

공정 산업에서 안전한 플랜트 설계 및 운영을 보장하기 위한 프레임워크

Naoto Arai ^{*1}

산업 플랜트의 안전성은 지역 사회를 안심시키고 지속 가능한 사회를 이루기 위한 전제 조건입니다. 공정 산업은 크고 복잡한 인간-기계 (man-machine) 시스템을 운영하며, 플랜트에서 단 한 건의 사고만 있어도 시설, 지역 사회 및 환경에 막대한 피해를 줄 수 있고, 극단적인 경우 사회 전체를 불안정하게 만들 수도 있습니다. 그러한 심각한 사고를 방지하기 위해 공정 안전에 관한 법률 및 규정이 전 세계적으로 논의되었으며, 안전 계층 시스템의 설계 및 운영을 통한 다중 방호 계층 (multiple protection layers) 및 관리 시스템으로 위험을 감축하는 개념이 공정 산업의 안전을 위한 프레임워크로 확립되었습니다. 본 글에서는 관련 표준화 활동의 동향을 참조하여 이 프레임워크를 검토하고, 공정 산업에서 안전성을 뒷받침하기 위해 AI가 어떻게 활용되는지 소개합니다.

서문

산업 재해는 세계 어딘가에서 매일 일어납니다. 국제 노동 기구 (International Labour Organization) 에 따르면, 매년 278만 명의 근로자가 산업 재해 및 업무 관련 질병으로 목숨을 잃으며, 3억 7400만명의 근로자들이 부상을 당합니다. 이러한 손실은 전 세계 GDP의 거의 4%에 해당하며, 일부 국가에서는 6%를 초과합니다⁽¹⁾. 정신적 고통과 스트레스는 수치로 표현할 수 없지만, 무시해서는 안 됩니다.

^{*1} 마케팅 본부 산하 대외 업무 및 기술 마케팅 센터 기술 마케팅 1부

과거의 연구 및 실제 경험에 따르면, 산업 재해 중 많은 부분은 막거나 완화시킬 수 있었던 것으로 나타납니다. 지속 가능한 사회를 추구하면서 계속 성장하려면 산업계는 피해를 최소화할 의무가 있습니다.

석유, 가스 및 석유화학 등 공정 산업에서 사고의 예방은 특히 중요합니다. 공정 플랜트에서 취급하는 원재료, 중간 제품 및 완제품은 가연성이거나 독성인 것이 많습니다. 게다가 이러한 공장은 엄청난 양의 에너지를 사용합니다. 폭발이나 누출과 같은 사고는 플랜트 뿐만 아니라 인근 지역 사회에도 막대한 피해를 줄 수 있습니다. 더 나아가 경제적, 환경적 피해는 전 세계적으로 확대되어 사회에 엄청난 영향을 초래할 수 있습니다.

전통적 운전시스템에서는 플랜트의 안전에 대한 정보가 불충분했습니다. 따라서 각 시설에서는 관례나 경험을 기반으로 경보 시스

템 (alarm systems) 및 비상 정지 (emergency shutdown) 시스템을 설치하였습니다. 그러나 공정 플랜트에서 안전성은 종합적으로, 또한 체계적으로 평가를 받아야 합니다. 이는 배관으로 연결된 장치들이 컴퓨터에 의해 정교한 방식으로 제어되는 경우가 많기 때문입니다. 이 정보는 지역 사회의 재난 방지 계획과 공유되고 조정되어야 합니다.

본 글에서는 대형 사고가 일어난 이후 공정 안전에 대한 법률 및 규정이 어떻게 확립되었는지 기술하고, 국제적인 프레임워크로 인식되는 리스크 평가 (risk assessment) 에 대해, 또한 다중 방호 (multiple protection) 를 통한 리스크 감소 (risk reduction) 의 개념을 설명합니다. 아울러 본 글은 효과적인 리스크 감소 도구로 인가를 끌고 있는 안전 계장 시스템 (safety instrumented systems, SIS) 과 그 요구 사항을 명시한 기능 안전 표준을 Yokogawa의 솔루션과 함께 요약해서 설명합니다. 안전성을 뒷받침하기 위한 AI의 활용 및 관련 표준화 활동 동향도 소개합니다.

중대 사고 및 안전 규정 프레임워크

1976년, 이탈리아 Seveso에 있는 트리클로로페놀 공장에서 화학 반응 장치 (reactor) 의 압력이 우발적으로 증가하는 바람에, 파열판 (rupture disc) 을 작동시켜 압력을 방출했습니다. 반응 장치는 손상되지 않았으나, 독성이 강한 다이옥신을 포함한 많은 양의 물질이 방출되어 약 1,800 ha의 토양을 오염시키고 220,000명 이상의 사람들에게 영향을 주었습니다. 이 사고로 1982년 유럽 공동체는 화학 플랜트에 대한 안전 법규로 Seveso법 (Seveso Directive) 을 발표했습니다.

