

연구보고서

장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 방안

김동준·유병태·송동우·남민서

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 방안”
의 최종 보고서로 제출합니다.

2024년 10월

연구진

연구기관 : **경일대학교 산학협력단**

연구책임자 : 김동준 (교수, 경일대학교)

공동연구원 : 유병태 (교수, 한국교통대학교)

공동연구원 : 송동우 (교수, 한라대학교)

보조원 : 남민서 (석사과정, 한국교통대학교)

요약문

- 연구기간 2024년 05월 ~ 2024년 10월
- 핵심 단어 화학설비, 안전성, 노후화, 설비관리
- 연구과제명 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 방안

1. 연구배경

- (필요성) 장기간 사용 화학설비의 노후화에 따른 사고를 방지하기 위한 합리적인 안전관리 방안이 필요함
 - 우리나라 석유화학산업은 1970년대부터 본격적으로 성장하여, 주요 화학산업단지는 1980년대부터 조성되었음
 - 이에 따라 산업현장에는 장기간 사용하고 있는 화학 설비가 증가하고 있어 설비 재료의 열화, 부식, 마모 및 피로 등과 같은 노후화 현상이 진행되고 있음
- (목적) 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위해, 노후화 설비에서 발생 가능한 사고를 미연에 방지하기 위하여 사업장 안전관리에 도움이 되는 설비 유지관리 방안을 제시

- (목표) 장기간 사용 화학설비의 유지관리에 도움이 될 수 있도록 다음과 같은 두 가지 세부 목표를 설정하였음
 - 국내 장기간 사용 화학설비 관리 실태조사와 국내외 유지관리 제도를 파악하여 설비 유지관리 관련 지침 및 제도의 개선안을 제시
 - 문헌조사와 사고사례를 통한 위험요소를 도출하여 장기간 사용 화학설비의 점검 시 위험요소 발굴을 위한 체크리스트(안) 제시

2. 주요 연구내용

1) 선행 연구

- 장기간 사용 설비에서의 노후화란 「설비의 사용기간을 말하는 것이 아니고, 그 설비를 사용한 기간 동안 재질의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의하여 손상을 입은 상태」를 의미하고 있음
- 장기간 사용 화학설비의 노후화에 의한 사고가 증가하고 있으며, 그에 따른 대책으로는 설비 유지관리 시 위험도기반검사(RBI) 기법에 의해 위험요소를 도출하여 우선순위를 정하여 설비 수리 및 교환하는 합리적인 관리가 필요함
- 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위해서는 관리적·기술적·인적 측면을 포함하는 종합적인 대책이 필요함

2) 국내외 장기간 사용 화학설비 관리제도

(1) 국내 제도

- 산업안전보건법에서는 장기간 사용 화학설비에 대한 안전성 확보 대책으로 공정안전관리(PSM)에 설비 유지 관리 대책이 있으며, KOSHA Guide에서는 설비 손상 메커니즘 및 설비관리방안을 제시하고 있음
- 화학물질관리법에는 장기간 사용 설비 및 노후 설비에 대해서 정기 검사를 통한 사후관리대책을 실시하고 있음
- 고압가스안전관리법에서 15년 이상 사용한 설비를 노후 설비로 정의하고 정밀안전검진을 실시하고 있음. 또한 위험도기반검사(RBI) 기법에 의해 효율적인 설비 관리를 실시하고 있음

(2) 국외 제도

- 일본, 미국 및 영국의 제도를 조사한 결과, 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보는 규제보다는 사업장 설비 관리를 지원하는 시스템을 구축하고 있음
- 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위해 위험도기반점검(RBI) 기법과 같은 위험성평가를 통해 위험요소를 파악하고 있으며, 위험요소로 인해 발생 가능한 사고를 방지하기 위한 대책으로 설비 유지관리에 활용할 수 있는 체크리스트를 제시하고 있음

3) 국내외 사고사례 분석

- 국내 사고사례를 조사한 결과, 최근 5년간 장기간 사용 설비에서 사고가 전반적으로 증가하는 추세를 보이고 있음
- 일본 사고사례를 조사한 결과, 화학 산업에서 장기간 사용 설비에 의한 화재, 폭발, 누출과 같은 사고가 최근 8년간 약 2배의 증가율을 나타내고 있음
- 영국 사례에서는 누출 사고가 발생한 설비를 조사한 결과 약 30%가 20년 이상 경과된 장기간 사용 화학설비에서 발생하고 있었음

4) 국내 장기간 사용 화학설비 관리 실태 파악

설비 관리자를 대상으로 장기간 사용 화학설비의 관리 실태를 파악하기 위해 설문조사를 실시한 결과,

- 대다수 사업장에서 인화성 액체와 부식성 물질 등을 취급하는 장기간 사용설비를 보유하고 있어 화재, 폭발, 누출과 같은 사고 발생 가능성이 잠재되어 있음이 확인됨
- 대다수 사업장에서 지속적인 행정적 및 기술적 정부 지원 사업을 희망하고 있으며 추후 정부지원 사업이 있을 경우에 모든 사업장에서 참여 의사를 밝히고 있음

5) 장기간 사용 화학설비 안전성 확보 방안 제시

본 연구결과를 종합적으로 분석하여 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 방안을 위한 제언으로 다음과 같이 제시하였다.

- ‘산업안전보건법 시행규칙’에서 20년 이상 경과된 화학설비를 한국산업안전보건공단에 의해 확인을 실시함
- ‘중대산업사고 예방센터 운영 규정’에서 기술지원 대상에 장기간 사용 화학설비 보유 사업장을 포함함
- ‘공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정’의 세부평가항목에 장기간 사용 화학설비에 대한 예방정비 항목을 추가함
- ‘유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침’에서 20년 이상 경과한 화학설비는 중요도 등급을 A등급으로 분류함
- 장기간 사용 화학설비 안전관리를 위한 체크리스트(안)을 제시

3. 연구 활용방안

- 장기간 사용 화학설비의 노후화에 따른 사고를 방지하기 위해서 근원적인 대책으로 설비 유지관리 방안으로 제시한 체크리스트를 통해 사업장 자율안전관리에 도움이 될 수 있음
- 장기간 사용 화학설비를 보유한 사업장에 대한 행정적 지원 방안을 제시함으로써, 인적·기술적 부족에 어려움을 호소하는 사업장에 대해 설비 안전관리 수준 향상에 도움이 될 수 있음
- 이상의 방안들이 장기간 사용 화학설비에 잠재되어 있는 위험요소를 통제함으로써, 국내 화학설비 보유 사업장의 효율적인 안전관리에 도움이 될 수 있음

4. 연락처

- 연구책임자 : 경일대학교 소방방재학과 교수 김동준
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 산업안전연구실 차장 이한희
 - ☎ 042) 869-0337
 - E-mail : hhlee@kosha.or.kr



목 차

I. 서론	3
1. 연구 배경 및 목적	3
2. 연구 내용 및 방법	6
II. 장기간 사용 화학설비 관리제도 분석	11
1. 장기간 사용 화학설비 관련 선행 연구	11
2. 장기간 사용 화학설비 관련 국내외 제도 분석	15
3. 장기간 사용 화학설비 관련 국내외 사고사례	33
4. 국내 장기간 사용 화학설비 관리 실태 파악	43
5. 소론	52

Ⅲ. 장기간 사용 화학설비 안전성 확보 방안	57
1. 행정적 지원 방안	58
2. 사업장 지원 방안	63
Ⅳ. 결론	69
참고문헌	72
Abstract	75
부록	81
부록 1. KOSHA Guide 분석 결과	81
부록 2. 일본 장기간 사용 설비 대책 체크리스트	84
부록 3. CCPS 문헌 목차와 주요 내용	89

부록 4. CCPS 체크리스트 예시	92
부록 5. 설문 조사	94
부록 6. 전문가 심층 의견 청취	123
부록 7. 장기간 사용 화학설비 안전관리를 위한 체크리스트(안)	127



표 목차

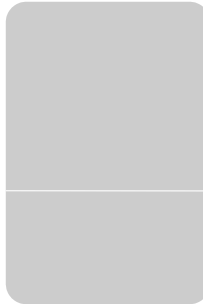
〈표 II-1〉 노후화의 정의	12
〈표 II-2〉 산업안전보건법상 화학설비 안전관리 관련 조항	16
〈표 II-3〉 화학설비 안전성확보 관련 지침	17
〈표 II-4〉 화학물질안전관리법상의 설비 안전관리 관련 조항	21
〈표 II-5〉 안전진단 세부 내용	22
〈표 II-6〉 고압가스안전관리법상의 장기간 사용 설비 관련 조항	23
〈표 II-7〉 세부검사항목	24
〈표 II-8〉 용기의 재검사기간	25
〈표 II-9〉 4M+Ageing에 의한 위험요소 도출 결과	27
〈표 II-10〉 후생노동성의 장기간 사용 설비관련 체크리스트의 대표사례	28
〈표 II-11〉 CCPS의 장기간 사용 설비 관련 체크리스트의 대표사례	31
〈표 II-12〉 부식, 변형 등 설비 손상에 의한 사고발생 현황	35
〈표 II-13〉 장기간 사용 화학설비 관련 산업재해 사례	38
〈표 II-14〉 연도별 노후화 사고 현황	40
〈표 II-15〉 사고사례 분석 결과	41
〈표 II-16〉 사용연수별 사고 건수	42
〈표 II-17〉 사업장에 대한 지원 정부 지원사업 내용	48
〈표 II-18〉 전문가 심층 의견 청취 요약	51
〈표 III-1〉 산업안전보건법 시행규칙의 개정안	58
〈표 III-2〉 중대산업사고 예방센터 운영 규정의 개정안	59

〈표 Ⅲ-3〉 공정안전관리 사업장 설립 후 경과 연도	60
〈표 Ⅲ-4〉 화학설비 건전성 안전관리 기술지원 세부내용	61
〈표 Ⅲ-5〉 별표 4의 유지관리 관련 세부평가항목 개정안	62
〈표 Ⅲ-6〉 용어의 정의 개정안	64
〈표 Ⅲ-7〉 기기 그룹별 중요도 등급화 개정안	64
〈표 Ⅲ-8〉 장기간 사용 화학설비의 안전관리를 위한 체크리스트(안) 일부 예 ...	65



그림목차

[그림 Ⅰ-1] 시간 경과에 따른 고장률 변화	4
[그림 Ⅱ-1] 4M+Ageing에 의한 위험요소 도출	27
[그림 Ⅱ-2] 설비의 시간 경과에 따른 주요 관리 사항	30
[그림 Ⅱ-3] PSM 대상 사업장 연도별 장기간 사용설비에서의 사고 건수 ..	34
[그림 Ⅱ-4] 연도별 고압가스(화학설비) 사고통계	39
[그림 Ⅱ-5] 사업장 규모	44
[그림 Ⅱ-6] 위험물질 취급 현황	45
[그림 Ⅱ-7] 주요설비 사용 연수	46
[그림 Ⅱ-8] 정부 지원사업 경험 및 희망 여부	47
[그림 Ⅱ-9] 보전활동 현황	49
[그림 Ⅱ-10] 장시간 사용 설비의 손상 경험 여부와 설비 안전성	50

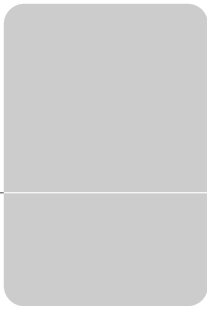


약어설명

CBM	Condition Based Maintenance
CCPS	Center for Chemical Process Safety
HSE	Health and Safety Executive
IoT	Internet of Things
KTA	Der Kerntechnische Ausschuss,
KHK	일본 고압가스보안협회
KHKS	일본 고압가스에 관한 기술기준
PSM	Process Safety Management
P&ID	Piping & Instrumentation Drawing
RBI	Risk Based Inspection
TBM	Time Based Maintenance
4M	Machine, Man, Management, Material

I. 서론





I. 서론

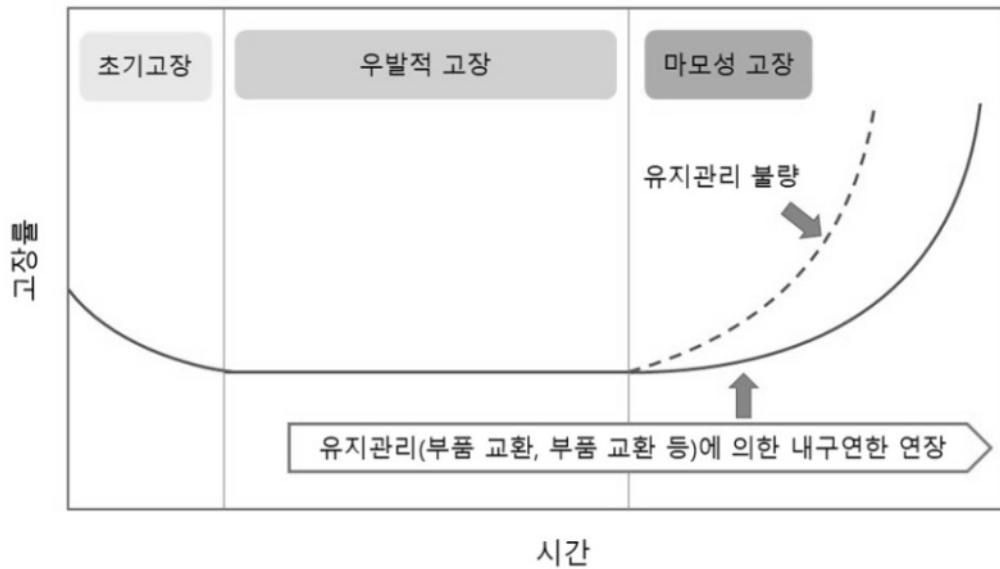
1. 연구 배경 및 목적

가연성 및 독성을 가진 화학물질을 취급하는 설비를 보유한 사업장(이하 화학사업장)은 대부분 복잡한 공정 및 다양한 설비로 구성된 장치산업이다. 이런 산업현장에서 사고가 발생할 경우 가연성 물질에 의한 화재·폭발 및 유해 물질의 중독에 의해 중대산업사고로 이어질 가능성이 높다. 화학사업장의 설비들은 대부분 고온·고압의 가혹한 환경에서 운전되고 있어, 항상 잠재적으로 누출의 가능성을 내포하고 있다. 이러한 잠재적 누출의 가능성을 사전에 차단하기 위해 각 사업장은 높은 수준의 안전관리를 유지하고 있어야 한다.

우리나라 중화학공업은 1970년대부터 정부 주도 산업육성에 따라 본격적인 산업화가 시작되어 지금도 지속적인 성장을 이루고 있다. 또한 1980년대부터 대규모 화학산업단지가 조성되어 현재 40년이 경과하고 있다. 화학사업장에는 20년 또는 30년 이상 장기간 사용하고 있는 화학설비가 지금도 가동되고 있으며, 시간 경과에 따라 더욱 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 사회적으로 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위한 대책 마련이 요구되고 있다.

한편 신뢰성 공학에 의하면 설비의 장기간 사용은 고장률의 증가를 의미한다. 시간 경과에 따른 설비 고장률을 [그림 I-1]에 나타낸다. 시간 경과에 따른 설비의 고장률은 흔히 욕조곡선(Bathtub curve)으로 나타나는 고장률의 증감곡선을 가진다. 설비에 대한 시간 경과에 따른 고장률은 초기 고장(Early Failure)¹⁾, 우발 고장(Random Failure)²⁾, 마모 고장(Were-out Failure)³⁾으로 나눌 수 있다.

- 1) 기계/장치의 사용 개시 직후에 발생하는 제조 및 설치상의 결함에 의해 발생하는 고장
- 2) 제조결함에 의한 고장이 감소한 후 경미한 결함에 의해 우연하게 발생하는 고장
- 3) 일정 시간 경과 후 구성요소의 열화 등에 의해 발생하는 고장



[그림 1-1] 시간경과에 따른 고장률 변화

설비의 초기는 시간 경과에 따라 고장률이 감소한 후 일정한 고장률을 가진다. 설비 수명이 다가오게 되면 급격히 고장률이 증가함을 알 수 있다. 설비의 고장률 증가는 생산성 감소, 품질 저하, 위험성 증가를 초래함에 따라 장기간 사용 화학설비의 유지관리는 매우 중요하다. 높은 수준의 유지관리에 의해 설비 수명을 증가시키는 것이 가능하다.

화학설비 보유 사업장의 장기간 사용한 설비의 경우에는 설비 재료의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의한 설비의 능력 저하 및 손상이 발생하게 된다. 설비 손상은 화재·폭발·누출과 같은 사고 발생으로 이어지며 결국은 근로자 재해로 이어질 가능성이 높아진다.

장기간 사용 화학설비의 안전성을 확보하기 위해서는 설비 재료의 특성, 사용물질의 특성, 사용 환경 등을 고려하여, 설비의 능력 저하 및 손상의 발생 과정을 차단함으로써, 사고 발생 가능성을 미연에 방지해야 한다. 장기간 사용 화학설비의 사고 발생 가능성을 미연에 방지하기 위해서는 높은 수준의 안

전관리 기술이 확보되어야 한다. 이에 따라 장기간 사용 화학설비에 잠재되어 있는 위험요소 발굴 및 적절한 대책 수립에 관한 설비 유지관리 기술이 현장 관리자에게 요구되고 있다.

본 연구에서는 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위해서 설비 안전관리 수준을 향상시키는 방안을 제시하고자 한다.

먼저 화학설비 노후화에 따른 화학사고 사례분석과 장기간 사용 화학설비 관리 실태를 파악하기 위한 설문조사 등을 통해 화학설비 보유 사업장의 관리자가 효율적으로 위험요소를 발굴할 수 있는 유지관리 기술력 향상 방안을 제시하고자 한다. 또한 문헌조사(선행 연구, 관련 법·규정·지침 등)와 장기간 사용 화학설비 유지관리에 관한 국내외 제도 조사를 통해 제도적 지원 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

1) 선행 연구 조사

- 국내외 선행 연구 및 보고서 등 문헌조사를 실시하여, 장기간 사용 화학설비 관련 최근 연구 현황 및 선행 연구 결과를 조사하였음
- 국내외 관련 문헌 검토를 통해 장기간 사용 화학설비의 손상 메커니즘, 위험요소 도출, 설비관리 및 안전대책 등을 파악하여 안전성 확보 방안 제시에 유의미한 시사점을 도출하였음

2) 국내외 제도 분석

- 국내의 산업안전보건법, 화학물질안전관리법, 고압가스안전관리법상의 장기간 사용 화학설비에 대한 안전관리 제도를 조사하였음
- 일본, 미국, 영국 등 선진 외국에서 실시하고 있는 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위한 제도를 문헌과 인터넷을 통하여 조사하였음

3) 국내외 사고 사례 조사

- 국내 사고사례 조사를 위해 한국산업안전보건공단의 자료를 활용하여 PSM 제출 대상 사업장에서 발생한 부식, 균열 등 설비 손상에 의한 화학설비 사고 및 산업재해를 조사하였으며, 국외 사고사례는 연구보고서 및 공공기관 홈페이지 등을 활용하여 조사를 실시하였음

4) 국내 장기간 사용 화학설비 관리 실태 파악

- 국내 화학설비 보유 사업장에서의 장기간 사용 화학설비 관리 실태를 파악하기 위해 설문조사를 실시하였음
- 설문조사는 장기간 사용 화학설비를 보유한 사업장으로, 과거 연도 「화학설비 건전성 안전관리 사업」에 참여한 사업장을 대상으로 실시하였음
- 설문내용은 설비관리 실태 파악, 위험요소 발굴 및 장기간 사용 화학설비를 관리하는 데 있어 애로사항에 대해서 총 13개 항목으로 구성하였음
- 국내외 관련 전문가에 대한 심층 의견 청취를 진행하였음

5) 장기간 사용 화학설비 안전성 확보 방안 제시

- ‘산업안전보건법 시행규칙’에서 공정안전보고서를 제출하여 심사 및 확인의 과정에서 20년 이상 경과된 화학설비에 대해 공단에 의한 확인을 제시
- ‘중대산업사고 예방센터 운영 규정’에서 공단에 의한 기술지원 대상에 장기간 사용 화학설비 보유 사업장을 포함하는 것을 제시. 또한 구체적인 기술지도 내용도 제시함
- ‘공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정’의 세부평가항목에 장기간 사용 화학설비에 대해 예방정비를 항목을 추가함
- ‘유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침’에서 노후화를 정의하고, 20년 이상 경과한 화학설비는 중요도 등급을 A등급으로 하여 높은 수준의 안전관리를 실시하도록 유도함
- 장기간 사용 화학설비 안전관리를 위한 체크리스트(안)을 제시. 장기간 사용 화학설비 점검 시에 활용할 수 있는 체크리스트를 제안함으로써, 쉽게 효율적인 안전관리를 유도함

Ⅱ. 장기간 사용 화학설비 관리제도 분석



II. 장기간 사용 화학설비 관리제도 분석

1. 장기간 사용 화학설비 관련 선행 연구

1) 화학설비의 노후화 정의

(1) 국내 노후화 정의

장기간 사용 설비에서의 사고 발생은 장기간 사용에 따른 설비의 능력 저하 또는 설비의 손상에 의해 발생한다. 이러한 위험요소는 설비적, 관리적, 작업적, 주변 환경적 요인 등 다양한 원인에 의해 장기간 사용하는 설비에서 노후화가 진행되어 나타난다.

본 연구에서의 키워드인 ‘노후화’의 정의를 파악하기 위해 문헌조사를 실시하였다. 국내에서는 KOSHA Guide(노후설비의 관리에 관한 기술지침, P-119-2012)에 따라, ‘노후화’란 ‘설비를 장기간 사용함에 따라 발생하는 재질의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의한 손상’을 의미한다.

(2) 국외 노후화 정의

일본 후생노동성 보고서 ‘설비 경년화에 의한 노동재해리스크와 방지대책 (2022)’에 따르면 장기간 사용설비에서의 손상 발생을 의미하는 노후화를 ‘시간 경과에 따른 열화(劣化), 고장을 동반하는 현상’으로 정의하고 있었다. 열화(劣化)는 시간의 경과에 따른 재질, 성능, 수준 등이 저하하는 것을 의미한다. 일본 국어사전에 의하면, 노후화(老朽化)는 시간이 흘러 오래되어 문제가 발생하는 상황을 의미하며, 경년열화(經年劣化)는 시간의 경과에 의해 문제가 발생하는 상황을 의미하고 있다. 일본 문헌에서는 ‘설비 노후화’라는 표현보

다는 ‘설비 경년열화’라는 표현이 많았다.

