

화학사고예방 정보교류 및 정책수립을 위한

# 화학시설검사 관련 국외 선진기술 습득 출장결과

2018. 12.

산업재해예방

안전보건공단

전문기술실



## I

**출장 목적**

- 엔지니어링 검사 및 검증 전문기관과 가스 및 오일 산업박람회를 방문하여 선진 검사기법에 대한 협의, 화학사고 예방을 위한 정책 및 기술자료 수집 등을 통해 공단에서 수행하고 있는 유해화학물질 취급시설 검사 및 안전진단 수준을 향상시키고자 함

## II

**출장 개요**

- 출장기간 : '18. 11. 26(월) ~ 11. 30(금) [3박 5일]
- 출장자: 4명
- 출장지: 싱가포르
- 출장일정

일 정	내 용
'18. 11. 26(월)	○ 출국 : 인천 → 싱가포르
'18. 11. 27(화)	○ Lloyd's Register 방문 및 기술협의
'18. 11. 28(수)	○ 가스 및 오일 산업박람회 참가 - 설비 수명관리, 위험성에 관한 세미나 및 전시회
'18. 11. 29(목)	○ ABS Consulting 방문 및 기술협의
'18. 11. 30(금)	○ 귀 국 : 싱가포르 → 인천

## 1 Lloyd's Register

### □ 개요

1) 설립년도 : 1986년

2) 소재지 : Level 9, 1 Fusionopolis Place, 138522 Republic of Singapore

3) 기관현황

Lloyd's Register Group에 속하며, 1986년 세계 최초로 영국인정 기관인 UKAS에 인증기관으로 등록한 이래 경영시스템 인증, 온실가스 검증 및 교육에 있어서 개척자 및 리더로서의 역할을 수행하여 왔으며, 현재는 50여개의 인정기관에 등록되어 120여 국가에서 인증업무를 수행하는 인증기관 임.

4) 주요업무

1760년 선박검사 기관으로 설립되었으며, 현재는 선박, 철도, 오일/가스, 경영시스템, 화학산업의 품질·안전·환경 및 사업 성과 개선을 위한 Risk Management 사업, 심사, 인증, 검증 및 교육 컨설팅을 실시하고 있음

### □ 주요내용

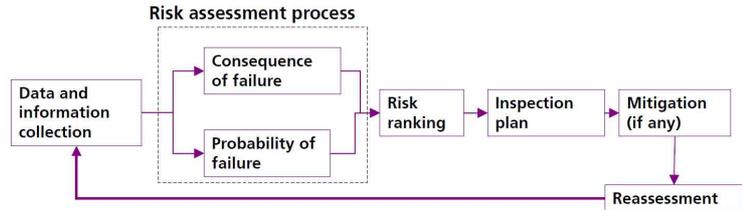
1) 화학공정의 위험기반검사(RBI)

- 설비의 고장발생 가능성과 사고피해 크기의 곱에 의해 결정되는 위험도에 의해 검사의 우선순위를 결정하는 기법
- 검사 및 유지·보수 계획의 수립, 관리, 시행에 위험성평가 이용

절 차	세부내용
-----	------

RBI 수행절차

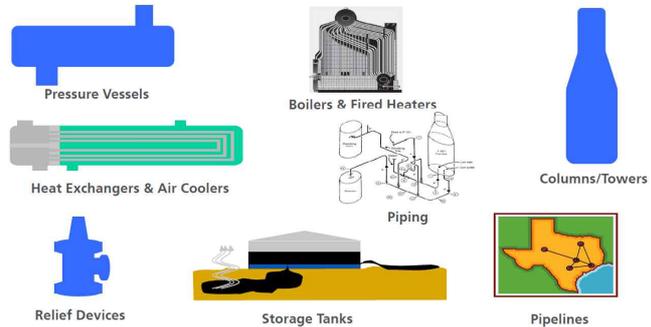
### Generic RBI Process



Note feedback - RBI is a dynamic process;  
RBI is not a one time project or a book on the shelf