2년 후, 인도의 Bhopal에 있는 한 살충제 공장 (미국 화학 회사의 자회사) 에서 엄청난 양의 맹독성 메틸 이소시아네이트 (methyl isocyanate) 가 유출되었습니다. 현지 주 정부에 따르면, 약 3,800명이 사망하고 500,000명 이상의 사람들이 건강상의 문제를 겪으며, 화학 공업 역사상 최악의 사고로 기록되었습니다. 이에 대응하여, 미국 산업 안전 보건청 (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) 은 1992년에 공정 안전 관리 (Process Safety Management, PSM) 규정을 제정했습니다. PSM은 화학 물질 보유 사업자로 하여금 자체 위험 관리 관행을 이행하도록 하는 종합적인 프레임워크입니다. 표 1은 그 규정의 14가지 주요 요소를 보여줍니다.

표 1 OSHA/PSM의 14가지 요소

(1)공정 안전 정보	(8)기계적 무결성
(2)공정 위험 분석	(9)화기 작업 허가서
(3)운영 절차	(10)변경 관리
(4)직원 참여	(11)사고 조사
(5)교육 훈련	(12)비상 계획 및 대응
(6)도급 업체	(13)규정 준수 감사
(7)시동 전 안전 검토	(14)영업 비밀

Bhopal 사고에 대한 조사 보고서에 대한 반응으로, Seveso 지침은 두 번 크게 개정되었습니다 (1996년 Seveso II 지침 및 2012년

Seveso III 지침). 그 기본 목표는 유해 물질로 인한 심각한 사고를 예방하고 인간과 환경에 미치는 피해를 최소화하는 것입니다. 유럽 연합의 각 회원국은 안전 관리 계획, 비상 계획, 인근 주민에 대한 정보 제공, 대상 시설 주변 토지 이용 계획 등이 포함된 안전 보고서 (safety report) 를 작성할 의무가 있습니다. Seveso II 지침 공포 이후 영국은 사업장 중대 사고 위험 관리 규정 (Control of Industrial Major Accident Hazards Regulations (CIMAH)) 을 폐지하고, 중대 사고 위험 관리 규정 (Control of Major Accident Hazards Regulations (COMAH)) 을 제정했습니다.

그림 1은 중대 사고에 대응하여 법률, 규정, 그리고 IEC 61508 및 IEC 61511과 같은 국제 표준이 어떻게 개발되었는지를 보여줍니다. Yokogawa의 유럽 계열사들은 기능 안전 개념이 등장한 1980년대 이래 표준 개발에 참여해 왔습니다. Yokogawa 본사는 1997년에 안전 관련 사업 (safety business) 에 뛰어들어 이후, 전문가를 파견하고 표준 개발 및 개정에 지속적으로 참여해왔습니다.

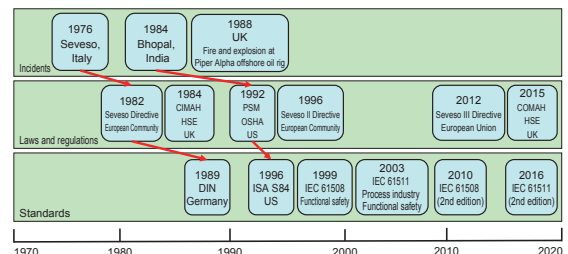


그림1 중대 사고 이후 개발된 법률, 규정 및 표준의 연표

PSM, Seveso III 지침 및 COMAH의 핵심 요소는 2008년 경제 협력 개발 기구 (OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) 가 발표한 화학 사고 예방을 위한 안전 성과 지표 (Safety Performance Indicators for Chemical Accident Prevention) 에도 포함되어 있습니다. 이는 산업계, 공공 기관 및 지역 사회를 위한 지침으로서, 내부 커뮤니케이션, 안전 보고, 타 단체와의 협력, 그리고 사고, 아차사고 (near-misses) 및 기타 “학습 경험”에 대한 보고에 활용되는 지표의 예를 보여줍니다⁽²⁾⁽³⁾.

최근 몇 년 동안, 안전 케이스 (Safety Case) 가 주목을 받고 있습니다. 이 포괄적이고 체계적인 문서는 특정 시스템이 안전하다는 충분한 증거를 제시하는 것을 목표로 합니다. 사업자가 작성하여 규제 당국에 시스템에 대한 설명으로 제출합니다⁽⁴⁾. 안전 케이스는 오랜 역사를 가지고 있습니다. 이 논의는 1988년 북해의 Piper Alpha 석유 플랫폼 폭발 직후 시작되었습니다. 영국은 다양한 산업 부문에 대해 이 문서를 작성하고 제출하도록 의무화합니다. 싱가포르에서는 2017년에 석유, 가스 및 석유화학 공정 플랜트에 대해서 안전 케이스의 작성 및 제출이 의무화되었습니다⁽⁵⁾. Yokogawa는 위험성 평가 및 SIS와 그 밖의 리스크 감소를 위한 솔루션에 대해 컨설팅 서비스를 제공하여, 고객으로 하여금 자체 안전 케이스 문서를 작성할 수 있도록 돕고 있습니다.

