 결정 시 고려사항 (영향인자)
 - 검사이력, 안전관련 기록
 - 설비의 현황 (내/외부 부식이나 침식 등), 예측되는 설비의 상태
 - 기술감독, 운전, 유지 및 검사에 관한 자체 표준
 - 운전 중 모니터링의 적용 가능성 등
 - Guidance of PSSR
 - Steam plant(14 개월), Steam receiver(26~38개월), Air receiver(24~48개월)
 - 유지보수절차서의 수준이 높고 부식이 최소한일 경우에는 72개월(6년)까지 검사주기 연장 가능
- ※ Guidance of Regulations는 법적 효력을 갖는 것은 아님.



PSV 관련 해외 법령 (4)

일본: PSV 설치 및 검사

- 노동안전위생법령
 - 법 제45조 및 위생규칙 제276조 (정기자주검사)
 - 주기: 매2년마다 실시
 - 검사항목: 안전밸브 외 6개 항목
 - PSV 기능검사 및 육안검사는 자주검사 중 일부로 포함
 - 자체검사 주기(매2년)는 화학설비의 정기정비 시 자체검사를 실시할 수 있도록 고려한 것으로 보임.



PSV 관련 해외 법령 (5)

미국: PSV 설치 및 검사

- OSHA Directive(CPL-03-00-010)
 - Petroleum Refinery Process Safety Management National Emphasis Program
 - MI(Mechanical Integrity) Program 구축 요구
 - RAGAGEP에 따라, 검사이력을 참조하여 inspection(pop test) 주기를 결정하도록 요구
 - RAGAGEP (Recognized and generally accepted good engineering practice)
 - Relief device inspection에 관련된 RAGAGEP의 예
→ API 510(Section 6.6), API 576(Section 6), CCPS(Table 9-15), etc.



기술적 타당성 검토 (1)

영국 HSE (1)

- HSE Offshore division
 - Mechanical systems : Topic strategy 2008-2011
 - 압력설비 검사 시 API 510, 570, 572, 574 등 참조
 - 안전밸브의 검사주기는 RBI 방법론을 통해 연장가능 (API 581 참조)
 - 안전밸브 검사 가이드선으로 API 576 참조



기술적 타당성 검토 (2)

영국 HSE (2)

- CRR 363/2001
 - 개요
 - RBI를 이용한 설비관리의 실행지침 제시, PSSR 및 COMAHR 적용대상 설비의 검사에 관련됨.
 - SAFed, CEOC, Institute of petroleum 등의 검사주기에 관련된 보고서를 모두 review한 후 작성
 - 검사 구분
 - 최초검사 (Initial): 새로운 설비 설치 후 운전 전에 실시, 설비공급자의 적합성 평가 결과를 통해 결정
 - 1차 검사(First): 최대 2년 이내에 실시(권고), 향후 검사주거나 유지보수계획에 반영
 - 검사주기는 RBI, 위험성평가, 1차 검사결과를 토대로 결정할 것.



기술적 타당성 검토 (3)

API RP 576, 2000

- Inspection of pressure-relieving devices
 - PSV 검사시기
 - 설비의 정기보수(Scheduled shutdown) 기간 중 검사가 바람직함.
 - 운전 중 설정압력에서 PSV가 열리지 않았거나 개방 후 다시 정상적으로 닫히지 않았다면 즉시 검사 실시함.
 - 검사주기의 조정 (보통보다 단축하는 것이 바람직한 경우)
 - 부식, 파울링(Fouling) 등이 발생될 우려가 있는 곳
 - 진동이 생기는 경우
 - 설정압력과 운전압력차이가 적은 경우
 - 밸브의 누출이나 성능악화를 초래할 우려가 있는 경우 등



기술적 타당성 검토 (4)

API RP 510, 2003

- Pressure vessel inspection code: Maintenance inspection, rating, repair, and alteration,
 - 적용범위: 정유 및 석유화학산업에서 사용되는 압력용기의 유지보수, 검사 등
 - 구성: 검사방법, 부식율 결정, RBI 등
 - PSV 검사주기 권고사항
 - 사용조건 및 주변환경의 영향 고려
 - 부식성이 없고 파울링이 발생하지 않는 조건 → 10년
 - 그렇지 않은 경우 → 최대 5년
 - 검사주기가 결정되었다고 할지라도 이전 검사에서 파울링이나 막힘현상을 발견하였다면 검사주기를 단축하여야 함.