독일 원자력공학위원회(Der Kerntechnische Ausschuss, KTA)의 문헌 조사(KTA 안전규정 1403 버전 2010-11)에 의하면, 노후화는 ‘원래 존재하는 속성에 대한 시간 의존적 또는 운영상의 변화가 포함된다. 여기서 변화는 손상 메커니즘으로 인해 발생함’으로 정의되어 있다. 노후화는 설비의 기능적 특성이 시간에 따른 변화를 의미하고 있었다.

영국 안전보건청(Health and Safety Executive, HSE)의 ‘Managing Ageing Plant’ (RR823, 2010) 보고서에 따르면 노후화는 ‘노후화는 설비가 얼마나 오래되었는가에 관한 것이 아닌, 설비의 상태에 관한 것이다. 시간의 경과에 따라 설비가 어떻게 변화하였는가에 관한 것이다. 노후화는 ‘부품의 성능 저하 및 손상의 형태로 설비 기능이 나빠지도록 영향을 받는 것(반드시는 아니지만 일반적으로 설비사용 시간과 관계가 있음)’으로 정의하고 있었다. 노후화의 국내외 정의를 조사한 결과를 <표 II-1>에 정리하였다.

<표 II-1> 노후화 정의

국가	출처	내용
한국	KOSHA Guide P-119-2012	“노후화”라 함은 그 설비의 사용기간을 말하는 것이 아니고, 그 설비를 사용한 기간 동안 재질의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의하여 손상을 입은 상태.
일본	후생노동성 보고서 (2024년)	시간 경과에 따른 열화, 고장을 동반하는 현상. 열화(劣化): 시간의 경과에 따른 재질, 성능, 수준 등이 저하하는 것.
독일	KTA 1403 (2010-11)	노후화에는 원래 존재하는 속성에 대한 시간 의존적 또는 운영상의 변화가 포함됨. 여기서, 변화는 손상 메커니즘으로 인해 발생함. (노후화는 기능적 특성이 시간에 따른 변화)
영국	HSE RR823 (2010)	노후화는 설비가 얼마나 오래되었는가에 관한 것이 아닌, 설비의 상태에 관한 것. 시간의 경과에 따라 부품의 성능 저하 및 손상의 형태로 설비 기능이 나빠지도록 영향을 받은 상태.

2) 국내외 장기간 사용 화학설비 관련 문헌조사

장기간 사용 화학설비의 관리를 통한 안전성 확보에 관련된 연구사례는 많지 않았다. 장기간 사용 화학설비 관련 주요 문헌은 다음과 같다.

(1) 국내 문헌조사

○ 울산 국가산업단지의 화학사고 분석 및 예방 전략 수립 (2022)

울산지역 국가산업단지에서 최근 5년간 발생한 화학사고 (43건)에 대한 동향을 분석한 결과, 사고 원인으로 시설 결함이 54%를 차지하고 있었으며 주요 사고 물질로는 황산, 염산, 과산화수소 등과 같은 부식성 물질이었다. 또한 전체 사고 중 유지보수 기간에 사고 발생 비율이 63%를 차지하고 있었다.

○ 위험성평가를 이용한 노후설비에 대한 비용 편익분석 방법 (2020)

장기간 사용 화학설비의 사고방지 대책으로 위험성기반검사(Risk Based Inspection) 방법이 권고되고 있으나 실제 적용이 잘 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 설비별 안전 투자 비용과 그에 따른 편익을 산출하고 분석함으로써 경제적인 안전 투자 대안을 제시할 수 있는 시스템을 제안하였다.

○ 화학공장 설비의 안전한 격리 표준 필요성에 대한 연구 (2023)

장기간 화학설비의 유지보수에 대한 관심이 높아지고 있다. PSM 대상 사업장에 대해 지난 10년간의 사고사례를 분석한 결과, 설비의 점검과 보수를 위한 정비작업과 같은 비일상 작업에서 발생하는 사고가 증가하고 있다. 작업 시 위험물의 안전한 격리대책에 대하여 격리 표준, 법규 및 기준 수립과 함께, 기술개발, 제도적 개선이 필요함을 제안하였다.

(2) 국외 문헌조사

○ Ageing assets at major hazard chemical sites (2022)

네덜란드에서 약 400개의 주요 유해 화학물질에 대한 현장 조사 결과, 설계수명을 초과하고 있는 설비가 많았으며 정밀점검 결과는 장기간 사용 화학설비에서의 안전관리가 미흡하여 사고가 매년 지속적으로 발생하고 있는 것으로 나타나고 있다. 특히 전체 사고 중에 장기간 사용 화학설비에 의한 사고가 차지하는 비율이 약 25%가 되고 있다.

이러한 상황임에도 불구하고 관리자가 사고 원인 및 사고 발생을 예측하는 데 어려움이 있어 다음과 같은 기술적·관리적 측면을 고려하여 대책 마련을 제안하였다.

- ① 설비의 사용 물질과 환경을 고려한 설비 성능 저하 및 손상 메커니즘을 파악하는 기술적 접근 방식
- ② 장기간 사용 화학설비의 상태를 고려한 기술적·조직적·문화적 변화와 결합된 관리적인 접근 방식

○ Ageing Assessment and Management at Major-Hazard Industries (2018)

화학설비 관리자는 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위한 방법으로 일반적으로 위험도기반검사(RBI) 기법을 사용하고 있다. 위험도기반검사는 설비의 노후화를 억제하기 위해서 지속적인 감시가 필요하다. 본 연구에서는 관리자가 설비의 노후화를 억제하기 위한 시스템을 제안한다. 본 시스템은 가상의 센서로 장기간 사용설비를 감시하기 위한 하드웨어와 소프트웨어로 구성되어 있다. 프로세스 변수, 검사 정보 및 기타 데이터에 대한 정보를 수집하여 새로운 정보를 도출한다. 도출될 정보를 가지고 성능 지표의 수치를 산출하여 설비의 노후화 상태를 예측한다. 노후화를 억제하기 위해 설비를 관리하는 감시자를 지원하는 시스템을 제안하였다.

2. 장기간 사용 화학설비 관련 국내외 제도 분석

1) 국내 제도

국내 장기간 사용 화학설비의 안전관리 제도를 조사하기 위하여 관련 국내 법령 및 관련 지침 등을 조사·분석하였다. 이를 위하여 산업안전보건법, 화학물질관리법, 고압가스안전관리법을 중심으로 장기간 사용 화학설비의 안전관리 체계를 조사하였다.

(1) 산업안전보건법

가) 법 및 시행규칙

장기간 사용 화학설비에 관련된 조항으로는 산업안전보건법 제38조에 (안전조치), 제44조(공정안전보고서의 작성·제출), 제 46조(공정안전보고서의 이행 등)가 있으며, 산업안전보건기준에 관한규칙 제256조(부식 방지), 제259조(밸브 등의 재질), 제297조(부식성 액체의 압송설비) 등에 화학설비의 안전성 확보를 위한 대책이 규정되어 있다. <표 II-2>에 산업안전보건법상 설비 안전관리 관련 조항을 나타낸다.

〈표 II-2〉 산업안전보건법상 화학설비 안전관리 관련 조항

구분	내용
<p>법 제38조 (안전조치)</p>	<p>사업주는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 위험으로 인한 산업재해를 예방하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 기계·기구, 그 밖의 설비에 의한 위험 등 2. 폭발성, 발화성 및 인화성 물질 등에 의한 위험
<p>법 제44조 (공정안전보고서의 작성·제출)</p>	<p>사업주는 사업장에 대통령령으로 정하는 유해하거나 위험한 설비가 있는 경우 그 설비로부터의 위험물질 누출, 화재 및 폭발 등으로 인하여 사업장 내의 근로자에게 즉시 피해를 주거나 사업장 인근 지역에 피해를 줄 수 있는 사고로서 대통령령으로 정하는 사고(이하 “중대산업사고”라 한다)를 예방하기 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 공정안전보고서를 작성하고 고용노동부장관에게 제출하여 심사를 받아야 한다.</p>
<p>법 제46조 (공정안전보고서의 이행 등)</p>	<p>사업주와 근로자는 제45조 제1항에 따라 심사를 받은 공정안전보고서(이 조 제3항에 따라 보완한 공정안전보고서를 포함한다)의 내용을 지켜야 한다.</p>
<p>규칙 제256조 (부식방지)</p>	<p>사업주는 화학설비 또는 그 배관(화학설비 또는 그 배관의 밸브나 콕은 제외한다) 중 위험물 또는 인화점이 섭씨 60도 이상인 물질(이하 “위험물질 등”이라 한다)이 접촉하는 부분에 대해서는 위험물질 등에 의하여 그 부분이 부식되어 폭발·화재 또는 누출되는 것을 방지하기 위하여 위험물질 등의 종류·온도·농도 등에 따라 부식이 잘 되지 않는 재료를 사용하거나 도장 등의 조치를 하여야 한다.</p>
<p>규칙 제259조 (밸브 등의 재질)</p>	<p>사업주는 화학설비 또는 그 배관의 밸브나 콕에는 개폐의 빈도, 위험물질 등의 종류·온도·농도 등에 따라 내구성이 있는 재료를 사용하여야 한다.</p>
<p>규칙 제297조 (부식성 액체의 압송설비)</p>	<p>사업주는 별표 1의 부식성 물질을 동력을 사용하여 호스로 압송하는 작업을 하는 경우에는 해당 압송에 사용하는 설비에 대하여 다음 각 호의 조치를 하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. 호스 및 그 접속용구는 매일 사용하기 전에 점검하고 손상·부식 등의 결함에 의하여 압송하는 부식성 액체가 날아 흩어지거나 새어나갈 위험이 있으면 교환할 것

나) 화학설비 관련 고시

화학설비의 안전관리에 관한 고시로는 ‘공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정(고용노동부고시 제2023-21호)’, ‘중대산업 사고 예방센터 운영 규정(고용노동부고시 제2023-1호)’이 있었다. <표 II-3>에 화학설비 안전성 확보에 관련된 고시 내용을 나타낸다.

<표 II-3> 화학설비 안전성 확보 관련 지침

구분	내용
공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정	이행상태평가 시 설비의 점검·검사·보수 계획, 유지관리에 관하여 12개 항목으로 설비 안전성 평가하도록 규정
중대산업사고 예방센터 운영 규정	지방고용노동관서, 한국산업안전보건공단 및 중대산업사고 예방센터가 화학사고를 효율적으로 예방·대비·대응·복구하기 위해 조직의 구성 및 운영, 업무 등에 관한 사항을 구체적으로 규정

이상과 같이 설비의 안전성 확보를 위해 설비 유지관리에 대한 고시는 있었으나, 장기간 사용 화학설비의 손상 특성을 고려한 안전성 확보 대책에 관한 조항은 발견되지 않았다.

다) 화학설비 관련 유지·관리 기술지침(KOSHA Guide)

장기간 사용 화학설비의 안전성 확보에 관련된 산업안전보건공단의 기술지침(KOSHA GUIDE)을 조사하였다. 설비의 손상 메커니즘 및 유지관리에 관련된 기술 지침을 9개 분석하였다[부록 1. KOSHA Guide 분석 결과]. 그중 설비관리에 관한 지침은 다음과 같다.

① 노후설비의 관리에 관한 기술지침 (P-119-2012)

본 지침은 화학물질을 취급하는 설비의 노후화로 인한 화재 등의 사고를 방지하는 데 필요한 사항을 제공함을 목적으로 하고 있다.

노후화에 의한 설비 손상 발생 메커니즘 소개 및 사고방지를 위한 설비관리 대책을 소개하고 있었다. 특히 “노후화”를 그 설비의 사용기간을 말하는 것이 아니고, 그 설비를 사용한 기간 동안 재질의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의하여 손상을 입은 상태로 정의하고 있었다.

② 유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침 (P-93-2020)

본 지침은 유해·위험설비에 대한 점검, 정비 및 유지계획에 관한 사항과 그 절차에 관하여 필요한 사항을 기술하여 설비의 안전운전을 유지하는 것을 목적으로 하고 있다.

설비를 분류하여 그룹별로 중요도를 정하여 관리하고 있으며, 중요도가 높은 그룹에 대해서는 높은 수준의 안전관리를 하도록 유도하고 있었다.

③ 위험기반검사(RBI) 기법에 의한 설비의 신뢰성 향상 기술지침
(P-15-2012)

본 지침은 유해·위험기계 등에서 설비의 안전성을 평가하고, 위험도에 근거하여 설비의 종합적인 검사계획을 수립하는 등 설비의 신뢰성 향상에 관한 기술적 사항을 제시하는데 목적을 두고 있다.

“위험기반검사(Risk Based Inspection, RBI)”란 설비의 고장 발생 가능성과 사고피해 크기의 곱에 의해 결정되는 위험도에 의해 검사의 우선순위를 결정하는 기법으로 설비의 검사 및 유지·보수 계획을 수립하는데 활용된다. 정량화된 위험도를 제공함으로써 위험도 등급이 높은 경우 검사의 주기를 짧게 하며, 반대로 위험도 등급이 낮은 경우 검사의 주기를 연장함으로써 검사와 관련된 검사 비용 절감을 도모하고 있다.

라) 장기간 사용 화학설비에 대한 행정적 지원 사업 분석
(고용노동부 장기간 사용 화학설비 사업 분석)

화학설비 보유 사업장은 생산시설을 적절한 시기에 정비·보수하지 않을 경우 설비 노후화에 의해 대형 화학사고 발생 가능성이 증가한다. 과거 고용노동부와 한국산업안전보건공단에서는 장기간 사용 화학설비 보유 사업장의 체계적인 관리를 통하여 사업장의 유해·위험성을 도출하고 개선대책을 제시함으로써 사고를 방지하고 재해를 예방하기 위한 목적으로 장기간 사용 화학설비 사업장에 대해 행정적 지원사업을 실시하였다.

한국산업안전보건공단에서는 2016년부터 장기간 사용 화학설비 보유 사업장에 대해 PSM 확인·평가·점검 등으로 사업장 방문 시에 장기간 사용 화학설비의 위험성을 인식시키고 노후화된 설비에서 발생하는 부식 등에 의한 사고방지 대책의 중요성을 안내하기 위하여 ‘노후 화학설비 기술지도 시범사업’(2016년 86개소, 2017년 58개소, 2019년 31개소)을 실시하였다. 또한 2020년부터는 본격적으로 위험도 분석 결과를 기초로 3개 대표 화학업종(화학제품제조업, 코크스 및 석탄가스제조업, 의약품제조업) 중 장기간 사용 화학설비 보유 사업장에 대해 설비 관리체계, 안전관리, 손상관리, 내진관리 분야를 중점으로 하는 기술지도를 실시(2020년 288개소, 2021년 558개소, 2022년 607개소, 2023년 582개소) 하였다.

그러나 장기간 사용 화학설비 보유 사업장의 자율안전관리 시스템 수준이 높지 않은 상황에서 관련 예산이 확보되지 않아 2024년부터 장기간 사용 화학설비 기술지도 사업은 폐지되어 추진되고 있지 않는 상황이다.

(2) 화학물질안전관리법

가) 법 및 시행규칙

〈표 II-4〉에 화학물질안전관리법상의 설비 안전관리 관련 조항을 나타낸다. 화학물질안전관리법의 제2조에 “화학사고”를 정의하고 있으며, 법 제24조에 의해 정기검사 또는 수시검사를 받아야하며, 검사 결과에서 설비의 부식과 같은 안전상의 우려가 있을 경우에는 안전진단을 실시한다. 검사 주기는 규칙 제23조에 따라 영업허가 대상에 따라 1년 혹은 2년의 정기검사 및 수시검사를 실시한다.

〈표 II-4〉 화학물질안전관리법상의 설비 안전관리 관련 조항

구분	내용
법 제2조 (정의)	“화학사고”란 시설의 규제 등 작업 시 작업자의 과실, 시설 결함·노후화, 자연재해, 운송사고 등으로 인하여 화학물질이 사람이나 환경에 유출·누출되어 발생하는 모든 상황을 말한다.
법 제24조 (취급시설의 배치·설치 및 관리기준 등)	③유해화학물질 취급시설을 설치·운영하는 자는 취급시설별로 환경부령으로 정하는 기간마다 검사기관에서 정기검사 또는 수시검사를 받아야한다. ⑤ 유해화학물질 취급시설의 설치를 마친 자 또는 유해화학물질 취급시설을 설치·운영하는 자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 제2항에 따른 검사기관에서 취급시설의 안전 상태를 입증하기 위한 안전진단을 실시하여야 한다. · 검사 결과 유해화학물질 취급시설의 구조물이나 설비가 침하(沈下)·균열·부식(腐蝕) 등으로 안전상의 위해가 우려된다고 인정되는 경우 · 유해화학물질 취급시설을 설치한 후 취급시설별로 환경부령으로 정하는 기간이 지난 경우
규칙 제23조 (취급시설의 정기·수시검사 등)	법 제24조제3항 본문에서 “환경부령으로 정하는 기간”이란 1년(법 제28조에 따른 유해화학물질 영업허가 대상이 아닌 유해화학물질 취급시설의 경우에는 2년을 말한다)을 말한다.

나) 화학설비 관련 고시

법 제24조에 의한 안전진단을 실시하는 항목 및 방법을 정하기 위해 ‘유해 화학물질 취급시설의 설치·정기·수시검사 및 안전진단의 방법 등에 관한 규정(환경부고시 제2024-32호)’이 있으며, 별표 2에는 안전진단 세부 내용을 규정하고 있다. 그중 설비관리에 관련된 조항을 <표 II-5>에 나타낸다.

<표 II-5> 안전진단 세부 내용

구분	세부 내용 (취급하는 유해화학물질에 대한 위험성 확인)
취급설비 위험성	<ul style="list-style-type: none"> • 용기 및 저장시설 등 고정기기에 대하여 두께, 경도, 내·외면 부식 상태 및 비파괴 검사 등 확인
	<ul style="list-style-type: none"> • 배관설비에 대하여 필요시 두께, 경도, 내·외면부식 상태, 보온보냉 상태, 비파괴 검사 등을 확인 • 주요 배관의 설계 및 팽창조인트, 루프, 지지(Support) 등이 적정한지 여부를 확인
	<ul style="list-style-type: none"> • 동력기계 등 회전기기의 진동 및 관리상태 확인
취급방법 위험성 (유지보수)	<ul style="list-style-type: none"> • 설비의 유지보수에 관한 지침 등 확인 설비의 유지보수에 관한 지침, 절차 수립과 점검계획 및 점검 후 이에 대한 개선조치의 이행 여부를 확인

(3) 고압가스안전관리법

가) 법 및 시행규칙

① 정밀안전점검

법 제3조(정의)와 법 제16조(정밀안전검진의 실시)에 의해 오래되어 낡은 노후시설은 4년의 범위에서 정밀안전검진을 실시해야 한다. 정밀안전검진 대상은 규칙 제33조(정밀안전검진대상)에 따라 완성검사증명서를 받은 날부터 15년이 경과한 노후시설이다. <표 II-6>에 장기간 사용 화학설비에 적용되는 정밀안전검진 관련 조항을 나타낸다.

<표 II-6> 고압가스안전관리법상의 장기간 사용 설비 관련 조항

구분	내용
법 제3조 (정의)	“정밀안전검진”이란 대형(大型) 가스사고를 방지하기 위하여 오래 되어 낡은 고압가스 제조시설의 가동을 중지한 상태에서 가스안전 관리 전문기관이 정기적으로 첨단장비와 기술을 이용하여 잠재된 위험요소와 원인을 찾아내고 그 제거방법을 제시하는 것을 말한다.
법 제16조의3 (정밀안전검진의 실시)	고압가스제조자는 고압가스제조시설로서 산업통상자원부령으로 정하는 종류와 규모에 해당되는 노후시설에 대하여 가스안전관리 전문기관으로서 대통령령으로 정하는 기관으로부터 4년의 범위에서 산업통상자원부령으로 정하는 기간마다 정밀안전검진을 정기적으로 받아야 한다.
법 제17조의2 (용기 등의 검사)	① 용기 등을 제조·수리 또는 수입한 자(외국용기 등 제조자를 포함한다)는 그 용기 등을 판매하거나 사용하기 전에 산업통상자원 부장관, 시장·군수 또는 구청장의 검사를 받아야 한다. 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.
규칙 제33조 (정밀안전검진대상)	산업통상자원부령으로 정하는 종류와 규모에 해당되는 노후시설로 완성검사증명서를 받은 날부터 15년이 경과한 시설을 말한다.

정밀안전검진의 세부검진항목은 규칙 제 35조(정밀안전검진의 절차 등)의 별표 7(고압가스 냉동제조 시설·기술·검사 및 정밀안전검진 기준)에 의해 규정되어 있다. 그 중 장기간 사용 설비관리에 관련된 항목을 <표 II-7>에 나타낸다.

<표 II-7> 세부검진항목

분야	내용
일반분야	안전장치 관리 실태, 공장안전관리 실태, 계측 및 방폭 설비 유지·관리 실태
장치분야	두께측정, 경도측정, 침탄측정, 내·외면 부식 상태, 보온·보냉상태

② 용기 재검사 기간

법 제17조(용기 등의 검사)와 규칙 제39조(용기 등의 재검사)에 규정되어 있다. 시행규칙 별표 22(용기 및 특정설비의 재검사기간)의 용기에 대한 재검사기간을 <표 II-8>에 나타낸다.

용기에 대한 검사는 용기에 대한 검사는 신규검사 후 경과연수에 따라 재검사기간에 차등을 두고 있으며, 20년 이상 설비는 매년 재검사하고 있다. 저장탱크 및 압력탱크는 5년 또는 4년마다 재검사를 하고 있다.

특히 압력용기에 대해서는 “산업통상자원부장관이 정하여 고시하는 기법에 따라 인정받는 경우 그 주기로 할 수 있다”라고 예외조항이 있다. 이에 따라 ‘고압가스안전관리 기준 통합고시(제2020-97호)’에 위험도기반검사(RBI) 심사기준을 제시하고 있으며, 위험도기반검사(RBI) 기법에 의해 압력용기에 대한 검사 및 교체시기에 대하여 우선순위를 정하고 있었다.

〈표 II-8〉 용기의 재검사기간

용기 및 특정설비의 종류		신규검사 후 경과연수		
		15년 미만	15년 이상 20년 미만	20년 이상
		재검사 주기		
용접용기 (액화석유가스 용 용접용기 제외)	500L 이상	5년마다	2년마다	1년마다
	500L 미만	3년마다	2년마다	1년마다
액화석유가스 용 용접용기	500L 이상	5년마다	2년마다	1년마다
	500L 미만	5년마다		2년마다
저장탱크	5년(재검사에 불합격되어 수리한 것은 3년, 다만, 음향방출시험에 의하여 안전성이 확인된 경우에는 5년으로 한다)마다. 다만, 검사주기가 속하는 해에 음향방출시험 등의 신뢰성이 있다고 인정하는 방법에 의하여 안전성이 확인된 경우에는 검사주기를 2년간 연장할 수 있다.			
압력용기	4년 마다. 다만, 산업통상자원부장관이 정하여 고시하는 기법에 따라 산정하여 그 적합성을 인정받는 경우 그 주기로 할 수 있다.			