위험성 평가 (RISK ASSESSMENT)

ISO/IEC 가이드 51은 안전 표준 개발을 위한 표준입니다. 여기에서는 안전 (safety)을 ‘리스크 (risk)’라는 단어를 사용하여, “받아들일 수 없는 리스크로부터 탈피 (freedom from risk which is not tolerable)” 라고 정의하며, 받아들일 수 있는 위험이란 “사회의 현재 가치를 기반으로 주어진 상황에서 허용되는 위험 수준”으로 정의합니다⁽⁶⁾.

위험성 평가는 안전한 플랜트를 건설하는 데 있어서 가장 중요한 단계이며, 주로 플랜트 소유주에 의해 수행됩니다. 이 과정에서 위험 (hazards) 과 운전 (operability) 분석 (HAZOP) 과 같은 분석 방법을 사용하여 위험성 (hazards) 을 식별함으로써 어떻게 하면 사고가 발생하는지를 명확히 합니다. 발생 확률과 영향을 결합하여 위험의 크기를 결정합니다. 허용 가능 수준을 초과하는 경우, 고려된 위험 대응 정책을 기반으로 위험을 회피, 감소, 이전, 또는 유지합니다. 그림 2는 위험 평가의 절차를 보여줍니다⁽⁷⁾.

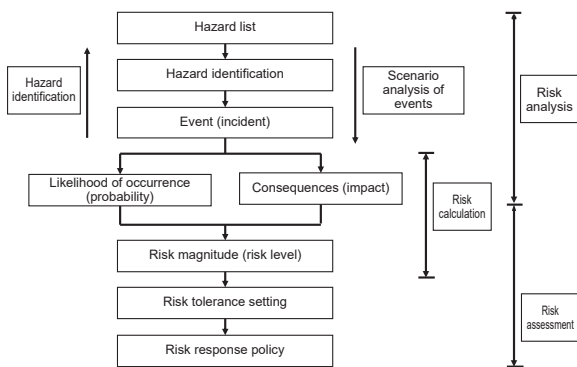
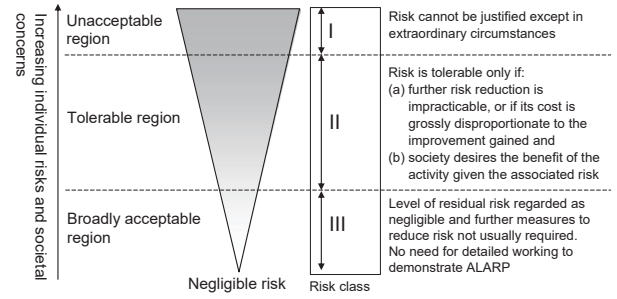


그림2 위험 평가 절차⁽⁷⁾

원칙적으로, 허용 가능한 위험을 결정하기 위해 “합리적으로 실행 가능한 낮은 수준 (as low as reasonably practicable, ALARP)” 이라는 개념이 사용됩니다⁽⁸⁾. 그림 3에서 보는 바와 같이, 사고의 허용 범위 (tolerance) 에 대해서 세 가지 영역이 정의되어 있습니다. 이해 관계자들 (예: 안전 규제 당국, 위험 발생자, 위험에 노출된 사람들) 은 이 정의에 근거하여 논의를 하고 사고의 빈도, 결과 및 위험 등급을 결정합니다 (표 2). 수용 가능한 위험을 판단함에 있어서 기업의 글로벌 규제와 산업 부문의 가이드라인 뿐만 아니라 지역 사회 (국가 및 지역) 의 표준도 참고할 필요가 있습니다. 예를 들어, 연간 개별 위험 (individual risk per annum, IRPA) 과 관련하여, 영국 보건 안전청 (Health and Safety Executive, HSE) 은 “허용 가능한” 영역 (I과 II 사이의 경계) 의 상한을 10^{-3} /년, “대체로 수용 가능한” 영역 (III와 III 사이의 경계) 의 상한을 10^{-6} /년으로 설정했습니다⁽⁹⁾.