기술적 타당성 검토(5)

기타

- Julia V. Bukowski & William M. Globe
 - Analysis of pressure relief valve proof test data, Process Safety Progress (Vol. 28, No. 1), 2009
 - PSV Proof test 결과를 토대로 최적 검사주기 제안
 - 약 9,300건의 test 결과 분석
 - 5.2년 이전에 고장발생 가능성은 $2.2 \sim 6.1 \times 10^{-8}/\text{hr}$
 - $10^{-7} \sim 10^{-8}/\text{hr}$ 의 고장율을 유지하는 조건으로 PSV의 검사 주기를 4~5년으로 제안



국내 PSV 운용 현황 (1)

PSV 설치현황

- PSV 검사를 위해 설비의 가동을 중지하여야 하는 경우
 - PSV 단독설치 (매년) 및 PSV-RD 직렬설치(매2년)
 - 전체 PSV 설치개소 중 약 60% 이상 차지
- 설비의 가동중지 없이 PSV 검사가 가능한 경우
 - 안전보건규칙 제266조 제2호(PCV와 병렬 설치) 및 제3호(PSV 병렬설치)
 - 전체 PSV 설치개소 중 약 40% 차지
- 배관의 열팽창밸브 및 펌프/압축기 후단의 PSV는 제외
 - 펌프 및 압축기는 대부분 S/B 설비 설치
 - 안전보건규칙 제266조 제4호에 따라 차단밸브 설치 가능 → 설비의 가동 중지 없이 PSV 검사 가능

국내 PSV 운용 현황 (2)

PSV 검사현황: 검사관련 작업 흐름

공정 가동중지

- 설비 운전조건 조정(상온/상압)
- 설비 내용물 배출/이송/저장
- 설비 Purge
- 설비 개방조건 확인

PSV 검사

- PSV 취부, 이송
- Popping test
- 수리(해제 및 조립)
- Setting pressure test
- 이송, 재설치

공정 재가동

- 가동전 점검
- 운전조건 안정화



국내 PSV 운용 현황 (3)

PSV 검사 현황

- PSV 검사 및 작동시험
 - 정기검사: 공정 S/D 기간에 실시
 - 검사물량이 많으므로, 협력업체(검사업체)에게 위탁
 - 수시검사
 - 자체 검사팀에서 실시하거나, 협력업체에게 위탁
- PSV 검사주기
 - 공정 S/D 기간에 맞추어 실시 : 약 3~4년에 1회
- PSV 검사 시 불합격 현황
 - 약 22,000건의 test 이력 중 불합격 4건
 - 약 3,800건의 test 이력 중 불합격 13건 → 폴리머 제조설비



참고: 해외 PSV Test 결과

- PSV 검사 시 불합격 현황

- 문헌조사 결과

구분	A	B	C
PSV 검사건수	3,373	853	52
불합격 건수	30	12	2
불합격률	1.13%	1.4%	3.8%
비고(검사주기)	2~4년	< 6년	> 6년

- 불합격: 설정압력에서 PSV가 개방되지 않은 경우



국내 PSV 운영 현황 (4)

- PSV 유지보수
 - 검사방법
 - 검사전문업체(협력업체) 위탁, 사업장 자체 검사
 - 검사비용
 - 직접비용: PSV 취부, 이송, 검사, 수리, 재설치 등
 - 약 1,151,000,000원 (2개 회사)
 - 손실비용: 설비가동 중지에 따른 기회손실비용
 - 약 59,400,000,000원 (2개 회사)



PSV 검사주기 제안 - 1안 (1)

PSV 검사절차서 및 최소 검사주기 도입(1안)

- PSV 검사주기: **매2년**
 - 현행 다른 법률의 최소 유효기간(4년)에 비해 차이가 큼
 - 검사주기가 법적으로 명시된 일본의 경우, 매2년
- **일정 조건을 만족하는 경우 검사주기 연장**
- PSV 검사는 PSV가 설치된 설비의 정기보수기간에 실시하
되, PSV 검사 유효기간을 초과하지 않는 해당년도 이전에
실시
 - 2000년 1월 검사 → 2002년 1월에 검사하여야 하나, 2002년 5
월에 정기보수기간이라면 5월에 실시하여도 좋다는 의미