2) 국외 제도

일본, 미국 및 영국의 장기간 사용 설비에 대한 안전성 확보 방안에 대하여 조사하였다. 법에 의한 직접적인 규제보다는 사업장 설비관리를 지원하는 시스템을 구축하고 있었다.

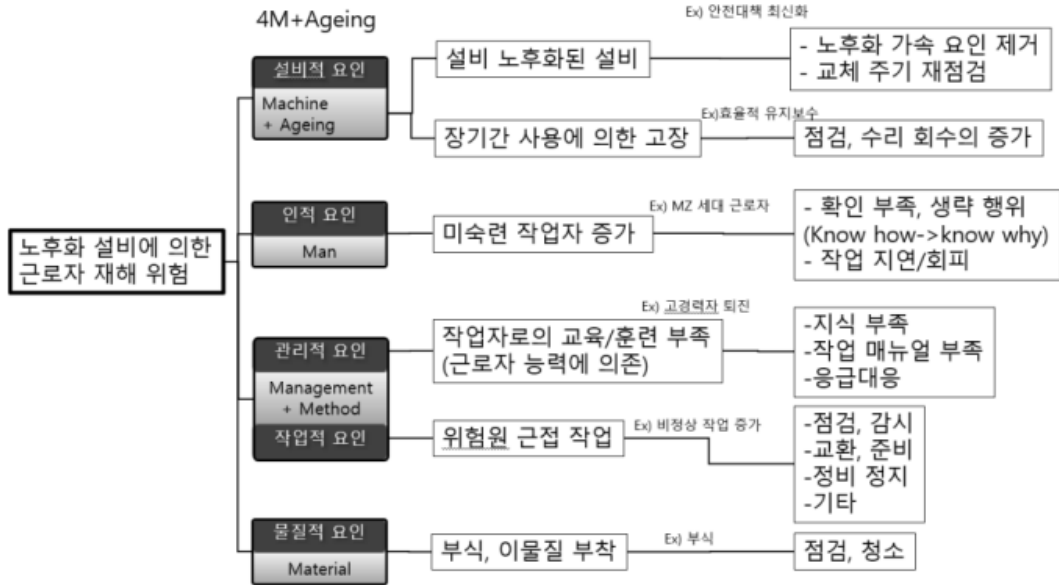
(1) 일본제도 - 후생노동성의 장기간 사용 설비 가이드라인 마련

일본에서는 근로자 재해를 방지하기 위한 노동안전위생법(労働安全衛生法)과 화학설비의 사고방지를 위한 고압가스보안법 등이 있으나, 장기간 사용 설비에 대한 구체적인 대책은 마련되어 있지 않고 있다. 이에 후생노동성에서는 장기간 사용 설비에 대한 사고를 방지하기 위한 연구를 실시하여 사업장 기술 지원을 위해 가이드라인을 도출하였다.

가) 연구 내용

2020년 일본 후생노동성에서는 화학산업을 포함하여 제조업 전체에 대해서 '노후화 생산설비에 있어서의 안전대책 조사·분석'을 실시하였다. 3년에 걸쳐 장기간 사용 설비를 보유한 사업장의 실태조사 및 분석을 통해 장기간 사용 설비의 특성을 고려한 위험요소 도출과 각 위험요소에 대한 사고 방지 대책을 검토하였다.

먼저 장기간 사용 설비에 잠재되어 있는 위험요소를 발굴하기 위해 4M(Machine, Man, Management, Material)에 Ageing을 포함한 4M+Ageing을 이용하여 위험요소를 도출하였다. [그림 II-1]에 4M+Ageing에 의한 위험요소 도출 개요를 나타낸다.



[그림 II-1] 4M+Ageing에 의한 위험요소 도출

3년에 걸친 연구를 실시하여 다음과 같은 주요 위험요소를 도출함과 동시에 각각의 위험요소에 대한 대책을 제시하였다. 4M+Ageing로 분석하여 도출된 주요 위험요소는 다음과 같다. <표 II-9>에 4M+Ageing에 의한 위험요소 도출 결과를 나타낸다.

<표 II-9> 4M+Ageing에 의한 위험요소 도출 결과

4M+Ageing	위험요소
설비적(Machine)	설비의 노화 및 설비의 고장에 의한 재해 리스크 보호, 방호 대책의 미비에 의한 재해 리스크
인적(Man)	고경력 근로자 퇴직에 의한 기술력 손실 초급 근로자에 의한 재해 리스크
관리적(Management)	낮은 수준의 안전관리에 의한 리스크 낮은 수준의 위험성평가에 의한 리스크
물질적(Material)	이물질 부착, 부식 등에 의한 리스크 빈번한 점검에 의한 리스크

나) 장기간 사용 설비 안전성확보 위한 체크리스트

연구결과를 산업현장에 보급하기 위한 노력의 하나로 체크리스트를 제공하고 있다. 또한 현장 근로자들이 쉽게 이해할 수 있도록 체크리스트의 의도 및 의미 등을 설명한 해설서를 포함하여 제시하고 있다.

체크리스트는 크게 4가지 항목으로 총 60 질문으로 구성되어 있다. 설비적인 측면, 관리적인 측면, 작업적인 측면을 고려한 체크리스트와 함께 마지막으로는 체크리스트 실시 후 피드백에 관련된 질문으로 구성되었다[부록 2 일 본 장기간 사용 설비 대책 체크리스트]. 4M 중 장기간 사용 설비에 대한 대표 사례를 <표 II-10>에 나타낸다.

<표 II-10> 후생노동성의 장기간 사용 설비 관련 체크리스트의 대표 사례

1. 설비 관련 체크리스트	Yes	No
1) 중요설비는 예방보전을 실행하고 있습니까?		
2) 기계의 자주점검을 정기적으로 실시하고 기록하고 있습니까?		
3) 검사결과에 근거하여 부품교환, 설비경신을 계획적으로 실행하고 있습니까?		
4) 경년화설비의 갱신기간을 정하고 있습니까?		
5) 설비에 등 경년화 (부식)의 검사를 실행하여, 열화부분의 재도장, 보수, 갱신을 등을 실행하고 있습니까?		
6) 열화부분은 출입금지장치 등의 조치를 취하고 있습니까?		
4. 장기간 사용 설비의 안전대책		
1) 장기간 사용 설비의 안전대책은 최신의 안전수준에 적합하게 개선되어 있습니까?		
2) 최신의 안전수준에 맞추기 어려운 경우, 잠정적인 대책을 강구하고 있습니까?		

(2) 미국 제도 - CCPS의 장기간 사용 설비 가이드라인 마련

미국의 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 PSM 제도 등을 조사하였으나, 장기간 사용 설비의 안전성 확보에 관한 구체적인 내용은 파악할 수 없었다. 본 연구에서는 민간 협회 (Center for Chemical Process Safety, CCPS)⁴⁾에 의한 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 방안을 파악하였다.

가) CCPS의 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 방안

본 연구에서는 Center for Chemical Process Safety(CCPS)의 “Dealing with Aging process Facilities and Infrastructure” 문헌을 분석하였다. 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보에 대한 기술 정보를 제공하고 있었다[부록 3. CCPS 문헌 목차와 주요내용].

장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 대책은 현장에 의존하기보다는 경영진에 의한 관리적인 접근이 중요하다. 교체 시기와 방법 그리고 설비의 폐기 등에 있어서 막대한 비용이 발생하기 때문이다.

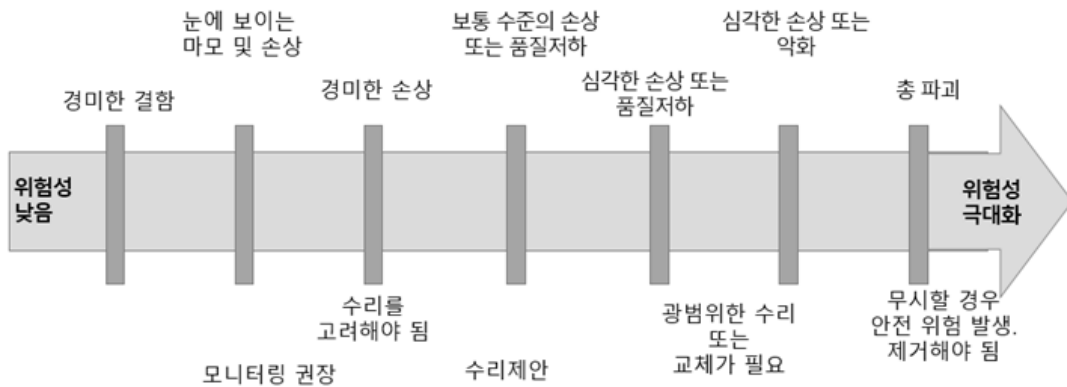
따라서 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보는 장기간 사용한 설비의 손상 발생 메커니즘을 파악하고, 손상이 발생하기 전에 나타나는 설비의 능력 저하 및 변형을 근로자와 경영진의 협업으로 대책을 마련해야 한다.

4) 미국 AIChE(American Institute of Chemical Engineers, 미국 화학공학회)내 비영리 회원 단체이며 석유산업에서의 공정안전문제를 해결하기 위해 설립되었다. 화학산업, 정부기관, 컨설턴트, 학회 및 보험 회사들 간에 기술 정보를 제공하고 있다.

나) 설비의 라이프 사이클에 따른 관리

본 문헌에 의하면, 장기간 사용 화학설비의 관리는 설비의 전체 라이프 사이클을 고려하여 관리되어야 한다.

설비의 시간 경과에 따른 주요 관리 사항을 [그림 II-2]에 나타내고 있다. 초기에는 경미한 결함이 존재하기 때문에 위험성이 낮다. 하지만 장기간 사용 설비의 유지관리가 불충분할 때 사고는 갑자기 발생한다. 짧은 시간 내에 위험성이 급격히 증가한다. 따라서 장기간 사용 가능한 설비일지라도 지속적인 모니터링, 경미한 손상도 수리 또는 교체 및 적절한 시기에 폐기가 이루어져야 한다.



[그림 II-2] 설비의 시간 경과에 따른 주요 관리 사항

주요 관점은 설비의 사용에 있어 시간 경과에 따라 적절한 관리가 필요하다는 것이다. 문제는 적절한 시기를 어떻게 판단하느냐이다. 장기간 사용 화학설비의 점검 방법으로는 위험도기반검사(RBI) 기법을 권장하고 있다.

다) 체크리스트 예시

현장의 자율안전을 위해서는 현장관리자의 노력이 절대적으로 필요하다. 노후화에 따른 사고를 경험한 근로자는 다른 근로자 및 관리자와 정보를 공유하여 피드백이 이루어진 새로운 관리체계를 갖추어야 한다.

CCPS는 각 설비에 대하여 현장 근로자들에게 쉽게 접근할 수 있도록 체크리스트를 작성하여 활용할 것을 제안하고 있다. 부록에 장기간 사용 화학설비의 체크리스트를 정리하였다[부록 4. CCPS 체크리스트 예시]. CCPS의 장기간 사용 설비 관련 대표 사례를 <표 II-11>에 나타낸다.

<표 II-11> CCPS의 장기간 사용 설비 관련 체크리스트의 대표 사례

기계적-펌프	Yes	No
1. 패킹(가스켓)이나 씰(접합부)에서 과도하게 누출이 발생하고 있습니까?		
2. 지지볼트가 느슨하거나 기초 받침대에 균열이 있습니까?		
3. 장비 가드가 느슨하거나 없어졌습니까?		
4. 삐걱거리는 소리가 나거나 과도한 진동이 있습니까?		
5. 보호 코팅 열화(변색, 기포, 갈라짐, 벗겨짐, 용해 등)나 절연 손상이 있습니까?		
기계적-밸브	Yes	No
6. 밸브의 노출된 스템이 부식되었습니까?		
7. 밸브의 내부 부품들 중 부식된 것이 있습니까?		
8. 핸드휠, 체인휠 또는 레버 암이 없거나 느슨합니까?		
9. 밸브 위치 표시기나 리미트 스위치가 부서지거나 없어졌습니까?		
10. 릴리프 밸브에 설치된 안전 와이어 밀봉 장치가 손상되었습니까?		
11. 플랜지조인트나 패킹에서 누출이 있습니까?		

(3) 영국 제도 - HSE의 장기간 사용 화학설비 안전성 확보 방안

영국의 보건안전청(Health and Safety Executive, HSE)⁵⁾에서 실시하고 있는 장기간 사용 설비의 안전성 확보에 관한 제도에 대하여 조사·분석하였다.

가) 실태 파악

1996년부터 2008년까지 영국 내에서 보고된 173건의 누출 사고 중 5.5%가 노후 설비로 인해 발생한 것으로 확인되고 있으며, 유럽 전역에서는 1980년부터 2006년까지 96건의 주요 사고가 노후 설비와 관련 사고가 전체 사고의 28%를 차지하고 있다.

장기간 사용 설비는 부식, 피로, 응력 부식 균열, 진동 등으로 인해 사고를 발생시키는 위험요소가 증가한다. 사고 원인분석 결과, 사고의 약 50%가 설비의 무결성 손상과 관련이 있으며, 적절한 예방조치 없이 방치될 경우 대형 사고로 이어질 가능성이 잠재하고 있었다.

나) 대책 방안

장기간 사용 설비의 관리는 체계적인 관리시스템을 통해 이루어져야 한다. 설비 관리자는 장기간 사용 설비의 부식, 피로, 마모 상태를 사전에 파악하고, 이를 바탕으로 정기적인 유지보수 계획을 수립해야 한다. 주기적인 유지보수를 통해 장기간 사용 설비의 상태를 모니터링하고, 필요한 경우 조기 교체나 수리를 통해 사고를 방지해야 한다. 또한, 장기간 사용 설비의 유지보수는 위험기반점검(RBI) 기법을 통해 설비의 상태를 주기적으로 점검하고, 필요한 예방적 조치를 하는 것이 권장된다.

5) 주요 업무는 사업장 안전보건관리로써 근로자의 산업재해를 예방하기 위해 각종 정보를 제공함.

3. 장기간 사용 화학설비 관련 국내외 사고사례

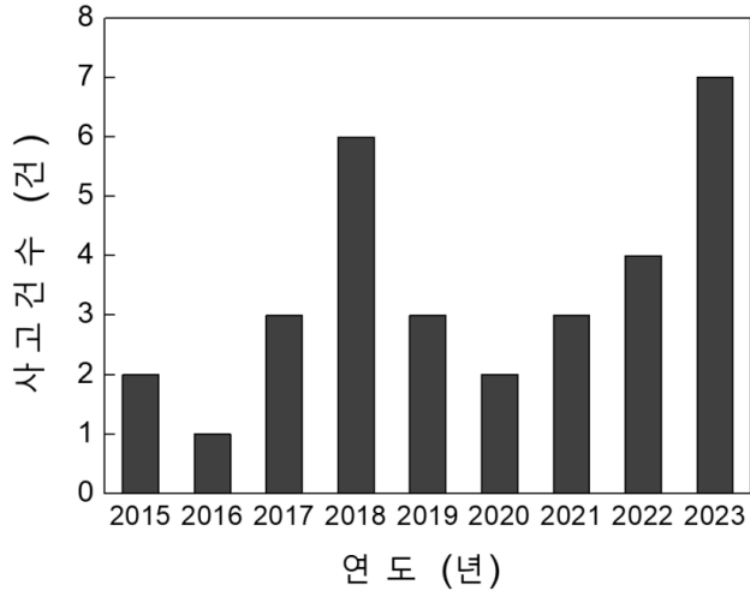
1) 국내 사고사례

본 연구에서는 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 방안을 마련을 위해 사고사례를 조사하였다. 국내 통계는 한국산업안전보건공단의 사고사례를 활용하였다.

(1) 화학설비 관련 사고사례

최근 10년간(2015년~2023년) 국내 공정안전보고서 제출사업장에서 발생한 산업안전보건법령상 화학사고(중대한 산업사고, 중대한 결함) 619건과 사고 중 설비의 부식 등 장기간 사용 화학설비와 관련되어 발생한 사고 31건을 조사·분석하였다.

[그림 II-3]에 31건에 대한 연도별 사고 발생 건수를 나타낸다. 지속해서 장기간 사용설비에서 사고가 발생함이 확인되며, 증감을 나타내고 있으나 전반적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다.



[그림 II-3] PSM 대상 사업장 연도별 장기간 사용설비에서의 사고건수

위험요소 도출을 위해 상세 내용을 분석하였다. 사고사례에는 노후화 또는 장기간 사용 화학설비에 대해 별도의 항목으로 구분되어 있지 않고 있어, 사고개요의 내용을 분석하여 주요 사고원인을 도출하였다. 분석된 사고 발생 현황을 <표 II-12>에 정리하였다.

사고개요 및 사고원인을 분석한 결과, 전체 31건 중 22건이 배관에서 발생하는 사고가 가장 건수가 많았고 나머지 9건은 반응기, 탱크 및 드럼과 같은 용기에서 발생하였다.

〈표 II-12〉 부식, 변형 등 설비 손상에 의한 사고 발생 현황

연번	발생 연도	사고개요	주요 사고원인	사고 설비
1	2015	트리클로로실란 배관의 균열 발생으로 인한 잔류 가스 누출	배관 균열	배관
2	2015	반응기와 열교환기 사이 드레인 배관과 밸브의 용접이음부에서 불산 누출	용접부 부식	배관
3	2016	반응기 하부 벨로우즈에 균열 발생	신축이음관 파손	배관
4	2017	사염화규소 회수탑 배관에 설치된 여분의 노즐과 볼밸브 연결부 균열	반복응력에 의한 피로	배관
5	2017	제조탱크 물공급 배관 연결부가 탈락되어 암모니아 가스가 누출	배관 노후로 재질 변형	배관
6	2017	에어 쿨러에서 균열 발생	부식	열교환기
7	2018	병커C 탱크 맨홀에서 병커C 누출	용접부 부식	탱크
8	2018	차압식 레벨센서 도입관과 차단밸브 연결부에서 WF6 누출	액위계 도입관 피로누적	배관
9	2018	산화반응기 후단 배관과 연결된 공정 배관에서 초산 및 CTA Slurry가 누출	맹판 부식	배관
10	2018	배관 노후로 5mm 크기의 구멍으로 폐유 3톤 가량이 누출	배관 경년변화	배관
11	2018	탱크 진공상태가 불량하여 확인·조치 과정에서 탱크 하부 폐용매 누출	20년 이상 설비로 염소 부식	탱크
12	2018	타워의 덤파이프 입구측에서 균열 발생	배관 침식	배관
13	2019	LNG 저장탱크 기화기 후단 배관 NG 누출	용접부 균열	배관
14	2019	휘발성 유기화합물인 보일러 연료가 누출	밸브 경년변화로 누출	배관

연번	발생 연도	사고개요	주요 사고원인	사고 설비
15	2019	Surge Drum 상부의 핀홀에서 내부 가스가 분출	장기적 국부부식	드럼
16	2020	염산탱크 측면 1m정도 높이의 동체 측 접합면 볼트가 부식되어 염산 누출	볼트 부식	탱크
17	2020	고로철피의 균열발생으로 고로가스가 누출	고로철피의 균열	드럼
18	2021	혼산 예열기 -> 증발기로의 이송배관 부식으로 혼산이 누출	배관 부식	배관
19	2021	원유 이송구간 매설배관에서 배관부식	배관 부식	배관
20	2021	폐수처리장 25% 가성소다 저장탱크 다이아프램 펌프 헤더 플랜지부 누출	헤더플랜지 일부 부식	배관
21	2022	LDG 회수배관 맨홀부에서 부생가스 누출	부식	배관
22	2022	사외 지하배관에서 암모니아 누출	핀홀 등 부식	배관
23	2022	약품공급장치 하단에서 혼산 폐액 누출	경년열화에 의한 균열	탱크
24	2022	염소혼합탱크 염소배관 파열로 TCS 누출	이중배관 외관 부식	배관
25	2023	파이프랙 인근 배관 파열로 인해 화재	배관 부식	배관
26	2023	반응기 자켓 노즐 용접부 균열로 열매유가 외부로 누출	용접부 균열	반응기
27	2023	열교환기 배관 플랜지 넥에 균열 발생하여 수소혼합기체가 누출	재가열 균열	배관
28	2023	반응기에 염소 투입하여 시운전 중 탄소강재질 염소 배관 파열	배관 부식	배관
29	2023	반응기 운전 중 반응기 하부에서 유증기 누출	균열	반응기
30	2023	반응기 사이 수소를 이용한 촉매 리프팅 배관에서 수소가 누출	침식 등 부식	배관
31	2023	암모니아 예비콘과 수액기가 연결된 암모니아 배관 밸브 전후단 용접부에서 암모니아 누출	배관 부식	배관

(2) 산업재해통계

가) 조사방법

매년 산업안전보건공단에서는 재해자가 근로복지공단에 제출하는 요양급여 신청서를 기반으로 재해통계를 작성하고 있다. 본 연구에서는 요양급여신청서의 재해 발생 경위를 분석하였다.

재해 발생 경위의 작성 방식은 어디에서, 무엇을 하기 위해, 무엇을 사용하여, 어떻게 하다가, 어떤 이유로 어떻게 재해를 당하였는지 작성하게 되어 있다. 본 연구에서는 2016년부터 2023년까지 재해사례를 입수하여 재해 발생 경위에서 ‘화재’, ‘폭발’, ‘누출’을 키워드로 검색하여 총 6,790건 산업재해를 추출하였다.

나) 장기간 사용 화학설비 관련 재해 발생 현황

6,790건의 사고개요에 대하여 분석한 결과, ‘노후’라는 단어를 키워드로 검색한 결과 10건의 재해사례를 도출하였다. <표 II-13>에 재해 개요를 정리하였다.