RBI 주요장치 선정 및  
인벤토리

### RBI Fixed Equipment Groups



선정 장치 위험성평가  
등급결정

### Criticality Rating Matrix



부식 등 기계적 문제  
분류

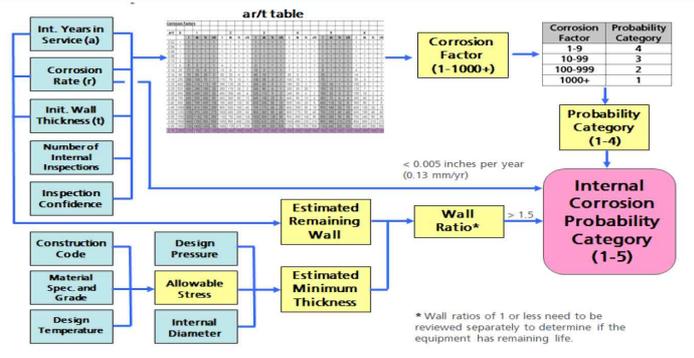
### Degradation Mechanisms and Effect Analysis (Corrosion Study)

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Internal Corrosion           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion Type</li> <li>• Corrosion Rate</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> Environmental Cracking           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amine Cracking (ASCC)</li> <li>• Carbonate Cracking</li> <li>• Caustic Cracking</li> <li>• Chloride Stress Corrosion Cracking (Cl SCC)</li> <li>• Deaerator Cracking</li> <li>• Hydrofluoric Acid (SOHIC, HIC, HSC)</li> <li>• Ammonia (NH<sub>3</sub>) Cracking</li> <li>• Polythionic Acid SCC (PTA)</li> <li>• Wet H<sub>2</sub>S (Blistering, SOHIC, HIC, SSC)</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> External Corrosion           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion Type</li> <li>• Corrosion Rate</li> <li>• Corrosion Under Insulation (CUI)</li> <li>• CUI Corrosion Rate</li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> Other Damage Mechanism           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brittle Fracture</li> <li>• Carburation</li> <li>• Creep</li> <li>• Erosion</li> <li>• Graphitization</li> <li>• Hot Hydrogen Attack</li> <li>• Hydrogen Embrittlement</li> <li>• Liquid Metal Embrittlement</li> <li>• Lining Failure</li> <li>• Mechanical Fatigue</li> <li>• Phase Change Embrittlement</li> <li>• Thermal Fatigue</li> <li>• Temper Embrittlement</li> </ul> </li> </ul> |
|--|---|

절 차	세부내용
-----	------

내부부식 관련 빈도 분류

### Internal Corrosion Probability



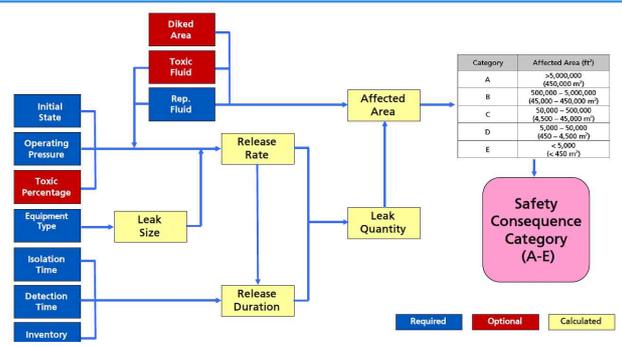
### Risk (Criticality) Assessment Process - Consequence

Consequence of Failure:

- Effect of Loss of Containment:
  - Injury or fatality (safety) due to release of flammable, toxic, or reactive material
  - Injury or fatality (safety) due to release of excessive pressure (“burst”)
  - Environmental damage (fines, cleanup)
  - Production Loss (plant down time)