PSV 검사주기 제안 - 1안 (2)

PSV 검사절차서 및 최소 검사주기 도입(1안)

연장조건

- 슬러지나 폴리머 등으로 인해 PSV의 개폐에 영향을 주지 않는 설비에 설치된 경우는 2년 연장 (최대 매4년)
- PSM 등급 우수사업장의 경우 4년 연장 (최대 매6년)
- PSV 검사절차서 작성, 공인기관의 심사를 받고, 그 내용을 준수하는 경우 2~4년 연장 (매4년 ~ 최대 매6년)
 - 검사절차서의 수준에 따라 2~4년 연장 기한을 결정



PSV 검사주기 제안 - 1안 (3)

PSV 검사절차서 및 최소 검사주기 도입(1안)

기대효과

- PSV 설치 설비의 검사주기에 따라 PSV 검사 → 검사의 효율성 증대
- PSV 신뢰성 및 관리수준에 따라 검사주기 연장 → 경제적 효과 및 사업장의 설비관리 용이
- PSV를 기술적으로 관리할 능력이 떨어지는 사업장, 특히 중소기업 사업장의 경우 최소 검사주기에 따라 검사 실시, 범규준수 풍토 조성



PSV 검사주기 제안 - 1안 (4)

PSV 검사절차서 및 최소 검사주기 도입(1안)

해결하여야 할 과제

- PSV 검사기준 및 관리기준을 사업장에 제공하여야 함.
- PSV 검사기준 및 PSV 검사 절차서의 적합성을 심사할 심사기관과 심사기준이 수립되어야 함.
- PSV 검사절차서의 수준을 평가(등급관리)할 기준을 마련하여야 함.



PSV 검사주기 제안 - 2안 (1)

PSV 검사절차서 및 최대 검사주기 도입(2안)

- PSV 검사주기는 **자율적으로 결정하되 설비별 사용조건 등을 감안하여 최대 4년 또는 최대 6년**을 초과하지 않도록 함.
 - 설비의 신뢰도 및 유지보수관리 수준의 증가로 overhaul 주기는 증가하는 추세(4~5년)
 - 영국: 유지보수 절차서의 수준이 높고 부식이 최소한인 경우 72개월 권고
 - API: 부식이나 fouling이 없는 경우 10년 권고
 - 국내 다른 법률의 최대 유효기간은 8년
 - 1안의 최대 연장기한은 6년
- PSV 검사절차서 작성, 심사 및 내용의 준수



PSV 검사주기 제안 - 2안 (2)

PSV 검사절차서 및 최대 검사주기 도입(2안)

기대효과

- PSV 설치 설비의 검사주기에 따라 PSV 검사 → 검사의 효율성 증대
- PSV 신뢰성 및 관리수준에 따라 검사주기 연장 → 경제적 효과 및 사업장의 설비관리 용이
- PSV 검사절차서의 준수여부 평가는 현행 PSM 이행상태평가에 포함 → 감독 용이



PSV 검사주기 제안 - 2안 (3)

PSV 검사절차서 및 최대 검사주기 도입(2안)

해결하여야 할 과제

- PSV 검사절차서 작성 및 심사에 관한 법적 요구사항 신설 필요
- PSV 검사절차서 작성이 어려운 중소기업에게 부담
- PSV 검사절차서를 심사할 심사기관과 심사기준이 수립되어야 함.
- PSV 검사절차서의 수준을 평가(등급관리)할 기준을 마련하여야 함.
- 최대검사주기로만 연장하려고 하는 경우 PSV의 성능 유지에 어려움 발생.



기타 고려사항

- PSV 검사주기 연장과 PSM 등급 결과의 연계
 - PSM 우수사업장(P등급)은 설비의 유지보수 관리시스템이 우수하다는 것을 의미하므로, PSV 검사주기 연장이 타당성을 가지나,
 - 우수사업장에서 사고 발생 시, PSV 관리상태 및 신뢰도와 무관하게 등급이 하향 판정되어 검사주기도 단축됨
 - 사고가 발생하더라도 PSV와 연관된 사고가 아닌 경우에는 PSV 검사주기를 원래의 평가결과 등급에 따라 인정하여야



Q & A