* Compiled from IEC 61511-3 ed. 2.0. Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland. www.iec.ch

그림3 ALARP 개념에 기반한 허용 가능 위험

표 2 사고의 위험 분류 예

빈도	위험 등급			
	대 재앙적 결과	중대한 결과	미미한 결과	무시할 수 있는 결과
가능성 높음 (Likely)	I	I	I	II
상당히 가능성 (Probable)	I	I	II	II
가능함 (Possible)	I	II	II	II
가능성이 희박함 (Remote)	II	II	II	III
현실성 없음 (Improbable)	II	III	III	III
터무니 없음 (Incredible)	III	III	III	III

다중 방호 조치 (MULTIPLE PROTECTION MEASURES) 를 통한 리스크 감소

미국 화학 공학회 (American Institute of Chemical Engineers, AIChE) 의 화학 공정 안전 센터 (Center of Chemical Process Safety, CCPS) 는 독립 방호 계층 (independent protection layer, IPL) 을 제안했는데, 이로 인해 플랜트 전체를 대규모 시스템으로 간주하는 안전 설계에 대한 논의가 활발해졌습니다⁽¹⁰⁾. 그림 4는 서로 독립적인 IPL1에서 IPL8까지의 방호 계층을 보여줍니다. 내부 보호층이 무효가 되더라도, 외부 보호층이 사고를 방지하거나 피해 확산을 억제할 수 있습니다. 다음은 각 IPL에 대한 설명입니다.

- IPL1은 본질적 안전과 관련이 있습니다. 공정 설계 시, 보유하고 있는 위험 물질의 양을 줄이고, 촉매를 줄여서 반응 속도를 늦추며, 일반적인 속도와 압력 조건을 사용하여 작업함으로써 위험을 최소화합니다. 장비 설계 시에는, 예를 들면 의도된 작업 범위에서 최대 하중을 고려하고, 반응 장치의 벽을 충분히 두껍게 만드는 조치를 취합니다. 시설과 장비는 시간이 지남에 따라 성능이 저하되기 때문에 그 무결성을 유지하기 위해 유지 보수 활동이 필수적입니다.

- IPL2는 기본 공정 제어 시스템 (BPCS) 입니다. 하나의 대표적인 예가 분산 제어 시스템 (distributed control system, DCS) 입니다. 이 시스템은 공정값을 설정치에 맞춰 안정적으로 유지하고 이탈 상황을 예방합니다.
- 공정 이상이 발생하면, IPL3는 경보를 발령하고, 운전원에게 알려서, 운전원이 수동으로 개입하여 정상운전으로 복구하도록 권고합니다.
- 운전원이 제 때에 개입할 수 없을 경우, IPL4의 SIS가 자동으로 플랜트를 정지하여 안전을 확보합니다.
- IPL5 및 IPL6는 물리적 보호를 통해 사고를 예방합니다. 과도한 압력으로 인한 장비 손상을 예방하는 감압 밸브 (Pressure relief valves) 및 파열판 (rupture discs) 은 IPL5에 해당하며, 위험 물질 누출 면적 확대를 제한하는 방류 제방 (liquid dikes) 은 IPL6에 해당합니다.
- IPL7 및 IPL8은 비상 대응 계획으로, IPL7은 플랜트 내부의 사상자를 줄이며, IPL8은 플랜트 외부의 사상자를 줄입니다.

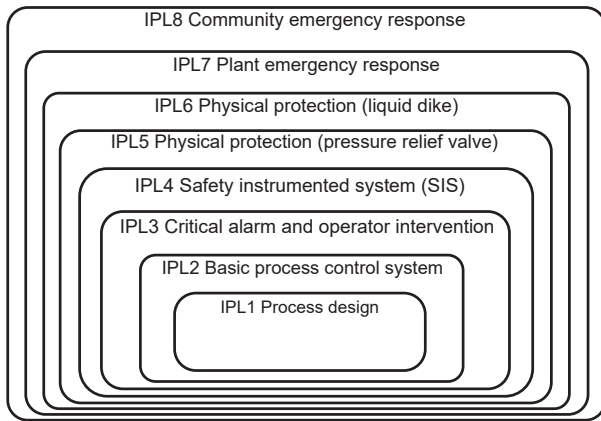


그림4 독립 방호 계층의 개념

방호계층 분석기법 (The layer of protection analysis, LOPA) 은 IPL이 초기 사건 (initiating events) 의 발생 빈도를 얼마나 많이 줄일 수 있는지 평가하는 데 사용됩니다. 그림 5의 상단에 있는 스위스 치즈 모델 (Swiss cheese model) 에서 화살표의 두께는 초기 사건이 IPL을 통과할수록 사고 빈도가 줄어드는 것을 보여줍니다. 하단의 사건 트리 분석 (event tree analysis) 은 IPL에 의해 감소된 사건 빈도 (잔류 위험) 는 초기 사건 발생 빈도를 각 IPL 실패의 확률로 곱하여 계산할 수 있음을 보여줍니다.

잔류 리스크 (residual risk) 가 허용 가능할 경우, 안전성이 보장됩니다. 만일 잔류 리스크가 상한선을 초과할 경우, SIS의 필요성과 그에 따라 SIS에 요구되는 안전 무결성 수준 (safety integrity level, SIL) 이 결정됩니다.