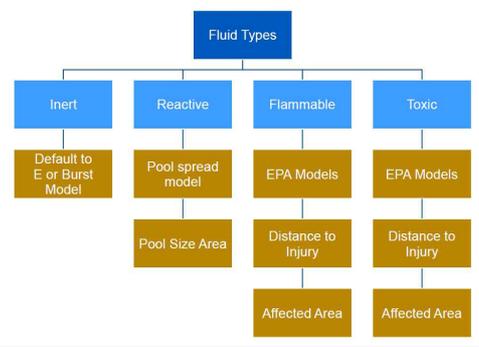
위험도 강도 결정

### Safety Consequence of Failure



결함에 대한 분류

### Representative Fluid Types



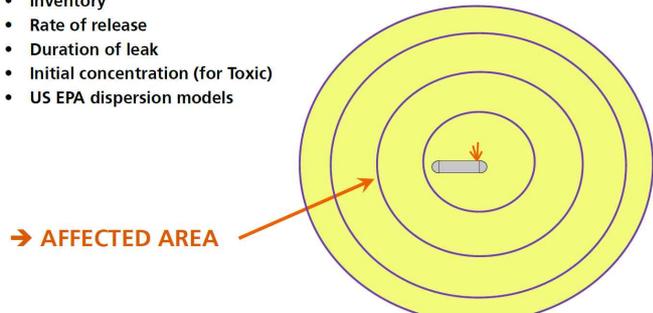
취급 유체 분류

절 차	세부내용
-----	------

결과에 따른 영향범위  
도출

### Safety Consequence of LoC - Affected Area

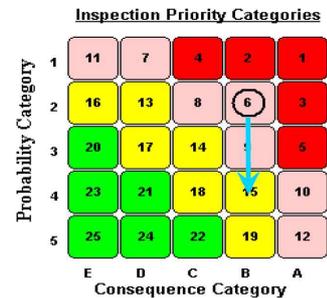
- Inventory
- Rate of release
- Duration of leak
- Initial concentration (for Toxic)
- US EPA dispersion models



위험도에 따른 위험등급  
결정

### Typical Risk Matrix

- Consequence is fixed for each equipment item
  - it can only change if the operation is changed (eg. less flammable, less toxic, lower operating temperature & pressure)
- Criticality can only be reduced by reducing Probability (by effective inspection)



위험도에 따른 검사

### Risk Management Through Inspection

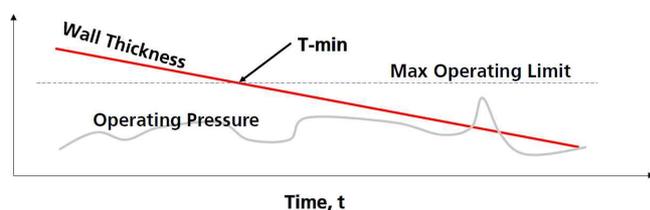
- Inspection plans are the primary output of an RBI assessment
- Inspection does not reduce risk directly, it simply improves the chances that you will detect and repair a deteriorating condition
- Four key factors influence the ability to detect a problem
  - Type of deterioration or mechanism
  - Rate of deterioration
  - Effectiveness of a technique to reveal the deterioration
  - Tolerance of equipment to the type of deterioration

위험도에 따른 검사 영향

### Effect of Inspection

- Inspection reveals damage mechanisms
- Inspection can measure some damage rates

This example is for corrosion; a time-dependent damage mechanism



절 차	세부내용
위험기반검사 적용	<p><b>RBI - Application</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Understand <u>all</u> damage mechanisms for each equipment item or part → Corrosion Study by Subject Matter Experts</li> <li>Understand rate of progression of damage <ul style="list-style-type: none"> <li>Statistical basis (API 581)</li> <li>Good record keeping</li> </ul> </li> <li>Find <u>effective</u> inspection methods for detecting each damage mechanism (inspection <u>confidence</u>)</li> <li>Understand range of options of inspection methods and relative effectiveness</li> <li>Nominate optimum inspection frequencies for each mode <ul style="list-style-type: none"> <li>“half life” principle (half remaining life based on corrosion rate &amp; UT thickness gauging)</li> </ul> </li> </ul>
위험기반검사를 통한 화학사고 예방	<p><b>RBI Evergreen</b></p> <p>AllAssets achieves and enables a sustainable business process within an environment to maintain an evergreen program</p>  <p>The diagram illustrates the AllAssets Loop, a sustainable business process. It consists of an outer cycle and an inner cycle. The outer cycle steps are: Analyze Equip. for Risk, Mitigate Risks, Prioritize Equip. Inspections, Plan Inspections, Conduct Inspections, Evaluate Equip. for Fitness for Service, Implement Recommendations, and Update Records. The inner cycle steps are: Plan, Perform, Evaluate, and Update. The text 'AllAssets Loop' is centered in the diagram.</p>