〈표 II-13〉 장기간 사용 화학설비 관련 산업재해 사례

연번	발생 연도	재해 개요	사고설비
1	2016	노후된 배관 교체 작업 중 용접으로 인한 화재로 화상	배관
2	2016	산소 Gas Hose의 이음새 노후로 산소가 누출되어 좌측 허벅지 부위 화상	가스 호스
3	2016	보일러 급수 보조탱크 노후에 의한 누수발생으로 추가 보조탱크 설치가 필요하여 탱크 내부 방청 도장작업 중 주변 용접 작업으로 인한 스파크로 화상	보일러 급수 보조탱크
4	2017	노후한 IBC를 생활폐기물용 용기로 재사용하기 위해 IBC 상부를 토치로 가열하는 중 순간 폭발	IBC 탱크
5	2018	노후된 염소 탱크 교체 작업과정에서 배관해체 중 염소 가스가 새어 나와 흡입	염소 탱크
6	2019	에어탱크 작업 교체 중 에어탱크 노후로 폭발	에어탱크
7	2019	전기배전반 분리작업 중 노후케이블 접촉하면서 폭발	케이블
8	2020	차단기 교체공사를 하던 도중 기존 분전반의 차단기와 부스바의 노후화로 인한 화재 발생	차단기
9	2021	옥외저장소에서 출고한 제품을 옮기다가 제품을 담은 통이 노후되어 깨져서 화상	용기
10	2022	황산이 담긴 노후된 케미콘을 상태 양호한 케미콘으로 담던 중 황산이 담긴 노후된 케미콘 밸브가 빠져서 황산이 근로자에게 접촉	케미콘

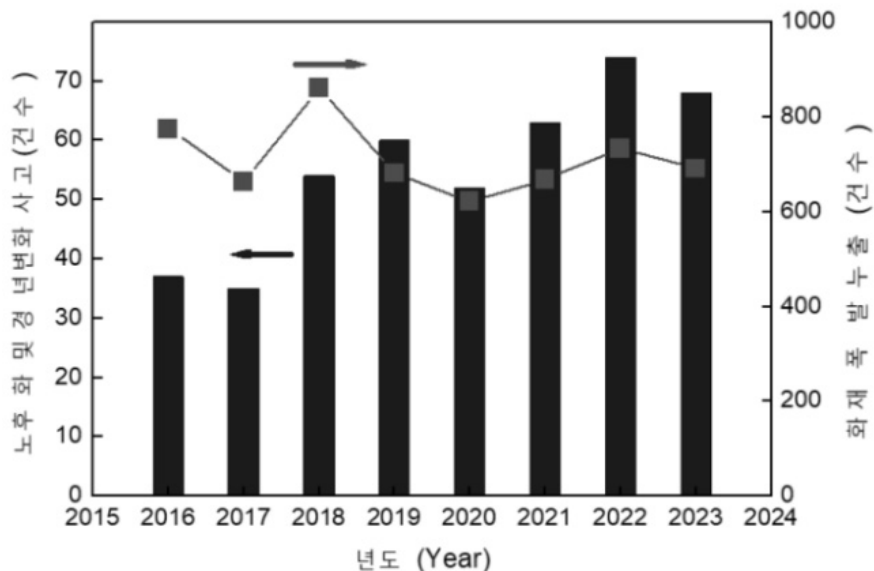
본 연구에서 재해 개요를 분석한 결과, 내용 작성이 재해를 입은 근로자의 경험에 의해 기록되기 때문에 원인이 장기간 사용에 따른 설비의 손상에 의해 발생하였다고 판단하기는 쉽지 않았다. 하지만 국내 사업장에서 장기간 사용 화학설비에서 작업 중에 근로자 재해가 지속해서 발생하고 있는 것이 확인하였다.

2) 국외 사고사례

(1) 일본 고압가스보안협회

일본 고압가스보안협회에서 고압가스설비 사고사례 통계를 제공하고 있다. 사고통계 데이터베이스에는 사고발생일, 사고 명칭, 사고 물질, 1차 사상, 2차 사상, 누출 형태, 업종, 설비 구분, 취급 상태, 사고 주요 원인, 사고 부요인, 착화원, 그리고 사고개요를 포함하고 있다.

먼저 2015년부터 2023년 8년간의 사고사례 중 “1차 사상”에 키워드로 “누출”, “화재”, “폭발”의 세 가지 단어로 검색하여 5,697건을 도출하였다. 또한, 5,697건의 사고사례 중에 사고 주요 원인이 “노후화”와 “경년변화”로 두 가지 키워드로 검색한 결과 443건의 사고사례를 도출하였다. 연도별 사고사례 건수를 [그림 II-4]에 나타낸다. 누출, 화재, 폭발로 건수는 매년 큰 변화 없이 일정한 수준을 유지하고 있다. 그에 반해, 노후화와 경년변화로 인한 사고는 8년간 증가하는 추세를 나타내고 있다.



[그림 II-4] 연도별 고압가스(화학설비) 사고통계

또한 연도별 누출·화재·폭발이 발생한 사고 건수 중 사고 원인이 노후화와 경년변화에 따른 사고 발생 건수가 차지하는 비율을 산출한 결과를 <표 II-14>에 나타낸다. 2016년에는 약 4.8%를 나타내고 있었으나, 2023년도는 약 9.8%로 약 2배의 증가율을 나타내고 있다. 우리와 사업구조가 비슷한 일본의 사업장 현장에서 지속적으로 노후화 및 경년변화가 원인으로 누출·화재·폭발 등의 사고가 증가하고 있다는 것이 확인되었다. [그림 II-3]에서 보듯이 국내 사업장에서 사고가 증가하는 경향이 확인된 것처럼 국외에서도 사고가 증가 경향이 확인되었다.

<표 II-14> 연도별 노후화 사고 현황

연도	노후화 & 경년변화 A (건수)	누출·화재·폭발 B (건수)	A/B (%)
2016	37	775	4.8
2017	35	664	5.3
2018	54	861	6.3
2019	60	682	8.8
2020	52	622	8.4
2021	63	668	9.4
2022	74	734	10.1
2023	68	691	9.8

노후화 및 경년변화가 주요 원인으로 발생한 사고 총 443건에 대한 사고개요를 분석하였다. <표 II-15>에 분석결과의 사례를 나타낸다. 설비 대상이 아닌 구조물의 노후화로 인한 사고도 확인되었으나, 대부분이 주요 사고 원인으로 배관 및 회전기기에 의한 사고 건수가 많았다. 이러한 결과는 ‘노후설비의 관리에 관한 기술지침’ (KOSHA Guide P-119-2012)에서 언급한 노후화 대상으로 배관, 회전기기, 용기, 밸브를 설정하고 있는 것과 정합성을 가지고 있다고 판단된다. 추후 노후 설비의 안전대책 수립 시에는 배관, 회전기기에 위험도를 높게 평가해야 할 것이다.

<표 II-15> 사고사례 분석 결과

구분	A	B	C
사고 분류	증발기 배관에서부터 천연가스 누출	액화암모니아 제조시설 발신기 덮개에서 미량 누출	CO ₂ 액송 라인 밸브 파손에 의한 누출
물질	천연가스	암모니아	탄산가스
사고 형태	누출	누출	누출
누출 정도	미량	미량	불명
누출원	배관 (20A, 50A, 1MPa)	접합부 덮개 (플랜지)	접합부 (15A, 20K)
업종	도자기업	액화암모니아 제조	식품
설비 구분	증기발생기	용기 액면계	배관, 펌프
취급 형태	정지 중	사용 중(제조 중)	사용 중(제조 중)
사고 원인	배관(열교환기)의 열화, 피로	배관(플랜지)열화	회전기기의 노후화

(2) 영국 Health and Safety Executive (HSE)

영국 Continental Shelf에서 운영 중인 노후설비의 누출 사고 데이터를 조사·분석하였다. 장기간 사용된 설비와 노후설비에서의 사고 발생 빈도를 분석하고 이러한 설비에서 발생하는 주요 사고 원인을 도출하였다.

사고사례로는 1992년부터 2008년까지 탄화수소가 누출되었으며 그 원인이 노후화라고 판단되는 3,644건을 대상으로 조사하였다. 사용연수별로 나타낸 결과를 <표 II-16>에 나타낸다. 비율은 전체 사고 수에서 사용연수별 사고가 차지하는 비율을 나타내었다. 20년 이상 사용된 노후 설비에서의 사고 발생 비율이 현저하게 높아 전체 사고의 30%를 차지하고 있었다.

<표 II-16> 사용연수별 사고 건수

설비사용 연한(년)	5년 미만	5~10년	10~15년	15~20년	20년 이상	총계
누출사고 수	690	644	657	555	1,098	3,644
비율(%)	18.94	17.67	18.03	15.23	30.13	100

이상의 결과는 20년 이상 경과한 장기간 사용 화학설비에서의 노후화가 진행될 가능성이 높다는 것이며 높은 수준의 안전관리가 필요하다는 것을 의미한다.

4. 국내 장기간 사용 화학설비 관리 실태 파악

1) 설문조사

(1) 개요

화학산업에서의 장기간 사용 화학설비의 화재·폭발·누출로 인한 사고 발생 가능성을 가진 위험요소 발굴 및 근로자 안전성 확보 방안을 마련하기 위하여 현장관리자를 대상으로 장기간 사용 화학설비의 관리 실태를 파악하기 위해 설문조사를 하였다.

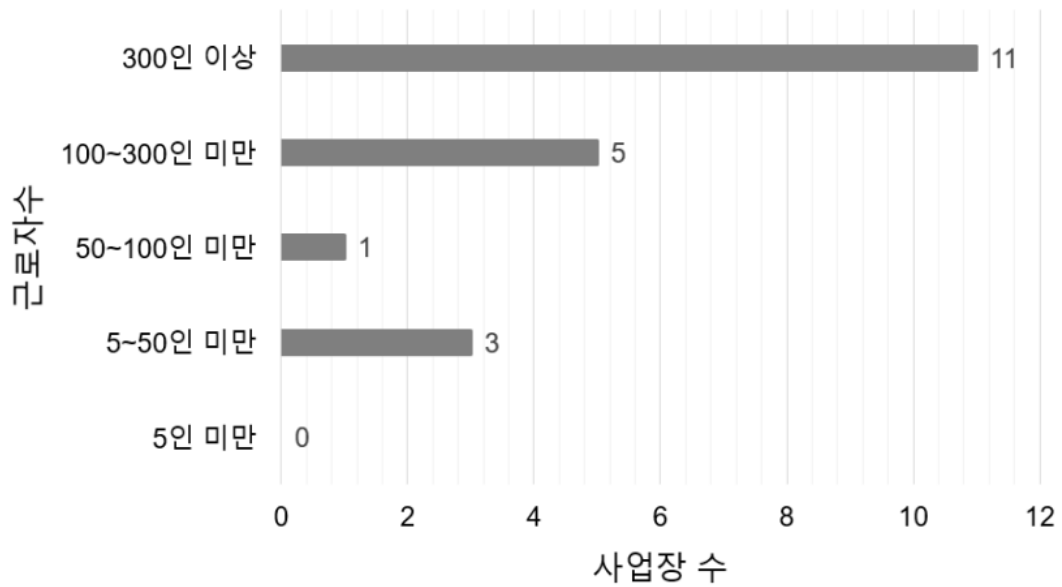
주요 조사 내용은 장기간 사용 화학설비에서의 위험요소 발굴 현황, 설비관리 실태 및 설비관리에서의 애로사항 등으로 구성된 총 13개 항목의 설문으로 이루어져 있다.

(2) 설문대상

설문조사 대상은 여수와 울산의 53개 사업자 대상으로 온라인으로 설문하였다. 설문 대상 선정은 한국산업안전보건공단에서 2022년과 2023년에 '화학설비 건전성 안전관리' 사업에 참여한 사업장 112개 사업장 중 연락 가능한 53개 사업장을 선정하여 온라인 설문조사를 실시하였다. 설문 결과 20개 사업장에서 설문조사에 참여하여 응답률은 38%이었다.

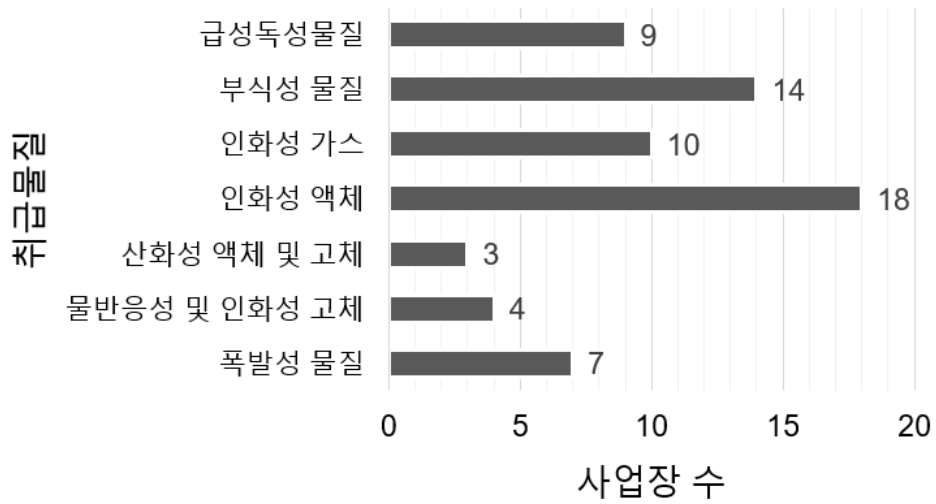
(3) 설문 결과

설문조사에 응답한 사업장 규모를 [그림 II-5]에 나타낸다. 설문에 응답한 20개 사업장 대다수는 100인 이상의 대규모 사업장으로 나타났다. 근로자 수가 300인 이상인 사업장이 전체 55%(11건)로 가장 많았으며, 100~300인 미만 규모의 사업장은 25%(5건)로 나타났다[부록 5. 설문조사].



[그림 II-5] 사업장 규모

사업장 취급물질 현황을 [그림 II-6]에 나타낸다. 대다수 사업장에서 인화성 액체와 부식성 물질을 취급하고 있으며 이 중 인화성 액체는 전체 사업장의 90%, 부식성 물질은 70%의 사업장에서 사용되고 있다. 이러한 물질들은 장기간 사용에 따른 손상 발생이 발생하기 쉬우며 누출 시 화재·폭발로 인해 재해 발생 가능성이 큰 물질들을 취급하고 있었다.



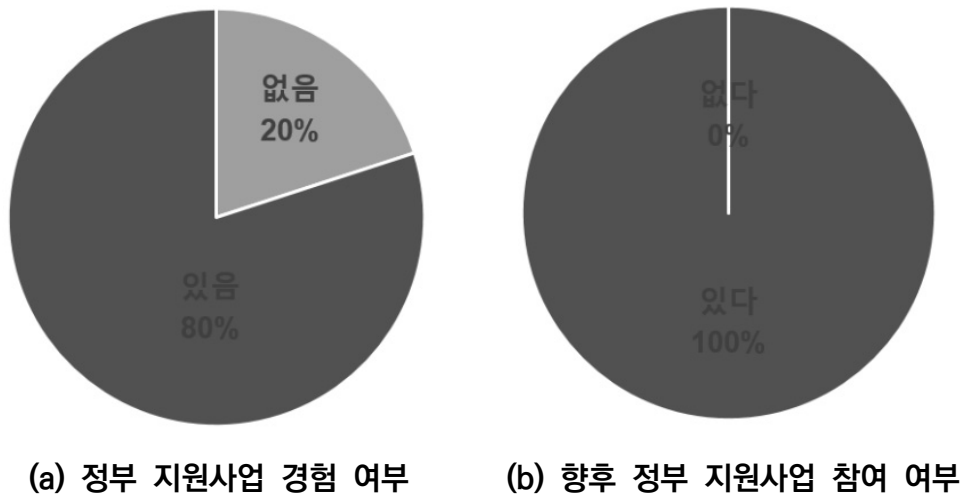
[그림 II-6] 위험물질 취급 현황

사업장의 설비현황을 [그림 II-7]에 나타낸다. 대부분 사업장이 열교환기, 화학물질 이송 또는 압축설비, 화학물질 이송 관련 설비를 보유하고 있었다. 사업장 내 보유 설비사용 연수는 10년에서 30년 사이가 가장 많았으며 30년 이상 경과한 장기간 사용 설비도 다수 존재하는 것으로 확인되었다. 다양한 설비가 장기간에 걸쳐 사용되고 있었다. 설비의 노후화로 인한 사고 발생 가능성이 잠재하고 있음을 확인하였다.



[그림 II-7] 주요설비 사용 연수

[그림 II-8]에 과거 정부지원 사업을 받은 경험을 나타내고 있다. 응답한 사업장 중 80%가 정부지원 사업을 받은 경험이 있었으며, 20%만이 지원받은 경험이 없다고 응답하였다. 응답한 결과를 바탕으로 앞으로 정부지원 사업을 희망하는가에 대해서는 모든 응답자가 정부 지원 사업을 희망하고 있었다. 많은 사업장이 정부의 위험성평가, 화학 안전사업장 조성 지원, PSM컨설팅 등 안전관리지원 사업을 원하고 있는 것으로 나타났다. 화학설비 보유 사업장에 대한 지속적인 지원 사업이 필요하다고 판단된다.



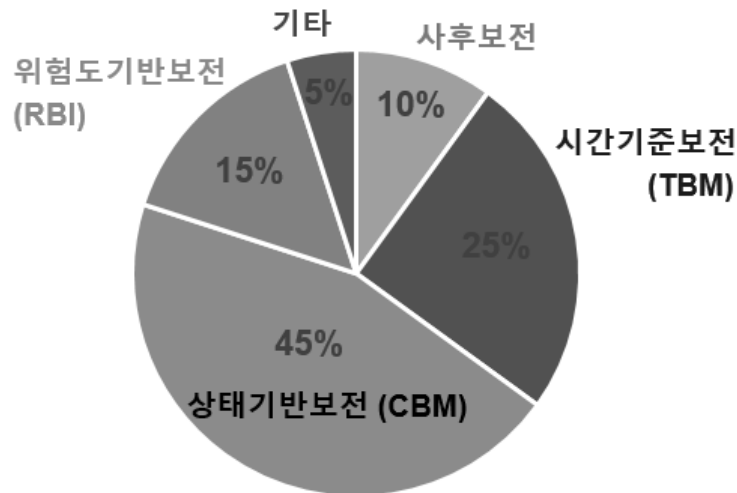
[그림 II-8] 정부지원 사업 경험 및 희망 여부

사업장에 대한 지원사업 내용에 대해서는 장기간 사용 설비의 안전성 확보를 위해 유지보수비와 같은 비용적 지원, 시스템 구축 지원 등 행정적 지원을 필요로 하고 있다. 또한 구체적인 기술 가이드라인, 진단 기술 지원 등의 기술적 지원도 함께 희망하고 있었다. 특히 장기간 사용 설비의 유지보수를 위한 가이드라인 제공, 장기간 사용 설비의 종류 및 관리 방안에 대한 구체적 지침이 필요하다는 의견이 많았다. <표 II-17>은 사업장에서 요구하는 정부 지원 사업 상세 내용을 나타낸다.

<표 II-17> 사업장에 대한 정부지원 사업 내용

연번	내 용
1	장기간 사용 화학설비의 보수에 관한 비용 지원 필요
2	장기간 사용 화학설비에 관한 지침 필요
3	유지관리를 위한 전문적인 진단 팀 확보 필요
4	적극적인 RBI 적용 필요
5	장기간 사용 화학설비의 부식 종류 및 관리방안에 대한 구체적인 가이드라인

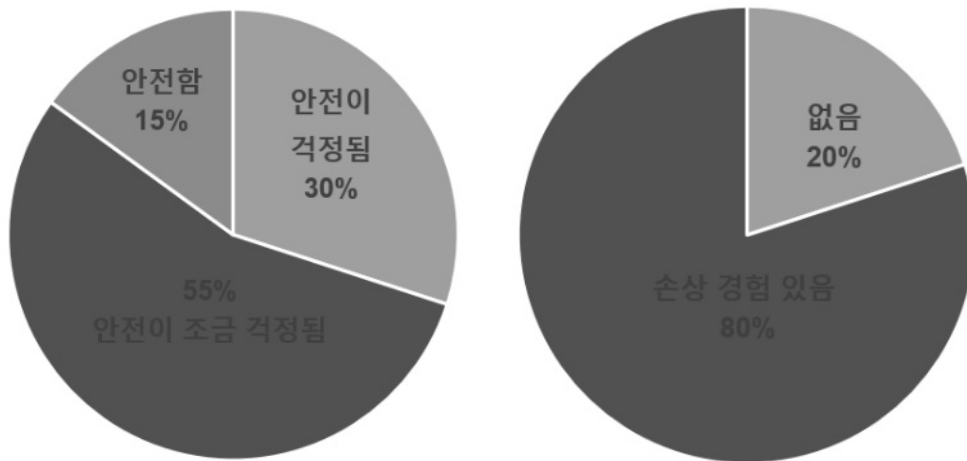
[그림 II-9]에 설비 보전활동의 형태를 나타내고 있다. 현재 장기간 사용 설비의 보전 활동은 주로 시간 기반 보전(Time Based Maintenance, TBM)⁶⁾과 상태 기반 보전(Condition Based Maintenance, CBM)⁷⁾ 방식으로 이루어지고 있었다. 일부 사업장에서는 위험도 기반 검사(RBI)를 시행하고 있어 높은 수준의 보전관리를 실시하고 있는 반면, 일부 사업장에서는 사후보전(Breakdown Maintenance, BM)⁸⁾이라는 매우 낮은 수준의 보전활동을 하고 있었다.



[그림 II-9] 보전활동 현황

- 6) 설비의 가동 시간을 기준으로 설비의 기기별로 정해진 기준에 따라 계획정비를 하는 것을 말한다. 예를 들면, 솔레노이드 밸브는 6개월, 모터는 12개월 주기 등으로 일정 시간 기준을 정해놓고 계획정비를 수행한다.
- 7) 설비의 상태를 기준으로 정비하는 것을 말한다. 예를 들면, 모터의 진동, 소음, 발열 등의 상태를 점검하여 고장 전 정비하는 것이다.
- 8) 가장 기초적인 보전 방식으로, 설비 고장 시 적절한 수리, 교체 등의 대책을 세우는 방식이다.

[그림 II-10]에 장기간 사용 설비에 대한 관리자의 손상 경험 여부와 설비의 안전성에 대한 주관적인 의견을 나타낸다. 장기간 사용 설비의 기능 손상을 경험한 적이 있는지를 조사한 결과, 대부분의 사업장 약 80%가 경험이 있다고 답하였다. 장기간 사용에 따른 설비의 손상이 지속적으로 발생하고 있는 것을 알 수 있었다. 또한 장기간 사용 설비의 안전성에 많은 관리자가 불안함을 느끼고 있었다.



(a) 손상 경험여부 (b) 설비 안전성
 [그림 II-10] 장기간 사용 설비의 손상 경험 여부와 설비 안전성

2) 전문가 심층 의견 청취

국내외 안전관리 전문가와 심층 있는 의견 청취를 하였다. 국내 안전컨설팅 전문가, 일본 안전공학과 교수, 일본 화학산업 현장 안전관리자, 일본 고압가스협회의 안전관리 전문가의 주요 의견을 <표 II-18>에 정리하였다. 노후화 문제는 안전관리 보다는 설비관리 차원의 문제이며, 자율안전으로 해결해야 할 문제라는 의견이 많았다[부록 6. 전문가 심층 의견 청취].