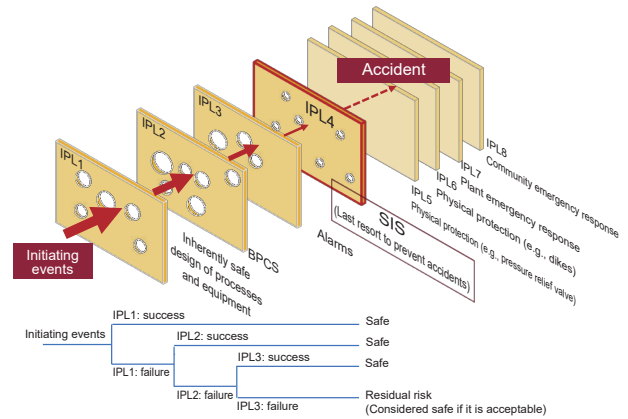


그림5 LOPA의 개념

SIS 및 기능 안전 표준

SIS는 사전 예방적 안전 조치의 마지막 수단으로, 센서, 논리 해결기 (logic solvers) 및 최종 요소 (예: 액추에이터) 로 구성됩니다. SIS는 하나 이상의 안전 계장 기능 (safety instrumented functions, SIF) 이 있고, 각 SIF는 달성하고자 하는 SIL에 따라 위험 경감 능력이 있다는 점에서 또다른 계장 시스템인 BPCS와 다릅니다. LOPA는 하나의 SIL 할당 방법입니다.

표 3은 작동 요구 시 위험 고장이 발생할 평균 확률 (average probability of dangerous failure on demand, PFDavg) 과 SIL 간 관계를 보여줍니다⁽¹¹⁾. PFDavg의 역수는 해당 SIL에 의해 얼마나 많은 위험을 줄일 수 있는지를 의미합니다. SIL이 높을수록 더 작은 PFDavg를 필요로 합니다. 표 3은 낮은 요구 모드를 가정하고 있음에 유의하십시오 (안전 기능 요구율은 연 1회 이하입니다).

표 3 SIL 과 PFDavg

SIL	낮은 요구 모드	
	PFDavg	위험 감소 목표
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	$> 10,000$ to $\leq 100,000$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$	$> 1,000$ to $\leq 10,000$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$	> 100 to $\leq 1,000$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	> 10 to ≤ 100

SIL을 달성하려면, SIS의 설계 및 운영은 두 가지 기능 안전 표준, 즉 일반 표준으로 IEC 61508과 공정 산업 분야별 표준으로 IEC 61511을 준수해야 합니다. 그림 6 및 7은 IEC 61508과 IEC 61511 사이의 관계를 보여줍니다. IEC 61508은 SIS 구성품의 제조업체 및 공급 업체에 적용되며, IEC 61511은 이러한 구성품을 사용하여 SIS를 구축하는 사용자 및 시스템 통합 업체에 적용됩니다.

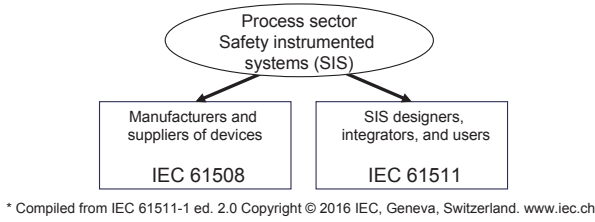


그림6 IEC 61508과 IEC 61511의 관계⁽¹¹⁾

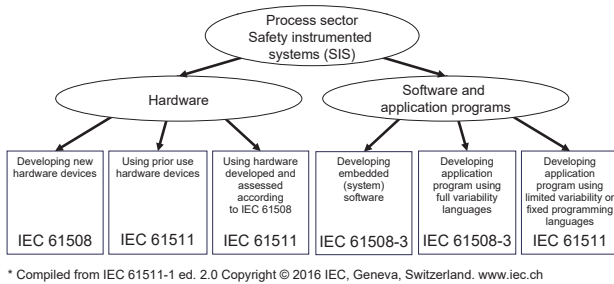


그림7 IEC 61508과 IEC 61511의 세부 관계⁽¹¹⁾

Yokogawa는 2005년에 SIL 3 인증을 받은 ProSafe-RS를 출시했습니다. 현장 장치와 관련하여 EJX/EJA 시리즈 차압 (differential pressure)/압력 전송기, ADMAG AXR 2선 자기 유량계, YTA 온도 전송기, TDSL8000 파장 가변 다이오드 레이저 가스 분석기는 표준 규격에 대해 SIL 2 인증 (이중 구성에서는 SIL 3 인증) 을 취득했습니다. 이는 IEC 61508에 대한 적합성이 제3자 인증 기관에 의해 검증되었음을 의미합니다. 인증을 받기 위해서는 제품이 다양한 요구 사항을 충족해야 합니다 (예를 들면, 구성품의 하드웨어 고장율에서 도출된 PFDavg가 표 3의 대상 SIL 범위에 들어야 합니다). 이와 더불어, 소프트웨어 개발 프로세스 및 개발 조직의 관리 시스템이 표준에 부합해야 합니다.