## 2) 화학산업의 Asset Management

- 빅데이터 및 4차 산업혁명으로 화학산업의 패러다임이 변함
  - 자산관리의 필요성 대두
- 자산관리를 통한 설비 설계수명 연장
  - 설비 노후에 따른 안전성과 경제성 대두
- 자산관리를 통한 리스크, 성능, 비용 등의 균형 필요
  - 기업이 안전만을 위한 투자가 아닌 기업의 생존을 위한 이윤 추구 등의 복합적인 여러 요소들의 균형이 필요
- 스마트한 자산관리(Smart Asset Management) 효과
  - 위험성평가 등 다양한 툴이 사용됨

- 화학산업에서 사고 등에 의한 손실
  - 공정 무결성과 자산 무결성으로 총괄도출

□ 시사점 및 특이사항

1) 화학공정의 위험기반검사(RBI)

- 위험도 계산을 통한 사고발생 가능성(LOF)과 사람, 재산 및 환경에 미치는 피해의 정도를 정량적으로 나타내는 사고피해 크기(COF)의 곱으로 위험등급을 결정함
- 위험등급은 고위험도(high), 중상위험도(high-medium), 중위험도(memium), 저위험도(low)로 구분함
- 위험도(RISK)는 인명손실, 설비의 파괴, 환경오염 등 사회·경제적인 위험까지 포함하고 있음
- 위험이 높은 경우 위험경감 방안을 구체적으로 고려함
  - 손상 메커니즘, 부식, 부식방지 미흡 시 재질의 변경, 유속 및 온도 등의 공정변수 변경, 화학물질 교체, 개방 검사 등을 통해 위험경감 방안을 고려함
- 피해크기를 고려하여 검출 및 차단시스템을 자동화하여 누출량 최소화, 위험물질 인벤토리 양을 감소, 화학물질 교체를 검토
- 공정기술자, 기계기술자, 설비 및 기계 검사자, 재료부식 전문가, 공정 엔지니어, 운전 및 정비 전문가 등이 위험성평가에 참여하여 화학산업 내에서 발생할 수 있는 화재·폭발·누출로 인한 화학사고를 예방하는 기법임

2) 화학산업의 Asset Management

- 설비의 자산관리를 통해 위험의 감소, 정비기간 감축, 설비 수명 연장 등을 기대할 수 있음
- 공정관련 광범위한 데이터 수집 및 관리를 통한 4차산업과 연계

- 기업의 자산관리에 사용되는 위험성평가, 설비정비유지보수, 검사는 화학사고 및 위험성 감소를 통해 기업생존의 톨로 사용됨
- 국내 PSM 제도의 위험성평가, 설비정비유지보수, 검사 등은 사고 예방을 위한 반드시 준수하여야 할 법적 요구사항인 반면 자산관리와는 차이가 있음
- 자산관리를 민간이 주도하기 때문에 비용절감, 설비수명연장, 기대효과 등 기업의 이윤창출과 안전을 접목하는 것으로 판단됨

## ② 오일 및 가스 박람회

### □ 개 요

- 1) 제 22회 OSEA Exhibition and Conference
- 2) 참가현황 : 48개국 약 1,000개 회사 참여(15개 다국적그룹 참가)
- 3) 장 소 : 싱가포르 Marina Bay Sands Hotel
- 4) 내 용 :
  - 가스 및 오일 산업기술의 향후전망, 화학공정의 설비수명 및 안전성 등에 대한 세미나 및 전시회 개최