<표 II-18> 전문가 심층 의견 청취 요약

자문대상	주요 자문내용
국내 안전컨설팅 전문가	<ul style="list-style-type: none"> 노후화 문제는 사용물질별, 설비재료별로 조사되어야 함. 사용 물질의 특성과 설비 재료의 특성에 따라 정리되어야 함. 노후화 대상 설비는 회전기계, 임펠라, 쉘, 베어링, 배관, 모터, 냉각시스템 등이 될 수 있으며 설비이력카드가 필요함 (회사, 모델명, 정비이력, 고장발생빈도 등)
일본 고압가스보안협회 전문가	<ul style="list-style-type: none"> 설비점검은 연1회 보안검사를 하도록 되어 있음. 점검 세부사항은 민간에서 스스로 결정함 부식과 같은 화학적 손상은 열화하는 것과 열화하지 않은 것으로 나누어 회사에서 자체적으로 기준을 정하도록 유도하고 있음
일본 안전공학과 교수	<ul style="list-style-type: none"> 화학산업 장기간 사용 설비에 대해서는 행정부가 석유화학공업협회(약 20개 대형회사)와 일본화학공업협회(약 150개 중소기업 포함)를 통해 유지관리에 주의하라는 공문이 발송되고 있음

5. 소론

1) 선행 연구 조사 결과

- 설비의 노후화란 ‘설비의 사용기간을 말하는 것이 아니고 그 설비를 사용한 기간 동안 재질의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의하여 손상을 입은 상태’를 의미함
- 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위해서는 관리적, 기술적, 인적 측면을 포함하는 종합적인 대책이 필요함. 그 대책으로는 위험도기반검사(RBI) 기법이 적절함
- 과거 고용노동부에서 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위해 기술지도 사업을 해 왔으나, 자율안전관리 시스템 수준이 높지 않은 상황에서 사업이 폐지되어 새로운 안전대책 방안이 요구됨

2) 장기간 사용 화학설비 관련 국내외 제도 분석

(1) 국내 제도 분석

- 산업안전관리법상에서 장기간 사용 설비에 대한 안전성 확보 대책으로는 공정안전관리(PSM)에 설비 유지관리 대책이 있었으나 장기간 사용 설비의 손상 발생 메커니즘을 고려한 관리 대책으로는 충분하지 않음
- 화학물질안전관리법에서는 설비에 대한 정기·수시검사 및 안전진단을 하고 있으며 설비의 손상에 대한 검사 주기 및 검사방법을 제시하고 있으나 장기간 사용 설비의 손상 발생 메커니즘을 고려한 관리 대책으로는 충분하지 않음
- 고압가스안전관리법에서는 15년 이상 경과한 노후시설에 대해 정밀안전점검을 실시하고 있음. 또한 압력용기에 대해서는 기본 4년마다 실시해

야 하나, 위험도기반검사(RBI) 기법으로 실시하는 경우 설비 검사 주기 및 교체 시기를 검사 결과에 우선하여 효율적인 안전관리를 유도하고 있음

(2) 국외 제도 분석

- 일본의 후생노동성에서 장기간 사용 설비에 대하여 4M+Ageing에 의해 위험요소를 도출하여 각 위험요소에 대한 대책 마련과 동시에 사업장 관리자에 의한 설비 유지관리를 지원하기 위해 체크리스트를 제시하고 있음
- 미국의 CCPS에서 장기간 사용 화학설비의 유지관리 수법을 제시하고 있으며 일본과 동일하게 설비 유지관리를 지원하기 위해 체크리스트를 제시하고 있음

3) 장기간 사용 화학설비 관련 국내외 사고사례

- 국내외 사고사례를 조사한 결과 장기간 사용 화학설비에서 사고가 지속해서 발생하고 있으며 증가하는 경향이 확인되었음
- 일본 사고사례를 조사한 결과, 노후화에 의한 사고가 증가하고 있음. 지난 8년간 약 2배의 증가율을 나타내고 있음
- 영국 사고사례를 조사한 결과, 20년 이상 경과한 화학설비에서 사고 발생 확률이 높은 것으로 나타남

4) 국내 장기간 사용 화학설비 관리 실태 파악

- 대부분 사업장에서 장기간 사용 화학설비를 보유하고 있으며 사고로 이어질 가능성이 있는 위험요소가 다수 존재함
- 사업장 관리자는 인력 및 기술력 부족에 따라 장기간 사용 화학 설비를 관리함에 어려움을 호소함
- 대부분 사업장에서 지속적인 행정적 및 기술적 정부 지원사업을 희망하고 있음

Ⅲ. 장기간 사용 화학설비 안전성 확보 방안



Ⅲ. 장기간 사용 화학설비 안전성 확보 방안

본 연구에서는 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위한 방안을 제시하기 위해서 다각적인 검토를 실시하여 다음과 같이 정리하였다. 장기간 사용 화학설비 안전성 확보 방안 제시는 크게 두 가지 관점에서 제안하였다. 첫째는 장기간 사용 화학설비의 안전성을 확보를 위해서는 안전관리 측면에서 접근하는 것이 아니라, 설비 유지관리의 측면에서 접근하는 것이 합리적이라고 판단하였다. 둘째는 화재·폭발·누출로 인해 피해가 크게 발생할 수 있는 공정 안전보고서 제출 대상 사업장이 우선으로 높은 안전성을 확보하는 것이 필요하다고 판단하였다. 추후 비대상 사업장으로 확대해 나갈 필요가 있을 것이다.

구체적으로는 장기간 사용 화학설비를 20년 이상 경과한 설비를 대상으로 하였다. 노후화는 사용한 시간 경과에만 의존하는 것이 아니기 때문에 20년이라는 정량적인 숫자를 제시하는 것은 쉽지 않았다. 하지만 본 연구에서 다음과 같은 3가지 사실을 근거로 판단하였다.

첫째, 설문조사에서 현장 관리자들이 장기간 사용 화학설비의 안전성을 염려하고 있어 안전성 확보 대책이 시급하다고 판단하였다.

둘째, 국내외 사고통계를 조사한 결과, 장기간 사용 화학설비로 인한 사고가 증가하고 있는 경향을 나타내고 있었다. 특히, 영국의 사고통계에서는 20년 이상 된 설비에서 사고가 자주 발생함이 확인되었다.

셋째, 고압가스안전관리법에 15년 이상 경과된 설비를 노후시설로 정의하고 정밀안전검진을 실시하고 있었다. 오래되어 낡은 설비를 15년으로 정하고 있는 타법과의 균형도 고려할 필요가 있었다.

본 연구에서 다음과 같이 제안하는 행정적·기술적 지원 방안이 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보에 도움이 되기를 기대한다.

1. 행정적 지원 방안

1) 「산업안전보건법 시행규칙」의 개정안

본 연구의 조사 결과, 장기간 사용 화학설비에는 위험요소가 많이 잠재되어 있음이 확인되었다. 화학설비를 장기간 사용한 경우에는 노후화 현상을 고려한 설비점검(설비의 관리 실태 및 안전장치 현황 등)이 필요하다고 판단하였다.

또한, 관리자에게 익숙해져 있는 장기간 사용 화학설비에 대한 자율안전과 함께 제3자의 관점에서 위험요소를 발굴하는 것이 필요하다고 판단하였다.

본 연구에서는 장기간 사용에 따른 위험요소 발굴을 위해 산업안전보건법 시행규칙 제53조(공정안전보고서의 확인 등)에서 한국산업안전보건공단의 확인 대상을 20년 이상 경과한 화학설비를 포함할 것을 <표 III-1>과 같이 제안한다.

〈표 III-1〉 산업안전보건법 시행규칙의 개정안

현행	개정안
제53조(공정안전보고서의 확인 등) ① 공정안전보고서를 제출하여 심사를 받은 사업주는 법 제46조제2항에 따라 다음 각 호의 시기별로 공단의 확인을 받아야 한다. 1~4. 생략	제53조(공정안전보고서의 확인 등) ① 공정안전보고서를 제출하여 심사를 받은 사업주는 법 제46조 제2항에 따라 다음 각 호의 시기별로 공단의 확인을 받아야 한다. 1~4 생략 5. 20년 이상 경과된 화학설비를 보유한 공정 안전보고서 대상 단위공장에 대해서는 심사완료일로부터 20년 경과 후 1년 이내

1) 「중대산업사고 예방센터 운영 규정」의 개정안

(1) 개정안

본 연구의 설문조사 결과, 대부분 사업장에서 기술적 지원을 희망하고 있었다. 또한 RBI 기법을 도입하여 높은 수준의 설비 안전관리를 실시하는 사업장도 확인되었다.

이상의 사실을 고려하여, 본 연구에서는 ‘중대산업사고 예방센터 운영 규정(고용노동부 예규 제20230204호)’의 제2조(정의)와 제7조(등급별 관리)를 개정함으로써 한국산업안전보건공단에 의한 기술지원 실시를 제안한다.

구체적으로는 <표 Ⅲ-2>과 같이 장기간 사용 화학설비를 20년 이상 경과된 화학설비로 정의하고, S등급과 M등급 사업장에 대해 장기간 사용 화학설비를 사용하는 경우에는 ‘장기간 사용 화학설비 건전성 안전관리 기술지도’를 포함할 것을 제안한다.

〈표 Ⅲ-2〉 중대산업사고 예방센터 운영 규정의 개정안

구분	현행	개정안
제2조 (정의)	1~5. 생략	1~5. 생략 6. “장기간 사용 화학설비 보유공장”이란 20년 이상 경과된 화학설비를 보유한 공정안전보고서 대상 단위공장을 말한다.
제7조 (등급별 관리)	〈비고〉 ①과 ② 생략	〈비고〉 ①과 ② 생략 ③ 장기간 사용 화학설비 보유공장이 있는 S등급, M등급 사업장에 대해 기술지원팀은 4년 이내에 1회 ‘장기간 사용 화학설비 건전성 안전관리 기술지도’를 실시하여야 한다.

(2) 장기간 화학설비에 대한 기술지원

장기간 사용에 의한 설비 손상 및 기능 저하 등에 의한 대형 화학사고 발생의 위험이 잠재함에도 불구하고 화학설비 보유 사업장의 설비 안전관리 수준이 높지 않다. 공정안전관리 사각지대 해소를 위한 기술지도(화학설비 건전성 안전관리)가 필요하다고 판단하였다. 기술지도는 화학설비의 노후화 징후 등에 의한 유해·위험성을 파악하고 개선대책을 제시함으로써, 화학설비 보유 사업장의 건전한 설비관리를 유도하여 화학사고를 방지해야 한다.

〈표 Ⅲ-3〉에 공정안전관리 사업장 설립 후 경과 연도를 나타낸다. 공정안전관리 대상사업장 2,162개소(2022년 기준)에서 설립으로부터 30년 이상은 602개소에 달하고 있다.

〈표 Ⅲ-3〉 공정안전관리 사업장 설립 후 경과 연도

설비 후 경과연도	계	10년 미만	10~19년	20~29년	30년 이상	기타
사업장수	2,162	397	520	469	602	129

기술지원 실시 대상을 획일적으로 선정하는 것은 어려움이 있으나 화학공장 장치설비의 설계수명은 통상적으로 최대 30년 이상으로 하고 있다. 설비의 마모고장이 발생하기 전에 대책이 필요하기 때문에 20년 이상 운영한 사업장에 대해서 기술지도를 하는 것이 적절하다고 판단된다. 장기간 화학설비에 대한 기술지원은 다음의 내용을 중점적으로 수행하는 것으로 구성하였다.

- 노후 화학설비의 건전성관리체계, 안전관리, 손상관리에 대한 정밀기술지원
- 설비해체의 경우 위험물 제거, 밸브차단, 맹판 설치, 환기 등의 작업계획서 및 작업허가서 적절성 검토
- 재가동 설비의 경우 위험성평가 결과, 가동 전 점검 결과, 재가동 절차서 등의 적절성 검토

〈표 Ⅲ-4〉와 같이 화학설비 건전성 안전관리 기술지원 세부내용을 제안한다.

〈표 Ⅱ-4〉 화학설비 건전성 안전관리 기술지원 세부내용

구분	세부내용
건전성 관리체계	<ul style="list-style-type: none"> • 건전성 관리를 위한 계획 수립 여부 • 건전성 관리가 필요한 장치·설비 명세 작성 여부 • 부식(Corrosion), 피로(Fatigue), 열화(Deterioration), 크리이프(Creep) 등 설비 손상 메커니즘 파악 여부 • 노후화 징후 발견 시 대응체계 유무(Asset Management 등) 여부
손상 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 화학설비 및 부속설비에 대한 점검(Inspection)여부 확인 • 저장탱크, 배관 등에 대한 위험설비의 위험기반검사 실시여부 확인 • 부식성, 독성가스 배관의 용접부 건전성 확인 • 압력용기, 배관의 비파괴검사 실시여부 및 결과에 대한 확인 • 전기, 제어 및 계장설비 관리의 적정성 확인
안전 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 정비·보수 운영부서(공무팀)의 정비·보수 체계 적정성 확인 • 화재·폭발·누출에 의한 건물의 위험영향 확인 • 건물 내 탄화수소, 독성물질의 감지시스템의 설치여부 확인 • 건물의 화재, 독성물질 누출에 의한 비상대응계획 수립여부 • 용자·보조금 등 지원 연계

3) 「공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정」의 개정안

현장관리자는 노후화 현상에 의한 위험요소를 발굴하기 위한 지속적인 노력이 요구된다. 장기간 사용 화학설비의 위험요소 발굴은 설비의 유지관리를 위한 점검 시 발굴하는 것이 효율적이라 판단하였다.

PSM 보고서 작성 시 활용하는 ‘공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정 (고시 제2023-1호)’의 별표 4 세부평가항목에 대하여 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위한 대책이 필요하다고 판단하였다.

별표 4 세부평가항목에는 유지관리에 관한 항목으로는 ‘설비의 점검·검사·보수 계획·유지계획 및 지침’의 항목이 있으며 총 12개 항목으로 구성되어 있다. 여기에 13번 항목으로 “노후화에 따른 열화, 부식, 마모 및 피로 등, 원래 존재하는 설비의 손상 및 기능적 능력 저하를 분석하여 예방정비에 활용하고 있는가?”를 추가할 것을 <표 III-5>과 같이 제안한다.

<표 III-5> 별표 4의 유지관리 관련 세부평가항목 개정안

현행	개정안
1~12 생략	1~12 생략 13. 노후화에 따른 열화, 부식, 마모 및 피로 등, 원래 존재하는 설비의 손상 및 기능적 능력 저하를 분석하여 예방 정비에 활용하고 있는가?

2. 사업장 지원 방안

1) ‘유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침’의 수정안

본 지침은 PSM 대상 사업장에서 많은 관리자가 설비 유지관리에서 참고하고 있으므로, 노후화 문제를 인식하는 데 실질적인 도움이 될 것으로 기대된다. 4.2항에 설비의 분류에서 노후화 설비 중 사고로 이어질 가능성이 높은 배관, 회전기기, 용기, 밸브가 모두 관리 대상이 포함되어 있음을 확인하였다.

(1) 용어의 정의

‘유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침(KOSHA Guide, P-93-2020)의 3항에 ‘점검’, ‘정비’, ‘예방 정비’, ‘예측 정비’, ‘고장 정비’, ‘유지관리’를 정의하고 있다.

본 지침에 ‘노후화’를 <표 III-6>과 같이 추가할 것을 제안한다. 노후화란 “설비의 사용기간을 말하는 것이 아니고, 그 설비를 사용한 기간 동안 재질의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의하여 손상을 입은 상태를 말한다. 원래 존재하는 속성에 대한 시간 의존적 또는 운영상의 변화가 포함됨. 변화는 손상 메커니즘으로 인해 발생함.”이다. 본 연구에서는 ‘노후설비의 관리에 관한 기술지침(KOSHA Guide, P-119-2012)’에서의 정의를 활용함과 동시에 손상이 라는 단어에서 설비의 변화를 포함할 필요가 있다고 판단하였다.

〈표 III-6〉 용어의 정의 개정안

현행	개정안
3. 용어의 정의 (1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다. (가) ~(사) 생략	3. 용어의 정의 (1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다. (가) ~(사) 생략 (아) “노후화”라 함은 그 설비를 사용한 기간 동안 재질의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의하여 손상을 입은 상태를 말한다. (손상은 원래 존재하는 속성에 대한 시간 의존적 또는 운영상의 변화가 포함됨. 변화는 손상 메커니즘으로 인해 발생함)

(2) 그룹별 중요도 등급

본 지침 4.4항에 기기 그룹별 중요도 등급화가 있다. 〈표 III-2〉에 따라 각 기기에 대한 중요도를 선정할 때, 단서 조항을 두어 (4.4항의 ‘마’항목에 추가하여) “20년 이상 경과 장기간 사용설비로 화재·폭발·누출 등 중대산업사고 발생 가능성이 있는 설비는 A등급으로 한다.”를 추가하는 것을 〈표 III-7〉와 같이 제안한다.

〈표 III-7〉 기기 그룹별 중요도 등급화 개정안

현행	개정안
4.4 기기 그룹별 중요도 등급화 (1) 생략 (2) 생략 (가)~(라) 생략 (마) A급은 기기고장이 공장의 운전(부분 또는 전부)정지 또는 중대산업사고를 일으킬 수 있는 경우	4.4 기기 그룹별 중요도 등급화 (1) 생략 (2) 생략 (가)~(라) 생략 (마) A급은 기기고장이 공장의 운전(부분 또는 전부)정지 또는 중대산업사고를 일으킬 수 있는 경우 (단, 20년 이상 경과한 노후화 대상설비로, 화재, 폭발, 누출 등 중대산업사고 발생가능성이 있는 설비는 A등급으로 한다.)

2) 장기간 사용 화학설비 안전관리를 위한 체크리스트(안)

본 연구를 실시하는 과정에서 장기간 사용설비 보유 사업장의 관리자들이 설비의 유지관리에 많은 어려움을 호소하고 있었다. 본 연구에서 조사된 일본과 미국의 체크리스트와 본 연구에서 조사된 위험요소와 KOSHA Guide를 종합하여, 장기간 사용 화학설비를 대상으로 점검 시에 활용 가능한 체크리스트를 도출하였다. 본 체크리스트는 안전관리체계, 정비보수 작업, 설비점검(펌프, 밸브, 배관, 탱크) 분야에 대하여 총 94개 항목으로 구성하였다.

장기간 사용 화학설비의 안전관리를 위한 체크리스트(안)의 일부 예를 <표 Ⅲ-8>와 같이 제시하였다[부록 7. 장기간 사용 화학설비의 안전관리를 위한 체크리스트(안)].

<표 Ⅲ-8> 장기간 사용 화학설비의 안전관리를 위한 체크리스트(안) 일부 예

Ⅲ. 설비 점검 분야	Yes	No
1. 펌프 상태 점검		
1) 패킹, 가스켓, 씰 등 접합부에서 누출이 발생하고 있습니까?		
2) 지지볼트가 느슨하거나 기초 받침대에 균열이 있습니까?		
3) 펌프의 방호장치가 느슨하거나 없어졌습니까?		
4) 펌프에서 비격거리는 소리가 나거나 과도한 진동이 있습니까?		
5) 보호코팅 열화(변색, 기포, 갈라짐, 벗겨짐 등)나 절연손상이 있습니까?		
2. 밸브 상태 점검		
1) 밸브의 노출된 스템에 부식이 있습니까?		
2) 밸브의 내부 부품 중 부식된 것이 있습니까?		
3) 핸드휠 또는 레버암이 없거나 느슨합니까?		
4) 밸브 위치 표시기나 리미트스위치가 구부러지거나 부러지거나 없어졌습니까?		
5) 릴리프 밸브에 밀봉장치가 손상되었습니까?		
6) 플랜지 접속부 또는 패킹에서 누출이 있습니까?		

IV. 결론



IV. 결론

본 연구에서는 우리나라 석유화학산업을 대상으로 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 방안을 제시하기 위해서, 산업안전보건법상의 규칙, 규정, 지침 등의 수정안을 제시하여 민관의 협업을 통한 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 도모하였다. 또한 사업장 관리자가 장기간 사용 화학설비를 점검 시에 활용할 수 있는 체크리스트(안)을 제안하였다.

1. 연구 결과

1) 선행 연구 조사

장기간 사용 화학설비의 안전관리에 관련된 문헌조사를 실시하였다. 노후 화란 「설비의 사용기간을 말하는 것이 아니고, 그 설비를 사용한 기간 동안 재질의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의하여 손상을 입은 상태」를 의미한다. 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보는 평상시 관리적·기술적·인적 측면을 포함하는 종합적인 대책이 필요하며 그 대책으로는 위험도기반검사(RBI) 기법이 권장되고 있었다.

2) 국내외 제도

국내외 제도를 조사한 결과, 산업안전보건법, 화학물질관리법, 고압가스안전관리법에 의해 기본적으로는 정기 점검을 통해 위험요소를 도출을 통한 대책을 강구하고 있었다. 특히 고압가스안전관리법에서 15년 이상 경과한 설비를 노후 설비로 정의하고 정밀안전점검을 실시하고 있었으며 위험도기반검사(RBI) 기법의 효율적 안전관리를 실시하는 사례가 있었다.

국외 제도를 분석한 결과, 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보는 법적인 제도보다는 사업장 설비관리를 지원하는 시스템을 구축하고 있었다. 구체적으로는 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위해 위험도기반점검(RBI) 기법과 같은 위험성평가를 통해 위험요소를 파악하도록 권유하고 있으며, 사업장 기술지원을 위해 설비 유지관리에 활용할 수 있는 체크리스트를 제시하고 있었다.

3) 국내외 사고 사례

국내 사고사례를 조사한 결과, 최근 5년간 장기간 사용 화학설비에서 사고가 증가하는 경향이 나타나고 있었다. 또한 일본에서는 장기간 사용 설비에 의해 지난 8년간 약 2배의 증가율을 나타내고 있었으며, 영국에서는 20년 이상 경과한 화학설비에서 사고가 급증하고 있음이 확인되었다.

4) 국내 장기간 사용 화학설비 관리 실태 파악

장기간 사용 화학설비의 관리자를 대상으로 관리 실태를 파악하기 위해 화학설비 보유 사업장을 대상으로 설문조사를 실시한 결과, 대부분 사업장에서 장기간 사용 화학설비를 보유하고 있으며, 많은 위험요소가 잠재되어 있음이 확인되었다. 구체적으로는 인적·기술적 부족에 의해 사후 보전관리과 같은 낮은 수준의 설비관리를 하고 있었다. 관리자는 설비의 안전성을 염려하여 행정적 및 기술적 정부 지원사업을 희망하고 있었다.

2. 제언

이상의 결과를 토대로 장기간 사용 화학설비 안전성 확보 방안을 위한 제언으로 다음과 같이 제시한다.