Yokogawa는 SIS의 통합 업체로서 유사 환경에서의 운영 (사전 사용) 경험을 바탕으로 SIL 인증 장치 및 기타 장치들을 결합하고, 애플리케이션 프로그램을 개발하며, 각 SIF 단위에서 SIL을 달성하기도 합니다.

IEC 61508에서와 같이 IEC 61511도 하드웨어 고장율에서 도출된 PFDavg가 표 3의 대상 SIL 범위 내에 있어야 하고, SIS에 관련된 조직이 기능 안전 관리 시스템을 갖추도록 요구합니다. Yokogawa는 기능 안전 관리를 그룹의 관리 표준에 통합하고 적절한 운영 절차를 수립하였으며, SIS 프로젝트에 관련된 직원들에게 교육 훈련을 제공해 왔습니다.

기능 안전 관리에 대한 IEC 61511의 요구 사항은 그림 8에 나타난 전체 SIS 안전 수명주기⁽¹¹⁾에 걸쳐 있습니다. SIS 안전 수명 주기는 1단계 “위험성 및 위험 평가”부터 8단계 “해체 (Decommissioning)”까지 펼쳐 있습니다. 8가지 단계에 적용되는 요건은 9, 10, 11단계에서 하나로 종합됩니다. 4단계 “SIS의 설계 및 엔지니어링”에서

Yokogawa는 기능 안전을 위한 관리 시스템을 주도적으로 준비합니다. 다른 단계에서는 사용자 및 다른 조직들이 주도할 것으로 예상됩니다. Yokogawa는 2017년 이래 지속 가능한 SIS 솔루션 (Sustainable SIS solution) 을 제공하고 있습니다. 이 솔루션은 위험 평가, 구현 후 운영 및 유지 보수 (예: SIS의 무결성 유지를 위한 증명 시험) 를 지원하는 종합적인 서비스, 시스템 및 소프트웨어 패키지 세트를 제시합니다.

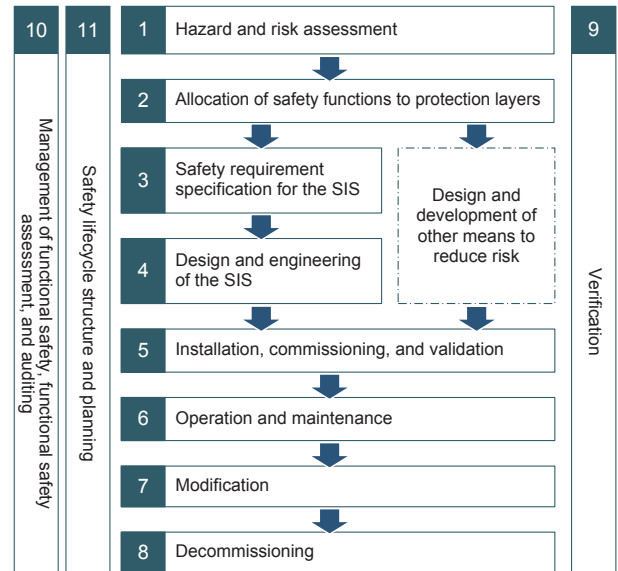


그림8 안전 수명 주기의 단계

AI에 의한 안전 지원

4차 산업혁명⁽¹²⁾은 플랜트에서 방대한 양의 데이터를 활용할 수 있다는 가능성을 일깨워 주었습니다. 고정밀 센서 및 카메라를 통해 획득한 데이터는 사물 인터넷 (IoT) 을 통해 실시간으로 사이버 공간에 축적됩니다. 이미지 인식, 프로세스 데이터 처리, 자연어 처리 등 AI 기술의 발전을 통해 빅데이터 분석이 더 쉬워졌습니다. 출산율 저하와 인구 노령화로 인해 숙련된 인력 확보가 점점 어려워지고 있는 국가에서는 AI가 인간의 일부 역할과 업무를 대체하고 지원하여, 인간 근로자에 대한 의존도를 낮출 것으로 예상됩니다.

Yokogawa는 플랜트 운영 지원 AI 및 유지 보수 지원 AI에 대한 다양한 솔루션을 개발하고 시연 시험을 수행해 왔습니다. 예를 들어, 운영 지원을 위해 Yokogawa 고유의 산업용 IoT (IIoT) 를 위한 무선 센서인 Sushi Sensor와 AI를 결합합니다. AI는 플랜트 전반에 걸쳐 설치된 이 센서로부터 전송된 대량의 데이터를 통해 이상 징후를 감지합니다⁽¹³⁾. PID 제어 대신 플랜트 운영을 최적화하는 AI도 개발하고 있는 중입니다⁽¹⁴⁾.