### □ 주요내용

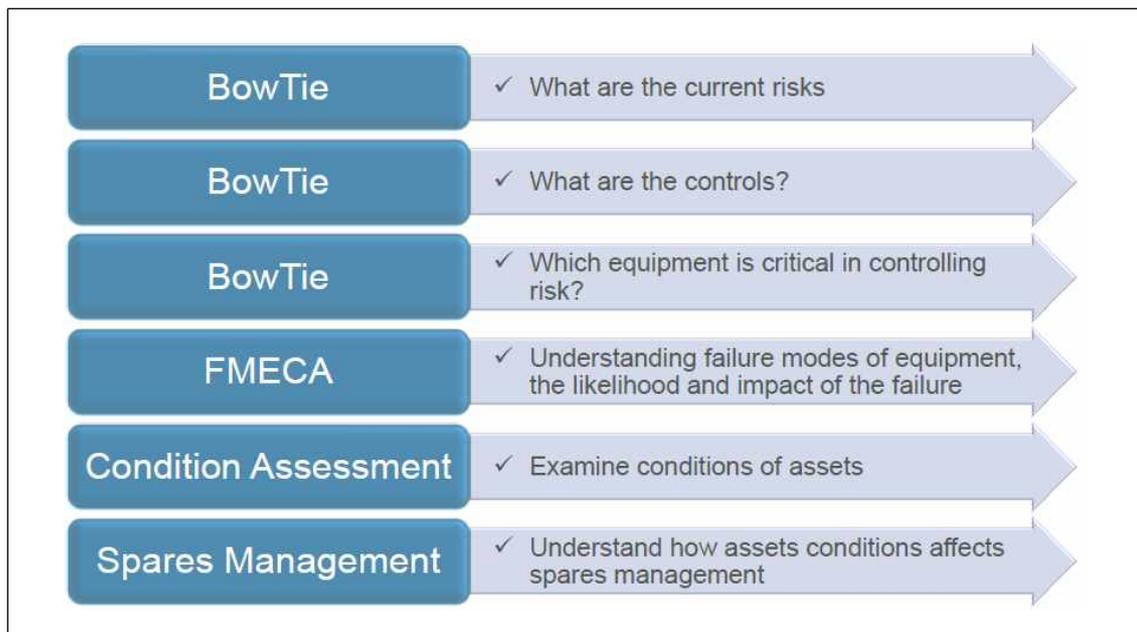
- 1) (Conference) 설비수명연장 및 성능 최적화
  - 전반적인 자산 건전성(설비수명연장 등)은 주요장비 이상으로 확장이 필요
  - Preventive Maintenance(PM)와 Predictive Maintenance(PdM) 비교

Preventive Maintenance(PM)	Predictive Maintenance(PdM)
- 시간 또는 이벤트 기반으로 검사 수행	- 설비의 실제 상태를 확인하기 위한 검사 수행
- 설비 구성요소가 일정 기간 내에 저하된다는 가정	- 정상 작동 중에 설비를 모니터링하여 설비결함 예측
- 정기적인 유지보수를 통하여 설비결함 가능성을 줄임	- 생산에 영향을 미치지 않는 시점에 문제 해결

- 플랜트 유지보수 프로그램에 Predictive Maintenance(PdM)을 포함하기 위해서는 임펄스, 제어 및 분석 라인의 중요성을 이해하여야 함

## 2) (Conference) 설비의 중요도 결정을 위한 위험성평가

- 효과적인 성과 및 자산관리 체계를 채택할 필요성은 현재 산업계에서 가장 중요한 이슈임
- 설비의 중요도 결정을 위한 위험성평가 목적
  - 설비가 고유의 신뢰성을 확보하고 있는지 확인
  - 비효율적인 유지보수 제거
  - 안전, 환경 및 운전 및 고비용에 영향을 미칠 수 있는 설비에 유지보수 집중
  - 계획되지 않은 서비스 불가능성 감소
  - 설비수명 최적화
  - 고유한 신뢰성 수준이 부적절한 설비 구성요소 확인
  - 최소한의 비용으로 위 사항들에 대한 목표 달성
- 자산관리를 위한 위험성평가로 BowTie 및 FMECA 기법 사용