첫째, ‘산업안전보건법 시행규칙’에서 공정안전보고서를 제출하여 심사 및 확인의 과정에서 20년 이상 경과된 화학설비를 공단에 의해 확인이 필요하다고 판단하였다. 사업장 스스로 위험요소 발굴과 더불어 제3자에 의한 위험요소 발굴함으로써, 민관 협업에 의한 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 도모할 필요가 있다고 판단하였다.

둘째, ‘중대산업사고 예방센터 운영 규정’에서 공단에 의한 기술지원 대상에 장기간 사용 화학설비 보유 사업장을 포함하였다. 설문조사 결과, 기술적·인적 한계에 의해 행정적 지원사업을 희망하고 있었다. 본 연구에서는 지속적인 행정적 지원사업과 기술지도 내용에 대해서도 제언하였다.

셋째, ‘공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정’의 세부평가항목에 장기간 사용 화학설비에 대한 예방정비 항목을 추가하였다. 관리자가 설비점검 시 장기간 사용 화학설비에 존재하는 위험요소를 발굴하기 위해 노력하도록 하였다.

넷째, ‘유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침’에서 노후화를 정의하고, 20년 이상 경과한 화학설비는 중요도 등급을 A등급으로 하여 높은 수준의 유지관리를 하도록 유도하였다.

다섯째, 장기간 사용 화학설비 안전관리를 위한 체크리스트(안)을 제시하였다. 설문조사 결과, 사업장 관리자들이 설비의 유지관리에 어려움이 있음이 파악되었다. 장기간 사용 화학설비 점검 시에 활용 가능한 체크리스트를 제안함으로써, 쉽게 효율적인 안전관리에 도움이 되고자 하였다.

이상과 같은 제도 개선 및 기술지원 방안이 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보에 도움이 되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] 한국산업안전보건공단, 노후설비의 관리에 관한 기술지침(P-119-2012), 2012
- [2] 독일 원자력 기술위원회 사무국(KTA), 안전규정(KTA 1403), 2010
- [3] 미쯔비시케미칼(三菱ケミカルグループ), 노후화 생산설비에 있어서의 안전 대책 조사분석사업보고서(老朽化した生産設備における安全対策の調査分析事業報告書), 일본국 후생노동성(日本國 厚生労働省令), 2021
- [3] 권혜옥, 강홍민, 박선오, 박주원, 울산 국가산업단지의 화학사고 분석 및 예방전략, 한국공업화학회2022년 춘계학술대회, 2022
- [4] 정수민, 정창모, 강석민, 채승빈, 강승균, 고재욱, 위험성평가를 이용한 노후설비에 대한 비용 편익분석 방법, 한국가스학회, 84-92 2020: pp.84-92
- [5] 최수지, 김상길, 조규선, “화학공장 설비의 안전한 격리 표준 필요성에 대한 연구”, 산업진흥연구, 8, 37-46 (2023)
- [6] Rikkert J. Hansler, Linda J. Bellamy, Henk A. Akkermans, Ageing assets at major hazard chemical sites – The Dutch experience, Safety Science 153, pp.1-16, 2022
- [7] Maria F. M., Paolo B., Giuseppa A., Giuseppe S., Ageing Assessment and Management at Major-Hazard Industries, Chemical Engineering Transactions, 67. pp. 73-77, 2018
- [8] 일본고압가스보안협회, 사고통계, 2024

- [9] Health and Safety Executive, RR823, Managing Ageing Plant : Phase 1 Report, 2010
- [10] 한국산업안전보건공단, 압력용기의 잔여수명 평가에 관한 기술지침 (M-69-2012), 2012
- [11] 한국산업안전보건공단, 기기 및 배관의 부식관리 기술지침(M-116-2012), 2012
- [12] 한국산업안전보건공단, 고령화 설비의 손상평가와 수명예측에 관한 기술지침 (M-146-2012), 2012
- [13] 한국산업안전보건공단, 위험기반검사(RBI) 기법에 의한 설비의 신뢰성 향상 기술지침(P-15-2012), 2012
- [14] 한국산업안전보건공단, 화학설비의 건전성 모니터링에 관한 기술지침 (P-169-2020), 2012
- [15] 한국산업안전보건공단, 화학설비의 부식 관리문서 개발에 관한 기술지침(P-175-2021), 2012
- [16] 한국산업안전보건공단, 배관재질 선정에 관한 지침(D-41-2017), 2017
- [17] 일본 후생노동성(日本國 厚生労働省令), 화학물질 등에 의한 위험성 및 유해성 등의 조사 등에 관한 지침(化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針)
- [18] 일본 통상산업성(通商産業省令), 일반고압가스보안규칙(一般高压ガス保安規則)

- [19] 일본국 후생노동성(日本國 厚生労働省令), 설비 경년화에 의한 노동재해 리스크와 방지대책 (設備の経年化による労働災害リスクと防止対策), 일본국 후생노동성(日本國 厚生労働省令), 2022
- [20] Center for Chemical Process Safety, Dealing with Aging Process Facilities and Infrastructure, ISBN 9781119430834, CCPS, Wiley, 2018
- [21] Petroleum Institute, Risk-Based Inspection 2nd, American, API RP 580, 2009
- [22] Petroleum Institute, Risk-Based Inspection Technology 2nd, American, API RP 581, 2008
- [23] 한국산업안전보건공단, 유해위험설비의 점검정비유지관리에 관한 기술지침(P-93-2012), 2012
- [24] 공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정, 고용노동부 고시 제2023-1호, 대한민국 고용노동부, 2023
- [25] 중대산업사고 예방센터 운영 규정, 고용노동부 예규 제20230204호, 고용노동부, 2023



Abstract

Measures to ensure the safety of chemical facilities for long-term use

Objectives : A reasonable safety management plan is needed to prevent accidents due to the aging of long-term chemical facilities. Korea's petrochemical industry has grown in earnest since the 1970s, and major chemical industrial complexes have been built since the 1980s. Accordingly, the number of chemical facilities being used for a long period of time is increasing in industrial sites, and aging phenomena such as deterioration, corrosion, wear, and fatigue of facility materials are progressing.

In this study, to ensure the safety of chemical facilities for long-term use and to prevent accidents that may occur in aging facilities, facility maintenance measures that are helpful in workplace safety management are presented.

Method :

1) Previous studies

We conducted a literature search, including previous studies and reports at home and abroad, to investigate the current status of recent research and results of previous studies related to long-term use chemical facilities. Through a review of relevant domestic and international literature, we identify damage mechanisms, risk factors, and safety measures for facility management in long-term chemical facilities, and derive meaningful implications for suggesting measures to ensure safety.

2) Domestic and international law analysis

Investigate the safety management system for long-term use chemical facilities under the domestic Occupational Safety and Health Act, Chemical Safety Management Act, and High Pressure Gas Safety Management Act.

Research the systems for ensuring the safety of long-term chemical facilities used in advanced countries such as Japan, the United States, and the United Kingdom through literature and the Internet.

3) Analysis of domestic and international accident cases

To investigate domestic accident cases, we use data from the Korea Occupational Safety and Health Agency to investigate chemical facility accidents caused by equipment damage such as corrosion and cracks that occurred at workplaces subject to PSM submission. For overseas

accident cases, research reports and public institution websites are used. A survey was conducted.

4) Identify the status of chemical facility management

A survey was conducted to determine the current status of management of long-term chemical facilities in domestic chemical facilities. The survey was conducted on workplaces with long-term chemical facilities that participated in the “Chemical Facility Health and Safety Management Project” in the past year. The survey consisted of a total of 13 items regarding difficulties in identifying the status of facility management, identifying risk factors, and managing long-term chemical facilities.

Results :

1) Previous studies

A literature search related to the safety management of long-term chemical facilities was conducted. Obsolescence does not refer to the period of use of the equipment, but refers to the state of damage caused by material deterioration, corrosion, wear, fatigue, etc. during the period of use of the equipment. Securing the safety of chemical facilities for long-term use requires comprehensive measures including managerial, technical, and human aspects, and the risk-based inspection (RBI) technique was recommended as a measure.

2) Domestic and international law analysis

As a result of investigating domestic and overseas systems, it was found that measures were being taken by deriving risk factors through regular inspections under the Occupational Safety and Health Act, Chemical Substances Control Act, and High Pressure Gas Safety Management Act. In particular, the High Pressure Gas Safety Management Act defines facilities that are older than 15 years as old facilities and carries out detailed safety inspections, and there have been cases of efficient safety management using the Risk-Based Inspection (RBI) technique.

3) Analysis of domestic and international accident cases

As a result of investigating domestic accident cases, there was a tendency for accidents to increase in long-term chemical facilities over the past five years. Additionally, in Japan, the rate of increase has been approximately two-fold over the past eight years due to long-term use of facilities, and in the UK, it has been confirmed that accidents are rapidly increasing in chemical facilities that are over 20 years old.

4) Identify the status of chemical facility management

As a result of conducting a survey of workplaces with chemical facilities to understand the management status of managers of long-term chemical facilities, it was confirmed that most workplaces have long-term chemical facilities and that many risk factors are potential. . Specifically, due to human and technical

shortages, low-level facility management such as post-maintenance management was being performed. The manager was concerned about the safety of the facility and was hoping for administrative and technical government support projects.

Conclusion : Based on the above results, the following suggestions are presented to ensure the safety of chemical facilities for long-term use.

First, in the process of review and confirmation by submitting a process safety report under the 'Enforcement Rules of the Occupational Safety and Health Act', it was determined that chemical facilities that were over 20 years old needed to be confirmed by the Corporation. It was determined that it was necessary to ensure the safety of long-term chemical facilities through public-private collaboration by disc

Second, in the 'Serious Industrial Accident Prevention Center Operation Regulations', businesses with long-term use chemical facilities are included in the scope of technical support provided by the Corporation. As a result of the survey, there was a desire for administrative support projects due to technical and human limitations. This study also proposed ongoing administrative support projects and technical guidance.

Third, preventive maintenance items for long-term use chemical facilities were added to the detailed evaluation items of the 'Regulations on submission, review, confirmation and implementation status evaluation of process safety reports, etc.'

When inspecting facilities, managers were asked to make efforts to discover risk factors that exist in long-term chemical facilities.

Fourth, obsolescence was defined in the ‘Technical Guidelines for Inspection, Maintenance and Maintenance of Harmful and Dangerous Facilities’, and chemical facilities older than 20 years were given an importance level of A, leading to a high level of maintenance.

Fifth, a checklist (draft) for long-term use chemical facility safety management was presented. As a result of the survey, it was found that workplace managers had difficulty maintaining facilities. By proposing a checklist that can be used when inspecting long-term chemical facilities, we aimed to help with easy and efficient safety management.

It is hoped that the above system improvement and technical support measures will help ensure the safety of chemical facilities for long-term use.

Key words :

Safety, Chemical facilities, Long-term use, Equipment maintenance

부록 1. KOSHA Guide 분석 결과

KOSHA GUIDE	목적	내용 분석
노후설비의 관리에 관한 기술지침	<p>목적 용어의 정의*1) 관리하여야 할 노후설비*2) 노후화 메커니즘*3) 노후화 설비 관리 전기 및 제어 시스템에 대한 특수 지침</p>	<p>*1) 용어 정의에 노후화를 정의하고 있음. *2) 관리대상설비는 압력용기, 탱크 및 관련 배관 설비, 안전관리 설비, 전기 및 계장 설비, 구조물 등을 대상으로 하고 있다. *3) 취급 유체가 재질에 미치는 영향 및 메커니즘을 소개하면서 대책까지 언급하고 있다. 하지만, 현장 근로자에게는 높은 수준의 기술력을 요구하고 있음. 내용의 해설 및 구체적인 사례를 소개를 포함하는 가이드라인의 지속적인 개선이 필요함.</p>
유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침	<p>목적 적용범위 용어의 정의 구성기기의 우선순위 등급 기기의 점검 기기의 결함관리 기기의 정비 기기 및 자재의 품질관리 외주업체의 관리 설비의 유지관리</p>	<p>설비를 분류하여 그룹별로 나누고, 그룹별 중요도를 정하여 관리하고 있다. 특히 중요도가 높은 A 또는 B등급에 해당하는 기기는 절적인 시기에 안전한 방법으로 정비를 수행해야 한다.</p>

<p>압력용기의 잔여수명평가에 관한 기술지침</p>	<p>목적 적용범위 용어의 정의 부식률의 결정 *1) 최대허용사용압력의 결정 부식영역분석의 적합성 검사 범위, 주기 및 빈도 원통 동체와 동체의 구형부분 내 국부적인 얇은 부위 압력용기의 검사기록 서식 (예) *2)</p>	<p>외부검사 및 내부 검사 실시 방법을 소개하면서, 장기간·단기간 부식률 및 잔여수명 등을 정량적으로 소개하고 있음. *1) 부식률의 결정에 공인된 검사원이 필요함. 자율안전에 모순됨. *2) 양식은 제공되어 있으나, 내용 해설 및 구체적인 실제 적용사례의 소개가 부족함. 사업장의 자율안전을 위해서는 근로자 밀착형 가이드라인이 요구됨.</p>
<p>기기 및 배관의 부식관리기술 지침</p>	<p>목적 용어의 정의 일반사항 부식시험의 종류 및 적용 부식률 결정 부식진단 방법 부식방지대책 부식방비 관리</p>	<p>매설 배관 부식 진단 흐름을 설명하고 있으나, 수명예측 판단기준에 있어 구체적인 사례 및 대책마련에 대해 현장 근로자가 이해하기에는 어려움이 있다고 판단됨. 특히, “정밀하게 실시할 것”, “적절한 진단방법으로 할 것” 등의 표현보다 더욱 구체적인 가이드라인이 필요함.</p>
<p>고령화 설비의 손상평가와 수명예측에 관한 기술지침</p>	<p>목적 적용범위 용어의 정의*1) 설비수명 일반 수명의 지배인자 경년손상*2) 수명예측의 기법*3)</p>	<p>*1) 고령화 설비는 누계운전시간 10만 시간 이상 경과 또는 가동/정지횟수가 2500회 이상인 설비로 정의하고 있음. 하지만, 노후 설비는 시간에 의존하지 않으며, 상태를 의미함. 타 지침과의 정합성이 부족함. *2) 경년 손상을 재료 전체의 특성 변화와 취성 변화만을 대상으로 하고 있음. *3) 수명 예측 기법은 언급되어 있으나, 현장 근로자가 실제적용에는 어려움이 예상됨. 쉬운 현장밀착형 가이드라인이 요구됨.</p>
<p>위험기반검사(RBI)기법에 의한 설비의 신뢰성 향상 기술지침</p>	<p>목적 적용범위 용어의 정의 위험기반검사(RBI)의 개요 RBI 수행 위험관리</p>	<p>RBI 기법 적용은 일부 대기업에서 실시되고 있으나, 중소기업은 시간적·기술적인 한계에 따라 RBI 실시에 어려움이 많음. 인적 물적 지원을 통하여 중소기업에 대한 행정적, 기술적 지원이 필요하다고 생각됨.</p>

<p>화학설비의 건전성 모니터링에 관한 기술지침</p>	<p>목적 적용범위 정의 화학설비의 건전성 모니터링 수행절차 화학설비의 건전성 모니터링 시스템 구축</p>	<p>부식성 유체를 사용하는 사업장에 대한 설비의 건전성을 모니터링하기 위한 수행절차 및 시스 템 구축 방법을 소개하고 있음. 현장 밀착형 가이드라인을 위해 내용 설명과 더불어 구체적인 사례 소개가 요구됨.</p>
<p>화학설비의 부식 관리문서 개발에 관한 기술지침</p>	<p>목적 적용범위 정의 부식 관리 문서 개발절차 부식 관리 문서 목록</p>	<p>외부검사 및 내부 검사 실시 방법을 소개하면 서, 장기간·단기간 부식률 및 잔여수명 등을 정량적으로 소개하고 있음. *1) 부식률의 결정에 공인된 검사원이 필요함. *2) 양식은 제공되어 있으나, 내용 설명 및 구 체적인 실제 적용사례가 요구됨. 사업장 자율안전을 위해서는 근로자를 위한 가 이드라인이 요구됨.</p>
<p>배관재질선정 에 관한 지침</p>	<p>목적 적용범위 정의 재질사양 재질선정 재질별 일반기준 플랜지 및 개스킷 선정기준</p>	<p>노후화는 설비의 재질과 취급물질 그리고 주변 환경(온도, 압력 등)에 의존하고 있음. 공정의 특성을 고려하여, 적합한 재질사양 선정에 도 움이 되는 가이드라인 임. 추후 공장 설계의 단계에서 참고하는 것이 필요하지만, 기존 설 비에 적용은 어려움이 예상됨.</p>

부록 2. 일본 장기간 사용 설비 대책 체크리스트

1. 설비면의 체크리스트	Yes	No
1. 설비의 보전과 경년화설비의 점검·수리		
1-1. 중요설비는 예방보전을 실행하고 있습니까?		
1-2. 기계의 자주점검을 정기적으로 실시하고 기록하고 있습니까?		
1-3. 검사결과에 근거하여 부품교환, 설비갱신을 계획적으로 실행하고 있습니까?		
1-4. 경년화설비의 갱신기간을 정하고 있습니까?		
1-5. 설비에 등 경년화 (부식)의 검사를 실행하여, 열화부분의 재도장, 보수, 갱신을 등을 실행하고 있습니까?		
1-6 열화부분은 출입금지장치 등의 조치를 취하고 있습니까?		
2. 기계와 작업자의 접촉방지 대책		
2-1. 운동기, 회전축, 벨트 등의 격리 대책, 방호커버 등을 설치하고 있습니까?		
2-2. 설치한 방호책, 방호커버 등은 손과 손가락이 들어갈 수 없는 구조로 되어 있는가?		
2-3. 방호망, 보호커버를 벗기고 작업하는 경우 안전대책을 강구하고 있습니까?		
2-4. 방호망, 방호커버를 벗기고 작업한 경우 작업완료후에 원래의 위치로 돌려놓고 있습니까?		
3. 작업 시의 기계 정지대책		
3-1. 방호망의 문, 방호커버 등을 개방하면 기계가 자동정지하는 인터록이 있습니까?		
3-2. 광선식, 안전 스위치 등의 전기식 안전장치 등의 작동확인을 하고 있습니까?		

니까?		
3-3. 비상시 정지 스위치는 작업자 근처에 설치되어 있습니까?		
3-4. 복수의 작업자가 작업하는 경우, 상호 정보전달방법을 정하고 있습니까?		
3-5. 방호책의 문, 방호커버를 개방할 경우, 전원잠금 등의 안전대책을 실시하고 있습니까?		
4. 경년화설비의 안전대책		
4-1. 경년화설비의 안전대책은 최신의 안전수준에 적합하게 개선되어 있습니까?		
4-2. 최신 안전수준에 맞추기 어려운 경우, 잠정적인 대책을 강구하고 있습니까?		
5. 자동화장치의 안전대책		
5-1. '자동화'를 실시한 기계는 재해방지대책을 검토하고 있습니까?		
5-2. 산업용 로봇 가동범위 내에 작업자가 출입할 수 없는 구조입니까?		
II. 관리면의 체크리스트	Yes	No
1. 안전위생관리체계		
1-1. 안전위생관리규정을 작성하고 있습니까?		
1-2. 연간 실시하는 안전위생관리계획을 작성하고 있으며, 진행상황을 확인하고 있습니까?		
2. 경영톱(사장, 안전담당 임원 등)의 적극적 관여		
2-1. 안전위생에 관한 회사방침을 경영 톱이 전사원에게 전달하고 있습니까?		
2-2. 경영톱에 의한 공장의 안전위생순시를 정기적으로 실시하고 있습니까?		
3. 사업장 톱(사업소장, 공장장 등) 의 책임		
3-1. 사업장톱이 기계설비의 위험성평가의 실시에 총괄관리를 하고 있습니까?		
3-2. 사업장 톱이 위험성평가의 리스크의 평가결과, 리스크 저감대책의 적절성을 확인하고 있습니까?		

3-3. 사업장 톱은 거대한 잔류 리스크가 있을 경우에 응급대응책의 적절성을 확인하고 있습니까?		
3-4. 사업장톱은 정기적으로 각 직장의 안전점검을 실시하고 있습니까?		
4. 위험으로의 감성 향상, 규정 준수의 철저		
4-1. 경험연수가 적은 제조현장의 위험에 대한 감성이 부족한 인재에 대하여, 감성을 높이기 위한 교육과 훈련을 실시하고 있습니까?	위험예지훈련	
	위험체감 설비를 사용한 체험교육 아차사고 발견 활동을 통한 위험장소, 위험작업의 교육 및 지도	
4-2. 관리자, 고경력 사원이 젊은 사원에게 재해사례에 근거하여 안전 규칙의 배경이유를 가르치고, 안전규칙 준수를 지도하고 있습니까?		
4-3. 불안전행동을 관리자가 묵인하지 않고 주의하고 있습니까?		
5. 협력회사 사원의 노동재해방지		
5-1. 사업장내의 협력회사와는 안전위생위원회, 안전위생협력회 등으로 사업장의 안전위생방침을 공유하고, 안전위생활동을 사원, 협력회사 사원 모두 일체되어 실행하고 있습니까?		
5-2. 협력회사사원에게 출입 시에 교육을 실시하고 있습니까?		
5-3. 협력회사에게 위탁한 작업의 안전작업매뉴얼을 작성하여 교육하고 있습니까?		
5-4. 원청 사업자(발주사업자)는 사업장내에 존재하는 잔류된 위험물과 유해 물질을 정리하고 있습니까?		
6. 위험성평가		
6-1. 위험성평가의 실시체계·실시순서·위험도의 산출방법 평가기준을 정하고 있습니까?		
6-2. 위험도의 견적 및 평가는 위험발생의 가능성이 낮더라도 영향이 큰 경우에는 리스크가 크다고 평가되도록 배려하고 있습니까?		
6-3. 위험성평가는 기계설비 도입 시, 생산방법 등의 변경 시, 기존 설비의 개조 시, 기존설비는 정기적으로 실시하고 있습니까?	도입 시	
	변경 시	

	개선 시		
	정기적		
6-4. 안전관리자, 위생관리자, 직장의 관리자 등이 위험성평가 실시를 관리하고 있습니까?			
6-5. 생산/보전부분의 기술자, 기계에 관여한 전문적인 지식을 가진 전문가를 위험성평가에 참가시키고 있습니까?			
6-6. 기계의 작업내용을 상세하게 파악하고 있는 경험자를 위험성평가에 참가시키고 있습니까?			
6-7. 기계설비의 위험성평가 검토회의 등에 현장 작업자를 참가시켜 의견교환 및 평가결과를 알리고 있습니까?			
6-8. 작업매뉴얼에 따라, 기계의 고장·이상·잘못·작업 실수 등을 가정하여 위험성평가를 실시하고 있습니까?	고장·이상		
	잘못·실수		
6-9. 안전 순찰, 아차사고, KYT 등의 정보를 위험성평가에 반영하고 있습니까?	안전 순찰		
	아차사고		
	KYT		
7. 위험성평가 결과에 근거한 대책실시			
7-1. 보호대책은 인간에게 의존하지 않고 기계설비적 대책에 우선하여 실시하고 있습니까?			
7-2. 보호대책을 신속하게 적용할 수 없을 때에는 본격적으로 대응시기를 명확히 하고 임시대책을 취하여 작업자에게 설명하거나, 사용금지를 하고 있습니까?			
7-3. 실시한 결과는 정식으로 사내문서로 기록되어 있습니까?			
Ⅲ. 작업면의 체크리스트		Yes	No
1. 정상작업 시의 안전			
1-1. 안전위생대책을 포함하여 작업매뉴얼을 작성하고 있습니까?			
1-2. 작업매뉴얼의 작성시 등에 설계부문, 제조사로부터 사용상의 주의사항을 받아들여, 작업의 위험·유해요인을 확인하고 리스크의 저감조치를 실시하고 있습니까?			