그림 9는 배관 벽이 얇아지는 것을 예측하는 유지 보수 지원 AI의 대표적인 예를 보여줍니다. 석유 정제용 상압 증류탑의 상부 배관에서는 부식이 불가피하여 시간 기준 유지 보수 (time-based maintenance, TBM) 를 주기적으로 수행합니다. 그러나 이 방법은

급속히 진행되는 부식을 감지할 수 없으며, 배관의 불필요한 점검과 교체로 수익이 감소합니다. 따라서 우리는 훈련 데이터로 20개 위치에서 2년간의 프로세스 데이터 및 벽 두께 데이터를 확보하고, 프로세스 데이터와 벽이 얇아지는 현상과의 관계를 모델링하여, 회귀 방정식을 공식화한 다음, 벽 얇아짐의 진행 상황을 예측했습니다. 우리는 추정 값을 실시간으로 스크린에 표시하는 시스템을 구축했습니다. 이를 통해 운영자는 조건 기반 유지 보수 (condition-based maintenance, CBM) 로 전환하여 적시에 수리 또는 교체를 수행할 수 있게 되었습니다. 또한 데이터를 분석하고 주요 원인 (예: 온도 강하)을 파악하여 운영 조건을 변경함으로써, 벽 두께가 얇아지는 현상의 진행을 성공적으로 억제하였습니다.

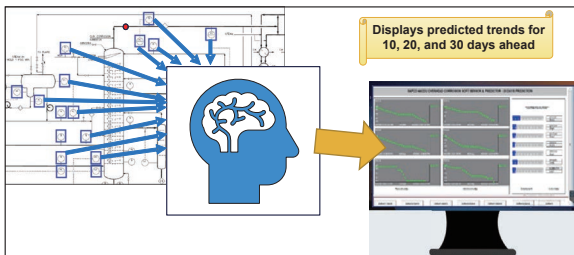


그림9 배관 벽이 얇아지는 현상에 대한 AI의 예측⁽¹⁵⁾

AI를 플랜트의 방호 계층에 통합하여 인간 근로자 및 기존 시스템을 대체하거나 지원하기 위해서는 AI의 품질 (특히 안전성) 을 제대로 평가하고, 플랜트 안팎 모두의 이해 관계자들에게 책임을 져야 합니다. 일본에서는 경제산업성 (Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) 이 민관 간 논의를 통해 2020년에 “플랜트 안전성 분야 AI 신뢰성 평가 가이드라인”을 만드는 데 우선순위를 두었습니다. 본 가이드라인에서는 배관 벽이 얇아지는 현상의 예측과 더불어, 배관 영상 진단, 장비 열화 진단, 조기 이상 징후 예측 및 진단, 운영 최적화 등의 활용을 위한 방법을 제공합니다⁽¹⁵⁾.

그림 10은 공정 플랜트의 사고 전개 시나리오와 AI 사용 간 관계를 보여줍니다. 현재 AI 애플리케이션은 운영 지원과 유지 보수 지원에 집중되어 있습니다. 대부분의 경우, 최종 결정은 인간에게 맡기고, SIS 또는 안전성 보장을 위한 기타 수단들이 AI 시스템에 추가됩니다. AI 시스템은 SIS를 대체하기 위한 것이 아닙니다. 다시 말해서 SIL은 AI 시스템에 대해 기능 안전 표준의 대상으로 설정되어 있지 않습니다.

IEC 61511은 플랜트의 안전에 대해 궁극적으로 책임지는 플랜트 소유주의 관점에서 개정이 진행 중입니다. 과거에 비극적인 사고가 있었습니다. 우리의 전임자들은 이로부터 교훈을 얻었고, 플랜트 안전성에 대한 프레임워크를 구축했습니다. 다른 한편, 플랜트는 AI 및 그 밖의 신기술을 통합하면서 변화하고 있습니다. 기존의 프레임워크를 존중하고 추가적인 기술 발전을 기대하면서, 우리는 향후 플랜트의 안전을 어떻게 보장할 것인지에 대해 신중한 논의가 필요합니다.