### 3) 가스 및 오일 박람회

- 가스 및 오일 산업에 사용되는 설비 및 부속설비 전시
- 기타 방폭용 휴대폰, 부식방지 볼트 및 너트, 감지기 등 전시

#### 시사점 및 특이사항

- 공정위험성평 등의 안전관리를 자산관리로 연계하여 기업 생존의 수단으로 활용하고 있음
- 자산관리에 활용되는 위험성평가는 다양한 기법이 활용되고 있음
- 박람회에 전시된 방폭용 휴대폰은 안전인증 사항 등을 검토하여 국내 도입의 필요성이 있다고 판단됨

### ③ ABS Consulting

#### □ 개 요

1) 설립년도 : 1862년

2) 소재지

Inc 438 Alexandra Road #09-02 Alexandra Point Singapore,  
119958 Republic of Singapore

3) 기관현황 : 포괄적인 엔지니어링 및 리스크 관리의 솔루션을 제공하는 다국적 그룹

- 산업 생산 : 생산 현장과 조립라인에서 여러 공급업체 사이트에 이르기까지 검사, 인증, 성능 최적화 및 프로세스 안전 솔루션 제공
- 석유, 가스 및 화학 : 석유, 가스 및 화학적 가치 사슬 및 수명주기에 걸쳐 고객과 협력하여 프로젝트를 합리화하고 운영허가를 보존하며 수익성 향상 제공
- 공공분야 : 점점 다양해지는 리스크와 리소스에 대한 위험 및 무결성 관리를 위한 솔루션 제공
- 기타 시장 : 안전 및 위험관리, 성능 최적화에 대한 경험과 품질보증을 통한 위험성 감소

4) 주요업무

- 기술 검사 및 검증 : 글로벌 네트워크를 통해 신뢰성 있고 효과적인 검사 서비스 제공, 개념적 설계에서 폐기에 이르기까지 신뢰할 수 있는 기술, 독립적인 검사 및 설계 검증 서비스 제공

- 안전 및 위험 규정 준수 : 안전, 리스크 및 규제 준수 관리에 대한 적극적인 접근, 주요 사고조사 및 근본 원인분석 전문기술 제공, 데이터 관리 및 분석 지원 서비스 제공
- 자산성능 최적화 : 산업조직을 위한 최강의 자산관리 솔루션, 유지보수를 위한 신뢰성 엔지니어링(소프트웨어) 제공 등
- 경영시스템 인증(업계 표준 및 기술에 대한 전문지식 제공 등

## □ 주요내용

### 1) Main Health & Safety Requirement(싱가포르)

- Health and Safety Management System(HSMS) : SS 506
- Workplace Health and Safety(WSH) : Ministry of Manpower(MOM)
  - HSMS Audit
  - Accident reporting
  - Licensing of contractors etc.
  - Quantitative Risk Assessment(QRA)
- Major Hazards Installation(MHI) Safety Case(introduced in 2017)

### 2) HSMS & WSH

- 싱가포르 표준 SS 506 권장
  - Singapore Standard(SS) 506 구성현황
    - Part 1 : Requirements
    - Part 2 : Guidelines for the implementation of SS506
    - Part 3 : Requirements for the chemical industry

- 사업장은 통합된 HSMS를 보유하여야 하고, MOM 요구사항도 충족시켜야 함
- 주로 미국 PSM 지침을 따름
- 고정위험분석(PHA)은 매 5년마다 재검토 실시
- HSMS에는 WHS의 요구사항을 포함함

### 3) 정량적 위험성평가(Quantitative Risk Assessment, QRA)

#### ○ 6개 정부기관에서 관리

- 국가 환경청(NEA), 싱가포르 민방위(SCDF), 인적자원부(MOM), 도시개발국(URA), 주룽타운공사(JTC), 경찰(SPF)

#### ○ 해당법률

- 환경보호 및 관리법(EPMA) 제26조, 화재안전법(FSA), 화재안전(석유 및 인화성물질) 규정의 4, 4A 및 5

#### ○ 주요내용

- 1990년대에 처음 소개되었으며, 2010년 전면 개정됨
- 현재의 QRA 기준은 2016년 4월에 공표됨
- QRA 세 가지 유형
  - 고정시설 QRA : 위험물질 사용 또는 저장 시설
  - 배관시설 QRA : 위험물질을 이송하는 배관
  - 벌크운송 QRA : ISO 컨테이너, IBC 탱크, 포장된 위험물질을 운반하는 운반경로
- QRA 실시시기
  - 관리물질(인화성 및 독성물질) 목록에서 유해위험물질의 사용,