1-3. 작업개시 전에 설비·기계 등의 안전점검을 실시하고 있습니까?		
1-4. 작업개시 전에 위험예지(KY)를 실시하고 있습니까?		
1-5. 운전 중의 회전체 등으로의 접근작업을 할 경우에는 정해진 도구를 이용하고 있습니까?		
1-6. 부착·이물질 제거 작업의 작업매뉴얼을 작성하여, 교육하고 있습니까?		
2. 비정상적 작업 시(고장, 수리, 점검 등)의 안전		
2-1. 작업개시전의 위험예지를 실시하고 있습니까?		
2-2. 비정상작업의 작업매뉴얼을 작성하고 있습니까?		
2-3. 작업매뉴얼에 근거하여 교육을 작업자에게 실시하고 있습니까?		
2-4. 기계의 수리·청소, 검사·급유·조절 시에는 정지하여 작업하고 있습니까?		
2-5. 상기 (4)의 작업 시에 기계를 정지하고 있습니까?		
2-6. 정지한 기계의 근원 전원을 차단하고 잠금장치를 하였는가?		
2-7. 기계를 정지한 후 작업을 하는 경우에는 "점검 중·가동금지"등을 표시하여, 뜻하지 않게 가동되는 것을 방지하고 있는가?		
2-8. 돌발사태 발생 시에는 즉시 관리자에게 통보하여 관리자의 지시에 따라 대응하는 것을 정하고 있는가?		
IV. 체크리스트에 의한 실태 파악과 반영	Yes	No
1. 체크리스트에 의한 실태 파악과 반영		
1-1. 설비와 작업의 실태를 항상 파악하기 위하여, 정기적으로 체크리스트 등에 의한 체크를 실시하고 있는가?		
1-2. 아차사고 및 사고가 발생했을 때 그 원인 및 위험요소를 분석하고 있는가?		
1-3. 실태를 파악하여, 위험성평가 체계 및 평가 기준을 지속적으로 재점검하고 있는가?		

부록 3. CCPS 문헌 목차와 주요내용

목차	주요 내용
1. 서론 1.1 들어가기 1.2 목적 1.3 노후화: 부식, 원인과 발생 1.4 손상 발생 메커니즘	<ul style="list-style-type: none"> • 노후화는 여러 현상으로 손상발생을 의미한다. • 금속 재질 특성에 의한 부식, 자연환경에 의한 부식, 방화도 하나의 손상이 될 것이다. • 제조상의 결함에 의한 부식도, 피로와 같은 취성에 의한 부식도 있으며, 비금속도 노후화가 진행된다. • 화학적, 물리적인 공정상의 노후화, 전기기기의 전압의 저하와 같은 노후화도 생각할 수 있다. • 장기간 사용에 따라 다양한 손상의 형태가 있다.
2. 노후화 설비의 실패, 원인과 발생 메커니즘 2.1 설비의 실패와 메커니즘 2.2 설비 사고 메커니즘 2.3 재료에 따른 실패 2.4 시스템 기능 노후화 2.5 노후화 구조	<ul style="list-style-type: none"> • 노후화 설비가 실패하는 원인과 그 발생 메커니즘을 소개하고 있다. • 물리적 변화는 물질의 변형, 금속피로, 부식, 침식, 소음발생등, • 노후화 현상의 발생 메커니즘을 소개함과 동시에, 재료의 능력 저하에 따른 금속재료가 파열된 사례를 소개.
3. 플랜트 관리 위원회와 책임 3.1 안전문화 향상 3.2 설비관리의 새로운 도전 3.3 노후화 공정과 기능 측정의 모니터링 3.4 인력 요인 3.5 설비 수명 및 교체	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트의 관리에 대하여 소개하고 있다. • 노후화는 우리가 경험하지 못한 새로운 시대를 맞이하고 있으며, 관리적 측면에서 새로운 도전을 시도해야 함. • 예를 들어, 설비 공정에서 실시간 모니터링을 통한 관리와 같은 형태로 설비관리 형태가 변화해야 함. • 인적 요인도 중요하다. 노후화에 따른 현장의 손상을 경험한 근로자는 새로운 경험을 가지게 되고, 다른 근로자와의 정보공유 등 인적 인 요인의 관리가 중요해진다. • 설비의 수명 및 교체 시기를 결정하는 것도 중요하다. 보통 30년 정도를 수명으로 생각하지만, 그 이상을 사용하게 되는 경우가 많다. 관계자들과의 협업의 중요성이 커진다.

<p>3.6 비즈니스에 있어서의 노후설비의 중요성 3.7 공정 결정에 노후화의 현주소</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 노후설비 관리에 실패하면, 사업장 전체가 섯다운(Shutdown)될 수도 있다. 경영 전체에 미치는 영향을 고려하면서 설비관리를 실시해야 한다. • 전기, 가스 등 기본 인프라에 노후화 문제가 존재하고 있다.
<p>4. 리스크 기반 결정(Risk Based Decisions) 4.1 리스크관리 기본 4.2 리스크 기반 결정 4.3 리스크 기반 결정의 적용하는 방법 4.4 리스크 기반 관리의 허용범위 4.5 받아들이지 못하는 사건의 취급 4.6 리스크 기반 결정 성공 매트릭스</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 노후화의 결정은 위험기반에 의해 결정되어야 한다. (현재 국내에서도 이미 도입된 위험기반검사(RBI)와 동일한 내용)
<p>5. 설비와 인프라의 라이프사이클 관리 5.1 라이프 사이클 단계 5.2 라이프 사이클 관리의 이익 5.3 일반적인 주요 관심사항 5.4 설비의 전주기에 있어서의 예측 5.5 인프라의 특별 주제</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 장기간 사용 설비의 관리는 설비의 전체 라이프 사이클에 의해 관리되어야 한다. • 설비의 라이프 사이클의 각 단계에서 그 시기에 맞는 적절한 관리가 이루어져야 한다. • 관리측면에서 새로운 방안이 제시되어, 설비의 장기간에 걸친 계획이 있어야 한다. • 기존보다 라이프 사이클의 증가에 따른 파손이 증가하고 있어, 보수 공사후의 관리를 하는 경우가 많다. 이때 부분적으로 업그레이드 한 설비와 지속적으로 오랜 시간 사용한 설비와 충돌이 예상된다. • 또한, 설비의 장기간 미사용에 따른 보관의 문제 및 시운전 문제가 발생한다. • 설비는 정해진 평균수명이 있으나, 설비 수명 마감에 다가오면 실패 가능성 급격히 커진다. • 유지관리 방법에 따라 설비 수명의 증가가 달라진다.
<p>6. 라이프 사이클 관리에 대한 물질의 관리와 감시</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 기대수명이 40년 이상을 사용하는 설비도 사용기간에 지속적인 모니터링이 필요하다. • 감시 및 설비관리 프로그램이 이루어져야 한다.

<p>6.1 감시 및 관리의 목적</p> <p>6.2 감시와 관리 프로그램 요소</p> <p>6.3 감시와 관리 프로그램 자원</p> <p>6.4 인프라 결과 흐름</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 주요대상은 <ul style="list-style-type: none"> - 정책, 규정, 기준, 실행과 절차 - 실패 모드, 피해, 위험에 근거한 감시 및 관리 계획 - 관리의 범위, 수리, 대체 등의 정의 - 감시 및 취급에 대한 자산 관리 코드 - 외부 평가에 의한 대응 - 실행 능력과 성공의 측정 - 감독 - 결과 보고 등이 된다. • 비록 설비관리 코스트가 발생하지만, 전체 경영적 측면에서는 코스트는 감소한다.
<p>7. 특정 노후 자산 무결성 관리 관행</p> <p>7.1 구조물(설비) 가치</p> <p>7.2 전기 기기 분포 및 조절</p> <p>7.3 지진: 도로, 저장소 및 철도</p> <p>7.4 해양설비두</p> <p>7.5 지중 시설</p>	<p>생략</p>
<p>8. 폐기, 해체, 제거</p> <p>8.1 개요</p> <p>8.2 위험</p> <p>8.3 최종 폐기 실행</p> <p>8.4 해체와 처분</p>	<p>생략</p>

부록 4. CCPS 체크리스트 예시

기계적 - 펌프	Yes	No
1. 패킹(가스켓)이나 씬(접합부)에서 과도하게 누출이 발생하고 있습니까?		
2. 지지볼트가 느슨하거나 기초 받침대에 균열이 있습니까?		
3. 장비 가드가 느슨하거나 없어졌습니까?		
4. 삐걱거리는 소리가 나거나 과도한 진동이 있습니까?		
5. 보호 코팅 열화(변색, 기포, 갈라짐, 벗겨짐, 용해 등)나 절연 손상이 있습니까?		
기계적 - 밸브	Yes	No
6. 밸브의 노출된 스템이 부식되었습니까?		
7. 밸브의 내부 부품들 중 부식된 것이 있습니까?		
8. 핸드휠, 체인휠 또는 레버 암이 없거나 느슨합니까?		
9. 밸브 위치 표시기나 리미트 스위치가 부서지거나 없어졌습니까?		
10. 릴리프 밸브에 설치된 안전 와이어 밀봉 장치가 손상되었습니까?		
11. 플랜지조인트나 패킹에서 누출이 있습니까?		
기계적 - 배관 연결과 앵커	Yes	No
12. 누락되었거나 완전히 맞물리지 않은 플랜지너트, 스톱드 또는 볼트가 있습니까?		
13. 단열재 또는 젖은 단열재를 통해 스며드는 부식 얼룩이 있습니까?		
14. 파이프에 임시 차폐 장치가 걸려 있습니까?		
15. 갈라지거나 변형된 탄성 확장 조인트가 있습니까?		
16. 플라스틱 타이 랍이나 와이어 지지 파이프가 있습니까?		
기계적 - 배관 및 앵커	Yes	No
17. 투시창이 보입니까?		
18. 진동이 있습니까?		
19. 도료 떨어짐 및 접점불량이 있습니까?		

20. 정보가 누락되었습니까?		
21. 수분 침입 지점이 있습니까?		
22. 배관의 굽힘이 있습니까?		
23. 눈에 보이지 않는 부식이 있습니까?		
24. 지지대에서 벗어난 받침이 있습니까?		
25. 스프링 행거가 최저점에 도달했거나 최고점에 도달했습니까?		
26. 스프링 행거에 문제가 있는 게이지가 있습니까?		
27. 플랜지너트, 스테드, 또는 볼트가 없거나 완전히 체결되지 않은 것이 있습니까?		
28. 열 절연체를 통해 스며드는 부식 자국이나 젖은 열 절연물이 있습니까?		
29. 파이프에 임시 차양이 걸려 있습니까?		
30. 탄성 확장 조인트가 균열되거나 변형되었습니까?		
31. 파이프를 지지하는 플라스틱 타이 랍이 있습니까?		
기계적 - 탱크	Yes	No
32. 외부 지붕-지붕 배수 기능이 있습니까?		
33. 탱크 통풍구가 손상되고 막히지 않았습니까?		
34. 탱크 패드나 링 벽에 손상이 있습니까?		
35. 음극 보호 시스템이 설치되어 작동하고 있습니까?		
36. 외곽에 왜곡이나 하강의 징후가 있습니까?		
37. 탱크 벽의 외부나 사람이 들어가는 문의 볼트에 부식 생성물이 있습니까?		
38. 탱크패드에 손상은 있습니까?		
39. 제방 벽에 균열이 있습니까?		
40. 탱크 바닥 주변에 젖은 흔적이 있습니까?		
41. 보호 코팅 저하(변색, 기포, 균열, 벗겨짐, IR 용해 등)가 있습니까?		

부록 5. 설문조사

〈장기간 사용 화학설비의 안전성에 관한 설문〉 (안)

안녕하십니까? 바쁘신 와중에도 설문에 응해주신 여러분께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

본 설문지는 장기간 사용 화학설비의 화재폭발 사고로 인한 위험요소 발굴 및 근로자 안전성 확보 방안을 마련하기 위한 연구에 활용하기 위하여 화학산업에 종사자의 의견을 청취하기 위함입니다. 성실한 답변을 부탁드립니다.

[배경]

최근에 장기간 사용하고 있는 화학설비의 노후화에 의한 산업재해가 지속적으로 확인되고 있습니다. 화학산업에서 사고발생 시 대규모 피해로 이어질 수 있으므로 사회적으로 높은 안전성 확보가 요구되고 있습니다.

[노후화의 정의]

노후화의 문제는 단순히 사용시간이 얼마나 오래되었는가 보다는 현재 상태가 어떤지, 그리고 시간이 경과함에 따라 어떻게 설비가 변화하는지가 문제이다. 따라서 그 설비를 사용한 기간 동안 재질의 열화, 부식, 마모 및 피로 등에 의해 손상을 입은 상태가 원하는 수준에 도달되지 못함을 의미한다.

[주요 조사내용]

- 장기간 사용 화학설비에서의 위험요소는 무엇이라고 생각하십니까?

- 어떤 대책 또는 지원이 필요하다고 생각하십니까?

응답내용은 통계목적 외에는 사용되지 않습니다. 모든 정보는 익명으로 처리되고, 개인 및 소속 조직에 대한 어떠한 정보도 외부에 공개되지 않으며, 이로 인한 어떤 불이익도 없음을 약속드립니다.

1. 현재 근무하고 계신 사업장의 상시근로자 수는? ()
 - ① 5인 미만
 - ② 5~50인 미만
 - ③ 50~100인 미만
 - ④ 100~300인 미만
 - ⑤ 300인 이상

2. 현재 근무하고 계신 사업장이 PSM 대상 사업장입니까? ()
 - ① Yes (2-1 답변 필요)
 - ② No

- 2-1. PSM 등급은 어떻게 되나요? ()
 - ① P등급
 - ② S등급
 - ③ M+등급
 - ④ M-등급

3. 현재 사업장에서 보유하고 있는 설비는 무엇입니까? (복수 선택 가능)
 사용연수는 몇 년인가요? (알고 있는 범위 내에서 기입)

구분	보유 설비	사용연수			
		20년 미만	25~35년	30~40년	40년 이상
화 학 설 비	1 화학물질 반응 또는 혼합장치				
	2 화학물질 분리장치				
	3 화학물질 저장설비 또는 계량설비				
	4 열교환기류				
	5 화기를 직접 사용하는 열교환기류				
	6 화학제품 가공설비				
	7 분체화학물질 취급장치				
	8 분체화학물질 분리장치				
	9 화학물질 이송 또는 압축설비				

부 속 설 비	10	화학물질 이송 관련 설비				
	11	자동제어 관련 설비				
	12	비상조치 관련 설비				
	13	경보관련설비				
	14	폐가스 처리설비				
	15	분진처리설비				
	16	전기관련설비				
	17	기타 안전관련설비				

4. 취급 위험물질은 무엇입니까? (산업안전보건기준에 관한 규칙 별표1, 기준) (복수 선택가능)

- ① 폭발성 물질 및 유기과산화물
- ② 물반응성 물질 및 인화성 고체
- ③ 산화성 액체 및 산화성 고체
- ④ 인화성 액체
- ⑤ 인화성 가스
- ⑥ 부식성 물질
- ⑦ 급성독성물질
- ⑧ 기타 :

5. 화학설비 가동 중 어떤 문제가 발생하였을 때, 노후화에 의해 설비에 이상이 발생했다고 생각한 적이 있습니까? (아차사고 발굴관점에서) (예, 배관, 용기, 회전기계, 밸브 등의 형상변화, 균열(creak)발생, 작동 불량 등)

- ① 예 (5-1 답변 필요)
- ② 아니오

5-1. 이상현상(기능 손상)이 발생한 대상설비는 무엇입니까?

(대상설비를 기입해 주시길 바랍니다.)

- ① 배관 관련:
- ② 용기 :
- ③ 회전기계 :
- ④ 밸브 :
- ⑤ 기타 :

5-2. 이상현상(기능 손상)의 내용은 무엇입니까?

(예, 펌프에서 이상 진동 감지 등, 자유롭게 기술)

6. 귀하의 사업장에서 장기간 사용하고 있는 화학설비의 안전성에 대해 어떻게 생각하십니까?

- ① 노후화에 따른 안전성이 걱정된다.
- ② 안전성이 조금 걱정된다.
- ③ 걱정되지 않는다.
- ④ 완전히 걱정되지 않는다.
- ⑤ 기타 ()

7. 그 동안 장기간 사용되고 있는 화학설비의 안전성 확보를 위하여 어떠한 안전보건공단을 포함하여 정부지원 사업을 받은 적이 있습니까?

- ① 예 (7-1, 7-2 7-3 답변 필요)
- ② 아니오

7-1. 정부지원사업 내용은 무엇입니까?

()

7-2. 지원사업에 대해 만족하십니까 ?

- ① 예
- ② 아니오
- ③ 보통

7-3. 앞으로 계속 지원을 원하십니까?

- ① 예
- ② 아니오

8. 장기간 사용되고 있는 화학설비의 안정성을 위하여 향후 어떤 지원이 필요하다고 생각하십니까? (자유롭게 기술)

9. 노후화 설비의 안전성 향상을 위한 가이드라인이 필요하십니까?

- ① 절대적으로 필요하다.
- ② 보통이다.
- ③ 필요없다
- ④ 자금지원이 있으면 도움이 된다.

10. 산업안전보건법에 노후화 설비의 안전성 확보를 위하여 관련 조항 신설이 필요하다고 생각하십니까?

- ① 예 (10-1 답변 필요)
- ② 아니오
- ③ 잘 모름

10-1 필요하다면 어떤 규제가 필요하다고 생각하십니까?

11. Risk Based Inspection(RBI)를 실시하고 있으십니까?

- ① 예
- ② 아니오 (11-1 답변 필요)

11-1. 귀사에서 RBI를 실시하지 않은 이유는 무엇입니까?

- ① 도움이 되는 것을 알지만, 실시하기가 어렵다
- ② 우리사업장에는 다른 방법의 보전활동으로 충분하다.
- ③ 귀찮을 뿐, 안전관리에 도움이 되지 못한다.
- ④ RBI 기법을 들어본 적이 없다.
- ⑤ RBI 구축에 따른 비용이 많이 들어 적용할 수 없다.
- ⑥ 기타 :

12. 현재 보전활동은 어떻게 진행하고 있으십니까?

- ① 사후보전
- ② 예방보전(시간기준보전, Time Based Maintenance, TBM)
- ③ 예방보전(상태기준보전, Condition Based Maintenance, CBM)
- ④ 위험기반보전(Risk Based Inspection, RBI)
- ⑤ 어디에도 해당 안 됨. (잘 모름 포함)

13. 다음과 같은 기술지침(KOSHA GUIDE)을 알고 있으며, 업무에 참고하고 있습니까?

- 노후설비의 관리에 관한 기술지침
- 압력용기의 잔여수명 평가에 관한 기술지침
- 기기 및 배관의 부식관리 기술지침
- 고령화 설비의 손상평가와 수명예측에 관한 기술지침
- 위험기반검사(RBI) 기법에 의한 설비의 신뢰성 향상 기술지침

- ① 알고 있으며, 참고하고 있음.
- ② 모르고 있음.
- ③ 기타 ()

14. 법적 규제로 노후화 설비의 보전활동을 정하는 것에 대해서 어떻게 생각하십니까? (정기점검 방법, 설비 사용 기간 규정 등)

- ① 안전관리에 도움이 될 것이다.
- ② 안전관리에 별 도움이 되지 못할 것이다.
- ③ 잘 모름

15. 장기간 사용 화학설비의 안전성 확보를 위한 제언이 있으시다면 자유롭게 기술해주시오.

설문지에 협조해주셔서 감사합니다.

■ 개인별 응답결과

(1) A 응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	S
3.		가 가 ⑩ ⑪ 10~30
4.		가
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
7.		
8.		
8-1	가	
9.		
10.		
10-1	RBI	RBI
11.	,	,
12.		
13.		

(2) B응답자

1.		5~50
2.	PSM	
2-1.	PSM	M ⁺
3.		가 10 가 ⑩ 10~30
4.		
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
6-1		가
6-2		
6-2		
7.		
8.		
8-1	가	
9.		
10.		
10-1	RBI	RBI
11.	,	
11-1		
12.		
13.		

(3) C응답자

1.		5~50
2.	PSM	
2-1.	PSM	M ⁺
3.		가 가 ⑬ ⑭ 10~30
4.		
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
6-1		
6-2		
6-2		
7.		
8.		
8-1	가	
9.		
10.		
10-1	RBI	RBI .
11.	,	,
11-1		
12.		
13.		가

(4) D응답자

1.		100~300
2.	PSM	
2-1.	PSM	S
3.		가 가 ⑬ ⑭ 30
4.		가
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
6-1.		
6-2.		
6-2.		
7.		
8.		
8-1.	가	
9.		
10.		
10-1.	RBI	
11.	,	,
11-1.		
12.		
13.		가

(5) E응답자

1.		5~50
2.	PSM	
2-1.	PSM	M*
3.		가 ⑬ ⑭ 30 가 10
4.		
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
6-1		
6-2		
6-2		
7.		
8.		
8-1	가	
9.		
10.		
10-1	RBI	
11.	,	,
11-1		
12.		
13.		

(6) F응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	S
3.		가 가 ⑬ ⑭ 30
4.		가
5.		
5-1.		
5-2.		,
6.		
6-1.		
6-2.		
6-2.		
7.		가
8.		.
8-1.	가	
9.		()
10.		
10-1.	RBI	
11.	,	,
11-1.		
12.		
13.		

(7) G응답자

1.		100~300
2.	PSM	
2-1.	PSM	P
3.		가 가 ⑩ ⑪ 10~30
4.		
5.		
5-1.		
5-2.		, ,
6.		
6-1.		
6-2.		
6-2.		
7.		RBI
8.		
8-1.	가	
9.		
10.		
10-1.	RBI	
11.		, ,
11-1.		
12.		
13.		