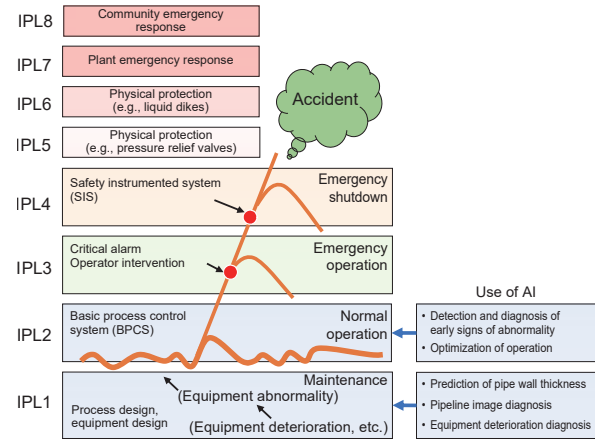


그림10 공정 플랜트의 사고 전개 시나리오 및 AI의 활용

결론

본 글은 안전한 공정 플랜트의 설계 및 운영에 대한 국제적 프레임워크로 인식되는 리스크 평가 (risk assessment) 에 대해, 또한 다중 방호 (multiple protection) 를 통한 리스크 감소에 대해 요약해서 설명했습니다. 국제 표준에 따라 내재적 안전 설계, BPCS, 알람 및 운영자 개입, SIS 등 각 수준에서 안전 조치를 설계하고 운영함으로써, 전체 플랜트의 리스크를 감소시키고 안전성을 보장하는 것이 중요합니다.

플랜트와 그 근로자, 그리고 인근 지역 사회의 안전성을 향상시키는 것은 지속 가능 사회를 이루기 위한 열쇠입니다. Yokogawa는 반 세기 이상에 걸쳐서 공정 산업의 안전한 운영에 기여할 수 있는 제품과 솔루션을 개발해오고 있습니다. Yokogawa는 플랜트 사고로 인한 비극을 예방하고 모든 사람이 안전하고, 안심하며, 풍요로운 삶을 영위할 수 있는 사회를 구현하기 위해 계속 노력할 것입니다.

감사의 글

우리는 국제 표준에 대한 정보를 발췌하고 복제하는 데 대해 국제 전기기술 위원회 (International Electrotechnical Commission, IEC, 제네바에 본부 소재) 가 친절하게 허락해 주신 데 대해 감사를 표합니다. IEC에 대한 더 자세한 정보는 웹사이트 (<https://www.iec.ch>) 를 참조해 주시기 바랍니다. 발췌 및 재인쇄물에 포함된 정보에 대한 모든 저작권은 IEC에 있으며, IEC가 모든 권리를 보유합니다. 발췌 및 재인쇄물에 대한 모든 책임은 본 글의 저자에게 있으며, IEC는 본 글에 IEC 정보가 나타나는 형태 또는 본 글에 있는 그 밖의 어떠한 내용에 대한 정확성에 대해서도 아무런 책임을 지지 않습니다.

참고문헌

- (1) International Labour Organization, Safety and Health at the heart of the Future of Work: Building on 100 years of experience, 2019
- (2) OECD, Guidance on Developing Safety Performance Indicators for Industry, 2008
- (3) OECD, Guidance on Developing Safety Performance Indicators for Public Authorities and Communities/Public, 2008

- (4) Tim Patrick Kelly, "A Systematic Approach to Safety Case Management," SAE International, 2003
 - (5) Ministry of Manpower, Singapore, Workplace Safety and Health (Major Hazard Installations) Regulations 2017, 2017
 - (6) ISO/IEC Guide 51:2014 Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards, 2014
 - (7) The High Pressure Gas Safety Institute of Japan, Risk Assessment Guideline (Ver. 2), 2016 (in Japanese)
 - (8) IEC 61511-3:2016, Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Part 3: Guidance for the determination of the required safety integrity levels, 2016
 - (9) Health and Safety Executive, Guidance on ALARP Decisions in COMAH, https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/ (accessed on July 1, 2021)
 - (10) AIChE/CCPS, Guidelines for Safe Automation of Chemical Processes, 1993
 - (11) IEC 61511-1:2016, Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements, 2016
 - (12) Klaus Schwab, "The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond," World Economic Forum, 2016, <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/> (accessed on July 1, 2021)
 - (13) Masahiko Sato, "Application of Machine Learning Technology to Trend Monitoring with Sushi Sensor," Yokogawa Technical Report English Edition, Vol. 63, No. 1, 2020, pp. 23-26
 - (14) Go Takami, "AI-based Plant Control," Yokogawa Technical Report English Edition, Vol. 63, No. 1, 2020, pp. 33-36
 - (15) The Liaison Council of Three Ministries on Disaster Prevention of Petroleum Complexes (Ministry of Economy, Trade and Industry, Fire and Disaster Management Agency, and Ministry of Health, Labour and Welfare), Guidelines on Assessment of AI Reliability in the Field of Plant Safety, second edition, 2021
- * ProSafe, EJX, EJA, ADMAG, AXR, YTA, TDLS, and Sushi Sensor are registered trademarks of Yokogawa Electric Corporation.
- * All other company names, organization names, product names, and logos that appear in this paper are either trademarks or registered trademarks of Yokogawa Electric Corporation or respective holders.