저장 또는 운송

- 신규 고정설비 설치
- 기존설비의 증설 및 변경
- 신규 배관라인 설치
- 기존 배관라인 변경
- 새로운 벌크 운송경로 시작시점
- 기존 벌크 운송경로 변경

#### 4) MHI Safety Case(주요위험시설 안전지침)

##### ○ 개요

- 2017년 싱가포르 의회에 소개
- 2017년 9월 1일 시행
- 매 5년마다 의무적 재검토 또는 조건에 따라 재검토
  - 신설 또는 관련정보 변경 시
  - 사고 또는 아차사고 발생 후(산업계 전반)
  - SHMS 변경 시
  - 변경에 대한 시운전 전
- MHI 해당 시설
  - 석유정제시설
  - 석유화학제조시설
  - 화학물질 가공시설
  - 다량의 유독성 및 인화성 물질을 저장 또는 사용하는 시설

## ○ 목차

### 제 1 부 서론

- 1 인용 및 시작
- 2 정의

### 제 2 부 안전 사례의 유지, 유지 및 이행

- 3 적용
- 4 중대 재해의 위험을 줄이기 위한 의무
- 5 안전 지침의 유지 및 관리
- 6 안전 지침의 실행

### 제 3 부 주요한 위험시설 양도조건 등록

- 7 등록
- 8 주요 위험 시설 등록 신청
- 9 주요 위험 시설 등록
- 10 등록 및 갱신 기간
- 11 특정 상황에서 등록을 요구하는 권한
- 12 등록된 주요 위험 시설의 작업, 사용 또는 세부 사항과 관련된 변경
- 13 파업 등의 신고 의무
- 14 등록 취소, 정지 또는 취소
- 15 정부기관에 대한 항소
- 16 수수료 면제 또는 환불