(8) H응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	P
3.		가 가 ⑩ ⑪ 30
4.		가
5.		
5-1.		
5-2.		, ,
6.		
6-1		
6-2		
6-2		
7.		
8.		
8-1	가 가	
9.		
10.		
10-1	RBI	
11.		, ,
11-1		
12.		
13.		

(9) I응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	M ⁺
3.		가 가 ⑬ ⑭ 10~30
4.		
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
6-1.		
6-2.		
6-2.		
7.		
8.		
8-1.	가	
9.		
10.		
10-1.	RBI	
11.	,	,
11-1.		
12.		
13.		

(10) J응답자

1.		100~300
2.	PSM	
2-1.	PSM	S
3.		가 가 ⑬ ⑭ 30
4.		
5.		
5-1.		
5-2.		leak, LG, TG
6.		
6-1		PSM
6-2		
6-3		
7.		
8.		
8-1	가	
9.		
10.		
10-1	RBI	
11.		
11-1		
12.		
13.		가

(11) K응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	P
3.		가 가 ⑩ 10 30 ⑪ 10
4.		가 ,
5.		
5-1.		
5-2.		가
6.		
6-1		
6-2		
6-3		
7.		
8.		
8-1	가	
9.		
10.		
10-1	RBI	
11.		
11-1		
12.		
13.		

(12) L응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	P
3.		가 10 30 가 ⑬ 10
4.		가
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
6-1		
6-2		
6-3		
7.		, 가
8.		
8-1	가	
9.		
10.		
10-1	RBI	
11.	,	,
11-1		.
12.		.
13.		가

(14) N응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	P
3.		가 가 ⑬ ⑭ 30
4.		
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
6-1		
6-2		
6-3		
7.		가
8.		(TBM)
8-1	가	
9.		
10.		
10-1	RBI	
11.	,	,
11-1		
12.		
13.		

(15) O응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	P
3.		가 가 10~30 ⑬ ⑭ 10
4.		가
5.		
5-1.		
5-2.		가
6.		
6-1.		
6-2.		
6-2.		
7.		가
8.		
8-1.	가	
9.		(CBM)
10.		
10-1.	RBI	
11.	,	,
11-1.		
12.		
13.		

(16) P응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	P
3.		가 가 ⑬ ⑭ 10~30
4.		, 가 , '
5.		
5-1.		
5-2.		,
6.		
6-1		
6-2		
6-2		
7.		가
8.		
8-1	가	
9.		(CBM)
10.		
10-1	RBI	
11.	,	,
11-1		
12.		
13.		

(17) R응답자

1.		300
2.	PSM	
2-1.	PSM	P
3.		가 가 ⑬ ⑭ 10~30
4.		
5.		
5-1.		
5-2.		Leak,, Seal Leak
6.		
6-1		
6-2		
6-2		
7.		
8.		
8-1	가	
9.		(CBM)
10.		
10-1	RBI	RBI
11.	,	,
11-1		
12.		
13.		

(18) S응답자

1.		100~300
2.	PSM	
2-1.	PSM	S
3.		가 가 ⑰ 10~30 ⑰ 10
4.		가
5.		
5-1.		
5-2.		Leak,, Seal Leak
6.		
6-1		
6-2		
6-2		
7.		
8.		
8-1	가	
9.		(CBM)
10.		
10-1	RBI	,
11.	,	
11-1		
12.		
13.		,

(19) S응답자

1.		100~300
2.	PSM	
2-1.	PSM	P
3.		^⑩ 10 가 가 ^⑪ 10 ~30 가
4.		가
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
6-1		
6-2		
6-3		
7.		
8.		
8-1	가	가
9.		
10.		
10-1	RBI	:
11.	,	,
11-1		
12.		..
13.		

(20) T응답자

1.		50~100
2.	PSM	
2-1.	PSM	M+
3.		10 가 가 , ⑩ ⑪ 10 ~30
4.		,
5.		
5-1.		
5-2.		
6.		
6-1		
6-2		
6-3		
7.		
8.		
8-1	가	
9.		
10.		
10-1	RBI	,
11.		,
11-1		
12.		.
13.		가

부록 6. 전문가 의견 심층 청취

자문대상	국내 안전컨설팅 전문가 (A)
자문내용	<ul style="list-style-type: none"> • 노후화문제는 기본적으로 사용물질별, 설비재료별로 조사되어야 한다. 배관, 가스켓 문제는 사용 물질의 특성과 설비 재료의 특성에 따라 정리되어야 한다. • 실태보고서는 전부 육안에 의한 점검임. 신뢰도가 높지 않다. 외부 부식, 전선정리, 보고서, 절차확인, 서류 만 보았다. • 비정상적 작업은 공단에 보고하기로 되어 있다. 이 문제는 해결되고 있다고 보아도 좋다. • 화학적 변화는 물질별, 재료에 따라 결정된다. 물리적 변화는 온도 및 압력변화, 충격 등이 된다. 예를 들어, 특정 열매체유 사용 시, 일정 사용기간을 정한 후, 일정 시간 경과 시에는 RBI기법에 의해 관리해 나가야함. 대기업은 잘 관리를 하고 있다. • 대부분의 PSM 대상 사업장은 설비 자료가 존재한다. • 회전기계, 펌프 등 경과 관리카드가 필요하다. (회사, 모델명, 정비이력, 고장 발생빈도 등) • 노후화 대상은 기본적으로 회전기계, 임펠라, 쉘, 베어링, 배관, 모터, 냉각시스템 등을 생각할 수 있다. • 배관은 온도, 물질, 상태 등을 고려해야한다. • 회전기기는 주로 열매펌프가 문제가 된다. • 무기물질에서 문제가 발생한다. 황, 염산, 불산, 질산 등의 물질에서 문제가 발생한다. 대부분 대기업에서 사용하고 있다. 유기물질인 메탈올, 톨루엔 등에서는 부식 등의 문제가 잘 발생하지 않는다. • 가스켓의 문제는 부식이 문제이다. • 다른 이야기지만, 전기도 문제이다. 차단기가 주요 관리대상이다. • P&I를 보면 설비는 기본적으로 크게 5종류로 나누어진다. (용기, 회전기기, 배관, 계장 그리고, 전기이다.)

자문대상	일본 화학산업 안전관리자 (B)
자문내용	<ul style="list-style-type: none"> • 노후화문제는 기본적으로 설비 점검 담당 기술부에서 점검하는 부서에서 관계하고 있다. <ul style="list-style-type: none"> - 안전 스텝은 노후화 문제에 특별히 하는 것은 없다. - 설비의 중요도와 노후화의 심각정도에 따라 A, B, C, D로 나누어서 실시함. - 물론, RBI도 적극적으로 실시하고 있다. • 생산기술부, 환경안전부, 설비기술부 다 같이 함께 중요도를 포함하여, 등급을 정해야 하는데, 협력이 이루어지고 있지 않다. 많은 부분이 사내에서도 서로 비밀인 부분이 많다. 보전 기술력 또한 회사의 경쟁력이다. • 안전부서는 보전부서의 회의에 전혀 관여하지 않고 있다. 따라서 A, B, C, D의 등급을 어떠한 기준으로 실시하는지 파악하지 못하고 있다. • 아들회사, 손자회사와도 잘 협력이 되지 않고 있다. 특별히 문제가 있을 때 요청이 오면 그때 도와주고 있는 정도이다. • 안전부서는 기본적으로, 인터록이라든지, 보호장비를 검토해 주는 정도이다.

자문대상	일본 고압가스보안협회 전문가(C) -고압가스 관련 법 중심으로
자문내용	<ul style="list-style-type: none"> • 기본 개념은 '점검을 해라'라고 되어 있으며, 그 기준은 민간기준에 맡기고 있음. <ul style="list-style-type: none"> - 설비점검은 1년에 한번 보안검사를 하도록 되어 있음. - 화학적 현상인 부식 등에 의해 열화하는 것과 열화하지 않은 것으로 나누어 회사 자주기준을 정하도록 하고 있음. - 물리적 현상으로 피로파괴 또한 자주 기준을 가지고 관리하도록 하고 있음. - 참고로, 지진은 다른 기준에 관리하고 있음. (예를 들면, 10m 이상 배관은 설계 시 일정 기준을 지키도록 하고 있음.) '10년이 지나면, 20년이 지나면 ...'이라는 기준은 존재하지 않음. - 고압가스 관련법은 20년 전에 이름을 바꾸었다. 조사 및 검사하는 법에서 안전수준 향상을 위한 법으로 바뀌었음. '정해진 것을 실행했는가?'에서 스스로의 안전수준을 높이기 위해 노력하도록 유도하는 법으로 바뀌었음. • 관련 규정에 따라 부식에 대해서, 허용능력에 대해서 <ul style="list-style-type: none"> - 부식 및 응력을 흡수하는 배관에 대해서는 고시에 제시하고 있음. (일반고압가스보안규칙관계 예시 기준) - 특정설비에 대해서는 처음 설계부터 "특정설비검사규칙"에 따라 사용물질과 설비의 재질을 고려해서 설계해야 함. <p>예를 들어 적절한 재료, 가공방법, 용접방법 등을 통해 사용 온도 및 허용응력 등이 상세히 정해져 있음.</p>

자문대상	일본 안전공학과 교수 (D)
자문내용	<ul style="list-style-type: none"> • 기본적으로 행정부의 입장은 자율안전이다. • 화학산업 노후화문제는 행정부가 석유화학공업협회(약 20개 대형회사)와 일본화학공업협회(약 150개 중소기업포함)를 통하여 노후화에 관련하여 주의하라는 공문이 발송되고 있다. • 경세산업성, 소방청 등에서 각각의 회사를 상대로 연락하는 것이 아니라, 협회를 통하여 노후화에 문제를 지적하면서 주의하라고 조언할 뿐 강제 규제를 가하지는 않는다. • 기계 설비의 개념이 변화하고 있다. • 과거: 생산에 집중하여 기계를 설계하고, 유지관리하여 왔다. • 현재: 산업안전과 함께 산업의 지속적인 발전을 위하여 기계를 설계하고 유지관리하고 있다. <ul style="list-style-type: none"> - 설계의 단계에서 부터 사용 시의 안전이 확보되어야 한다. • 과거에는 기계설비에 대해 라이프 사이클을 고려하지 못하였다. • 시간이 흐름에 따라, 안전과 지속적 발전을 위한 다양한 규제의 필요성이 생겨나고 있으나, 법은 소급적용을 하지 못한다. 초창기에 설비를 허락하였으니, 이것을 지금 와서 사용하지 말라고 할 수 없다. 설비를 이렇게 긴 시간동안 사용할지를 미처 생각하지 못했다. • 노후화의 문제도 이런 맥락에서 생각해 볼 수 있다. • 규제를 가하는 것은 소급적용의 문제가 될 수 있다. • 노후화 문제는 재료의 문제이다. 안전관리의 문제가 아니다. <ul style="list-style-type: none"> - 고압가스 관련법은 20년 전에 이름을 바꾸었다. 조사 및 검사하는 법에서 안전수준 향상을 위한 법으로 바뀌었음. ‘정해진 것을 실행했는가?’에서 스스로의 안전수준을 높이기 위해 노력하도록 유도하는 법으로 바뀌었음.

부록 7. 장기간 사용 화학설비의 안전관리를 위한 체크리스트(안)

1. 안전관리체계 분야	Yes	No
1. 경영자 리더십		
1) 화학설비 안전관리에 관한 회사방침을 경영진이 전사원에게 전달하고 있습니까?		
2) 화학설비에 대한 관리기준이 작성되어 있습니까?		
3) 경영진에 의한 안전점검을 정기적으로 실시하고 있습니까?		
4) 화학설비를 안전하게 관리하기 위한 충분한 인력과 조직을 확보하고 있습니까?		
5) 경영진이 위험성평가의 리스크의 평가결과, 리스크 저감대책의 적절성을 확인하고 있습니까?		
6) 사업장 경영진이 노후화학설비 위험성평가의 실시에 대하여 총괄관리를 하고 있습니까?		
7) 경영진은 현저한 위험이 있을 경우에 비상조치계획의 적절성을 마련하고 있습니까?		
2. 위험성평가		
1) 위험성평가의 실시체계, 실시순서, 위험도의 산출방법, 평가기준을 정하고 있습니까?		
2) 위험도의 평가는 발생의 가능성이 낮더라도 영향이 큰 경우에 리스크가 크다고 평가되도록 기준을 마련하고 있습니까?		
3) 위험성평가는 기계설비 도입 시, 생산방법 등의 변경 시, 기존 설비의 개조 시 정기적으로 실시하고 있습니까?	도입 시	
	변경 시	
	개선 시	

4) 안전관리자, 보건관리자, 관리감독자 등이 위험성평가에 참여하고 있습니까?			
5) 생산/보전부분의 기술자, 기계에 전문적인 지식을 가진 전문가를 위험성평가에 참가시키고 있습니까?			
6) 기계의 정비작업 내용을 상세하게 파악하고 있는 경험자를 위험성평가에 참가시키고 있습니까?			
7) 기계설비의 위험성평가 검토회의 등에 현장 근로자를 참가시키고, 의견교환 및 평가결과를 공유하고 있습니까?			
8). 작업매뉴얼에 따라, 기계의 고장·이상·오조작·작업실수 등을 가정하여 위험성평가를 실시하고 있습니까?	고장·이상		
	오조작·실수		
9) 안전 순찰, 아차사고, 위험예지활동 등의 정보를 위험성평가에 반영하고 있습니까?	안전 순찰		
	아차사고		
	위험예지활동		
10) 경험이 적은 근로자를 대상으로 교육과 훈련을 실시하고 있습니까?	위험예지훈련		
	설비를 사용한 체험교육		
	아차사고 발굴 활동을 통한 교육 및 지도		
11) 관리자, 경험이 많은 근로자가 신규 근로자에게 재해사례를 기반으로 한 안전 규칙의 제정이유와 안전규칙을 알려주고 있습니까?			
12) 불안전행동을 관리자가 경고하고 있습니까?			
3. 위험성평가 결과에 근거한 대책 실시			
1) 보호대책은 인간에게 의존하지 안혹 기계설비적은 것에 우선하여 실시하고 있습니까?			
2) 보호대책을 신속하게 적용할 수 없을 때에는 본격적으로 대응시기를 명확히 하고 임시대책을 취하여 작업자에게 설명하거나, 사용금지를 하고 있습니까?			
3) 실시한 결과는 정식으로 사내문서로 기록되어 있습니까?			

4. 도급업체 안전관리		
1) 사업장내의 협력회사와 산업안전보건위원회 등 사업장의 안전관리기준을 공유하고, 사고예방활동을 근로자(도급업체 포함)에게 실시하고 있습니까?		
2) 도급업체 근로자에게 출입 시 안전교육을 실시하고 있습니까?		
3) 도급업체에게 위탁한 업무에 대한 안전작업매뉴얼을 작성하여 교육하고 있습니까?		
4) 원청 사업주(발주자)는 사업장내에 존재하는 위험요인과 유해화학물질을 관리하고 있습니까?		
5. 설비의 보전(유지·보수)		
1) 중요설비는 예방보전을 실행하고 있습니까?		
2) 기계의 자주점검을 정기적으로 실시하고 기록하고 있습니까?		
3) 검사결과에 근거하여 부품교환, 설비경신을 계획적으로 실행하고 있습니까?		
4) 경년화설비의 갱신기간을 정하고 있습니까?		
5) 설비 등에 경년화(부식)의 검사를 실행하여 열화부분의 재도장, 보수, 갱신 등을 실행하고 있습니까?		
6) 열화부분은 출입금지장치 등의 조치를 취하고 있습니까?		
7) 경년화설비의 안전대책은 최신의 안전수준에 적합하게 개선되어 있습니까?		
8) 최신의 안전수준에 맞추기 어려운 경우, 잠정적인 대책을 강구하고 있습니까?		

II. 정비보수작업 분야	Yes	No
1. 정상작업 시 안전		
1) 안전위생대책을 포함하여 작업매뉴얼을 작성하고 있습니까?		
2) 작업매뉴얼의 작성 시 등에 설계부문, 제조사로부터 사용상의 주의 사항을 받아들여 작업의 위험·유해요인을 확인하고 리스크의 저감조치를 실시하고 있습니까?		
3) 작업개시 전에 설비·기계 등의 안전점검을 실시하고 있습니까?		
4) 작업개시 전에 위험예지(KY)를 실시하고 있습니까?		
5) 운전 중의 회전체 등으로의 접근작업을 할 경우에는 정해진 도구를 이용하고 있습니까?		
6) 부착, 이물질 제거 작업의 작업매뉴얼을 작성하여 교육하고 있습니까?		
2. 비정상 작업 시(고장, 수리, 점검 등) 안전		
1) 작업개시전의 위험예지를 실시하고 있습니까?		
2) 비정상작업의 작업매뉴얼을 작성하고 있습니까?		
3) 작업매뉴얼에 근거하여 교육을 작업자에게 실시하고 있습니까?		
4) 기계의 수리·청소, 검사·급유·조절 시에는 정지하여 작업하고 있습니까?		
5) 정지한 기계의 근원 전원을 차단하고 잠금장치를 하였는가?		
6) 기계를 정지한 후 작업을 하는 경우에는 "점검 중·가동금지" 등을 표시하여 뜻하지 않게 가동되는 것을 방지하고 있는가?		
7) 돌발사태 발생 시에는 즉시 관리자에게 통보하여 관리자의 지시에 따라 대응하는 것을 정하고 있는가?		
3. 기계와 작업자의 접촉방지 대책		
1) 운동기, 회전축, 벨트 등의 격리책, 방호커버 등을 설치하고 있습니까?		
2) 설치한 방호책, 방호커버 등은 손과 손가락이 들어갈 수 없는 구조로 되어 있는가?		
3) 방호망, 보호커버를 벗기고 작업하는 경우 안전대책을 강구하고 있습니까?		
4) 방호망, 방호커버를 벗기고 작업한 경우 작업완료 후에 원래의 위치로 돌려놓고 있습니까?		
4. 작업 시 기계의 정지 방법		
1) 방호망의 문, 방호커버 등을 개방하면 기계가 자동정지하는 인터록이 있습니까?		
2) 광전자식 안전장치 등 전기식 안전장치의 작동확인을 하고 있습니까?		
3) 비상시 정지스위치는 근로자 인근에 설치되어 있습니까?		
4) 복수의 작업자가 작업하는 경우, 의사소통 방법을 정하고 있습니까?		

Ⅲ. 설비 점검 분야	Yes	No
1. 펌프 상태 점검		
1) 패킹, 가스켓, 씰 등 접합부에서 누출이 발생하고 있습니까?		
2) 지지볼트가 느슨하거나 기초 받침대에 균열이 있습니까?		
3) 펌프의 방호장치가 느슨하거나 없어졌습니까?		
4) 펌프에서 삐걱거리는 소리가 나거나 과도한 진동이 있습니까?		
5) 보호코팅 열화(변색, 기포, 갈라짐, 벗겨짐 등)나 절연손상이 있습니까?		
2. 밸브 상태 점검		
1) 밸브의 노출된 스템에 부식이 있습니까?		
2) 밸브의 내부 부품 중 부식된 것이 있습니까?		
3) 핸드휠 또는 레버암이 없거나 느슨합니까?		
4) 밸브 위치 표시기나 리미트스위치가 구부러지거나 부러지거나 없어졌습니까?		
5) 릴리프 밸브에 밀봉장치가 손상되었습니까?		
6) 플랜지 접속부 또는 패킹에서 누출이 있습니까?		
3. 배관 접속부 상태 점검		
1) 누락되었거나 완전히 맞물리지 않은 플랜지너트, 스테드볼트가 있습니까?		
2) 단열재 또는 젖은 단열재를 통해 스며드는 부식 얼룩이 있습니까?		
3) 파이프에 맹판(블라인드)이 설치되어 있습니까?		
4) 갈라지거나 변형된 탄성조인트가 있습니까?		
5) 플라스틱 타이랩이나 와이어지지 파이프가 있습니까?		
4. 배관 및 고정볼트 상태 점검		
1) 투시창이 보입니까?		
2) 진동이 있습니까?		
3) 도료의 탈락 또는 떨어짐이 있습니까?		
4) 정보에 누락이 있습니까?		
5) 수분 침입 지점이 있습니까?		
6) 배관에 굽힘이 있습니까?		
7) 눈에 보이지 않는 부식이 있습니까?		
8) 지지대에서 이탈한 배관이 있습니까?		
9) 스프링 행거가 최저점에 도달하거나 최고점에 도달했습니까?		
10) 스프링 행거에 문제가 있는 배관이 있습니까?		
11) 플랜지너트, 스테드 또는 볼트가 없거나 완전히 체결되지 않은 것이 있습니까?		

III. 설비 점검 분야	Yes	No
12) 보온재를 통해 스며드는 부식 흔적이나 젖은 흔적이 있습니까?		
13) 파이프에 정비를 위한 임시장치가 설치되어 있습니까?		
14) 탄성 조인트가 균열되거나 변형되었습니까?		
15) 파이프를 지지하는 플라스틱 타이랩이 있습니까?		
5. 탱크 상태 점검		
1) 고정형 탱크에 배수 기능이 있습니까?		
2) 탱크 통풍구가 손상되거나 막히지 않았습니까?		
3) 탱크 패드에 손상이 있습니까?		
4) 접지 보호 시스템이 설치되어 작동하고 있습니까?		
5) 방유제에 손상이나 붕괴의 징후가 있습니까?		
6) 탱크 외부 또는 근로자 출입구의 볼트에 부식이 있습니까?		
7) 탱크 주변에 고여 있는 물이 있습니까?		
8) 탱크 도장에 변색, 기포, 균열, 벗겨짐 등이 있습니까?		

연구진

연구기관 : 경일대학교 산학협력단
연구책임자 : 김동준 (교수, 경일대학교)
연구원 : 유병태 (교수, 한국교통대학교)
연구원 : 송동우 (교수, 한라대학교)
보조원 : 남민서 (석사과정, 한국교통대학교)
연구상대역 : 이한희 (차장, 산업안전연구실)

연구기간

2024. 05. 07. ~ 2024. 10. 31.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2024년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

장기간 사용 화학설비의 안전성 확보 방안
(2024-산업안전보건연구원-502)

발행일 : 2024년 10월 31일
발행인 : 산업안전보건연구원 원장 박승현
연구책임자 : 경일대학교 교수 김동준
발행처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원
주소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400
전화 : 052-703-0000
팩스 : 052-703-0000
Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>
ISBN : 979-11-93642-63-4
공공안심글꼴 : 무료글꼴, 한국출판인회의, Kopub바탕체/돋움체