### 제 4 부 등록된 주요 위험 시설의 의무

#### Division 1 - 안전지침

- 17 안전 지침 검토, 개정 및 제출
- 18 등록된 주요 위험 설비의 변경

#### Division 2 - 통지 및 보고

- 19 사고 보고 및 보고서 작성 의무
- 20 기록 유지 의무
- 21 신고 및 보고 양식 및 방법

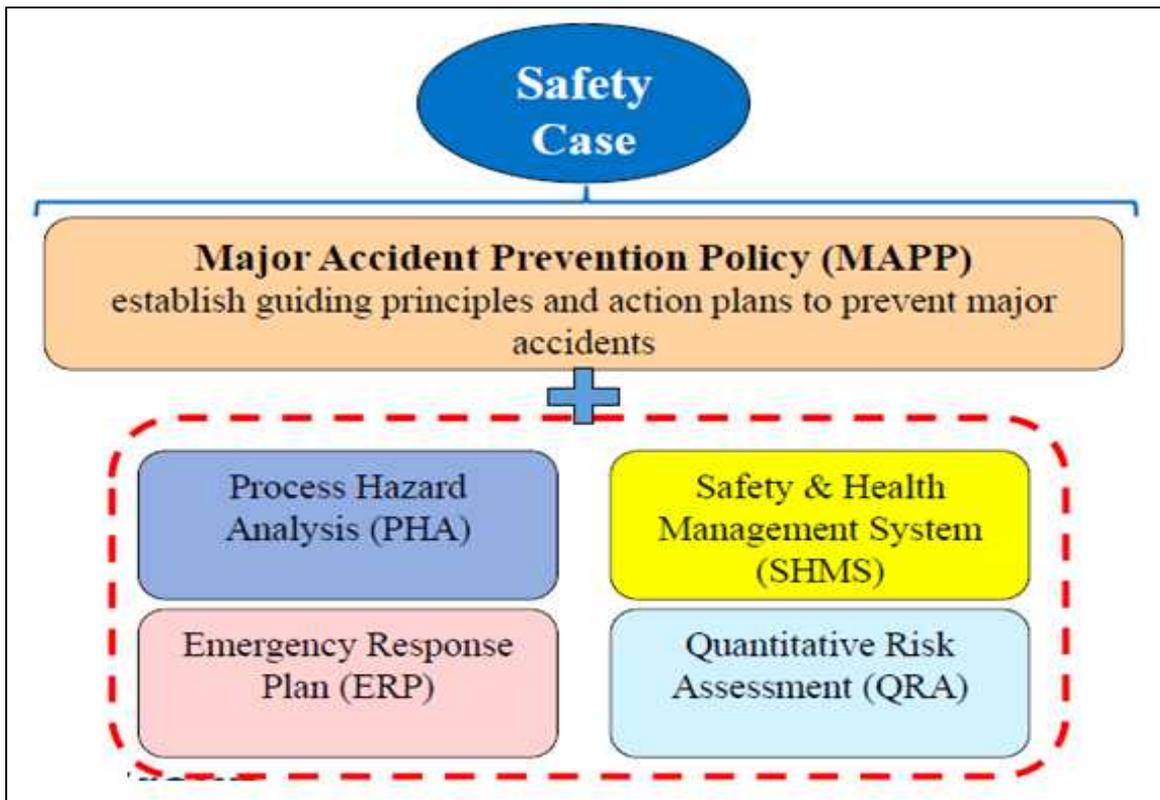
#### Division 3 - 정보 제공

- 22 등록된 주요 유해위험시설의 사용자에게 정보 제공
- 23 다른 작업장 점유자에게 정보 제공

### 제 5 부 기타

- 24 위반
- 25 유보 및 경과 규정

○ MHI 주요 구성요소



□ 시사점 및 특이사항

- 싱가포르의 안전보건 요구사항에 대한 주요 제도는 3개로 구분되어 있으나, 각각의 제도가 상호 보완을 위하여 서로 연계되어 있음
- 정량적 위험성평가(QRA)를 해당 법률에 따라 6개 정부기관에서 관리하며, 실시시기와 유형을 명확히 구분하고 있음
- 국내의 화학사고예방 제도인 PSM, ORA, RMP 등도 상호 보완할 수 있는 제도로 발전시킬 필요가 있으며, 실시시기 및 유형을 명확히 한 정량적 위험성평가(QRA)를 제도화하여 화학사고 예방 활동에 활용할 필요성이 있음

#### IV 기타 행정사항

수령여부	신고여부	비고
×	×	

#### V 사고 사망재해 감소를 위한 국외출장 과제

##### 개요

- 위험기반검사(Risk Based Inspection) 기법을 활용한 화학설비 관리로 화학산업의 근원적 안전성 확보

##### 주요 내용

- 화학설비 및 그 부속설비의 유지보수를 통한 신뢰성 확보를 위해 위험기반검사(RBI) 기법 적용
- 설비의 고장발생 가능성과 사고피해 크기의 곱에 의해 결정되는 위험도에 의해 검사의 우선순위 결정
- 위험기반검사(RBI) 적용을 통한 화학설비 관리로 사업장의 자율 안전관리 유도

##### 공단사업과 연계

- 유해화학물질 취급시설 안전진단 시 사업장에서 설비의 점검·검사·보수계획을 위험기반검사(RBI)로 적용하여 운영될 수 있도록 유도하여 사업장 자율안전관리 유도

- 공정안전보고서 심사 및 확인 시 설비의 점검·검사·보수계획 및 유지계획이 위험기반검사(RBI)를 활용하여 운영될 수 있도록 평가하여 화학설비 등에 대한 근원적 안전성 확보
- 사업장에서 설비 유지보수 기법으로 위험기반검사(RBI)를 활용할 수 있도록 RBI 프로그램 개발·보급 또는 신뢰성이 확보된 RBI 프로그램 인증

시사점

- 국외의 사례처럼 국내에서도 설비유지보수, 위험성평가 등 공정 안전관리를 기업의 자산관리와 연계되어 운영될 수 있도록 기업의 인식변화를 유도하여 사업장 자율안전관리 정착에 기여할 수 있을 것으로 사료됨